

短时高温对金银花贮藏期害虫锯谷盗存活及繁殖的影响^{*}

向玉勇^{**} 戴荣涛

(滁州学院 生物与食品工程学院, 滁州 239000)

摘 要 【目的】 了解短时高温对金银花 *Lonicera japonica* Thunb. 贮藏期害虫锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) 存活及繁殖的影响。【方法】 在室内测定了锯谷盗成虫经 36、39、42、45、48 高温处 1、3、5、7 h 后成虫存活率、产卵前期、产卵期、产卵量及 F₁ 代孵化率和羽化率的差异。【结果】 短时高温对锯谷盗成虫存活率、产卵前期、产卵期、产卵量及 F₁ 代孵化率和羽化率均有显著影响, 在 36 ~ 48 范围内, 随着温度升高和时间的延长, 成虫存活率不断下降、产卵前期不断延长、产卵期不断缩短、产卵量不断下降、F₁ 代孵化率和羽化率不断下降。经 36、39、42、45、48 高温处理 7 h 后, 成虫存活率分别比对照下降了 29.19%、34.47%、39.84%、55.64% 和 66.68%, 产卵前期分别比对照延长了 2.06、3.48、4.88、6.51、8.31 d, 产卵期分别比对照缩短了 4.99、7.89、12.07、16.89、23.14 d, 产卵量分别比对照降低了 52.26、61.06、70.82、82.87、92.97 粒, F₁ 代孵化率分别比对照下降了 21.52%、44.27%、73.44%、97.16%、100%, 羽化率分别比对照下降了 20.61%、32.85%、57.59%、95.15%、100%。方差分析显示, 温度和时间的交互作用对成虫的存活率、F₁ 代的孵化率和羽化率均有显著影响 ($P < 0.05$), 而对成虫产卵前期、产卵期和产卵量的影响不显著 ($P > 0.05$)。【结论】 短时高温对金银花贮藏期害虫锯谷盗存活及繁殖有显著的影响, 引起存活率及繁殖力显著下降。

关键词 锯谷盗, 短时高温, 存活率, 繁殖

Effects of brief exposure to high temperature on the survival and reproduction of *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) during the storage period of *Lonicera japonica* Thunb.

XIANG Yu-Yong^{**} DAI Rong-Tao

(School of Biology and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China)

Abstract 【Objectives】 This study aims to evaluate the effects of brief exposure to high temperatures on the survival and reproduction of *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) during the storage period of *Lonicera japonica* Thunb. 【Methods】 The survival rate, pre-oviposition period, oviposition period, number of eggs laid per female, hatching rate, and eclosion rate of F₁ progeny of *O. surinamensis* were measured under laboratory conditions after adults were exposed to temperatures of 36, 39, 42, 45 and 48 °C for either 1, 3, 5 or 7 hours. 【Results】 Brief exposure to high temperatures had a significant effect on the survival rate, pre-oviposition period, oviposition period, number of eggs laid per female, hatching rate and eclosion rate. With increasing duration of exposure to temperatures in the range of 36–48 °C, adult survival rate decreased, the pre-oviposition period was prolonged, the oviposition period decreased, the number of eggs laid per female decreased, and the hatching and eclosion rates of F₁ progeny decreased. Exposure to each of the five temperatures for 7 h respectively decreased the adult survival rate by 29.19%, 34.47%, 39.84%, 55.64% and 66.68%, prolonged the pre-oviposition period by 2.06, 3.48, 4.88, 6.51

^{*}资助项目 Supported projects: 安徽高校省级自然科学基金项目 (KJ2012B123); 安徽省高校优秀中青年骨干人才国内外访学研修重点项目 (gxzx2016249); 安徽省大学生创新创业训练计划项目 (AH201310377037)

^{**}通讯作者 Corresponding author, E-mail: xyy10657@sohu.com

收稿日期 Received: 2015-11-02, 接受日期 Accepted: 2016-04-18

and 8.31 d, shortened the oviposition period by 4.99, 7.89, 12.07, 16.89 and 23.14 d, decreased the number of eggs laid per female by 52.26, 61.06, 70.82, 82.87 and 92.97, decreased the hatching rate of F_1 progeny by 21.52%, 44.27%, 73.44%, 97.16% and 100%, and decreased the eclosion rate of F_1 progeny by 20.61%, 32.85%, 57.59%, 95.15% and 100%. A two-way ANOVA indicated a significant interaction between temperature and time on adult survival rate, hatching rate, and eclosion rate of F_1 progeny ($P < 0.05$), but not on pre-oviposition period, oviposition period and the number of eggs laid per female ($P > 0.05$).

[Conclusion] Brief exposure to high temperatures significantly reduced the survival and reproduction of *O. surinamensis* (Linnaeus) during the storage period of *L. japonica*.

Key words *Oryzaephilus surinamensis*, brief exposure to high temperature, survival rate, reproduction

高温胁迫是指生物对正常生存温度之外的高温反应 (Kang *et al.*, 2009), 高温胁迫耐受性研究是生态学的一个研究热点。昆虫是变温动物, 保持和调节体温的能力比较差, 其生命活动明显受环境温度的影响 (杜尧等, 2007)。已有研究表明, 短时间的高温经历会影响昆虫的存活、生长发育、繁殖等生命活动, 进而影响到昆虫种群的建立、发生和扩散 (范秀娟等, 2014)。如赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* Herbst 成虫在 50 °C 下暴露 39 min 后不能生殖 (Mahroof *et al.*, 2005); 莲草直胸跳甲 *Agasicles hygrophila* Selman & Vogt 成虫寿命随暴露温度的升高而降低, 产卵前期随暴露温度升高而显著延长, 单雌产卵量随暴露温度的升高而降低, 随着温度的升高, F_1 代卵的孵化率从 95.4% 降低至 89.2%, F_1 代成虫的羽化率从 87.0% 下降到 71.3% (赵鑫等, 2009); Q 型烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) Q-biotype 在 37~45 °C 范围内暴露 1 h 后, 随着暴露温度的升高, 成虫存活率由 100% 下降到 21.4%, F_1 代的存活率由 71.3% 下降到 31.3% (崔旭红等, 2011); 桃小食心虫 *Carposina sasakii* Matsumura 经 38 °C 和 41 °C 处理, 成虫的存活率降低, 寿命缩短, 产卵量减少 (李定旭等, 2014)。研究短时高温对昆虫生长发育、存活及繁殖等生命活动的影响, 揭示昆虫对高温胁迫的耐受性以及极端高温下的种群变动规律, 可以为利用高温进行害虫检疫处理及害虫防治提供科学依据。

金银花 *Lonicerae japonice* Thunb. 又名忍冬, 是我国常用名贵中药材之一, 在安徽许多地区都建立了种植区。由于仓储条件和管理措施比较落

后等原因, 金银花在收获后的贮藏过程中受到多种仓储害虫的危害, 锯谷盗 *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus) 就是其中危害比较严重的一种害虫 (另文发表), 该虫隶属于鞘翅目, 锯谷盗科, 取食金银花不仅造成数量的损失, 还影响其品质, 降低药效, 给农民和企业造成极大的经济损失, 已成为制约金银花产业发展的重要原因之一。目前, 对该虫的防治主要是使用磷化氢和溴甲烷进行熏蒸, 这些化学药剂的长期使用会引起害虫产生抗药性, 污染药材, 危害人民健康 (唐培安等, 2010)。因此, 必须寻找新的无公害防治方法来治理该虫。利用高温防治害虫是一种无公害防治技术, 其应用前提是要了解害虫对高温胁迫的耐受性, 掌握引起害虫死亡的极限高温。目前, 国内关于高温对昆虫生命活动影响的研究多集中在农业害虫 (赵鑫等, 2009; 崔旭红等, 2011; 李定旭等, 2014), 有关仓储害虫的报道较少, 对锯谷盗还未见相关报道。本研究分析了短时高温处理对锯谷盗存活及繁殖的影响, 以了解该虫对高温胁迫的耐受性, 从而为利用高温治虫技术防治该虫提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

锯谷盗采自安徽省明光市自来桥镇金银花收购站仓库, 以全麦粉和酵母粉 (按质量比为 20:1) 作饲料 (唐培安等, 2010), 饲料使用前经 80 °C 干燥箱消毒 1 h, 在人工气候箱 [温度为 (28 ± 1) °C、相对湿度 75% $\pm$ 7%] 中连续黑暗的条件下培养多代。

1.2 试验方法

1.2.1 短时高温对锯谷盗成虫存活率的影响 挑取新羽化 7 d 左右发育健康的成虫 20 头放入锥形瓶中,以保鲜膜封口,并用昆虫针扎许多小孔透气。然后分别放置于 36、39、42、45、48℃ 的烘箱中处理 1、3、5、7 h。将处理后的锯谷盗成虫转移到人工气候箱[温度为 (28±1)℃、相对湿度 55%±7%]中培养,24 h 后观察并统计锯谷盗的存活数(死亡判断标准:以解剖针触及成虫尾部、触角及足不动者为死亡)。试验重复 5 次,以没有经过高温处理直接放置在 28℃ 下处理的成虫作为对照组。

1.2.2 短时高温对锯谷盗成虫繁殖的影响 挑取新羽化健康的雌雄成虫,分别放置于 36、39、42、45、48℃ 的烘箱中处理 1、3、5、7 h。取存活的成虫配对后分别放入锥形瓶中,瓶底放少量全麦粉和酵母粉,以保鲜膜封口,并用昆虫针扎许多小孔透气,然后放置到人工气候箱[温度为 (28±1)℃、相对湿度 55%±7%]中培养,每间隔 24 h 检查产卵与存活情况,直至雌虫死亡,统计雌成虫的产卵前期、产卵期和产卵量,如果雄虫先死亡则补充雄虫。每次处理 20 对成虫,试验重复 5 次,以没有经过高温处理的成虫作为对照组。

1.2.3 短时高温对锯谷盗后代的孵化率及羽化率的影响 收集 1.2.2 处理中成虫所产的卵 50 粒,放入锥形瓶中,瓶底放少量全麦粉和酵母粉,

以保鲜膜封口,并用昆虫针扎许多小孔透气,然后放置到人工气候箱[温度为 (28±1)℃、相对湿度 55%±7%]中培养,一直到成虫羽化,记录 F₁ 代卵的孵化率及成虫羽化率。试验重复 5 次,以没有经过高温处理的成虫所产卵作为对照组。

1.3 数据统计

采用 SPSS11.5 统计软件进行方差分析,采用 Duncan 氏新复极差法在 $P < 0.05$ 水平上进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 短时高温对锯谷盗成虫存活率的影响

高温处理对锯谷盗成虫的存活率有显著影响(表 1),在 36~48℃ 的温度范围内,成虫的存活率显著低于对照,均随着温度的上升而下降,各温度下的差异达显著水平。经 36、39、42、45、48℃ 处理 1 h 的存活率分别比对照下降了 3.33%、6.67%、8.55%、21.76%和 31.84%。各处理温度下,成虫的存活率随着处理时间的延长而下降,差异达显著水平,经 36、39、42、45、48℃ 处理 7 h 的存活率分别比对照下降了 29.19%、34.47%、39.84%、55.64%和 66.68%。方差分析表明,温度和时间交互作用对锯谷盗成虫的存活率有显著影响($df = 12$, $MS = 14.97$, $F = 2.70$, $P < 0.05$)。

通过分析可建立锯谷盗成虫的存活率与温

表 1 高温对锯谷盗成虫存活率的影响

Table 1 Effect of brief exposure to high temperature on the adult survival rate of *Oryzaephilus surinamensis*

处理时间 (h)	存活率 Survival rate (%)					
Treated time	CK	36℃	39℃	42℃	45℃	48℃
1	100.00±0.00a(a)	96.67±2.89a(ab)	93.33±2.77a(bc)	91.45±3.76a(c)	78.24±1.51a(d)	68.16±1.67a(e)
3	100.00±0.00a(a)	88.28±3.15b(b)	80.42±2.08b(c)	73.25±1.49b(d)	60.59±1.72b(e)	49.25±2.04b(f)
5	100.00±0.00a(a)	80.45±2.22c(b)	72.67±1.32c(c)	65.43±2.09c(d)	52.73±2.37c(e)	41.47±1.35c(f)
7	100.00±0.00a(a)	70.81±3.36d(b)	65.53±3.08d(c)	60.16±1.52d(d)	44.36±3.64d(e)	33.32±2.76d(f)

表中数字为平均数±标准误,后面的英文字母为多重比较的检验结果,同一列数据后标有不同小写字母表示不同时间下的数据差异显著 ($P < 0.05$),同一行数据后括号内不同小写字母表示不同温度下的数据差异显著 ($P < 0.05$),否则不显著。样本数 (n) 为 100。

Data in the table are mean ± SE, and followed by the different letters in the same column indicate significant difference between different time ($P < 0.05$), while followed by the different letters with bracket in the same line indicate significant difference between different temperatures ($P < 0.05$). Otherwise, means no difference. $n=100$.

度间的回归模型, 高温处理 1、3、5、7 h 的回归方程分别为 $y = -2.4037x + 186.52$ 、 $y = -3.263x + 207.4$ 、 $y = -3.2633x + 199.61$ 和 $y = -3.0221x + 179.76$, 式中 x 为温度 (°C), y 为成虫存活率 (%), R^2 值分别 0.9046、0.9861、0.9861 和 0.9892。表明所建模型可反映试验温区实际变化规律, 模型成立。

2.2 短时高温对锯谷盗成虫繁殖的影响

短时高温对锯谷盗雌成虫的产卵前期、产卵期和产卵量均有显著影响 (表 2)。经 36 °C 高温处理 1 h 后, 产卵前期比对照延长了 1.11 d, 产卵期比对照缩短了 2.94 d, 产卵量比对照降低了

48.20 粒, 差异达显著水平。在 36 ~ 48 °C 范围内, 随着温度的升高, 产卵前期显著延长, 产卵期显著缩短, 产卵量显著降低, 经 48 °C 高温处理 1 h 后的产卵前期比对照延长了 6.77 d, 产卵期比对照缩短了 18.57 d, 产卵量比对照降低了 85.30 粒。各温度下, 随着处理时间的延长, 产卵前期不断延长, 产卵期不断缩短, 产卵量不断降低, 经 36、39、42、45、48 °C 处理 7 h 后, 产卵前期分别比对照延长了 2.06、3.48、4.88、6.51、8.31 d, 差异达显著水平; 产卵期分别比对照缩短了 4.99、7.89、12.07、16.89、23.14 d, 差异达显著水平; 产卵量分别比对照降低了 52.26、61.06、70.82、82.87、92.97 粒, 除了 36 °C 下 1 h 和 3 h

表 2 短时高温对锯谷盗雌成虫产卵前期、产卵期和产卵量的影响
Table 2 Effect of brief exposure to high temperature on the pre-oviposition period, oviposition period and eggs amount laid by per female of *Oryzaephilus surinamensis*

温度 (°C) Temperature	处理时间 (h) Treatment time	产卵前期 (d) Pre-oviposition period	产卵期 (d) Oviposition period	产卵量 (粒) Eggs amount laid by per female
36	1	6.58±0.82pq	35.37±1.83b	73.45±7.13b
36	3	6.87±0.93p	34.61±2.14bc	72.24±6.61b
36	5	7.15±0.76op	33.85±1.63bcd	70.86±10.31bc
36	7	7.53±1.08nop	33.32±1.87cd	69.39±9.16bc
39	1	7.85±1.21mnop	32.78±2.14cde	68.67±6.72bc
39	3	8.27±0.82lmno	32.12±1.56def	66.32±6.80bcd
39	5	8.58±0.64klm	31.36±1.94ef	62.78±12.09bcde
39	7	8.95±0.74jkl	30.42±2.11fg	60.59±6.22bcdef
42	1	9.33±0.81ijk	29.46±1.73gh	57.37±7.22cdefg
42	3	9.56±1.14hijk	28.16±1.84hi	55.36±5.13defg
42	5	9.97±0.84ghij	27.35±2.12ij	53.18±7.51efgh
42	7	10.35±1.11fghi	26.24±2.88jk	50.83±10.64efghi
45	1	10.81±0.66efgh	25.31±1.82kl	48.71±8.37fghij
45	3	11.18±0.84defg	24.19±1.56lm	45.52±5.29ghijk
45	5	11.65±1.12cdef	22.73±1.61mn	42.39±5.63hijkl
45	7	11.98±0.77bcde	21.42±3.11no	38.78±6.32ijklm
48	1	12.24±0.93bcd	19.74±1.26op	36.35±7.14jklm
48	3	12.65±0.78abc	18.31±1.76pq	33.79±9.43klm
48	5	13.16±0.82ab	16.82±1.68qr	31.12±6.33lm
48	7	13.78±1.14a	15.17±1.85r	28.68±10.31m
CK		5.47±0.62q	38.31±2.56a	121.65±16.76a

表中数字为平均数±标准误, 后面的英文字母为多重比较的检验结果, 同一列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 否则不显著。样本数 (n) 为 100。

Data in the table are mean ± SE, and followed by the different letters in the same column indicate significant difference between different temperature and time ($P < 0.05$). Otherwise, means no difference. $n=100$.

之间、5 h 和 7 h 之间差异不显著外，其它时间段的差异均达显著水平。方差分析表明，温度和时间交互作用对锯谷盗雌成虫产卵前期 ($df=12$, $MS=0.04$, $F=0.04$, $P>0.05$)、产卵期 ($df=12$, $MS=0.64$, $F=0.79$, $P>0.05$) 和产卵量 ($df=12$, $MS=2.71$, $F=0.04$, $P>0.05$) 的影响不显著。

通过分析可建立锯谷盗雌成虫产卵前期、产卵期、产卵量与温度间的回归模型，高温处理 1、3、5、7 h 的产卵前期与温度的回归方程分别为 $y = 0.476x - 10.63$ 、 $y = 0.4823x - 10.552$ 、 $y = 0.503x - 11.024$ 、 $y = 0.5177x - 11.224$ ，式中 x 为温度()， y 为产卵前期(d)， R^2 值分别 0.9993、0.9987、0.9989 和 0.9969，表明所建模型可反映试验温区实际变化规律，模型成立；高温处理 1、3、5、7 h 的产卵期与温度的回归方程分别为 $y = -1.291x + 82.754$ 、 $y = -1.351x + 84.22$ 、 $y = -1.423x + 86.188$ 、 $y = -1.51x + 88.734$ ，式中 x 为温度()， y 为产卵期(d)， R^2 值分别 0.9782、0.9793、0.9785 和 0.9814，表明所建模型可反映试验温区实际变化规律，模型成立；高温处理 1、3、5、7 h 的产卵量与温度的回归方程分别为 $y = -3.1387x + 188.73$ 、 $y = -3.2567x + 191.43$ 、 $y = -3.329x + 191.88$ 、 $y = -3.441x + 194.18$ ， R^2 值分别 0.9829、0.9896、0.9958 和 0.9972，表明所建模型可反映试验温区实际变化规律，模型成立。

2.3 短时高温对锯谷盗后代的孵化率及羽化率的影响

短时高温处理能显著降低锯谷盗后代的孵化率和羽化率(表 3)，经 36 高温处理 1 h 的 F_1 代孵化率和羽化率分别比对照下降了 3.65% 和 3.48%，随着温度的升高，孵化率和羽化率在不断下降，差异达显著水平，45 高温处理 1 h 的孵化率和羽化率分别比对照下降了 83.16% 和 66.55%，48 高温处理下卵不能孵化。随着处理时间的延长，孵化率和羽化率在不断下降，经 36、39、42、45 高温处理 7 h 后，孵化率分别

比对照下降了 21.52%、44.27%、73.44%、97.16%，差异达显著水平，羽化率分别比对照下降了 20.61%、32.85%、57.59%、95.15%，差异达显著水平。方差分析表明，温度和时间交互作用对锯谷盗 F_1 代的孵化率 ($df=12$, $MS=52.60$, $F=14.53$, $P<0.05$) 和羽化率 ($df=12$, $MS=74.17$, $F=20.89$, $P<0.05$) 均有显著影响。

表 3 短时高温对锯谷盗 F_1 代的孵化率及羽化率的影响
Table 3 Effect of brief exposure to high temperature on the hatching rate and eclosion rate of *Oryzaephilus surinamensis* F_1 progeny

温度()	处理时间(d)	孵化率(%)	羽化率(%)
Temperature	Treatment time	Hatching rate	Eclosion rate
36	1	96.35±2.89b	96.52±2.17b
36	3	90.32±2.67c	91.24±1.09c
36	5	83.53±3.21d	85.57±1.31d
36	7	78.48±1.35e	79.39±1.72ef
39	1	71.67±1.55f	80.29±3.08e
39	3	66.55±2.34g	76.42±1.77f
39	5	62.39±1.83h	72.31±2.67g
39	7	55.73±3.19i	67.15±1.94h
42	1	53.33±1.65i	68.73±3.19h
42	3	44.25±2.36j	60.35±1.62i
42	5	35.38±1.63k	50.57±2.68j
42	7	26.56±2.22l	42.41±2.18k
45	1	16.84±1.50m	33.45±1.56l
45	3	11.24±1.88n	24.78±2.44m
45	5	6.53±1.12o	15.19±1.81n
45	7	2.84±0.69p	4.85±0.72o
48	1	0.00±0.00p	0.00±0.00p
48	3	0.00±0.00p	0.00±0.00p
48	5	0.00±0.00p	0.00±0.00p
48	7	0.00±0.00p	0.00±0.00p
CK		100.00±0.00a	100.00±0.00a

表中数字为平均数±标准误，后面的英文字母为多重比较的检验结果，同一列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，否则不显著。孵化率的样本数 (n_1) 为 250，羽化率的样本数 (n_2) 为 100。

Data in the table are mean ± SE, and followed by the different letters in the same column indicate significant difference between different temperature and time ($P<0.05$). Otherwise, means no difference. $n_1=250$, $n_2=100$.

通过分析可建立锯谷盗 F_1 代孵化率、羽化率与温度间的回归模型，高温处理 1、3、5、7 h

的孵化率与温度的回归方程分别为 $y = -8.251x + 394.18$ 、 $y = -7.865x + 372.8$ 、 $y = -7.4307x + 349.65$ 、 $y = -6.995x + 326.51$, 式中 x 为温度(), y 为孵化率(%) , R^2 值分别 0.9881、0.9851、0.9728 和 0.9522, 表明所建模型可反映试验温区实际变化规律, 模型成立。高温处理 1、3、5、7 h 的羽化率与温度的回归方程分别为 $y = -7.996x + 391.63$ 、 $y = -7.804x + 378.33$ 、 $y = -7.6087x + 364.29$ 、 $y = -7.3693x + 348.27$, 式中 x 为温度() , y 为羽化率(%) , R^2 值分别 0.953、0.9718、0.9764、0.9542, 表明所建模型可反映试验温区实际变化规律, 模型成立。

3 讨论

作为变温动物, 昆虫对高温非常敏感, 高温不仅使昆虫存活率下降, 还能导致其繁殖力下降甚至丧失 (Vollmer *et al.*, 2004)。目前, 国内关于短时高温胁迫对昆虫存活及繁殖影响的研究已有较多的报道, 结果显示, 不同种类的昆虫对高温胁迫的耐受性存在差异。我们的研究表明, 短时高温对锯谷盗成虫的存活及繁殖均有显著影响。在 36~48 的温度范围内, 成虫的存活率随着温度的上升而下降, 经 36、39、42、45、48 处理 1 h 的存活率分别比对照下降了 3.33%、6.67%、8.55%、21.76%和 31.84%, 差异达显著水平。随着处理时间的延长, 存活率在不断下降, 经 36、39、42、45、48 处理 7 h 的存活率分别比对照下降了 29.19%、34.47%、39.84%、55.64%和 66.68%。吕昭智等(2010)对棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 进行研究也得到类似的结果, 高温处理 1 h, 棉蚜存活率从 42 的 57.50%迅速下降到 46 的 11.67%, 高温处理 2 h, 42 和 46 条件下存活率分别为 1.67%和 0.83%。这可能是由于在高温下, 昆虫表皮的蜡质层开始瓦解, 开始大量失水, 使体液离子浓度增加, 进而对细胞产生不可恢复的损伤, 同时高温引起昆虫体内酶活力下降, 造成代谢紊乱, 从而昆虫机体受损甚至死亡 (Yoder and Denlinger, 1991; Mutero *et al.*, 1994)。方差分析显示, 温度和时间交互作

用对锯谷盗成虫的存活率有显著影响 ($P < 0.05$)。

短时高温对锯谷盗雌成虫的产卵前期、产卵期和产卵量均有显著影响, 在 36~48 范围内, 随着温度的升高, 产卵前期显著延长, 产卵期缩短, 产卵量下降。各温度下, 随着时间的延长, 产卵前期不断延长, 产卵期不断缩短, 产卵量不断下降, 经 36、39、42、45 和 48 处理 7 h 的产卵前期分别比对照延长了 2.06、3.48、4.88、6.51、8.31 d; 产卵期分别比对照缩短了 4.99、7.89、12.07、16.89、23.14 d; 产卵量分别比对照降低了 52.26、61.06、70.82、82.87、92.97 粒。方差分析表明, 温度和时间交互作用对锯谷盗雌成虫产卵前期、产卵期和产卵量的影响不显著 ($P > 0.05$)。赵鑫等(2009)的研究也显示, 随暴露温度的升高, 莲草直胸跳甲 *A. hygrophila* Selman & Vogt 成虫的产卵前期不断延长, 产卵量显著降低。这可能是由于高温影响了昆虫卵黄蛋白的合成, 抑制了卵巢的发育 (叶恭银等, 2000)。杨帅等(2013)的研究则显示, 土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* (Ugarov *et* Nikolskii) 和截形叶螨 *T. truncatus* Ehara 的雌成螨在 38~46 下处理 2~6 h 后, 其产卵前期、产卵期和产卵量均不受影响。这种对极端高温的生态适应性差异可能是由于不同昆虫体内的耐热性基因不同, 高温胁迫下产生的热激蛋白不同所致 (Gehring and Wehner, 1995)。

随着温度的升高和时间的延长, F_1 代孵化率和羽化率在不断下降, 经 36、39、42、45 高温处理 7 h 后, 孵化率分别比对照下降了 21.52%、44.27%、73.44%、97.16%, 羽化率分别比对照下降了 20.61%、32.85%、57.59%、95.15%, 48 处理下, 卵均不能孵化。这表明, 短时高温导致锯谷盗生殖的适应性下降。赵鑫等(2009)对莲草直胸跳甲进行研究, 也取得基本一致的结果。方差分析表明, 温度和时间交互作用对锯谷盗 F_1 代的孵化率和羽化率均有显著影响 ($P < 0.05$)。

本研究的结果显示, 短时高温能显著地降低锯谷盗成虫的存活率、繁殖力及后代的存活率。

因此,在金银花贮藏过程中,可以利用高温处理来防治该虫。但在实际生产应用中,锯谷盗是隐藏在金银花堆垛中危害,金银花堆垛对热量的传递会有一定的阻碍作用,从而影响其杀虫效果。今后还需进一步研究实仓情况下高温对锯谷盗的影响,以确定最佳温度条件,提高杀虫效果。

参考文献 (References)

- Cui XH, Xu JX, Li XY, Cai C, 2011. Effects of brief exposure to high temperature on survival and fecundity of *Bemisia taba* Q-biotype (Homoptera: Aleyrodidae). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27(5): 377–379. [崔旭红, 徐建信, 李晓宇, 蔡冲, 2011. 短时高温暴露对 Q 型烟粉虱成虫存活和生殖适应性的影响. 中国农学通报, 27(5): 377–379.]
- Du Y, Ma CS, Zhao QH, Ma G, Yang HP, 2007. Effects of heat stress on physiological and biochemical mechanisms of insects: a literature review. *Acta Ecologica Sinica*, 27(4): 1565–1572. [杜尧, 马春森, 赵清华, 马罡, 杨和平, 2007. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展. 生态学报, 27(4): 1565–1572.]
- Fan XJ, Chen D, Sun ZJ, Tang SH, Wang XW, Ren GW, Wang XF, 2014. Effects of brief exposure to high temperatures on the development, reproduction and feeding behavior of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(10): 1188–1197. [范秀娟, 陈丹, 孙志娟, 唐仕浩, 王新伟, 任广伟, 王秀芳, 2014. 短时高温对烟蚜生长发育、繁殖和取食行为的影响. 昆虫学报, 57(10): 1188–1197.]
- Gehring WJ, Wehner R, 1995. Heat shock protein synthesis and thermotolerance in *Cataglyphis*, an ant from the Sahara desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 92 (7): 2994–2998.
- Kang L, Chen B, Wei JN, Liu TX, 2009. Roles of thermal adaptation and chemical ecology in *Liriomyza* distribution and control. *Annual Review of Entomology*, 54(1): 127–145 .
- 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. [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.]
- Lv ZZ, Zhang JG, Luo L, Gao GZ, Lu GL, 2010. Effect of high temperature on survival of the cotton aphid, *Aphis gossypii*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(4): 685–689. [吕昭智, 张江国, 罗亮, 高桂珍, 陆国良, 2010. 短时间高温处理对棉蚜存活的影响. 昆虫知识, 47(4): 685–689.]
- Mahroof R, Subramanyam B, Flinn P, 2005. Reproductive performance of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) exposed to the minimum heat treatment temperature as pupae and adults. *Journal of Economic Entomology*, 98(2): 626–633.
- Mutero A, Bride JM, Pralavorio M, Founier D, 1994. *Drosophila melanogaster* acetylcholin esterase: Identification and expression of two mutations responsible for cold-and heat-sensitive phenotypes. *Molecular and General Genetics*, 243(6): 699–705.
- Tang PA, Song W, Zhang T, 2010. Fumigation activity of ethyl formate against *Oryzaephilus surinamensis* (L.). *Journal of Grain Storage*, 39(6): 3–5. [唐培安, 宋伟, 张婷, 2010. 甲酸乙酯对锯谷盗的熏蒸活性研究. 粮食储藏, 39(6): 3–5.]
- Vollmer JH, Saru PP, Kærsgaard CW, Dahlgaard J, Loeschcke V, 2004. Heat and cold-induced male sterility in *Drosophila buzzatii*: Genetic variation among populations for the duration of sterility. *Heredity*, 92(3): 257–262.
- Yang S, Zhao BM, Li GY, Hu SL, Guo YL, Zhang JP, 2013. Effects of brief exposure to high temperature on *Tetranychus turkestani* and *T.truncatus* (Acari: Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(3): 276–285. [杨帅, 赵冰梅, 李广云, 胡素丽, 郭艳兰, 张建萍, 2013. 短时高温暴露对土耳其斯坦叶螨和截形叶螨的影响. 昆虫学报, 56(3): 276–285.]
- Ye GY, Hu C, Gong H, 2000. Effect of high temperature on ovarian growth and development in the Japanese oak silkworm, *Antheraea yamamai* (Lepidoptera: Saturniidae), a precious silkworm. *Acta Ecologica Sinica*, 20(3): 490–494. [叶恭银, 胡萃, 龚和, 2000. 高温对珍贵绢丝昆虫-天蚕卵巢生长发育的影响. 生态学报, 20(3): 490–494.]
- Yoder JA, Denlinger DL, 1991. Water balance in flesh fly pupae and water vapor absorption associated with diapause. *Journal of Experimental Biology*, 157(1): 273–286.
- 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, 傅建炜, 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.]