

何超, 沈登荣, 尹立红, 等. 幼虫期短时高温对井上蛀果斑螟生长发育及生殖的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(4): 68-75.
HE Chao, SHEN Dengrong, YIN Lihong, et al. Effects of short-term exposure to high temperature at larval stage on the development and fecundity of *Assara inouei*[J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(4): 68-75.

幼虫期短时高温对井上蛀果斑螟 生长发育及生殖的影响

何 超¹, 沈登荣¹, 尹立红², 张 睿¹, 袁盛勇¹, 田学军¹

(1 红河学院 生命科学与技术学院/云南省高校农作物优质高效栽培与安全控制重点实验室,
云南 蒙自 661100; 2 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650216)

摘要:【目的】明确幼虫期短时高温对井上蛀果斑螟 *Assara inouei* 存活、生长发育及生殖的影响。【方法】将井上蛀果斑螟初孵幼虫和老熟幼虫在 32、35、38、41 和 44 ℃ 条件下, 分别处理 1、2 和 4 h, 测定其存活率; 将井上蛀果斑螟初孵幼虫和老熟幼虫在 35、38、41 ℃ 条件下, 分别处理 1、2 和 4 h 后, 研究其发育历期、化蛹率、羽化率、雌雄虫寿命、单雌产卵量及子代卵孵化率等。【结果】随着温度的升高和处理时间的延长, 井上蛀果斑螟幼虫存活率逐渐减小。井上蛀果斑螟初孵幼虫在 35 ℃ 处理下发育历期缩短, 38 和 41 ℃ 处理下发育历期延长。老熟幼虫经短时高温处理后, 随着温度的升高及处理时间的延长, 化蛹率、蛹质量、蛹羽化率、产卵期、雌虫寿命及产卵量均逐渐减小, 蛹历期逐渐延长。【结论】井上蛀果斑螟初孵幼虫对短时高温的适应性高于老熟幼虫, 短时高温对井上蛀果斑螟老熟幼虫的存活、生长发育及生殖有显著影响。本研究揭示了井上蛀果斑螟幼虫对高温的适应性, 可为井上蛀果斑螟种群动态的预测预报提供科学依据。

关键词: 井上蛀果斑螟; 短时高温; 存活; 生长发育; 生殖
中图分类号: S436.639 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2020)04-0068-08

Effects of short-term exposure to high temperature at larval stage on the development and fecundity of *Assara inouei*

HE Chao¹, SHEN Dengrong¹, YIN Lihong², ZHANG Rui¹, YUAN Shengyong¹, TIAN Xuejun¹

(1 College of Life Science and Technology, Honghe University/Crop Cultivation and Safety Control Key Laboratory of Yunnan Province, Mengzi 661100, China; 2 Forestry College, Southwest Forestry University, Kunming 650216, China)

Abstract: 【Objective】To investigate the effects of short-term exposure to high temperature at larval stage on the survival rate, development and fecundity of *Assara inouei*. 【Method】Neonate larvae or mature larvae of *A. inouei* were exposed to high temperatures of 35, 38, 41 and 45 ℃ for 1, 2 and 4 h, respectively, and the survival rate was measured. After neonate larvae or mature larvae of *A. inouei* were exposed to high temperatures of 35, 38 and 41 ℃ for 1, 2 and 4 h, respectively, biological parameters of developmental duration, pupation rate, emergence rate, male and female longevity, number of eggs laid per female and egg hatching rate were investigated. 【Result】The survival rate of neonate larvae decreased gradually with the increase of temperature and treatment time. The developmental duration of neonate larvae was shortened by 35 ℃ treatment, but the

developmental durations were prolonged by 38 and 41 °C treatments. After mature larvae were exposed to high temperature for short term, the pupation rate, pupal weight, emergence rate, oviposition period, female longevity and number of eggs laid per female decreased gradually, and pupal duration prolonged gradually with the increase of temperature and treatment time. 【Conclusion】 Neonate larvae have higher adaptability to short-term high temperature than mature larvae. Short-term exposure to high temperature has significant effects on the survival, development and fecundity of mature larvae of *A. inouei*. The results reveal the adaptability of *A. inouei* larvae to high temperature, and provide a scientific basis for predicting the population dynamics of *A. inouei*.

Key words: *Assara inouei*; short-term high temperature; survival; development; reproduction

井上蛀果斑螟 *Assara inouei* Yamanaka 属鳞翅目 Lepidoptera 螟蛾科 Pyralidae 蛀果斑螟属 *Assara*^[1]。该虫分布于东亚的中国、日本和韩国, 国内主要分布于甘肃、湖北、贵州及云南, 仅在云南有为害记录^[2-3]。井上蛀果斑螟于 2002 年在云南建水石榴园中被发现, 主要危害石榴 *Punica granatum* L.。成虫将卵散产于石榴的花萼、萼筒周围或表面粗糙部位, 卵孵化后, 幼虫短时间内即可蛀入果内, 取食石榴籽粒的外表皮及幼嫩籽粒, 幼虫老熟后, 从内蛀孔爬至萼筒等处结茧化蛹^[4-5]。1 个石榴果实内最多可有 5~10 头幼虫, 受害果实内充满虫粪, 极易引起裂果和腐烂, 可导致 30% 以上的落果率, 受害严重的果园落果率可达 80%~90%, 严重影响石榴的品质和产量, 造成较大的经济损失^[6-7]。

温度是影响昆虫生长发育、存活和生殖的重要生态因子, 环境的温度变化对昆虫种群发生动态有重要影响^[8-10]。研究表明, 在适宜温度范围内, 昆虫的发育速率随温度的升高而加快; 但在高温条件下, 其生长发育受阻, 存活力和生殖力下降, 甚至导致死亡^[11-12]。短时高温处理对二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 幼虫存活率和发育历期有明显影响, 但对幼虫化蛹率、蛹的羽化率、雌虫寿命及生殖力无明显影响^[13]; 桃小食心虫 *Carposina sasakii* 41 °C 处理 1~4 h 后, 初孵幼虫的发育历期显著延长, 存活率显著降低^[14]; 短时高温对烟蚜 *Myzus persicae* 若蚜的发育速率无明显影响, 但对若蚜的存活率、成蚜的寿命有显著影响, 对生殖有显著抑制作用^[15]; 梨小食心虫 *Grapholita molesta* 成虫 38 °C 处理 48 h, 雌、雄虫均不能存活; 35 °C 处理 48 h, 对存活率无影响, 但生殖力显著下降^[16]; 西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 45 °C 2 h 处理 2 次, 亲代各虫态存活率、雌成虫寿命及体内海藻糖和山梨醇含量均有明显变化, 子代的种群数量、存活率、性比等也有显著变化^[17]。

井上蛀果斑螟在幼虫期, 除初孵幼虫和老熟幼

虫可短暂在果面活动外, 其余时期均在果实内为害。该虫发生为害盛期在每年的 7—10 月, 发生期常与夏季极端高温天气相遇。因此, 研究井上蛀果斑螟对极端高温的适应性对石榴安全生产具有重要的现实意义。本研究对井上蛀果斑螟初孵及老熟幼虫进行短时高温处理, 探索幼虫经不同短时高温处理对井上蛀果斑螟存活、生长发育及生殖的影响, 以期深入了解高温季节的该虫种群数量变动机制和预测预报提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

井上蛀果斑螟于 2017 年 9 月采自云南蒙自草坝镇管理粗放的石榴园中。采集正被井上蛀果斑螟幼虫危害的果实, 将幼虫挑出置于人工气候箱中, 用酸绿籽石榴皮连续饲养多代, 成虫提供 100 g/L 的蔗糖溶液补充营养, 方法参照文献 [18]。初孵幼虫为孵化 6 h 内的幼虫; 老熟幼虫为化蛹结茧前 24 h 的幼虫, 此时幼虫体长 1.0~1.2 cm, 乳白色, 不取食, 行动缓慢, 开始吐丝准备结茧。

幼虫饲养在温度 (25±1) °C、相对湿度 (70±10)%、光周期为 15 h 光:9 h 暗的人工气候箱。

1.2 试验方法

1.2.1 对幼虫存活的影响

试验处理及温度设置参考文献 [14-15] 的方法。将井上蛀果斑螟初孵幼虫或老熟幼虫用毛笔挑至装有新鲜酸石榴皮的塑料养虫盒 (直径 9 cm、高 7.5 cm) 内, 每盒 20 头, 5 盒为 1 组处理。然后分别置于 32、35、38、41 和 44 °C 的人工气候箱中, 处理 1、2 和 4 h 后, 移至 25 °C 恒温人工气候箱中饲养 24 h 后, 观察并记录幼虫的存活情况, 用毛笔轻触虫体没有反应即为死亡, 计算各处理下初孵幼虫和老熟幼虫的存活率。每处理重复 4 次。

1.2.2 对幼虫发育的影响

据“1.2.1”的试验结果, 将井上蛀果斑螟初孵幼虫和老熟幼虫用毛笔挑

至装有新鲜酸石榴皮的养虫盒内, 分别置于 35、38 和 41 ℃ 的人工气候箱中, 处理 1、2 和 4 h, 然后将存活幼虫移至另 1 个装有新鲜酸石榴皮的养虫盒内, 20 头 1 盒, 5 盒 1 组为 1 个处理, 移至 25 ℃ 恒温人工气候箱中继续饲养, 以未进行高温处理的 25 ℃ 恒温饲养的初孵幼虫为对照。每处理重复 5 次。老熟幼虫观察其化蛹情况; 初孵幼虫每天清理幼虫的排泄物并更换酸石榴皮, 保证养虫盒内石榴皮新鲜、充足, 直至幼虫结茧化蛹。每天观察并记录幼虫的存活和发育情况, 统计初孵幼虫的发育历期、幼虫期的存活率和化蛹数。

1.2.3 对化蛹和羽化的影响 置于电子天平称量后, 每头蛹单独置于直径 1.5 cm、高 10 cm 试管内, 湿棉塞封口, 继续观察蛹的发育情况, 直至成虫羽化结束。统计幼虫的蛹历期和蛹的羽化率。

1.2.4 对成虫寿命及生殖的影响 待“1.2.3”处理的成虫羽化后, 取同一处理当天羽化的成虫, 区分雌雄, 按 1:1 随机配对, 共 3 对, 放入透明塑料产卵杯 (直径 10 cm, 高 12 cm, 杯盖中央有边长约 4 cm 通气口, 覆以 100 目尼龙网纱), 将蘸有 100 g/L 的蔗糖溶液的脱脂棉球置于杯底供成虫补充营养, 2 d 后在产卵杯中放入 1 片硫酸纸, 供成虫产卵。每天 9:00—12:00 观察并统计成虫的产卵量和存活情况, 更换产卵杯、硫酸纸, 及时移除所产卵; 并更换脱脂棉球, 保证营养液新鲜, 直至成虫全部死亡。记录产卵前期、产卵期和产卵量。每处理重复 3 次。

取上述各处理初产卵 (12 h 内) 50 粒, 置于培养皿, 皿内放脱脂棉球保湿, 盖好皿盖, 继续置于 25 ℃ 人工气候箱中, 待其孵化。前期每天观察 1 次, 后期待卵变为粉红色后, 每天上、下午各观察 1 次卵的

孵化情况, 直至卵不再有幼虫孵化为止, 统计卵的孵化数, 计算孵化率。每处理重复 3 次。

1.3 数据处理

存活率、化蛹率、羽化率及卵孵化率所得数据经反正弦转换后再进行分析。

应用 SPSS19.0 软件进行数据统计分析, 不同温度和处理时间对幼虫存活及发育的影响采用双因素方差分析, 其余各项试验数据均采用单因素方差分析, 试验中各参数的均值均采用 Duncan’s 新复极差法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 短时高温对井上蛀果斑螟幼虫存活的影响

由表 1 可知, 随温度的升高和处理时间的延长, 井上蛀果斑螟初孵幼虫的存活率逐渐减小。处理时间 ($F=16.419, P<0.01$)、温度 ($F=132.305, P<0.01$) 以及温度与处理时间的交互效应 ($F=12.677, P<0.01$) 均对幼虫存活率有显著影响。单因素方差分析结果表明, 初孵幼虫经短时高温处理 1、2 和 4 h 后, 其存活率由 32 ℃ 的 100% 降至 44 ℃ 的 0; 35 ℃ 处理 4 h 的存活率显著低于处理 1 和 2 h 的, 但处理 1 和 2 h 间差异不显著; 38 ℃ 处理 4 h 的存活率显著低于处理 1 和 2 h 的; 41 ℃ 条件下的存活率为处理 1 h>2 h>4 h, 且各处理间差异显著。

老熟幼虫在 32 ℃ 和 35 ℃ 处理不同时间后, 各处理间的存活率无显著差异; 当温度升至 38 ℃ 后, 随温度的升高和处理时间的延长, 存活率亦逐渐减小 (表 1)。处理时间 ($F=13.441, P<0.01$)、温度 ($F=116.145, P<0.01$) 以及温度与处理时间的交互效应 ($F=9.792, P<0.01$) 均对老熟幼虫存活率有显著

表 1 幼虫期短时高温处理对井上蛀果斑螟幼虫存活率的影响¹⁾

Table 1 Effects of short-term exposure of <i>Assara inouei</i> larvae to high temperature on their survival rates						
虫期	t(处理)/h	存活率/% Survival rate				
Developmental stage	Treatment time	32 ℃	35 ℃	38 ℃	41 ℃	44 ℃
初孵幼虫	1	100.00aA	100.00aA	92.62aA	52.14aB	0.00aC
Neonate larvae	2	100.00aA	98.56aA	89.82aB	20.39bC	0.00aD
	4	100.00aA	88.32bB	72.14bC	12.14cD	0.00aE
老熟幼虫	1	100.00aA	100.00aA	100.00aA	82.25aB	11.80aC
Mature larvae	2	100.00aA	100.00aA	100.00aA	67.62bB	7.51aC
	4	100.00aA	100.00aA	91.57bB	45.27cC	0.00bD

1) 相同虫期同列数据后不同小写字母表示不同处理时间存在显著差异, 同行数据后不同大写字母表示不同温度间存在显著差异($P<0.05$, Duncan’s法)

1) Different lowercase letters within the same column at the same larval stage indicate significant difference among different treatment time, and different uppercase letters within the same row indicate significant difference among different treatment temperature ($P<0.05$, Duncan’s test)

影响。老熟幼虫经短时高温处理后, 存活率减少; 高温处理 4 h 后, 存活率由 38 ℃ 的 91.57% 降至 44 ℃ 的 0; 38 ℃ 处理 4 h 的存活率显著低于处理 1 和 2 h, 但处理 1 和 2 h 间差异不显著; 41 ℃ 条件下的存活率为处理 1 h>2 h>4 h, 且各处理间差异显著。

2.2 幼虫期短时高温处理对井上蛀果斑螟初孵幼虫发育历期和存活率的影响

由表 2 可知, 处理时间 ($F=12.450, P<0.01$)、温度 ($F=8.165, P<0.01$) 以及温度与处理时间的交互

效应 ($F=3.792, P<0.05$) 对幼虫发育历期的影响不尽相同。单因素方差分析结果表明, 处理 4 h 后, 初孵幼虫的发育历期由 35 ℃ 的 15.69 d 延长至 41 ℃ 的 21.74 d; 41、38 ℃ 处理 4 h 的幼虫发育历期显著长于 35 ℃ 处理的; 35~41 ℃ 处理 1 和 2 h 的发育历期也存在相似结果。初孵幼虫在 41 和 38 ℃ 各处理的发育历期均长于对照; 在 35 ℃ 条件下, 随处理时间的延长, 幼虫发育历期呈缩短的趋势, 但与对照差异不显著。

表 2 幼虫期短时高温处理对井上蛀果斑螟初孵幼虫发育历期及存活率的影响¹⁾
Table 2 Effects of short-term exposure of neonate larvae to high temperature on the larval duration and survival rate of *Assara inouei*

<i>t</i> (处理)/h Treatment time	发育历期/d Larval duration			存活率/% Survival rate		
	35 ℃	38 ℃	41 ℃	35 ℃	38 ℃	41 ℃
0(CK)	17.56±1.97aA	17.56±1.97cA	17.56±1.97bA	68.24±2.68aA	68.24±2.68aA	68.24±2.68aA
1	16.32±1.52aB	19.16±2.43bA	20.19±1.09abA	64.38±4.51aA	40.06±2.47bB	33.35±1.02bC
2	16.08±1.34aB	21.25±2.30aA	19.83±2.12bA	53.74±2.34bA	37.83±2.39bcB	26.77±2.11cC
4	15.69±1.21aB	20.84±1.23abA	21.74±1.34aA	48.86±1.78cA	34.51±0.76cB	22.24±0.64cC

1) 表中数据为平均值±标准差, 对同一参数, 同列数据后不同小写字母表示不同处理时间存在显著差异, 同行数据后不同大写字母表示不同温度间存在显著差异($P<0.05$, Duncan's法)
1) Datum in the table is mean ± SE, for the same parameter, different lowercase letters within the same column indicate significant difference among different treatment time, and different uppercase letters within the same row indicate significant difference among different treatment temperature($P<0.05$, Duncan's test)

随温度的升高和处理时间的延长, 井上蛀果斑螟幼虫期的存活率逐渐减小 (表 2)。处理时间 ($F=102.673, P<0.01$), 温度 ($F=26.756, P<0.01$), 温度与处理时间的交互效应 ($F=6.090, P<0.01$) 对幼虫存活率有显著影响。处理 4 h 后, 初孵幼虫的存活率由 35 ℃ 的 48.86% 降至 41 ℃ 的 22.24%; 处理 4 h, 41 ℃ 的存活率显著低于 35 和 38 ℃ 的; 35~41 ℃ 处理 1 和 2 h 的存活率也存在相似结果。35 ℃ 处理 1 h 的存活率显著高于处理 2 和 4 h, 但与对照差异不显著; 38 和 41 ℃ 处理 1 h 的存活率高于处理 2 和 4 h, 但显著低于对照。

2.3 幼虫期短时高温处理对井上蛀果斑螟化蛹率的影响

由表 3 可知, 井上蛀果斑螟初孵幼虫经不同温度、不同时间处理后, 各处理化蛹率与对照均无显著差异 ($F=0.753, P>0.05$)。老熟幼虫经不同温度、时间处理后, 各处理化蛹率与对照差异显著 ($F=42.206, P<0.01$)。处理时间相同时, 随温度的升高, 老熟幼虫的化蛹率均显著降低, 35 和 41 ℃ 处理 1 h 的化蛹率分别为 86.49% 和 70.44%, 而 35 和 41 ℃ 处理 4 h 的化蛹率分别为 78.89% 和 50.53%。温度相同时, 随处理时间的增加, 老熟幼虫的化蛹率亦

表 3 井上蛀果斑螟幼虫期短时高温处理对化蛹率的影响¹⁾
Table 3 Effect of short-term exposure of larvae to high temperature on the pupation rate of *Assara inouei*

处理 Treatment		化蛹率/% Pupation rate	
$\theta/^\circ\text{C}$	<i>t</i> /h	初孵幼虫 Neonate larvae	老熟幼虫 Mature larvae
25	(CK)	87.72±4.95a	87.72±4.95a
	1	89.35±4.56a	86.49±5.43a
	2	85.94±5.31a	83.15±3.64ab
35	4	87.13±6.37a	78.89±5.20bc
	1	88.32±5.44a	74.72±6.31c
	2	86.09±6.32a	75.40±5.96c
41	4	85.41±2.56a	67.67±3.67d
	1	86.38±4.27a	70.44±4.19d
	2	88.84±5.19a	58.98±6.04e
	4	85.63±3.38a	50.53±4.77f

1) 表中数据为平均值±标准差, 同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$, Duncan's法)
1) Datum in the table is mean ± SE, different lowercase letters within the same column indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's test)

显著降低, 35 ℃ 处理 1 和 4 h 的化蛹率分别为 86.49% 和 78.89%, 而 41 ℃ 处理 1 和 4 h 的化蛹率分别为 70.44% 和 50.53%。

2.4 幼虫期短时高温处理对井上蛀果斑螟蛹质量、蛹历期及羽化率的影响

由表 4 可知, 井上蛀果斑螟初孵幼虫经不同温度、不同时间处理后, 各处理的蛹质量、蛹历期与对照差异不显著 (蛹质量: $F=0.659, P>0.05$; 蛹历期: $F=0.867, P>0.05$)。老熟幼虫经不同温度、

不同时间处理后, 各处理的蛹质量及蛹历期与对照差异显著 (蛹质量: $F=14.223, P<0.01$; 蛹历期: $F=3.756, P<0.05$)。老熟幼虫 38 ℃ 4 h、41 ℃ 2 和 4 h 处理组的蛹质量与对照组差异显著, 其余处理组与对照无显著差异; 38 和 41 ℃ 各时间处理组的蛹历期均长于对照; 38 ℃ 4 h 和 41 ℃ 各处理组的蛹历期与对照差异显著, 但各处理组间则无显著差异。

表 4 井上蛀果斑幼虫期短时高温处理对蛹质量、蛹历期及羽化率的影响¹⁾
Table 4 Effects of short-term exposure of larvae to high temperature on the pupal weight, pupa duration and emergence rate of *Assara inouei*

处理 Treatment		蛹质量/mg Pupal weight		蛹历期/d Pupa duration		羽化率/% Emergence rate	
$\theta/^\circ\text{C}$	t/h	初孵幼虫	老熟幼虫	初孵幼虫	老熟幼虫	初孵幼虫	老熟幼虫
		Neonate larvae	Mature larvae	Neonate larvae	Mature larvae	Neonate larvae	Mature larvae
25 (CK)		15.65±0.67a	15.65±0.67a	7.76±0.55a	7.76±0.55b	94.48±2.35a	94.48±2.35a
35	1	14.67±0.72a	14.43±1.21ab	6.82±0.48a	7.20±1.58b	93.32±4.57a	91.74±5.31ab
	2	15.91±0.81a	15.07±0.94a	7.74±0.61a	7.69±1.57b	94.74±4.32a	90.53±3.67ab
	4	13.89±0.76a	13.91±0.78ab	7.63±0.39a	7.65±1.49b	91.90±5.38a	88.57±4.45b
38	1	14.26±1.13a	14.60±0.80ab	7.72±0.60a	8.47±2.54ab	93.37±3.48a	83.79±5.70c
	2	14.75±0.94a	13.87±0.75ab	8.25±0.42a	8.78±2.83ab	93.59±5.31a	84.31±2.61c
	4	13.79±0.98a	12.67±0.54bc	8.41±0.79a	9.31±2.70a	92.86±3.35a	77.62±3.70d
41	1	14.61±0.76a	13.14±0.62bc	7.95±0.95a	9.04±2.63a	92.24±4.06a	79.85±3.66cd
	2	13.94±0.88a	12.85±0.83bc	8.04±0.72a	9.23±2.71a	92.73±4.58a	66.76±4.22e
	4	13.85±1.01a	11.28±0.87c	7.79±0.86a	9.18±1.48a	91.31±2.34a	68.39±3.38e

1) 表中数据为平均值±标准差, 同列数据后不同小字母表示差异显著($P<0.05$, Duncan's法)
1) Datum in the table is mean ± SE, different lowercase letters within the same column indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's test)

由表 4 可知, 井上蛀果斑螟初孵幼虫经不同温度、不同时间处理后, 各处理组蛹的羽化率与对照均无显著差异 ($F=0.428, P>0.05$)。老熟幼虫经不同温度、不同时间处理后, 各处理组蛹的羽化率与对照差异显著 ($F=12.654, P<0.01$)。处理时间相同时, 随温度的升高, 老熟幼虫蛹的羽化率显著降低, 35 和 41 ℃ 处理 1 h 的羽化率分别为 91.74% 和 79.85%, 差异显著; 35 和 41 ℃ 处理 4 h 的羽化率分别为 88.57% 和 68.39%, 差异显著。温度相同时, 随处理时间的增加, 老熟幼虫蛹的羽化率降低, 35 ℃ 处理 1 和 4 h 的羽化率分别为 91.74% 和 88.57%, 差异不显著; 41 ℃ 处理 1 和 4 h 的羽化率分别为 79.85% 和 68.39%, 差异不显著。

2.5 井上蛀果斑螟幼虫期短时高温处理对成虫产卵期及寿命的影响

由表 5 可知, 初孵幼虫经不同温度、不同时间处理后, 各处理的产卵前期、产卵期及雌雄虫寿命

与对照差异均不显著 (产卵前期: $F=0.458, P>0.05$; 产卵期: $F=0.653, P>0.05$; 雌虫寿命: $F=1.206, P>0.05$; 雄虫寿命: $F=1.057, P>0.05$)。老熟幼虫经不同温度、不同时间处理后, 各处理的产卵前期及雌虫寿命与对照差异均不显著 (产卵前期: $F=0.680, P>0.05$; 雌虫寿命: $F=0.552, P>0.05$); 但产卵期及雌雄虫寿命与对照差异显著 (产卵期: $F=3.936, P<0.05$; 雌虫寿命: $F=5.447, P<0.05$)。老熟幼虫 41 ℃ 各处理的产卵期显著短于对照, 各处理间无显著差异; 38 ℃ 4 h 和 41 ℃ 各处理的雌虫寿命均显著短于对照。

2.6 井上蛀果斑螟幼虫期短时高温处理对成虫产卵量及卵孵化的影响

由表 6 可知, 井上蛀果斑螟初孵幼虫经不同温度、不同时间处理后, 各处理成虫的产卵量及所产卵的孵化率与对照差异均不显著 (产卵量: $F=1.403, P>0.05$; 孵化率: $F=0.359, P>0.05$)。老熟幼

表 5 井上蛀果斑幼虫期短时高温处理对成虫产卵期及寿命的影响¹⁾

Table 5 Effects of short-term exposure of larvae to high temperature on the oviposition period and longevity of *Assara inouei* adult

处理		产卵前期/d		产卵期/d		雌虫寿命/d		雄虫寿命/d	
Treatment		Pre-oviposition period		Oviposition period		Female longevity		Male longevity	
$\theta/^{\circ}\text{C}$	t/h	初孵幼虫	老熟幼虫	初孵幼虫	老熟幼虫	初孵幼虫	老熟幼虫	初孵幼虫	老熟幼虫
		Neonate	Mature	Neonate	Mature	Neonate	Mature	Neonate	Mature
		larvae	larvae	larvae	larvae	larvae	larvae	larvae	larvae
25 (CK)		1.71±0.02a	1.71±0.02a	8.69±0.74a	8.69±0.74 a	14.47±1.73a	14.47±1.73a	12.59±1.46a	12.59±1.46a
35	1	1.68±0.03a	1.62±0.04a	7.31±0.85a	8.31±0.85a	13.38±1.18a	15.14±2.14a	11.87±1.33a	12.37±1.36a
	2	1.84±0.05a	2.10±0.02a	7.55±1.09a	8.14±1.09a	15.11±1.36a	13.81±1.59ab	12.69±1.78a	11.76±1.80a
	4	1.56±0.03a	1.74±0.04a	6.57±0.67a	7.63±0.67abc	14.28±1.55a	13.44±1.37ab	11.77±0.89a	13.04±1.93a
38	1	2.05±0.03a	1.60±0.00a	6.86±0.98a	6.48±0.98abc	13.71±1.42a	15.06±2.00a	12.28±1.74a	12.68±1.38a
	2	1.79±0.02a	1.77±0.05a	7.25±0.54a	5.59±0.54c	13.69±1.97a	14.87±1.42a	11.12±1.62a	12.31±1.55a
	4	2.04±0.05a	2.08±0.04a	7.84±0.71a	6.25±0.71bc	14.23±2.18a	11.90±1.63bc	10.94±0.90a	11.84±1.63a
41	1	1.73±0.06a	1.69±0.03a	6.63±0.66a	6.17±0.66bc	13.56±1.92a	12.78±1.81b	12.50±1.34a	12.00±1.49a
	2	1.80±0.04a	1.84±0.02a	7.39±0.82a	5.80±0.82c	13.89±1.49a	11.06±1.76bc	11.53±1.12a	11.64±1.07a
	4	1.89±0.07a	1.95±0.06a	6.76±0.47a	5.21±0.47c	14.04±1.85a	9.57±2.05c	11.67±1.37a	12.17±1.22a

1) 表中数据为平均值±标准差, 同列数据后不同小字母表示差异显著($P<0.05$, Duncan's法)
1) Datum in the table is mean ± SE, different lowercase letters within the same column indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's test)

表 6 井上蛀果斑幼虫期短时高温处理对成虫平均单雌产卵量及卵孵化率的影响¹⁾

Table 6 Effects of short-term exposure of larvae to high temperature on the number of eggs laid per female and egg hatching rate of *Assara inouei* adult

处理		平均单雌产卵量/粒		卵孵化率/%	
Treatment		Number of eggs laid per female		Egg hatching rate	
$\theta/^{\circ}\text{C}$	t/h	初孵幼虫	老熟幼虫	初孵幼虫	老熟幼虫
		Neonate larvae	Mature larvae	Neonate larvae	Mature larvae
25 (CK)		89.47±5.26a	89.47±5.26a	57.89±2.65a	57.89±3.65a
35	1	91.87±4.56a	84.45±4.57ab	60.14±1.54a	58.20±1.58a
	2	88.69±4.34a	86.60±3.65ab	54.27±2.17a	64.69±2.57a
	4	83.79±3.90a	85.09±3.32ab	56.63±2.23a	54.25±1.49a
38	1	90.28±4.96a	90.15±5.94a	59.72±3.75a	60.61±3.54a
	2	91.12±4.62a	87.42±4.06a	62.25±2.69a	57.31±2.83a
	4	86.34±3.98a	80.62±3.41ab	55.18±2.58a	63.74±2.70a
41	1	84.57±5.34a	76.88±2.94b	55.33±1.63a	54.24±2.63a
	2	86.53±3.12a	75.09±4.51b	62.87±2.54a	59.23±2.71a
	4	88.67±4.37a	64.30±5.37c	53.62±1.06a	58.48±1.48a

1) 表中数据为平均值±标准差, 同列数据后不同小字母表示差异显著($P<0.05$, Duncan's法)
1) Datum in the table is mean ± SE, different lowercase letters within the same column indicate significant difference ($P<0.05$, Duncan's test)

虫不同温度、不同时间处理后, 各处理成虫的产卵量与对照差异显著 (产卵量: $F=3.152$, $P<0.05$), 卵孵化率与对照差异不显著 (孵化率: $F=0.945$, $P>0.05$)。老熟幼虫 41 °C 各处理的平均单雌产卵量与对照差异显著, 41 °C 4 h 处理的平均单雌产卵量显著少于其余处理组。

3 讨论与结论

昆虫的生存和发育存在温度上限, 一般为 40~50 °C, 超出此范围, 昆虫可能死亡^[19-21]。本研究中, 随温度的升高和处理时间的延长, 井上蛀果斑螟幼虫的存活率逐渐减少。初孵幼虫经短时高温处理

1、2 和 4 h 后,其存活率由 32 ℃ 的 100% 降至 44 ℃ 的 0。老熟幼虫在 32 和 35 ℃ 处理不同时间,各处理组间的存活率差异不明显;但老熟幼虫经短时高温处理 4 h 后,其存活率由 38 ℃ 的 91.57% 降至 44 ℃ 的 0。以上结果说明,35 ℃ 以下的温度对井上蛀果斑螟幼虫的存活不存在胁迫,44 ℃ 的极端高温对幼虫的生存不利。

本试验结果显示,井上蛀果斑螟老熟幼虫在 35~41 ℃ 各处理的存活率均高于相同条件下的初孵幼虫,表明短时高温对井上蛀果斑螟低龄幼虫致死作用明显,老熟幼虫对高温有较强的耐受能力;幼虫的存活率不仅受温度及处理时间的影响,且与其受高温胁迫时的龄期有关。这也与亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*^[22]、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*^[23]、桃小食心虫^[16] 等的研究结果一致。原因可能是初孵幼虫的体表较柔软,角质层较薄;而老熟幼虫的体表相对较坚硬,角质层较厚,降低了体内水分损失,保持体内生命活动的正常进行^[17]。

昆虫在高温胁迫后能够存活,但其温度适应性会受到明显影响^[24-25]。本试验中,井上蛀果斑螟初孵幼虫经短时高温处理后,除幼虫期的存活率及发育历期受到明显影响外,其后续虫态的发育及繁殖并未受到明显影响;但老熟幼虫经短时高温处理后,其蛹的发育和成虫的生殖均受到一定的影响,特别是 41 ℃ 条件下受到的影响最为明显。造成两者后续虫态发育和生殖差异的原因,可能是短时高温处理后,初孵幼虫可通过取食补充体内丢失的水分来抵抗高温的伤害,同时通过较长时间的幼虫期及蛹的变态发育,对短时高温带来的伤害进行了自我完全修复,故高温伤害不会传给后续虫态,表明短时高温对井上蛀果斑螟初孵幼虫的影响是即时的,这与梁菲菲等^[13]对二点委夜、李定旭等^[14]对桃小食心虫的研究结果类似;但对老熟幼虫的影响则存在时滞效应,老熟幼虫即将进入不食不动的预蛹期,短时高温处理后,不能通过取食来补充体内丢失的水分,亦缺失幼虫期的自我修复时期,所以把伤害传递给了下一虫态,这与 Zhang 等^[26]对小菜蛾 *Plutella xylostella*、Piyaphongkul 等^[27]对褐飞虱 *Nilaparvata lugens*、杨帅等^[21]对土耳其斯坦叶螨 *Tetranychus turkestanii* 和截形叶螨 *Tetranychus truncatus* 的研究结果类似。不论老熟幼虫还是初孵幼虫,经短时高温处理后,井上蛀果斑螟成虫所产卵的孵化率均与对照无显著差异,表明幼虫期的短时高温胁迫不会影响其孵化率。

本试验结果表明,井上蛀果斑螟老熟幼虫和初

孵幼虫在高温逆境下的生存和繁殖存在差异,初孵幼虫对高温的适应性高于老熟幼虫。本试验仅分析了短时高温下井上蛀果斑螟幼虫的存活、生长发育和繁殖特性,但短时高温对井上蛀果斑螟卵、蛹和成虫等虫态的影响作用还不明确。此外,夏季田间气温变化较为复杂,持续及变化高温对井上蛀果斑螟的影响以及该虫对高温的生理适应性均有待深入研究。

参考文献:

- [1] 何超,沈登荣,尹立红,等.不同石榴品种对井上蛀果斑螟生长发育和繁殖的影响[J].应用生态学报,2017,28(3):935-940.
- [2] PAEK M K, CHA J Y, BAE Y S. Two new records of phycitine moths (Lepidoptera, Pyralidae) in Korea[J]. Korean J Entomol, 2002, 32(2): 95-98.
- [3] DU Y L, LI H H, WANG S X. A taxonomic study on the genus *Assara* walker from China (Lepidoptera: Pyralidae: Phycitinae)[J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2002, 27(1): 8-19.
- [4] 白玲玲,张祖兵,杨仕生,等.云南石榴新纪录害虫井上蛀果斑螟的形态学及种群动态特征[J].云南农业大学学报(自然科学),2005,20(2):183-187.
- [5] 秦卓,蒋智林,李正跃,等.石榴不同部位对井上蛀果螟 (*Assara inoue*) 产卵行为的影响[J].云南大学学报(自然科学),2008,30(S1):123-126.
- [6] 邵淑霞,李春艳,杨仕生,等.井上蛀果斑螟幼虫和蛹的形态描述及生物学特性[J].云南农业大学学报(自然科学),2008,23(1):22-24.
- [7] 何超,沈登荣,尹立红,等.井上蛀果斑螟成虫饲养密度对其寿命及繁殖力的影响[J].西北农业学报,2017,26(6):950-955.
- [8] CUI Y D, DU Y Z, LU M X, et al. Antioxidant responses of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae exposed to thermal stress[J]. J Therm Biol, 2011, 36(5): 292-297.
- [9] MIRONIDIS G K, SAVOPOULOU-SOULTANI M. Effects of heat shock on survival and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) adults[J]. J Therm Biol, 2010, 35(2): 59-69.
- [10] 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):189-199.
- [11] RUKKE B A, AAK A, EDGAR K S. Mortality, temporary sterilization, and maternal effects of sublethal heat in bed bugs[J]. PLoS One, 2015, 10(5): e0127555.
- [12] ZHAO M T, WANG Y, ZHOU Z S, et al. Effects of periodically repeated heat events on reproduction and ovary development of *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae)[J]. J Econ Entomol, 2016, 109(4): 1586-1594.
- [13] 梁菲菲,王振营,何康来,等.幼虫期短时高温暴露对二点委夜蛾存活和繁殖的影响[J].昆虫学报,2016,59(9):

991-996.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 鲍晓文, 房爱省, 仵均祥, 等. 短期高温对梨小食心虫成虫生殖及寿命的影响[J]. 果树学报, 2019, 36(4): 486-492.

[17] 姜姗, 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.

[18] 何超, 沈登荣, 尹立红, 等. 井上蛀果斑螟生物学特性研究[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(2): 292-297.

[19] GENG S, JUNG C. Effect of temperature on longevity and fecundity of *Phyllonorycter ringoniella* (Lepidoptera: Gracillariidae) and its oviposition model[J]. J Asia-Pac Entomol, 2017, 20(4): 1294-1300.

[20] 李国平, 封洪强, 黄博, 等. 短时高温暴露对绿盲蝽和中黑盲蝽存活及生殖的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 3939-3945.

[21] 杨帅, 赵冰梅, 李广云, 等. 短时高温暴露对土耳其斯坦叶螨和截形叶螨的影响[J]. 昆虫学报, 2013, 56(3): 276-285.

[22] 全玉东, 何康来, 王振营, 等. 短时极端高温对亚洲玉米螟卵、初孵幼虫和成虫的影响[J]. 植物保护学报, 2015, 42(6): 985-990.

[23] MAHROOF R, ZHU K Y, SUBRAMANYAM B. Change in expression of heat shock proteins in *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleopteran: Tenebrionidae) in relation to developmental stage, exposure time, and temperature[J]. Ann Entomol Soc Am, 2005, 98(1): 100-107.

[24] 马罡, 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.

[25] ZHU G D, XUE M, LUO Y, et al. Effects of short-term heat shock and physiological responses to heat stress in two *Bradysia* adults, *Bradysia odoriphaga* and *Bradysia difformis*[J]. Sci Rep, 2017, 7: 13381.

[26] ZHANG W, CHANG X Q, HOFFMANN A, et al. Impact of hot events at different developmental stages of a moth: The closer to adult stage, the less reproductive output[J]. Sci Rep, 2015, 5: 10436.

[27] PIYAPHONGKUL J, PRITCHARD J, BALE J. Heat stress impedes development and lowers fecundity of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål)[J]. PLoS One, 2012, 7(10): e47413.

【责任编辑 霍 欢】