

周期性高温对丽蚜小蜂田间应用效果的影响

尹园园, 翟一凡, 林清彩, 于毅, 郑礼, 陈浩*

(山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省植物病毒学重点实验室, 天敌与授粉昆虫研究中心, 济南 250100)

摘要 为了探究高温逆境条件下丽蚜小蜂在田间的释放效果及高温对丽蚜小蜂生长发育、生殖及存活的影响, 设计了田间及室内验证试验。在夏季高温季节监测棚内温度, 并释放丽蚜小蜂, 测定其对粉虱的防治效果。在室内周期性重复高温(26、30、35、40、45℃), 测定高温对丽蚜小蜂羽化率、寿命及产卵量的影响。结果表明, 夏季高温季节释放丽蚜小蜂, 其对粉虱的控制效果较差, 并且在田间寄生率较低。温度升高, 丽蚜小蜂蛹羽化率、寿命及产卵量均随之降低。26~45℃丽蚜小蜂羽化率从93.45%降至0; 寿命从13.55 d下降至1 d; 产卵量从92.05头下降至0头。繁育丽蚜小蜂的温度最好控制在30℃以下; 在田间应用过程中棚内温度不要长时间保持在35℃以上, 否则严重影响丽蚜小蜂的应用效果。

关键词 周期性高温; 丽蚜小蜂; 田间应用

中图分类号: S 476.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018230

Impacts of periodic heat events on the application of *Encarsia formosa*

YIN Yuanyuan, ZHAI Yifan, LIN Qingcai, YU Yi, ZHENG Li, CHEN Hao

(Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Shandong Provincial Key Laboratory for Plant Virology, Beneficial Insects Research Center, Jinan 250100, China)

Abstract To understand the control effect of *Encarsia formosa* on whitefly in greenhouses under heat stress and the effect of heat stress on the growth behavior of *E. formosa*, we designed experiments inside and outside the laboratory. We monitored temperature of greenhouse in summer and applied *E. formosa* to control whitefly. In addition, we conducted an experiment to understand the impacts of periodic repeated heat events on the emergence rate, longevity, fecundity of *E. formosa*. The results showed that the control effect of *E. formosa* to whitefly was poor during the summer. *E. formosa* had a low parasitic rate in the field. The emergence rate, longevity, fecundity of *E. formosa* decreased significantly with the increase of temperature. At 26 - 45℃, the emergence rate of *E. formosa* decreased from 93.45% to 0, and the longevity decreased from 13.55 d to 1 d, while the fecundity decreased from 92.05 to 0 individual. The highest temperature should be below 30℃ when breeding *E. formosa*; the temperature in the greenhouse shouldn't be above 35℃ for a long time when applying *E. formosa*; otherwise, it might affect the application of *E. formosa*.

Key words periodically high temperature; *Encarsia formosa*; field application

温度是影响昆虫生长发育、生殖及存活等生命活动最重要的因素^[1-3]。田间释放短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum*, 温度高于 37℃ 时, 寄生蜂羽化率显著降低, 并且继续培养高温冲击条件下产的卵依旧不耐高温^[4]。短时高温冲击对天敌昆虫东亚小花蝽 *Orius sauteri*^[5]、加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus*^[6]、双尾新小绥螨 *N. bicaudus*^[7]、尼氏钝绥螨 *Amblyseius nicholsi*^[8] 的生长发育均造成较大的影响, 从而影响田间防治效果。

丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* 是粉虱类害虫的重要天敌, 目前已实现商业化, 用于控制温室作物粉虱类害虫。有关丽蚜小蜂的生物学^[9-11] 以及生态学特性^[12-13], 前人都进行了较为广泛、深入的研究。但是, 高温条件下丽蚜小蜂的应用效果鲜有报道。关于温度对丽蚜小蜂生长发育的影响, 大部分研究只考虑恒温而没有考虑到温室内的实际温度差, 并且最高温度仅研究至 33℃^[14]。夏季温室内往往会出现周期性重复高温^[15], 极端高温或低温甚至直接导

收稿日期: 2018-05-31 修订日期: 2018-07-19

基金项目: 山东省重大科技创新工程(2018CXGC0206); 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项(YS2017YFGH000664); 国家重点研发计划(2017YFD0201000); 山东省农业科学院农业科技创新工程(CXG2018E04)

* 通信作者 E-mail: cha_active@163.com

致昆虫死亡^[16]。因此,本试验探究高温季节丽蚜小蜂在田间的应用效果及影响,旨在为丽蚜小蜂的繁育及田间应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

寄主植物:番茄 *Lycopersicon esculentum*, 品种为‘金鹏 11 号’;粉虱:温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 在室内用番茄植株连代饲养;丽蚜小蜂 *Encarsia formosa*:山东鲁保科技开发有限公司提供蜂卡,每卡约 200 头。

1.2 试验方法

1.2.1 高温季节丽蚜小蜂的田间应用

在山东省济阳县崔寨镇选取具有代表性的 2 个番茄圆拱大棚,每个面积为 1 300 m²,依靠顶部和侧面的通风口通风降温。在棚内放置温湿度记录仪(杭州路格科技有限公司生产),记录大棚内温湿度。定植时间均为 2017 年 6 月 15 日,至 2017 年 9 月 5 日收获完毕。棚 1 采用丽蚜小蜂防治粉虱,2017 年 6 月 22 日、6 月 29 日、7 月 12 日分别释放 1 次,每次 2 000 头/667 m²;棚 2(对照棚)采用化学防治,2017 年 6 月 25 日使用烟熏剂(10%异丙威烟剂,河南省安阳市安林生物化工有限责任公司生产)熏棚,其他常规管理水平保持一致。

调查方法:(1)棚 1:每次放蜂前采用“Z”字形随机选取 10 个点,每点调查 3 株,调查整株番茄的粉虱成虫数;棚 2:调查方法同棚 1;(2)首次放蜂 15 d 后开始从田间取样,每点随机摘取有 4 龄白粉虱若虫的叶片 3 片,室内观察 4~6 d,统计寄生数量和寄生率;(3)每次释放丽蚜小蜂前留下同一批次的 5 张蜂卡置于(26±1)°C 人工气候箱内,羽化完全后镜检其羽化率;后两次放蜂前取回上次释放的丽蚜小蜂卡 5 张,室内镜检其在田间的羽化率。

1.2.2 高温对丽蚜小蜂蛹羽化率的影响

根据夏季温室温度的变化情况,在室内利用人工气候箱模拟温室温度,设置 30、35、40、45°C 4 个高温,设 10:00—15:00 为高温阶段,其他时间为 26°C,RH 60%±5%,L//D=14 h//10 h,以恒温 26°C 为对照。将丽蚜小蜂的 3 日龄黑蛹粘在蜂卡上,置于上述条件下,15 d 后统计丽蚜小蜂蛹羽化率。每处理 1 张蜂卡,200 头左右,重复 10 次。

1.2.3 高温对丽蚜小蜂成蜂寿命及产卵量的影响

取羽化 24 h 内的丽蚜小蜂成虫置于玻璃试管

内,每管 100 头,3 个重复,并补充蜂蜜水,置于 1.2.2 高温条件的气候箱中,每天统计不同条件下的成虫寿命。

将番茄苗在温室内培育至 5~6 片真叶时去除顶端心叶,选取健康、叶片平整的番茄苗置于温室白粉虱的繁育温室,接种 24 h 后清除叶片上粉虱成虫,将番茄苗放入养虫笼内让粉虱发育。当粉虱若虫发育至 2~3 龄时,剪下带粉虱若虫的番茄叶片,镜检,保留 30 头 2~3 龄若虫,其余若虫用昆虫针去除,并参照戴鹏的装置^[17],将番茄叶片进行水培处理,并放入透明接虫杯内备用。每个接虫杯内引入 1 头羽化后不超过 24 h 的丽蚜小蜂,并补充蜂蜜水,置于 1.2.2 高温条件的气候箱中,每两天更换一次叶片,直至丽蚜小蜂死亡,并将换下来的番茄叶片置于 26°C 气候箱中。每天记录丽蚜小蜂的存活、死亡(小毛笔轻触不动为死亡)、或逃逸情况;8~10 d 蜂发育至蛹期时,记录每叶片上温室白粉虱若虫被寄生的数量。重复 30 次。

1.2.4 数据处理

试验数据采用 Excel 及 SPSS 20.0 软件进行统计分析。温度对丽蚜小蜂寿命、羽化率及产卵量的影响均采用单因素方差分析(ANOVA)中的 Turkey 法多重比较分析差异显著性,显著水平 0.05。

2 结果与分析

2.1 高温季节丽蚜小蜂的田间应用效果

自 2017 年 6 月 22 日开始连续测定了 20 d 棚内的温度,结果表明,日最高温度 45°C 以上的天数占 55%,40~45°C 占 35%,40°C 以下的占 10%。并且高温持续时间一般都在 5 h 以上(图 1)。

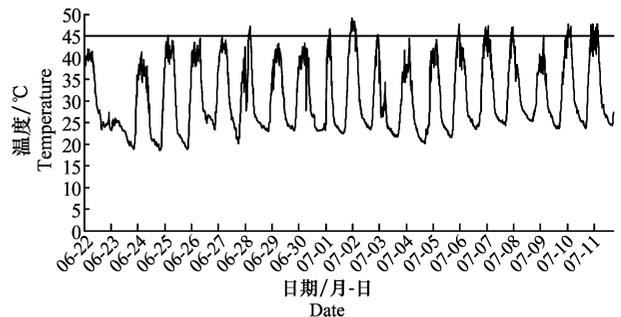


图 1 夏季放蜂期间棚内温度变化

Fig. 1 Daily temperature fluctuations in the greenhouse

通过图 2 可以看出,放蜂棚及对照棚内粉虱成虫数量均处于一直上升状态,至 7 月 22 日均上升到

10 头/株以上。并且丽蚜小蜂在田间寄生率较低,两次调查结果分别为 12.70%、11.88%。

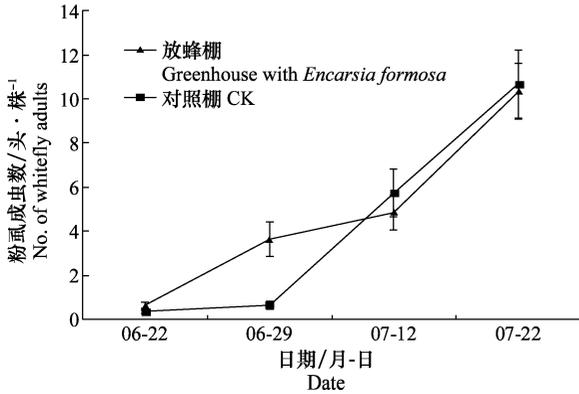


图 2 棚内粉虱成虫种群动态

Fig. 2 Population dynamics of whitefly adults in the greenhouse

从图 3 可以看出,丽蚜小蜂在室内的平均羽化率为 94.39%,显著高于田间平均羽化率($F_{4,19} = 6.84$; $P = 0.04$)。

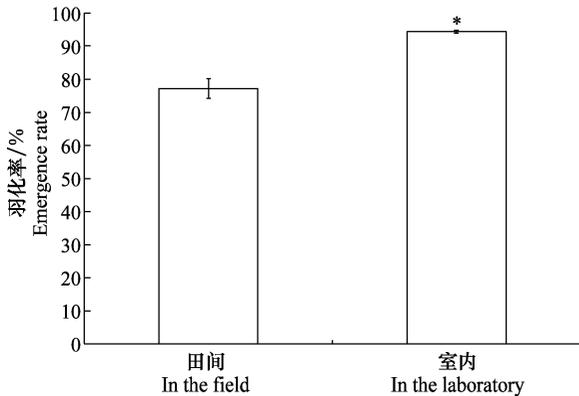


图 3 丽蚜小蜂田间羽化率与室内羽化率的比较

Fig. 3 Comparison of the emergence rates of *Encarsia formosa* in the greenhouse and laboratory

2.2 温度对丽蚜小蜂羽化率的影响

在试验温度范围内,丽蚜小蜂蛹羽化率随温度的升高而下降,35、40、45℃条件下蛹羽化率显著低于 26℃ ($F_{4,45} = 614.89$; $P < 0.01$) (图 4),45℃下丽蚜小蜂不能羽化。30℃与 26℃没有显著性差异,羽化率分别为 90.66%±0.84%、93.45%±0.33%。

2.3 温度对丽蚜小蜂成蜂寿命的影响

丽蚜小蜂成虫寿命受温度和食物的影响很大(图 5)。在试验温度范围内,丽蚜小蜂成蜂寿命随温度的升高而显著下降,并且仅以蜂蜜水饲喂的丽蚜小蜂成蜂寿命显著低于以蜂蜜水和粉虱若虫同时

饲喂的丽蚜小蜂 ($F_{9,590} = 59.49$; $P < 0.01$);丽蚜小蜂在两种食物条件下均是 26℃条件下寿命最长,仅饲喂蜂蜜水平均寿命为(9.07±0.56) d,同时饲喂粉虱若虫和蜂蜜水平均寿命为(13.55±2.22) d;两种食物条件下,45℃高温周期后丽蚜小蜂成蜂全部死亡,寿命仅为 1 d。

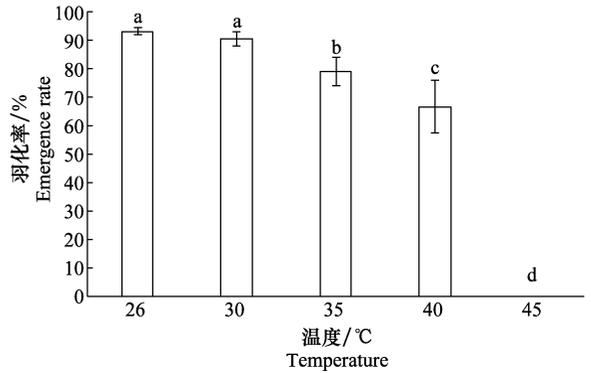


图 4 温度对丽蚜小蜂羽化率的影响

Fig. 4 Effect of temperature on the emergence rates of *Encarsia formosa*

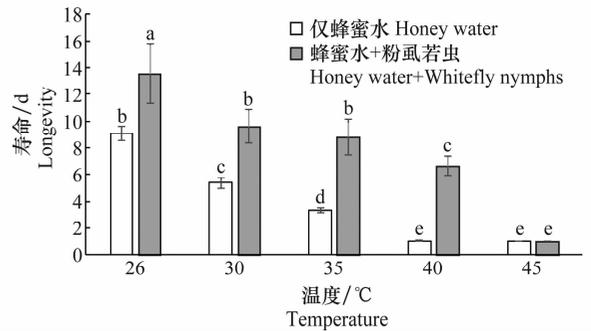


图 5 温度对丽蚜小蜂成蜂寿命的影响

Fig. 5 Effect of temperature on the longevity of *Encarsia formosa*

丽蚜小蜂成蜂最长寿命随温度的升高而降低(图 6)。当仅饲喂蜂蜜水时,26、30、35、40、45℃条件下丽蚜小蜂成蜂寿命最长分别为 20、16、7、1、1 d;当同时饲喂蜂蜜水和粉虱若虫时,26、30、35、40、45℃条件下丽蚜小蜂成蜂寿命最长分别为 35、23、19、13、1 d。

2.4 温度对丽蚜小蜂产卵量的影响

丽蚜小蜂的产卵量随温度的升高而降低(图 7)。不同温度条件下,丽蚜小蜂的产卵量存在显著差异 ($F_{4,95} = 19.96$; $P < 0.01$)。26℃条件下丽蚜小蜂产卵量最高,平均每头丽蚜小蜂可产卵(92.05±12.34)粒;45℃条件下,丽蚜小蜂全部死亡,产卵量为 0。

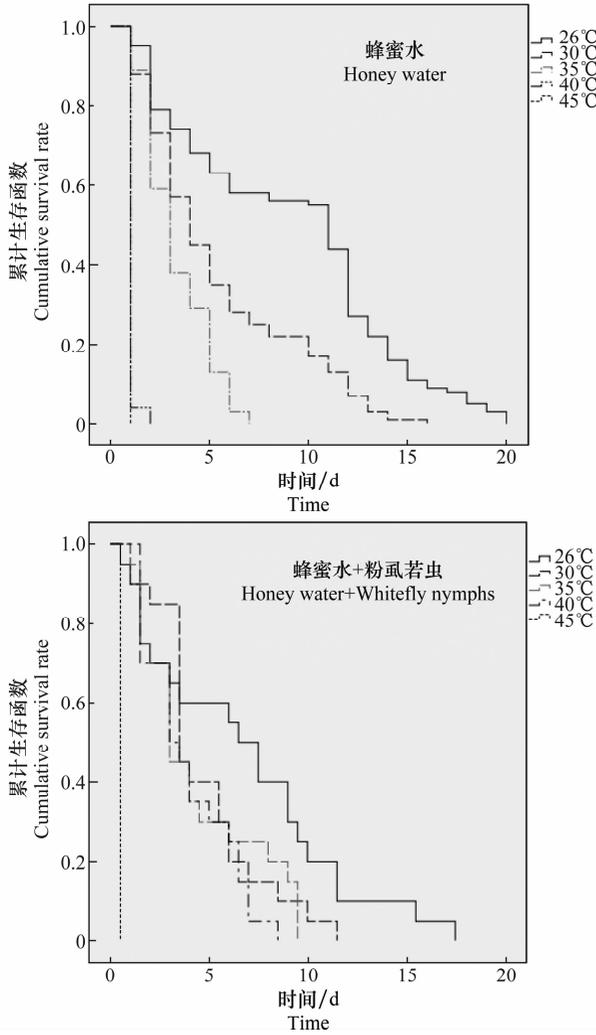


图 6 不同温度条件下丽蚜小蜂存活曲线

Fig. 6 Survival curves of *Encarsia formosa* at different temperatures

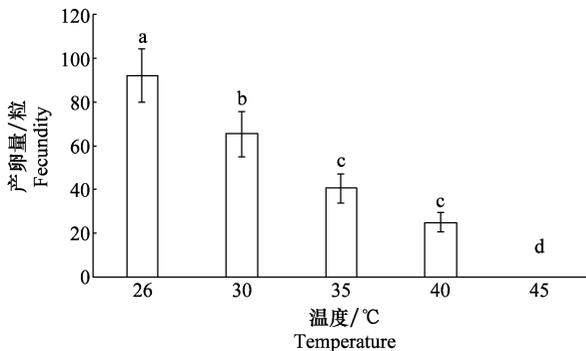


图 7 温度对丽蚜小蜂产卵量的影响

Fig. 7 Effect of temperature on the fecundity of *Encarsia formosa*

3 结论与讨论

每年 11 月至翌年 6 月在温室中使用丽蚜小蜂可

以将粉虱数量控制在较低水平^[18-19]。夏季高温季节释放丽蚜小蜂对粉虱的控制效果较差,粉虱数量呈上升趋势,并且丽蚜小蜂在田间寄生率较低,仅为 12.70%,后期只能采用化学防治手段。因此在夏季高温季节,不建议在降温措施较差的棚内释放丽蚜小蜂。

丽蚜小蜂对高温耐受力较差,其幼虫的致死温度为 38.3°C,23~29°C 范围内是丽蚜小蜂最适产卵温度^[9]。从 26°C 至 45°C,丽蚜小蜂羽化率从 93.45% 减少到 0。朱楠等^[13]的研究表明 26、29、32°C 丽蚜小蜂羽化率分别为 98.4%±1.1%、99.5%±0.2%、85.7%±5.6%,与本研究结果趋势一致。仅提供蜂蜜水时,丽蚜小蜂成虫寿命从 9.07 d 减少到 1 d;同时提供蜂蜜水和粉虱若虫时寿命从 13.55 d 减少到 1 d;产卵量从 92.05 粒减少到 0 粒。这些结果与前人的研究结果^[13-14,20]趋势一致。随着温度的升高,丽蚜小蜂蛹的羽化率、成蜂的寿命、产卵量均下降。目前,农业生产中一般释放丽蚜小蜂蛹卡,需经历羽化期、成虫期、产卵期、卵-幼虫-蛹期,才能完成一个周期,而棚内高温对这几个发育时期均造成不利的影 响。在丽蚜小蜂的繁育及田间应用过程中应特别注意高温的影响。在繁育丽蚜小蜂的过程中温度最好控制在 30°C 以下,持续保持 31°C 高温会使丽蚜小蜂雄性后代增加^[21],影响繁育效率;在田间应用过程中棚内温度最好不要长时间保持在 35°C 以上,否则严重影响丽蚜小蜂的应用效果。有研究报道通过高温驯化可明显增强昆虫耐受极高温度的能力,使它们免于遭受过高温的伤害^[22],通过高温驯化或许可以增强丽蚜小蜂抵抗田间高温的能力,提高其田间应用效果。田间应用时,温度调控效果较差的棚谨慎使用丽蚜小蜂。

参考文献

[1] 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.
 [2] RATTE H T. Temperature and insect development [M]//HOFFMANN K H. Environmental physiology and biochemistry of insects. Berlin Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1984: 33-65.
 [3] HOFFMANN K H. Metabolic and enzyme adaptation to temperature [M]//HOFFMANN K H. Environmental physiology and biochemistry of insects. Berlin Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1985: 1-2.
 [4] LÓPEZ, J D, MORRISON R K. Effects of high temperatures on *Trichogramma pretiosum* programmed for field release [J]. Journal of Economic Entomology, 1980, 73(5): 667-670.

- 研究[J]. 高原医学, 1983(S2): 51-56.
- [5] 徐汉虹, 赵善欢. 植物精油在仓库害虫防治上的应用[J]. 粮食储藏, 1993(2): 5-8.
- [6] 尹文雅, 王小平. 仓储害虫的为害及化学防治现状[J]. 湖南农业科学, 2002(6): 54-56.
- [7] 李华. 烟叶仓储害虫的发生与防治现状[J]. 耕作与栽培, 2009(6): 3-4.
- [8] 吴厚斌, 孙艳萍, 刘莘莘, 等. 美国加强磷化铝和磷化镁管理[J]. 农药科学与管理, 2010, 31(6): 55-56.
- [9] 姚英娟, 薛东, 杨长举. 植物源农药在储粮害虫防治中的应用[J]. 粮食储藏, 2004, 33(2): 6-9.
- [10] 乔卿梅, 程茂高, 李先芳, 等. 植物源杀虫剂防治中药材仓储害虫的应用展望[J]. 中药材, 2016, 39(7): 1682-1685.
- [11] 田雨浓. 四种萜烯单体对大麦虫生物活性及其作用机理研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
- [12] 姚晶, 杨扬, 林鹏程. 头花杜鹃和千里香杜鹃叶中挥发油的化学成分分析[J]. 湖北农业科学, 2014(9): 2146-2148.
- [13] 李国材, 毕阳, 张忠, 等. 孜然精油对三种储粮害虫控制作用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(15): 97-101.
- [14] 鞠克升. 珠光香青挥发油对赤拟谷盗的驱避和触杀作用[J]. 甘肃农业科技, 2017(9): 29-33.
- [15] WU Yan, ZHANG Wenjuan, WANG Pingjuan, et al. Contact toxicity and repellency of the essential oil of *Liriope muscari* (DECN.) Bailey against three insect tobacco storage pests [C]//新常态 新发展 新作为——广西烟草 2015 年优秀学术论文集, 2016: 132-144.
- [16] 李媛, 谢令德, 贺艳萍. 天然除虫菊素对三种储粮害虫的触杀毒力测定[J]. 武汉轻工大学学报, 2014(3): 16-18.
- [17] 张夏亭, 聂秋林, 高欣. 除虫菊素的杀虫特性与作用机理[J]. 农药科学与管理, 2003, 24(2): 22-23.
- [18] YANG Kai, YOU Chunxue, WANG Chengfang, et al. Chemical composition and bioactivity of essential oil of *Atalantia guillauminii* against three species stored product insects [J]. Journal of Oleo Science, 2015, 64(10): 1101-1109.
- [19] 杨扬. 11 种藏药材挥发性成分研究[D]. 西宁: 青海民族大学, 2012.
- [20] WANG Ying, YOU Chunxue, WANG Chengfang, et al. Chemical constituents and insecticidal activities of the essential oil from *Alpinia officinarum* Hance rhizomes against *Lasioderma serricorn* [C]//中华中医药学会中药化学分会第九届学术年会论文集(第一册), 2014: 56-66.
- [21] 吴彦, 张文娟, 李志华, 等. 侧柏叶对烟草仓储害虫烟草甲和赤拟谷盗的毒杀作用[J]. 烟草科技, 2015, 48(10): 31-56.
- [22] 朱向可, 郭姗姗, 张喆, 等. 艳山姜叶挥发油对赤拟谷盗的杀虫活性[J]. 植物保护, 2017, 43(6): 147-151.
- [23] CHEN Haiping, YANG Kai, ZHENG Lishi, et al. Repellency and toxicity of essential oil from *Atractylodes chinensis* rhizomes against two stored-product insects [C]//中华中医药学会中药化学分会第九届学术年会论文集(第一册), 2014: 168-179.
- [24] 钟国华, 胡美英. 杜鹃花科植物活性成分及作用机制研究进展[J]. 植物科学学报, 2000, 18(6): 509-514.
- [25] 王晶磊, 肖雅斌, 邹春霞, 等. 主要植物源杀虫剂防治储粮害虫应用及展望[J]. 粮食科技与经济, 2014, 39(2): 47-50.
- [26] 杨凯凯, 高德良, 刘峰. 植物源杀虫剂的研究现状与展望[J]. 农药科学与管理, 2011, 32(7): 19-23.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 118 页)

- [5] 刘文静, 于毅, 张安盛, 等. 高温冲击对东亚小花蝽存活及生殖特性的影响[J]. 山东农业科学, 2011(2): 77-79.
- [6] 袁秀萍, 汪小东, 王佳武, 等. 短时高温对加州新小绥螨发育的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 853-858.
- [7] 李永涛, 刘敏, 潘云飞, 等. 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[J]. 应用昆虫学报, 2016, 53(1): 40-47.
- [8] 李鸿筠, 刘映红, 刘浩强, 等. 高温对尼氏钝绥螨的影响[J]. 中国生物防治, 2009, 25(S1): 1-5.
- [9] HODDLE M S, VAN DRIESCHE R G, SANDERSON J P. Biology and use of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa* [J]. Annual Review of Entomology, 1998, 43: 645-669.
- [10] 李元喜, 罗晨, 周长青. 烟粉虱两种寄生蜂生物学特性及寄主竞争关系研究[J]. 昆虫学报, 2008, 51(7): 738-744.
- [11] CHEN Z, XU R, KUANG R P, et al. Phototactic behaviour of the parasitoid *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) [J]. Biocontrol Science and Technology, 2016, 26(2): 250-262.
- [12] 徐维红, 朱国仁, 李桂兰, 等. 温度对丽蚜小蜂寄生烟粉虱生物学特性的影响[J]. 中国生物防治, 2003, 19(3): 103-106.
- [13] 朱楠, 王玉波, 张海强, 等. 光周期、温度对丽蚜小蜂生长发育的影响[J]. 植物保护学报, 2011, 38(4): 381-382.
- [14] 张世泽, 郭建英, 万方浩, 等. 温度对不同品系丽蚜小蜂发育、存活和寿命的影响[J]. 中国生物防治, 2004, 20(3): 174-177.
- [15] 王琳, 马春森. 周期性重复高温对昆虫的生态学效应[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(6): 1499-1508.
- [16] 史彩华, 胡静荣, 张友军. 高温对昆虫生殖生理的影响及其在农业害虫防治中的展望[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(3): 24-32.
- [17] 戴鹏. 繁殖寄主对粉虱寄生蜂取食寄主和寄生能力的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012.
- [18] 王玉波, 李梦, 郑礼. 释放丽蚜小蜂防治越冬番茄温室白粉虱技术研究[J]. 河北农业科学, 2011, 15(11): 38-41.
- [19] 王玉波, 方美娟, 何晓庆, 等. 丽蚜小蜂及配套措施联合控制技术对温室粉虱的防治效果[J]. 河北农业科学, 2015, 19(2): 36-40.
- [20] 徐维红, 朱国仁, 李桂兰, 等. 温度对丽蚜小蜂寄生烟粉虱生物学特性的影响[J]. 中国生物防治, 2003, 19(3): 103-106.
- [21] 周淑香, 李玉, 张帆. 高温冲击对沃尔巴克氏体(Wolbachia)诱导孤雌产雌的丽蚜小蜂(*Encarsia formosa*)生殖和发育的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4732-4737.
- [22] MOSELEY P L. Heat shock proteins and heat adaptation of the whole organism [J]. Journal of Applied Physiology, 1997, 83(5): 1413-1417.

(责任编辑: 田 喆)