

# 氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂 (*Eretmocerus mundus*) 生物学及温室种群 动态的影响

赵祎凡<sup>1,2</sup>, 张楠<sup>2</sup>, 杨泽众<sup>2</sup>, 王芳<sup>2</sup>, 白义川<sup>2</sup>, 徐维红<sup>2</sup>,  
郭兆将<sup>3</sup>, 谷希树<sup>2</sup>, 史彩华<sup>1\*</sup>, 刘佰明<sup>2\*</sup>

(1. 长江大学农学院, 湖北荆州 434023; 2. 天津市农业科学院植物保护研究所, 天津 300384; 3. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

**摘要:** 氟吡呋喃酮和蒙氏浆角蚜小蜂 *Eretmocerus mundus* 均是控制烟粉虱 *Bemisia tabaci* 的有效作用因子, 明确氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂的作用对协调应用化学农药和生防天敌绿色防控烟粉虱有重要意义。本文首先在室内测定了氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂的亚致死浓度 (LC<sub>15</sub>) 和致死中浓度 (LC<sub>50</sub>), 并研究了氟吡呋喃酮亚致死剂量作用下对蒙氏浆角蚜小蜂的寿命、寄生率、发育历期和羽化率等生物学指标的影响, 进一步在温室内研究了氟吡呋喃酮推荐浓度对蒙氏浆角蚜小蜂种群动态的影响。结果表明, 氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂亚致死浓度 (LC<sub>15</sub>) 和致死中浓度 (LC<sub>50</sub>) 分别为 4.397 mg[AI]/L 和 35.1 mg[AI]/L, 与空白对照相比, 两种浓度处理下蒙氏浆角蚜小蜂的寿命分别缩短 39.3% 和 59%, 发育历期分别延长 5.9% 和 39.3%, 寄生率分别减少 22.5% 和 23.5%, 羽化率分别减少 4.43% 和 8.36%。温室试验表明, 随用药时间的延长, 蒙氏浆角蚜小蜂数量降低。药后 3~15 d 蒙氏浆角蚜小蜂种群数量减少 21.7%~62.9%, 显著低于空白对照, 但用药 18 d 后种群下降趋势逐渐平缓, 与空白对照处理相比差异不显著。研究结果为协调应用氟吡呋喃酮和浆角蚜小蜂绿色防控烟粉虱提供了依据。

**关键词:** 氟吡呋喃酮; 蒙氏浆角蚜小蜂; 烟粉虱; 亚致死效应; 种群动态

中图分类号: Q968.1;S433 文献标识码: A

## Effects of flupyradifurone on biology and greenhouse population dynamics of *Eretmocerus mundus*

基金项目: 国家重点研发计划支持项目 (2021YFD1400600, 2019YFD1002100); 天津市“131”创新型人才团队 (201931)

作者简介: 赵祎凡, 女, 硕士生, E-mail: 965850069@qq.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 史彩华, 博士, 副教授, 主要研究方向为蔬菜害虫绿色防控, E-mail: shicaihua1980@126.com; 刘佰明, 博士, 研究员, 主要研究方向为蔬菜害虫防治, E-mail: baimingliu@126.com

收稿日期 Received: 2022-07-31; 接受日期 Accepted: 2022-10-21

ZHAO Yi-Fan<sup>1,2</sup>, ZHANG Nan<sup>2</sup>, YANG Ze-Zhong<sup>2</sup>, WANG Fang<sup>2</sup>, BAI Yi-Chuan<sup>2</sup>, XU Wei-Hong<sup>2</sup>, GUO Zhao-Jiang<sup>3</sup>, GU Xi-Shu<sup>2</sup>, SHI Cai-Hua<sup>1\*</sup>, LIU Bai-Ming<sup>2\*</sup> (1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei Province, China; 2. Institute of Plant Protection, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China; 3. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The pesticides flupyradifurone and natural enemy *Eretmocerus mundus* are two effective methods for the control of *Bemisia tabaci*. Clarifying the relationship between the two factors above mentioned is of important significance for the control of *B.tabaci* with the coordinated application of chemical pesticides and natural enemies. In the present study, the sublethal concentration (LC<sub>15</sub>) and median lethal concentration (LC<sub>50</sub>) of flupyradifurone on *E. mundus* were determined under laboratory conditions. In addition, the effects of flupyradifurone with LC<sub>15</sub> and LC<sub>50</sub> on adult longevity, parasitism rate, development duration and emergence rate of *E. mundus* were also studied. At last, the effects of flupyradifurone with the recommended concentration on population dynamics of *E.mundus* was investigated in greenhouse. The results showed that the LC<sub>15</sub> and LC<sub>50</sub> of flupyradifurone on *E.mundus* were 4.397 mg[AI]/L and 35.1 mg[AI]/L, respectively. Compared with the control, the adult longevity of *E. mundus* was shortened by 39.3% and 59%, the development duration was extended by 5.9% and 39.3%, the parasitism rate was decreased by 22.5% and 23.5%, and the emergence rate under the treatment of LC<sub>15</sub> and LC<sub>50</sub>, was decreased by 4.43% and 8.36%, respectively. The greenhouse experiment showed that the population of *E. mundus* decreased gradually with the time extension after flupyradifurone treatment. Compared with the control, the population decreased significantly by 21.7%~62.9%.

**Key words:** Flupyradifurone; *Eretmocerus mundus*; *Bemisia tabaci*; sublethal effect; population dynamics

烟粉虱 *Bemisia tabaci*, 属半翅目 Homoptera, 粉虱科 Aleyrodidae, 是一种多食性入侵害虫, 目前已在世界范围内广泛分布 (Wang *et al.*, 2017)。该虫不仅可以直接取食植物汁液, 分泌蜜露诱发煤污病, 更能传播 200 多种植物病毒。近两年在我国为害比较严重的是由烟粉虱传播的番茄黄化曲叶病毒 (Tomato Yellow Leaf Curl Virus, TYLCV) 及番茄褪绿病毒 (Tomato Chlorosis Virus, ToCV) 等, 使农作物严重减产, 每年给我国农业生产造成巨大的经济损失 (Sánchez-campos *et al.*, 1999; 邓业成等, 2004; 窦文珺等, 2020)。目前我国

仍严重依赖化学杀虫剂防治烟粉虱及其传播的植物病毒病，但单纯化学防治杀伤天敌、污染环境，还使得该虫抗药性增强（杨爱民，2014）。因此，研究烟粉虱的生物防治技术对控制烟粉虱为害具有重要意义。

“以虫治虫”的生物防治是一种绿色防控手段，具有环境友好、可持续的优点，可有效减少化学杀虫剂的使用，且防止烟粉虱抗性的产生。烟粉虱的天敌多样，有丽蚜小蜂 *Encarsia formosa*、小黑瓢虫 *Delphastus catalinae* 和大草蛉 *Chrysopa pallens* 等（罗宏伟等，2010; 刘爽等，2011; Lenteren *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2017）。虽然丽蚜小蜂应用广泛，但目前商业化的丽蚜小蜂通常抗逆性不强，对化学药剂敏感，应用本土天敌是常用的方法（尹园园等，2019; 羊绍武等，2020）。本课题组前期在天津发现一种本地的烟粉虱的优势寄生蜂，经分子鉴定和系统发育分析为蒙氏浆角蚜小蜂 *Eretmocerus mundus*（Hymenoptera: Aphelinidae）（张楠等，2022）。蒙氏浆角蚜小蜂起源于地中海区域，在巴西、泰国和西班牙等多个国家均有分布（Barro *et al.*, 2000; Qiu *et al.*, 2004）。2007年该蜂在日本注册为粉虱科害虫的商品化生物农药（Keitaro *et al.*, 2013）。Goolsby 等（1998）研究发现，美国德克萨斯州引入蒙氏浆角蚜小蜂在田间和实验室内均对烟粉虱表现出较好的防治效果。Moro（2021）研究发现，巴西南部番茄和大豆上的蒙氏浆角蚜小蜂相较于丽蚜小蜂对夏季高温有更高的适应性，对烟粉虱有更好的控制效果。Karut（2007）研究发现，地中海温室的蒙氏浆角蚜小蜂本地种群相较于其他蚜小蜂科寄生蜂能寄生更多的烟粉虱 2 龄若虫，且在番茄植株上表现出更高的寄生率。蒙氏浆角蚜小蜂将卵产在烟粉虱若虫和叶片之间，幼虫孵化后用上颚咬破寄主的表皮钻入寄主体内，并在寄主体内形成 1 个囊（方美娟，2012）。独特的寄生方式使其在烟粉虱的生物防治中发挥重要作用（Lenteren, 2012）。

本地寄生蜂通常具有抗逆性强的特点，但是因种群水平较低，不易人工大量繁殖投放等因素，只能以保护利用为主。但是杀虫剂的应用是影响寄生蜂种群的一个重要因素（Hanson *et al.*, 2015）。在施用杀虫剂较短时间内，寄生蜂可通过直接接触杀虫剂、摄入受污染的蜜露等方式死亡率增加（Croft and Brown, 1975; Longley and Jepson, 1996）。杀虫剂在田间施用后，随时间推移可降解到亚致死水平，对寄生蜂的寿命、繁殖能力、行为能力等产生亚致死效应（Desneux *et al.*, 2007）。亚致死效应指昆虫个体接触杀虫剂后没有直接死亡，但在行为、生理、生物学等方面会发生变化（Hesselbach and Scheiner, 2018; Liu *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2022）。明确杀虫剂亚致死和致死剂量对本地寄生蜂的影响有利于烟粉虱生物防治和化学防治策略的协同应用（Brunner *et al.*, 2001）。

氟吡呋喃酮是拜耳公司研发的新型的丁烯酸内酯类杀虫剂，于 2018 年在中国上市，对

烟粉虱及其传播的 TYLCV 具有很好的防治效果 (Nauen *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2021)。该药剂还对蜜蜂等传粉昆虫具有较高的安全性, 但是对烟粉虱寄生蜂的杀伤效果还不清楚 (Hesselbach and Scheiner, 2018)。明确氟吡呋喃酮对本地浆角蚜小蜂的亚致死和致死效应, 有助于确定杀虫剂最佳施药时间或寄生蜂最佳释放时间。本研究探究了氟吡呋喃酮亚致死浓度 (LC<sub>15</sub>) 和致死中浓度 (LC<sub>50</sub>) 对本地的蒙氏浆角蚜小蜂生物学特性的影响, 并研究了应用氟吡呋喃酮对浆角蚜小蜂温室种群动态的影响。研究结果将有望保护利用本土浆角蚜小蜂, 提高烟粉虱绿色防控水平提供帮助。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

寄主昆虫: MED 烟粉虱于 2009 年采自北京一品红上, 2015 年转移约 300 头成虫到天津市农业科学院植物保护研究所, 此后一直饲养在棉花上保持种群。将 5~7 片真叶的棉花苗放到 MED 棉花种群烟粉虱的养虫笼中, 每笼接 2 000~4 000 头烟粉虱成虫, 48 h 后吹走烟粉虱, 继续培养带卵植株, 发育到 2~3 龄若虫时, 接入蒙氏浆角蚜小蜂约 200 头, 放入培养箱中饲养。蒙氏浆角蚜小蜂于 2020 年 9 月在天津市武清区天津市农业科学院创新基地茄子植株上采集, 经 mtDNA COI 分子鉴定其为蒙氏浆角蚜小蜂, 将其转移到带有烟粉虱适龄若虫的棉花植株上, 室内连续繁殖 10 代以上。烟粉虱和寄生蜂的培养条件均为: 温度 26±2°C, 相对湿度 60%~70%, 光照周期为 L:D=16 h:8 h。

### 1.2 供试植物

棉花品种为保龄棉 DP99B, 单株种植在花盆中 (直径 15 cm, 高 10 cm), 营养基质由蛭石和营养土 (体积比 1:2) 组成, 培养条件同 1.1, 待棉花长至 5~7 片真叶时用于烟粉虱室内饲养和室内生物学试验。在天津市农业科学院创新基地温室大棚内种植茄子, 品种为园杂 5 号, 自然条件生长。茄子植株上自然发生烟粉虱种群, 田间试验时未见其它种类粉虱存在。

### 1.3 供试药剂

17%氟吡呋喃酮可溶性液剂, 德国拜耳作物科学公司; 96%氟吡呋喃酮原药, 德国拜耳作物科学公司; 99.5%丙酮, 常规, 天津市风船试剂化学科技有限公司。

### 1.4 氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂的毒力测定

氟吡呋喃酮原药用丙酮溶解并配制浓度为 1 114.285 mg[AI]/L 的母液, 用 1%Tween-80 水溶液将母液依次稀释为 5 个浓度梯度 (222.857、111.429、55.714、27.857 和 13.929

mg[AI]/L)。每个浓度 3 次重复，以 1%Tween-80 水溶液作为空白对照。在规格为（长 3.5 cm，内径 0.4 cm）的指形管内加入氟吡呋喃酮药液 0.5 mL 制成药膜管，自然风干，每指形管放入 30±10 头蒙氏浆角蚜小蜂，1 h 后将蒙氏浆角蚜小蜂转入相同规格无药指形管中，用棉塞封紧管口，放入光照培养箱中，饲养条件同 1.1。24 h 后检查并记录死亡和存活蜂数。对照组死亡率应不超过 10%（尹园园等, 2017）。用 PoloPlus 软件计算蒙氏浆角蚜小蜂在 6 种浓度下的死亡率反应的 Probit 参数估计。这些参数包括以 mg[AI]/L 表示的 LC<sub>15</sub> 和 LC<sub>50</sub> 值及其相应的 95%置信限（CL）以及概率回归的斜率。

### 1.5 氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂的寿命、发育历期、寄生率及羽化率的影响

将蒙氏浆角蚜小蜂接入带有 2~3 龄烟粉虱若虫的棉花植株，14 d 后收集初羽化的雌成蜂用于实验，饲养条件同 1.1。根据毒力测定结果，氟吡呋喃酮选择亚致死浓度 LC<sub>15</sub> 及致死中浓度 LC<sub>50</sub>，采用上述玻管药膜法处理蒙氏浆角蚜小蜂。研究中常用低于 LC<sub>30</sub> 的浓度研究农药对害虫天敌的亚致死效应（Sohrabi *et al.*, 2014; Asadi *et al.*, 2019; 闫虹江等, 2021; 马雪, 2021）。同时，为与本研究组前期研究烟粉虱亚致死结果相对应，本研究采用 LC<sub>15</sub> 作为亚致死浓度（Liu *et al.*, 2021）。1%Tween-80 水溶液作为对照，每个处理重复 20 次。将处理过的单头蒙氏浆角蚜小蜂置于直径 10 cm，高 1.5 cm 无盖玻璃培养皿中饲养，将浸透 10%蜂蜜水的棉花放在培养皿中间，每天向棉花中滴加蜂蜜水作为食物。用纱布将玻璃培养皿包住，置于光照培养箱中，饲养条件同 1.1。每日定时观察每头雌成蜂的存活情况，记录死亡数（Umoru and Powell, 2002）。使用 SPSS（Duncan）对处理过的雌成蜂寿命进行单因素方差分析。

选取 6~7 片真叶的棉花苗，选择顶部叶片 2 片，用微虫笼夹在叶片上，每个微虫笼接入 50 头 MED 烟粉虱，产卵 24 h 后移除烟粉虱，9~12 d 发育到 2~3 龄若虫，用镊子将多余的若虫摘除，每叶片保留 50 头若虫。在每个微虫笼中接 1 对处理过的蒙氏浆角蚜小蜂，产卵寄生 24 h 后，移除小蜂。将上述棉花苗置于光照培养箱中，饲养条件同 1.1。6 d 后检查褐蛹数，随后每天定时观察，直至小蜂羽化，重复 20 次。统计小蜂的发育历期（从卵至成蜂羽化）、寄生率（褐蛹数×100%/50 头若虫）、羽化率（成功羽化的成蜂×100%/褐蛹数）（匡炜等, 2011）。用 SPSS（Duncan）对所得发育历期、寄生率及羽化率进行单因素方差分析。

### 1.6 氟吡呋喃酮对温室浆角蚜小蜂种群动态的影响

在天津市武清区天津市农业科学院创新基地温室内种植茄子，6~7 叶期后自然发生浆角蚜小蜂，整个调查期间除试验处理外，不施用任何化学农药。共设 2 个处理，选择喷施

田间推荐浓度 17%氟吡呋喃酮可溶性液剂稀释 1 000 倍作为药剂处理，等量喷施清水作对照，各处理采用“MATABI SX-LK16J”型背负式喷雾器进行茎叶喷施，至叶片滴水。每个处理 3 次重复，共 6 个小区，小区面积 12 m<sup>2</sup>，随机区组设计，施药小区均用昆虫网覆盖与外界隔离。每施药小区随机调查 10 株茄子，每株茄子固定 1 片叶子，每株调查部位一致。施药当天，在施药前调查 1 次浆角蚜小蜂成蜂基数，施药后每 3 天调查 1 次浆角蚜小蜂存活数量。用 SPSS (Duncan) 对田间浆角蚜小蜂种群动态进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂成蜂的毒力测定

采用玻管药膜法测定氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂的 24 h 急性毒性，结果见表 1。氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂的 LC<sub>15</sub> 为 4.397 mg[AI]/L，LC<sub>50</sub> 为 35.1 mg[AI]/L。

表 1 氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂的毒力测定

Table 1 Laboratory toxicity of flupirfuranone to the adults of *Eretmocerus mundus*

药剂名称 Insecticide	LC <sub>15</sub> (mg[AI]/L) (95%置信区间) LC <sub>15</sub> (95% CI)	LC <sub>50</sub> (mg[AI]/L) (95%置信区间) LC <sub>50</sub> (95% CI)	卡方值 X <sup>2</sup>	斜率±标准误 Slope±SE
氟吡呋喃酮 Flupirfuranone	4.397 (0.171-12.498)	35.100 (12.226-62.728)	1.377	1.923±0.532

### 2.2 氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂寿命和发育历期的影响

氟吡呋喃酮亚致死浓度 LC<sub>15</sub> 和致死中浓度 LC<sub>50</sub> 处理，蒙氏浆角蚜小蜂成蜂的平均寿命分别为 3.7 d 和 2.5 d，较对照组 (6.1 d) 分别缩短 39.3% 和 59%，均差异显著，且 LC<sub>50</sub> 处理组浆角蚜小蜂的寿命显著低于 LC<sub>15</sub> 处理组 ( $F=93.424$ ,  $df=59$ ,  $P=1.0221\times 10^{-18}$ ) (图 1-A)。

氟吡呋喃酮 LC<sub>15</sub> 和 LC<sub>50</sub> 处理蒙氏浆角蚜小蜂，其平均发育历期分别为 16.2 d 和 21.3 d，较对照组 (15.3 d) 分别延长 5.9% 和 39.3%，均差异显著，且 LC<sub>50</sub> 处理组小蜂的发育历期显著长于 LC<sub>15</sub> 处理组 ( $F=192.358$ ,  $df=59$ ,  $P=4.5276\times 10^{-26}$ ) (图 1-C)。

### 2.3 氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂寄生率和羽化率的影响

氟吡呋喃酮 LC<sub>15</sub> 和 LC<sub>50</sub> 处理，蒙氏浆角蚜小蜂雌成蜂的平均寄生率分别为 12.4% 和 12.24%，较对照组 (16%) 分别减少 22.5% 和 23.5%，均差异显著。LC<sub>15</sub> 与 LC<sub>50</sub> 处理组间差异不显著 ( $F=7.898$ ,  $df=59$ ,  $P=0.001$ ) (图 1-B)。

氟吡呋喃酮 LC<sub>15</sub> 和 LC<sub>50</sub> 处理，蒙氏浆角蚜小蜂蛹的羽化率分别为 88.45% 和 84.65%，其中 LC<sub>15</sub> 处理组较对照组 (92.37%) 减少 4.43%，没有显著差异，LC<sub>50</sub> 处理组较对照组减少 8.36%，差异显著 ( $F=3.463$ ,  $df=59$ ,  $P=0.038$ ) (图 1-D)。

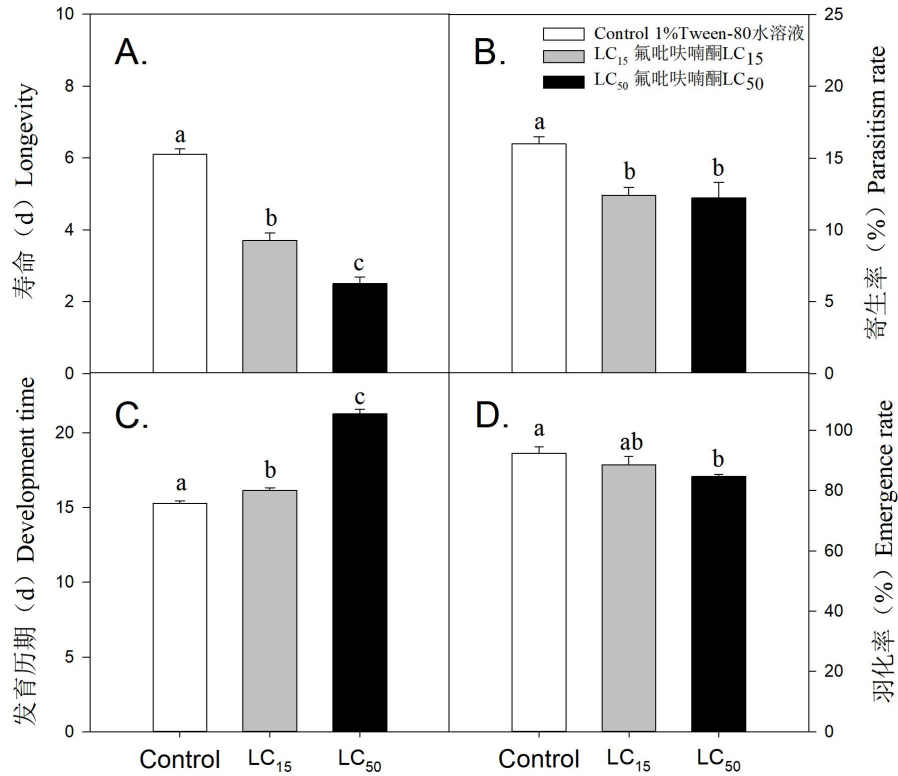


图 1 氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂生物学影响

Fig. 1 Effect of flupirifuranone on the biological characteristics of *Eretmocerus mundus*

注：A、B、C、D 分别代表氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂寿命、寄生率、发育历期、羽化率的影响，图中数据代表平均值±标准误差，不同字母表示在 0.05 水平上差异显著（Duncan）。Note: A, B, C and D showed the effects of flupirifuranone on the longevity, parasitism rate, development time and emergence rate of *Eretmocerus mundus*, the data represented mean ± standard error, different letters indicated differ significantly,  $P < 0.05$  (Duncan).

#### 2.4 氟吡呋喃酮对温室浆角蚜小蜂种群动态的影响

日光温室内 17%氟吡呋喃酮 1 000 倍液喷施处理茄子上浆角蚜小蜂后，随着时间的延长浆角蚜小蜂数量逐渐减少。与清水对照相比，药剂处理第 3、6、9、15 天分别减少 53.1%、55.8%、62.9%、21.7%，差异显著（图 2）。施药第 18 天后浆角蚜小蜂种群下降趋势逐渐平缓，与清水对照处理的浆角蚜小蜂数量接近。

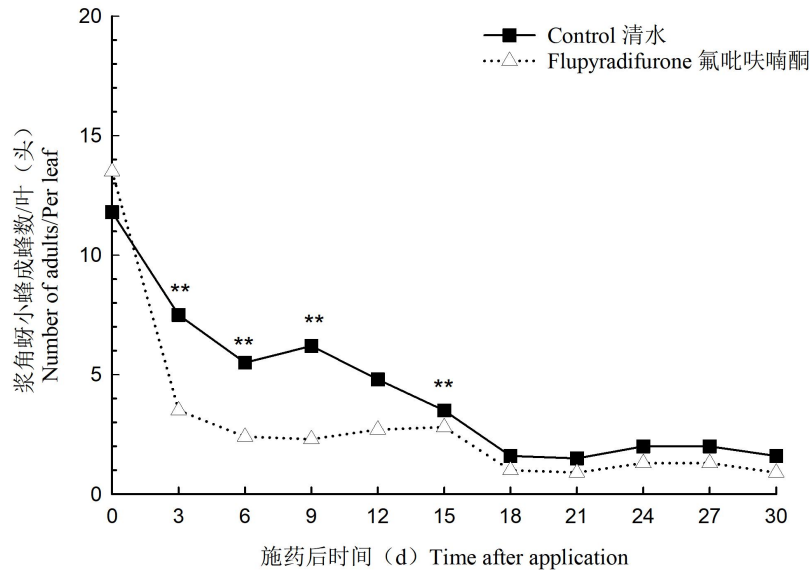


图 2 氟吡呋喃酮对田间浆角蚜小蜂种群影响动态图

Fig. 2 Dynamic of the effect of flupiradifurone on the population of *Eretmocerus mundus* in the greenhouse

注：图中数据代表平均值±标准误，星号表示在 0.05 水平上差异显著 (Duncan)。Note: The data represented mean ± standard error, the asterisk indicated differ significantly,  $P < 0.05$  (Duncan).

### 3 结论与讨论

当前，生产中广泛使用新型丁烯酸内酯类杀虫剂氟吡呋喃酮防治烟粉虱，效果较好 (Liu *et al.*, 2021)。但是前期研究表明，大量施用杀虫剂不仅会直接杀伤寄生蜂，降低种群数量，还会对寄生蜂造成寿命缩短、寄生能力下降、蛹的羽化率降低、发育延缓等亚致死效应 (王小艺, 2004; Sohrabi *et al.*, 2014; Francesena *et al.*, 2018; Asadi *et al.*, 2019)。蒙氏浆角蚜小蜂是烟粉虱重要的本土天敌，对防治烟粉虱效果显著 (Gregory *et al.*, 2004; 张楠等, 2022)。明确氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂的影响对二者协同应用有重要意义。

本研究发现与空白对照相比，氟吡呋喃酮亚致死浓度 ( $LC_{15}$ ) 和致死中浓度 ( $LC_{50}$ ) 处理导致蒙氏浆角蚜小蜂的成蜂寿命显著缩短、幼虫发育历期显著延长、雌成蜂寄生率显著下降，亚致死浓度  $LC_{15}$  对羽化率影响不显著，但是致死中浓度  $LC_{50}$  处理导致羽化率显著下降。这表明，氟吡呋喃酮亚致死浓度和致死中浓度均会对蒙氏浆角蚜小蜂的繁殖力和生长发育产生抑制作用。氟吡呋喃酮亚致死浓度 ( $LC_{15}$ ) 处理组蒙氏浆角蚜小蜂雌成蜂的寿命显著缩短 2.4 d，寄生率显著下降 22.5%，与 Sohrabi 等 (2014) 研究发现亚致死浓度 ( $LC_{25}$ ) 的吡虫啉和噻嗪酮均可显著降低蒙氏浆角蚜小蜂成蜂的寿命和繁殖力结果相似。产生这样的原因可能是在杀虫剂作用下，小蜂行动能力下降，不能维持正常的摄食行为和



寄主搜寻行为，因而寄生能力降低，寿命缩短。郭梦然等（2021）采用浸叶法测定田间推荐浓度的噻虫嗪、阿维菌素和氟啶虫胺腈对海氏浆角蚜小蜂蛹的羽化率影响，发现这3种杀虫剂均可显著降低海氏浆角蚜小蜂蛹的羽化率，与本研究结果相似。由此可见，亚致死浓度的杀虫剂无论是直接接触浆角蚜小蜂的蛹或是作用于浆角蚜小蜂雌成蜂，均会对小蜂的生长发育产生显著的负面影响。

氟吡呋喃酮是2018年在中国上市的新型烟碱类杀虫剂，对烟粉虱及其传播的番茄黄化曲叶病毒病有良好的抑制效果。尽管此前曾报道该杀虫剂对蜜蜂相对安全，但前人研究氟吡呋喃酮亚致死剂量广泛影响有益寄生昆虫的生物学指标，例如显著降低短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* 的寄生率和雌虫存活率（Hesselbach and Scheiner, 2018; Liu *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2022）。本研究首次明确氟吡呋喃酮对本地天敌蒙氏浆角蚜小蜂的亚致死效应，并通过田间试验探究该药剂与烟粉虱的天敌寄生蜂的田间兼容性。本研究发现，在田间喷施推荐浓度氟吡呋喃酮使得蒙氏浆角蚜小蜂种群显著降低，用药18 d以后处理与对照种群差异不显著，浆角蚜小蜂种群动态逐渐平缓。不同种类的杀虫剂对寄生蜂种群动态的影响存在差异，张志伟（2010）在林间喷施推荐浓度吡虫啉90 d后花角蚜小蜂 *Coccobius azumai* 的种群数量恢复至对照的59.63%，喷施推荐浓度毒死蜱导致花角蚜小蜂林间种群无法恢复。田间应用推荐浓度氟吡呋喃酮对蒙氏浆角蚜小蜂的显著影响期为两周左右，18 d后蒙氏浆角蚜小蜂处理组种群数量恢复至对照组的78.94%。蒙氏浆角蚜小蜂在田间的种群数量主要取决于寄主烟粉虱的种群密度，随着施药时间延长，氟吡呋喃酮逐渐降解，田间烟粉虱种群数量回升，蒙氏浆角蚜小蜂的种群数量也随之增加。值得注意的是，尽管18 d后氟吡呋喃酮亚致死浓度处理寄生蜂种群与对照相比差异不显著，浆角蚜小蜂种群动态趋于平稳，但是仍低于对照处理，这表明氟吡呋喃酮对寄生蜂的不利影响是长期的。为减少对自然发生的浆角蚜小蜂的杀伤，应注意施药时间、间隔期及施用量，可适当延长施药间隔期，避免在浆角蚜小蜂成虫的高发期施药。本研究发现，氟吡呋喃酮对浆角蚜小蜂存在显著的不良亚致死效应。因此建议在生产中为浆角蚜小蜂等本土自然发生的天敌提供良好的庇护场所，并结合精准施药、错峰用药等策略科学使用化学杀虫剂，才能在保证烟粉虱防治效果的前提下更好的发挥生物防治的作用，做到化学药剂减量使用。

### 参考文献 (References)

- Asadi M, Rafiee DH, Nouri GG, *et al.* Lethal and sublethal effects of five insecticides on the demography of a parasitoid wasp [J]. *International Journal of Pest Management*, 2019, 65 (4): 301-312.
- Barro P, Driver F, Naumann ID, *et al.* Descriptions of three species of *Eretmocerus Haldeman* (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitising

- Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) and *Trialeurodesva porariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae) in Australia based on morphological and molecular data [J]. *Australian Journal of Entomology*, 2000, 39 (4): 259-269.
- Brunner JF, Dunley JE, Doerr MD, *et al.* Effect of pesticides on *Colpoclypeus florus* (Hymenoptera: Eulophidae) and *Trichogramma platneri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae), parasitoids of leafrollers in Washington [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2001, 94 (5): 1075-1084.
- Cardinale BJ, Harvey CT, Gross K, *et al.* Biodiversity and biocontrol: Emergent impacts of a multi-enemy assemblage on pest suppression and crop yield in an agroecosystem [J]. *Ecology Letters*, 2003, 6 (9): 857-865.
- Costa MA, Farias ES, Andrade ED, *et al.* Lethal, sublethal and transgenerational effects of insecticides labeled for cotton on immature *Trichogramma pretiosum* [J]. *Journal of Pest Science*, 2022: 1-9.
- Croft BA, Brown AWA. Responses of arthropod natural enemies to insecticides [J]. *Annual Review of Entomology*, 1975, 20 (1): 285-335.
- Dai P, Liu LZ, Zang LS, *et al.* Host feeding and parasitism preference in *Eretmocerus hayati* for nymphs between Q sibling species of *Bemisia tabaci* and *Trialeurodesva porariorum* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (1): 20-25. [戴鹏, 刘林州, 臧连生, 等. 海氏桨角蚜小蜂对不同龄期 Q 隐种烟粉虱和温室白粉虱的取食和寄生选择 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30 (1): 20-25]
- Deng YC, Xu HH, Lei L. Chemical control and insecticide resistance of *Bemisia tabaci* [J]. *Chinese Journal of Pesticides*, 2004, 43 (1): 10-15. [邓业成, 徐汉虹, 雷玲. 烟粉虱的化学防治及抗药性 [J]. 农药, 2004, 43 (1): 10-15]
- Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods [J]. *Annual Review of Entomology*, 2007, 52: 81-106.
- Dou WJ, Yang SW, Liu Q, *et al.* Progress in the control of predatory and parasitic natural enemies of *Bemisia tabaci* in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (2): 342-354. [窦文珺, 羊绍武, 柳青, 等. 我国烟粉虱主要捕食和寄生性天敌控制能力研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (2): 342-354]
- Fang MJ. Studies on Sense Organ and Parasitic Development Characters of Three Parasitoids of *Bemisia tabaci* (Gennadius) [D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012. [方美娟. 三种烟粉虱寄生蜂感觉系统及其寄生发育习性的研究 [D]. 福建: 福建农林大学, 2012]
- Francesena N, Marcela IS. Selectivity assessment of two biorational insecticides, azadirachtin and pyriproxyfen, in comparison to a neonicotinoid, acetamiprid, on pupae and adults of a Neotropical strain *Eretmocerus mundus* Mercet [J]. *Chemosphere*, 2018, 206: 349-358.
- Goolsby JA, Ciomperlik MA, Legaspi BC, *et al.* Laboratory and field evaluation of exotic parasitoids of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Biotype "B") (Homoptera: Aleyrodidae) in the lower Rio Grande Valley of Texas [J]. *Biological Control*, 1998, 12 (2): 127-135.
- Gregory Z, Mike, Rose. *Eretmocerus rui* N. SP. (Hymenoptera: Chalcidoidea: Aphelinidae), an exotic natural enemy of *Bemisia* (*tabaci* group) (Homoptera: Aleyrodidae) released in florida [J]. *Florida Entomologist*, 2004, 87 (3): 283-287.

- Guo MR, Huang YC, Feng XY, *et al.* Safety evaluation of three insecticides on *Eretmocerus hayati*, a dominant parasitoid of *Bemisia tabaci* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (3): 745-751. [郭梦然, 黄玉翠, 冯雪莹, 等. 三种杀虫剂对烟粉虱优势寄生蜂海氏桨角蚜小蜂的安全性评价 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (3): 745-751]
- Hanson HI, Smith HG, Hedlund K. Agricultural management reduces emergence of pollen beetle parasitoids [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2015, 205: 9-14.
- Hesselbach H, Scheiner R. Effects of the novel pesticide flupyradifurone (Sivanto) on honeybee taste and cognition [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8 (1): 49-54.
- Karut K. Host instar suitability of *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hom.: Aleyrodidae) for the parasitoid *Eretmocerus mundus* (Hym.: Aphelinidae) [J]. *Journal of Pest Science*, 2007, 80: 93-97.
- Keitaro S, Naoki O, Tsutomu S, *et al.* Control of the whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) by using the parasitoid *Eretmocerus eremicus* (Hymenoptera: Aphelinidae) in a tomato greenhouse with a negative-pressure forced ventilation system [J]. *Annual Report of the Kansai Plant Protection Society*, 2012, 54: 77-81.
- Kuang W, Yang NW, Wan FH, *et al.* Effects of temperatures and *Bemisia tabaci* (Gennadius) reared on different host plants on development and reproduction of parasitoid, *Eretmocerus hayati* (Zolnerowich and Rose) [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2011, 27 (2): 152-156. [匡炜, 杨念婉, 万方浩, 等. 温度和烟粉虱寄主植物对海氏桨角蚜小蜂生物学特性的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2011, 27 (2): 152-156]
- Lenteren J. The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake [J]. *Biocontrol*, 2012, 57 (1): 1-20.
- Liu BM, Preisser EL, Jiao X, *et al.* Lethal and sublethal effects of flupyradifurone on *Bemisia tabaci* MED (Hemiptera: Aleyrodidae) feeding behavior and TYLCV transmission in tomato [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2021, 114 (3): 1072-1080.
- Liu S, Wang S, Liu BM, *et al.* The predation function response and predatory behavior observation of *Chrysopa pallens* larva to *Bemisia tabaci* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44 (6): 1136-1145. [刘爽, 王甦, 刘佰明, 等. 大草蛉幼虫对烟粉虱的捕食功能反应及捕食行为观察 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (6): 1136-1145]
- Luo HW, Wang ZH, Wang LD, *et al.* Effects of host plants on development, survival and reproduction of *Delphastus catalinae* (Horn), a predator of *Bemisia tabaci* (Gennadius) [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2010, 39 (3): 231-235. [罗宏伟, 王竹红, 王联德, 等. 寄主植物对烟粉虱捕食性天敌——小黑瓢虫发育、存活和繁殖力的影响 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2010, 39 (3): 231-235]
- Longley M, Jepson PC. Effects of honeydew and insecticide residues on the distribution of foraging aphid parasitoids under glasshouse and field conditions [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1996, 81 (2): 189-198.
- Ma X. Effects of Three Insecticides on the Main Natural Enemies of *Aphisgossypii* Treated With Sublethal Concentration [D]. Alaar:

- Tarim University, 2021. [马雪, 三种杀虫剂亚致死浓度处理棉蚜对其主要天敌的影响研究 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2021]
- Moro D, Wengrat APG, Costa VA, *et al.* Integrative techniques confirms the presence of *Bemisia tabaci* parasitoids: *Encarsia formosa*, *Encarsia porteri* and *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae) on soybean and tomatoes in south Brazil [J]. *Neotropical Entomology*, 2021, 50 (4): 593-604.
- Nauen R, Jeschke P, Velten R, *et al.* Flupyradifurone: A brief profile of a new butenolide insecticide [J]. *Pest Management Science*, 2015, 71 (6): 850-862.
- Qiu YT, Lenteren JCV, Drost YC, *et al.* Life-history parameters of *Encarsia formosa*, *Eretmocerus eremicus* and *E. Mundus*, aphelinid parasitoids of *Bemisia argentifolii* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. *European Journal of Entomology*, 2004, 101 (1): 83-94.
- Rao Q. Biotypes, Genetic Differentiation and the Resistant Mechanism to Common Insecticides of *Bemisia tabaci* in China [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010. [饶琼. 我国烟粉虱生物型、遗传分化及对常用杀虫剂的抗性机理研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010]
- Sánchez-Campos S, Navas-Castillo J, Camero R, *et al.* Displacement of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)-Sr by TYLCV-Is in tomato epidemics in Spain [J]. *Phytopathology*, 1999, 89 (11): 1038-1043.
- Sohrabi F, Shishehbor P, Saber M, *et al.* Effects of buprofezin and imidacloprid on the functional response of *Eretmocerus mundus* Mercet [J]. *Plant Protection Science*, 2014, 54 (3): 145-150.
- Umoru PA, Powell W. Sub-lethal effects of the insecticides pirimicarb and dimethoate on the aphid parasitoid *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) when attacking and developing in insecticide-resistant hosts [J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2002, 12 (5): 605-614.
- Wang XW, Li P, Liu SS. Whitefly interactions with plants [J]. *Current Opinion in Insect Science*, 2017, 19: 70-75.
- Wang XY. Sublethal effect of pesticides on insects [J]. *World Pesticide*, 2004, 26 (3): 24-17. [王小艺. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应 [J]. 世界农药, 2004, 26 (3): 24-27]
- Yan HG, Yue L, Wen HY, *et al.* Effects of nitenpyram on sublethal effect and antioxidant enzymes of *Microplitis mediator*. [J]. *Agrochemicals*, 2021, 60 (10): 738-742. [闫虹江, 岳磊, 文弘昱, 等. 烯啶虫胺对中红侧沟茧蜂亚致死效应及抗氧化酶的影响 [J]. 农药, 2021, 60 (10): 738-742]
- Yang SW, Wang ZL, Yuan HB, *et al.* Toxicity and risk evaluation of different insecticides on two dominant parasitoids of *Bemisia tabaci* [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2020, 41 (3): 71-76. [羊绍武, 王子辽, 袁海博, 等. 不同杀虫剂对烟粉虱两种优势寄生蜂的毒性及风险评估 [J]. 中国烟草科学, 2020, 41 (3): 71-76]
- Yang AM. Researches on the Occurrence of and Green Control Technology Against *Bemisia tabaci* (Gennadius) on the Protected Vegetables [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2014. [杨爱民. 设施蔬菜烟粉虱的发生为害与绿色防控技术研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2014]

- Yin YY, Chen H, Zhai YF, *et al.* Parasitic and host feeding preference of *Encarsia formosa* on *Bemisia tabaci* and *Trialeurodesva prorariorum* [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2017, 21 (6): 77-84. [尹园园, 陈浩, 翟一凡, 等. 丽蚜小蜂对烟粉虱和温室白粉虱若虫的寄生与取食选择性 [J]. 河北农业科学, 2017, 21 (6): 77-84]
- Yin YY, Zhai YF, Lin QC, *et al.* Impacts of periodic heat events on the application of *Encarsia formosa* [J]. *Plant Proction*, 2019, 45 (3): 115-118. [尹园园, 翟一凡, 林清彩, 等. 周期性高温对丽蚜小蜂田间应用效果的影响 [J]. 植物保护, 2019, 45 (3): 115-118]
- Zhang N, Yang ZZ, Wang FP, *et al.* Molecular identification and genetic diversity analysis on *Bemisia tabaci* parasitic wasp, *Eretmocerus spp.* in Tianjin [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44 (4): 815-822. [张楠, 杨泽众, 王富平, 等. 天津地区寄生烟粉虱的桨角蚜小蜂分子鉴定和遗传多样性分析 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (4): 815-822]
- Zhang ZW. Effect of the Insecticides on *Coccobius azumai* Tachikawa, A Parasitoid of *Hemiberlesia ptytosphila* Takagi [D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University, 2020. [张志伟. 杀虫剂对松突圆蚧寄生性天敌花角蚜小蜂的影响研究 [D]. 福建: 福建农林大学, 2010]