

两种蚜小蜂对烟粉虱 MED 隐种的田间笼罩控效评价

张晓明^{1,2} 徐海云^{1,3} 杨念婉^{1*} 万方浩^{1*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 2. 云南农业大学植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 昆明 650201; 3. 河北大学生命科学学院, 保定 071002)

摘要: 为明确烟粉虱 *Bemisia tabaci* MED 隐种优势寄生蜂海氏桨角蚜小蜂 *Eretmocerus hayati* Zolnerowich & Rose 与浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* Girault & Dodd 对其控制效果的影响, 在棉田尼龙纱网笼罩中释放烟粉虱之后, 再分别单独释放海氏桨角蚜小蜂、浅黄恩蚜小蜂以及二者以不同比例组合(1:1、1:3、3:1)释放, 定期调查统计 2 种蚜小蜂对烟粉虱的寄生量和烟粉虱的种群动态。结果表明, 相对于不放蜂对照, 自首次放蜂后 40 d 开始, 所有放蜂处理均能显著降低烟粉虱若虫种群密度, 每 100 cm² 叶片上均少于 1.00 头, 但各处理间的烟粉虱种群密度无显著差异; 海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂以 3:1 比例组合释放的处理中对烟粉虱的寄生量最高, 每 100 cm² 棉花叶片上能达到 4.25 头。表明在棉田中对烟粉虱进行生物防治时, 以初级寄生蜂海氏桨角蚜小蜂与复寄生蜂浅黄恩蚜小蜂为 3:1 的比例释放, 可以到达较好的控制效果。

关键词: 烟粉虱; 海氏桨角蚜小蜂; 浅黄恩蚜小蜂; 生物防治

Field cage evaluation of the biocontrol effect of two aphelinid parasitoids on *Bemisia tabaci* Mediterranean (Hemiptera: Aleyrodidae)

Zhang Xiaoming^{1,2} Xu Haiyun^{1,3} Yang Nianwan^{1*} Wan Fanghao^{1*}

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. National Key Laboratory for Conservation and Utilization of Biological Resources in Yunnan, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan Province, China; 3. College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, Hebei Province, China)

Abstract: To explore the sustainable management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) Mediterranean and better understand the biological control effects of single and multiple releases of parasitoid species, the performance and interaction of two aphelinid parasitoid species of *B. tabaci*, *Eretmocerus hayati* Zolnerowich & Rose and *Encarsia sophia* Girault & Dodd were evaluated. Single species release and two species combined released (in 1:1, 1:3 and 3:1 density ratio) were conducted in field cages on cotton. The population dynamics and parasitism on *B. tabaci* were regularly sampled after the releases. The results showed that, 40 d after the two wasps were firstly released, all parasitoid releases successfully reduced the densities of *B. tabaci* nymphs (less than one nymph per 100 cm² cotton leaves) compared to the control, and there were no significant difference in the densities of *B. tabaci* nymphs among treatments; the combined release of two parasitoid species (*Er. hayati* and *En. sophia*) at the ratio of 3:1 showed the highest parasitism of *B. tabaci* nymphs at 4.25 per 100 cm² cotton leaves. Therefore, the combined release of the primary parasitoid *Er. hayati* and the autoparasitoid *En. sophia* at the ratio of 3:1

基金项目: 国家自然科学基金(31760541, 31601694, 31672087)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: yangnianwan@caas.cn, wanfanghao@caas.cn

收稿日期: 2017-12-28

in the cotton field is recommended for control of *B. tabaci*.

Key words: *Bemisia tabaci*; *Encarsia sophia*; *Eretmocerus hayati*; biological control

烟粉虱 *Bemisia tabaci* 是一种世界范围内的重要入侵害虫,自20世纪80年代末期入侵我国后迅速在全国范围内扩散,目前已在我国大部分地区均有发生,造成了严重的经济和生态损失(罗志义等,1989;张晓明等,2014;Wan & Yang,2016)。随着化学农药的广泛使用,烟粉虱已经对包括拟除虫菊酯类、有机磷类、新烟碱类和昆虫生长调节剂类等多类杀虫剂产生了不同程度的抗药性,这给烟粉虱的防治带来了巨大挑战(马德英等,2007;Elbert & Nauen,2015;Wang et al.,2017)。由于烟粉虱成虫趋向于在植物叶片背面活动、为害和产卵,且烟粉虱体表布满蜡粉,在喷施杀虫剂防治烟粉虱时,不容易将烟粉虱杀死,致使防治成本增加(Luo et al.,2010)。因此,需要寻找一种对环境友好且能有效防治烟粉虱的方法,其中生物防治作为有害生物综合治理中的重要方法和替代手段,已经引起研究人员的普遍重视,很多具有应用前景的天敌已经不断应用于防治烟粉虱。

目前,国内已经报道的烟粉虱天敌总数主要有117种,其中寄生性天敌和捕食性天敌均超过50种,病原真菌有7种(Li et al.,2011),这些天敌资源是当前烟粉虱综合治理系统中的重要组成部分(杨帆等,2016)。分布在我国北方地区的烟粉虱天敌种类数远比南方少,如对烟粉虱有良好控制效果的膜翅目蚜小蜂科的丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* Gahan 主要分布于北方,而另外2种烟粉虱的优势寄生蜂古桥浆角蚜小蜂 *Eretmocerus* sp. nr. *furuhashii* Rose & Zolnerowich 和双斑恩蚜小蜂 *Encarsia bimaculata* Heraty 主要分布于南方(Li et al.,2011)。我国华南地区的优势捕食性天敌淡色斧瓢虫 *Axinoscymnus cardilobus* Ren & Pang 在其它地区则几乎未见分布或者零星分布(黄振等,2008)。而华北地区的优势种龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg) 和异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 由于田间自然种群较少,不能将烟粉虱种群控制在较低水平(林克剑等,2006)。

为了加强烟粉虱的生物防治,海氏浆角蚜小蜂 *Eretmocerus hayati* Zolnerowich & Rose 经过安全评价后于2008年从美国德克萨斯州引入中国,经过评估认为对我国北方烟粉虱表现出良好的应用前景(Zhang et al.,2015;热孜万古丽·阿布都哈尼等,

2016)。海氏浆角蚜小蜂属膜翅目小蜂科浆角蚜小蜂属,是单寄生性的初寄生蜂,雌蜂将卵产在烟粉虱若虫的腹部下面,待卵孵化发育至1龄幼虫后可穿透烟粉虱若虫腹部迅速进入其体内寄生直到完成整个发育阶段后从烟粉虱的蛹壳中破壳而出,烟粉虱死亡(刘林州等,2013;Zhang et al.,2014a)。

浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* Girault & Dodd 是烟粉虱的另一个重要寄生性天敌(刘林州等,2013;Zhang et al.,2014b),是广泛分布于我国南方的优势寄生蜂种群,对田间烟粉虱自然种群具有较好的控制作用(邱宝利等,2004;Xu et al.,2015)。该蜂是雌雄自复寄生蜂,即雌蜂将受精卵产在寄主烟粉虱若虫上发育成雌蜂;将未受精卵产在同种或异种寄生蜂幼虫上并发育成雄蜂,雄蜂将同种或异种寄生蜂幼虫杀死以便完成其生活史的过程称为复寄生过程(刘林州等,2013)。

虽然海氏浆角蚜小蜂对烟粉虱种群表现出较强的寄生能力(Zhang et al.,2015;Xu et al.,2015;2018),但其田间寄生成功与否受到烟粉虱种群对寄主植物为害程度的影响,植物受害严重时易导致海氏浆角蚜小蜂种群产生较大波动。因此,释放或者利用一种复寄生蜂能弥补初寄生蜂海氏浆角蚜小蜂的这种弱点,从而增强对烟粉虱种群的控制效率,浅黄恩蚜小蜂可作为该控制系统中的复寄生蜂防治烟粉虱(Luck et al.,1981;Briggs et al.,1993)。Hackett-Jones et al.(2009)基于离散-时间模型,得出可以利用不同寄生蜂之间生态位的不同,同时释放2种寄生蜂控制同一种害虫时可以将害虫种群密度较长时间内控制在一个合适的平衡点的结论。海氏浆角蚜小蜂比较趋向于选择烟粉虱1~2龄若虫寄生(Zhang et al.,2015),而浅黄恩蚜小蜂则喜欢在烟粉虱3~4龄若虫上寄生(王继红等,2011)。由于生态位的分化,为2种寄生蜂在同一个生境中共同释放控制烟粉虱提供了极大的可能性。为探明海氏浆角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂在同一生态系统中共同释放后是否会增强对烟粉虱的控制效率,同时寻找到2种寄生蜂混合释放的最佳比例,本研究通过在我国华北地区棉田中设置田间笼罩试验,并在笼罩中依次释放烟粉虱和这2种寄生蜂,系统研究各种释放比例组合对棉田烟粉虱控制效果的差别,以期为使用2种生态位不同的寄生蜂控制田间烟粉虱提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物:棉花品种为中植棉6号,由中国农业科学院植物保护研究所廊坊中试基地提供;甜瓜品种为特优伊丽莎白,由河北省廊坊市科龙种子有限公司提供。

供试昆虫:烟粉虱成虫采自田间番茄植株上并在室内以甜瓜为寄主连代饲养。采用线粒体DNA *COI* 基因序列进行抽样检测确定整个种群均为MED隐种(李洪冉等,2016)。海氏桨角蚜小蜂为中国农业科学院植物保护研究所生物入侵研究室于2008年从美国德克萨斯州立大学蔬菜害虫综合治理实验室引进的种群。浅黄恩蚜小蜂为引自浙江大学昆虫科学研究所的种群;2种寄生蜂种群均用烟粉虱MED隐种作为寄主饲养于中国农业科学院植物保护研究所生物入侵研究室,饲养期间未接触任何化学农药。饲养条件为温度(26±1)℃、相对湿度(60±10)%、光周期14 L:10 D。

仪器:笼罩尼龙纱网为120目,规格为长2 m×宽2 m×高2 m;SZ51体视显微镜,日本奥林巴斯株式会社;Yaxin-1242植物叶面积测量仪器,北京哈维斯廷科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 寄生蜂田间释放方法

试验于2012年5月12日至10月11日在中国农业科学院廊坊科研中试基地试验田中进行。各笼罩间的距离约为3 m,每笼罩内均匀种植4株棉花,当试验田中的棉花出苗后即开始安置笼罩,每个笼罩内保留4株无病虫害发生的棉花苗,笼罩内的棉花在种植过程中进行打顶、清理多余侧枝分蘖等常规农事操作,但不施用任何杀虫剂。试验共设置6个不同处理,对照笼罩内仅释放烟粉虱,不释放寄生蜂;寄生蜂笼罩内先释放烟粉虱后,再分别单独释放海氏桨角蚜小蜂、浅黄恩蚜小蜂以及二者以1:1、3:1、1:3比例组合释放。每个处理5次重复,处理间的笼罩在田间随机排列。分别于7月16日、7月24日和8月7日分3个批次释放烟粉虱,每次释放量为300头/株,性比为1:1,即每株棉花上烟粉虱总释放量为900头,每个笼罩中烟粉虱的释放总量为900头/株×4株/笼=3 600头。从8月4日,即初次释放烟粉虱后20 d开始在笼罩中释放寄生蜂,连续释放3周(次),释放寄生蜂的时间分别为8月4日、8月11日、8月18日,每次的寄生蜂释放量为128头/笼,

性比为1:1,即寄生蜂总释放量为96头/株×4株/笼=384头/笼,所有处理均采用相同的寄生蜂释放方法。在第1次释放寄生蜂后的19 d,即8月23日开始进行首次调查,之后每周调查1次,直至10月11日结束,共调查8次。

1.2.2 调查方法

调查时每株棉花分成上、中、下3个部位,每个部位选择2片叶龄相似的叶片,田间即时检查并记录烟粉虱成虫和寄生蜂成蜂数量,然后将该叶片采集至保鲜袋中编号标记,带回室内保存于10℃的保鲜柜中,尽快在解剖镜下镜检统计该叶片上烟粉虱未成熟虫期数量(各龄期若虫和伪蛹),统计结束后在该叶片上贴上标签并将叶柄扦插于花泥中,让叶片尽可能保持新鲜,期间及时给花泥浇水,扦插后第9天,待该叶片上所有被寄生的烟粉虱若虫均能清楚鉴别是何种寄生蜂寄生时,在解剖镜下镜检统计该叶片上寄生蜂羽化后的烟粉虱若虫空壳数量以及被寄生烟粉虱若虫数量,并用叶面积测量仪测量该叶片的叶面积。最后统计叶片上的烟粉虱种群数量和寄生蜂数量(张晓明等,2013; Zhang et al., 2014c; Xu et al., 2015)。

1.3 数据分析

所有试验数据均用SAS 8.0软件进行统计分析。在比较各调查时期不同处理间寄生蜂寄生量以及2种寄生蜂寄生烟粉虱总量时,应用单因素完全随机方差分析,用Tukey HSD方法进行差异显著性检验。评价寄生蜂在烟粉虱种群消亡中的种间交互作用及在混合释放2种寄生蜂处理中观察到的烟粉虱死亡率水平(相对于对照)与单独释放1种寄生蜂时的预期死亡率比值时,采用似然比卡方检验。烟粉虱和寄生蜂的种群密度比较时采用调查时间和处理的双因素方差分析,比较处理或者调查时间之间的烟粉虱和寄生蜂的种群密度差异时采用单因素方差分析。单独释放和联合释放2种寄生蜂的处理之间寄生蜂种群增长率则采用 t 测验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同释放处理中寄生蜂的种群变化

2.1.1 处理和时间对寄生量的双因素方差分析

在棉田笼罩试验中,不同寄生蜂释放处理($df=3$, $F=24.44$, $P<0.0001$)、不同调查日期($df=7$, $F=4.57$, $P=0.0002$)以及二者的互作($df=21$, $F=3.68$, $P<0.0001$)均显著影响海氏桨角蚜小蜂对烟粉虱的寄

生量($df=3, F=24.44, P<0.0001$);浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱的寄生量在不同放蜂处理($df=3, F=12.43, P<0.0001$)、不同调查日期($df=7, F=11.40, P<0.0001$)以及二者互作($df=21, F=2.38, P<0.0023$)间均有显著差异;2种寄生蜂对烟粉虱的总寄生量在不同放蜂处理($df=4, F=10.14, P<0.01$)、不同调查日期($df=7, F=28.72, P<0.01$)以及二者互作($df=28, F=1.66, P<0.033$)间也均差异显著。

2.1.2 不同释放处理间寄生蜂的种群动态

寄生蜂种群密度变化曲线在不同放蜂处理间的波动不一致。海氏桨角蚜小蜂单独释放处理中对烟粉虱的寄生量在大部分时间内均高于浅黄恩蚜小蜂单独释放处理(图1-A~B),在第4次调查(9月13日: $t=-5.10, df=6, P=0.0022$)和第5次调查(9月20日: $t=-4.10, df=6, P=0.0322$)中前者的寄生量显著高于

后者;最后1次调查时后者的寄生量显著高于前者($t=3.25, df=6, P=0.0176$)。在调查后期的最后5次调查中,即首次释放寄生蜂后的第40天开始,海氏桨角蚜小蜂:浅黄恩蚜小蜂释放比例为3:1:1:0:1:1:0:1:1:3时,每100 cm²棉花叶片上寄生蜂对烟粉虱的寄生量分别为4.25、2.54、2.43、1.81、1.03头(图1-A~E),3:1比例释放处理对烟粉虱的寄生量显著高于1:3比例释放处理($F_{4,15}=3.56\sim 11.24, P=0.0002\sim 0.0413$)。

寄生蜂种群数量达到高峰期的时间在不同放蜂处理间也存在差异,海氏桨角蚜小蜂:浅黄恩蚜小蜂在1:0和1:3比例释放处理中寄生量出现最高峰在9月13日(图1-B、D),而0:1比例释放处理中寄生量最高峰在10月4日(图1-A)。且9月中旬之后海氏桨角蚜小蜂:浅黄恩蚜小蜂释放比例为3:1处理中的寄生量高于其它处理(图1-C)。

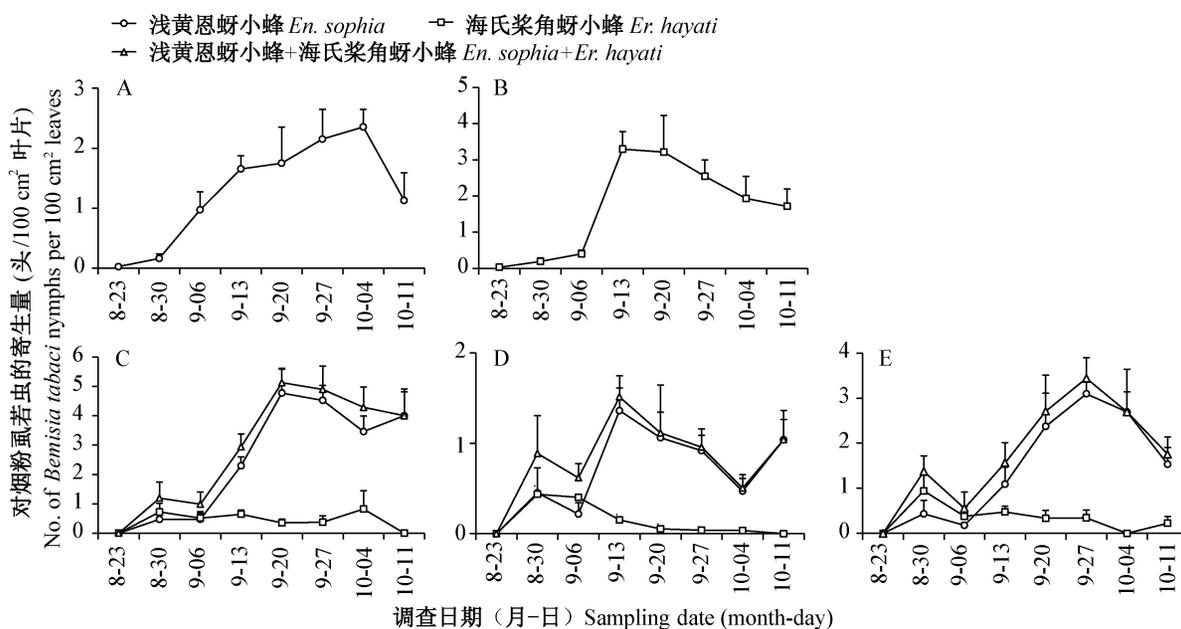


图1 寄生蜂单独释放和不同比例组合释放处理下对笼罩棉田烟粉虱若虫的寄生量

Fig. 1 Densities of *Bemisia tabaci* nymphs parasitized by aphelinids after the single or combined releases on cotton in field cages

图中数据为平均数+标准误。对照中无寄生蜂寄生烟粉虱,故未在图中绘出。A~B: 分别为单独释放浅黄恩蚜小蜂和海氏桨角蚜小蜂; C~E: 海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂分别以3:1、1:3、1:1的比例混合释放。Data are mean+SE. There is no parasitoid release in the control and the parasitism is zero, which is not shown in the figure. A~B: *En. sophia* or *Er. hayati* single release; C~E: the release ratios of *Er. hayati* and *En. sophia* are 3:1, 1:3, 1:1, respectively.

海氏桨角蚜小蜂:浅黄恩蚜小蜂以1:1、1:3、3:1比例混合释放处理之间寄生蜂对烟粉虱的寄生量波动曲线不一致,在最后3次调查中,3:1比例释放处理的寄生量显著高于1:3比例释放处理($F_{2,9}=4.84\sim 13.97, P=0.017\sim 0.0433$)。在第6次调查($F_{4,15}=3.56, P=0.0313$)和第8次调查($F_{4,15}=11.24, P=0.0002$)时,

3:1、1:1、1:0比例释放处理中寄生蜂对烟粉虱的寄生量显著高于0:1和1:3比例释放处理。在后5次调查中,烟粉虱若虫种群动态变化在不同放蜂处理间差异显著(零模型似然比检验: $df=4, \chi^2=53.64, P<0.0001$)。寄生蜂种群密度在后5次调查内的不同调查日期之间无显著差异($F_{4,60}=1.87, P=0.1273$),在调

查日期和不同放蜂处理之间也无交互作用($F_{16,60}=0.50, P=0.9396$)。

寄生蜂在田间笼罩释放初期,混合释放2种寄生蜂的3个处理(海氏桨角蚜小蜂:浅黄恩蚜小蜂=3:1、1:3、1:1)之间寄生蜂对烟粉虱的寄生量均明显上升。至9月13日开始,笼罩内的寄生蜂开始建立第2代种群,2种寄生蜂的种群数量均上升,但浅黄恩蚜小蜂的种群数量高于海氏桨角蚜小蜂,之后海氏桨角蚜小蜂的种群数量开始持续下降并维持在极低水平(图1-C~E)。在最后4次调查中,混合释放2种寄生蜂的3种处理之间,浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱的寄生量显著高于海氏桨角蚜小蜂(3:1: $t=-4.34\sim 2.50, df=6, P=0.0049\sim 0.0468$)、(1:3: $t=-6.33\sim -2.33, df=6, P=0.00109\sim 0.0167$)和(1:1: $t=-4.98\sim -2.50, df=6, P=0.0025\sim 0.0462$)。

2.2 不同释放处理中烟粉虱的种群动态

2.2.1 处理和调查时间的双因素方差分析

不同笼罩处理之间棉花上烟粉虱种群密度变化不一致,从9月中旬开始对照笼罩中的烟粉虱种群密度在所有处理中最高(图2-A~E)。在最后5次调查中,对照笼罩中的烟粉虱种群密度显著高于其它5个释放寄生蜂处理($F_{5,18}=2.93\sim 8.32, P=0.0003\sim$

0.0419)。烟粉虱种群密度在调查日期($df=7, F=31.69, P<0.0001$)、不同放蜂处理($df=5, F=4.03, P=0.0019$)间有显著差异,调查日期和处理二者间无交互作用($df=35, F=1.43, P=0.0737$)。

2.2.2 不同释放处理间烟粉虱若虫的种群动态

烟粉虱若虫的种群密度在不同放蜂处理间变化规律不一致,所有处理中烟粉虱若虫种群密度均在9月13日即首次放蜂后的第40天起开始下降,在9月20日即首次放蜂后的第47天开始,种群密度保持在较低水平,每100 cm²叶片上均低于1.00头(图2-A~E);在后5次调查时烟粉虱若虫种群动态变化基本相似(零模型似然比检验: $df=5, \chi^2=1.18, P=0.2764$)。不同放蜂处理之间的烟粉虱若虫种群密度差异显著,即海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂以1:0比例释放时具有最高的烟粉虱种群密度,以0:1比例释放时具有最低的种群密度,2种寄生蜂以3:1、1:3、1:1比例混合释放的3个处理间烟粉虱若虫种群密度差异显著($F_{5,15}=6.33, P=0.0366$;图2-A~E)。烟粉虱种群密度在后5次调查内的不同调查日期之间无显著差异($F_{4,72}=0.04, P=0.9975$)。烟粉虱若虫种群密度在混合释放处理和单独释放处理间无显著差异($F_{5,15}=2.88, P=0.3566$)。

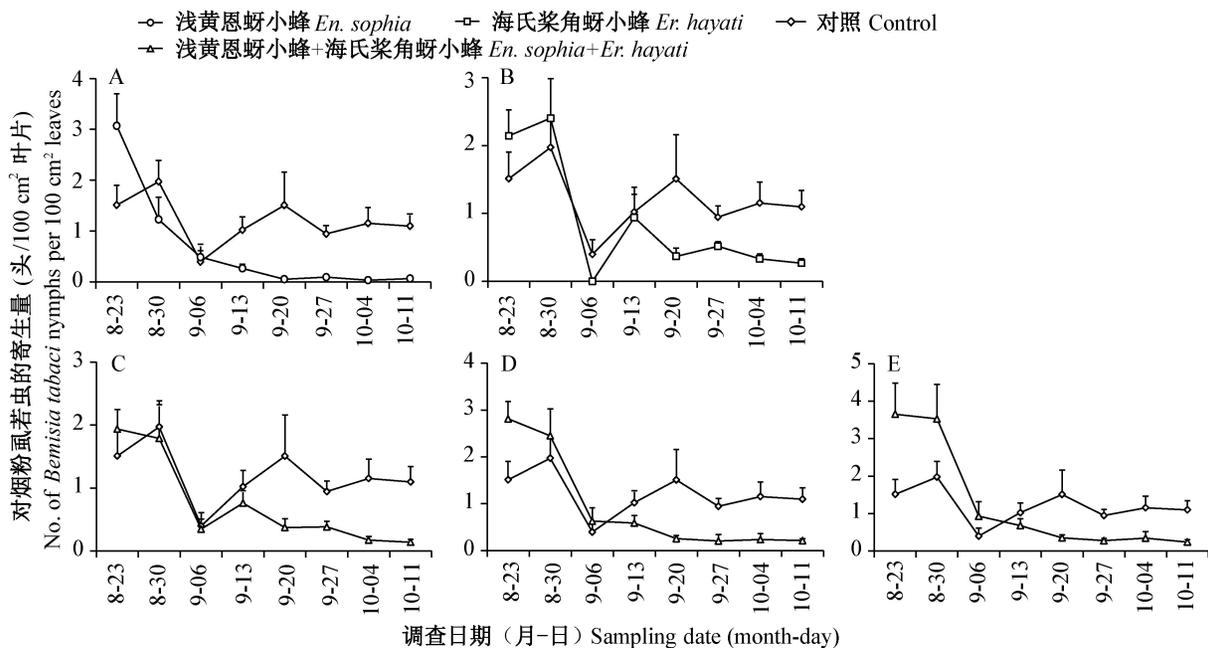


图2 寄生蜂单独释放和不同比例组合释放处理下田间笼罩棉花上烟粉虱若虫的种群密度

Fig. 2 Population densities of *Bemisia tabaci* nymphs after the single or combined releases in field cages on cotton

图中数据为平均数+标准误。A~B: 分别为单独释放浅黄恩蚜小蜂和海氏桨角蚜小蜂; C~E: 海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂分别以3:1、1:3、1:1的比例混合释放。Data are mean+SE. A~B: *En. sophia* or *Er. hayati* single release; C~E: the release ratios of *Er. hayati* and *En. sophia* are 3:1, 1:3, 1:1, respectively.

3 讨论

海氏桨角蚜小蜂对烟粉虱控制的单一系统中引入浅黄恩蚜小蜂的主要原理是利用2种寄生蜂在控制烟粉虱时寻找烟粉虱若虫的不同步性,弥补单一寄生蜂控制烟粉虱所带来的寄生率低等缺陷,找到这2种不同生态位的寄生蜂组合释放的最佳比例,以便达到有效控制烟粉虱种群密度的目的。在所有放蜂处理中,海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂的释放比例为3:1时对烟粉虱若虫的寄生量最高,反之二者以1:3比例混合释放时的寄生量最低,这可能与2种寄生蜂的种间和种内竞争水平差异有关(Xu et al., 2015)。因浅黄恩蚜小蜂为复寄生蜂,与海氏桨角蚜小蜂以较大数量比例组合释放后加剧了2种寄生蜂种间竞争,同时由于寄生蜂总量增加,种内竞争也在加剧,从而降低了寄生蜂对烟粉虱的寄生量(Xu et al., 2015)。但单独释放海氏桨角蚜小蜂或者浅黄恩蚜小蜂的处理中对烟粉虱的寄生量亦高于二者以1:3比例释放后的寄生量,说明合理利用这2种寄生蜂的释放比例对提高寄生量尤为重要,不合适的释放比例反而会降低寄生量。复寄生蜂在生物防治中通过借助初寄生蜂的影响后能促进对寄主的寄生能力(Briggs et al., 1993)。复寄生蜂在大多数情况下具有干扰初寄生蜂寻找并成功寄生寄主的能力(Briggs & Collier, 2001; Pedata et al., 2002)。然而,由于2种寄生蜂之间复杂的种内与种间竞争的作用,通过不同比例释放后的2种寄生蜂对寄主的寄生能力也出现了很大差异,所以并非所有的混合释放2种或多种寄生蜂对害虫的控制效果均好于单独释放其中的某一种寄生蜂的控制效果。因此,不同情况下释放一种初寄生蜂进行生物防治的过程中引进一种及多种复寄生蜂后的控害效果便很难预测(Schooler et al., 2011)。Moreno-Ripoll et al. (2014)研究表明,将单性生殖的初寄生蜂丽蚜小蜂和复寄生蜂硕恩蚜小蜂 *Encarsia pergandiella* Howard 混合释放后对烟粉虱的控制效果均好于单独释放,也进一步说明了控制放蜂比例的重要性。

对于烟粉虱种群而言,释放寄生蜂后同一处理中的烟粉虱与寄生蜂的种群密度变化规律不一致,即具有较高的寄生量的处理中烟粉虱种群数量并非是最底的,主要原因可能与田间季节变化有关,本研究中的主要调查时间都在秋季,这时刚好进入烟粉虱种群自然衰退加剧的时期。寄生蜂寄生量高峰期出现时间在不同放蜂处理间有差异,表明了2种寄

生蜂不同比例释放处理对烟粉虱各阶段种群的控制效果不一致,海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂以3:1和1:1比例释放处理在大部分时间内对棉田笼罩烟粉虱若虫有较高的寄生量,说明了2种寄生蜂的释放比例直接决定了对烟粉虱的寄生效果,找到合适的放蜂比例尤为重要。这与Hunter et al. (2002)对浅黄恩蚜小蜂与漠桨角蚜小蜂 *Eretmocerus eremicus* Rose & Zolnerowich 之间关系的研究结果不一致,他们发现漠桨角蚜小蜂单独释放后对烟粉虱的控制效果要好于2种寄生蜂混合释放后的控制效果。而本研究结果进一步表明了海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂在棉田释放后存在非对称竞争现象,即2种寄生蜂混合释放的所有处理中浅黄恩蚜小蜂均具有较大的竞争优势,放蜂后经过1个世代大约23 d的竞争,浅黄恩蚜小蜂种群已经几乎取代了海氏桨角蚜小蜂种群。相似的研究结果也证明了复寄生蜂浅黄恩蚜小蜂和初寄生蜂丽蚜小蜂同时释放时表现出了明显的非对称竞争关系,浅黄恩蚜小蜂能在短时间内压低处于同一生境中的丽蚜小蜂种群数量(Pang et al., 2011)。表明浅黄恩蚜小蜂能直接干扰初寄生蜂种群的变化,导致竞争干扰的一个重要原因可能是寄生蜂的复寄生。雌性自复寄生蜂不仅能寄生同种寄主,也能寄生于异种寄主(Xu et al., 2013)。浅黄恩蚜小蜂能复寄生并杀死浅黄恩蚜小蜂、漠桨角蚜小蜂、丽蚜小蜂和海氏桨角蚜小蜂的幼虫和预蛹(刘林州等, 2013; Zhang et al., 2014b; Xu et al., 2015)。

本研究中所有放蜂处理均能降低笼罩棉田中的烟粉虱种群密度。在检查寄生蜂的寄生量时需要将烟粉虱低龄若虫腹面翻转并仔细检查才能找到寄生蜂卵或者若虫,这项技术存在较大难点,容易产生试验误差。因此本研究得到的寄生蜂对烟粉虱若虫的寄生量会略低于其在田间实际的寄生量,尽管如此,这2种寄生蜂仍均能较好地控制烟粉虱种群密度。Bográn & Heinz (2002)报道了在田间通过人为调节烟粉虱3种寄生蜂蒙氏桨角蚜小蜂 *Eretmocerus mundus* Mercet、丽蚜小蜂和硕恩蚜小蜂的释放比例来控制烟粉虱,并认为寄生蜂的释放比例和竞争关系的强弱与寄主种群密度的变化之间没有直接关联。寄主烟粉虱的种群密度没有随着浅黄恩蚜小蜂通过竞争取代降低了丽蚜小蜂和桨角蚜小蜂的种群密度而明显降低(Reitz & Trumble, 2002; Pang et al., 2011)。本研究也得到相似的结果,即在海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂以1:3比例释放处理中对烟粉

虱若虫的寄生量最低,但烟粉虱种群密度也保持在较低水平。产生这种现象的主要原因可能是复寄生蜂(例如浅黄恩蚜小蜂)更喜欢选择异种寄主(如海氏桨角蚜小蜂)进行寄生并繁殖得到雌性后代,从而有助于压低寄主种群密度(Zhang et al., 2014b)。也有观点认为是初寄生蜂(如海氏桨角蚜小蜂)能通过寄生半翅目类寄主同时获得两性后代种群,而具有复寄生能力的寄生蜂在寄生半翅目类害虫后仅能产生雌性后代,这样复寄生蜂的种群中主要以雌性为主,增加了复寄生蜂种群的繁殖率(Briggs & Collier, 2001)。Hackett-Jones et al. (2009)研究结果也表明了若寄主的主庇护遭到干扰或者破坏时能对寄生蜂的寄生效应产生潜在的负面影响,从而导致寄主密度的持续降低。

在本研究中,浅黄恩蚜小蜂主要扮演着2个角色,直接寄生烟粉虱若虫并对初寄生蜂海氏桨角蚜小蜂的寄生行为产生强大干扰,这2个寄生蜂对烟粉虱若虫虫龄偏好性不一致,即生态位上有较大分化。所以在引进并利用这2种不同类型的寄生蜂时,破坏寄主避难与潜在的竞争能力相比是需要优先考虑的因素。不是所有寄生蜂以不同比例混合释放后的控制效果均好于单一释放某一种寄生蜂的控制效果,且不同的混合释放处理间对烟粉虱的寄生能力存才较大差异。因此,在一定密度效应范围内初寄生蜂的释放数量等于或者大于复寄生蜂的释放数量时可获得对寄主更高的寄生密度,从而达到控害目的。

参 考 文 献 (References)

- Bográn CE, Heinz KM. 2002. Host selection by the heteronomous hyperparasitoid *Encarsia pergandiella*: multiple-choice tests using *Bemisia argentifolii* as primary host. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 103(1): 11–21
- Briggs CJ, Collier TR. 2001. Autoparasitism, interference, and parasitoid-pest population dynamics. *Theoretical Population Biology*, 60(1): 33–57
- Briggs CJ, Nisbet RM, Murdoch WW. 1993. Coexistence of competing parasitoid species on a host with a variable life cycle. *Theoretical Population Biology*, 44(3): 341–373
- Elbert A, Nauen R. 2015. Resistance of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to insecticides in southern Spain with special reference to neonicotinoids. *Pest Management Science*, 56(1): 60–64
- Hackett-Jones E, Cobbold C, White A. 2009. Coexistence of multiple parasitoids on a single host due to differences in parasitoid phenology. *Theoretical Ecology*, 2(1): 19–31
- Huang Z, Ren SX, Yao SL. 2008. Population control of *Axinoscyrmus cardilobus* to *Bemisia tabaci*. *Acta Ecologica Sinica*, 28(7): 3075–3081 (in Chinese) [黄振, 任顺祥, 姚松林. 2008. 淡色斧瓢虫(*Axinoscyrmus cardilobus*)对烟粉虱(*Bemisia tabaci*)种群的控制作用. *生态学报*, 28(7): 3075–3081]
- Hunter MS, Collier TR, Kelly SE. 2002. Does an autoparasitoid disrupt host suppression provided by a primary parasitoid? *Ecology*, 83(5): 1459–1469
- Li HR, Pan HP, Tao YL, Jiang DF, Zhang YJ, Chu D. 2016. Species identification of indigenous *Bemisia tabaci* in agricultural areas in China. *Journal of Plant Protection*, 43(1): 84–90 (in Chinese) [李洪冉, 潘慧鹏, 陶云荔, 姜德锋, 张友军, 褚栋. 2016. 中国部分农区作物上本地烟粉虱隐种的鉴定. *植物保护学报*, 43(1): 84–90]
- Li SJ, Xue X, Ahmed MZ, Ren SX, Du YZ, Wu JH, Cuthbertson AGS, Qiu BL. 2011. Host plants and natural enemies of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in China. *Insect Science*, 18(1): 101–120
- Lin KJ, Wu KM, Liu SB, Zhang YJ, Guo YY. 2006. Functional responses of *Chrysopa sinica*, *Propylaea japonica* and *Leis axyridis* to *Bemisia tabaci*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(3): 339–343 (in Chinese) [林克剑, 吴孔明, 刘山蓓, 张永军, 郭予元. 2006. 中华草蛉、龟纹瓢虫和异色瓢虫对B型烟粉虱的捕食功能反应. *昆虫知识*, 43(3): 339–343]
- Liu LZ, Dai P, Lü B, Zang LS, Du WM, Wan FH. 2013. Interspecific competition between *Encarsia sophia* and *E. formosa* and their impacts on suppression of *Trioletrodes vaporariorum*. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(22): 4837–4841 (in Chinese) [刘林州, 戴鹏, 吕兵, 臧连生, 杜文梅, 万方浩. 2013. 浅黄恩蚜小蜂与丽蚜小蜂的种间竞争及其对粉虱控制作用的影响. *中国农业科学*, 46(22): 4837–4841]
- Luck RF, Messenger PS, Baberi JF. 1981. The influence of hyperparasitism on the performance of biological control agents. // Rosen D. *The role of hyperparasitism in biological control: a symposium*. Berkeley: University of California Press, pp. 34–42
- Luo C, Jones CM, Devine G, Zhang F, Denholm I, Gorman K. 2010. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) from China. *Crop Protection*, 29(5): 429–434
- Luo ZY, Zhang WN, Gan GP. 1989. Population dynamics of tobacco whitefly in cotton field and the influence of insecticide application. *Acta Entomologica Sinica*, 32(3): 293–299 (in Chinese) [罗志义, 章伟年, 干国培. 1989. 田烟粉虱种群动态及杀虫剂的影响. *昆虫学报*, 32(3): 293–299]
- Ma DY, Ian D, Kevin G, Luo WC. 2007. The resistance status and management strategies of *Bemisia tabaci* B biotype in Xinjiang. *Journal of Plant Protection*, 34(3): 311–315 (in Chinese) [马德英, Ian D, Kevin G, 罗万春. 2007. 新疆B型烟粉虱对不同杀虫剂的抗性与分析. *植物保护学报*, 34(3): 311–315]
- Moreno-Ripoll R, Gabarra R, Symondson WOC, King RA, Agustí N. 2014. Do the interactions among natural enemies compromise the biological control of the whitefly *Bemisia tabaci*? *Journal of Pest Science*, 87(1): 133–141
- Pang ST, Wang L, Hou YH, Shi ZH. 2011. Interspecific interference

- competition between *Encarsia formosa* and *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae) in parasitizing *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on five tomato varieties. *Insect Science*, 18(1): 92–100
- Pedata PA, Giorgini M, Guerrieri E. 2002. Interspecific host discrimination and within-host competition between *Encarsia formosa* and *E. pergandiella* (Hymenoptera: Aphelinidae), two endoparasitoids of whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae). *Bulletin of Entomological Research*, 92(6): 521–528
- Qiu BL, Ren SX, Lin L, Wang XM. 2004. Species and dynamics of aphelinid parasitoids of *Bemisia tabaci* in Guangdong. *Entomological Knowledge*, 41(4): 333–335 (in Chinese) [邱宝利, 任顺祥, 林莉, 王兴民. 2004. 广东省烟粉虱蚜小蜂种类及种群动态调查初报. *昆虫知识*, 41(4): 333–335]
- Reitz SR, Trumble JT. 2002. Competitive displacement among insects and arachnids. *Annual Review of Entomology*, 47(1): 435
- Reziwanguli·Abuduhani, Wang YP, Reziwanguli·Jiamali, Chen D, Ma DY. 2016. The morphological characteristic observation of *Eretmocerus hayati* and the comparison of its temporal and spatial dynamic with *Bemisia tabaci*. *Journal of Plant Protection*, 43(1): 142–148 (in Chinese) [热孜万古丽·阿布都哈尼, 王岩萍, 热孜万古丽·加马力, 陈丹, 马德英. 2016. 海氏桨角蚜小蜂新疆种群形态特征及其与烟粉虱的时空动态比较. *植物保护学报*, 43(1): 142–148]
- Schooler SS, de Barro P, Ives AR. 2011. The potential for hyperparasitism to compromise biological control: why don't hyperparasitoids drive their primary parasitoid hosts extinct? *Biological Control*, 58(3): 167–173
- Wan FH, Yang NW. 2016. Invasion and management of agricultural alien insects in China. *Annual Review of Entomology*, 61: 77–98
- Wang JH, Luo C, Liu TX, Zhang F, Li YX. 2011. Effects of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype on host selection and development of *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(6): 687–693 (in Chinese) [王继红, 罗晨, 刘同先, 张帆, 李元喜. 2011. 烟粉虱生物型对浅黄恩蚜小蜂寄主选择及个体发育的影响. *昆虫学报*, 54(6): 687–693]
- Wang SL, Zhang YJ, Yang X, Xie W, Wu QJ. 2017. Resistance monitoring for eight insecticides on the sweet potato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) in China. *Journal of Economic Entomology*, 110(2): 660–666
- Xu HY, Yang NW, Chi H, Ren GD, Wan FH. 2018. Comparison of demographic fitness and biocontrol effectiveness of two parasitoids, *Encarsia sophia* and *Eretmocerus hayati* (Hymenoptera: Aphelinidae) against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science*, doi: 10.1002/ps.4908
- Xu HY, Yang NW, Wan FH. 2013. Competitive interactions between parasitoids provide new insight into host suppression. *PLoS ONE*, 8(11): e82003
- Xu HY, Yang NW, Wan FH. 2015. Field cage evaluation of interspecific interaction of two aphelinid parasitoids and biocontrol effect on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Middle East-Asia Minor 1. *Entomological Science*, 18(2): 237–244
- Yang F, Wu Q, Tan H, Ren SP, Gao MQ, Chen XX. 2016. An investigation on parasitoid wasps reared from the invasive whitefly *Bemisia tabaci* on different host plants in Zhejiang. *Journal of Plant Protection*, 43(3): 412–418 (in Chinese) [杨帆, 吴琼, 谭辉, 任少鹏, 高明清, 陈学新. 2016. 浙江省不同寄主植物上烟粉虱寄生蜂的调查. *植物保护学报*, 43(3): 412–418]
- Zhang XM, Yang NW, Wan FH. 2013. Study on distribution pattern of *Bemisia tabaci* MED (Hemiptera: Aleyrodidae) in cotton fields with different planting patterns. *Journal of Environmental Entomology*, 35(5): 560–571 (in Chinese) [张晓明, 杨念婉, 万方浩. 2013. 烟粉虱MED隐种在不同种植模式棉田中的分布型研究. *环境昆虫学报*, 35(5): 560–571]
- Zhang XM, Yang NW, Wan FH. 2014. Population density of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) on different plants in the field. *Acta Ecologica Sinica*, 34(16): 4652–4661 (in Chinese) [张晓明, 杨念婉, 万方浩. 2014. 田间不同植物上烟粉虱种群密度. *生态学报*, 34(16): 4652–4661]
- Zhang XM, Yang NW, Wan FH, Lövei GL. 2014c. Density and seasonal dynamics of *Bemisia tabaci* (Gennadius) Mediterranean on common crops and weeds around cotton fields in northern China. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(10): 2211–2220
- Zhang XM, Zhang F, Luo C, Wang S. 2014a. Ultrastructure of antennal sensilla of an autoparasitoid *Encarsia sophia* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Micron*, 67: 132–140
- Zhang YB, Yang NW, Sun LY, Wan FH. 2015. Host instar suitability in two invasive whiteflies for the naturally occurring parasitoid *Eretmocerus hayati* in China. *Journal of Pest Science*, 88(2): 225–234
- Zhang YB, Yang NW, Wang JJ, Wan FH. 2014b. Effect of six carbohydrate sources on the longevity of a whitefly parasitoid *Eretmocerus hayati* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(4): 723–728

(责任编辑:李美娟)