

适度饥饿浅黄恩蚜小蜂对烟粉虱和温室白粉虱的寄生和取食选择

王 卓 刘林州 蔡连生* 戴 鹏 刘显娇 阮长春

(吉林农业大学生物防治研究所, 天敌昆虫应用技术工程研究中心, 长春 130118)

摘要: 为评价释放前经历饥饿对浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* (Girault & Dodd) 寄生取食粉虱能力的影响, 以3龄Q隐种烟粉虱 *Bemisia tabaci* Q和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 若虫为寄主, 在2种粉虱单独或同时存在的情况下, 比较释放前经适度饥饿、初羽化未饥饿和初羽化喂饲蜂蜜水3种处理的浅黄恩蚜小蜂对2种粉虱寄主的寄生和取食选择情况。结果表明, 在2种粉虱单独存在时, 经适度饥饿6 h的浅黄恩蚜小蜂寄生的烟粉虱和温室白粉虱显著多于其它处理, 而且能取食更多的温室白粉虱, 经适度饥饿的寄生蜂在24 h内通过寄生和取食杀死烟粉虱和温室白粉虱的总量分别为12.5头和12.9头。在2种粉虱同时存在时, 适度饥饿寄生蜂取食2种粉虱的总量明显高于其它处理, 但不同处理间无显著差异, 适度饥饿寄生蜂通过寄生和取食杀死2种粉虱的数量最多为11.5头, 显著高于未饥饿处理的6.5头。表明释放前经历适度饥饿可以明显提高浅黄恩蚜小蜂寄生和取食粉虱若虫的能力。

关键词: 浅黄恩蚜小蜂; 饥饿; 烟粉虱; 温室白粉虱; 寄主选择

Effects of moderate food deprivation on parasitism and host feeding of parasitoid *Encarsia sophia* on whiteflies *Bemisia tabaci* Q and *Trialeurodes vaporariorum*

Wang Zhuo Liu Linzhou Zang Liansheng* Dai Peng Liu Xianjiao Ruan Changchun

(Engineering Research Center of Natural Enemy Insects, Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin Province, China)

Abstract: To evaluate the effects of moderate food deprivation on parasitism and host feeding of parasitoid *Encarsia sophia* (Girault & Dodd) on whitefly, the parasitism and host feeding capacities of *E. sophia* on third-instar nymphs of *Bemisia tabaci* Q and *Trialeurodes vaporariorum* were compared among the parasitoids that were starved, unstarved (newly-emerged) and fed with honey in a no-choice and a paired choice experiments. Under no-choice condition, *E. sophia* starved for 6 h significantly parasitized more nymphs of *B. tabaci* and *T. vaporariorum* than those of the other treatments. The starved females fed on more *T. vaporariorum* nymphs than those of the other treatments. The starved females killed total 12.5 nymphs of *B. tabaci* and 12.9 nymphs of *T. vaporariorum* through parasitism and host feeding in 24 h. Under the paired-choice condition, the starved females of *E. sophia* fed on more nymphs of *B. tabaci* and *T. vaporariorum* than those of the other treatments, but there were no differences in total mortality of two whitefly species caused by parasitism among three treatments. Generally, the starved females killed more hosts (11.5 nymphs) of *B. tabaci* and *T. vaporariorum* through parasitism and also feed on more host in 24 h than those which were unstarved (6.5 nymphs). The results indicated that by keeping

基金项目:国家重点研发计划-政府间国际科技创新合作重点专项(2017YFE0104900),国家公益性行业(农业)科研专项(201303019)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: lsz0415@163.com

收稿日期: 2017-02-06

E. sophia females starved for a certain period of time before release may kill more whitefly nymphs through parasitism and feeding.

Key words: *Encarsia sophia*; food deprivation; *Bemisia tabaci*; *Trialeurodes vaporariorum*; host selection

蚜小蜂科寄生蜂在粉虱和介壳虫等害虫的生物防治中发挥了重要作用(Williams, 1996),许多种类已被广泛应用于生物防治(Gerling et al., 2001)。粉虱类害虫除了直接刺吸取食为害,还能通过传播植物病毒造成更严重的间接危害,目前已成为全球园林、园艺和大田农业生产上最重要的害虫之一(刘银泉和刘树生,2012),特别是近年入侵我国并造成严重为害的烟粉虱 *Bemisia tabaci* B 隐种和 Q 隐种,还能通过非对称的生殖干涉行为、寄主植物适应性等快速替代本地的土著烟粉虱(臧连生等,2005; Liu et al., 2007)。Q 隐种烟粉虱依靠其产卵量大、对极端温度(Bonato et al., 2007)和多种农药(Rauch & Nauen, 2003)的耐受性强等优势,已在世界范围内扩散,并显示出比 B 隐种烟粉虱更强的侵入性和危害性,因其产生高抗药性,化学防治已不能有效控制其为害,因此,保护和利用蚜小蜂等寄生性天敌进行生物防治是持续治理粉虱类害虫的必然趋势。

浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* (Girault & Dodd) 适应能力较强,近年作为粉虱的优势寄生性天敌而受到广泛关注(李元喜等,2008;冀禄禄等,2012;张超然等,2016)。研究表明,浅黄恩蚜小蜂对粉虱若虫具有较高的取食能力(Zang & Liu, 2008; Dai et al., 2013),在烟粉虱和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* 生物防治中展示出较好的防治潜能(Zang et al., 2011a; 张超然等,2016)。该寄生蜂是一种典型的兼性自复寄生蜂(Walter, 1983; Hunter & Wooley, 2001),雌蜂将受精卵产于粉虱若虫体内,并将未受精卵产于同种或者其它恩蚜小蜂或桨角蚜小蜂属寄生蜂的幼虫上。这种寄生蜂具有强大的取食寄生能力,通过取食杀死的粉虱量与寄生量基本相当,总的来看,对烟粉虱的防治效果好于目前大量推广应用的丽蚜小蜂 *Encarsia formosa* Gahan(Zang & Liu, 2008; Zang et al., 2011a)。

已有研究表明,蚜小蜂科寄生蜂在释放前经历适度饥饿后进行释放,可有效提高其取食和寄生粉虱数量,防治效果得到明显改善(Zang & Liu, 2009; 2010; Liu et al., 2015)。浅黄恩蚜小蜂羽化后饥饿

6 h 比其它饥饿时间以及饲喂蜂蜜水处理能取食更多的烟粉虱若虫,而且寿命还明显延长(Zang & Liu, 2009)。除了寄生和取食烟粉虱外,浅黄恩蚜小蜂也能寄生和取食温室白粉虱(Dai et al., 2013)。而适度饥饿能否提升浅黄恩蚜小蜂对温室白粉虱的取食和寄生能力,且在不同粉虱种类同时存在情况下,适度饥饿浅黄恩蚜小蜂的取食和寄生选择是否发生变化等,均尚无相关报道。因此,本试验在前人研究的基础上,比较研究释放前经历适度饥饿、初羽化未饥饿和饲喂蜂蜜水 3 种处理的浅黄恩蚜小蜂对 Q 隐种烟粉虱和温室白粉虱的寄生和取食选择,以期为更好地发挥浅黄恩蚜小蜂对粉虱类害虫的生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫:Q 隐种烟粉虱采集于长春市春莲花卉集团花卉温室大棚,温室白粉虱采集于吉林农业大学园艺学院花卉温室大棚,2 种粉虱试验种群均用番茄寄主植物繁育 10 代以上。浅黄恩蚜小蜂于 2008 年引自美国 Texas A&M AgriLife Research and Extension Center, 在室内用番茄植株饲养的温室白粉虱繁育 10 代以上供试。浅黄恩蚜小蜂和 2 种粉虱的室内饲养环境条件均为温度 $26\pm1^{\circ}\text{C}$ 、RH(60±5)%、光周期 14 L:10 D。

供试植物:番茄品种为瑞奇一号,作为寄主植物,由西安市群星种业有限责任公司提供。将穴播的番茄幼苗单株移栽于盛有营养土的直径 15 cm 花盆中,当番茄植株生长至 6~7 片真叶时备用。

1.2 方法

1.2.1 供试粉虱和寄生蜂的准备

粉虱若虫:选取健康的番茄叶片,将内径为 3 cm 的微虫笼固定于番茄叶片背面,用吸虫管接入 30 头 Q 隐种烟粉虱或 30 头温室白粉虱,产卵 12 h 后,去除干净粉虱成虫,用记号笔在产卵的叶片正面做好标记,并将盆栽番茄植株置于 50 cm×50 cm×50 cm 养虫笼中,监测每日粉虱若虫发育进度,当发育至 3 龄时,连同番茄植株叶片剪下,进行水培处

理,并放入直径10 cm、高15 cm、侧面带有接虫孔和100目纱网覆盖的4 cm×4 cm通风口的透明接虫杯中备用(Dai et al., 2013)。

寄生蜂雌蜂和雄蜂:剪取带有即将羽化浅黄恩蚜小蜂的番茄叶片,用脱脂棉保湿处理后放入直径15 cm的培养皿中,每10 min检查1次寄生蜂的羽化情况,将初羽化的雌蜂单头引入试管中。浅黄恩蚜小蜂是兼性自复寄生蜂,丽蚜小蜂是浅黄恩蚜小蜂雌蜂偏好寄生繁殖雄虫的次级寄主(Zang et al., 2011b),为获得浅黄恩蚜小蜂雄蜂,本研究中取初羽化未交配的浅黄恩蚜小蜂雌蜂(<3 h),引入备有丽蚜小蜂3龄幼虫的水培番茄叶片的透明接虫杯内,12 h后去除雌蜂,12~13 d后获得雄蜂(Dai et al., 2013)。

1.2.2 无选择试验

将带有40头3龄Q隐种烟粉虱或温室白粉虱若虫的水培番茄叶片置于透明接虫杯中,挑取1对初羽化未交配的浅黄恩蚜小蜂雌、雄蜂饥饿处理6 h后,接入透明接虫杯内,24 h后移除浅黄恩蚜小蜂雌蜂,记录各处理中寄生蜂的死亡和逃逸情况。6 d后,镜检取食、寄生的粉虱数量以及取食和寄生粉虱的总量。以饲喂蜂蜜水6 h和刚羽化未饥饿的寄生蜂作对照,每处理重复20次。试验在26±1°C、RH(60±5)%、光周期14 L:10 D的智能程控气候昆虫实验室进行。

1.2.3 双向选择试验

将1对初羽化未交配的浅黄恩蚜小蜂雌蜂和雄蜂饥饿处理6 h后,接入同时备有20头3龄Q隐种烟粉虱和20头3龄温室白粉虱若虫的水培番茄叶片的透明接虫杯内,24 h后移除浅黄恩蚜小蜂,记录各处理中寄生蜂的死亡和逃逸情况。6 d后,镜检取食、寄生烟粉虱和温室白粉虱数量和总致死量。试验过程中,均以饲喂蜂蜜水6 h和刚羽化未饥饿的寄生蜂作对照,每个处理重复20次。试验在26±1°C、RH(60±5)%、光周期14 L:10 D的智能程控气候昆虫实验室进行。

1.3 数据分析

试验数据采用DPS 13.5软件进行统计分析。不同处理间取食、寄生数量及其致死总量采用单因素完全随机方差分析,Tukey's HSD法进行差异显著性检验,同一处理的浅黄恩蚜小蜂对2种粉虱间的取食、寄生数量及其致死总量应用Student's *t*测验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 寄生蜂在无选择条件下的寄生和取食

在仅有Q隐种烟粉虱若虫存在时,饥饿6 h的浅黄恩蚜小蜂24 h寄生粉虱6.6头,显著多于未饥饿和饲喂蜂蜜水处理,以未饥饿处理寄生数量最少($F_{2,57}=15.83, P<0.0001$)(图1-A)。在仅有温室白粉虱若虫存在时,饥饿6 h的浅黄恩蚜小蜂24 h寄生粉虱7.3头,也显著多于未饥饿和饲喂蜂蜜水处理,以未饥饿处理寄生数量最少($F_{2,57}=39.31, P<0.0001$)。而对于各处理来说,寄生Q隐种烟粉虱和温室白粉虱数量间均不存在显著差异(饥饿6 h: $t=1.5382, df=38, P=0.1323$; 未饥饿: $t=0.4323, df=38, P=0.6680$; 饲喂蜂蜜水6 h: $t=1.2304, df=38, P=0.2261$)。

在仅有Q隐种烟粉虱存在时,浅黄恩蚜小蜂饥饿6 h取食若虫数量与未饥饿处理不存在显著差异,但显著多于饲喂蜂蜜水处理($F_{2,57}=10.59, P=0.0001$)(图1-B)。在仅有温室白粉虱存在时,浅黄恩蚜小蜂饥饿6 h取食若虫数量显著多于未饥饿和饲喂蜂蜜水处理($F_{2,57}=16.34, P<0.0001$)。除了未饥饿处理取食Q隐种烟粉虱数量显著多于温室白粉虱外($t=6.2163, df=38, P<0.0001$),其它2个处理的取食粉虱数量均不存在显著差异(饥饿6 h: $t=1.0308, df=38, P=0.3091$; 饲喂蜂蜜水6 h: $t=0.9720, df=38, P=0.3372$)。

在仅有烟粉虱存在时,饥饿6 h的浅黄恩蚜小蜂24 h内通过寄生和取食杀死粉虱总量为12.5头,显著多于其它2个处理($F_{2,57}=15.98, P<0.0001$)(图1-C)。在仅有温室白粉虱存在时,饥饿6 h浅黄恩蚜小蜂24 h内通过寄生和取食杀死粉虱总量为12.9头,也显著高于其它2个处理,以未饥饿处理杀死粉虱总量最少,为8.2头($F_{2,57}=113.75, P<0.0001$)。饥饿6 h和饲喂蜂蜜水6 h的浅黄恩蚜小蜂24 h内通过寄生和取食杀死烟粉虱和温室白粉虱总量均不存在显著差异(饥饿6 h: $t=0.9012, df=38, P=0.3732$; 饲喂蜂蜜水6 h: $t=0.1115, df=38, P=0.9118$),但未饥饿处理杀死烟粉虱总量显著多于温室白粉虱($t=4.8550, df=38, P<0.0001$)。

2.2 寄生蜂在双向选择条件下的寄生和取食

Q隐种烟粉虱和温室白粉虱同时存在时,释放前不同处理的浅黄恩蚜小蜂寄生二者的数量均不存在显著差异(饥饿6 h: $t=0.2311, df=38, P=0.8185$; 未饥饿: $t=0.3480, df=38, P=0.7297$; 饲喂蜂蜜水6 h: $t=$

0.5564, $df=38, P=0.5812$)。总的来看,饥饿6 h、未饥饿和饲喂蜂蜜水的浅黄恩蚜小蜂分别寄生4.7、3.1和5.0头粉虱若虫,3个处理寄生2种粉虱的总量不存在显著差异($F_{2,57}=2.93, P=0.0615$)(图2-A)。

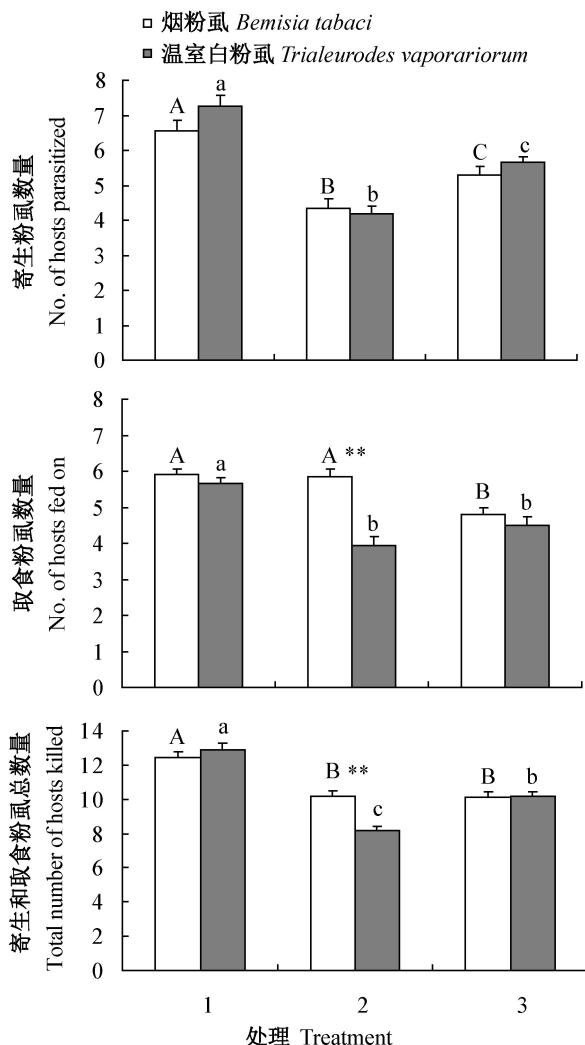


图1 不同处理浅黄恩蚜小蜂在无选择条件下24 h寄生和取食3龄Q隐种烟粉虱和温室白粉虱若虫的数量

Fig. 1 Third-instar nymphs of *Bemisia tabaci* Q and *Trialeurodes vaporariorum* killed by *Encarsia sophia* food-deprived in 24 h under no-choice conditions

1: 饥饿6 h; 2: 未经历饥饿; 3: 饲喂蜂蜜水6 h。图中数据为平均数±标准误。同色柱上不同大、小写字母表示同种粉虱不同处理间经Tukey's HSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著,**表示同处理不同粉虱间经Student's t测验法检验在 $P<0.01$ 水平差异显著。1: Food deprived for 6 h; 2: without food deprivation; 3: honey solution offered for 6 h. Data are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters on the same color bars indicate significant differences at $P<0.05$ level by Tukey's HSD test. The paired bars with ** indicate significant difference at $P<0.01$ level by Student's t test.

Q隐种烟粉虱和温室白粉虱同时存在时,未饥饿处理的雌蜂取食Q隐种烟粉虱的数量显著高于温室白粉虱($t=2.7617, df=38, P=0.0088$),而其它2个处理的雌蜂取食Q隐种烟粉虱和温室白粉虱的数量则不存在显著差异(饥饿6 h: $t=0.1373, df=38, P=0.8915$; 饲喂蜂蜜水6 h: $t=0.7731, df=38, P=0.4443$)。总的来看,饥饿6 h雌蜂取食2种粉虱的总量显著高于未饥饿和饲喂蜂蜜水的雌蜂($F_{2,57}=9.78, P=0.0002$)(图2-B)。

Q隐种烟粉虱和温室白粉虱同时存在时,释放前不同处理的浅黄恩蚜小蜂通过寄生和取食杀死Q隐种烟粉虱总量与温室白粉虱总量无显著差异(饥饿6 h: $t=0.2398, df=38, P=0.8118$; 未饥饿: $t=1.6267, df=38, P=0.1121$; $t=0.7789, df=38, P=0.4409$)。总的来看,饥饿6 h的雌蜂通过寄生和取食杀死2种粉虱的总量最多为11.5头,显著高于未饥饿处理雌蜂的6.5头,但与饲喂蜂蜜水6 h处理无显著差异($F_{2,57}=8.77, P=0.0005$)(图2-C)。

3 讨论

Dai et al. (2013)研究结果显示,温室白粉虱繁育的浅黄恩蚜小蜂交配后对Q隐种烟粉虱和温室白粉虱的寄生能力无显著差异,本研究也发现类似现象,即在Q隐种烟粉虱和温室白粉虱单独或同时存在时,温室白粉虱繁育的浅黄恩蚜小蜂对2种粉虱没有表现出明显的寄生偏好性。但也有研究表明,不同粉虱种类作为繁殖寄主会影响恩蚜小蜂属寄生蜂的寄生选择性,如烟粉虱繁育的浅黄恩蚜小蜂和温室白粉虱繁育的丽蚜小蜂相比烟粉虱都更偏好于寄生温室白粉虱,而烟粉虱繁育的丽蚜小蜂对2种粉虱却没有表现出明显的寄生偏好性(Dai et al., 2013; 2014)。此外,浅黄恩蚜小蜂是一种卵育型寄生蜂(Zang & Liu, 2008),本研究中Q隐种烟粉虱和温室白粉虱单独或同时存在时,初羽化的雌蜂更偏好取食烟粉虱若虫,有可能与取食烟粉虱若虫获得营养更有利于浅黄恩蚜小蜂卵黄蛋白的生成和促进卵的成熟有关。

Zang & Liu(2008; 2009; 2010)研究发现防治粉虱类害虫的蚜小蜂科寄生蜂在取食寄主能力方面存在显著差异,而且释放前的不同饥饿处理明显影响寄生蜂的取食和寄生能力。本研究结果也表明释放前饥饿处理6 h或饲喂蜂蜜水6 h的浅黄恩蚜小蜂寄生Q隐种烟粉虱和温室白粉虱的数量均不存在显著差异,说明释放前的不同营养处理对浅黄恩蚜小蜂的寄生选择特性影响不大。在无选择的情况下,饥

饿6 h 浅黄恩蚜小蜂比初羽化未饥饿个体寄生的烟粉虱更多,饲喂蜂蜜水6 h 的个体寄生数量则介于二者之间。而在温室白粉虱上的测试结果与在更多烟粉虱上的基本一致。表明浅黄恩蚜小蜂释放前经历适度饥饿可以有效改善对烟粉虱和温室白粉虱的寄生能力。

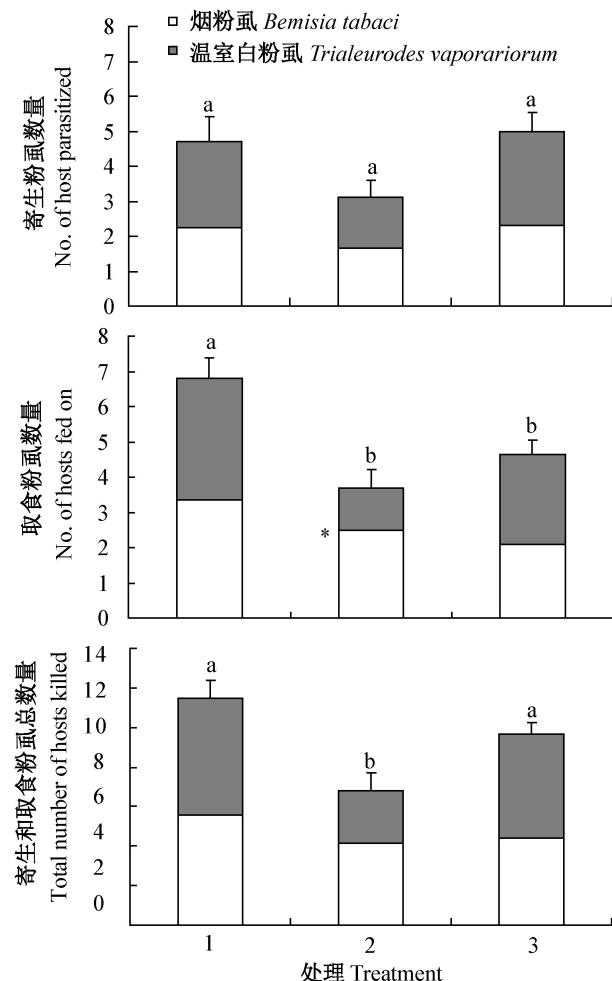


图2 不同处理浅黄恩蚜小蜂在双向选择条件下24 h 寄生和取食3龄Q 隐种烟粉虱和温室白粉虱若虫的数量

Fig. 2 Third-instar nymphs of *Bemisia tabaci* Q and *Trialeurodes vaporariorum* killed by *Encarsia sophia* food-deprived in 24 h under paired-choice conditions

1: 饥饿6 h; 2: 未经历饥饿; 3: 饲喂蜂蜜水6 h。图中数据为平均数±标准误。不同小写字母表示不同处理间经 Tukey's HSD法检验在P<0.05 水平差异显著,*表示杀死2种粉虱数量经 Student's t测验法检验在P<0.05 水平差异显著。1: Food deprived for 6 h; 2: without food deprivation; 3: honey solution offered for 6 h. Data are mean±SE. Different lower-case letters on the bars indicate significant differences at P<0.05 level by Tukey's HSD test. * on the left of a bar indicates significant difference in whitefly nymphs killed between *B. tabaci* Q and *T. vaporariorum* at P<0.05 level by Student's t test.

试验结果表明,饥饿6 h或饲喂蜂蜜水6 h的浅黄恩蚜小蜂虽然取食较多的Q隐种烟粉虱若虫,但与取食温室白粉虱若虫的数量不存在显著差异,这可能与寄生蜂经历饥饿和补充营养后,对取食寄主种类缺乏敏感性有关。在Q隐种烟粉虱单独存在时,饥饿6 h寄生蜂取食烟粉虱数量明显多于饲喂蜂蜜水6 h个体取食数量,与Zang & Liu(2009)结论基本一致。当温室白粉虱为寄主时,饥饿6 h的寄生蜂比初羽化未饥饿和饲喂蜂蜜水6 h的个体均能取食更多的粉虱若虫,与烟粉虱作为寄主的结果基本一致。当2种粉虱若虫同时存在时,进一步证实饥饿6 h的寄生蜂比未饥饿和饲喂蜂蜜水个体能杀死更多的粉虱若虫。表明浅黄恩蚜小蜂释放前经历适度饥饿对Q隐种烟粉虱和温室白粉虱的取食能力也得到有效提高。

研究表明,浅黄恩蚜小蜂是防治粉虱类害虫的潜在优势寄生性天敌,不但表现出强大的取食寄生能力(Zang & Liu, 2008),而且其取食和寄生能力可通过控制释放前的饥饿时间(Zang & Liu, 2009)、交配状态(Zang et al., 2011a)、两性繁殖的初级寄主种类(Dai et al., 2013)和产雄的次级寄主种类(Zang et al., 2011b)等进行调控。本研究进一步证实,无论单独提供烟粉虱或温室白粉虱时,释放前经历6 h饥饿的浅黄恩蚜小蜂通过取食和寄生杀死的粉虱总量明显多于未饥饿和饲喂蜂蜜水处理。在烟粉虱和温室白粉虱同时存在时,饥饿6 h 和饲喂蜂蜜水6 h 的寄生蜂杀死粉虱总量明显多于未饥饿个体。Liu et al. (2015)认为,经历适度饥饿的浅黄恩蚜小蜂释放后比初羽化未饥饿个体更快地发现攻击寄主,而且花费更短的时间完成寄生过程,因此,寄生蜂可以利用节省的时间杀死更多的粉虱若虫。目前在中国北方地区保护地蔬菜和花卉生产上,烟粉虱和温室白粉虱常混合发生,在粉虱为害高峰前期或高峰期释放经历适度饥饿的寄生蜂可以在更短的时间内通过取食和寄生杀死更多的粉虱若虫。综上所述表明,通过简单的适度饥饿调控技术,可达到快速降低害虫的种群数量的目的,同时可有效改善寄生蜂的防控效果,这对寄生蜂的推广应用以及害虫综合治理具有重要意义。

参 考 文 献 (References)

- Bonato O, Lurette A, Vidal C, Fargues J. 2007. Modelling temperature-dependent biomics of *Bemisia tabaci* (Q biotype). *Physiological Entomology*, 32(1): 50–55

- Dai P, Liu LZ, Ruan CC, Zang LS, Wan FH. 2013. Effect of the primary host for production of both sexes on the mating interaction in an autoparasitoid species. *BioControl*, 58(3): 331-339
- Dai P, Ruan CC, Zang LS, Wan FH, Liu LZ. 2014. Effects of rearing host species on the host-feeding capacity and parasitism of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa*. *Journal of Insect Science*, 14(1): 118
- Gerling D, Alomar Ò, Arnò J. 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Protection*, 20(9): 779-799
- Hunter MS, Wooley JB. 2001. Evolution and behavioral ecology of heteronomous aphelinid parasitoids. *Annual Review of Entomology*, 46(1): 251-290
- Ji LL, Yang NW, Wan FH, Li ZH. 2012. Female reproductive system of *Eretmocerus hayati* (Zolnerowich & Rose) and *Encarsia sophia* (Girault & Dodd), parasitoids of *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Chinese Journal of Biological Control*, 28(3): 303-307 (in Chinese) [冀禄禄, 杨念婉, 万方浩, 李照会. 2012. 海氏桨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂雌性生殖系统的解剖结构. 中国生物防治学报, 28(3): 303-307]
- Li YX, Luo C, Zhou CQ, Zhou SX, Zhang F. 2008. Bionomics and host competition of two parasitoids on *Bemisia tabaci*. *Acta Entomologica Sinica*, 51(7): 738-744 (in Chinese) [李元喜, 罗晨, 周长青, 周淑香, 张帆. 2008. 烟粉虱两种寄生蜂生物学特性及寄主竞争关系研究. 昆虫学报, 51(7): 738-744]
- Liu LZ, Lü B, Zang LS, Ruan CC, Zhang F, Gao YB. 2015. Behavioral mechanism for the starved *Encarsia sophia* (Girault and Dodd) (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitizing and feeding on more whitefly nymphs. *International Journal of Agriculture & Biology*, 17(2): 403-406
- Liu SS, de Barro PJ, Xu J, Luan JB, Zang LS, Ruan YM, Wan FH. 2007. Asymmetric mating interactions drive widespread invasion and displacement in a whitefly. *Science*, 318(5857): 1769-1772
- Liu YQ, Liu SS. 2012. Species status of *Bemisia tabaci* complex and their distributions in China. *Journal of Biosafety*, 21(4): 247-255 (in Chinese) [刘银泉, 刘树生. 2012. 烟粉虱的分类地位及在中国的分布. 生物安全学报, 21(4): 247-255]
- Rauch N, Nauen R. 2003. Identification of biochemical markers linked to neonicotinoid cross resistance in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 54(4): 165-176
- Walter GH. 1983. Divergent male ontogenies' in Aphelinidae (Hymenoptera: Chalcidoidea): a simplified classification and a suggested evolutionary sequence. *Biological Journal of the Linnean Society*, 19(1): 63-82
- Williams T. 1996. Invasion and displacement of experimental populations of a conventional parasitoid by a heteronomous hyperparasitoid. *Biocontrol Science and Technology*, 6(4): 603-618
- Zang LS, Liu SS, Liu YQ, Ruan YM, Wan FH. 2005. Competition between the B biotype and a non-B biotype of the whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Zhejiang, China. *Biodiversity Science*, 13(3): 181-187 (in Chinese) [臧连生, 刘树生, 刘银泉, 阮永明, 万方浩. 2005. B型烟粉虱与浙江非B型烟粉虱的竞争. 生物多样性, 13(3): 181-187]
- Zang LS, Liu TX. 2008. Host-feeding of three whitefly parasitoid species on *Bemisia tabaci* biotype B and implication for whitefly biological control. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 127(1): 55-63
- Zang LS, Liu TX. 2009. Food-deprived host-feeding parasitoids kill more pest insects. *Biocontrol Science and Technology*, 19(6): 573-583
- Zang LS, Liu TX. 2010. Effects of food deprivation on host feeding and parasitism of whitefly parasitoids. *Environmental Entomology*, 39(3): 912-918
- Zang LS, Liu TX, Wan FH. 2011b. Reevaluation of the value of auto-parasitoids in biological control. *PLoS ONE*, 6(5): e20324
- Zang LS, Liu TX, Zhang F, Shi SS, Wan FH. 2011a. Mating and host density affect host feeding and parasitism in two species of whitefly parasitoids. *Insect Science*, 18(1): 78-83
- Zhang CR, Lü B, Wang Z, Zang LS, Ruan CC. 2016. Analyses of parasitism potential of parasitoid wasps *Encarsia sophia* and *Encarsia formosa* on the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum*. *Journal of Plant Protection*, 43(1): 129-134 (in Chinese) [张超然, 吕兵, 王卓, 臧连生, 阮长春. 2016. 浅黄恩蚜小蜂和丽蚜小蜂对温室白粉虱的寄生潜能分析. 植物保护学报, 43(1): 129-134]

(责任编辑:王璇)