

浅黄恩蚜小蜂生殖方式和行为学研究

穆常青¹, 周长青², 张晓曼², 罗 晨^{2*}

(1. 北京市植物保护站, 北京 100029; 2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097)

摘要: 本文在室内条件下研究了浅黄恩蚜小蜂的生殖方式, 观察了该寄生蜂的羽化节律、羽化行为、交配行为和产卵行为等。结果表明, 雌雄蜂正常交配后在烟粉虱若虫体内产下受精卵, 初寄生卵发育为雌蜂; 而未经交配的雌蜂将未受精卵产于被寄生的烟粉虱若虫体内, 重寄生卵发育为雄蜂。浅黄恩蚜小蜂在 08: 00—12: 00 时间段羽化数最多, 占全天羽化数的 58.1%; 其次是 12: 00—16: 00 时间段, 占全天羽化数的 21.5%。黑蛹羽化前有一个明显的“蛹动”过程, 羽化后的雌蜂均可立即进行交配。在试验期内, 1 头雄蜂可以与 3 头以上雌蜂交配, 而雌蜂只交配 1 次。文中还详细描述了浅黄恩蚜小蜂产卵前后寄主定位、寄主检查和清扫梳理等行为。本试验结果将为浅黄恩蚜小蜂的大量繁殖和田间应用提供理论依据。

关键词: 浅黄恩蚜小蜂; 烟粉虱; 生殖方式; 行为

中图分类号: S476.3 文献标识码: A 文章编号: 1005-9261(2014)03-0300-06

Reproduction Behavior of *Encarsia sophia* on *Bemisia tabaci*

MU Changqing¹, ZHOU Changqing², ZHANG Xiaoman², LUO Chen^{2*}

(1. Beijing Station of Plant Protection, Beijing 100029, China; 2. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Reproduction behavior of *Encarsia sophia* (Girault & Dodd) on *Bemisia tabaci* Gennadius was investigated in the laboratory, including emergence rhythm, emergence behavior, mating behavior and oviposition behavior. The results showed that mated female parasitoids laid fertilized eggs in whitefly nymphs, offspring of early laid eggs were female. Whereas, unmated females deposited eggs in parasitized whitefly nymphs, offspring were males. Most of *E. sophia* adults (58.1%) emerged during 08: 00—12: 00 h, and 21.5% emerged during 12: 00—16: 00 h. There was an obvious “pupa moving” behavior in black pupae before emergence. The females mated immediately after emergence. Male parasitoid could mate more than 3 times, whereas female mated only one time in their lifespan. Host location, host checking and cleaning behavior of the parasitoid were also detailed in this paper.

Key words: *Encarsia sophia*; *Bemisia tabaci*; reproduction mode; behavior

烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius 和温室粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) 是蔬菜、大田作物和花卉的重要害虫^[1,2]。这两种粉虱由于其世代重叠、繁殖率高、寄主范围广、较高的农药抗性以及在叶背面为害的特点, 给防治带来很大困难。目前对粉虱的防治主要采用化学防治为主, 然而, 大量使用化学农药, 除了抗性问题的, 环境污染也日趋严重^[3~5]。生物防治在减缓农药抗性发展和环境保护中起着关键作用。在粉虱的生物防治中, 以寄生蜂来控制其危害在许多国家已有广泛应用^[6~8]。

浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* (Girault & Dodd) 属膜翅目 Hymenoptera 蚜小蜂科 Aphelinidae, 恩蚜小蜂属 *Encarsia*, 是烟粉虱和温室粉虱的重要寄生性天敌^[6,9,10], 不仅寄生粉虱若虫, 而且有较强的取食寄主能力^[10,11], 具有良好的应用前景。该蜂具有膜翅目昆虫孤雌产雄, 两性产雌的生殖模式, 雌雄蜂异律发

收稿日期: 2014-01-25

基金项目: 国家“973”计划项目(2013CB127600); 公益性行业(农业)科研专项(2013003019); 现代农业产业技术体系(BLVT-13)

作者简介: 穆常青, 硕士, 农艺师, E-mail: Mu731@163.com; *通信作者, 博士, 研究员, E-mail: LuoChen@baafs.net.cn。

育。交配后的雌蜂寄生烟粉虱若虫, 产生雌性后代; 交配或未交配的雌蜂产未受精卵, 寄生已经被该蜂或其它蜂寄生过的粉虱若虫, 产生雄蜂, 即利用粉虱若虫体内的幼蜂以外寄生的方式完成雄蜂的发育。这种繁殖方式又称异律发育重寄生(heteronomous hyperparasitism), 具这种繁殖方式的蜂称自复寄生蜂(autoparasitoid)^[12~14]。

国外关于浅黄恩蚜小蜂的应用潜能和应用研究有不少报道^[8,10], 关于该蜂的个体发育^[6]和产卵机制^[12]亦有详细报道, 但有关该蜂生殖方式和交配行为的研究尚未见报道。为更好地利用该蜂, 本团队先后对其个体发育、生物学特性和过寄生等进行过研究^[15~18]。根据蜕皮现象及形态特征, 雌蜂羽化前的发育可分为6个阶段。实验室条件下, 整个发育历期约有12 d, 雌蜂平均寿命21.9 d, 产卵量平均为79.1粒; 在烟粉虱隐种对浅黄恩蚜小蜂寄主选择研究中发现, 该小蜂倾向于B隐种烟粉虱若虫作为寄主, 而且, 以B隐种烟粉虱若虫为寄主时, 小蜂的产卵量和寄生若虫数量均增加; 并将该蜂的产卵行为分为寄主体外检测、体内环境检测、排卵和拔出产卵器等4个过程。本文进一步报道了浅黄恩蚜小蜂的生殖方式, 观察了该蜂羽化节律和交配行为, 拟为该蜂的繁殖应用提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试植物

供试寄主植物为番茄 *Lycopersicon esculentum* Mill., 品种为“盆栽红”, 购于北京市农林科学院蔬菜研究中心, 营养钵育苗后定植在口径10 cm的塑料盆内, 然后放入120目尼龙纱网的养虫笼(90 cm×70 cm×50 cm)里, 加强水肥管理, 培养无虫健壮苗待用。

1.2 供试昆虫

烟粉虱采自北京农林科学院植物保护环境保护研究所温室, 于室内用番茄苗饲养, 将番茄苗(高25 cm)接种24 h后, 去除烟粉虱成虫, 待烟粉虱发育至3龄或4龄初时用于试验。浅黄恩蚜小蜂由美国德克萨斯农工大学韦斯拉科农业生命研究所(Texas AgriLife Research, Texas A&M University System at Weslaco)引入, 室内用烟粉虱繁殖5代以上用于试验。蜂发育至黑蛹期时将带有黑蛹的番茄叶片摘下, 用脱脂棉包裹叶柄并注水后置于塑料培养皿(直径9 cm)内, 收集羽化蜂备用。

1.3 试验方法

1.3.1 生殖方式 将剪下的番茄叶片置于解剖镜(NiKon SMZ1500)下, 用解剖针挑除龄期不适合的烟粉虱若虫, 每片叶上保留30头左右发育良好的烟粉虱若虫, 置于培养皿中。试验设3个处理, 每处理设10个重复。处理1: 接入羽化后12 h内雌雄处女蜂各1头, 24 h后将蜂清除。培养皿置于光照培养箱(Sanyo ML2-351)内令其发育, 适时加水, 保持叶片鲜活。处理2: 接入羽化后12 h内处女蜂雌蜂1头, 24 h后将蜂清除。为获得处女蜂, 事先在种群笼中挑取浅黄恩蚜小蜂黑蛹30头, 单头置于培养皿中, 培养皿内铺定性滤纸并喷水以保持湿润。处理3: 重寄生试验。在放好叶片的培养皿中(约50头3~4龄烟粉虱若虫)一次性接入雌蜂20头和雄蜂3头, 24 h后清除所有接入的寄生蜂。培养皿置于光照培养箱内, 7 d后(此时初寄生的寄生蜂已发育到3龄左右)每培养皿接入2头处女雌蜂, 在解剖镜下观察其产卵行为, 按照王继红等^[18]描述的产卵行为细节判断是否产卵, 凡有产卵行为发生的做好标记, 最后将没有被二次寄生的寄主清除掉, 保留发生过重寄生的寄主。

1.3.2 羽化节律性及羽化率 剪取黑蛹较多的番茄叶片, 将叶片放到解剖镜下放大10倍, 用零号昆虫针把黑蛹从叶片上小心挑下。每个培养皿内挑入50头发育良好有光泽的黑蛹, 室温条件下羽化, 重复6次。每4 h统计蜂的羽化数, 并将羽化的成蜂及时转移, 计算羽化率。

1.3.3 羽化行为观察 得到羽化节律性之后, 每天的羽化高峰时段挑取发育良好蛹壳有光泽的黑蛹, 在解剖镜下放大40倍仔细观察记录羽化过程, 从蛹动开始观察直到羽化的成蜂开始行走时结束。总共观察50头。

1.3.4 交配行为观察 将刚羽化的雌蜂和雄蜂各1头引入玻璃指形管中, 在10倍解剖镜下观察, 记录并描述其交配的时间和过程, 是否可以多次交配。交配完成后, 把2头蜂分别引入新的指形管, 配以刚羽化的异性蜂, 观察其交配情况, 观察时间持续3 h。试验设10次重复。另设10头雌蜂和2头雄蜂混合状态

下的交配情形观察。在指形管内放入 5%蜂蜜水作为补充营养。

1.3.5 产卵行为观察 将带有 4 龄前期烟粉虱若虫的番茄叶片，放入直径 9 cm 的培养皿中，接入 1 头刚交配过的浅黄恩蚜小蜂雌蜂，然后用保鲜膜封口，在解剖镜下观察浅黄恩蚜小蜂产卵的过程。记录产卵时间（即产卵器插入寄主体内到离开的时间），共观察 10 头雌蜂，每头雌蜂观察 5 次寄生行为，总共观察 50 次寄生行为。

1.4 试验条件

以上各组处理均在光照培养箱内（Sanyo ML2-351）进行发育，温度（25±1）℃，RH 70%~75%，光周期 14L:10D，光照强度 3500 lx 左右。每天上午 8 点检查记录，给叶片脱脂棉加水，及时清除未被寄生而正常发育羽化的烟粉虱成虫。

2 结果与分析

2.1 生殖方式

配对的处女蜂产生的后代均为雌蜂，每对成蜂平均产生 11.2 头后代；仅接入处女雌蜂的处理，不能产生任何后代；在已被寄生的烟粉虱若虫中接入未经交配的雌蜂，产生的后代均为雄蜂，每雌蜂平均产生 5.6 头后代（表 1）。这一结果说明，雌雄正常交配后在寄主体内产下受精卵，后代发育为雌蜂；而未经交配的雌蜂不能直接在烟粉虱若虫体内产卵，不能进行初寄生产生后代；雄性后代的产生需要进行自复寄生，即未受精卵重寄生于姊妹雌蜂后，方可发育为雄蜂。

2.2 羽化节律性及羽化率

浅黄恩蚜小蜂白天黑夜均能羽化，以白天羽化为主，少数也可以在夜间羽化。在 08: 00—12: 00 时间段羽化数最多 28.6 头，占全天羽化数的 58.1%；其次是 12: 00—16: 00 时间段，羽化数为 10.6 头，占全天羽化数的 21.5%。这 2 个时间段羽化的数量占到了总数的 80%，其他 4 个时段的羽化数只占 20%（图 1）。

表 1 不同处理浅黄恩蚜小蜂的雌雄蜂数量（平均值±标准误）
Table 1 Sexed numbers of offspring *E. sophia* for different treatments (Mean±SE)

处理 Treatments	重复数 Repeat	雌蜂后代数 Numbers of female offspring	雄蜂后代数 Numbers of male offspring
处女蜂（1 头雌蜂+1 头雄蜂） Virgin parasitoid (1 female + 1 male)	10	11.2±1.5	0.0
处女蜂（1 头雌蜂） Virgin parasitoid (1 female)	10	0.0	0.0
自复寄生（1 头雌蜂） Autoparasitoid (1 female)	10	0.0	5.6±2.5

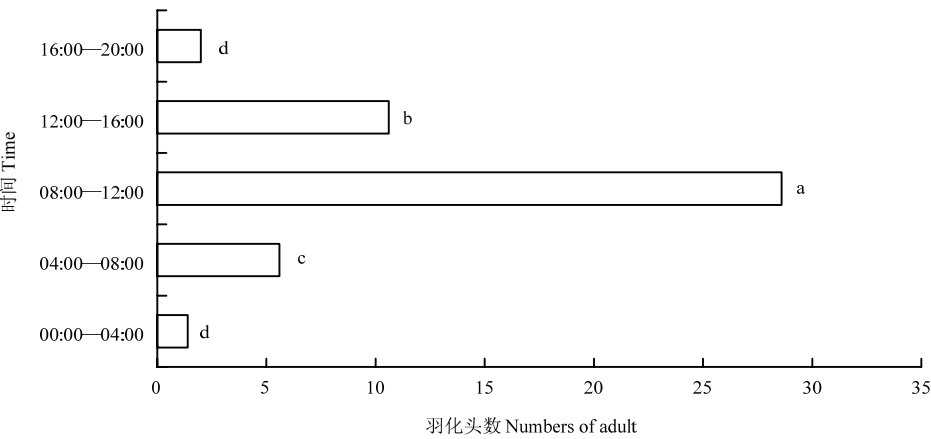


图 1 浅黄恩蚜小蜂羽化节律

Fig. 1 Emergence rhythm of *E. sophia*

注：不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。 Note: The different letters indicated significantly different at 0.05 level.

由此可见, 浅黄恩蚜小蜂的羽化行为具有明显的昼夜节律性, 主要在白天羽化, 并且集中在上午的 08: 00—12: 00 时间段。自然条件下, 浅黄恩蚜小蜂的羽化率为 98.4%。

2.3 羽化行为观察

羽化之前的黑蛹, 有一个非常明显的“蛹动”过程, 即黑蛹在烟粉虱的蛹壳内不停地左右摇摆, 力图“翻身”, 而在此之前的黑蛹则是静止不动的。在 40 倍解剖镜下可以清晰地观察到这一现象, 大而健壮的黑蛹比较明显, 瘦小的黑蛹则不明显。“蛹动”的结果是黑蛹完成“转身”, 接下来, 它需要突破两层障碍。第一层是黑蛹本身的蛹壳, 这层蛹壳是黑色的, 由于浅黄恩蚜小蜂的蛹属于典型的离蛹, 所以黑色的蛹壳紧紧附着在虫体上, 四肢虽然清晰可辨但不能自由活动。当蜂完成“转身”后便从头部撑破自己的蛹壳, 开一个不规则的口子, 头部和前足陆续呈现, 值得注意的是有少数黑蛹会在“转身”的过程中撑破自身蛹壳。第二层需要突破的便是寄主的体壁, 这层体壁是透明的, 也因此可以直接观察到寄生于内的浅黄恩蚜小蜂蛹。头部摆脱了自身蛹壳的束缚之后, 便用上颚在寄主的体壁上耐心地咬出一个比较规则的圆形羽化孔, 此孔与自身头部大小相当, 这个过程大约需要 5~15 min。当羽化孔的大小差不多时, 就迫不及待地努力钻出。钻出的过程大约需要 4~10 min, 时间的长短与所开羽化孔的大小有关。从开洞到完全钻出的整个过程最长时间 29 min, 最短时间 14 min。新羽化出的浅黄恩蚜小蜂身体比较柔嫩, 触角和翅没有完全伸展开, 它一边用前足梳理触角, 一边用后足梳理粘连在一起的翅, 两相交替进行。等到梳理的差不多时, 它会试着振翅, 以便使潮湿的翅干燥坚挺起来, 但是并不起飞, 只是迅速的奔跑。至此, 整个羽化过程结束。

2.4 交配行为

羽化后的雌雄浅黄恩蚜小蜂可以立即进行交配, 少数取食蜂蜜水补充营养。在试验周期内, 1 头雄蜂可以与多头雌蜂交配, 而雌蜂只交配 1 次。雄蜂的个体相对雌蜂较小, 比雌蜂活跃, 特别是触角, 不停地敲打前方要经过的“路面”, 雌蜂的触角只作幅度较小的摆动, 不会接触到要经过的“路面”。雄蜂在前进的过程中一旦遇到 1 头雌蜂, 便用触角触碰、敲打雌蜂, 做试探状, 雌雄蜂触角迅速而有规律的互相触碰, 若不合适, 则马上离开, 整个过程很连贯也很短暂, 通常在 10 s 之内; 雌蜂若不逃避, 则雄蜂立刻爬到它的背上, 进行交配。交配时, 雌蜂保持静止不动, 雄蜂的腹部向下弯曲, 整个过程很迅速, 一般在 5~15 s。交配完成后雄蜂马上跳下雌蜂的背, 先是作几次短促的飞行, 然后静止休息, 用前足梳理触角, 用后足梳理翅, 然后开始积极寻找下个目标。交配后的雌蜂通常停留在原地, 片刻后开始正常活动。

交配动作一次即可成功, 极少数需要重复, 少有发现连续交配的情形。在雄蜂多于雌蜂时, 雄蜂有明显的交配竞争行为, 通常体形较大、较强壮的雄蜂会用触角将其它雄蜂赶走, 然后在无干扰的条件下与雌蜂交配。

2.5 产卵行为观察

浅黄恩蚜小蜂以内寄生方式繁殖雌性后代, 主要寄生烟粉虱的 3 龄和 4 龄前期若虫, 寄生在其它龄期也可以完成发育, 但是发育历期相对较长。完成交配后的雌性浅黄恩蚜小蜂便开始寻找合适的寄主产卵。其寄生行为大致分为下面几个过程。

寄主定位: 雌蜂进入寄主所在的栖境后, 在叶片上迅速爬行, 间或作短距离飞行, 爬行过程中不断的用触角敲打探测叶片, 边爬边用触角敲打所遇到的烟粉虱若虫, 直至找到寄主。

寄主检查与产卵: 雌蜂找到寄主后并不立即产卵, 而是首先对寄主进行检查, 判断寄主的生理状况、寄主大小是否适合以及是否已经被寄生等, 确定寄主适合时才产卵。有关行为的详细描述, 参见文献[11]。

清扫梳理: 浅黄恩蚜小蜂完成产卵后, 并不立即将产卵器抽出, 而是静止几秒后再将产卵器抽出, 尾部抬起, 然后用后足进行清扫和梳理, 并用前足不停的梳理触角。梳理完毕后, 再围绕已经产过卵的地方爬行几圈后才离去。雌蜂完成一次产卵后, 有可能继续寻找下一个寄主, 也可能停留在叶脉附近进行休整, 过后寻找下一个寄主。

3 讨论

本试验明确了浅黄恩蚜小蜂的生殖方式为孤雌产雄, 自复寄生, 雌雄异律发育。即雌雄蜂正常交配后

寄生粉虱产生雌蜂, 未经交配的雌蜂寄生已被寄生的粉虱若虫产生雄蜂。本试验结果表明, 自复寄生每雌蜂平均产生 5.6 粒, 为已交配雌蜂平均后代数 11.2 粒的一半, 这正与实际情况相吻合。本实验室在繁育该蜂的过程中发现, 雌蜂的比例显著高于雄蜂, 与同样繁殖方式的双斑恩蚜小蜂 *Encarsia bimaculata* Heraty & Polaszek 类似^[19]。浅黄恩蚜小蜂通过消耗自身资源产生雄性后代, 似乎不符合物种进化的规律, 但是从另一角度来看, 这种生殖方式却可以根据寄主数量的多少合理调节自身种群数量, 又不失为一种高明的进化策略。当寄主数量远大于寄生蜂数量时, 交配过的雌蜂可以自由产卵, 雌性后代不断增加, 种群呈增长趋势; 被寄生的寄主迅速增加, 未被寄生的寄主数量相应减少, 这就增加了雌蜂进行自复寄生的几率, 雄蜂数量增多, 抑制了寄生蜂种群的增长, 这恰好符合生物防治的要求。浅黄恩蚜小蜂的这种特殊生殖方式使得雄蜂在种群繁殖中起着关键的作用, 本试验为雄蜂的人工繁殖提供了一种可靠的方法。

Antony 等^[6]对浅黄恩蚜小蜂的研究中介绍“蛹动”是由于羽化之前浅黄恩蚜小蜂要在寄主蛹壳内有一个“转身”的过程, 也就是要从羽化前的“趴在叶片上”, 转身而成为“背对叶片”。这样才便于其咬破蛹壳羽化而出。但是据本试验观察, 挑取到培养皿中的黑蛹, 如果是“趴在滤纸上”的, 则需要转身, 有“蛹动”现象; 如果是背对滤纸“躺在滤纸上”则无需转身, “蛹动”现象不明显并且持续时间很短。由此可见, 将要羽化的黑蛹可以感知蛹壳的哪个方向是“朝上”的, 人为翻转了蛹壳后, 黑蛹就不会盲目“转身”, 而是直接破壳而出。至于羽化前的黑蛹是如何完成这种感知的, 则目前不能做出合理的解释。

羽化行为研究的结果显示, 室外自然条件下浅黄恩蚜小蜂的羽化率很高(98.4%), 并且主要集中在上午的 8:00—10:00 时间段羽化, 这有利于在人工繁蜂过程中大量收集成蜂。由于实验室种群中雄性浅黄恩蚜小蜂的数量非常稀少, 因此, 未能对雄蜂的羽化行为进行观察。

交配行为观察的结果显示, 每头雄蜂可以同多头雌蜂进行交配, 而雌蜂成功交配 1 次之后若再次遇到雄蜂的追逐便会逃避, 交配后的雌蜂短时间内便开始产卵。前期研究表明, 浅黄恩蚜小蜂在每天更换寄主的情况下, 雌蜂平均寿命 21.9 d, 最长 29 d, 最短 8 d; 产卵量为 79.1 粒, 最多 124 粒, 最少 51 粒^[16]。本试验雌蜂在正常交配一次的情况下, 初寄生产生 11 头雌蜂, 重寄生产生 6 头雄蜂。这显然远远不够雌蜂一生的产卵量。由于本试验是在 3 h 内未观察到雌蜂的交配行为, 即终止观察, 以后亦未提供雄蜂。因此, 这并不意味着雌蜂此后便不再需要交配, 因为恩蚜小蜂属为卵谐产类寄生蜂, 即羽化时雌蜂体内的卵仅一部分已发育成熟, 而另一部分卵需补充营养后再发育成熟。有可能雌蜂交配 1 次后产下一部分受精卵, 待体内未成熟卵发育成熟后再次进行交配, 继续产卵。那么得不到再次交配的雌蜂是否只能产下未受精卵进行自复寄生产生雄性后代, 有待进一步的研究来证实。

参 考 文 献

- [1] Mound L A, Halsey S H. Whitefly of the world. A systematic catalogue of the Aleyrodidae (Homoptera) with host plant and natural enemy data. British Museum of Natural History[D]. Chichester, 340.
- [2] Perring T M, Cooper A D, Rodriguez R J, *et al.* Identification of a new whitefly species by genomic and behavioral studies[J]. Science, 1993, 59: 74-77.
- [3] Horowitz A R, Kontsedalov S, Khasdan V, *et al.* Biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* and their relevance to neonicotinoid and pyriproxyfen resistance[J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 2005, 58: 216-225.
- [4] Luo C, Jones C M, Devine G, *et al.* Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) from China[J]. Crop Protection, 2010, 29(5): 429-434.
- [5] 饶琼, 许勇华, 张帆, 等. 吡虫啉的不同施药方式对丽蚜小蜂的寄生效果评价[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(4): 467-472.
- [6] Antony B, Palaniswami M S, Henneberry T J. *Encarsia transvena* (Hymenoptera: Aphelinidae) development on different *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae) instars[J]. Environmental Entomology, 2003, 32(3): 584-591.
- [7] Kajita H. Geographical distribution and species composition of parasitoids (Hymenoptera: Chalcidoidea) of *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci*-complex (Homoptera: Aleyrodidae) in Japan[J]. Applied Entomology and Zoology, 2000, 35: 155-162.
- [8] Goolsby J A, de Barro P J, Kirk A A, *et al.* Post-release evaluation of biological control of *Bemisia tabaci* biotype 'B' in the USA and the development of

- predictive tools to guide introductions for other countries[J]. *Biological Control*, 2005, 32: 70-77.
- [9] Roltsch W J. Establishment of introduced parasitoids of the silverleaf whitefly in the Imperial Valley of CA[C]// Woods D M eds. *Biological Control Program Annual Summary*. Sacramento, California, USA: California Department of Food and Agriculture, Plant Health and Pest Prevention Services, 2001, 21.
- [10] Zang L S, Liu T X. Host feeding of three whitefly parasitoid species on *Bemisia tabaci* Biotype B, with implications for whitefly biological control[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2008, 127: 55-63.
- [11] Zang L S, Liu T X. Food-deprived host-feeding parasitoids kill more pest insects[J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2009, 19: 573-583.
- [12] Gerling D, Quicke D L J, Orion T. Oviposition mechanisms in the whitefly parasitoids *Encarsia transvena* and *Eretmocerus mundus*[J]. *BioControl*, 1998, 43: 289-297.
- [13] Hunter M S, Woolley J B. Evolution and behavioral ecology of heteronomous aphelinid parasitoids[J]. *Annual Review of Entomology*, 2001, 46: 251-290.
- [14] Heraty J M, Polaszek A P. Morphometric analysis and descriptions of selected species in the *Encarsia strenua* group (Hymenoptera: Aphelinidae)[J]. *Journal of Hymenoptera Research*, 2000, 9: 142-169.
- [15] 李元喜, 罗晨, 周长青, 等. 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.
- [16] 周长青, 李元喜, 刘同先, 等. 浅黄恩蚜小蜂雌蜂的个体发育及其寿命和产卵量的观察[J]. *中国生物防治*, 2010, 26(2): 113-118.
- [17] 王继红, 罗晨, 刘同先, 等. 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[J]. *昆虫学报*, 2011, 54(6): 687-693.
- [18] 王继红, 陈庭慧, 张帆, 等. 浅黄恩蚜小蜂产雌和产雄生殖行为[J]. *中国生物防治学报*, 2012, 28(3): 308-313.
- [19] 邱宝利, 任顺祥, 吴建辉. 双斑恩蚜小蜂形态学特征、生活习性及其寄生行为[J]. *昆虫知识*, 2005, 42(1): 64-67.