

# 两种烟粉虱寄生蜂的雌性生殖系统结构与卵巢发育特点

徐海云<sup>1,2</sup>, 杨念婉<sup>1</sup>, 万方浩<sup>1,3</sup>

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. 河北大学生命科学学院, 保定 071002
3. 中国农业科学院深圳农业基因组研究所, 深圳 518120

**摘要** 通过对烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius 的两种优势寄生蜂浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* Girault & Dodd 和海氏浆角蚜小蜂 *Eretmocerus hayati* Zolnerowich & Rose 的生殖系统结构与卵巢发育特点的研究, 明确了影响两种寄生蜂不同寄主处理行为的生理机制。两种寄生蜂雌性生殖系统各包括 1 对卵巢、1 对侧输卵管、中输卵管、受精囊、产卵管和产卵鞘。浅黄恩蚜小蜂的产卵器细长笔直较锋利, 海氏浆角蚜小蜂产卵器扁平且尖端向上弯曲, 这与两种寄生蜂不同的产卵机制相吻合。浅黄恩蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂雌蜂初羽化时体内成熟卵子数量存在明显差异, 但随着时间的推移和营养的补充, 两种寄生蜂卵巢内成熟卵子的数量都会显著增加。两种寄生蜂均为卵育型寄生蜂。

**关键词** 浅黄恩蚜小蜂; 海氏浆角蚜小蜂; 雌性生殖系统; 卵巢发育; 烟粉虱

中图分类号 Q964

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.07.013

## Female reproductive system and ovary development of two parasitoids of tobacco whitefly

XU Haiyun<sup>1,2</sup>, YANG Nianwan<sup>1</sup>, WAN Fanghao<sup>1,3</sup>

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. College of Life Science, Hebei University, Baoding 071002, China
3. Agricultural Genome Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shenzhen 518120, China

**Abstract** The female reproductive system structures and ovary developmental traits of two parasitoids, *Encarsia sophia* (Girault & Dodd) and *Eretmocerus hayati* (Zolnerowich & Rose), of whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) were studied to explain the differences of host handling strategies between these two parasitoid species. The female reproductive system of both *En. sophia* and *Er. hayati* each consisted of a pair of ovaries and lateral oviducts, common oviduct, spermatheca, ovipositor and ovipositor sheath. The ovipositor of *En. sophia* is straight and has an apparently hard and sharply pointed upper valve, while that of *Er. hayati* is curved, thick-walled, but has a blunt and apparently flexible tip. These features correlated well with the oviposition mechanisms of *En. sophia* and *Er. hayati*. Significant difference was found in the number of mature ova between *En. sophia* and *Er. hayati* when they emerged. The number of mature ova of both parasitoids increased with the age of adult female when the available nutrition was enough. Both *En. sophia* and *Er. hayati* are synovigenic.

**Keywords** *Encarsia sophia*; *Eretmocerus hayati*; female reproductive system; ovary development; tobacco whitefly

收稿日期: 2014-10-14; 修回日期: 2014-12-23

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30930062); 国家自然科学基金青年基金项目(31301726); 农业公益性行业科研专项(201303024); 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2013CB127605); 《科技导报》博士生创新研究资助计划项目(kjdb2012005)

作者简介: 徐海云, 博士, 研究方向为入侵生物学与生物防治, 电子信箱: xuhaiyun2013@126.com; 万方浩(通信作者), 研究员, 研究方向为入侵生物学与生物防治, 电子信箱: wanfanghao@caas.cn

引用格式: 徐海云, 杨念婉, 万方浩. 两种烟粉虱寄生蜂的雌性生殖系统结构与卵巢发育特点[J]. 科技导报, 2015, 33(7): 79-83.

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) MEAM1 (Middle East-Asia Minor 1, 也称 biotype B) 是中国最主要的入侵害虫之一, 对中国经济作物、蔬菜和园林花卉生产造成了严重的经济损失<sup>[1,2]</sup>。浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia* (Girault & Dodd) 和海氏浆角蚜小蜂 *Eretmocerus hayati* (Zolnerowich & Rose) 是烟粉虱的两种优势寄生蜂, 近些年来被越来越多的生物防治工作者关注并应用于烟粉虱的生物防治<sup>[3-6]</sup>。

浅黄恩蚜小蜂属膜翅目小蜂科恩蚜小蜂属, 为单寄生性内寄生蜂, 雌蜂将卵直接产在寄主体内。雌雄异律发育, 雌蜂为初寄生蜂, 雄蜂为复寄生蜂, 即浅黄恩蚜小蜂将受精的雌性卵产在同翅目寄主上, 发育为雌蜂; 将未受精的雄性卵产在同种或异种寄生蜂幼虫上, 发育为雄蜂。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。雌蜂将卵产在寄主若虫腹部与叶片之间, 一龄幼虫孵化后再钻入寄主体内继续生长发育。两种寄生蜂均为烟粉虱的专性寄生蜂。

本课题组前期研究发现, 浅黄恩蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂在遭遇寄主后, 两者的寄主处理策略表现出一定的差异: 浅黄恩蚜小蜂倾向于先取食后寄生, 而且取食致死寄主数量占总致死寄主数量(寄生+取食)比重较大; 海氏浆角蚜小蜂倾向于先寄生后取食, 取食致死寄主数量与寄生致死寄主数量相当<sup>[6]</sup>。造成这种行为差异的原因可能与寄生蜂的卵巢发育特点有关<sup>[7]</sup>, 但由于烟粉虱寄生蜂个体微小, 国内外鲜有关于其生殖系统解剖结构和卵巢发育特点的报道。

寄生蜂卵巢结构、卵子发育模式及寄生蜂产卵规律在害虫生物防治的实践中有重要的指导作用, 可作为寄生蜂大规模生产及田间和保护地大量释放寄生蜂防治害虫的一个重要的参考指标。因此, 本文拟在冀禄禄等<sup>[7]</sup>对海氏浆角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂雌蜂生殖系统研究的基础上, 对烟粉虱两种优势寄生蜂的卵巢结构、卵子发育模式和产卵器结构进行更细致的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

海氏浆角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂由本实验室于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入, 以棉花植株上的烟粉虱 MEAM1 若虫为寄主建立实验种群, 在中国农业科学院廊坊科研中试基地养虫室中饲养, 培养条件为: 温度(26±2)℃、相对湿度(65±5)%、光周期L14:D10。

烟粉虱 MEAM1 于2002年10月采自中国农业科学院蔬菜花卉研究所温室, 以棉花为寄主植物长期饲养于中国农业科学院廊坊科研中试基地温室中, 无用药史。

饲养烟粉虱 MEAM1 和2种寄生蜂的寄主植物均为棉花 (*Gossypium* spp.), 品种为新科8号, 购于河北中创农科种业科技有限公司。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 供试寄生蜂的准备

向每株带有适宜龄期(2~3龄)烟粉虱若虫的棉花植株接入20~30对浅黄恩蚜小蜂或海氏浆角蚜小蜂成蜂, 产卵24h后移走全部成蜂。所得棉花植株继续培养, 10d后, 采摘带有黑蛹(浅黄恩蚜小蜂)或黄色寄生蜂蛹(海氏浆角蚜小蜂)的棉花叶片, 用昆虫针轻轻挑取寄生蜂蛹置于1.5mL离心管内, 1头/管, 每种寄生蜂挑取100头蛹, 完成后将离心管置于人工气候箱内继续离体培养, 温度(26±2)℃、相对湿度(65±5)%、光周期L14:D10。工作时间内(8:00—22:00)每0.5h检查1次寄生蜂羽化情况, 分别收集羽化后0、6、12、24、48和72h的寄生蜂处女蜂, 每只离心管中放入1条已浸5%蜂蜜水的棉线(2cm左右)提供营养, 直到达到实验所需时间要求。

### 1.2.2 寄生蜂生殖系统解剖

将满足实验要求的寄生蜂于-20℃冰箱内冷藏10min后置于载玻片上, 体式解剖镜(Olympus SZX12)下在0.02mol/L磷酸盐缓冲液(pH值7.4)中解剖两种寄生蜂的生殖系统。解剖过程中, 用1支解剖针轻轻按住小蜂的胸部背板, 另1支解剖针从腹部末端摁住外生殖器往外轻拉, 小心剥离连带的消化系统、脂肪体等, 留下生殖系统<sup>[7]</sup>。在解剖镜下仔细观察两种小蜂雌成蜂生殖系统的形态和构造, 计数卵巢管和成熟卵子数量, 并拍照。随后, 在解剖镜下测量羽化后24h的寄生蜂的后足胫节长度(hind tibia length, HTL), 并记录数据。

### 1.2.3 寄生蜂产卵器的电镜扫描观察

取初羽化的浅黄恩蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂各10头置于70%的乙醇溶液中, 随后依次用80%、90%、95%和100%的乙醇溶液梯度脱水, 再在CO<sub>2</sub>临界点干燥仪中干燥2h。将干燥好的样品用导电银胶粘于样品台上, 在真空喷涂仪内喷金。喷金后, 在日立S2570扫描电镜下观察、照相, 加速电压为12kV。

## 1.3 数据统计分析

采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检测羽化后不同时间点寄生蜂体内成熟卵子数的差异, 并采用Tukey HSD方法进行多重比较。对羽化后24h雌蜂的后足胫节长度与雌蜂体内成熟卵子数量进行Pearson相关性分析。所有数据分析均采用SPSS 19.0软件, 显著性水平为P < 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种寄生蜂生殖系统的结构

两种寄生蜂雌性生殖系统构造相似, 内生生殖系统各由1对卵巢、1对侧输卵管、1条中输卵管和1个受精囊组成, 外生殖器由产卵管和产卵鞘组成, 其中产卵管又包括背产卵瓣和腹产卵瓣。两种寄生蜂的卵巢均为左右对称的1对, 每侧卵巢由3条卵巢管组成。浅黄恩蚜小蜂的每一条卵巢管向前伸出形成细长的端丝, 两侧卵巢管的端丝集结在一起扭卷成疏松的中悬带(图1(b)), 附着于背血管的腹壁下。海氏浆角蚜

小蜂卵巢管末端则向内弯曲成一团,左右两侧不相连结(图2)。浅黄恩蚜小蜂的卵呈短棒状,端部钝圆;海氏浆角蚜小

蜂的卵呈短椭圆形,排列方向一致,靠近顶部的一端稍尖,靠近基部输卵管的一端钝圆。

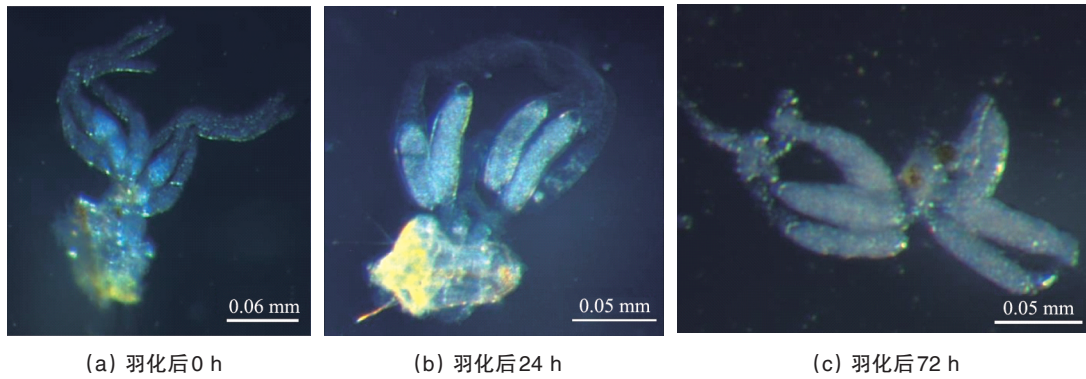


图1 浅黄恩蚜小蜂雌蜂羽化后卵巢管内卵子成熟情况  
Fig. 1 Mature ova of *En. sophia* female after eclosion

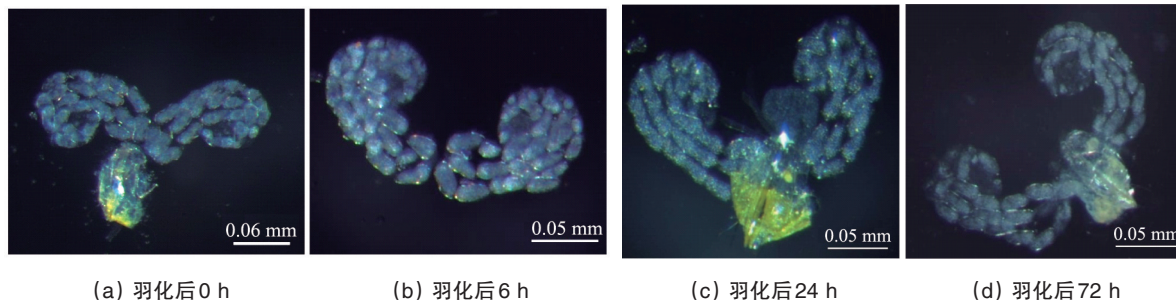


图2 海氏浆角蚜小蜂雌蜂羽化后卵巢管内卵子成熟情况  
Fig. 2 Mature ova of *Er. hayati* female after eclosion

## 2.2 两种寄生蜂卵巢内卵子发育模式

根据寄生蜂羽化时间的不同,卵巢管内成熟卵子和卵泡细胞的数量不同(图1和图2),而且左右卵巢内卵子发育并非

完全对称,即左右卵巢卵巢管内成熟卵子数量可能不同。寄生蜂雌蜂羽化后在保证充足营养的情况下,卵巢内成熟卵子的数量随着时间的推移显著增加(表1)。

表1 浅黄恩蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂羽化后不同时间体内成熟卵子数(mean±SE)  
Table 1 Number of mature ova of *En. sophia* and *Er. hayati* at different female longevities (mean±SE)

寄生蜂种类	成熟卵子数量					
	0 h	6 h	12 h	24 h	48 h	72 h
<i>En. sophia</i>	0.4 ± 0.2 <sup>d</sup>	1.6 ± 0.2 <sup>cd</sup>	1.7 ± 0.2 <sup>c</sup>	3.4 ± 0.2 <sup>b</sup>	4.2 ± 0.2 <sup>ab</sup>	5.3 ± 0.2 <sup>a</sup>
<i>Er. hayati</i>	20.9 ± 1.6 <sup>c</sup>	23.6 ± 1.4 <sup>bc</sup>	25.1 ± 1.6 <sup>abc</sup>	27.5 ± 1.5 <sup>ab</sup>	29.7 ± 1.8 <sup>ab</sup>	31.1 ± 1.5 <sup>a</sup>

注:同一行数据后的不同小写字母表示差异显著(HSD test,  $P < 0.05$ )。

浅黄恩蚜小蜂雌蜂在初羽化时(0 h)卵巢管内几乎没有成熟卵子(图1(a)),随着时间推移和营养补充开始形成卵子并发育成熟,到羽化后24 h,其卵巢内成熟卵子平均数量可达到3.4粒(图1(b)),到羽化后72 h,几乎每条卵巢管内都有1粒卵子发育成熟,此时卵巢内成熟卵子平均数量可达到5.3粒(图1(c))。雌蜂羽化后各时间点之间成熟卵子数量差异显著( $F=33.560, df=5, 107, P < 0.0001$ )。

海氏浆角蚜小蜂雌蜂在初羽化时(0 h)卵巢内就已有大量的成熟卵子(图2(a)),同样随着时间推移和营养补充陆续有卵子成熟,初羽化(0 h)、羽化后6、12、24、48和72 h卵巢管内成熟卵子平均数量差异显著( $F=5.417, df=5, 74, P < 0.0001$ )。

## 2.3 寄生蜂个体大小与潜在繁殖力的关系

羽化后24 h的浅黄恩蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂的后足

胫节平均长度分别为0.15和0.19 mm,均与雌蜂体内成熟卵子数量无明显相关性( $P=0.633$ 和 $0.138$ )。

#### 2.4 两种寄生蜂产卵器的电镜扫描观察

浅黄恩蚜小蜂的产卵器包括产卵鞘,腹产卵瓣和背产卵瓣。整个结构是细长、笔直的,形似一根针头(图3)。背产卵瓣顶端具有一定数量的锯齿状结构(箭头所指)。

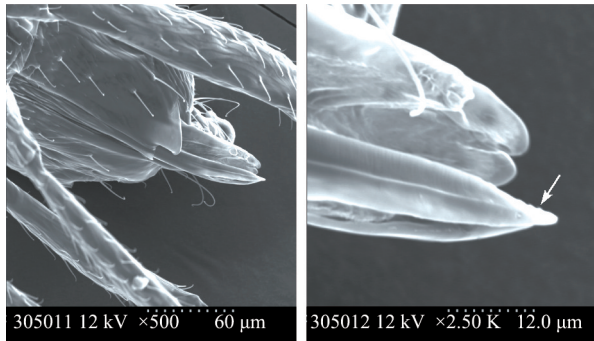


图3 浅黄恩蚜小蜂产卵器形态电镜扫描

Fig. 3 Scanning electron micrographs showing morphology of external ovipositor of *En. sophia*

海氏浆角蚜小蜂的产卵器构造与浅黄恩蚜小蜂相似,但具有不同的特点(图4)。腹产卵瓣扁平、相对较长并且末端向上弯曲,形似一个具有尖端的刀片。背产卵瓣相对较短,但稍微有些宽,顶部形似舌头顶端,可能具有弹性,从图4右图可以看出背产卵瓣上分布着一些感觉器(箭头所指)。

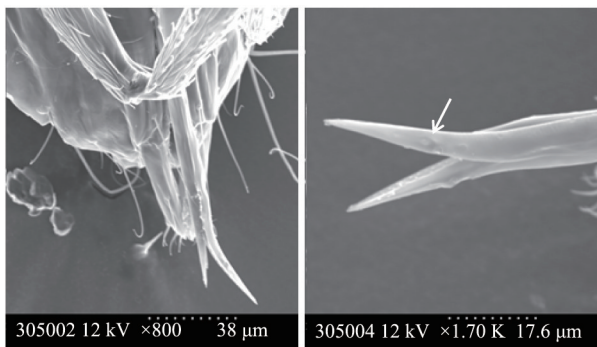


图4 海氏浆角蚜小蜂产卵器形态电镜扫描

Fig. 4 Scanning electron micrographs showing morphology of external ovipositor of *Er. hayati*

### 3 讨论

对烟粉虱两种寄生蜂的雌性生殖系统结构及卵子发育模式进行了较为全面的研究。结果表明,浅黄恩蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂的卵巢管均为左右各3条,对称分布,并未发现异常现象。这与方美娟<sup>[8]</sup>报道的恩蚜小蜂和浆角蚜小蜂相同,但与丽蚜小蜂的卵巢管数目存在差异。与研究中的两种寄生蜂不同,丽蚜小蜂的卵巢管数目会受到环境因素的影响而发生变化,变化幅度为6~15根<sup>[9]</sup>。

两种寄生蜂初羽化时体内成熟卵子数量的差异恰好可以解释两种寄生蜂的寄主处理行为差异:浅黄恩蚜小蜂初羽化时体内几乎没有成熟卵子,因此需要立即补充营养以供卵子成熟;海氏浆角蚜小蜂初羽化时体内已有部分成熟卵子,因此羽化后可立即进行产卵行为。通常,根据寄生蜂羽化时体内成熟卵子的数量不同,寄生蜂被分为卵育型寄生蜂(synovigeny)和卵熟型寄生蜂(pro-ovigeny)。前者指雌蜂羽化时体内没有或有部分的成熟卵子,而后者指雌蜂羽化时体内所有的卵子均已成熟<sup>[10,11]</sup>。对于卵育型寄生蜂来说成蜂需要通过不断的取食营养物质(如寄主、花蜜、蜜露等)来继续完成卵细胞的发育,该种寄生蜂的潜在繁殖力往往超出其卵巢所能容纳的最多成熟卵数<sup>[10,12,13]</sup>。本研究中的两种寄生蜂虽然初羽化时(0 h)卵巢中成熟卵子数量存在一定差异,但随着时间的推移,雌蜂日龄的增加,体内卵细胞继续发育,成熟卵数不断增加,因而浅黄恩蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂都属于卵育型寄生蜂。事实上,自然界中只有极少数寄生蜂是卵熟型寄生蜂<sup>[10,14,15]</sup>。Jervis等<sup>[10]</sup>对膜翅目28科638种统计后发现,98.12%的种类属于卵育型。

寄生蜂羽化后24 h内雌蜂卵巢中的成熟卵子数(抱卵量)常被用来估计其潜在的繁殖力<sup>[16-18]</sup>。同时,学者们普遍认为寄生蜂雌成蜂的个体大小与24 h内的抱卵量密切相关,可以作为评估寄生蜂潜在繁殖力的一个良好的指标<sup>[17,19-21]</sup>。然而本研究中未发现寄生蜂雌蜂个体大小与其体内成熟卵子数量存在明显的相关关系,这可能是由于本研究采用的寄生蜂均来自同一类型的寄主,个体大小未出现明显差异。鉴于此,需要寻找另一个与寄生蜂繁殖潜力大小相关的指标来监测浅黄恩蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂的繁殖力。

2种寄生蜂产卵器呈现出不同的形态结构:浅黄恩蚜小蜂的产卵器直而尖,形似针管,而海氏浆角蚜小蜂的产卵器背腹产卵瓣长度不一,腹产卵瓣长而向上弯曲,且呈扁平刀片状。这些不同的形态结构特点与两种寄生蜂的产卵机制有关<sup>[22]</sup>。浅黄恩蚜小蜂雌蜂产卵时站在寄主体上,将卵直接产于寄主体内,因而需要利用产卵器将寄主背部表皮刺破<sup>[23]</sup>,因此它的产卵器通常是比较锋利、顶部比较尖并且足够强健,从而能够在寄主背部表皮和体内来回抽动。而海氏浆角蚜小蜂雌蜂产卵时是站在寄主体侧,将卵产于寄主腹部和植株叶片之间,并不需要刺破寄主表皮,而且当海氏浆角蚜小蜂取食寄主时通常是在寄主皿状孔上进行穿刺而不是像浅黄恩蚜小蜂一样穿透寄主表皮,因此,海氏浆角蚜小蜂的产卵器不像浅黄恩蚜小蜂的产卵器那样锋利,但它形似刀片状并向上弯曲的腹产卵瓣可以帮助其灵活打开寄主与叶片之间的空隙从而成功将卵产于该处。

### 4 结论

明确了烟粉虱2种优势寄生蜂浅黄恩蚜小蜂和海氏浆角蚜小蜂的雌性生殖系统结构和卵子发育模式,研究结果解释

了两种寄生蜂的寄主处理行为差异,为在烟粉虱的生物防治中更合理地应用两种寄生蜂提供了依据。

### 参考文献(References)

- [1] 罗晨,张君明,石宝才,等.北京地区烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 调查初报[J].北京农业科学,2000,18(增1):42-47.  
Luo Chen, Zhang Junming, Shi Baocai, et al. Preliminary investigation of host-plant of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Beijing[J]. Beijing Agricultural Sciences, 2000, 18(Suppl 1): 42-47.
- [2] 万方浩,郑小波,郭建英.重要农林外来入侵物种的生物学与控制[M].北京:科学出版社,2005:44-55.  
Wan Fanghao, Zheng Xiaobo, Guo Jianying. Biology and management of invasive alien species in agriculture and forestry[M]. Beijing: Science Press, 2005: 44-55.
- [3] Hoelmer K A, Roltsch W J. Evaluation of exotic parasitoids and predators in field cages in California: Classical biological control of *Bemisia tabaci* in the United States: A review of interagency research and implementation [M]. Gould J, Hoelmer K, Goolsby J. The Netherlands: Springer, 2008: 129-145.
- [4] 王继红,张帆,李元喜.烟粉虱寄生蜂种类及繁殖方式多样性[J].中国生物防治学报,2011,27(1):115-123.  
Wang Jihong, Zhang Fan, Li Yuanxi. Diversity of species and reproductive mode of *Bemisia tabaci* parasitoids[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2011, 27(1): 115-123.
- [5] Yang N W, Ji L L, Lovei G L, et al. Shifting preference between oviposition vs. host-feeding under changing host densities in two aphelinid parasitoids[J]. PLoS ONE, 2012, 7: e41189.
- [6] Xu H Y, Yang N W, Wan F H. Competitive interactions between parasitoids provide new insight into host suppression[J]. PLoS ONE, 2013, 8(11): e82003.
- [7] 冀禄禄,杨念婉,万方浩,等.海氏梨角蚜小蜂和浅黄恩蚜小蜂雌性生殖系统的解剖结构[J].中国生物防治,2012,28(3):303-307.  
Ji Lulu, Yang Nianwan, Wan Fanghao, et al. Female reproductive system of *Eretmocerus hayati* (Zolnerowich & Rose) and *Encarsia sophia* (Girault & Dodd), parasitoids of *Bemisia tabaci* (Gennadius)[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2012, 28(3): 303-307.
- [8] 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].福州:福建农林大学,2012.  
Fang Meijuan. Studies on sense organ and parasitic development characters of three parasitoids of *Bemisia tabaci* Gennadius[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [9] 王青,严毓骅.丽蚜小蜂雌性生殖系统的形态研究[J].北京农业大学学报,1992,18(2):207-209.  
Wang Qing, Yan Yuhua. Study on the female reproductive system of *Encarsia formosa* Gahan[J]. Journal of China Agricultural University, 1992, 18(2): 207-209.
- [10] Jervis M A, Heimpel G E, Ferns P N, et al. Life-history strategies in parasitoid wasps: A comparative analysis of 'ovigeny' [J]. Journal of Animal Ecology, 2001, 70: 442-458.
- [11] Jervis M A, Eilers J, Harvey J A. Resource acquisition, allocation, and utilization in parasitoid reproductive strategies[J]. Annual Review of Entomology, 2008, 53: 361-385.
- [12] Jervis M A, Copland M J W. The life cycle. Insect natural enemies: Practical approaches to their study and evaluation[M]. Jervis M, Kidd N. London: Chapman & Hall, 1996: 63-161.
- [13] Heimpel G E, Rosenheim J A. Egg limitation in insect parasitoids: A review of the evidence and a case study[J]. Biological Control, 1998, 11: 160-168.
- [14] Goldson S L, McNeill M R, Proffitt J R, et al. An investigation into the reproductive characteristics of *Microtonus hyperodae* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Listronotus bonariensis* (Kuschel) (Coleoptera: Curculionidae)[J]. Entomophaga, 1995, 40(34): 413-426.
- [15] Potting R P J, Overholt W A, Osae-Danso F O, et al. Foraging behavior and life history of the stemborer parasitoid *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae)[J]. Journal of Insect Behavior, 1997, 10: 13-29.
- [16] Pak G A, Oatman E R. Biology of *Trichogramma brevicapillum*[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1982, 32: 61-67.
- [17] Waage J K, Ming N S. The reproductive strategy of a parasitic wasp. IV. Optimal progeny and sex allocation in *Trichogramma evanescens*[J]. Journal of Animal Ecology, 1984, 53: 401-415.
- [18] Bai B, Luck R F, Forster L, et al. The effect of host size on quality attributes of the egg parasitoid, *Trichogramma pretiosum*[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1992, 64: 37-48.
- [19] Hohmann C L, Luck R F, Oatman E R. A comparison of longevity and fecundity of adult *Trichogramma platneri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) reared from eggs of the Cabbage looper and the Angoumois grain moth, with and without access to honey[J]. Journal of Economic Entomology, 1988, 81: 1307-1312.
- [20] Bouchier R S, Smith S M, Song S J. Host acceptance and parasitoid size as predictors of parasitoid quality for mass-reared *Trichogramma minutum*[J]. Biological Control, 1993, 3: 135-139.
- [21] Pavlik J. The size of the female and quality assessment of mass-reared *Trichogramma* spp.[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1993, 66: 171-177.
- [22] Gerling D, Quicke D L G, Orion T. Oviposition mechanisms in the whitefly parasitoids *Encarsia transvena* and *Eretmocerus mundus*[J]. Biological Control, 1998, 43: 289-297.
- [23] van Lenteren J C, Nell H W, Sevenster-van der Lelie L A, et al. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). III. Discrimination between parasitized and unparasitized hosts by the parasite[J]. Journal of Applied Entomology, 2009, 81: 377-380.

(责任编辑 王媛媛)

### 《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿:www.kjdb.org。