

# 烟蚜茧蜂对蚜虫信息素及烟草挥发物的触角电位反应\*

董文霞<sup>1,2</sup> 张峰<sup>2,3</sup> 方宇凌<sup>2</sup> 张钟宁<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院茶叶研究所, 杭州 310008 <sup>2</sup>中国科学院动物研究所农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100080 <sup>3</sup>CABI中国项目办公室, 北京 100081)

**摘要** 利用触角电位 (EAG) 技术测定了烟蚜茧蜂 (*Aphidius gifuensis*) 对蚜虫性信息素 (荆芥醇和荆芥内酯) 和报警信息素 (反-β-法尼烯) 以及烟草挥发性物质的电生理反应。结果表明: 雌蜂和雄蜂对蚜虫性信息素、报警信息素、烟草挥发物均有反应, 但雌雄蜂对这些化学信息物质的嗅觉敏感性存在差异, 雌蜂对荆芥醇、荆芥内酯、顺-3-己烯-1-醇、反-2-己烯醛、水杨酸甲酯和里那醇的 EAG 反应都大于雄蜂, 证明雌雄蜂在利用寄主栖境中信息化学物质方面存在不同的策略, 它们分别识别了不同的有关寄主的化学指纹图; 烟蚜茧蜂对烟草气味组分具有不同的敏感性, 对绿叶气味组分的 EAG 反应要强于对萜类化合物的反应, 绿叶气味组分很有可能在其寻找桃蚜的过程中发挥远距离定向作用。

**关键词** 烟蚜茧蜂; 蚜虫信息素; 植物挥发物; 触角电位

中图分类号 Q965 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2008)04-0591-05

**Electroantennogram responses of aphid parasitoid *Aphidius gifuensis* to aphid pheromones and host-plant volatiles.** DONG Wen-xia<sup>1,2</sup>, ZHANG Feng<sup>2,3</sup>, FANG Yu-ling<sup>2</sup>, ZHANG Zhong-ning<sup>2</sup> (<sup>1</sup>*Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China;* <sup>2</sup>*State Key Laboratory of Integratol Management of Pest Insects & Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;* <sup>3</sup>*CABI China Office, Beijing 100081, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(4): 591-595

**Abstract** *Aphidius gifuensis* is a predominant parasitoid of aphid pests. To study the nature of its olfactory responses is critical to the successful implementation of biological control of aphids. In this paper, electroantennogram (EAG) technique was used to investigate the responses of *A. gifuensis* to the aphid sex pheromones, alarm pheromones, and host-plant (tobacco) volatiles. The results showed that both male and female *A. gifuensis* had responses to sex pheromone components [(−)-(1R, 4aS, 7S, 7aR)-nepetalactol and (+)-(4aS, 7S, 7aR)-nepetalactone], aphid alarm pheromone [(E)-β-farnesene], and tobacco volatiles, but their sensory perception to these semiochemicals was differed. The females were much more sensitive to nepetalactol, nepetalactone, cis-3-hexen-1-ol, (E)-2-hexenal, methyl salicylate, and (±)-linalool, suggesting that the males and females adopted different chemical strategies to host location, and perceived different chemical fingerprint in relation to host in host-finding behavior. The sensory perception of *A. gifuensis* to different odor components was also differed, e.g., green leaf volatiles (E)-2-hexenal, cis-3-hexen-1-ol and hexanal elicited larger EAG responses than terpenoids, indicating that the parasitoids might use green leaf volatiles as long-range cues in their habitat location.

**Key words** *Aphidius gifuensis*; aphid pheromone; plant volatiles; electroantennogram (EAG).

\* 国家重点基础研究发展规划资助项目 (G20000162)。

\*\* 通讯作者 E-mail: zhangzn@ioz.ac.cn

收稿日期: 2007-05-27 接受日期: 2007-12-24

在寄生蜂寻找寄主的过程中,寄生蜂利用来自于植食性昆虫及其寄主植物化学信息物质,逐步接近并最终发现寄主(Vet & Dicke, 1992)。蚜虫寄生蜂寻找蚜虫的过程也是如此,蚜虫性信息素和植物挥发性物质就是蚜虫寄生蜂进行寄主选择时赖以利用的长距离嗅觉线索(Powell *et al.*, 1998)。有研究证明,菜蚜茧蜂(*Diaeretiella rapae*) (Read *et al.*, 1970)、茶足柄瘤蚜茧蜂(*Lysiphlebus testaceipes*) (Schuster & Starks, 1974 1975)、乌兹别克蚜茧蜂(*Aphidius uzbekistanicus*) (Powell & Zhang, 1983)、无网长管蚜茧蜂(*Aphidius ervi*) (Powell & Zhang, 1983; Wickremasinghe & van Emden, 1992)、豆柄瘤蚜茧蜂(*Lysiphlebus fabarum*)、金黄蚜小蜂(*Aphelinus flavus*)和缢管蚜蚜茧蜂(*Aphidius rhopalosiphii*) (Wickremasinghe & van Emden, 1992)的雌蜂都对各自的寄主植物产生正趋向反应。大多数蚜虫的性信息素由(+)-(4aS, 7S, 7aR)-荆芥内酯和(-)-(1R, 4aS, 7S, 7aR)-荆芥醇这2种成分以不同的比例组成(Pickett *et al.*, 1992; Birkett & Pickett, 2003)。研究表明,蚜虫性信息素对翼蚜外茧蜂(*Praon volucre*) (Lilley *et al.*, 1994; Glinwood *et al.*, 1998 1999)、无网长管蚜茧蜂(Glinwood *et al.*, 1998 1999)、外茧蜂属*Praon*蚜茧蜂(Powell *et al.*, 1993; Hardie *et al.*, 1994; Gabry *et al.*, 1997)和菜蚜茧蜂(Gabry *et al.*, 1997)具有引诱作用。因此,蚜虫的寄生蜂可能把蚜虫性信息素作为其向寄主定位的利它素。当受到天敌攻击时,蚜虫会从腹管中分泌出蚜虫报警信息素,(反)- $\beta$ -法尼烯(EBF)是多数蚜虫报警信息素的主要成分,有人推测蚜虫报警信息素可能会成为寄生性和捕食性天敌寻找寄主的化学线索(Pickett *et al.*, 1992; Birkett & Pickett, 2003)。

烟蚜茧蜂(*Aphidius gifuensis*)是十字花科菜田中蚜虫的重要初寄生蜂,是烟田寄生桃蚜(*Myzus persica*)天敌的优势种(赵万源等, 1980)。了解烟蚜茧蜂对来自寄主和寄主植物的挥发物的嗅觉反应特性,对于发挥其在生物防治中的作用具有实践意义。本文利用触角电位(EAG)技术测定烟蚜茧蜂对蚜虫性信息素和报警信息素以及植物挥发性物质的嗅觉反应,并比较雌蜂和雄蜂的EAG反应的两性差异,试图为探索该蜂寻找寄主的机制提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 昆虫

桃蚜僵蚜于夏季采自中国医学科学院药用植物研究所药用植物园的烟草(*Nicotiana glauca*)上。采回的僵蚜放入光照培养箱中培养,温度( $17 \pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度( $75 \pm 5$ )%, 16 h光照。羽化后的烟蚜茧蜂分雌、雄,单管饲养,饲喂以10%蜂蜜水,光照培养箱中保存(条件同前)。电生理实验前1 h取出。

### 1.2 化学试剂

选择烟草中的8种挥发物标(Andersen *et al.*, 1988),顺-3-己烯-1-醇(> 97%)、反-2-己烯醛(> 95%)、 $\beta$ -石竹烯(> 80%)为东京化成产品、正己醛(分析纯)为Sigma产品、 $\alpha$ -蒎烯(99%)为Fluka产品,( $\pm$ )里那醇(97%)为Aldrich产品,苯甲醛(分析纯)、水杨酸甲酯(分析纯)为军事医学科学院药材供应站出品。用于电生理实验的挥发物标样均溶于液体石蜡中,配成浓度为 $100 \mu\text{g} \cdot \mu\text{l}^{-1}$ 的溶液。另外,用于做剂量反应曲线的样品顺-3-己烯-1-醇还配成 $1 \sim 1\,000 \mu\text{g} \cdot \mu\text{l}^{-1}$ 浓度系列的己烷溶液(浓度以10倍递增)。蚜虫信息素有荆芥醇、荆芥内酯、反- $\beta$ -法尼烯通过室内人工合成,纯度分别是92%、 $\geq 90\%$ 和50%,均配成浓度为1%的己烷溶液。

### 1.3 触角电位实验

触角电位测定参照董文霞等(2000)的方法,用 $25 \mu\text{l}$ 样品溶液刺激烟蚜茧蜂的触角。当以溶于己烷的样品刺激触角时,触角对各气味化合物的反应值用对己烷的EAG值的绝对值来表示,即样品刺激反应值减去其前后己烷刺激的反应值的平均值。当以溶于液体石蜡的样品刺激触角时,以顺-3-己烯-1-醇作为标准,在样品刺激的前后用顺-3-己烯-1-醇刺激;计算样品的EAG反应值时,以样品的EAG绝对值除以前后标准的EAG绝对值的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 烟蚜茧蜂对顺-3-己烯-1-醇的EAG反应

烟蚜茧蜂雌蜂对顺-3-己烯-1-醇的EAG反应值为( $0.331 \pm 0.089$ ) mV,雄蜂为( $0.203 \pm 0.048$ ) mV。*t*测验表明,雌蜂和雄蜂之间存在显著性差异( $P < 0.05$ )。烟蚜茧蜂对顺-3-己烯-1-醇的剂量反应值随着刺激剂量的增大而增大(图1)。在所测的剂量范围内,该蜂的EAG反应未达到饱和。雌蜂的反应阈值为 $250 \mu\text{g}$ ,雄蜂的反应阈值为 $2\,500 \mu\text{g}$ 。

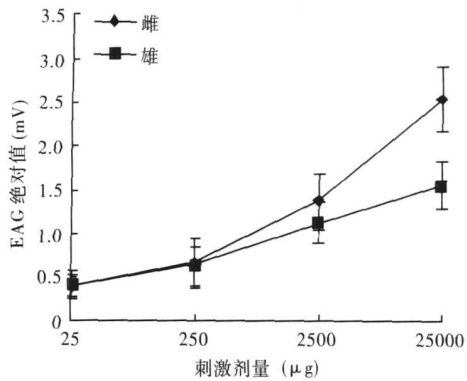


图 1 烟蚜蜜蜂雌蜂和雄蜂对顺-3-己烯-1-醇的剂量反应曲线

Fig 1 Dose-response curve for *A. gifuensis* female and male to (cis)-3-hexen-1-ol

数值为平均值 ± 标准差;  $n = 12, 3$  根触角。

## 2.2 烟蚜蜜蜂对蚜虫信息素的 EAG 反应

雌蜂对蚜虫性信息素组分荆芥醇和荆芥内酯的 EAG 反应值分别为  $(0.331 \pm 0.092)$  和  $(0.401 \pm 0.154)$  mV, 雄蜂为  $(0.26 \pm 0.079)$  和  $(0.218 \pm 0.073)$  mV, 雌雄蜜蜂之间的差异显著 ( $P < 0.05$ ); 雌蜂和雄蜂对蚜虫报警信息素反-β-法尼烯的 EAG 平均值分别为  $(0.336 \pm 0.14)$  和  $(0.345 \pm 0.177)$  mV, 雌雄蜜蜂之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 2)。

## 2.3 烟蚜蜜蜂对植物挥发性次生物质的 EAG 反应

烟蚜蜜蜂雌蜂和雄蜂对反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇和正己醛的 EAG 反应值最大, 对苯甲醛、水杨酸甲酯和里那醇的反应居中, 对 β-石竹烯的反应值较小 (图 3)。另外, 该蜂对 α-蒎烯的反应极小甚至不反应。t 测验表明, 对反-2-己烯醛、水杨酸甲酯和

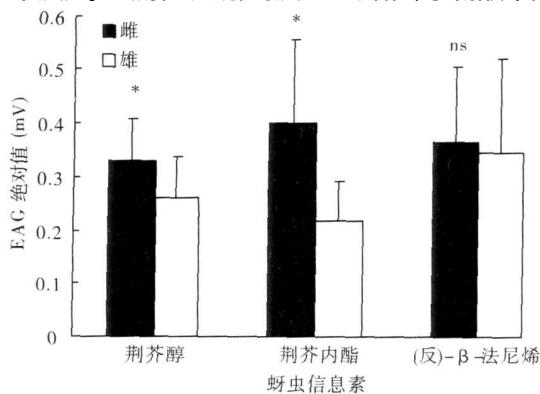


图 2 烟蚜蜜蜂雌蜂和雄蜂对蚜虫性信息素和报警信息素的 EAG 反应

Fig 2 EAG responses of *A. gifuensis* female and male to aphid sex pheromone and alarm pheromone

数值为平均值 ± 标准差,  $n = 24, 6$  根触角; \* 为雌雄蜜蜂之间差异显著, ns 为雌雄蜜蜂之间差异不显著。

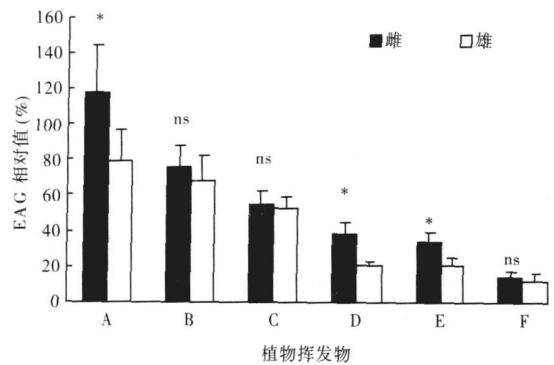


图 3 烟蚜蜜蜂雌蜂和雄蜂对植物挥发性次生物质的 EAG 反应

Fig 3 EAG responses of *A. gifuensis* female and male to plant volatiles

数值为平均值 ± 标准差,  $n = 24, 6$  根触角; \* 为雌雄蜜蜂之间差异显著, ns 为雌雄蜜蜂之间差异不显著; A. 反-2-己烯醛, B. 正己醛, C. 苯甲醛, D. 水杨酸甲酯, E. 里那醇, F. β-石竹烯。

里那醇的 EAG 反应, 雌雄烟蚜蜜蜂之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 对正己醛、苯甲醛和 β-石竹烯的 EAG 反应, 雌雄烟蚜蜜蜂之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 烟蚜蜜蜂对蚜虫信息素的嗅觉反应

结果表明, 烟蚜蜜蜂成蜂的触角上存在感受蚜虫性信息素组分荆芥醇和荆芥内酯的嗅觉感受细胞。这意味着烟蚜蜜蜂有可能利用蚜虫性信息素作为寄主定向的化学线索。Stowe 等 (1995) 认为用于长距离种内通讯的植食性昆虫性信息素是许多天敌加以利用的寄主定位线索, 而且寄生蜂对寄主昆虫的性信息素反应也许是一个普遍现象。Powell 等 (1998) 也认为这一观点同样适用于蚜虫寄生蜂, 蚜虫性信息素不仅对正在觅食的雌蜂具有引诱作用, 而且能够激发雌蜂寻找寄主的行为。不少研究证实了这些观点, G linwood 等 (1998, 1999) 通过室内行为测定证明蚜虫性信息素组分荆芥内酯能够吸引翼蚜外蜜蜂 (*Praon volucre*) 和无网长管蚜蜜蜂、豆长管蚜蜜蜂 (*Aphidius eadyi*)。在田间, 以蚜虫性信息素为引诱剂的诱捕器引诱到外蜜蜂属 *Praon* 蚜蜜蜂 (Powell et al., 1993; Hardie et al., 1994; Gabry et al., 1997)、翼蚜外蜜蜂 (Lilley et al., 1994; G linwood et al., 1998, 1999) 和菜蚜蜜蜂 (Gabry et al., 1997)。豌豆蚜的捕食性天敌瓢虫 (*Colem e gilla maculata*) 和普通草蛉 (*Chrysoperla carnea*) 对蚜虫性信息素的 2 个组分荆芥醇与荆芥内酯有 EAG 反应 (Zhu et al., 1999)。

结果还表明,烟蚜茧蜂触角上存在感受蚜虫报警信息素的嗅觉感受细胞。早在 1992 年 Pickett 等 (1992) 就认为蚜虫报警信息素可能引诱寄生性和捕食性天敌,以后的研究证明了这一观点。无网长管蚜茧蜂对豌豆蚜寄主植物蚕豆所释放的反- $\beta$ -法尼烯不仅具有 EAG 反应,而且在风洞中有定向反应 (Du *et al.*, 1998)。室内行为测定表明,乌兹别克蚜茧蜂雌蜂能够被人工合成的反- $\beta$ -法尼烯引诱 (Micha & W yss 1996)。豌豆蚜的捕食性天敌普通草蛉和瓢虫对反- $\beta$ -法尼烯有 EAG 反应 (Zhu *et al.*, 1999),七星瓢虫 (*Coccinella septempunctata*) 对反- $\beta$ -法尼烯有 SCR(单细胞记录)电生理反应 (Al Abassi *et al.*, 2000),行为测定表明反- $\beta$ -法尼烯对二星瓢虫 (*Adalia bipunctata*) 具有引诱作用 (Francis *et al.*, 2004)。

### 3.2 烟蚜茧蜂对植物挥发性物质的嗅觉反应

研究表明,烟蚜茧蜂触角上存在感受桃蚜寄主植物(烟草)气味的嗅觉感受细胞,该蜂有可能利用桃蚜的寄主植物气味作为寻找桃蚜的嗅觉线索。蚜虫寄生蜂受寄主植物气味的引诱已有多例报道。Read 等 (1970) 首先利用 Y 型嗅觉仪研究发现菜蚜茧蜂受寄主植物气味的引诱,特别是异硫氰酸烯丙酯。以后进行的类似研究表明,茶足柄瘤蚜茧蜂 (Schuster & Starks, 1974, 1975)、乌兹别克蚜茧蜂 (Powell & Zhang 1983)、无网长管蚜茧蜂 (Powell & Zhang 1983, Wickremasinghe & van Emden, 1992) 以及豆柄瘤蚜茧蜂、金黄蚜小蜂和缢管蚜蚜茧蜂 (Wickremasinghe & van Emden, 1992) 的雌蜂均对各自的寄主植物都产生正趋向反应。

尽管用于刺激烟蚜茧蜂触角的化合物标样不多,但从中还是可以看出烟蚜茧蜂触角对桃蚜寄主植物的气味组分具有不同的敏感性。烟蚜茧蜂对一般性的绿叶气味组分的 EAG 反应要强于对萜类化合物。缢管蚜茧蜂的雌蜂在嗅觉仪中对反-2-己烯醛和顺-3-己烯-1-醇也有较强的正趋向反应 (Wickremasinghe & van Emden, 1992)。Baehrecke 等 (1989) 认为,低浓度嗅觉敏感分子(绿叶气味)在长距离定向中比较重要,而高浓度嗅觉敏感分子(萜类)在近距离定向中比较重要。另外,蚜虫寄生蜂对虫害植物气味的反应要明显强于完整植株的气味 (Reed *et al.*, 1995, Du *et al.*, 1996, Guerrieri *et al.*, 1999), 而绿叶气味反-2-己烯醛、顺-3-己烯-1-醇和正己醛常常是虫害诱导寄主植物增加释放的挥发性次生物质,可为天敌提供更可靠的信息 (Powell *et*

*al.*, 1998)。因此,绿叶气味组分很有可能在烟蚜茧蜂寻找桃蚜的过程中发挥远距离定向作用。

### 3.3 雌蜂和雄蜂的嗅觉差异

本研究表明,烟蚜茧蜂雌蜂和雄蜂对寄主环境中信息化学物质的嗅觉敏感性存在差异。除蚜虫报警信息素、正己醛、苯甲醛和  $\beta$ -石竹烯以外,雌蜂对蚜虫性信息素和植物挥发性成分的嗅觉反应要强于雄蜂。已有行为测定表明,蚜虫寄生蜂雌蜂和雄蜂之间在行为反应上有差异。乌兹别克蚜茧蜂和无网长管蚜茧蜂的雄蜂对寄主蚜虫不产生反应,只有雌蜂才产生反应,但两性对寄主植物都能产生嗅觉行为反应 (Powell & Zhang 1983)。茶足柄瘤蚜茧蜂只有雌蜂才对植物气味产生反应,雄蜂无反应 (Schuster & Stark, 1974, 1975)。菜蚜茧蜂雌蜂对植物气味的定向反应要明显强于雄蜂 (Read *et al.*, 1970)。雌、雄蜂在嗅觉行为上的差异可能是作用于两性的不同的选择压力而造成的结果,因为只有雌蜂才需要寻找寄主产卵,雌性为适应与其后代寄主的相互作用而发生特化,相互作用最明显的方面就涉及到触角的进化以适应栖境的选择和寄主的定位;而雄蜂的主要功能是交配,寻找雌蜂可能主要是依靠种内信息素。

烟蚜茧蜂雌蜂和雄蜂在感受蚜虫性信息素上存在显著性差异,而在感受蚜虫报警信息素上没有差异。这说明烟蚜茧蜂两性在利用蚜虫信息素方面可能存在不同策略。雌蜂在性蚜阶段利用蚜虫性信息素作为寄主定位的化学线索之一,在蚜虫无性繁殖期则依赖于蚜虫报警信息素;但雄蜂更倾向于利用蚜虫报警信息素进行寄主定向,这是由于蚜虫报警信息素是在蚜虫受到天敌攻击时释放的,其包含的雌性寄生蜂存在的信息显然较蚜虫性信息素更可靠。

烟蚜茧蜂雌蜂和雄蜂对烟草挥发性物质的嗅觉反应的不同表明,两性的嗅觉感受器对桃蚜寄主植物气味的感受和辨别具有不同的化学指纹图。而且雌蜂对烟草气味的感受能力强于雄蜂,雌蜂可能能够更有效地利用桃蚜的寄主植物气味寻找寄主。对雄蜂进行交配定位、选择雌蜂而言,植物气味则可能与种内信息素协同发挥作用。

### 参考文献

- 董文霞,王睿,张钟宁. 2000 中红侧沟茧蜂对棉花挥发性物质的触角电位反应. 昆虫学报, 43(增刊): 119-125.  
赵万源,丁垂平,董大志,等. 1980 烟蚜茧蜂生物学及其

- 应用研究. 动物学研究, 1(3): 405-415.
- Alabassi S, Birkett MA, Petterson J *et al* 2000 Response of the seven-spot ladybird to an aphid alarm pheromone and an alarm pheromone inhibitor is mediated by paired olfactory cells *Journal of Chemical Ecology*, **26**: 1765-1771.
- Andersen RA, Hamilton-Kemp TR, Loughrin JH, *et al* 1988 Green leaf headspace volatiles from *Nicotiana tabacum* Lines of different trichom morphology. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **36**: 295-299.
- Bachrecke EH, Williams HJ, Vinson SB 1989. Electroantennogram responses of *Campoplex sonorensis* (Hymenoptera: Ichneumonidae) to chemicals in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Chemical Ecology*, **15**: 37-45.
- Birkett MA, Pickett JA 2003. Aphid sex pheromones from discovery to commercial production. *Phytochemistry*, **62**: 651-656.
- Du YJ, Poppy GM, Powell W, *et al* 1998. Identification of semiochemicals released during aphid feeding that attract parasitoid *Aphidius ervi*. *Journal of Chemical Ecology*, **24**: 1355-1368.
- Du YJ, Poppy GM, Powell W. 1996. Relative importance of semiochemicals from the first and second trophic level in host foraging behavior of *Aphidius ervi*. *Journal of Chemical Ecology*, **22**: 1591-1605.
- Francis F, Lognay G, Haubruge E. 2004. Olfactory responses to aphid and host plant volatile releases (E)- $\beta$ -farnesene an effective kairomone for the predator *Adalia bipunctata*. *Journal of Chemical Ecology*, **30**: 741-755.
- Gaby BJ, Gadomski HJ, Klurowski Z, *et al* 1997. Sex pheromone of cabbage aphid *Brevicoryne brassicae*. Identification and field trapping of male aphids and parasitoids. *Journal of Chemical Ecology*, **23**: 1881-1890.
- Glinwood RT, Du Y, Powell W. 1999. Responses to aphid sex pheromones by the pea aphid parasitoids *Aphidius ervi* and *Aphidius eadyi*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **92**: 227-232.
- Glinwood RT, Powell W, Tripathi CPM. 1998. Increased parasitization of aphids on trap plants alongside vials releasing synthetic aphid sex pheromone and effective range of the pheromone. *Biocontrol Science and Technology*, **8**: 607-614.
- Guerrieri E, Poppy GM, Powell W, *et al* 1999. Induction and systemic release of herbivore-induced plant volatiles mediating in-flight orientation of *Aphidius ervi*. *Journal of Chemical Ecology*, **25**: 1247-1261.
- Hardie J, Hick AJ, Hler C, *et al* 1994. The responses of *Praon* spp. parasitoids to aphid sex pheromone components in the field. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **71**: 95-99.
- Lilley R, Hardie J, Wadhams LJ 1994. Field manipulation of *Praon* populations using semiochemicals. *Novogian Journal of Agricultural Sciences*, **16** (suppl): 221-226.
- Micha SG, Wyss U. 1996. Aphid alarm pheromone (E)- $\beta$ -farnesene. A host finding kairomone for the aphid primary parasitoid *Aphidius uzbekistanicus* (Hymenoptera: Aphidinae). *Chemical Ecology*, **7**: 132-139.
- Pickett JA, Wadhams LJ, Woodcock CM, *et al* 1992. The chemical ecology of aphids. *Annual Review of Entomology*, **37**: 67-90.
- Powell W, Hardie J, Hick AJ, *et al* 1993. Responses of the parasitoid *Praon volucre* (Hymenoptera: Braconidae) to aphid sex pheromone lures in cereal fields in autumn. Implications for parasitoid manipulation. *European Journal of Entomology*, **90**: 435-438.
- Powell W, Pennacchio F, Poppy GM, *et al* 1998. Strategies involved in the location of hosts by the parasitoid *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphidinae). *Biological Control*, **11**: 104-112.
- Powell W, Zhang ZL. 1983. The reactions of two cereal aphid parasitoids *Aphidius uzbekistanicus* and *A. ervi* to host aphids and their food plants. *Physiological Entomology*, **8**: 439-443.
- Read DP, Feeny PP, Root RB. 1970. Habitat selection by the aphid parasite *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) and hyperparasite *Charips brassicae* (Hymenoptera: Cynipidae). *The Canadian Entomologist*, **102**: 1567-1578.
- Reed HC, Tan SH, Haapanen K, *et al* 1995. Olfactory responses of the parasitoid *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Aphididae) to odor of plants, aphids, and plant-aphid complexes. *Journal of Chemical Ecology*, **21**: 407-418.
- Schuster DJ, Starks KJ 1974. Response of *Lysiphlebus testaceipes* in an olfactometer to a host and a non-host insect and to plants. *Environmental Entomology*, **3**: 1034-1035.
- Schuster DJ, Starks KJ 1975. Preference of *Lysiphlebus testaceipes* for greenbug resistant and susceptible small grain species. *Environmental Entomology*, **4**: 887-888.
- Stow MK, Turlings TCJ, Loughrin JH, *et al* 1995. The chemistry of eavesdropping: alarm, and deceit. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **92**: 23-28.
- Vet LEM, Dicke M. 1992. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. *Annual Review of Entomology*, **37**: 141-72.
- Wickremasinghe MGV, van Emden HF 1992. Reactions of adult female parasitoids, particularly *Aphidius thopalsophi*, to volatile cues from the host plants of their aphid prey. *Physiological Entomology*, **17**: 297-304.
- Zhu J, Cosse AA, Obycki JJ, *et al* 1999. Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle *Coleomegilla maculata* and the green lacewing *Chrysoperla carnea* to semiochemicals released from their prey and host plants. Electroantennogram and behavioral responses. *Journal of Chemical Ecology*, **25**: 1163-1177.

作者简介 董文霞,女,1970年生,博士,副研究员。主要从事昆虫化学生态、茶树植物保护方面的研究,发表文章 20 余篇。E-mail: dongwenxia@163.com  
责任编辑 刘丽娟