

中红侧沟茧蜂对烟草挥发物的触角电生理及行为反应

董文霞¹, 胡保文², 张钟宁³, 韩宝瑜^{1*}

(1. 中国农业科学院茶叶研究所, 浙江杭州 310008; 2. 玉溪红塔集团技术中心, 云南玉溪 653100; 3. 中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘要:中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* 是棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的主要内寄生蜂, 是优良的蜂种, 在生物防治上具有广阔的应用前景。但迄今, 有关中红侧沟茧蜂的化学生态的研究甚少。利用触角电位技术, 测定了中红侧沟茧蜂对烟草叶片粗提物和烟草中 10 种挥发物的触角电生理反应, 并测定了中红侧沟茧蜂的触角电位反应随日龄的变化。以嗅觉仪测定了中红侧沟茧蜂对烟草粗提物、烟草中 4 种挥发物的行为反应。结果表明中红侧沟茧蜂利用烟草释放的气味向烟草定向, 进而找到其寄主——棉铃虫, 也佐证了烟草同样是棉铃虫的重要寄主植物的论点。雌蜂对脂肪族化合物反应最强, 对芳香族化合物和糠醛(杂环化合物)的反应居中, 对萜类化合物反应较弱或者不反应。表明烟草挥发性物质在中红侧沟茧蜂寻找寄主的过程中起着重要的作用, 但挥发物各组分的作用存在着差异。雌性中红侧沟茧蜂对顺-3-己烯醇的触角电位反应随日龄的增加而变化。1 日龄的雌蜂的反应较弱, 2 日龄、3 日龄的雌蜂反应较强, 4 日龄、5 日龄的雌蜂的反应又减弱。这与该蜂产卵习性相符: 羽化当天的雌蜂产卵较少, 羽化 2~3d 之后的雌蜂产卵量较大。

关键词:中红侧沟茧蜂; 触角电生理反应; 行为反应

Electrophysiological and behavioural responses of *Microplitis mediator* to tobacco plant volatiles

DONG Wen-Xia¹, HU Bao-Wen², ZHANG Zhong-Ning³, HAN Bao-Yu^{1*} (1. Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang, 310008; 2. Technological Research Center, Yuxi Hongta Group, Yuxi, Yunnan 653100; 3. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2252~2256.

Abstract: *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae) is an indigenous parasitoid species attacking larvae of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in China, and its application in biological control is promising. Knowledge of its chemical ecology is limited. Electroantennograms were recorded from female parasitoids *Microplitis mediator* to extracts of tobacco plants and 10 tobacco volatile compounds. The EAG responses of 1~5 days old female parasitoids to cis-3-hexen-1-ol were also tested. Their behavioral responses to tobacco extract and 4 tobacco volatile compounds were tested in a four-armed olfactometer. The results indicated that *M. mediator* oriented to tobacco via volatiles released by tobacco, then found its host, cotton bollworm. Aliphatic compounds elicited strong responses, and aromatic compounds and furfural (heterocyclic compound) elicited moderate responses, while trapezoids elicited the lowest or no responses. It suggested that tobacco volatiles played a vital role in their host-finding behaviour, however, each component played on different role. The EAG responses of 1~5 days old female parasitoids showed the 1-day-old wasps were least responsive, while 2 and 3 day old ones were the most responsive, and the responses of 4 and 5 day parasitoids decreased, which was in accord with oviposition behavior, namely few eggs are laid on the first day after eclosion and most eggs are laid on the second and third days after eclosion.

Key words: *Microplitis mediator*; electrophysiological response; behavioural response

文章编号: 1000-0933(2004)10-2252-05 中图分类号: Q965, Q968 文献标识码: A

基金项目: 浙江省 151 人才基金资助项目

收稿日期: 2003-09-02; 修订日期: 2004-04-03

作者简介: 董文霞(1970~), 女, 山西人, 博士, 副研究员, 主要从事昆虫化学生态学研究。E-mail: dongwenxia@163.com.

* 通讯作者 Author for correspondence.

Foundation item: 151 research foundation for talents of Zhejiang Province

Received date: 2003-09-02; Accepted date: 2004-04-03

Biography: DONG Wen-Xia, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in chemical ecology of insectS. E-mail: dongwenxia@163.com

中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* 是棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的主要内寄生蜂,对棉铃虫各世代低龄幼虫的平均寄生率可达 22.9%^[1]。但迄今,有关中红侧沟茧蜂的化学生态的研究甚少^[2,3]。美国先后对当地的红足侧沟茧蜂 *Microplitis croceipes* 和澳大利亚的毁侧沟茧蜂 *Microplitis demolitor* 的化学生态学进行系统而深入的研究,得了巨大成果,并且已将一些成果应用于田间害虫的生物防治上,获得了成功^[4~10]。我国的生防专家通过考察发现,中红侧沟茧蜂是更为优良的蜂种,将其用于生物防治的前景更为乐观。因此,了解中红侧沟茧蜂在寻找寄主过程中的化学作用机理,不但在理论上具有重要意义,而且在应用上具有广阔的前景。

烟草上是否存在棉铃虫一直有争议。有报道表明,在烟草上发现的都是烟青虫,没有棉铃虫或仅有少许棉铃虫^[11,12],北京郊区烟草上的调查发现棉铃虫约占 64%^[13],在福建、云南、河南、上海和湖南等省市,烟草上均有棉铃虫危害^[14]。室内饲养实验证明,棉花是棉铃虫最适宜的寄主植物,烟草同样是棉铃虫的寄主植物,棉铃虫能够以烟草为食完成其生活史^[13]。已有的研究表明,棉花挥发物吸引中红侧沟茧蜂向棉花定向,进而找到寄主害虫——棉铃虫^[2]。在中红侧沟茧蜂寻找寄主过程中,烟草挥发物的作用国内外均未见报道。本文旨在探讨烟草挥发物对中红侧沟茧蜂的作用机理,以期为有效利用中红侧沟茧蜂防治害虫提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 烟草粗提物和烟草挥发性物质标准样品的制备

烟草品种为 NC89,在温室内育苗,5月初移栽至田间。实行常规肥水管理,在植物的整个生长发育期不进行化学防治。采集并称取较嫩的烟草叶片 300g,装入 3L 的圆底大烧瓶中,加入 1.5L 热水,以 5mL 液体石蜡作为有机溶剂。在氮气保护下加热,使之连续沸腾 4h,挥发性物质随水蒸汽进入有机相(液体石蜡)富集。用滴管将含挥发物的有机相吸出,置于(20℃冰箱中保存。本研究选择了烟草中的 10 种挥发物,包括脂肪族的正己醛、顺-3-己烯-1-醇、顺-3-己烯基乙酸酯,芳香族的水杨酸甲酯、苯甲醛、枯茗醛,萜类的里那醇、β-石竹烯、α-蒎烯,杂环化合物糠醛。将每种标准样品溶于液体石蜡中,在漩涡混合器上充分混合,配成浓度为 100μg/μL 的溶液。

表 1 10 种标准样品的纯度及来源
Table 1 The purity and source of supply of 10 standard chemicals

样品名称 Compound	纯度(%) Purity	来源 Source of supply
脂肪族 Aliphatic compound		
正己醛 Hexenal	分析纯 Analytic purity	Sigma
顺-3-己烯-1-醇 Cis-3-hexen-1-ol	>97	东京化成 Tokyo Chemical Industry
顺-3-己烯基乙酸酯 Cis-3-hexen-1-yl acetate	>97	东京化成 Tokyo Chemical Industry
芳香族 Aromatic compound		
水杨酸甲酯 Methyl salicylate	分析纯 Analytic purity	军事医学科学院药材供应站 Medical Material Supplier of Academy of Military Medical Sciences
苯甲醛 Benzaldehyde	分析纯 Analytic purity	武汉盛世精细化工有限公司 Wu Han Sheng Shi Fine Chemical Co., Ltd.
枯茗醛 Cuminaldehyde	>97	东京化成 Tokyo Chemical Industry
萜类 Terpenoid		
里那醇 Linalool	97	Aldrich
β-石竹烯 β-caryophyllene	>80	东京化成 Tokyo Chemical Industry
α-蒎烯 α-pinene	99	Fluka
杂环化合物 Heterocyclic compound		
糠醛 Furfural	>98	东京化成 Tokyo Chemical Industry

1.2 供试昆虫

中红侧沟茧蜂采自河北保定,室内以粘虫为中间寄主连续饲养多代,光照条件为 L:D=16h:8h,温度为 25℃。选用雌蜂进行触角电生理和行为测定。

1.3 触角电生理测定

触角电生理测定参照董文霞等的方法^[2]。经过多次测验发现,中红侧沟茧蜂对于作为空白对照的液体石蜡没有反应。测定中红侧沟茧蜂对标准样品 100μg/μl 的顺-3-己烯醇的反应时,选取雌蜂触角 20 根,每根触角刺激 5~10 次。其它每种样品测试触角各 8 根,每根触角刺激 5~10 次。以浓度为 100μg/μl 的顺-3-己烯醇作为标准,在测试其它样品时,测试前后均用标准各刺激 1 次。利用公式 $EAG \text{ 相对值} = (EAG \text{ 绝对值} \times 2) / (EAG_{\text{标准绝对值1}} + EAG_{\text{标准绝对值2}})$,将触角电位的绝对值转化为相对值。

1.4 行为测定

实验所用嗅觉仪为四臂嗅觉仪,参照 Vet 等的设计^[15],用无色透明有机玻璃制成。用一个真空泵从中心向四臂抽气,气流量为 1200ml/min(每象限气流量为 300ml/min),四臂端部各接一个诱集瓶。生测时将两支 11W 的日光灯管平行置于四臂嗅觉仪上方 30cm 处,提供光照。每次引入 1 头交配过的雌蜂至嗅觉仪中心位置,从雌蜂跨过象限边界时开始记录时间,共观察 5min,记录其在各象限停留的时间。在诱集瓶里停留的时间,记录为与诱集瓶相对应的象限中停留的时间。计算该蜂在各象限停留时间占全部时间的比例,用于统计分析。每一处理测定 20 头蜜蜂。每测 5 头蜜蜂之后,将嗅觉仪旋转 90°,以消除可能由于位置不同而引起的偏差。测完每个处理后,将嗅觉仪用水冲洗后再用乙醇擦洗干净。实验时,室温为 21~22℃,相对湿度为 40%。测定蜜蜂对烟草粗提物和挥发性物质的行为反应时,以液体石蜡作为对照。取 200μl 挥发性物质的溶液、烟草提取物或液体石蜡,封于 1mL 的离心管,在离心管中央开一个直径为 1mm 的小孔。

2 结果

2.1 中红侧沟茧蜂对烟草粗提物和烟草中 10 种挥发物标准样品的触角电位反应

中红侧沟茧蜂雌蜂对顺-3-己烯-1-醇的触角电位平均值(2.931±0.312)mV。以该蜂对顺-3-己烯-1-醇的触角电位值为参照,将其对烟草粗提物、正己醛、顺-3-己烯基乙酸酯、苯甲醛、水杨酸甲酯、糠醛、枯茗醛、里那醇、β-石竹烯、α-蒎烯的触角电位反应的绝对值转化为相对值(图 1)。中红侧沟茧蜂对烟草粗提物有触角电位反应,但反应值较小。在所测定的 9 种化合物中,中红侧沟茧蜂的雌蜂对脂肪族化合物反应值最大,对芳香族化合物和糠醛(杂环化合物)的反应居中,对萜类化合物反应值较小或者不反应。在脂肪族化合物中,中红侧沟茧蜂对正己醛的反应较强;在芳香族化合物中,对苯甲醛的较强;在萜类化合物中,对 β-石竹烯反应值很小,对 α-蒎烯则不反应。说明在中红侧沟茧蜂寻找寄主的过程中,烟草挥发物各组分所起的作用不同。

2.2 不同日龄的中红侧沟茧蜂的触角电位反应的比较

雌性中红侧沟茧蜂对顺-3-己烯醇的触角电位反应随日龄的增加而变化。1 日龄的雌蜂的反应较弱,2 日龄、3 日龄的雌蜂反应较强,4 日龄、5 日龄的雌蜂的反应又减弱($p<0.05$)。

2.3 中红侧沟茧蜂在嗅觉仪中行为反应

雌性中红侧沟茧蜂对烟草粗提物和烟草 4 种挥发物标样的行为反应结果见图 2。蜜蜂在具有挥发性物质气味的象限停留的时间显著长于在对照象限停留的时间(t -测验, $p<0.05$)。蜜蜂在具有顺-3-己烯基乙酸酯气味的象限停留的时间最长,在具有烟草粗提物气味的象限停留的时间最短。

3 讨论

烟草粗提物能够引起中红侧沟茧蜂的电生理反应和行为反应,表明中红侧沟茧蜂利用烟草释放的气味向烟草定向,进而找到其寄主——棉铃虫,这也从另一个角度证明烟草同样是棉铃虫的重要寄主植物。

Anderson 等利用水蒸汽蒸馏法和顶空吸附法从烟草中提取鉴定出的挥发物包括脂肪族的反-2-己烯醛、正己醛、正壬醛、辛-1-醇、顺-3-己烯-1-醇、顺-3-己烯基乙酸酯,芳香族的萘、水杨酸甲酯,萜类的里那醇、反-β-法尼烯、β-石竹烯,和其它化合物 β-芷罗酮、尼古丁、新植二烯^[16,17]。已经报道的烟草挥发物还有脂肪族的癸醛,芳香族的苯甲醛、枯茗醛、苧醇、2-苧基乙醇,萜类化合物蒎烯、牛儿醇,其它化合物有糠醛^[18~20]。本文选用的 10 种烟草挥发物具有代表性。

中红侧沟茧蜂对烟草挥发物各组分反应值的不同表明,该蜂的嗅觉感受器对来自寄主生境的气味具有不同的敏感性和选

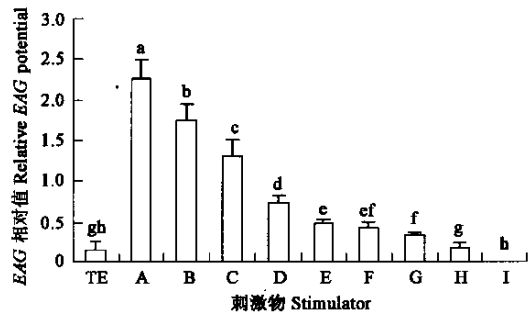


图 1 中红侧沟茧蜂雌蜂对烟草粗提物和烟草中 9 种挥发物标准样品的触角电位反应

Fig. 1 EAG responses of female *M. mediator* to tobacco extract and nine tobacco volatile compounds

图中具有不同字母的值差异达到显著水平 $P<0.05$, Duncan's multiple-range test; A 正己醛 Hexanal; B 顺-3-己烯基乙酸酯 Cis-3-Hexen-1-yl acetate; C 苯甲醛 Benzaldehyde; D 水杨酸甲酯 Methyl salicylate; E 糠醛 Furfural; F 枯茗醛 Cuminaldehyde; G 里那醇 Linanool; H β-石竹烯 β-Caryophyllene; I α-蒎烯 α-Pinene; TE 烟草粗提物 Tobacco extract

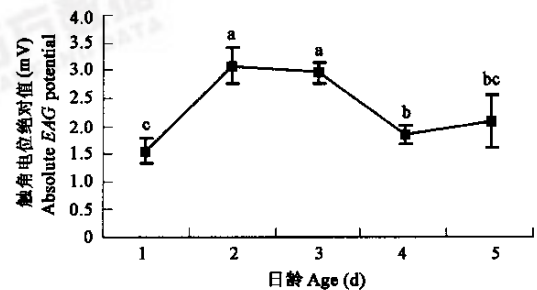


图 2 不同日龄的中红侧沟茧蜂雌蜂对顺-3-己烯醇的触角电位反应

Fig. 2 EAG responses of female *M. mediator* of different days to cis-3-hexen-1-ol

图中具有不同字母的值差异达到显著水平 $P<0.05$, Duncan's multiple-range test

择性。中红侧沟茧蜂对于正己醛、顺-3-己烯基乙酸酯的反应显著高于对其它挥发性物质的反应。这是由于这两种物质是普遍存在于植物中的绿叶气味物质,害虫取食植物后,植物会在短期内增加释放量,从而为天敌提供可靠的害虫存在的信息^[21~23]。在嗅觉仪中的行为反应,中红侧沟茧蜂对绿叶气味物质顺-3-己烯基乙酸酯、正己醛的反应较强,对芳香族衍生物苯甲醛、水杨酸甲酯的稍弱。该结果与其触角电位反应结果一致。上述结果表明:在中红侧沟茧蜂寻找寄主的过程中,烟草挥发物各成分所起的作用是不同的,绿叶气味物质作用最大,芳香族衍生物作用居中,萜类化合物的作用较弱。Whitman 和 Eller 测定了红足侧沟茧蜂对 8 种绿叶气味物质(正己醛、反-2-己烯醛、反-2-己烯醇、顺-3-己烯醇、反-2-己烯基乙酸酯、顺-3-己烯基乙酸酯、顺-3-己烯基丙酸酯、顺-3-己烯基丁酸酯)的定向飞行反应,结果表明该蜂对酯类物质成功定向飞行的比例最大,对醇类物质的反应居中,对醛类的反应最弱^[24]。该蜂对棉花中 29 种挥发性物质的触角电位反应的结果是:对绿叶气味物质、正庚醛、芳香族衍生物的触角电位反应值最大;对单萜类物质的触角电位反应值居中,其中对 β -罗勒烯反应最高^[25]。毁侧沟茧蜂对 5~12 个碳的脂肪族化合物的触角电位反应结果是:对 7~8 个碳的烃、醛、酮较为敏感,对醛类和酮类最为敏感,对醇类和炔类最不敏感^[26]。虽然我国的新记录种——中红侧沟茧蜂与美国红足侧沟茧蜂、澳大利亚的毁侧沟茧蜂同属于茧蜂科 *Microplitis* 属,其主要寄主也相近(红足侧沟茧蜂、毁侧沟茧蜂的最主要寄主为美洲棉铃虫 *H. zea*)。但是,对于植物气味的选择性和敏感性却存在很大的差别。

中红侧沟茧蜂成虫的寿命较短,最适宜的温度为 22~25℃,在此温度范围内,可存活 8~13d;在 28℃ 以上时,仅能存活 4~6d^[1]。在饲养中红侧沟茧蜂的过程中,发现用雌蜂寄生粘虫时,羽化当天的雌蜂很不活跃,产卵较少;羽化 2~3d 之后的雌蜂表现活跃,产卵量增加。1~3 日龄中红侧沟茧蜂的触角电位反应的差异与其产卵表现相符。寄生蜂的日龄是影响寄生蜂寻找寄主行为的因素之一。4~5 日龄的红足侧沟茧蜂雌蜂对虫害叶片的反应比例高于 1 日龄的雌蜂的反应比例^[5]。Hérard 等发现 7~10 日龄的毁侧沟茧蜂飞行反应最为持久^[8]。研究日龄对中红侧沟茧蜂寻找寄主行为的影响,有助于在该蜂的人工繁殖和释放时选择适当的时间,提高其生物防治的效果。

References:

[1] Wang D A, Nan L Z, Sun X, *et al.* Biology of *Microplitis mediator*, a parasitic wasp on low-stadium larvae of cotton bollworm. *Natural Enemies of Insects*, 1984, **6**(4): 211~216.

[2] Dong W X, Wang R, Zhang Z N. Electroantennal responses of a parasitoid *Microplitis mediator* to cotton plant volatiles. *Acta Entomologica Sinica*, 2000, **43** (supplement): 119~125.

[3] Dong W X, Zhang Z N, Fang Y L, *et al.* Response of parasitoid *Microplitis mediator* to plant volatiles in an olfactometer. *Entomologia Sinica*, 2000, **7**(4), 344~350.

[4] Drost Y C, Lewis W J, Zanen P O, *et al.* Beneficial arthropod behavior mediated by airborne semiochemicals I. Flight behavior and influence of preflight handling of *Microplitis croceipes* (Cresson). *J. Chem. Ecol.*, 1986, **12**(6): 1247~1262.

[5] Drost Y C, Lewis W J, Tumlinson J H. Beneficial arthropod behavior mediated by airborne semiochemicals V. Influence of rearing method, host plant, and adult experience on host-searching behavior of *Microplitis croceipes* (Cresson), a larval parasitoid of *Heliothis*. *J. Chem. Ecol.*, 1988, **14**(7): 1607~1616.

[6] Eller F J, Tumlinson J H, Lewis W J. Beneficial arthropod behavior mediated by airborne semiochemicals II. Olfactometric studies of host location by the parasitoid *Microplitis croceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae). *J. Chem. Ecol.*, 1988, **14** (2): 425~434.

[7] Eller F J, Tumlinson J H, Lewis W J. Beneficial arthropod behavior mediated by airborne semiochemicals: Source of volatiles mediating the host-location flight behavior of *Microplitis croceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Heliothis zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ. Entomol.*, 1988, **17**(4): 745~753.

[8] Hérard A, Lewis W J, *et al.* Beneficial arthropod behavior mediated by airborne semiochemicals III. Influence of age and experience on flight chamber responses of *Microplitis demolitor* Wilkinson. *J. Chem. Ecol.*, 1988a, **14**(7): 1583~1596.

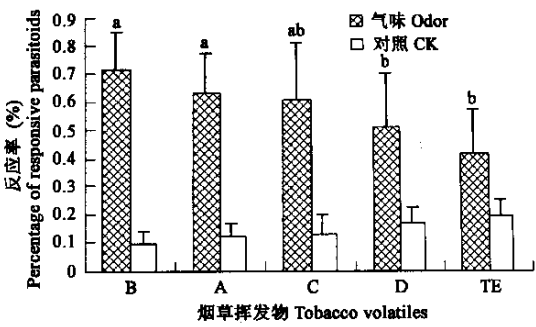


图3 中红侧沟茧蜂雌蜂对烟草粗提物和烟草中 4 种挥发物标样的行为反应

Fig. 3 Behavioral responses of female *Microplitis mediator* to tobacco extract and four tobacco volatile compounds

A 正己醛 Hexanal; B 顺-3-己烯基乙酸酯 Cis-3-Hexen-1-yl acetate; C 苯甲醛 Benzaldehyde; D 水杨酸甲酯 Methyl salicylate; TE 烟草粗提物 Tobacco extract; 图中具有不同字母的, 值差异达到显著水平 $P<0.05$, Duncan's multiple-range test

[9] Hérard F, Keller M A, Lewis W J, *et al.* Beneficial arthropod, behavior mediated by airborne semiochemicals IV. Influence of host diet on host-oriented flight chamber response of *Microplitis demolitor* Wilkinson. *J. Chem. Ecol.* , 1988b, **14**(7): 1597~1606.

[10] Ramachandran R and Norris D M. Volatiles mediating plant-herbivore-natural enemy interactions; Electroantennaogram responses of soybean looper, *Pseudopusia includens*, and a parasitoid, *Microplitis demolitor*, to green leaf volatiles. *J. Chem. Ecol.* , 1991,**17**(8): 1665~1690.

[11] Li J H. Host and laboratory rearing of *Helicoverpa armigera* and *Helicoverpa assulta*. *Insect Knowledge*,1996,**23**(1):12~14.

[12] Entomological research group of biological department, Fudan University. Occurrence and identification of *Helicoverpa armigera* and *Helicoverpa assulta* in suburb of Shanghai. *Insect Knowledge* , 1974,**11**(3):17~20.

[13] Ruan Y M and Wu K J. Performances of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* on different food plants. *Acta Entomologica Sinica* , 2001,**44**(2):205~212.

[14] Entomological research laboratory of Henan Agricultural Universtiy. *Entomology of Tobacco*. Beijing; Chinese Scientific & Technological Press, 1993. 85~91.

[15] Vet L E M, Van Lenteren J C , Heymans M, *et al.* An airflow olfctometer for measuring olfactory responses of hymenopterous parasitoid and other small insects. *Physiol. Entomol.* , 1983, **8**: 97~106.

[16] Anderson R A, Hamilton-Kemp T R, Fleming P D, *et al.* Volatile compounds from vegetative tobacco and wheat obtained by steam distillation and headspace trapping. In;Parliament T H and Croteau R eds. *Biogenesis of aromas*. Washington, DC: American Chemical Society,1986. 99~111.

[17] Andersen R A, Hamilton-Kemp T R, Loughrin J H, *et al.* Green leaf headspace volatiles from *Nicotiana tabacum* lines of different trichome morphology. *J. Agric. Food Chem.* , 1988,**36**: 295~299.

[18] Clark T J and Bunch J E. Qualitative and quantitative analysis of flavor additives on tobacco products using SPME-GC-MS spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* , 1997,**45**: 844~849.

[19] Weeks W W, Chaplin J F, Campbell C R. Capillary chromatography: evaluation of volatiles from flue-cured tobacco varieties. *J. Agric. Food Chem.* , 1989,**37**: 1038~1045.

[20] Weeks W W and Seltmann H. Effect of sucker control on the volatile compounds in flue-cured tobacco. *J. Agric. Food Chem.* , 1986, **34**: 899~904.

[21] Röse U S R, Manukian A, Heath R R, *et al.* Volatile semiochemicals released from undamaged cotton leaves. *Plant Physiol.* , 1996, **111**:487~495.

[22] De Moraes C M, Lewis W J, Paré P W, *et al.* Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. *Nature*, 1998, **393**(11):570~572.

[23] Ramachandran R and Norris D M. Volatiles mediating plant-herbivore-natural enemy interactions; Electroantennaogram responses of soybean looper, *Pseudopusia includens*, and a parasitoid, *Microplitis demolitor*, to green leaf volatiles. *J. Chem. Ecol.* , 1991,**17**(8): 1665~1690.

[24] Whitman DW and Eller F J. Orientation of *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) to green leaf volatiles: dose-response curves. *J. Chem. Ecol.* , 1992, **18**(10): 1743~1753.

[25] Li Y S, Dickens J C, Steiner W W M. Antennal olfactory responsiveness of *Microplitis croceipes* (Hymenoptera; Braconidae) to cotton plant volatiles. *J. Chem. Ecol.* , 1992, **18**(10): 1761~1774.

参考文献:

[1] 王德安,南留柱,孙洗,等. 棉铃虫低龄幼虫寄生蜂——侧沟茧蜂生物学研究. 昆虫天敌, 1984,**6**(4):211~216.

[2] 董文霞,王睿,张钟宁. 中红侧沟茧蜂 *Microplitis mediator* 对棉花挥发性物质的触角电位反应. 昆虫学报,2000,**43** (增刊):119~125.

[11] 李锦华. 棉铃虫和烟青虫的寄主特点和室内饲养观察. 昆虫知识,1996, **23**(1):12~14.

[12] 复旦大学生物系昆虫学教研组. 上海郊区烟夜蛾与棉铃虫的发生与识别. 昆虫知识,1974,**11**(3):17~20.

[13] 阮永明,吴坤君. 不同食料植物对棉铃虫生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报,2001,**44**(2):205~212.

[14] 河南农业大学昆虫研究室. 烟草昆虫学. 北京:中国科学技术出版社,1993. 85~91.