

棉铃虫对几种信息化合物的触角电位(EAG)反应

鲁玉杰, 张孝羲*

(南京农业大学植物保护系, 南京 210095)

摘要:通过棉铃虫成虫对 10 种寄主植物挥发性物质、两种性信息素组分及两者的混合作用的触角电位反应(EAG),发现棉铃虫雌雄蛾对 10 种挥发性物质的 EAG 反应差异显著($P < 0.05$),说明了 10 种挥发物质对棉铃虫成虫的感应功能有所不同。10 种寄主植物挥发物质与性信息素主要组分混合后能引起雄蛾 EAG 反应明显高于单独性信息素的反应,其中有 4 种挥发性物质明显地增强棉铃虫对性信息素的反应($P < 0.05$),即庚醛、1-己醇、反-2-己烯醇、顺-3-己醇-1,说明了以寄主植物挥发物质与昆虫性信息素混合作用来增强昆虫性信息素的应用效果。不同光温条件下饲养的雄蛾对寄主植物挥发性物质与性信息素相互作用的 EAG 反应差异显著($P < 0.05$)。

关键词:棉铃虫; 植物挥发性物质; 性信息素; 触角电位反应; 协同作用

Effects of interaction of plant volatiles and sex pheromone on EAG response of *Helicoverpa armigera* (Hüner)

LU Yu-Jie, ZHANG Xiao-Xi (Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 308~313.

Abstract: The predilection data got from mixture of sex pheromone with infochemicals might reflex the real dynamics of insect population better than with insect sex pheromone alone. Many researches showed that mixture of plant volatiles with insect sex pheromone could significantly enhance the attractive effect for moths. In order to explore the seasonal variation of adults *Helicoverpa armigera* in response to infochemicals such as plant volatiles and female sex pheromone or their mixture in different generation, the electroantennograms (EAG) in response to ten plant volatiles, sex pheromone as well as their mixture of adults *H. armigera* reared under different temperature and photoperiods condition mimicked the conditions of the second and third generation were studied. The results showed that the EAG values of virgin female, mated female and male to ten plant volatiles were significant different ($P < 0.05$). The EAG response values of virgin female was highest, then was the male, while the mated female was the lowest, but all of them have the highest response when induced by heptanal. This indicated that different component of plant volatiles might induced different behavior function. Significant differences of EAG response of male reared

基金项目:国家 948 资助项目(961054)

收稿日期:2001-12-01; **修订日期:**2002-05-26

作者简介:鲁玉杰(1971~),女,博士,主要从事昆虫化学生态学的研究。现工作单位为郑州工程学院生物系,郑州市嵩山南路 140 号,450052

* 通讯作者 Author for correspondence

Foundation item: The National 948 Project(No. 961054)

Received date: 2001-12-01; **Accepted date:** 2002-05-26

Biography: LU Yu-Jie, Doctor. Researched on insect chemical ecology. Present address: Department of Biology, Institute of Zhengzhou Technology, Zhengzhou 450052, China

under different temperature and photoperiod condition (26.5 C, 14.5h; 28 C, 14h) were induced between mixtures of plant volatiles with sex pheromone and sex pheromone alone. The EAG value of male reared under 26.5 C, 14.5h condition were higher than those under 28 C, 14h. The results analyzed by Duncan comparison showed that four plant volatiles components: heptanal, 1-hexenol, Z-3-hexenol and 2-hexenol respectively, could significantly enhance the male response to sex pheromone alone. However, other two components: 1-pinene and benzilbenhyde, could significantly inhibit the male response to sex pheromone. It implied that male EAG response to plant volatiles were different in generations, synergism of some plant volatiles with sex pheromone could be used for improving the lure effect of sex pheromone. Among which, mixture of two plant volatiles components (heptanal and 1-hexenol) and sex pheromone main components could induced the highest male EAG values. It suggested that mixture of these two plant volatiles and sex pheromone can be used for the synergism of sex pheromone for improving the attractive effect in practice.

Key words: *Helicoverpa armigera*; plant volatiles; sex pheromone; EAG response; synergism

文章编号:1000-0933(2003)02-0308-06 中图分类号:Q968.1.S432 文献标识码:A

昆虫的性行为,包括求偶、交配等行为与寻找适宜的寄主植物在时间和空间上均具有同步性,其行为的完成必须在适宜的栖息场所如寄主植物上。因此植物信息化合物可与昆虫的性行为发生密切的联系,如雌蛾性信息素的释放、雄蛾对雌蛾的寻找、定位及两者的交配等行为^[1]。许多研究表明,昆虫寄主植物气味能增强昆虫对性信息素的反应,小菜蛾性信息素的引诱作用因加入异硫氰酸酯而得到提高^[2]。黄地老虎(*Agrotis segetum*)雄虫对性信息素的反应在有寄主植物气味存在时反应增强^[3]。当把粉纹夜蛾(*Trichoplusia ni*)的雌蛾的气味在放入风洞之前用植物气味混合,可以引诱到较多的雄虫,合成的雄性信息素和棉花叶气味的混合物引诱到的雌虫要比单一的雄性信息素要多的多^[1]。研究发现,烟芽夜蛾(*Heliothis virescens*)的寄主植物的绿叶气味可增强雌蛾性信息素对雄蛾的引诱作用^[4]。故可推测植物气味物质对棉铃虫性信息素也有一定的影响。

Chen^[5]用 EAG 反应测试了棉铃虫对许多寄主植物气味成份及性信息素的反应,结果表明只有雄蛾对性信息素组分 Z11-16:Ald 有反应,而雌蛾和雄蛾均对寄主植物挥发物有反应,大多数能引起最大的 EAG 的气味物质是 6 碳醇和醛。不同日龄棉铃虫雌蛾对不同寄主植物的挥发物的 EAG 反应也有所不同,故推测不同世代棉铃虫的寄主植物发育阶段不同,其挥发性物质的成分也有所变化,有可能影响棉铃虫的化学通讯及觅偶行为^[6]。但关于棉铃虫寄主植物挥发物对棉铃虫性信息素的影响及两者相互作用对雄蛾引诱作用的影响的研究未见报道。

1 材料与方法

1.1 虫源

棉铃虫为室内饲养几代的品种,为模拟不同世代的温光条件,从卵期开始进行在两种温光条件下饲养,①模拟第 2 代条件下的 26.5 C、14.5h,② 模拟第 3 代条件下的 28 C、14h,直到成虫羽化后第 2 天分析性信息素或进行 EAG 的测定。

1.2 标准化合物

标准化合物的来源见表 1。以石蜡油作溶剂,将 10 种标准化合物配成与石蜡油体积比 1/10 和 1/1000 两种浓度;性信息素的来源为中国科学院动物研究所孟宪佐研究员提供。性信息素主要由两主要组分 Z11-16:Ald、Z9-16:Ald 组成,其比例分别为 97:3 和 85:15。

1.3 触角电位反应

分两步进行,第 1 步以 EAG 记录技术测定棉铃虫雄蛾及处女蛾及交配后雌蛾(解剖腹部交配囊中发现有精包)对 10 种标准化合物的敏感度。第 2 步分别以引起雄蛾 EAG 反应较强的 3 种挥发物,如 1-己醇、苯甲醛及庚醛的系列浓度作剂量与反应强度关系的研究,然后将 10 种标准化合物分别与性信息素主要组分顺 11-16 醛(Z11-16:Ald)和顺 9-16 醛(Z9-16:Ald)混合进行雄蛾的 EAG 反应,以石蜡油作对照。每种化

合物或混合物无论对雌蛾或雄蛾均重复 10 头,对每头蛾重复测定 3 次。具体测定方法同 Chen-xiong^[5]。

表 1 10 种标准化合物的来源
Table 1 Sources of ten standard chemicals

化合物 Chemical	纯度(%) Purity degree	来源 Sources
庚醛 Heptanal	95	AVCADO Research Chemicals Ltd A. M.
反-2-己烯醛-1 Trans-2-hexena	98	同上 ditto
反-2-己烯醇-1 Trans-2-hexen-1-ol	95	同上 ditto
顺-3-己醇-1 Cis-3-hexen-1-ol	98	同上 ditto
里那醇 Linalool	98	同上 ditto
己醛 Hexanal	98	同上 ditto
香叶烯 Myrcene	97	Aldrich Chem. Com.
蒎烯 (1R)-(+)- α -Pinene	99	Aldrich Chem. Com.
苯甲醛 Benzaldehyde	98	Alfa Aesar A Johnson Mathey Com.
1-己醇 1-Hexanol	99(+)	Alfa Aesar A Johnson Mathey Com.

2 结果

2.1 雌雄蛾对 10 种挥发物的 EAG 反应

雄蛾和雌蛾及处女蛾与交配后雌蛾对不同挥发物的 EAG 反应强度不同,雌雄蛾对 10 种不同挥发物的 EAG 反应的电位值去除石蜡油对照后的标准 EAG 反应值如表 2 所示。

表 2 棉铃虫雌雄蛾对 10 种植物挥发物的 EAG 反应电位值(mV, $n=10$)
Table 2 EAG response potential value of male and female to ten plant volatiles

标准化合物 Standard sample	雄蛾 Male	处女蛾 Virgin female	交配后雌蛾 Mated female
庚醛 Heptanal	33.44 $\pm$ 9.18 B a	38.36 $\pm$ 8.25 A a	26.05 $\pm$ 8.16 C a
苯甲醛 Benzaldehyde	21.49 $\pm$ 4.48 B bc	27.21 $\pm$ 7.56 A c	21.11 $\pm$ 5.65 B b
1-己醇 1-Hexenol	24.78 $\pm$ 5.48 A b	32.20 $\pm$ 11.65 A b	22.34 $\pm$ 6.97 A ab
己醛 Hexanal	23.04 $\pm$ 7.19 B bc	26.24 $\pm$ 8.90 A c	20.07 $\pm$ 6.97 B bc
顺-3-己醇-1 Z-3-Hexen-1-ol	20.83 $\pm$ 4.49 C c	32.73 $\pm$ 12.72 A b	25.63 $\pm$ 8.01 B a
反-2-己烯醇-1 E-2-Hexen-1-ol	20.69 $\pm$ 5.21 B c	28.75 $\pm$ 6.67 A bc	19.84 $\pm$ 4.38 B bc
反-2-己烯醛-1 E-2-Hexenal	19.54 $\pm$ 6.64 B cd	32.43 $\pm$ 9.01 A b	23.16 $\pm$ 6.25 B ab
香叶烯 Myrcene	16.06 $\pm$ 3.09 B de	21.44 $\pm$ 5.63 A d	17.72 $\pm$ 4.79 B c
蒎烯 Pinene	14.12 $\pm$ 3.19 A e	15.03 $\pm$ 3.15 A de	13.96 $\pm$ 3.91 A c
里那醇 Linalool	15.81 $\pm$ 2.92 A e	17.79 $\pm$ 5.19 A e	17.23 $\pm$ 7.43 A d

表中数字旁标注的大写字母表示横向比较(t 测验),小写字母表示纵向比较(Duncan 比较);相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著($P<0.05$)。Capital letters besides data show crosswise comparison results, and small letters show lengthwise comparison results; the same letter means no significant different ($P>0.05$) each other

从表 2 可以看出,处女蛾、交配后雌蛾及雄蛾除对 1-己醇、里那醇、蒎烯的 EAG 反应没有显著差异外,对其余 7 种挥发物的 EAG 反应差异均显著;以处女蛾对各种挥发物的触角电位反应的值最高。雄蛾对各挥发物的 EAG 反应居中,除对庚醛、顺-3-己醇-1 的反应差异显著外,对其余组分的差异均不显著,而交配后雌蛾对大部分挥发物的 EAG 反应都较低,只有少数组分差异不显著。说明了处女蛾对这 10 种挥发物的敏感性较高。说明了 10 种挥发物中含有刺激成虫取食和交配的信息较多。纵向的比较结果表明,棉铃虫成虫对各种挥发物的反应差异显著,3 个处理的成虫对庚醛的反应最高,雄蛾对庚醛、苯甲醛、1-己醇、己醛的反应较高;而处女蛾对 Z 顺-3-己醇-1、己醛、反-2-己烯醇-1、反-2-己烯-1 的反应较高;交配后雌蛾对苯甲醛、1-己醇、己醛、顺-3-己醇-1、反-2-己烯醇-1 的反应较高。说明了寄主植物挥发物的不同组分的对棉铃虫成虫的不同行为功能中起不同的作用。

2.2 雄蛾对 10 种挥发物的 EAG 反应及与性信息素的相互作用

从以上结果可以看出不仅雌蛾对挥发物的敏感性较高,而且雄蛾对各种挥发物的 EAG 反应也较强。故推测各种挥发物能促进雄蛾对雌蛾性信息素的反应强度。将 10 种挥发物与性信息素组合对模拟 2、3 代发生期间光照与温度条件下饲养的雄蛾作 EAG 反应检测,并以对性信息素单独的反应作对照,结果如表 3 所示。

表 3 不同光温条件下棉铃虫雄蛾对性信息素与植物挥发物相互作用的 EAG 反应 ($n=10$)

Table 3 The effect of interaction sex pheromone and plant volatiles on male EAG response in *Helicoverpa armigera* under different photoperiod and temperature condition

性信息素与植物挥发物 Sex pheromone and plant volatiles	2 代(26 C, 14.5h)雄蛾 2 nd gen. male under 26 C, 14.5h	3 代(28 C, 14h)雄蛾 3 rd gen. male under 28 C, 14h
性信息素 SP	29.77±5.08 A dc	18.21±3.01 B bc
SP+庚醛 SP+Heptanal	37.03±7.39 A a	17.33±4.24 B bc
SP+苯甲醛 SP+Benzaldehyde	24.43±5.64 A ef	16.20±3.34 B c
SP+1-己醇 SP+1-Hexenol	36.17±13.09 A ab	26.23±9.10 B a
SP+顺-3-己醇-1 SP+Z-3-1-Hexenol	35.69±9.30 A ab	24.02±9.72 B a
SP+己醛 SP+Hexenal	33.85±7.19 A abc	21.92±16.32 B ab
SP+反-2-己烯醇-1 SP+E-2-1-Hexenol	35.39±6.46 A abcd	25.75±10.54 B a
SP+反-2-己烯醛-1 SP+E-2-Hexenal	32.82±12.16 A ab	22.14±6.89 B ab
SP+香叶烯 SP+Myrcene	23.14±8.36 A f	18.84±9.99 A bc
SP+蒎烯 SP+Pinene	31.43±6.99 A bdc	15.03±4.49 B c
SP+里那醇 SP+Linalool	28.65±9.84 A de	17.88±7.69 B bc

表中 SP 表示性信息素,数字旁标注的大写字母表示横向比较,小写字母表示纵向比较,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著($P<0.05$)。SP=sex pheromone; capital letters besides data show crosswise comparison results, and small letters show lengthwise comparison results; the same letter means no significant difference ($P>0.05$) each other

从表 3 可以看出,不同光温条件下的雄蛾对各种刺激物的反应除香叶烯外,其余差异显著,模拟第 2 代的 26 C、14.5h 条件下的雄蛾的 EAG 反应显著高于模拟第 3 代 28 C、14h 条件下雄蛾的 EAG 反应,26 C、14.5h 条件下的雄蛾对植物挥发物与性信息素组合的反应值均较高,以单独对性信息素的反应为对照来分析,有 3 种组分引起的反应显著低于对单独性信息素的反应,7 种组分能增强性信息素的反应,多重比较表明,有显著促进作用有 4 种组分,分别为:庚醛、1-己醇、顺-3-己醇-1、反-2-己烯醛-1;有显著抑制作用的有 2 种组分如苯甲醛和香叶烯。28 C、14h 条件下的雄蛾对性信息素及植物挥发物的 EAG 反应均较低,与对单独性信息素的反应相比,有 4 种组分与性信息素组合的反应低于对单独性信息素的 EAG 反应,有 6 种组分与性信息素组合的反应高于对性信息素的 EAG 反应。多重比较结果表明有 3 种组分对性信息素有显著的促进作用,分别为 1-己醇、顺-3-己醇-1、反-2-己烯醇-1;有两种组分有抑制作用,如蒎烯、苯甲醛但差异不显著。说明了植物挥发物中有一些组分能增强雄蛾对性信息素的反应,有些组分可抑制雄蛾对性信息素的反应,而且在不同世代,植物挥发物的作用有所不同。模拟第 3 代(28 C、14h)条件下 EAG 反应均显著下降。

2.3 几种有增效作用的化合物的配比反应

为了进一步了解几种挥发物对雄蛾性信息素反应的增效作用,将几种有增效作用的挥发物按照反应的强度的大小,在 26 C、14.5h 条件下测试了 1~5 种组分的混合刺激下雄蛾的 EAG 反应,各种组合的 EAG 反应结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出性信息素与几种挥发物组合引起雄蛾的 EAG 反应均大于单独性信息素的反应,性信息素与 2 种挥发物(SP+Heptanal+1-Hexenol)混合时引起的雄蛾的 EAG 反应最大。多重比较结果表明,性信息素与 1 种、2 种、3 种、5 种挥发物组合时引起雄蛾的 EAG 反应差异不显著,但与性信息素单独的反

应差异显著,与4种挥发物组合的EAG反应差异显著,说明了雄蛾对植物挥发物的反应是以对多组分的组合反应为主。对雄蛾对性信息素反应的增效作用是由几种挥发物的组合下的作用的。并且以SP+Heptanal+1-Hexenol作用最大。

3 讨论

郭予元^[7]认为运用棉铃虫性信息素失败的原因之一可能与寄主植物挥发物与性信息素相互作用的机理不完全了解有关。有些学者推测雄虫触角受体系统对植物气味识别早于它们检测信息素功能的演化,并进一步提出原始的交配寻找系统可能依赖于在合适的寄主植物周围的两性聚集^[8, 9]。信息素与植物气味相结合可能为感受雄蛾提供更为复杂,或更为完全的不仅包括同种存在而且还包括适宜寄主存在的信息^[4]。

本研究仅用EAG反应初步筛选了几种挥发物对棉铃虫雄蛾性信息素反应有增效作用的化合物,而且发现模拟不同世代光温条件雄蛾对挥发物的反应和二者的增效作用有差异。若将植物挥发性物质与性信息素协同作用应用与害虫综合治理,还需要进行大量挥发物的筛选、具体配比等一系列的室内和田间试验。

利用植物信息化合物来预测预报害虫的发生,可能比仅用性信息素取得的数据更能反映昆虫的种群的动态。在IPM中,任何能够降低害虫种群密度的产品均可作为IPM管理的手段,包括植物信息化合物的利用^[9]。植物利它素和昆虫性信息素一样,可用作植食性昆虫的测报和诱杀^[10]。植物的利己素和互益素可分别通过调节植食性昆虫和天敌的行为而达到保护植物的目的,目前已有直接喷洒这类信息化合物的田间小区试验,并且证实了这方面的防治效果^[11]。探明植物气味和昆虫信息素的协同作用可进一步改进利用昆虫信息素控制害虫^[2]。

植物所释放的气味是多种微浓度的挥发次生物质组成的复杂混合物,如在玉米叶周围可以检测到90多种组分^[12]。这些化合物的化学及行为功能均有所不同,而且各组分在不同环境条件下易发生变化^[13]。昆虫对植物气味的感受机理也有所不同。说明了对植物挥发物的了解和研究工作非常复杂,需要从众多化合物中进行大量的筛选、昆虫的行为测试、昆虫的嗅觉编码、天敌的学习行为等一系列大量的工作,才有可能达到实际应用的目的。植物气味与昆虫信息素的协同作用还需要进行最佳化合物的浓度、配比和最佳剂量的大量的工作,才能达到改善昆虫信息素低效能的目的。

References

- [1] Landolt P J, Heath R R, Miller K M, et al. Effects of host plant *Gossypium hirsutum* L. on sexual attraction of cabbage looper moths *Trichoplusia ni*. *J. Chem. Ecol.*, 1994, **20**(11):2959~2975.
- [2] Du Y J, Yan F S H. The role of plant volatiles in tritrophic interactions among phytophagous insects, their host plants and natural enemies. *Acta Entomologica Sinica*, 1994, **37**(2):233~250.
- [3] Hansson B S, Van Der Pers J N C, & Lofquist J. Comparison of male and female olfactory cell response to pheromone compound and plant volatiles in turnip moth, *Agrotis segetum*. *Physiol. Entomol.*, 1989, **14**:147~

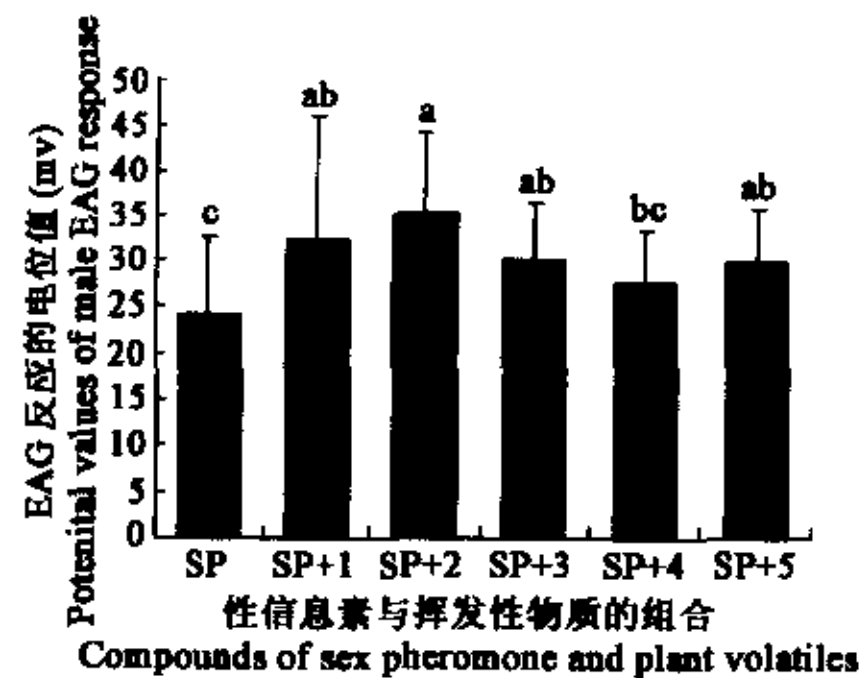


图1 棉铃虫雄蛾对几种植物挥发物与性信息素协同作用的EAG反应

Fig. 1 The synergized EAG response of male *H. armigera* to the mixtures of plant volatiles and sex pheromone

SP 为性信息素;SP+1 为性信息素与庚醛组合;SP+2 为 SP+1+1-己醇组合;SP+3 为 SP+2+顺-3-己醇-1;SP+4 为 SP+3+反-2-己醇-1;SP+5 为 SP+4+己醛

柱上标注的不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)
The meanings of code names under abscissa (SP) = sex pheromone, (SP+1) = (SP) + heptanal, (SP+2) = (SP+1) + 1-hexenol, (SP+3) = (SP+2) + Z-3-1-hexenol, (SP+4) = (SP+3) + E-2-1-hexenol, (SP+5) = (SP+4) + hexenol; The same superjacent letter means no significant difference each other

155.

- [4] Dickens J C, Smith J W, Light D M. Green leaf volatiles enhance sex attractant pheromone of the tobacco budworm *Heliothis virescens* (Lep. ,Noctuidae). *Chemoecology*, 1993, **4**:175~177.
- [5] Chen X H, Zhang Z Y, *et al.* Olfactory response of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* and plant volatile components. *Entomologia Sinica*, 1997, **4**:2,159~172.
- [6] Gothilf S M, *et al.* Sex attractants for male *Heliothis armigera*. *Experientia*, 1978, **34**: 853~854.
- [7] Guo Y Y. Study on Cotton Bollworm *Helicoverpa armigera* (Hüner) . Beijing : Agricultural Press,1998. 82~123.
- [8] Lanne B S, Schlyter G, Byers A, *et al.* Differences in attraction to semiochemicals present in sympatric pine shoot beetle, *Tomicus minor* and *T. piniperda*. *J. Chem. Ecol.* , 1987, **13**:1045~1067.
- [9] Light D M, Flath R A, Buttery R G, *et al.* Host plant green leaf volatiles synergize the synthetic sex pheromones of the corn earworm and codling moth (Lepidoptera). *Chemoecology*, 1993, **4**:145~152.
- [10] Ones O T. Practical Application of pheromone and other semiochemicals. In:Howse P E, *et al.* eds. *Insect pheromone and their use in pest management*. Chapman & Hall New York,1998.
- [11] Metcalf R L and Metcalf E R eds. Plant kairomone in insect ecology and control. Chapman and Hall, New York and London,1991.
- [12] Jermy T. Prospects of antifeedant approach to pest control—a critical review. *J. Chem. Ecol.* , 1990, **16**(11): 3151~3166.
- [13] Waterman P G & Mole S. Extrinsic factors influencing production of secondary metabolites in plants. In: edited by E. A. Bernays. *Insect- Plant Interactions*. 1989. 107~134.

参考文献

- [2] 杜永均,严福顺.植物挥发性次生物质在植食性昆虫、寄主植物和昆虫天敌关系中的作用机理.昆虫学报,1994,37(2):233~250.
- [7] 郭予元.棉铃虫的研究.北京:农业出版社,1998.82~123.