

棉蚜和七星瓢虫对紫茎泽兰挥发物的行为反应及挥发物化学成分初步分析

程丽坤, 任 琴, 刘小侠, 果春山, 腾兆乾, 张青文*

(中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094)

摘要:田间调查发现紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum* Spreng 上有一定数量的棉蚜 *Aphis gossypii* 寄生。从棉蚜是否可为紫茎泽兰的生物防治提供新思路的角度出发,研究了紫茎泽兰挥发性气味物质的化学组成及其对棉蚜和七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 行为的影响。棉蚜选择性试验结果表明,紫茎泽兰饲养的棉蚜对紫茎泽兰的趋向率为 62.5%,对棉花的趋向率为 37.5%。棉花饲养的棉蚜对紫茎泽兰的趋向率为 30%,对棉花的趋向率为 70%。在七星瓢虫对感染蚜虫植株的选择性实验中,七星瓢虫对感染蚜虫的紫茎泽兰植株气味趋向率为 29.2%,对感染蚜虫的棉花植株气味趋向率为 70.8%;七星瓢虫对除去植株的两种蚜虫气味选择率没有显著差异,对取食紫茎泽兰的蚜虫气味选择率为 46.7%,对取食棉花植株的蚜虫气味选择率为 53.3%。通过 GC-MC 分析了紫茎泽兰挥发性化学物质的组分及相对含量,其主要挥发物的成分是 α -蒎烯、莰烯、 β -蒎烯、2-萜烯和 α -水芹烯等。

关键词:紫茎泽兰;挥发物化学成分;行为反应;棉蚜;七星瓢虫

中图分类号:Q965 文献标识码:A 文章编号:0454-6296(2007)11-1194-06

Behavioral responses of *Aphis gossypii* and *Coccinella septempunctata* to volatiles from *Eupatorium adenophorum* and an analysis of chemical components of the volatiles

CHENG Li-Kun, REN Qin, LIU Xiao-Xia, GUO Chun-Shan, TENG Zhao-Qian, ZHANG Qing-Wen*
(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: The presence of *Aphis gossypii* on *Eupatorium adenophorum* may suggest a new way of controlling the invasive plant. In the laboratory we tested the behavioral responses of *A. gossypii* and *Coccinella septempunctata* to volatiles from *E. adenophorum* were tested with Y-olfactometer, and the chemical components of these volatiles were analyzed with GC-MC. The results of *A. gossypii* bi-choice tests with Y-olfactometer showed that the choice of *A. gossypii* fed on *E. adenophorum* to *E. adenophorum* odor reached 62.5% when cotton existed, whereas the choice to cotton odor was 37.5%. The choice of *A. gossypii* fed on cotton to *E. adenophorum* odor reached 30% when cotton existed, whereas from the choice to cotton odor was 70%. The results of selective test of *C. septempunctata* from *E. adenophorum* infested by *A. gossypii* showed the choice to odor from *E. adenophorum* infested by *A. gossypii* was 29.2%, and the choice to cotton odor was 70.8%. The selection of *C. septempunctata* to aphid odor had no significant differences after both plants were removed. The selection of *C. septempunctata* to odor from aphids fed on *E. adenophorum* reached 46.7%, whereas the choice to odor from aphids fed on cotton was 53.3%. GC-MC analysis of the volatiles from *E. adenophorum* revealed that the main volatile compounds were α -pinene, camphene, β -pinene, 2-carene, and α -phellandrene.

Key words: *Eupatorium adenophorum*; volatile compounds; behavioral response; *Aphis gossypii*; *Coccinella septempunctata*

基金项目:国家“973”子课题(2002CB111407)

作者简介:程丽坤,女,1979年生,硕士研究生,从事有害生物综合治理研究,E-mail:jhwelk@163.com

*通讯作者 Author for correspondence, Tel.: 010-62733016; E-mail: zhangqingwen@263.net

收稿日期 Received: 2007-04-17; 接受日期 Accepted: 2007-11-05

植物虽然缺乏像动物一样的移动能力,但发展了以植物次生性物质为主的化学防御体系(王琛柱和钦俊德,1998)。植物次生物质,特别是挥发性的次生化学物质,在植物、植食性昆虫、天敌的相互作用中发挥着重要作用。近些年国内外对于植物次生物质的研究很多,我国一些学者也从植物挥发性次生物质和非挥发性次生物质与昆虫的相互作用方面开展了许多研究(徐汉虹和赵善欢,1994;庞雄飞,1999;阎凤鸣,2000;赵冬香等,2002;苗振旺等,2004;颜增光等,2006)。关于紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum* Spreng 的非挥发性次生物质成分及对一些重要农业害虫的生物活性研究已有报道(李小平等,1995;李云寿等,2000;王一丁等,2002;周天雄等,2003),但未见有关紫茎泽兰活体植株挥发性化学物质的报道。

紫茎泽兰为菊科泽兰属植物,在我国为外来入侵杂草,于20世纪40年代由东南亚传入我国云南省,其后传入贵州、四川、西藏、广西、广东等地。该草侵入农田、草地、山林等多种生境,竞争力极强,严重破坏生物多样性,危害作物生长,并致草食动物中毒等,给社会经济和生态平衡带来巨大损失。目前,紫茎泽兰的防除主要采用人工和机械防除,使用包括2,4-D、2,4-D-丁酯、氯酸钠等的化学防除,以及利用植物替代、泽兰实蝇、旋皮天牛和某些真菌的生物防除,但在我国仍然没有得到有效的控制,还在进一步扩张(傅昀等,1999;鲁萍等,2005)。

在田间,紫茎泽兰较少有昆虫取食,但最近却发现存在一定数量的棉蚜种群寄生,而没有文献报道过紫茎泽兰是棉蚜的寄主植物(冯国蕾等,2001;王咏妙等,2004)。我们关心的是:(1)紫茎泽兰是否原本就是棉蚜的天然寄主植物,还是棉蚜原来并不取食该植物,只是近期适应了这种新的植物;(2)棉蚜是否可作为紫茎泽兰的生物防治的新的因子。为此我们研究了棉蚜 *Aphis gossypii* 和七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 对紫茎泽兰挥发物的行为反应和挥发物的化学组成,以期为紫茎泽兰的防除以及植物-昆虫-天敌进化关系的研究提供参考。

1 材料和方法

1.1 植物

紫茎泽兰于云南昆明采集种子,种植在直径14 cm花盆的腐殖质中。植物在温室条件下生长,温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $50\% \pm 10\%$ 。蚜虫感染植株为

温室中自然感染后罩笼备用。

1.2 昆虫

棉蚜为中国农业大学昆虫毒理室提供的敏感品系,在人工气候室内(温度 25°C 、相对湿度70%、光照:黑暗=16 h:8 h)以棉花或紫茎泽兰植株分别饲养。挑选健康、虫体大小基本一致的成蚜备用。七星瓢虫由中国农业大学实验田田间捕集,以棉花或紫茎泽兰植株上的蚜虫分别饲养,挑选健康、虫体大小基本一致的成虫备用。

1.3 “Y”型管测定

1.3.1 棉蚜选择反应实验:依Read等(1970)方法设计并略加改进,Y型嗅觉仪的Y型管规格为内径3 cm,底部长臂22 cm,上部两短臂17 cm,两臂夹角 75° (下同)。“Y”形管内置一根“Y”形铁丝,铁丝端部穿过纱网,每个管臂用Teflon管与流量计连接后分别与放置5株紫茎泽兰和5株棉花植株的味源瓶连接,再与装有蒸馏水和活性碳的玻璃瓶相连。调节两臂气流均为200 mL/min后,将准备好的蚜虫由基部释放口单头放入,每个处理观察20 min,试虫20头。重复6次。

1.3.2 七星瓢虫选择反应实验:七星瓢虫对感染蚜虫的紫茎泽兰和棉花植株气味的选择反应及其对除去植株后两种蚜虫气味的选择反应,气味瓶中分别放置感染蚜虫50头的紫茎泽兰和棉花植株5株,或分别放置以紫茎泽兰为食物的棉蚜和以棉花为食物的棉蚜2000头,其他方法同上。

选择性标准:当蚜虫或瓢虫爬至超过某臂的10 cm处,并持续5 min以上者,记录其对该臂的味源做出了选择。蚜虫或瓢虫引入20 min后没有做出选择的则记为无反应。每测5头后调换Y型管方向一次,每测完20头就用95%乙醇擦洗管的内、外壁,烘干后使用。记录反应虫数。

1.4 植物挥发性气体的收集

参见阎凤鸣等(2002)并略加改进,紫茎泽兰生长至20 cm左右时,将整株植物连同花盆放置室内用于气体收集。温度 $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。用塑料袋(瑞典Meny公司产品,直径20 cm,长度60 cm)将所有紫茎泽兰叶片罩入,袋的下开口插入进气管,用铁丝缠绕固定在紫茎泽兰茎的底部,袋的上部插入出气管,用胶带扎紧,固定在支架上。进、出气管均连接到空气泵上。进气管的空气通过活性炭过滤后进入塑料袋中。吸附剂(PorapakQ,30 mg,50~80目)装在Teflon管(直径30 mm,长度35 mm)内,管两端用玻璃纤维填充。Teflon管连在出气管上,带有植物挥

发性气体的空气被吸附剂吸附。空气流量为 200 mL/min,收集时间为 24 h。收集的挥发性化学物质迅速用二氯甲烷淋洗下来,贮存在 -20℃ 冰箱中备用。收集重复 4 次。

1.5 挥发性气味的化学成分鉴定

1.5.1 仪器型号:Agilent6890N-5973NGC/MSD,采用手性柱对挥发物进行了拆分。

1.5.2 仪器的工作条件:GC 色谱柱:CYCLODEXB (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);程序升温:45℃(保持 3 min),以 5℃/min 升至 80℃,再以 1℃/min 升至 90℃,以 2℃/min 至 110℃,最后以 15℃/min 至 220℃,进样口温度 200℃,载气 He(99.999%),载气流量 1 mL/min,进样量 2 μL。

MS 的工作条件:Ionization Mode:EI,E-energy:70 eV;四极杆温度 150℃;Mass range:30 ~ 300 amu;Src:230℃。

挥发性物质的鉴定:采用 NIST 02 谱图库兼顾色谱保留时间峰对紫茎泽兰挥发物成分的鉴定,通过面积归一化法以各类挥发物的相对含量定量。

1.6 数据统计处理

数据处理用 SPSS 软件进行,挥发物的相对含量

数据显著性差异采用 F 测验,选择性实验数据采用多配对样本的 Cochran's Q 检验法进行分析。

2 结果和分析

2.1 棉蚜和七星瓢虫对紫茎泽兰挥发物的行为反应

从图 1 可以看出,无论原来取食棉花还是取食紫茎泽兰的棉蚜对两种植物的气味方向都会做出选择,原来取食紫茎泽兰的棉蚜在有棉花可选择的情况下,选择紫茎泽兰气味方向的有 62.5%,选择棉花气味方向的有 37.5%,两者差异达到极显著水平(N = 120, Q = 19.200, P = 0.000)。原来取食棉花没有取食过紫茎泽兰的棉蚜,在有棉花和选择的情况下也会选择紫茎泽兰,其中选择紫茎泽兰气味方向的为 30%,选择棉花气味方向的为 70%,差异显著(N = 120, Q = 8.076, P = 0.004)。

七星瓢虫对感染蚜虫植株的选择性实验中,对感染蚜虫的紫茎泽兰气味的选择率为 29.2%,对感染蚜虫的棉花植株气味选择率为 70.8%,差异极显著(N = 120, Q = 20.833, P = 0.000)七星瓢虫对除

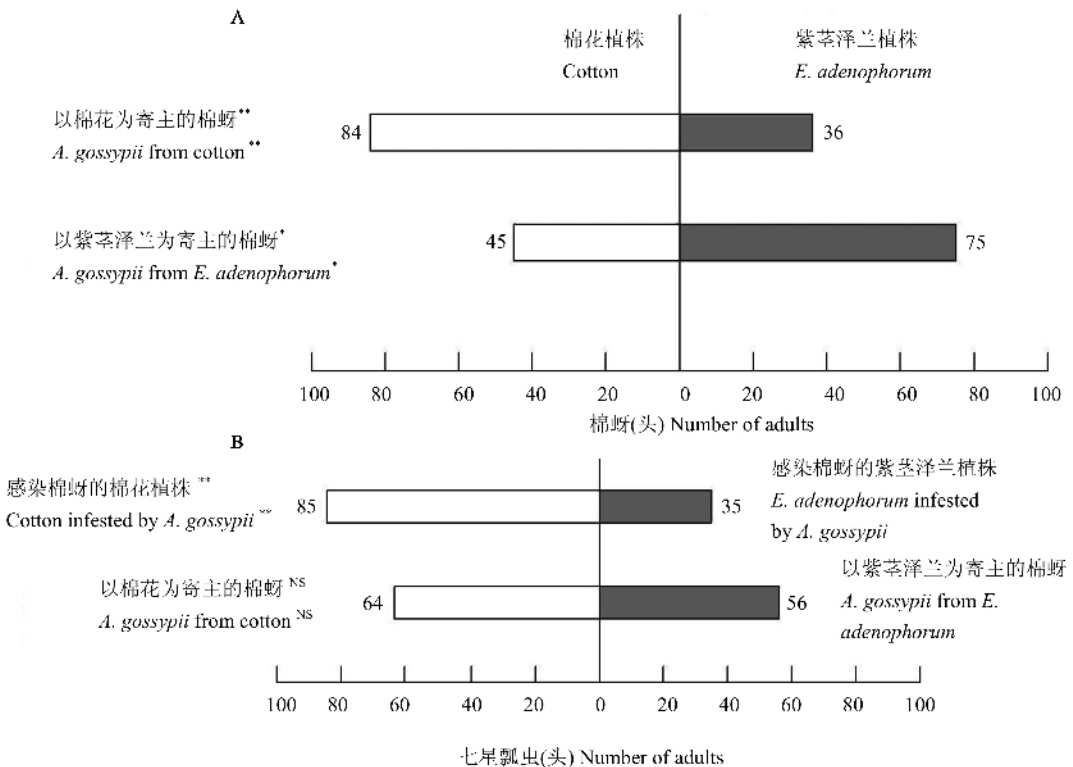


图 1 棉蚜(A)和七星瓢虫(B)对不同挥发物气味的选择反应

Fig. 1 Selective response of *Aphis gossypii* (A) and *Coccinella septempunctata* (B) to different odors

* ** : 处理间差异显著 Significant difference between different treatments (P < 0.05, P < 0.01);

NS : 处理间差异不显著 Not significant difference between different treatments (P > 0.05).

去植株的两种蚜虫气味选择率没有显著差异,对取食紫茎泽兰的蚜虫气味选择率为 46.7%,对取食棉花植株的蚜虫气味选择率为 53.3% ($N = 120$, $Q = 0.533$, $P = 0.465$).

2.2 紫茎泽兰的挥发性物质

紫茎泽兰挥发物的总离子流图见图 2。表 1 列出了紫茎泽兰挥发物的组成与相对含量。结果表明紫茎泽兰挥发物中萜烯、2-萜烯、 α -水芹烯和 o -散花烯为主要的化学成分,其相对含量占总含量的 73.09%。蚜虫取食紫茎泽兰后没有诱导产生新的

挥发性物质,只是引起其组分相对含量的变化。其中己烷、乙酸乙酯、甲苯、正己醛、2-己醛、反-3-己烯-1-醇、乙苯、 α -蒎烯、己内酰胺、乙酸龙脑酯、石竹烯、长叶蒎烯、依兰油烯含量显著升高;而萜烯、2-萜烯、 α -水芹烯和 o -散花烯 4 种成分的含量则均有降低,健康植株中含量最高的成分是 2-萜烯(24.73%),其次为 o -散花烯(21.81%)、 α -水芹烯(14.91%)和萜烯(11.64%);蚜虫取食后紫茎泽兰中含量最高的是 o -散花烯(20.24%),其次为 α -水芹烯(10.58%)、2-萜烯(9.75%)和萜烯(8.47%)。

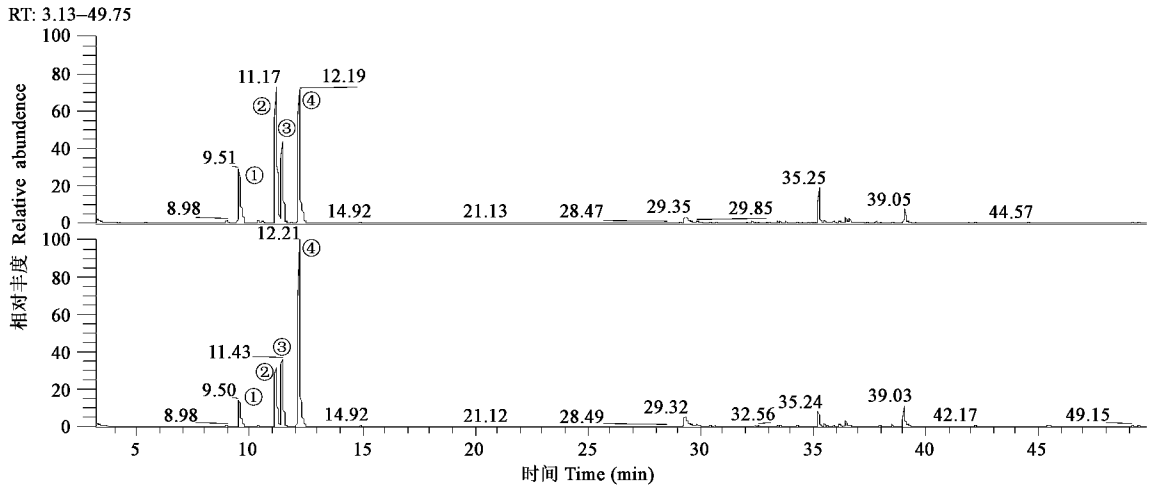


图 2 紫茎泽兰健康植株及感染棉蚜植株挥发物的总离子流图

Fig. 2 Total ion current of volatiles from *Eupatorium adenophorum* plants infested by *Aphis gossypii* and the un-infested plants as the control

①:萜烯 Camphene; ②:2-萜烯 2-carene; ③: α -水芹烯 α -phellandrene; ④: o -散花烯 o -cymene.

3 讨论

以往的一些研究表明一些取食韧皮部的昆虫取食后不能诱导植物产生新的挥发性物质(Raven, 1983; Raman, 1994; Gerling and Mayer, 1996; Karban and Baldwin, 1997; Miles, 1999; Stotz *et al.*, 1999),作者在实验过程中发现棉蚜在紫茎泽兰上可以完成生长发育,而紫茎泽兰在棉蚜取食后生长速度受到抑制,并且使植株容易发生霉菌从而进一步影响紫茎泽兰的生长发育。从棉蚜对两种植株气味选择反应的实验结果也表明棉蚜在有棉花存在时也会选择紫茎泽兰,这与棉蚜食性范围广寄主种类多有关。同时从实验结果中可以发现,紫茎泽兰挥发物中的许多成分在棉花挥发物中同样存在或极为相似(阎凤鸣等, 2002),这也可能为棉蚜选择紫茎泽兰提供了化学信号。七星瓢虫对取食紫茎泽兰的蚜虫气味选择率为 46.7%,对取食棉花植株的蚜虫气味选择率为

53.3%,两者没有显著差异,说明在没有寄主植物存在时七星瓢虫对两种棉蚜没有明显的选择性。但七星瓢虫对于感染蚜虫的紫茎泽兰植株和棉花植株气味则有一定的选择性,在两者中较多的选择棉花和棉蚜的复合体,较少选择紫茎泽兰和棉蚜的复合体,其中对感染蚜虫的紫茎泽兰气味的选择率为 29.2%,对感染蚜虫的棉花植株气味选择率为 70.8%,这说明七星瓢虫对于存在于棉花上的棉蚜有一定的偏好性,这种现象可能是由于紫茎泽兰的挥发物中含有对七星瓢虫有驱避作用的成分。

本实验结果表明,棉蚜取食和模拟棉蚜取食也不能使紫茎泽兰产生新的挥发性物质,但组分的相对含量有一定的变化。与健康对照相比,多数挥发物的相对含量显著升高,而含量较高的 4 种成分萜烯、2-萜烯、 o -散花烯、 α -水芹烯被蚜虫取食后含量均有所降低。这可能是紫茎泽兰为了防御棉蚜的取食,而将其化学指纹图谱改变的结果,这还有待于继续研究。

表 1 紫茎泽兰挥发性化学物质及其相对含量(%)

Table 1 Volatile chemicals from *Eupatorium adenophorum* and their relative contents(%)

挥发性物质 Volatile chemicals	健康植株 Control plants	蚜虫感染植株 Infested plants by aphids
己烷 Hexane	0.54 ± 0.02 a	3.21 ± 0.06 b
乙酸乙酯 Acetic acid, ethyl acetate	0.62 ± 0.03 a	0.91 ± 0.01 b
甲苯 Toluene	2.81 ± 0.12 a	3.94 ± 0.06 b
正己醛 Hexenal	0.67 ± 0.12 a	2.91 ± 0.02 b
2-己醛 2-Hexenal	0.35 ± 0.02 a	2.94 ± 0.04 b
反-3-己烯-1-醇 <i>trans</i> -3-hexen-1-ol	0.51 ± 0.02 a	4.92 ± 0.30 b
乙苯 Ethylbenzene	0.12 ± 0.01 a	0.61 ± 0.02 b
二甲苯 <i>m</i> -xylene	0.07 ± 0.01 a	0.05 ± 0.01 a
三环烯 Tricyclene	0.09 ± 0.01 a	0.14 ± 0.01 a
α -蒎烯 α -pinene	0.74 ± 0.02 a	3.01 ± 0.06 b
莰烯 Camphene	11.64 ± 0.51 a	8.47 ± 1.10 b
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-heptene-2-one	0.31 ± 0.05 a	0.83 ± 0.01 a
β -蒎烯 β -pinene	0.59 ± 0.05 a	0.48 ± 0.02 a
顺式-3-己烯-乙酯 <i>cis</i> -3-hexenyl acetate	3.48 ± 0.40 a	2.72 ± 0.10 b
2-萜烯 2-carene	24.73 ± 1.01 a	9.75 ± 1.10 b
α -水芹烯 α -phellandrene	14.91 ± 0.51 a	10.58 ± 1.10 b
α -萜品烯 α -terpinen	0.02 ± 0.01 a	0.03 ± 0.01 a
<i>o</i> -散花烯 <i>o</i> -cymene	21.81 ± 1.01 a	20.24 ± 2.00 a
柠檬烯 Limonene	1.24 ± 0.03 a	0.92 ± 0.04 a
β -水芹烯 β -phellandrene	0.04 ± 0.01 a	0.03 ± 0.01 a
<i>p</i> -薄荷-1(8)-二烯 <i>p</i> -mentha-1(8)-diene	0.05 ± 0.01 a	0.12 ± 0.01 a
正壬醛 Nonanal	2.25 ± 0.21 a	2.01 ± 0.16 a
冰片醇 Borneol	0.27 ± 0.03 a	0.17 ± 0.01 a
葵醛 Decanal	3.24 ± 0.31 a	2.37 ± 0.11 b
萘 Naphthalene	0.10 ± 0.02 a	0.07 ± 0.01 a
己内酰胺 Caprolactam	0.71 ± 0.03 a	0.94 ± 0.04 b
乙酸龙脑酯 Borneol acetate	0.94 ± 0.02 a	4.83 ± 0.41 b
石竹烯 Caryophyllene	2.63 ± 0.10 a	6.41 ± 1.00 b
罗汉柏烯 Thujopsene	0.34 ± 0.03 a	0.51 ± 0.01 a
长叶蒎烯 Longipinene	0.71 ± 0.03 a	3.04 ± 0.08 b
法尼烯 Farnesene	0.41 ± 0.04 a	0.06 ± 0.01 b
1,5-庚二烯 1,5-heptadiene	0.51 ± 0.04 a	0.68 ± 0.04 a
大香叶烯 D Germacrene D	0.62 ± 0.03 a	0.08 ± 0.10 b
依兰油烯 Muurolene	0.65 ± 0.03 a	0.91 ± 0.11 b
琥珀酸 Butanedioic acid	1.25 ± 0.10 a	0.83 ± 0.04 b

注 Notes: 表中数据为平均值 ± 标准差, 同行数据后有不同字母分别表示差异显著。The data in the table are mean ± SD, and those within a row followed by different small letters are significantly different at $P \leq 0.05$ level.

在生物的长期协同进化过程中, 不同生物为了适应环境, 都发展了一套与之相适应的生存对策。虫害诱导的植物挥发物的变化是植物-植食性昆虫-天敌长期协同进化的产物(刘芳等, 2003)。研究结果也表明, 棉蚜为得到更多的资源积极地取食紫茎泽兰, 同时又尽量避免自身天敌的取食, 紫茎泽兰则为抵制棉蚜的取食, 采取了通过释放挥发物调节自身的对策。从本实验结果看: 无论是否取食紫茎泽兰的棉蚜都会选择紫茎泽兰, 而七星瓢虫又较少的选择生长在紫茎泽兰上的棉蚜, 这使棉蚜成为紫茎泽兰生物防除的因素成为可能, 但是否可以用于实际还有待进一步研究。紫茎泽兰挥发性化学物质的

分子机理、代谢途径及其调控机理如何, 怎样利用分子技术让棉蚜多取食紫茎泽兰, 少取食或不取食棉花等作物等方面还有待更加深入的研究探讨。

致谢 中国科学院动物研究所乔格侠研究员帮助鉴定棉蚜种类, 北京大学生命科学学院闫凤鸣教授在挥发物收集问题上给予指导和帮助。

参考文献 (References)

- Feng GL, Zhao ZW, Li M, He FQ, Jin Y, Li ZQ, Du SX, 2001. Relationship between esterase activities of the cotton aphid (*Aphis gossypii*) and overwintering host plants. *Acta Entomol. Sin.*, 44(3): 304-310. [冯国蕾, 赵章武, 李梅, 何凤琴, 金莹, 李宗清, 杜

- 善学, 2001. 不同寄主植物与棉蚜酯酶活性的关系. *昆虫学报*, 44(3): 304 - 310]
- Fu Y, Song QS, Fang QJ, 1999. Advances in the studies on the chemical components of *Eupatorium adenophorum* and their biological activities. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 14(4): 411 - 415. [傅响, 宋启示, 方绮军, 1999. 紫茎泽兰化学成分及其生物学活性研究进展. 云南农业大学学报, 14(4): 411 - 415]
- Gerling D, Mayer RT, 1996. Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management. Andover: Intercept. 1 - 702.
- Karban R, Baldwin IT, 1997. Induced responses to herbivory. Chicago: University of Chicago Press. 1 - 319.
- Li YS, Zou HY, Nal Z, Li WY, Na XY, Tang SZ, Yang YZ, 2000. Insecticidal activity of different fractions of essential oils extracted from *Eupatorium adenophorum* against four species of stored grain insects. *Journal of Southwest Agricultural University*, 22(4): 331 - 333. [李云寿, 邹华英, 佺注, 李晚谊, 纳晓燕, 唐绍宗, 杨益章, 2000. 紫茎泽兰精油各馏份对 4 种仓库害虫的杀虫活性. 西南农业大学学报, 22(4): 331 - 333]
- Li XP, Hu XN, Luo XY, 1995. A field effect of *Eupatorium adenophorum* Spreng extract to control *Panoychus citri* Magregor. *Guizhou Agricultural Sciences*, (1): 48 - 49. [李小平, 胡学难, 罗兴毅, 1995. 紫茎泽兰提取液防治柑桔全爪螨田间药效试验. 贵州农业科学, (1): 48 - 49]
- Lu P, Sang WG, Ma KP, 2005. Progress and prospects research of an exotic invasive species, *Eupatorium adenophorum*. *Acta Phytocologica Sinica*, 29(6): 1 029 - 1 037. [鲁萍, 桑卫国, 马克平, 2005. 外来入侵种紫茎泽兰研究进展与展望. 植物生态学报, 29(6): 1 029 - 1 037]
- Liu F, Lou YG, Cheng JA, 2003. Herbivory insect induced plant volatiles: evolutionary of plant herbivore natural enemy interactions. *Entomological Knowledge*, 40(6): 481 - 487. [刘芳, 娄永根, 程家安, 2003. 虫害诱导的植物挥发物 植物与植食性昆虫及其天敌相互作用的进化产物. 昆虫知识, 40(6): 481 - 487]
- Miao ZW, Zhang ZN, Wang PX, Guo YY, Sun JH, 2004. Response of the red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte (Coleoptera: Scolytidae) to host semiochemicals and its implication in management. *Acta Entomol. Sin.*, 47(3): 360 - 364. [苗振旺, 张钟宁, 王培新, 郭玉永, 孙江华, 2004. 外来入侵害虫红脂大小蠹对寄主挥发物的反应. 昆虫学报, 47(3): 360 - 364]
- Miles PW, 1999. Aphid saliva. *Biol. Rev.*, 74: 41 - 85.
- Pang XF, 1999. Plant protectants and plant immune engineering against insect pests. *World Sci-Tech R & D*, 21(2): 24 - 28. [庞雄飞, 1999. 植物保护剂与植物免疫工程. 世界科技研究与发展, 21(2): 24 - 28]
- Read DP, Feeny PP, Root RB, 1970. Habitat selection by the aphid parasite *Diaeretiella rapae* and hyperparasite *Charips brassicae*. *Can. Entomol.*, 102: 1 567 - 1 578.
- Raven JA, 1983. Phytophages of xylem and phloem. *Adv. Ecol. Res.*, 13: 135 - 234.
- Raman A, 1994. Adaptational integration between gall-inducing insects and their host plants. In: Ananthkrishnan TN ed. *Functional Dynamics of* Phytophagous Insects. Lebanon, NH: Science Publishers, Inc. 249 - 275.
- Stotz HU, Kroymann J, Mitchell-Olds T, 1999. Plant-insect interactions. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 2: 268 - 272.
- Wang CZ, Qin JD, 1998. Advances in evolution of interaction between insect and plant. *World Agriculture*, (4): 33 - 35. [王琛柱, 钦俊德, 1998. 昆虫与植物相互作用的研究进展. 世界农业, (4): 33 - 35]
- Wang YM, Zhang PF, Chen JQ, 2004. Host-preference biotypes of the cotton aphid *Aphis gossypii* Glover and the behavioral mechanism in their formation. *Acta Entomol. Sin.*, 47(6): 760 - 767. [王咏妙, 张鹏飞, 陈建群, 2004. 棉蚜寄主专业化型及其形成的行为机理. 昆虫学报, 47(6): 760 - 767]
- Wang YD, Gao P, Zhang QH, Zheng Y, Liu K, Liu SG, 2002. Isolation, purification, identification of the active aphid-killing substance from *Eupatorium adenophorum* and eupatorin A's effect on acetylcholinesterase. *Chinese High Technology Letters*, (9): 21 - 23. [王一丁, 高平, 张其红, 郑勇, 刘昆, 刘世贵, 2002. 紫茎泽兰灭蚜活性物质的分离、纯化及其对棉蚜乙酰胆碱酯酶的影响. 高技术通讯, (9): 21 - 23]
- Xu HH, Zhao SH, 1994. Application of essential oils for the control of insect pests. *Natural Product Research and Development*, 6(1): 82 - 88. [徐汉虹, 赵善庆, 1994. 植物精油在害虫防治上的应用. 天然产物研究与开发, 6(1): 82 - 88]
- Yan FM, 2000. Role of glucosinolates in the host plant part preferences by the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*. *Acta Entomol. Sin.*, 43(3): 297 - 304. [阎凤鸣, 2000. 芥子油苷在甘蓝蚜寄主部位选择行为中的作用. 昆虫学报, 43(3): 297 - 304]
- Yan FM, Xu CR, Bengtsson M, Witzgall P, Anderson P, 2002. Volatile compositions of transgenic Bt cotton and their electrophysiological effects on the cotton bollworm. *Acta Entomol. Sin.*, 45(4): 425 - 429. [阎凤鸣, 许崇任, Marie BENGTSSON, Peter WITZGALL, Peter ANDERSON, 2002. 转 Bt 基因棉挥发性气味的化学成分及其对棉铃虫的电生理活性. 昆虫学报, 45(4): 425 - 429]
- Yan ZG, Yan YH, Kang L, Wang CZ, 2006. EAG responses of *Campoplex chloridae* Uchida to plant volatiles and host pheromone gland compounds. *Acta Entomol. Sin.*, 49(1): 1 - 9. [颜增光, 阎云花, 康乐, 王琛柱, 2006. 棉铃虫齿唇姬蜂对植物挥发物和寄主性信息素腺体化合物的 EAG 反应. 昆虫学报, 49(1): 1 - 9]
- Zhao DX, Chen ZM, Cheng JA, 2002. Isolation and activity identification of volatiles among tea plant-green leafhopper-*Exarcha* spider. *Tea Science*, 22(2): 109 - 114. [赵冬香, 陈宗懋, 程家安, 2002. 茶树-假眼小绿叶蝉-白斑猎蛛间化学通讯物的分离与活性鉴定. 茶叶科学, 22(2): 109 - 114]
- Zhou TX, Yang ML, Gu F, 2003. Antifeeding activity determination of *Eupatorium adenophorum* extracts on *Pieris rapae* larvae. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 18(3): 259 - 263. [周天雄, 杨美林, 顾芳, 2003. 紫茎泽兰提取物对小菜粉蝶幼虫的拒食活性测定. 云南农业大学学报, 18(3): 259 - 263]