

文章编号:1001-1498(2013)04-0488-06

## 双斑长跗萤叶甲对几种植物挥发物的 触角电位和行为反应

刘 航, 迟德富\*, 陈海一, 宇 佳, 李晓灿

(东北林业大学生命学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:**采用触角电位(EAG)、“Y”型嗅觉仪和风洞的方法研究双斑长跗萤叶甲成虫对 14 种植物挥发物的电生理和行为反应,筛选出对双斑长跗萤叶甲有效的植物挥发物,为该害虫的种群监测和防控提供新技术。研究表明:稀释  $10^2$ 、 $10^3$  倍的薄荷精油和  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的香叶醇能引发双斑长跗萤叶甲强烈的 EAG 反应 ( $P < 0.01$ ),且嗅觉测试表明,薄荷精油(稀释  $10^2$  倍)对双斑长跗萤叶甲的最大驱避率为  $(74 \pm 5.47)\%$ ,香叶醇( $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )对双斑长跗萤叶甲的最大引诱率为  $(70 \pm 10.00)\%$ 。风洞行为趋性研究表明:稀释  $10^2$  倍的薄荷精油对双斑长跗萤叶甲的最大驱避率为  $(72 \pm 8.37)\%$ ,而  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的香叶醇对双斑长跗萤叶甲的最佳引诱率为  $(66 \pm 8.94)\%$ 。

**关键词:**双斑长跗萤叶甲;EAG;行为反应

中图分类号:S763.42,Q965

文献标识码:A

## EAG and Behavioral Responses of *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) to Several Volatile Compounds

LIU Hang, CHI De-fu, CHEN Hai-yi, YU Jia, LI Xiao-can

(College of Life Science, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

**Abstract:** To develop an alternative method for monitoring and controlling *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky), fourteen plant volatiles on the adult pest were screened by three methods of electrophysiological and behavioral tests. *M. hieroglyphica* exhibited very strong EAG responses ( $P < 0.01$ ) to peppermint essential oil diluted  $10^2$  times or  $10^3$  times and to  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  geraniol. In olfactometer tests, the peppermint essential oil (diluted  $10^2$  times) exhibited the best repellent effect to the *M. hieroglyphica* (Motschulsky), and the repelling rate was  $(74 \pm 5.47)\%$ ; the geraniol ( $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) exhibited the best lure effect to *M. hieroglyphica* (Motschulsky), and the luring rate was  $(70 \pm 10.00)\%$ . In wind tunnel behavior tropism research, the peppermint essential oil diluted  $10^2$  times exhibited the best repellent effect to *M. hieroglyphica* (Motschulsky), and the repelling rate was up to  $(72 \pm 8.37)\%$ ;  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  geraniol exhibited the best lure effect to *M. hieroglyphica* (Motschulsky), and the luring rate was up to  $(66 \pm 8.94)\%$ .

**Key words:** *Monolepta hieroglyphica*; EAG; behavioral response

双斑长跗萤叶甲(*Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky)),属鞘翅目(Coleoptera)叶甲科(Chrysomelidae)萤叶甲亚科(Galerucinae),又名双斑萤叶甲,该虫属高温、干旱型害虫,具有危害植物种类多、发生

收稿日期:2012-12-22

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104069);黑龙江省重大科技攻关项目(GA09B203-5)

作者简介:刘 航(1987—),女,吉林长春人,硕士在读研究生,主要从事昆虫害理生理生化和森林病虫害治理研究. E-mail:18174898@qq.com.

\* 通讯作者:迟德富,东北林业大学教授,博士生导师. 电话:0451-82191734. E-mail:chidefu@126.com. 地址:150040 黑龙江省哈尔滨市和兴路26号东北林业大学新逸夫楼603室.

面积大、危害期长、繁殖快和迁飞性等特点<sup>[1]</sup>。双斑长跗萤叶甲的寄主范围有禾本科、十字花科、豆科、蔷薇科、榆科、杨柳科等各科植物,如禾本科的玉米,十字花科的小白菜,豆科的大豆、蚕豆、菜豆、落花生,蔷薇科的西伯利杏、榆叶梅,榆科的白榆和欧洲大叶榆,杨柳科的垂柳等,主要危害植物的叶片、花和果穗,虫体数量多时,对植物伤害较大<sup>[2]</sup>。目前,为防治双斑长跗萤叶甲的危害,生产上主要使用瓢甲敌乳油和绿色功夫乳油等菊酯类农药<sup>[3]</sup>;但长期使用化学农药易引起双斑长跗萤叶甲的抗药性增长、农药残留及再增猖獗问题。由于植物性杀虫剂具有对环境友好、人畜安全、来源广泛和不易产生抗药性等优点,所以植物性杀虫剂的研发在国内外很受重视。

特异性的植物挥发物可诱发昆虫表现出显著地正趋性或负趋性的行为反应。针对这一现象,国内外许多学者开展了植物挥发物对昆虫行为影响的研究,旨在发现有效的驱避或引诱物质,以达到安全高效地控制害虫的目的,并且已取得一定的进展。穆丹等<sup>[4]</sup>发现,植物释放虫害诱导产生的挥发性化合物作为寄主定位信号,在吸引捕食性和寄生性天敌过程中起着重要作用。Birkett等<sup>[5]</sup>发现,樟脑草(*Nepeta cataria* Linnaeus)中挥发性精油与主要的环烯醚萜(iridoid)混合物假荆芥内酯同分异构体((4aS,7S,7aR)-nepetalactone和(4aS,7S,7aS)-nepetalactone)对冈比亚按蚊(*Anopheles gambiae* Sensu Stricto)、具尾扇头蟀(*Rhipicephalus appendiculatus* Neumann)、鸡皮刺螨(*Dermanyssus gallinae* De Geer)都具有驱避作用。Ikeura等<sup>[6]</sup>实验得出,迷迭香和留兰香的挥发性提取物对纹白蝶(*Pieris rapae crucivora* Boisduval)幼虫有显著地驱避效果,并开发了针对纹白蝶幼虫的植物性杀虫剂。Mann等<sup>[7]</sup>经研究发现,原茛菪子精油、薰衣草精油、玫瑰精油、百里香精油、茶树油和芸香精油的主要成分2—十一(烷)酮对柑桔黄龙病的主要传播媒介柑桔木虱(*Diaphorina citri* Kuwayama)有驱避作用。Chung等<sup>[8]</sup>分析发现,韩国芫荽(*Korean Coriandrum sativum*)茎和叶中的36种挥发性精油的组成成分对埃及伊蚊(*Aedes aegypti* Linnaeus)幼虫有强烈的毒性。

根据文献资料,从已经明确记载的对鞘翅目昆虫有比较好的引诱或驱避作用的植物源挥发物中,选择了一些资源易得、相对经济的植物源挥发物用于本研究,具体选用的种类如下:叶醇、异丁香酚、丁

香酚、紫罗兰酮、肉桂醛、香叶醇、罗勒烯、松节油、水杨醛、 $\alpha$ -蒎烯、薄荷精油、桉树油、胡椒油、罗勒油这14种植物挥发物<sup>[9-11]</sup>,通过触角电位(EAG)检测及行为反应测定,筛选对双斑长跗萤叶甲具有强烈干扰作用的物质,为应用昆虫化学生态技术,进一步开发利用植物挥发物,研发降低双斑长跗萤叶甲危害的无污染新型农药,探索防治双斑长跗萤叶甲新方法奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

1.1.1 供试昆虫 采自东北林业大学城市林业示范基地的双斑长跗萤叶甲成虫放入养虫笼中,置于光照培养箱内,以家榆新鲜叶片饲养(光周期为16:8(L:D),温度(25±0.5)℃,相对湿度(70±5)%。于试验前日傍晚起停止饲喂,使其饥饿12h,待用。

1.1.2 供试药剂 植物挥发物叶醇、异丁香酚、丁香酚、紫罗兰酮、肉桂醛、香叶醇、罗勒烯、水杨醛、 $\alpha$ -蒎烯购自阿拉丁试剂(上海)有限公司,纯度为分析纯;植物精油薄荷精油、松节油、桉树油、胡椒油购自XO精油批发商城,纯度为100%。溶剂二氯甲烷,纯度大于99.95%,购自阿拉丁试剂(上海)有限公司;用溶剂将每种挥发性化合物配制成1 mol·L<sup>-1</sup>(精油类稀释10<sup>2</sup>倍)的溶液,并将其稀释成10<sup>-1</sup>、10<sup>-2</sup>、10<sup>-3</sup>、10<sup>-4</sup> mol·L<sup>-1</sup>(精油稀释10<sup>3</sup>、10<sup>4</sup>、10<sup>5</sup>、10<sup>6</sup>倍)溶液,待用。

### 1.2 试验方法

1.2.1 触角电位测定 测定步骤参照陈展册等<sup>[12]</sup>的方法。取准备好的双斑长跗萤叶甲成虫,用眼科手术剪自触角根部剪下,再用单面刀片切除尖端1~2 mm,用导电胶将触角两端固定在金属电极上,插入EAG探针。在滤纸条(20 mm×5 mm)上滴加10  $\mu$ L 1 mol·L<sup>-1</sup>植物挥发物(或10  $\mu$ L 稀释100倍的植物精油),立即塞进100 mm长的样品管中,管口两端用锡箔纸封上,备用(加样后1 h以内);设溶剂二氯甲烷为对照。测试时,调整送气管管口与触角纵向垂直,距触角10 mm左右,连续气体和测试气体流量均设定为400 mL·min<sup>-1</sup>,刺激时间设为0.5 s,刺激时间间隔设为60 s。随机测试待分析样品。为消除昆虫个体间的差异和测试溶剂浓度的影响,在测试开始和结束时,用二氯甲烷各测试1次,用作空白对照,以平均值校正样品EAG值。

1.2.2 “Y”型嗅觉仪生物测定 对EAG测试中反

应值与对照相比有显著差异( $P < 0.05$ )的几种挥发物进一步利用“Y”型嗅觉仪进行行为反应测定。“Y”型嗅觉仪的构造及测试步骤参照李中新等<sup>[13]</sup>并加以改进,主要由对照瓶、味源瓶、活性炭过滤器、蒸馏水瓶、流量计、“Y”型管(主臂24 cm,两侧臂26 cm,侧臂间夹角为 $60^\circ$ ,主臂和侧臂内直径均为4 cm)和导气管等组成。嗅觉仪测定时,以大气采样瓶的出口作为气流源,每臂的气流流量控制在 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,通气10 min。加入挥发物剂量为 $10 \mu\text{L}$ ,以 $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ 的滤纸条作为气味源载体,以二氯甲烷为对照。光照条件为阳光充足即可。

测试时,单头试虫放置在“Y”型嗅觉仪主臂管口,待其爬过距主臂管口2 cm时,开始计时,5 min后进入到连接气味源侧臂中的试虫,记为对此气味源正趋性,进入到连接对照化合物侧臂中的试虫,记为其有负趋性或驱避作用,仍停留在嗅觉仪主臂中的个体,记为未明显反应。各种气味源物质的每种浓度测试5组,每组10头成虫,分10次测试。每测定5头,更换1次新试样,同时用无水乙醇擦拭“Y”型管内外壁。为避免因实验不对称所造成的误差,每测试1~2头,将两气味管交换位置。

**1.2.3 风洞测定** 为了更详细地监测试虫对植物挥发性物质的行为,通过室内风洞模拟受试昆虫田间活动情况。风洞的构造及测试步骤参照周弘春等<sup>[14]</sup>的方法,风洞的主体构件包括风扇、活性炭过滤器、缓冲室、风洞室、电动机、排气管和照明灯。测试前,室内通气30 min,风洞内通气10 min(空气流

速 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),选择健壮受试昆虫,先使之在风洞内适应15 min,后分别测试各虫体对不同挥发物的嗅觉反应。风洞测定剂量为 $20 \mu\text{L}$ ,以 $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ 的滤纸作为气味源载体,以二氯甲烷为对照。

测试时,将500 mL量筒置于风洞内近风扇处固定点作为支架,0.5 min后,距支架40 cm处放置虫体,单头引入。若2 min内虫体逆风飞行或爬行至20 cm及以上,记为对该气味源有正趋向性;2 min内未至20 cm处,记为无趋向性;若2 min内向相反方向飞行或爬行至20 cm及以上,记为虫体对该气味源有负趋向性;在释虫处不断徘徊并对气味源不做出选择的,则记为无反应。各种气味源物质的每种浓度测试5组,每组10头成虫,分10次测试。每测定5头,更换一次新试样。通过以上数据计算反应率,由此经统计分析得出虫体对气味源的趋向性。

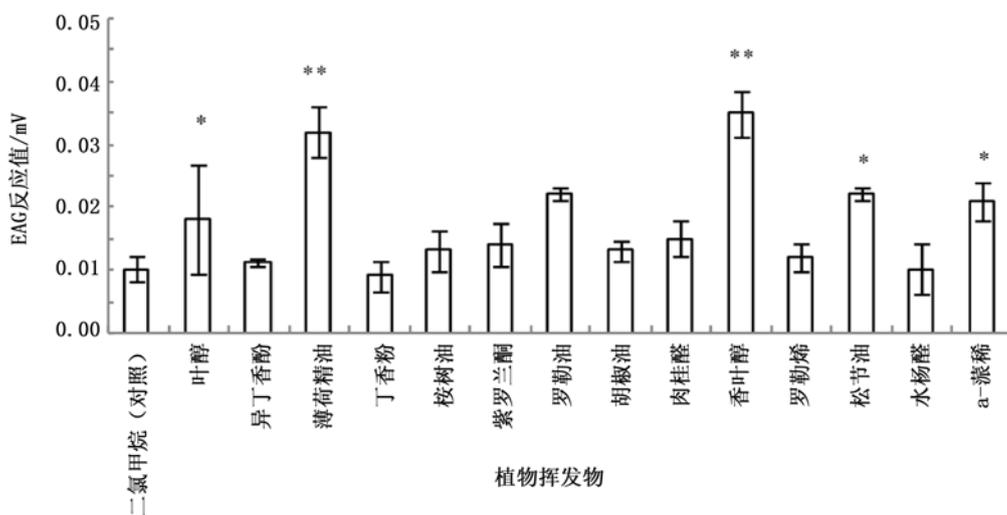
### 1.3 数据分析

用SPSS17.0统计软件对实验数据进行平均值及标准差计算和单因素方差分析,在单因素方差分析中使用Tukey检验进行多重比较,检验其显著性( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 触角电位

**2.1.1 双斑长跗萤叶甲对14种植物挥发物的EAG反应** 双斑长跗萤叶甲对 $10 \mu\text{L}$   $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 植物挥发物(或 $10 \mu\text{L}$ 稀释100倍的植物精油)的EAG反应结果见图1。双斑长跗萤叶甲成虫对薄荷精油和



图中\* \*为EAG反应值与对照相比差异极显著( $P < 0.01$ ), \*为EAG反应值与对照相比差异显著( $P < 0.05$ )。

图1 双斑长跗萤叶甲对 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 植物挥发物(或稀释 $10^2$ 倍的植物精油)的EAG反应

香叶醇的 EAG 反应值与对照的差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 其反应值分别为  $0.032 \pm 0.004 1$ 、 $0.035 \pm 0.003 6$  mV; 对叶醇、松节油和  $\alpha$ -蒎烯的 EAG 反应值与对照相比差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其反应值分别为  $0.018 \pm 0.008 6$ 、 $0.022 \pm 0.001 0$ 、 $0.021 \pm 0.003 0$  mV; 对异丁香酚、丁香酚、桉树油、紫罗兰酮、罗勒油、胡椒油、肉桂醛、罗勒烯和水杨醛的 EAG 反应值与对照的差异均不显著。由图 1 可见: 双斑长跗萤叶甲成虫对稀释  $10^2$  的薄荷精油和  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇反应最为强烈, 对叶醇、松节油和  $\alpha$ -蒎烯反应较为强烈, 由此筛选出这 5 种植物挥发物继续进行下一步的不同浓度的 EAG 检测。

2.1.2 双斑长跗萤叶甲对 5 种不同浓度的挥发性化合物的 EAG 反应 由表 1 可见: 双斑长跗萤叶甲成虫对稀释  $10^2$ 、 $10^3$  倍的薄荷精油与  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇的 EAG 反应值与对照相比差异极显著 ( $P < 0.01$ ); 对  $1$ 、 $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  叶醇, 稀释  $10^4$  倍的薄荷精油, 稀释  $10^2$ 、 $10^3$  倍的松节油,  $10^{-1}$ 、 $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇和  $1$ 、 $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\alpha$ -蒎烯的 EAG 反应值与对照相比差异显著 ( $P < 0.05$ ); 对其余植物挥发物的 EAG 反应值与对照相比差异均不显著。由此筛选出双斑长跗萤叶甲成虫对其反应比较强烈的几种浓度的植物挥发物进行下一步的行为检测。

表 1 双斑长跗萤叶甲对不同浓度的 5 种挥发物的 EAG 反应

浓度	EAG 反应值/mV				
	叶醇	薄荷精油	松节油	香叶醇	$\alpha$ -蒎烯
A	$0.020 \pm 0.003 6^*$	$0.035 \pm 0.003 5^{**}$	$0.019 \pm 0.002 6^*$	$0.034 \pm 0.004 1^{**}$	$0.021 \pm 0.004 1^*$
B	$0.021 \pm 0.002 0^*$	$0.030 \pm 0.002 1^{**}$	$0.018 \pm 0.003 6^*$	$0.022 \pm 0.001 7^*$	$0.019 \pm 0.002 5^*$
C	$0.013 \pm 0.004 1$	$0.022 \pm 0.002 6^*$	$0.013 \pm 0.003 2$	$0.020 \pm 0.002 1^*$	$0.013 \pm 0.003 6$
D	$0.010 \pm 0.002 5$	$0.016 \pm 0.001 7$	$0.012 \pm 0.001 5$	$0.014 \pm 0.003 8$	$0.011 \pm 0.001 7$
E	$0.011 \pm 0.003 0$	$0.013 \pm 0.003 8$	$0.009 \pm 0.003 0$	$0.012 \pm 0.002 0$	$0.009 \pm 0.002 6$
对照	$0.009 \pm 0.001 0$	$0.012 \pm 0.002 0$	$0.008 \pm 0.001 7$	$0.011 \pm 0.002 5$	$0.009 \pm 0.001 0$

注: 表中 A、B、C、D、E 对应挥发物单体时分别代表  $1$ 、 $10^{-1}$ 、 $10^{-2}$ 、 $10^{-3}$ 、 $10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度; 对应精油时分别代表稀释  $10^2$ 、 $10^3$ 、 $10^4$ 、 $10^5$ 、 $10^6$  倍。表中数据为平均值  $\pm$  标准差, Tukey 多重比较检验。\* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 下同。

## 2.2 双斑长跗萤叶甲对 5 种植物挥发物的行为反应

2.2.1 双斑长跗萤叶甲的嗅觉仪测定结果 根据 2.1.2 的分析结果, 选择触角电位试验中 EAG 反应差异显著的浓度进行嗅觉仪测定。由图 2 可见: 对双斑长跗萤叶甲成虫驱避率在 60% 以上的植物挥发物为稀释  $10^2$ 、 $10^3$ 、 $10^4$  倍的薄荷精油, 驱避率分别为  $(74 \pm 5.48)\%$ 、 $(68 \pm 8.37)\%$  和  $(60 \pm 7.07)\%$ , 而稀释  $10^2$ 、 $10^3$  倍薄荷精油与对照组相比有极显著驱避作用 ( $P < 0.01$ ), 稀释  $10^4$  倍的薄荷精油和稀释  $10^2$  倍松节油与对照组相比有显著的驱避作用 ( $P < 0.05$ ), 薄荷精油和松节油的驱避率与其浓度呈正相关; 引诱率在 60% 以上的植物挥发物为  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇, 引诱率分别为  $(70 \pm 10.00)\%$  和  $(64 \pm 8.94)\%$ , 并且  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇与对照组相比有极显著的引诱作用 ( $P < 0.01$ ),  $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  叶醇、 $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇和  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\alpha$ -蒎烯与对照组相比有显著的引诱作用 ( $P < 0.05$ ), 其中, 香叶醇和  $\alpha$ -蒎烯的引诱率与其浓度成正相关。叶醇、香叶醇和  $\alpha$ -蒎烯在所有实验浓度下, 驱避率都在 24% 以下; 而薄荷精油和松节油在所有实验浓度下, 引诱率都在 26% 以下。

2.2.2 双斑长跗萤叶甲的风洞测试结果 根据 2.1.2 的分析结果, 选择触角电位试验中 EAG 反应差异显著的浓度进行风洞测定, 结果 (图 3) 表明: 对双斑长跗萤叶甲成虫风洞驱避率在 60% 以上的植物挥发物为稀释  $10^2$ 、 $10^3$ 、 $10^4$  倍的薄荷精油和稀释  $10^2$  倍的松节油, 驱避率分别为  $(72 \pm 8.37)\%$ 、 $(70 \pm 7.07)\%$ 、 $(62 \pm 4.47)\%$  和  $(60 \pm 7.07)\%$ , 并且稀释  $10^2$ 、 $10^3$  倍薄荷精油与对照组相比有极显著驱避作用 ( $P < 0.01$ ), 稀释  $10^4$  倍的薄荷精油和稀释  $10^2$  倍松节油与对照组相比有显著的驱避作用 ( $P < 0.05$ ), 薄荷精油和松节油的风洞驱避率与其浓度呈正相关; 风洞引诱率在 60% 以上的植物挥发物为  $1$ 、 $10^{-1}$ 、 $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇, 引诱率分别为  $(66 \pm 8.94)\%$ 、 $(62 \pm 4.4)7\%$  和  $(60 \pm 7.07)\%$ , 并且  $1$ 、 $10^{-1}$ 、 $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇与对照组相比有极显著的引诱作用 ( $P < 0.01$ ),  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\alpha$ -蒎烯与对照组相比有显著的引诱作用 ( $P < 0.05$ ), 香叶醇和  $\alpha$ -蒎烯引诱率与其浓度成正相关。叶醇、香叶醇和  $\alpha$ -蒎烯在所有实验浓度下, 驱避率都在 26% 以下; 而薄荷精油和松节油在所有实验浓度下, 引诱率都在 20% 以下。风洞测定结果同嗅觉仪测定结果基本一致。

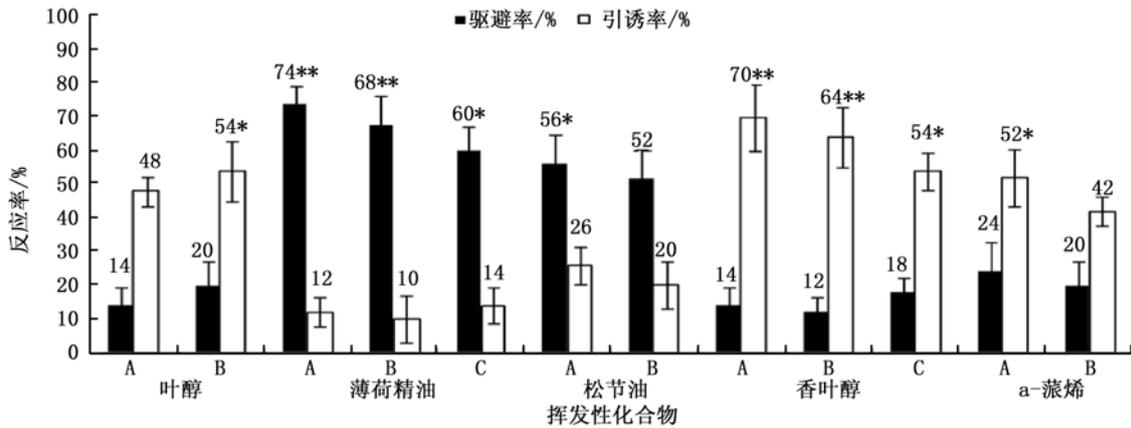


图2 双斑长跗萤叶甲成虫对不同浓度的5种不同挥发物嗅觉仪测定结果

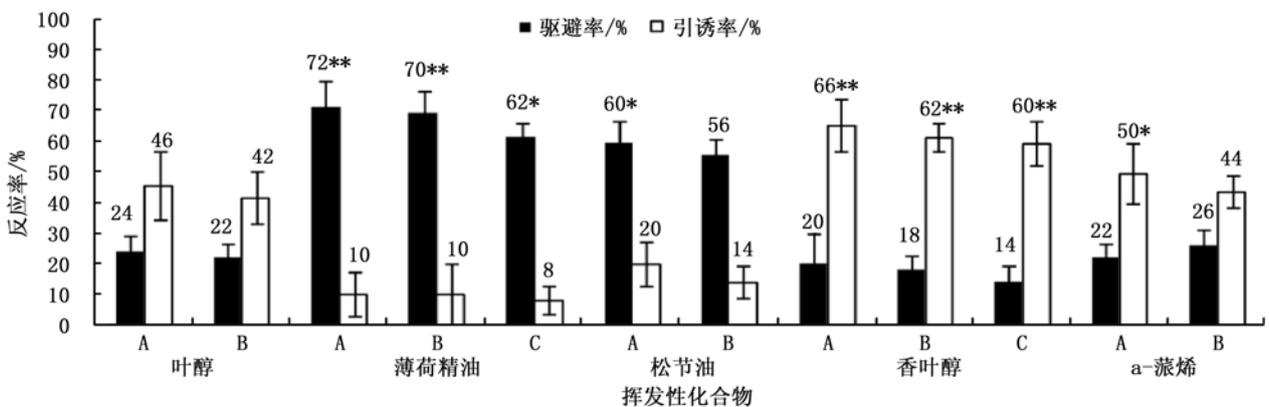


图3 双斑长跗萤叶甲成虫对不同浓度的5种不同挥发物风洞测试结果

### 3 结论与讨论

不同植物挥发物的特定成分及其不同浓度均是影响昆虫行为的重要因素。实验测定结果显示:双斑长跗萤叶甲成虫对叶醇、薄荷精油、松节油、香叶醇和 $\alpha$ -蒎烯这5种挥发物的EAG反应较强,其中,对 $1 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 叶醇,稀释 $10^4$ 倍的薄荷精油,稀释 $10^2$ 、 $10^3$ 倍松节油, $10^{-1}$ 、 $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 香叶醇, $1 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  $\alpha$ -蒎烯的EAG反应值与对照的差异显著( $P < 0.05$ );对稀释 $10^2$ 、 $10^3$ 倍的薄荷精油, $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 香叶醇的EAG反应值与对照的差异极显著( $P < 0.01$ )。在嗅觉仪测试中,稀释 $10^2$ 倍薄荷精油对双斑长跗萤叶甲的最大驱避率为( $74 \pm 5.48$ )%; $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 香叶醇的最大引诱率为( $70 \pm 10.00$ )%。在风洞行为趋性研究中,稀释 $10^2$ 倍的薄荷精油对双斑长跗萤叶甲的最大驱避率为( $72 \pm 8.37$ )%, $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的香叶醇的最大引诱率为( $66 \pm 8.94$ )%。

Erler等<sup>[15]</sup>研究结果显示,薄荷新鲜叶子中蒸馏

提取的芳香油类,对尖音库蚊(*Culex pipiens* Linnaeus)雌虫都具有驱避性,有效剂量为 $10 \mu\text{L}$ ,并且作用效果随时间的增长而增强;严善春等<sup>[16]</sup>研究显示,松节油是青杨脊虎天牛(*Xylotrechus rusticus* Linnaeus)的非寄主植物挥发性物质,松节油浓度为 $0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时对青杨脊虎天牛雌虫驱避效果最佳;浓度为 $0.12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,对雌虫表现为引诱作用。本实验中,这2种物质都属于双斑长跗萤叶甲非嗜食植物的挥发物<sup>[2]</sup>,在嗅觉仪测定和风洞测定中,双斑长跗萤叶甲对稀释 $10^2$ 、 $10^3$ 倍的薄荷精油都表现出极显著驱避行为( $P < 0.01$ ),对稀释 $10^4$ 倍的薄荷精油和稀释 $10^2$ 倍松节油也都表现出显著的驱避行为( $P < 0.05$ )。非嗜食植物中有驱避作用的次生化合物可以对成虫寻找寄主、选择产卵场所及产卵过程起着干扰作用,而使植物免遭受害<sup>[17]</sup>。

张康等<sup>[18]</sup>的研究结果显示,香叶醇对红侧沟茧蜂(*Microplitis mediator* Haliday)的引诱率为67.9%,与对照的差异极显著( $P < 0.01$ )。本实验中,嗅觉仪测定时, $1 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 香叶醇对双斑长跗萤叶

甲有极显著的引诱作用( $P < 0.01$ ),  $10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇对其有显著的引诱作用( $P < 0.05$ ); 风洞测定时,  $1, 10^{-1}, 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  香叶醇对双斑长跗萤叶甲的引诱作用极显著( $P < 0.01$ )。香叶醇可从双斑长跗萤叶甲的嗜食植物香叶天竺葵中提取到<sup>[17]</sup>, 也说明嗜食植物中的一些植物挥发物对引诱双斑长跗萤叶甲寻找寄主植物起到一定作用。双斑长跗萤叶甲具有迁飞性, 以致其发生范围大小不易确定, 对防治造成一定困难。香叶醇对双斑长跗萤叶甲的引诱作用, 可用于诱捕监控虫害的发生范围, 以便对害虫进行防控和诱杀。

刘英胜等<sup>[19]</sup>的研究结果表明, 落叶松毛虫(*Dendrolimus superans* Sibiricus) 雄成虫对  $0.01, 0.10, 0.50 \mu\text{L} \cdot \mu\text{L}^{-1}$  的叶醇均表现出驱避反应。卢传兵等<sup>[20]</sup>发现,  $\alpha$ -蒎烯  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  的剂量对玉米象(*Sitophilus zeamais* Motschulsky) 驱避率可达 84.26%。王茹琳等<sup>[21]</sup>研究说明, (+)- $\alpha$ -蒎烯对华山松大小蠹(*Dendroctonus armandi* Tsai et Li) 雌成虫有较强的引诱作用。本实验中, 嗅觉仪测定时,  $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  叶醇和  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\alpha$ -蒎烯对双斑长跗萤叶甲的引诱作用显著( $P < 0.05$ ),  $1, 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  叶醇和  $\alpha$ -蒎烯的驱避率在 14%~24% 间, 无显著驱避性; 风洞测试时,  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\alpha$ -蒎烯对双斑长跗萤叶甲的引诱作用显著( $P < 0.05$ ),  $1, 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  叶醇和  $\alpha$ -蒎烯的驱避率在 22%~26% 间, 无显著驱避性。不同的昆虫对同种化合物表现出比较大的行为反应差异, 这可能与其本身的寄主范围、嗅觉功能、代谢能力等诸多因素有关。

对实验所得数据研究发现, 嗅觉仪的测试结果与风洞测试结果极其相似, 但并不完全一致, 具体原因还需进一步研究。

探讨植物挥发物与害虫的关系, 是寻找控制害虫发生危害的有效方法, 也是研制环境友好型生物农药的必然选择之一。本研究对双斑长跗萤叶甲引诱剂、驱避剂进行了筛选, 同时对最佳作用浓度进行初步摸索, 为开发双斑长跗萤叶甲驱避剂和引诱剂奠定了一定的基础。

#### 参考文献:

- [1] 虞佩玉, 王书永, 杨星科. 中国经济昆虫志叶甲总科(二)[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 82-196
- [2] 陈静, 张建萍, 张建华, 等. 双斑长跗萤叶甲的嗜食性[J]. 昆虫知识, 2007, 44(3): 357-360
- [3] 杜建军, 云雷. 双斑长跗萤叶甲发生危害特点及防治措施

- [J]. 陕西农业科学, 2009(3): 202-203
- [4] 穆丹, 付建玉, 刘守安, 等. 虫害诱导的植物挥发物代谢调控机制研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4221-4233
- [5] Birkett M A, Hassanali A, Høglund S, et al. Repellent activity of catmint, *Nepeta cataria*, and iridoid nepetalactone isomers against Afro-tropical mosquitoes, ixodid ticks and red poultry mites[J]. Phytochemistry, 2011, 72(1): 109-114
- [6] Ikeura H, Kobayashi F, Hayata Y. Repellent effects of volatile extracts from herb plants against larvae of *Pieris rapae crucivora* Boisduval[J]. Journal of Agricultural Science, 2012, 4(5): 145-148
- [7] Mann R S, Tiwari S, Smoot J M, et al. Repellency and toxicity of plant-based essential oils and their constituents against *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae)[J]. Journal of Applied Entomology, 2012, 136(1-2): 87-96
- [8] Chung I M, Ahmad A, Kim S J, et al. Composition of the essential oil constituents from leaves and stems of Korean *Coriandrum sativum* and their immunotoxicity activity on the *Aedes aegypti* L[J]. Journal of Applied Entomology, 2012, 34(1): 152-156
- [9] 严善春, 张丹丹, 迟德富. 植物挥发性物质对昆虫作用的研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 310-313
- [10] 杨长龙, 江世宏, 徐汉虹. 植物源驱避剂研究进展[J]. 植物保护, 2006, 32(6): 4-9
- [11] 董桂蕃, 李承毅. 国外驱避剂研究动向[J]. 中华卫生杀虫药剂, 2001, 7(4): 5-8
- [12] 陈展册, 苏丽, 戈峰, 等. 绿盲蝽对性信息素类似物和植物挥发物的触角电位反应[J]. 昆虫学报, 2010, 53(1): 47-54
- [13] 李中新, 李庆和, 刘凤菊, 等. 火炬树(*Rhus typhina*)叶挥发性成分及其对两种叶螨选择行为的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 714-719
- [14] 周弘春, 杜家纬. 风洞技术在昆虫化学通讯研究中的应用[J]. 昆虫知识, 2001, 38(4): 267-272
- [15] Erler F, Ulug I, Yalcinkaya B. Repellent activity of five essential oils against *Culex pipiens*[J]. Fitoterapia, 2006, 77(7-8): 491-494
- [16] 严善春, 程红, 杨慧, 等. 青杨脊虎天牛对植物源挥发物的 EAG 和行为反应[J]. 昆虫学报, 2006, 49(5): 759-767
- [17] 张茂新, 凌冰, 庞雄飞, 等. 非嗜食植物中的昆虫产卵驱避物及其利用[J]. 昆虫天敌, 2003, 25(1): 28-36
- [18] 张康, 任丽燕, 李科明, 等. 植物挥发性气味物质对中华侧沟茧蜂的趋向行为影响及田间诱集效果[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(2): 157-164
- [19] 刘英胜, 严善春, 程红, 等. 落叶松毛虫对兴安落叶松 9 种挥发性物质的行为反应[J]. 林业科学, 2009, 45(4): 72-77
- [20] 卢传兵, 薛明, 刘雨晴, 等. 黄荆精油对玉米象的杀虫活性成分、毒力及作用机制[J]. 昆虫学报, 2009, 52(2): 159-167
- [21] 王茹琳, 杨伟, 杨佐忠, 等. 华山松大小蠹对 9 种植物挥发物的 EAG 和行为反应[J]. 中国森林病虫, 2011, 30(1): 23-26