

张献英, 霍治国, 犹昌艳, 等. 20 种非寄主植物挥发物对褐飞虱拒避与引诱行为的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(3): 63-68.

20 种非寄主植物挥发物对褐飞虱拒避与引诱行为的影响

张献英¹, 霍治国², 犹昌艳¹, 胡飞¹

(1 华南农业大学农学院, 广东 广州 510642; 2 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要:【目的】为开发和设计褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 拒避剂与引诱剂提供科学依据.【方法】利用 Y 型嗅觉仪测定褐飞虱对 20 种非寄主植物释放的挥发物及对 α -蒎烯、 α -水芹烯、 α -蒎烯、芳樟醇的拒避与引诱行为.【结果和结论】枸树 *Broussonetia papyrifera*、塞楝 *Khaya senegalensis*、胜红蓟 *Ageratum conyzoides*、蟛蜞菊 *Wedelia chinensis*、鬼针草 *Bidens pilosa*、马樱丹 *Lantana camara*、桉树 *Eucalyptus exserta*、毛麻楝 *Chukrasia tabularis* 的叶片和小茴香 *Foeniculum vulgare* 的种子挥发物对褐飞虱雌成虫具有显著的拒避作用, 其中蟛蜞菊、塞楝和桉树叶片的挥发物拒避作用比较明显, 拒避率分别为 87.5%、83.3% 和 72.0%; 洋葱 *Allium cepa* (鳞茎) 挥发物对褐飞虱具有极显著的引诱作用, 引诱率为 73.1%; 其他植物叶片挥发物对褐飞虱的拒避与引诱行为没有显著的影响. 9 种植物共有的 3 种挥发成分在测试浓度下, α -蒎烯对褐飞虱雌成虫有显著的引诱作用, α -蒎烯对其有显著的拒避作用, α -水芹烯则对其拒避与引诱行为没有显著影响. 水稻挥发物芳樟醇因含量不同, 褐飞虱雌成虫的选择行为有差异, 芳樟醇用量为 1 μ L 时对褐飞虱具有显著引诱作用, 10 μ L 以上时表现为拒避作用, 15 μ L 以上均具有极显著的拒避作用.

关键词: 褐飞虱; Y 型嗅觉仪; 非寄主植物; 挥发物; 行为反应

中图分类号: S435; Q968

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2014)03-0063-06

Effects of volatiles in twenty non-host plants on the repelled and attractive behaviors of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*

ZHANG Xianying¹, HUO Zhiguo², YOU Changyan¹, HU Fei¹

(1 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Chinese Academy of Meteorology Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract:【Objective】To provide scientific evidence for the development and design of repellents and attractants of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal (BPH).【Method】The repellent and attractive behaviors response of female adults BPH to volatiles of twenty non-host plants and α -pinene, α -pinene, camphene and linalool were tested by a Y-tube olfactometer.【Result and conclusion】The volatiles of *Broussonetia papyrifera*, *Khaya senegalensis*, *Ageratum conyzoides*, *Wedelia chinensis*, *Bidens pilosa*, *Lantana camara*, *Eucalyptus exserta*, *Chukrasia tabularis*, and the nuts of *Foeniculum vulgare* revealed repellent effects on BPH, especially, volatiles of *W. chinensis*, *K. senegalensis* and *E. exserta* showed significant repellent effects on BPH, with repellency rates 87.5%, 83.3% and 72.0% respectively. However, volatiles of the bulb of *Allium cepa* showed significant attractive effects on BPH, with attractive rate 73.1%. The rest 10 non-host volatiles had no significant effects on BPH repellent and attractive behaviors. Though all 3 compounds were in the volatiles of 9 repellent non-host plants, α -pinene showed attractive effects, while camphene had significant repellent effects on BPH, but α -pinene showed no

收稿日期: 2013-10-07 优先出版时间: 2014-03-31

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.7671/j.issn.1001-411X.2014.03.012.html>

作者简介: 张献英 (1987—), 女, 硕士研究生, E-mail: 504097830@qq.com; 通信作者: 胡飞 (1966—), 男, 副教授, 博士, E-mail: hufei@scau.edu.cn

基金项目: 中国气象局公益性行业科研专项“作物病虫害发生气象条件监测、预警和评价技术”(201006026)

significant effects on BPH behaviors with all tested concentrations. Furthermore, the linalool had significantly attractive effects at 1 μL , but it had repellent effects at 10 μL and significant repellent effects on BPH above 15 μL .

Key words: *Nilaparvata lugens*; Y-tube olfactometer; non-host plant; volatile compound; behavioral response

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 是威胁我国及东南亚国家水稻生产最主要的害虫之一^[1-2],自 21 世纪以来,褐飞虱频繁暴发,其发生范围和危害程度不断扩大,给水稻生产带来了严重的损失^[3-4].目前,褐飞虱的控制主要依赖于化学农药^[5],而化学农药的大量和长期使用,已经造成褐飞虱明显的抗药性^[6].

近年来昆虫与植物间化学相互作用的认知日益深化,利用化学生态原理,运用植物次生代谢产物等功能化合物调节、控制有害生物以保护目标植物的研究得到了长足的发展^[7].研究表明,寄主植物自身产生并释放的次生物质能调控植食性昆虫的多种行为,诸如定向、交配产卵、取食、逃避、聚集、传粉等行为^[8].值得注意的是,非寄主植物的挥发性物质对植食性昆虫的行为影响也很大,如菊花 *Chrysanthemum morifolium* 提取物抑制小菜蛾 *Plutella xylostella* 对寄主的趋性^[9].印楝 *Azadirachta indica* 和马樱丹 *Lantana camara* 叶片挥发物对柑橘潜叶蛾 *Phyllocnistis citrella* Stainton 成虫产卵有明显的驱避干扰作用^[10].水稻是褐飞虱的唯一寄主,目前的研究主要集中在水稻挥发物对褐飞虱行为的影响等方面^[11].非寄主植物挥发物对褐飞虱的行为是否产生影响以及产生怎样的影响,都是值得研究的问题.本文利用 Y 型嗅觉仪研究褐飞虱对华南地区常见不同科属的 20 种植物挥发物的拒避与引诱行为;并对其中具有拒避作用的植物进行分析,选出这些植物的共有成分,检测这些成分对褐飞虱行为的影响;同时测定水稻挥发物芳樟醇对褐飞虱拒避与引诱行为的影响.对非寄主植物与褐飞虱拒避与引诱行为的化学关系进行分析,进一步筛选出对褐飞虱具有引诱或拒避作用的植物或化合物,为非寄主植物防治褐飞虱提供参考.

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫 褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 雌成虫从华南农业大学试验田采集,放入室外网室内的盆栽水稻(拔节至孕穗期)上饲养产卵,待其种群繁殖到足够数量时,参照刘芳等^[12]的方法选择羽化 2 d 左右已过产卵前期的长翅型褐飞虱雌成虫作为供试虫源.

1.1.2 非寄主植物材料的选择及依据 试验选用 20 种褐飞虱非寄主植物,分属于 13 科 20 属(表 1),采集地点为华南农业大学校园.其中牛筋草 *Eleusine indica*、水莎草 *Cyperus serotintts*、异型莎草 *Cyperus difformis* 和稗草 *Echinochloa crusgalli* 均为稻田的常见杂草.胜红蓼 *Ageratum conyzoides* 挥发油和胜红蓼素对粘虫 *Mythimna seperata* 均有拒食作用,且能延迟其生育历期^[13]. 螞蝗菊 *Wedelia chinensis* 茎、叶和花的甲醇提取物均对稻纵卷叶螟 *Cnahaalocrocis medinalis* 幼虫表现出一定的拒食活性^[14]. 鬼针草 *Bidens pilosa* 提取物对淡色库蚊 *Culex pipiens pallens* 3~4 龄幼虫具有非光活化毒杀作用^[15]. 五爪金龙 *Ipomoea cairica* 的水提液对茶园假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* 有一定的趋避作用^[16]. 薇甘菊 *Mikania micrantha* 和马樱丹的乙醇提取物对褐飞虱有较强的毒杀作用^[17],并且薇甘菊的提取物对褐飞虱的拒食率能

表 1 供试植物名录

Tab. 1 A list of tested plant species

科名	种名	供试部位
菊科 Compositae	螞蝗菊 <i>Wedelia chinensis</i>	叶
	胜红蓼 <i>Ageratum conyzoides</i>	叶
	鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	叶
	薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i>	叶
桑科 Moraceae	构树 <i>Broussonetiapapyrifera</i>	叶
楝科 Meliaceae	塞楝 <i>Khaya senegalensis</i>	叶
	毛麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i>	叶
马鞭草科 Verbenaceae	马樱丹 <i>Lantana camara</i>	叶
旋花科 Convolvulaceae	五爪金龙 <i>Ipomoea cairica</i>	叶
莎草科 Cyperaceae	异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	叶
	水莎草 <i>Cyperus serotintts</i>	全株
百合科 Liliaceae	洋葱 <i>Allium cepa</i>	鳞茎
桃金娘科 Myrtaceae	桉树 <i>Eucalyptus robusta</i>	叶
姜科 Zingiberaceae	姜 <i>Zingiber officinale</i>	根茎
禾本科 Gramineae	稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i>	全株
	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	全株
蝶形花科 Papilionaceae	海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	叶
伞形科 Umbelliferae	芫荽 <i>Coriandrum sativum</i>	全株
	小茴香 <i>Foeniculum vulgare</i>	果实
八角茴香科 Illiciaceae	八角 <i>Illicium verum</i>	果实

达到50%以上^[18].小茴香 *Foeniculum vulgare* 粗提取物对菜青虫 *Pieris rapae* 3龄幼虫具有较强的拒食活性^[18].楝科中的印楝等是已报道并应用到生产中的植物源农药,桉树 *Eucalyptus robusta*、海南红豆 *Ormosia pinnata* 和构树 *Broussonetia papyrifera* 是华南地区常见的木本植物,八角 *Illicium verum*、小茴香 *Foeniculum vulgare*、芫荽 *Coriandrum sativum*、洋葱 *Allium cepa* 和姜 *Zingiber officinale* 具有挥发刺激性香气.

1.1.3 供试化合物及其选择依据 试验共选用了4种挥发性化合物:芳樟醇、 α -蒎烯、 α -水芹烯和埃烯.芳樟醇是褐飞虱诱导水稻植株产生的一种重要挥发物^[19];对拒避作用较好的9种非寄主植物挥发物成分和含量已有相关研究^[20-24],在9种植物挥发物中共有的且含量较多的物质中选择了 α -蒎烯、 α -水芹烯和埃烯3种.芳樟醇、 α -蒎烯、 α -水芹烯和埃烯均购自美国 Sigma-Aldrich(上海)贸易有限公司, α -蒎烯购自江西省吉安市聚鹏天然香料油有限公司.

1.1.4 试验所用仪器 参考文献[1]自制了Y型嗅觉仪,由Y型玻璃管、味源瓶(A、B)、Teflon连接管、标准空气瓶、空气加湿瓶、活性炭过滤装置、空气流量计、光源(日光灯)组成(图1).Y型管,柄长10 cm,两臂长均为10 cm,管内径为2 cm,两臂夹角为90°.Y型管的两臂分别通过Teflon管与味源瓶A和B相连,味源瓶内径8 cm、长15 cm.在气流进入味源瓶之前,先经过1个活性炭过滤装置和1个蒸馏水瓶,以净化空气和增加空气湿度,接口均为标准24号磨口.每臂的气流流量通过气体流量计控制在200 mL·min⁻¹.Y型管的前上方约20 cm处放置1个11 W的日光灯作为光源,并保证两臂管能获得均匀的光照强度.

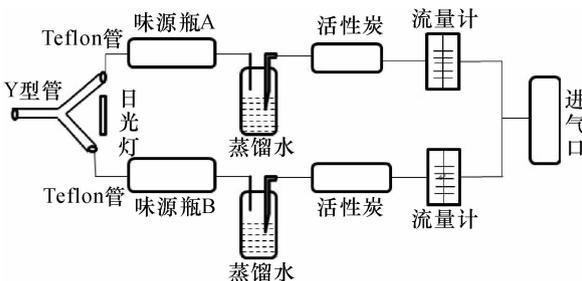


图1 Y型嗅觉仪示意图

Fig. 1 Y-tube olfactometer

1.2 褐飞虱行为测试方法

1.2.1 供试材料的处理 植物材料的处理:将采摘的新鲜植物叶片或全株用水冲洗去除表面的灰尘,再用吸水纸将表面的水吸干净,用剪刀剪碎至1~2 cm宽的条块状,称取15 g放入味源瓶中用于选择试

验;将采购的新鲜洋葱鳞茎和生姜去除表面干皮后,用小刀切碎至1~2 cm宽的条块状,称取15 g放入味源瓶中用于试验;采购的小茴香和八角均为干果,直接称取15 g放入味源瓶中用于试验.

芳樟醇、 α -水芹烯、 α -蒎烯常温下为易挥发的液态.将不同体积的供试挥发性化合物滴入等质量的脱脂棉球(0.001 g)中,然后将其放入味源瓶.对照味源瓶放入等质量去离子水的脱脂棉球.供试化合物体积设4个水平,分别为40、30、20和10 μ L.

埃烯常温下为结晶态,可升华.将埃烯精确称量后放置于剪成2 cm直径滤纸上,然后连同滤纸一起放入味源瓶.对照味源瓶放入等质量的石英砂于直径2 cm的滤纸上.埃烯的质量设4个水平,分别为1.2、1.0、0.9和0.8 g.

1.2.2 行为观测 测定时,利用气流把味源瓶内材料的挥发物吹送到Y型管的两臂,再由管柄出去.放入气味源通气15 min后,打开日光灯,用指形管(1 cm×5 cm)将待测的褐飞虱雌成虫单头引入Y型嗅觉仪的管柄内,当褐飞虱距离Y型管中心(即两臂与柄的交叉处)1/3处时开始计时.利用褐飞虱的趋光性使其向两臂爬动,然后观察记录10 min内褐飞虱对两臂气味源的选择行为反应,共测试40头雌成虫.选择标准参照娄永根等^[19]的方法:当褐飞虱第1次到达某臂5 cm以上,并持续1 min以上,就记该褐飞虱对该臂的气味源作出选择.如果褐飞虱引入10 min后,仍未作出选择,则记该褐飞虱为无反应,并结束对其的行为观察.

为消除前期测定的褐飞虱可能留下的气味对后期测定褐飞虱行为的影响,在测试过程中,每测试4头更换同样的Y型管,并用乙醇溶液(φ 为75%)清洗Y型管,100 °C烘干,共4支Y型管相互交替使用.为了消除可能存在的对称度,光照等细微差异对褐飞虱行为产生的影响,每测试10头褐飞虱后,将2气味源交换位置.

每次处理完毕彻底清洗装置,高温烘干,以消除不同处理间残留气味的影响.

1.3 数据处理

利用 Microsoft Office Excel 2010 和 SPSS 软件处理试验数据,并对选择处理味源的褐飞虱数量与选择对照味源的褐飞虱数量进行卡方检验.

2 结果与分析

2.1 褐飞虱对空白气味源的拒避与引诱行为反应

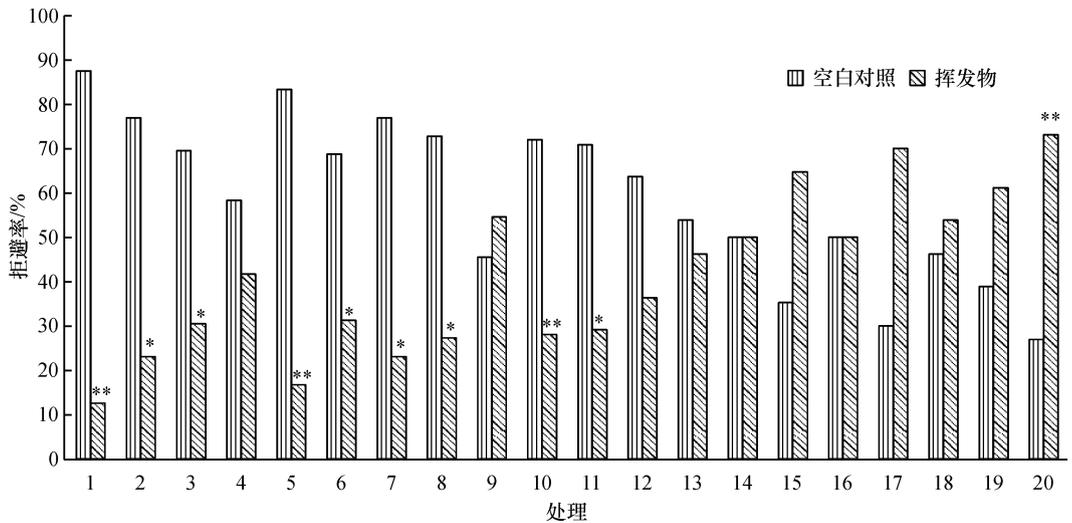
当Y型嗅觉仪的2个味源瓶都不放任何气味源时,褐飞虱雌成虫对Y型管两臂的行为反应没有差异,

卡方检验 P 值为 0.799. 说明 Y 型嗅觉仪两臂接收的光照比较均匀, 2 个空白味源瓶对褐飞虱的选择反应的影响没有差异. 因此, 该 Y 型嗅觉仪可以用来检测褐飞虱雌成虫对其他气味源的拒避与引诱行为反应.

2.2 褐飞虱对 20 种植物挥发物的拒避与引诱行为反应

由图 2 可知, 当气味源为螞蟥菊、鬼针草、胜红蓟、塞楝 *Khaya senegalensis*、毛麻楝 *Chukrasia tabularis*、枸树、小茴香、桉树和马樱丹时, 褐飞虱显著的趋向于空白对照, P 值分别为 0.001、0.034、0.026、0.000、0.034、0.034、0.033、0.002 和 0.015, 并且螞

蟥菊、塞楝和桉树对褐飞虱的拒避作用达到了极显著的水平, 拒避率分别为 87.5%、83.3% 和 72.0%; 当气味源为洋葱时, 褐飞虱极显著的趋向于洋葱管壁 ($P = 0.004$), 引诱率为 73.1%; 当气味源为薇甘菊、芫荽、海南红豆、姜、稗草、牛筋草、八角、异型莎草、水莎草和五爪金龙时, 褐飞虱对 2 个气味源的选择没有显著差异. 以上结果说明: 螞蟥菊、鬼针草、胜红蓟、塞楝、毛麻楝、枸树、小茴香、桉树和马樱丹对褐飞虱雌成虫具有显著的拒避作用, 其中塞楝、螞蟥菊和桉树的拒避作用比较明显. 洋葱对褐飞虱具有极显著的引诱作用.



图中 1~20 处理中挥发性植物分别为螞蟥菊、鬼针草、胜红蓟、薇甘菊、塞楝、毛麻楝、枸树、小茴香、芫荽、桉树、马樱丹、海南红豆、姜、稗草、牛筋草、八角、异型莎草、水莎草、五爪金龙和洋葱. *, ** 分别表示同一处理在 $P = 0.05$ 和 0.01 水平差异显著 ($n = 40$).

图 2 褐飞虱对 20 个植物挥发物的行为反应

Fig. 2 Behavioral responses of *Nilaparvata lugens* to volatiles of twenty plants

2.3 褐飞虱对拒避植物共有挥发性化合物的拒避与引诱行为反应

2.3.1 褐飞虱对不同体积 α -水芹烯的拒避与引诱行为反应 α -水芹烯的试验结果 (图 3) 显示, 4 个水平下, 褐飞虱对 2 个气味源的选择均没有显著性差异. 说明 α -水芹烯对褐飞虱的拒避与引诱行为没有影响.

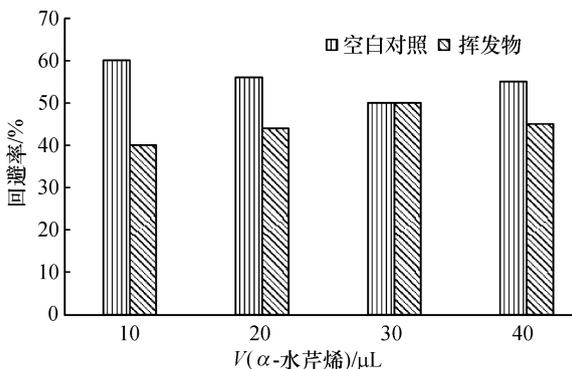
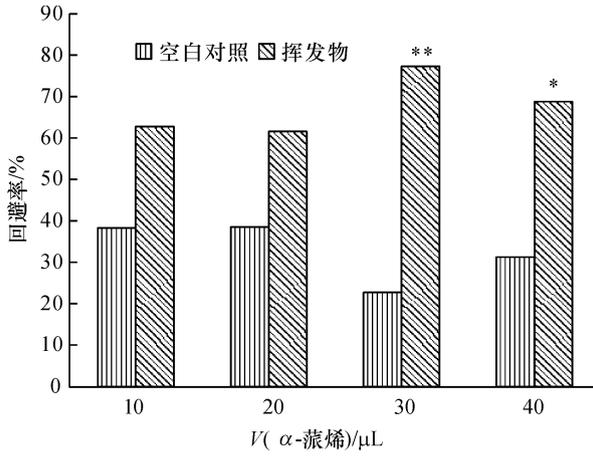


图 3 褐飞虱对不同体积 α -水芹烯的行为反应

Fig. 3 Behavioral responses of *Nilaparvata lugens* to different volumes of α -phellandrene

2.3.2 褐飞虱对不同体积 α -蒎烯的拒避与引诱行为反应 由图 4 可知, 当 α -蒎烯为 10 和 20 μL 时, 褐飞虱对 2 个气味源的选择没有显著差异; 当 α -蒎烯为 30 μL 时, 褐飞虱显著地趋向于 α -蒎烯的管臂, 并且达到极显著的水平, P 值为 0.000; 当 α -蒎烯为 40 μL 时, 褐飞虱显著趋向于 α -蒎烯的管臂, P 值为 0.034. 以上结果说明: 当 α -蒎烯为 30~40 μL 时对褐飞虱雌成虫具有显著的引诱作用 ($P < 0.05$), 30 μL 时对褐飞虱的引诱作用较强, 引诱率达到 77.3%, 与对照差异极显著 ($P < 0.01$).

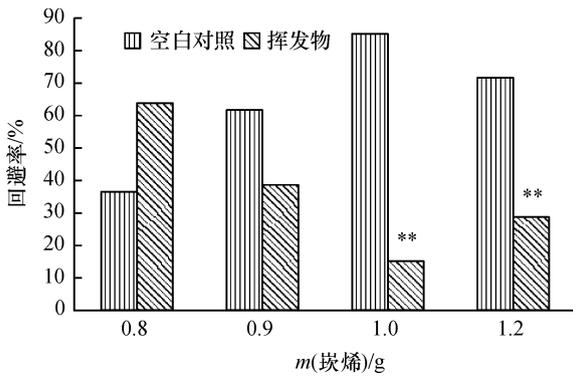
2.3.3 褐飞虱对不同质量炭烯的拒避与引诱行为反应 由图 5 可知, 当炭烯为 0.8 和 0.9 g 时, 褐飞虱对 2 个气味源的选择没有显著差异; 当炭烯为 1.0 和 1.2 g 时, 褐飞虱极显著的趋向于空白对照 ($P < 0.01$), P 值分别为 0.000 和 0.001, 拒避率分别为 85.0% 和 71.4%. 以上结果说明: 当炭烯 ≥ 1.0 g 时, 对褐飞虱雌成虫具有极显著的拒避作用, 并且 1.0 g 时对褐飞虱的拒避率最高.



图中*、**分别表示同一处理在 $P=0.01$ 和 0.05 水平上差异显著 ($n=40$)。

图4 褐飞虱对不同体积 α -蒎烯的行为反应

Fig. 4 Behavioral responses of *Nilaparvata lugens* to different volumes of α -pinene



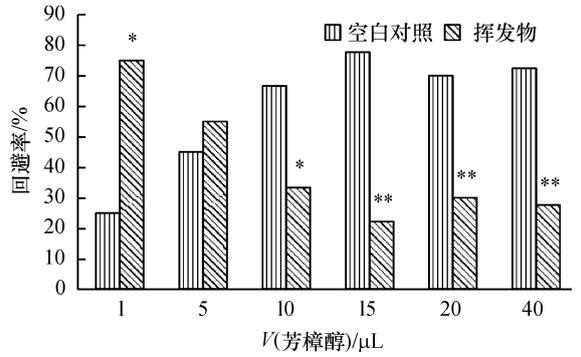
图中*、**分别表示同一处理在 $P=0.05$ 和 0.01 水平上差异显著 ($n=40$)。

图5 褐飞虱对不同质量萘烯的行为反应

Fig. 5 Behavioral responses of *Nilaparvata lugens* to different masses of camphene

2.4 褐飞虱对水稻挥发物组分芳樟醇的拒避与引诱行为反应

由图6可知,当芳樟醇为 $1 \mu\text{L}$ 时,褐飞虱显著的趋向于芳樟醇的管臂, P 值为 0.025 , 引诱率为 75.0% ; 当芳樟醇为 $5 \mu\text{L}$ 时,褐飞虱对两个气味的选择没有显著差异; 当芳樟醇为 $10 \mu\text{L}$ 时,褐飞虱显著趋向于空白对照, P 值为 0.021 , 拒避率为 66.7% ; 当芳樟醇为 15 、 20 和 $40 \mu\text{L}$ 时,褐飞虱极显著趋向于空白对照, P 值分别为 0.000 、 0.006 和 0.002 , 拒避率分别为 77.8% 、 70.0% 和 72.4% 。以上结果说明褐飞虱雌成虫对不同体积的芳樟醇表现出不同的选择行为反应,芳樟醇用量少时对褐飞虱具有显著引诱作用,用量大时表现为极显著的拒避作用,并且 $15 \mu\text{L}$ 时对褐飞虱的拒避率最高。



图中*、**分别表示同一处理在 $P=0.05$ 和 0.01 水平上差异显著 ($n=40$)。

图6 褐飞虱对不同体积芳樟醇的行为反应

Fig. 6 Behavioral responses of *Nilaparvata lugens* to different volumes of linalool

3 讨论与结论

植食性昆虫是通过嗅觉感受器识别寄主植物的挥发性次生物质从而找到寄主植物的^[25]. 与植物接触后,植食性昆虫再通过味觉感受器感知植物中的营养成分比例、取食刺激素或抑制素的存在^[26]. 因此,植物气味在植食性昆虫通过嗅觉选择寄主过程中处于首要地位^[27],例如(E)- β -法呢烯是常见的蚜虫报警信息素,可以拒避蚜虫取食^[28].

本研究选择的20种非寄主植物中有9种对褐飞虱雌成虫具有显著的拒避作用,洋葱(鳞茎)对褐飞虱具有显著的引诱作用;其他10种植物对褐飞虱雌成虫的选择行为影响不显著. 表明非寄主植物的挥发物对褐飞虱雌成虫的行为也是有影响的,而且影响的程度因植物种类的不同而有差异. 这表明,通过非寄主植物影响褐飞虱的选择行为有可能控制其对水稻的危害. 广泛筛选非寄主植物,在稻田,特别是有机稻生产区域,通过构建生物多样性拒避体系以干扰褐飞虱的选择行为而减轻其对水稻的危害是可能的,值得进一步研究.

本试验在拒避作用的9种植物中选择了3种共有且含量较大的挥发性化合物: α -蒎烯、 α -水芹烯和萘烯,测定了它们对褐飞虱行为反应的影响. 尽管植物叶片对褐飞虱均表现为拒避作用,但挥发物中主要成分的纯物质的效果却既有拒避、有引诱、也有没有效果的. 显然,多种功能物质混合的植物挥发物的效果不是所有单一化合物效果的简单加合.

本文研究了不同体积的芳樟醇对褐飞虱的行为反应,结果表明不同体积的芳樟醇会导致褐飞虱的行为差异,用量少时表现为引诱,当用量 $\geq 10 \mu\text{L}$ 时表现为拒避,这与周强等^[29]的研究基本一致. 这表明,通过在未受害稻田施用芳樟醇等影响褐飞虱的

选择行为,也是防治其危害的途径之一。

对水稻田间和田埂边植物进行调查筛选,寻求对褐飞虱有吸引和拒避的植物资源;对筛选得到的有潜在价值的植物挥发物进行进一步分析,揭示其对褐飞虱产生吸引或拒避作用的化学物质;通过研究水稻受害情形下释放的拒避物质来控制褐飞虱的拒避或产卵忌避等行为,这些都是可继续深入研究的。

值得注意的是,尽管褐飞虱个体对植物释放的挥发物具有拒避或引诱的行为,但对特定挥发物而言,有些褐飞虱个体是趋向,有些个体是拒避,有些不作反应,甚至有某些挥发物的含量不同,对褐飞虱会产生拒避或引诱行为的转换。褐飞虱群体中的个体对物质行为反应的多样性,对其本身繁殖生长是有利的,但增加了褐飞虱防治的难度。

参考文献:

- [1] 李凯,陈列忠,陈建明,等. 褐飞虱对同类昆虫遇险释放挥发物的行为反应[J]. 浙江农业学报,2013,25(1):89-94.
- [2] 江俊起,钟耀垣,陆永跃,等. 不同抗性水稻品种上稻飞虱种群消长与气象因子关联性分析[J]. 华南农业大学学报,2009,30(2):26-29.
- [3] 娄永根,程家安. 稻飞虱灾变机理及可持续治理的基础研究[J]. 应用昆虫学报,2011,48(2):231-238.
- [4] YAO Fengluan, YOU Minsheng, LIETTE V, et al. Polycultural manipulation for better regulation of planthopper populations in irrigated rice-based ecosystems [J]. Crop Prot,2012,34(4):104-111.
- [5] YOO J K, LEE S W, AHN Y J, et al. Altered acetylcholinesterase as a resistance mechanism in the brown planthopper (Homoptera: Delphacidae), *Nilaparvata lugens* Stal [J]. Appl Entomol Zool,2002,37(1):37-41.
- [6] 王鹏,甯佐苹,张帅,等. 我国主要稻区褐飞虱对常用杀虫剂的抗性监测[J]. 中国水稻科学,2013,27(2):191-197.
- [7] 杨朗,梁广文,何娜芬. 水稻感性和抗性品种甲醇提取物对褐飞虱的影响[J]. 华南农业大学学报,2004,25(4):118-119,122.
- [8] 吴利民,陆宁海,蒋国锋,等. 茴香茎叶提取物对菜粉蝶生物活性的影响研究[J]. 中国农学通报,2012,28(30):231-234.
- [9] LIU Shusheng, LI Yuehong, LOU Yonggen. Non-host plant extracts reduce oviposition of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and enhance parasitism by its parasitoid *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) [J]. Bull Entomol Res,2006,96(4):373-378.
- [10] 曾鑫年,吴美良,罗诗. 植物挥发性成分对柑桔潜叶蛾产卵行为的影响[J]. 植物保护学报,2003,30(2):198-202.
- [11] 卢伟,侯茂林,文吉辉,等. 植物挥发性次生物质对植食性昆虫的影响[J]. 植物保护,2007,33(3):7-11.
- [12] 刘芳,娄永根,程家安. 稻株挥发物在调节褐飞虱、白背飞虱种内种间关系中的作用[J]. 中国水稻科学,2002,16(2):162-166.
- [13] 孔垂华,胡飞,黄寿山. 胜红蓟化感作用研究:V:挥发油对真菌、昆虫和植物的生物活性及其化学成份[J]. 生态学报,2001,21(4):584-587.
- [14] 顾庆龙,柯名娟,王方海. 螞蟥菊甲醇粗提物对稻纵卷叶螟的拒食及毒杀作用[J]. 中山大学学报:自然科学版,2012,51(6):103-106.
- [15] 张天柱,曾勇,李辉,等. 14种菊科植物提取物对松材线虫和淡色库蚊的光活化毒杀作用[J]. 西北植物学报,2010,30(4):645-651.
- [16] 刑树文. 4种入侵植物水提液对假眼小绿叶蝉的防治效果[J]. 广东农业科学,2013,40(6):88-90.
- [17] 钟平生,梁广文,曾玲. 植物粗提物对褐飞虱若虫的生物活性测定[J]. 江西农业大学学报,2011,33(3):465-468.
- [18] 钟平生,梁广文,曾玲. 植物粗提物对褐稻虱成虫取食的影响[J]. 昆虫知识,2009,46(4):620-623.
- [19] 娄永根,程家安,平霄飞,等. 稻虱缨小蜂对褐飞虱和白背飞虱卵的识别机制[J]. 昆虫学报,2002,45(6):770-776.
- [20] 杨东娟,郭守军,陈远平,等. 南美螞蟥菊叶挥发油化学成分分析[J]. 西北林学院学报,2010,25(1):131-134.
- [21] 周红,潘智文,黄克建,等. 桂产新鲜马樱丹叶及花的香气成分的HS-SPME-GC-MS分析[J]. 广西大学学报:自然科学版,2009,34(4):494-497.
- [22] 秦军,陈桐,陈树琳,等. 三叶鬼针草挥发性成分的研究[J]. 分析测试学报,2003,22(5):85-87.
- [23] 张莉,王晓华,杨天祝. 超临界CO₂流体萃取法提取小茴香挥发油化学成分的研究[J]. 山东化工,2007,36(8):36-39.
- [24] 殷清华,梁振益,陈祎平,等. 桉树叶挥发油化学成分的研究[J]. 化学分析计量,2008,17(3):30-31.
- [25] 周琼,梁广文. 植物挥发性次生物质对昆虫的行为调控及其机制[J]. 湘潭师范学院学报:自然科学版,2003,25(4):55-60.
- [26] VET L E M, DICK M. Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context [J]. Annu Rev Entomol,1992,37(1):141-172.
- [27] 周琼,梁广文. 植物挥发性物质在蚜虫寄生定位中的作用[J]. 昆虫知识,2001,38(5):334-336.
- [28] UNSICKERS B, KUNERTG, GERSHENZONJ. Protective perfumes: The role of vegetative volatiles in plant defense against herbivores [J]. Curr Opin Plant Biol,2009,12(4):479-485.
- [29] 周强,徐涛,张古忍,等. 虫害诱导的水稻挥发物对褐飞虱的驱避作用[J]. 昆虫学报,2003,46(6):739-744.

【责任编辑 霍欢】