

黄胸散白蚁对马缨丹叶片提取物的嗅觉行为反应*

孙骊珠** 徐伟丽 罗兰 袁忠林***

(青岛农业大学农学与植物保护学院, 山东省植物病虫害综合防控重点实验室, 青岛 266109)

摘要 【目的】为了明确黄胸散白蚁 *Reticulitermes flaviceps* 对马缨丹 *Lantana camara* 叶片不同溶剂提取物的嗅觉行为反应。【方法】利用“Y”型嗅觉仪测定了黄胸散白蚁饥饿与否、气流速度、观察时间对其嗅觉行为反应的影响, 优化了测定条件; 用小滤纸片法和优化条件下“Y”型嗅觉仪测定了马缨丹叶片不同溶剂提(萃)取物对黄胸散白蚁的嗅觉行为反应。【结果】白蚁饥饿 12 h, 气流速度为 2 L/min, 10 min 后观察为用“Y”型嗅觉仪测定白蚁对提(萃)取物嗅觉行为反应的最优条件。两种测定方法均表明, 马缨丹干叶片氯仿提取物、乙醇提取物的乙酸乙酯和石油醚萃取物对黄胸散白蚁均具有驱避作用, 随着提(萃)取物浓度的增大驱避作用越强。【结论】马缨丹叶片中含对白蚁具有驱避作用的物质, 为白蚁防治提供了新的途径, 也为进一步研究提供了科学依据。

关键词 黄胸散白蚁, 马缨丹, “Y”型嗅觉仪, 小滤纸片法, 行为反应

Behavioral responses of *Reticulitermes flaviceps* to *Lantana camara* leaf extracts

SUN Li-Zhu** XU Wei-Li LUO Lan YUAN Zhong-Lin***

(College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University; Key Laboratory of Integrated Crop Pest Management of Shandong Province, Qingdao 266109, China)

Abstract 【Objectives】To determine the olfactory behavioral responses of *Reticulitermes flaviceps* to *Lantana camara* leaf extracts. 【Methods】Behavioral responses of fasted, and fed, *R. flaviceps* to chloroform, ethyl acetate and petroleum ether, extracts of *L. camara* leaf volatiles were measured in a Y-tube olfactometer under different airflow velocities and observation periods of different durations, and also by the small filter paper disk method. 【Results】Optimal conditions for Y-tube olfactometer tests were when termites had been fasted for 12 h, the airflow velocity was 2 L/min, and the observation period was 10 min. The results of both the Y-tube olfactometer and small filter paper disk methods showed that the chloroform, ethyl acetate and petroleum ether, extracts of *L. camara* leaf volatiles were all repellent to termites; the higher the concentration of the extracts, the stronger the repellence. 【Conclusions】*L. camara* leaves contain volatile substances that are repellent to *R. flaviceps*.

Key words *Reticulitermes flaviceps*, *Lantana camara*, Y-tube olfactometer, small filter paper disk, behavioral response

白蚁是一类多形态、群居性而又有严格分工的原始社会性昆虫, 它们以各类纤维素为食(李栋等, 2004)。白蚁的危害涉及农、林、水利、交通、房屋建筑等与人类生活密切相关的很多方

面, 给人们的生命财产带来巨大损失, 被国际昆虫生理生态研究中心列为世界五大害虫之一(黄蔚蓉, 2004; 刘博和樊建庭, 2012)。为了减少白蚁的危害, 人们采用各种方法进行防治,

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (No. 31272106); 山东省“泰山学者”建设工程专项

**第一作者 First author, E-mail: 120184580@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhongliny@163.com

收稿日期 Received: 2016-10-09, 接受日期 Accepted: 2016-12-28

用化学药剂对其种群进行控制仍是当前最主要的防治措施 (Ahmed *et al.*, 2015; 林雁, 2015)。尽管一些高毒、高残留的化学农药已被低毒、低残留的农药所替代 (刘晓燕和钟国华, 2002; 陈冰勇等, 2012), 但化学杀虫剂对生态环境和人类健康带来的问题仍然不容忽视 (曹莉等, 2007), 加之白蚁对化学农药容易产生抗药性 (张向辉等, 2008), 因此, 寻找一些环境友好型生物农药来代替化学制品愈来愈成为人们关注的热点。

马缨丹 *Lantana camara* L., 又名美人樱、五色梅、变色草、小臭牡丹等, 为马鞭草科马缨丹属小灌木, 原产南美洲, 是一种外来入侵植物。由于其适应性强, 侵占了大面积的牧场、果园和森林, 因其本身可产生有毒物质而成为世界 10 种外来有毒植物之一 (万方浩等, 2011)。现研究表明, 马缨丹提取物具有杀虫活性, 其作用方式有毒杀、拒食、忌避、抑制生长发育等作用 (周琼等, 2002; 董易之等, 2005; 颜振敏等, 2005; 钟平生等, 2008; 申翠翠等, 2014; 韩萌等, 2016), 马缨丹提取物也具有抑菌和杀线虫等活性 (杨秀娟等, 2005; 柯云和潘沧桑, 2007; 林燕文和童义平, 2009; 苟亚峰等, 2010)。作者曾经参加的课题组研究表明, 马缨丹新鲜组织、干组织 (根、茎、叶、花) 与土壤混合对白蚁具有良好的驱避作用 (Ding and Hu, 2010; Yuan and Hu, 2011), 马缨丹氯仿提取物对白蚁不仅有驱避作用, 还有一定的胃毒和触杀作用 (Yuan and Hu, 2012)。为了进一步了解马缨丹挥发物对昆虫的嗅觉行为反应, 本文采用“Y”型嗅觉仪和小滤纸片选择法测定了其干叶片的氯仿提取物、乙醇提取物的石油醚及乙酸乙酯萃取物对白蚁的嗅觉行为反应, 为进一步分离纯化活性物质和开发利用马缨丹提供更为科学的依据。

1 材料与方 法

1.1 供试昆虫

黄胸散白蚁 *Reticulitermes flaviceps* (Rolbe) 于 2016 年 5 月 12 日采于山东省青岛市崂山区,

用松木块在人工气候箱内饲养 (温度为 25℃、湿度为 80%), 试虫均为成熟健壮工蚁。

1.2 供试材料

马缨丹叶片于 2015 年 8 月采自福建省福州市, 阴干粉碎后装入自封口塑料袋中, 4℃冰箱保存备用; 马缨丹干叶片提取物及萃取物的制备参考申翠翠等 (2014) 方法进行。新鲜马缨丹叶片采自室内盆栽的马缨丹植物上。

1.3 提 (萃) 取物对黄胸散白蚁嗅觉行为反应的测定

1.3.1 “Y”型嗅觉仪装置 参照严善春等 (2006) 和林杰等 (2011) 并稍作改进 (图 1)。主要包括松宝 SB-8804 超静音可调式气泵、活性炭空气净化装置、空气水过滤装置、气味源装置、流速计和“Y”形管组成, 各部件之间用无味硅胶管连接。“Y”型嗅觉仪为白蚁活动主管 (A) 长 12 cm, 两臂 (B、C) 臂长 20 cm、玻璃管内径 3.5 cm, 两臂之间夹角 75°。两臂、气味源、水及活性炭瓶均用无味橡胶塞, 确保不漏气。将白蚁放入主管 (A) 口后, 用 40 目纱网的盖子戴在主管上, 以防止白蚁逃出。

1.3.2 黄胸散白蚁嗅觉行为测定条件的优化

在对照气味源瓶 (B 臂所对应的装置) 中放置 10 g 木屑, 处理气味源瓶 (C 臂所对应的装置) 中放置 10 g 马缨丹新鲜叶片, 主管 (A 臂) 放置 30 头黄胸散白蚁后戴上盖子, 针对不同条件下白蚁的嗅觉行为反应进行最优条件选择。观察时间分别设 10 min 和 30 min; 可调式气泵输出气流量分别设 2 L/min 和 4 L/min; 白蚁经 12 h 饥饿处理和未饥饿处理。为了避免白蚁爬行在管臂中留下的气味对白蚁嗅觉行为反应的影响, 重复 3 次试验后, 用丙酮冲洗嗅觉仪所有管道, 并用电风吹干, 然后将“Y”型管的两臂互换位置, 再次重复上述试验, 每处理共重复 6 次。在测定期间用黑布盖住“Y”型嗅觉仪, 使白蚁处于黑暗状态。以引诱率为指标评价并选出最优条件进行后续的试验。

1.3.3 嗅觉行为反应测定 马缨丹干叶片氯仿提取物, 马缨丹干叶片乙醇提取物的石油醚萃取

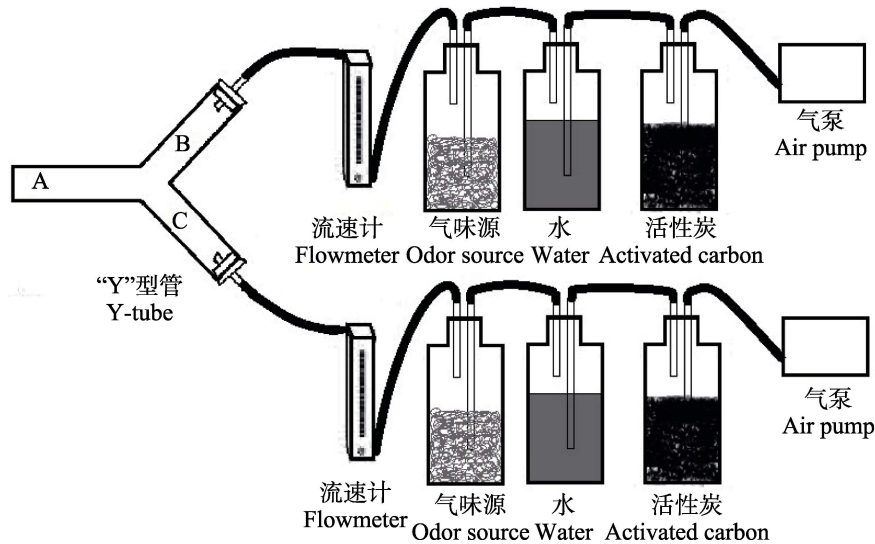


图1 “Y”型嗅觉仪测定装置图

Fig. 1 The installation diagram of the Y-tube olfactometer

物和乙酸乙酯萃取物用丙酮分别配制成 50, 100 和 200 mg/mL 的溶液。分别取配制成的溶液 1.2 mL 均匀滴在直径为 9 cm 的两张滤纸片上, 在通风橱内放置 24 h 让丙酮挥发后作为处理气味源; 对照气味源取 1.2 mL 丙酮均匀滴在直径为 9 cm 的两张滤纸片上, 在通风橱内放置 24 h 让丙酮挥发掉。以饥饿处理 12 h, 气流量为 2 L/min, 观察时间为 10 min 的最优条件组合来进行测定, 除气味源 (处理用提 (萃) 取物测处理的滤纸片, 对照用丙酮处理的滤纸片) 外, 其余测定方法同 1.3.2。

1.4 驱避作用测定

采用小滤纸片接触法测定对白蚁驱避作用 (Bläske and Hertel, 2001)。马缨丹叶片提 (萃) 取物用丙酮稀释成 12.5, 25, 50, 100 和 200 mg/mL 的药液。每个小滤纸片 (直径 7 mm) 上滴加 5 μ L 处理药液, 丙酮处理为对照 (溶剂对照), 置于通风橱内 24 h 待溶剂挥发后, 用 5 μ L 蒸馏水湿润滤纸片后, 放入直径为 50 mm 底部铺有少量湿润细沙的培养皿内, 药液处理和丙酮对照处理的两个小滤纸片相距 1.5 cm, 在两个小滤纸片中间接入 30 头白蚁, 盖上黑色的布, 置于室温下 (约 25 $^{\circ}$ C), 间隔 5 min 揭去黑布用照相机快速拍照, 拍照后快速盖上黑布, 使白蚁处

于黑暗环境中, 后 0.5 h 每间隔 10 min 拍照一次, 连续拍照 1 h (每个处理 9 组数据)。统计照片上每张小滤纸片上白蚁的数量, 确定白蚁的选择性。并设溶剂对照 (丙酮处理) 和空白对照 (滤纸片加 5 μ L 水), 每个实验重复 4 次。

1.5 计算公式与数据处理

按如下公式计算其反应率和选择系数 (梁小松等, 2007; 林杰等, 2011)。

引诱率 (%) = 处理管中虫数 (或对照管中虫数) / 测试虫总数 \times 100,

选择反应率 (%) = 处理管中虫数 / (处理管中虫数 + 对照管中虫数) \times 100,

驱避率 (%) = (对照小滤纸片上的虫数 - 处理小滤纸片上的虫数) / (处理小滤纸片上的虫数 + 对照小滤纸片上的虫数) \times 100。

数据用 Excel 进行处理、作图; 用 DPSv6.55 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 黄胸散白蚁嗅觉行为反应测定方法的优化

黄胸散白蚁工蚁对 8 种条件组合的行为反应如图 2。从对照臂来看, 饥饿 12 h-气体流速 2 L/min-观察时间为 10 min、饥饿 12 h-气体流速

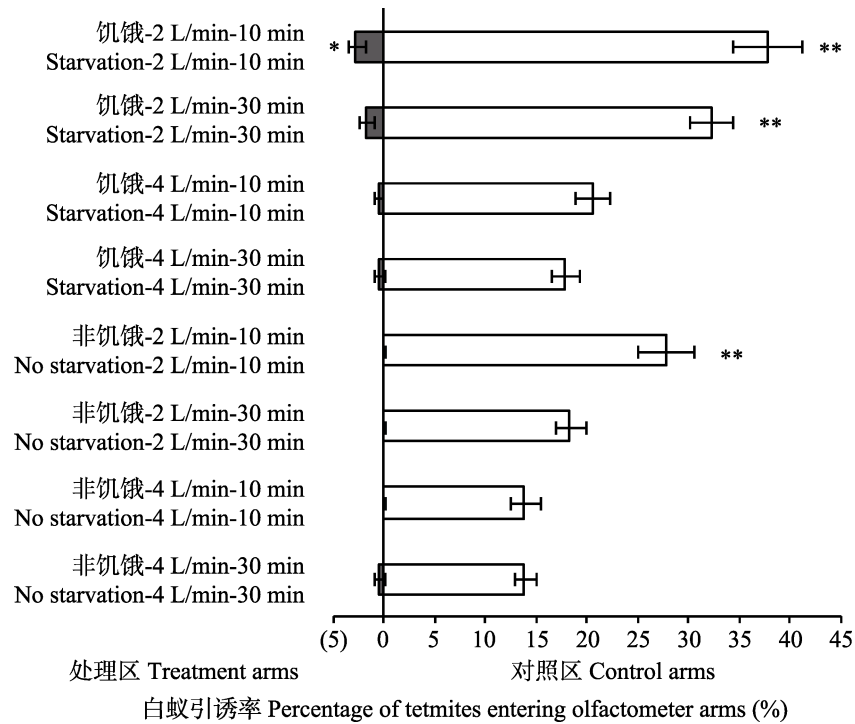


图 2 黄胸散白蚁对不同试验条件的嗅觉行为反应

Fig. 2 Behavior response of *Reticulitermes flaviceps* to different tested conditions

白色柱是味源为松木屑的对照, 灰色柱是味源为马缨丹叶片的处理。条件分别为白蚁饥饿 12 h 或未饥饿处理; 气泵输出气流量分别为 2 L/min 或 4 L/min; 观察时间分别为 10 min 或 30 min 后进行统计。*和**分别代表在 0.05 和 0.01 水平差异显著 (Duncan's 新复极差法多重比较)。

The white bars represent the control which odor source comes from pine sawdust; the gray bars represent treatments which odor source comes from fresh *L. camara* leaf. The tested conditions was 12 h starvation or no starvation of termites; the air flow rates was 2 L/min or 4 L/min; observation times was after 10 min or 30 min, respectively. The asterisk and double asterisks indicate significant difference at the 0.05 level and extremely significant difference at the 0.01 level by Duncan's multiple range test, respectively.

2 L/min-观察时间为 30 min, 不饥饿-气体流速 2 L/min-观察时间为 10 min 对白蚁的引诱率较好, 分别为 37.78%、32.22%和 27.79%, 与其他条件组合的差异极显著 ($P < 0.01$), 其中以饥饿 12 h-气体流速 2 L/min-观察时间为 10 min 的条件组合为最好。从处理臂来看, 饥饿 12 h-气体流速 2 L/min-观察时间为 10 min 的条件组合对白蚁的引诱率最好, 引诱率为 2.78%, 与其他处理差异显著, 但这意味着驱避作用最弱。8 种条件组合处理与对照的差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$) (未在图 2 中列出)。综合分析这些条件, 确定以试虫为饥饿处理 12 h, 气流量为 2 L/min, 观察时间为 10 min 的条件组合为测定黄胸散白蚁嗅觉行为反应的测定条件进行后续的研究。

2.2 马缨丹干叶片不同提取物对黄胸散白蚁的嗅觉行为反应

黄胸散白蚁对马缨丹干叶片提取物、萃取物的嗅觉行为反应结果见表 1。同一处理的对照臂与处理臂对白蚁的引诱率经 t -检验, 除两臂均为丙酮处理的滤纸片 ($t = 2.150, P = 0.0842 > 0.05$) 差异不显著外, 其余均达到极显著差异 ($P < 0.01$), 表明 3 种提 (萃) 取物的所使用的浓度对黄胸散白蚁具有明显的驱避作用。通过选择反应率的比较, 两臂均为丙酮处理的滤纸片的选择反应率最大, 为 43.24%, 与提 (萃) 取物各浓度处理的滤纸片作为气味源的差异均达显著程度 ($P > 0.05$)。从 3 种溶剂不同浓度选择反应率比较来看, 随着浓度增大, 选择反应率降低。综

表 1 黄胸散白蚁对马缨丹叶片不同提(萃)取物的嗅觉行为反应
Table 1 Olfactory behavior response of *Reticulitermes flaviceps* to leaf extracts of *Lantana camara*

处理 Treatment	浓度 Concentration (mg/mL)	引诱率(%) Luring rate		<i>t</i> -检验 <i>t</i> -test	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	选择反应率 Selective response rate (%)
		处理 Treatment	对照 Control			
氯仿提取物 Extract of chloroform	50	16.67±4.71	32.78±6.47	5.800	0.0021 **	33.67±6.99 b
	100	10.56±3.90	36.11±7.12	13.745	0.0000 **	22.19±4.11 cd
	200	8.33±3.50	40.33±7.89	12.403	0.0001 **	15.89±5.50 de
乙酸乙酯萃取物 Extract of ethyl acetate	50	6.67±2.98	23.33±5.96	5.902	0.0025 **	22.43±7.19 cd
	100	5.56±2.02	26.11±9.53	8.770	0.0003 **	14.12±5.58 d
	200	6.11±3.90	40.56±6.47	18.526	0.0000 **	12.01±5.31 e
石油醚萃取物 Extract of petroleum ether	50	10.56±4.01	31.11±9.11	7.400	0.0007 **	24.41±7.03 bc
	100	7.22±2.51	32.22±4.04	10.434	0.0001 **	18.40±6.37 cde
	200	6.11±2.51	30.00±4.71	9.045	0.0003 **	17.11±7.19 cde
丙酮 Acetone	1.2 mL	11.67±3.50	15.56±5.44	2.150	0.0842	43.24±7.82 a

t-检验值为处理臂与对照臂引诱率的配对 *t*-检验, *P* 值后的**表示差异极显著($P < 0.01$); 选择反应率—列数字后不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 (Duncan's 新复极差法多重比较)。

The *t*-test is treatment and control luring rate paired *t*-test, the ** after *P* value represent extremely significant different ($P < 0.01$); the different small letters in selective response rate column represent the significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

合比较来看, 乙酸乙酯萃取物各浓度的选择反应率较氯仿和石油醚提(萃)取物相应浓度的选择反应率较低, 说明乙酸乙酯萃取物的驱避作用较强。

2.3 马缨丹干叶片溶剂提(萃)取物对白蚁的驱避作用

2.3.1 氯仿提取物对黄胸散白蚁的驱避作用

氯仿提取物对白蚁的驱避作用表明(图 3), 在 60 min 内, 溶剂对照和空白对照、提取物浓度 12.5 mg/mL 和溶剂对照白蚁的数量无显著差异 ($t < 0$, $df = 35$, $P > 0.05$), 其他浓度处理与溶剂对照滤纸片上白蚁的数量均为具有极显著差异, 且随着提取物浓度的增加, 驱避作用越大 ($t > 2.485$, $df = 35$, $P < 0.01$)。

2.3.2 乙醇提取物的乙酸乙酯萃取物对黄胸散白蚁的驱避作用 乙酸乙酯萃取物对黄胸散白蚁的驱避作用如图 4。由图 4 可知, 马缨丹叶片乙醇提取物的乙酸乙酯萃取物的不同浓度处理与溶剂对照处理的滤纸片上的白蚁数均达到极显著差异, 且随着提取物浓度的增加, 驱避作用越大 ($t > 4.482$, $df = 35$, $P < 0.01$)。

2.3.3 乙醇提取物的石油醚萃取物对黄胸散白蚁的驱避作用 石油醚萃取物对黄胸散白蚁的驱避作用如图 5。由图 5 可知, 溶剂对照和空白对照、浓度 12.5 mg/mL 和溶剂对照滤纸片白蚁的数量无显著差异 ($t < 0$, $df = 35$, $P > 0.05$), 其他浓度处理与溶剂对照处理的滤纸片上白蚁数量均达到极显著差异, 且随着提取物浓度的增加, 驱避作用越大 ($t > 4.628$, $df = 35$, $P < 0.01$)。

2.3.4 3 种提(萃)取物对白蚁驱避作用的比较 3 种提(萃)取物对白蚁驱避作用的比较如图 6。由图 6 可知, 乙酸乙酯萃取物对白蚁的驱避作用较强, 但除浓度为 12.5 mg/mL 的驱避率与同浓度氯仿提取物和石油醚萃取物差异显著外, 其他浓度均无显著差异。

3 结论与讨论

白蚁作为隐蔽生活的社会性昆虫, 主要依靠其灵敏的嗅觉寻找食物(张红兵等, 2005)。“Y”型嗅觉仪在昆虫嗅觉行为反应中已有很多报道(肖春等, 2001; 张红兵等, 2005; 严善春等, 2006; 林杰等, 2011; 李哲等, 2014)。小

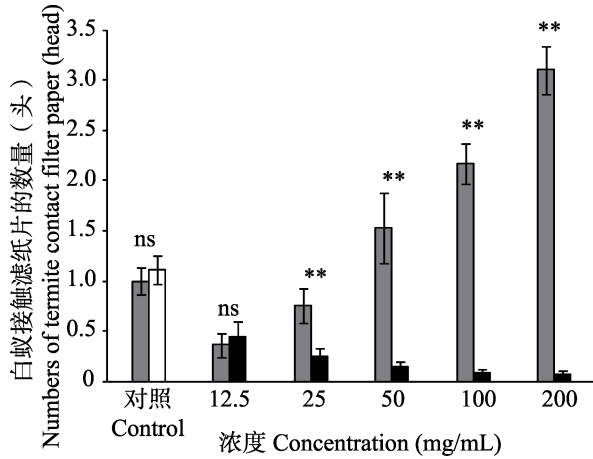


图 3 马缨丹干叶片氯仿提取物对白蚁驱避作用活性测定

Fig. 3 Repellent effect of chloroform extracts of *Lantana camara* leaves on termites

图为马缨丹干叶片氯仿提取物对白蚁驱避作用测定中 60 min 内小滤片上白蚁的平均数,每个处理有 9 组数据。白色柱代表未作处理的小滤纸片(空白对照),灰色柱代表经过丙酮处理过的小滤纸片(溶剂对照),黑色柱代表不同浓度马缨丹氯仿提取物处理过的小滤纸片。**表示两小滤纸片之间存在极显著差异(配对样本 *t*-检验, $P < 0.01$); ns: 表示两小滤纸片之间不存在显著性差异(*t*-检验, $P > 0.05$)。图 4, 图 5 同。

Repellency of extract of *L. camara* leaves on *R. flaviceps* workers during a 60 min paper disk choice test (nine counts per disk). White bar represents untreated filter paper disk; gray bars represent acetone solvent treated filter paper disk; black bar represent extract-treated filter paper disk.

**indicates extremely significant difference ($P < 0.01$) and "ns" indicates no significant difference ($P > 0.05$) between the two paper disks by Paired *t*-tests.

The same as Fig. 4, Fig. 5.

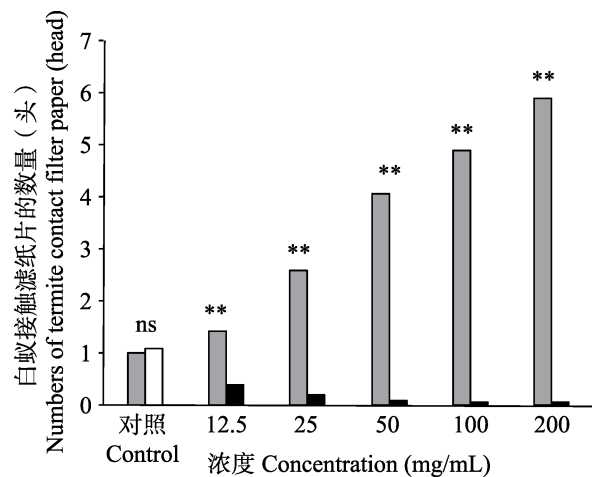


图 4 马缨丹叶片乙酸乙酯萃取物对白蚁的驱避作用

Fig. 4 Repellent effect of ethyl acetate extracts of *Lantana camara* leaves on termites

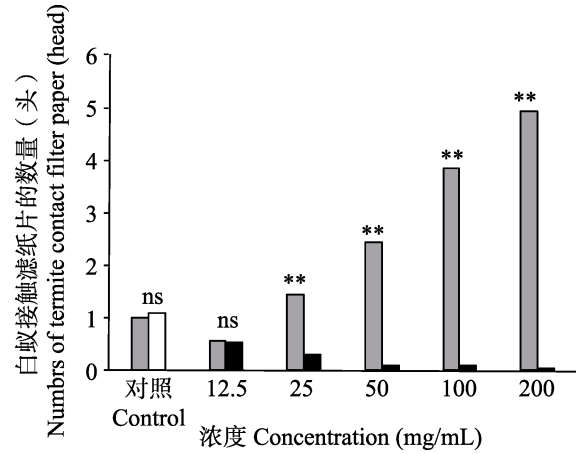


图 5 马缨丹叶片石油醚萃取物对白蚁驱避作用

Fig. 5 Repellent effect of petroleum ether extracts of *Lantana camara* leaves on termites

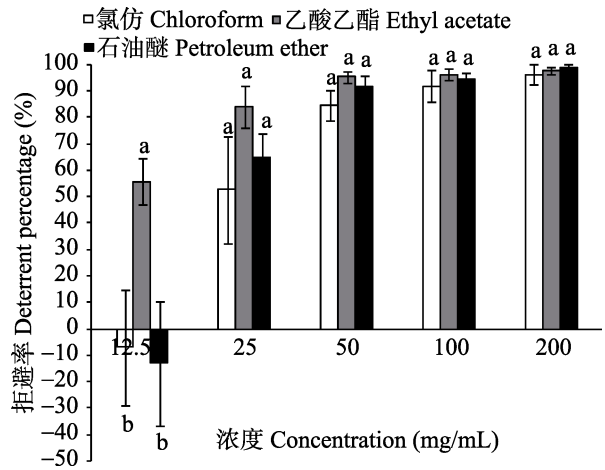


图 6 不同提取物对白蚁驱避作用的比较

Fig. 6 The comparison of deterrent percentage of different extracts

同一浓度 3 种溶剂提取物驱避率柱上的相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)

(Duncan's 新复极差法多重比较)

Histograms with the same small letters of 3 solvent extracts at same concentration indicate no significant difference ($P > 0.05$) by Duncan's multiple range test.

滤纸片接触法也常用来测定白蚁对待测物质的选择行为(Bläske and Hertel, 2001; Yuan and Hu, 2012)。本研究用 2 种实验方法测定了白蚁对马缨丹叶片 3 种有机溶剂提(萃)取物的嗅觉行为反应,均表明氯仿提取物、乙酸乙酯和石油醚萃取物对白蚁均具有较好的驱避活性,且随着浓度的提高,驱避作用越强,其中乙酸乙酯萃取物的驱避效果较好。

有研究表明, 马缨丹提取物对黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* 成虫和玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 具有拒食作用和毒杀作用 (颜振敏等, 2005; 申翠翠等, 2014); 马缨丹乙醇、己烷和氯仿提取物对白蚁也具有相同作用方式 (Ogunsina *et al.*, 2009; Yuan and Hu, 2012)。虽然不同学者所用的提取溶剂不同、靶标昆虫不同, 但结果都表明马缨丹提取物对昆虫具有驱避作用。本研究进一步明确了马缨丹干叶片氯仿提取物和乙醇提取物的乙酸乙酯和石油醚萃取物对白蚁的驱避作用, 具有驱避作用物质可能为数种化合物, 这为今后进一步分离、提纯这些化合物, 以及以其为先导化合物开发新农药奠定了基础。另外, 在美国已发现将马缨丹种植于房前屋后可减轻白蚁对房屋的危害; 将马缨丹地上部分收割并粉碎后, 填充到房屋附近土壤中, 也能有效地减轻白蚁对房屋的危害, 既能转害为利, 又能保护环境, 这部分工作有待于进一步详细研究。

参考文献 (References)

- Ahmed MAI, Eraky ESA, Mohamed MF, Soliman AAS, 2015. Potential toxicity assessment of novel selected pesticides against sand termite, *Psammotermes hypostoma* Desneux workers (Isoptera: Rhinotermitidae) under field conditions in Egypt. *Journal of Plant Protection Research*, 55(2): 193–197.
- Bláske VU, Hertel H, 2001. Repellent and toxic effects of plant extracts on subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Ecological Entomology*, 94(5): 1200–1208.
- Cao L, Zhao RH, Chen JH, Han RC, 2007. Advances in the control techniques of termites. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(3): 342–347. [曹莉, 赵瑞华, 陈镜华, 韩日畴, 2007. 白蚁防治技术. *昆虫知识*, 44(3): 342–347.]
- Chen BY, Dong Y, He L, Chen J, Zhang L, Yang SZ, 2012. The toxicities of four insecticides against *Odontotermes fornosanus*. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 37(4): 87–90. [陈冰勇, 董勇, 何林, 陈静, 张岚, 杨世璋, 2012. 4 种杀虫剂对黑翅土白蚁的毒力. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 37(4): 87–90.]
- Ding W, Hu XP, 2010. Antitermitic effect of the *Lantana camara* plant on subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 17(5): 427–433.
- Dong YZ, Zhang MX, Ling B, 2005. Antifeeding effects of crude lantadene from *Lantana camara* on *Plutella xylostella* and *Spodoptera litura* Larvae. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(12): 2361–2364. [董易之, 张茂新, 凌冰, 2005. 马缨丹总岩茨烯对小菜蛾和斜纹夜蛾幼虫的拒食作用. *应用生态学报*, 16(12): 2361–2364.]
- Gou YF, Liu AQ, Sun SW, Sang LW, Li ZG, 2010. Inhibitory effects of 23 plant extracts against *Phytophthora capsici*. *Plant Protection*, 36(6): 128–131. [苟亚峰, 刘爱勤, 孙世伟, 桑利伟, 李志刚, 2010. 23 种植物提取物对胡椒瘟病原菌的抑制作用. *植物保护*, 36(6): 128–131.]
- Han M, Luo L, Yuan ZL, Ahn Young-Joon, 2016. Chemical composition of *Lantana camara* L. leaf essential oil and its biological activity to three insect pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(4): 874–883. [韩萌, 罗兰, 袁忠林, Ahn Young-Joon, 2016. 马缨丹叶片精油化学成分及其对三种害虫的生物活性. *应用昆虫学报*, 53(4): 874–883.]
- Huang WR, 2004. The main types of termites and their impact on economy in China. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 32(2): 252–253. [黄蔚蓉, 2004. 我国白蚁主要危害种类及其对经济的影响. *安徽农业科学*, 32(2): 252–253.]
- Ke Y, Pan CS, 2007. Inhibition and nematocidal effect of plant extracts on *Meloidogyne incognita*. *Journal of Xiamen University (Natural Science Edition)*, 46(5): 711–714. [柯云, 潘沧桑, 2007. 几种植物提取液对根结线虫的抑杀作用. *厦门大学学报(自然科学版)*, 46(5): 711–714.]
- Li D, Tian WJ, Li M, Chen LL, Mao WG, Huang JP, Liu RQ, Li H, Zhang SS, 2004. Talk about the close relationship between termites and humans. *Chinese Bulletin of Entomology*, 41(5): 487–494. [李栋, 田伟金, 黎明, 陈丽玲, 毛伟光, 黄建平, 刘瑞桥, 李华, 张颂声, 2004. 谈谈白蚁与人类的密切关系. *昆虫知识*, 41(5): 487–494.]
- Li Z, Liu TH, Tao B, Ma Z, He YZ, 2014. Attractiveness of wheat bran and its volatiles to larvae of *Athetis lepigone* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 57(5): 572–580. [李哲, 刘廷辉, 陶晔, 马卓, 何运转, 2014. 麦麸及其挥发性物质对二点委夜蛾幼虫的引诱作用. *昆虫学报*, 57(5): 572–580.]
- Liang XS, Liu Y, Zhang SH, Zhang Q, Dai HG, 2007. Olfactory response and electroantennal of two termites species to several components. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 31(2): 55–59. [梁小松, 刘勇, 张绍红, 张强, 戴华国, 2007. 两种乳白蚁对几种物质的嗅觉反应及触角电位测定. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 31(2): 55–59.]
- Lin J, Meng FX, Wu DD, 2011. Application of Y-tube olfactometer in the study of host selection behaviors of fleas. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 22(2): 103–106, 127. [林杰, 孟凤霞, 吴丹丹, 2011. Y 型嗅觉仪在蚤类对宿主选择性研究中的应用. *中国媒介生物学及控制杂志*, 22(2): 103–106, 127.]

- Lin Y, 2015. Review of study on termiticides to control termite's colony. *China Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 21(2): 118–124. [林雁, 2015. 白蚁种群控制药剂的研究概况. *中华卫生杀虫药械*, 21(2): 118–124.]
- Lin YW, Tong YP, 2009. Study on the antibacterial experiment of *Lantana camara*. *Biotechnology*, 19(6): 83–85. [林燕文, 童义平, 2009. 马缨丹抑菌试验研究. *生物技术*, 19(6): 83–85.]
- Liu B, Fan JT, 2012. Urban termite damage and control techniques. *Urban Pest Control*, (2): 17–20. [刘博, 樊建庭, 2012. 城市白蚁危害与防治技术. *城市害虫防治*, (2): 17–20.]
- Liu XY, Zhong GH, 2002. The present and future of termite control agent. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 4(2): 14–22. [刘晓燕, 钟国华, 2002. 白蚁防治剂的现状和未来. *农药学报*, 4(2): 14–22.]
- Ogunsina OO, Oladimeji MO, Faboro EO, 2009. Mortality and anti-feedants evaluation of hexane and ethanol extracts of *Lantana camara* (Verbenaceae), African nutmeg (*Monodora myristica* (Gaerth) Dunal) and Enuopiri (*Euphorbia lateriflora* Schum and Thonner) against subterranean termite workers (*Macrotermes michaelseni*). *Toxicological & Environmental Chemistry*, 91(5): 971–977.
- Shen CC, Luo L, Yuan ZL, 2014. Biological activities of the extracts of *Lantana camara* L. against the *Ostrinia furnacalis* (Guenée). *Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science Edition)*, 31(1): 21–26. [申翠翠, 罗兰, 袁忠林, 2014. 马缨丹提取物对亚洲玉米螟的活性研究. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 31(1): 21–26.]
- Wan FH, Liu QR, Xie M, 2011. Biological Invasions: Color Illustrations of Invasive Alien Plants in China. Beijing: Science Press. 230–231. [万方浩, 刘全儒, 谢明, 2011. 生物入侵: 中国外来入侵植物图鉴. 北京: 科学出版社. 230–231.]
- Xiao C, Hu CH, Du JW, Zhang ZN, 2001. Behavioral responses of adult *Helicoverpa armigera* to the odors of wilted leaves of Chinese wing-nut tree, *Pterocarya stenoptera*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 38(4): 266, 278–281. [肖春, 胡纯华, 杜家纬, 张钟宁, 2001. 棉铃虫对萎蔫枫杨气味的行为反应. *昆虫知识*, 38(4): 266, 278–281.]
- Yan SC, Chen H, Yang H, Yuan HE, Zhang J, Chi DF, 2006. Effects of plant volatiles on the EAG response and behavior of the grey tiger longicorn, *Xylotrechus rusticus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomologica Sinica*, 49(5): 759–767. [严善春, 程红, 杨慧, 袁红娥, 张健, 迟德富, 2006. 青杨脊虎天牛对植物源挥发物的 EAG 和行为反应. *昆虫学报*, 49(5): 759–767.]
- Yan ZM, Hou YM, Luo WC, 2005. Bioactivities of the extracts from *Lantana camara* on the adult of striped fleabeetles, *Phyllotreta striolata*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(6): 664–668. [颜振敏, 侯有明, 罗万春, 2005. 马缨丹提取物对黄曲条跳甲成虫的生物活性. *昆虫知识*, 42(6): 664–668.]
- Yang XJ, He YX, Lu XS, Chen QH, 2005. Determining for nematicidal activity of some plant crude extracts against the second juvenile of *Meloidogyne* spp. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 20(1): 19–22. [杨秀娟, 何玉仙, 卢学松, 陈庆河, 2005. 若干植物粗提物对根结线虫幼虫的杀线虫活性测定. *福建农业学报*, 20(1): 19–22.]
- Yuan ZL, Hu XP, 2011. Evaluation of differential antitermitic activities of *Lantana camara* oven-dried tissues against *Reticulitermes virginicus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Insect Science*, 18(6): 671–681.
- Yuan ZL, Hu XP, 2012. Repellent, antifeedant and toxic activities of *Lantana camara* leaf extract against *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 105(6): 2115–2121.
- Zhang HB, Li XY, Dai HG, Zhou QJ, 2005. The olfactory responses of *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flaviceps* to three baited insecticides. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(3): 289–301. [张红兵, 李小鹰, 戴华国, 周秋君, 2005. 台湾乳白蚁和黄胸散白蚁对三种饵剂的嗅觉行为反应. *昆虫知识*, 42(3): 289–301.]
- Zhang XH, Peng XF, Zuo WD, Sun X, 2008. Research progress of termite biological control in China. *China Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 14(4): 297–298. [张向辉, 彭心赋, 左伟东, 孙叙, 2008. 我国白蚁生物防治研究进展. *中华卫生杀虫药械*, 14(4): 297–298.]
- Zhong PS, Zhao J, Zhang SS, Feng JX, 2008. Indoor toxic study of several plant extracts on red imported fire ant. *Journal of Huizhou University (Natural Science Edition)*, 28(6): 41–44. [钟平生, 赵瑾, 张颂声, 冯菊香, 2008. 几种植物提取物对红火蚁的室内毒杀活性试验. *惠州学院学报(自然科学版)*, 28(6): 41–44.]
- Zhou Q, Liang GW, Zeng L, Shen SP, 2002. The control efficiency of some plant alcohol extracts on the laboratory populations of *Myzus persicae* (Sulzer) and *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach). *Scientia Agricultura Sinica*, 5(11): 1356–1360. [周琼, 梁广文, 曾玲, 沈叔平, 2002. 多种植物乙醇提取物对桃蚜和萝卜蚜试验种群的控制作用. *中国农业科学*, 5(11): 1356–1360.]