

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201705010

引文格式: 余豪, 莫建初, 黄求应, 等. 四种植物精油对黑翅土白蚁触杀和驱避作用 [J]. 广西植物, 2018, 38(4):420-427  
YU H, MO JC, HUANG QY, et al. Contact toxicity and repellency of four plant oils against *Odontotermes formosanus* [J]. *Guihaia*, 2018, 38(4):420-427

## 四种植物精油对黑翅土白蚁触杀和驱避作用

余豪<sup>1</sup>, 莫建初<sup>1</sup>, 黄求应<sup>2</sup>, 廖敏<sup>3\*</sup>

(1. 浙江大学 农业与生物技术学院, 杭州 310058; 2. 华中农业大学 昆虫资源研究所, 武汉 430070; 3. 浙江大学 环境与资源学院, 杭州 310058)

**摘要:** 为筛选出高效防治黑翅土白蚁的天然植物精油, 减少有机合成农药的使用, 该文研究了大蒜精油、肉桂油、丁香油和印楝素油四种植物精油对黑翅土白蚁的触杀效果和驱避作用。结果表明: 大蒜精油、肉桂油和丁香油的浓度为 5 和 10 mg · mL<sup>-1</sup> 时, 处理 2 h 后, 黑翅土白蚁的校正死亡率达 100%, 而相同浓度的印楝素油和对照处理的黑翅土白蚁校正死亡率低于 5%。随着处理时间延长, 浓度为 1.25 和 2.5 mg · mL<sup>-1</sup> 的大蒜精油、肉桂油和丁香油处理 6 h 时, 黑翅土白蚁的校正死亡率仍达 100%, 而此时对应的印楝素油和对照处理的黑翅土白蚁校正死亡率仅为 10%, 说明大蒜精油、肉桂油和丁香油对黑翅土白蚁具有较强的触杀效果。大蒜精油、丁香油和肉桂油在处理黑翅土白蚁 2 h 后 LC<sub>50</sub> 值(半致死量)分别为 1.572、1.05 和 1.03 mg · mL<sup>-1</sup>, 说明肉桂油对黑翅土白蚁的毒性相对最大, 触杀效果最好。此外, 10 mg · mL<sup>-1</sup> 的大蒜精油、肉桂油、丁香油和印楝素油的驱避试验表明, 处理 4、6、8 和 12 h 后, 大蒜精油、肉桂油和丁香油三精油处理区的黑翅土白蚁数均显著低于对照区的, 驱避率总体 >93%, 而对应的印楝素油的驱避率总体 <28.5%, 表明大蒜精油、丁香油和肉桂油三种植物精油对黑翅土白蚁均有显著的驱避活性。综上可知, 四种植物精油中大蒜精油、肉桂油和丁香油在防治黑翅土白蚁方面应用潜力很好, 是开发绿色环保白蚁防治药剂的可选材料。

**关键词:** 大蒜精油, 肉桂油, 丁香油, 黑翅土白蚁, 触杀, 驱避

中图分类号: Q949.96, S433 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)04-0420-08

## Contact toxicity and repellency of four plant oils against *Odontotermes formosanus*

YU Hao<sup>1</sup>, MO Jianchu<sup>1</sup>, HUANG Qiuying<sup>2</sup>, LIAO Min<sup>3\*</sup>

(1. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Institute of Insect Resources, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 3. College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** In order to study some natural plant oils with effective prevention of *Odontotermes formosanus* and reduce the use of synthetic organic pesticides, contact toxicity and repellency of four plant oils against *O. formosanus* were studied, including garlic essential oil, cinnamon oil, clove oil and neem oil. The results indicated that the corrected mortality of *O. formosanus* was 100% in the treatments with 5 and 10 mg · mL<sup>-1</sup> of garlic essential oil, cinnamon oil and clove oil after 2 h. How-

收稿日期: 2017-09-04

基金项目: 国家自然科学基金(41371312); 国家农业部公益性行业科研专项项目(201203045) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(41371312); Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest(201203045)]。

作者简介: 余豪(1982-), 男, 浙江象山人, 硕士研究生, 主要从事白蚁防治研究, (E-mail) 5695908@qq.com。

\*通信作者: 廖敏, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事废弃物资源化研究, (E-mail) liaomin@zju.edu.cn。

ever, the corrected mortality of *O. formosanus* was less than 5% in the treatments with 5 and 10 mg · mL<sup>-1</sup> of neem oil and control after 2 h. With the extension of treatment time, the corrected mortality of *O. formosanus* was also 100% in the treatments with 1.25 and 2.5 mg · mL<sup>-1</sup> of garlic essential oil, cinnamon oil and clove oil after 6 h, but the corrected mortality of *O. formosanus* was only 10% in the treatments with 1.25 and 2.5 mg · mL<sup>-1</sup> of neem oil and control after 6 h. The above results showed that garlic essential oil, cinnamon oil and clove oil had strong effects on the contact resistance to *O. formosanus*. Therefore, the lethal concentration 50 (LC<sub>50</sub> values) of garlic essential oil, clove oil and cinnamon oil to *O. formosanus* were 1.572, 1.05 and 1.03 mg · mL<sup>-1</sup> respectively after 2 h, suggesting that cinnamon oil had the biggest contact toxicity against *O. formosanus*. Additionally, the repellent experiments showed that the number of *O. formosanus* in the treatment area with 10 mg · mL<sup>-1</sup> garlic essential oil, cinnamon oil or clove oil was significantly lower than that in the control area after 4, 6, 8 and 12 h, and the repellent efficiencies were all higher than 93%, while the repellent efficiency of neem oil was all less than 28.5%, which indicated that garlic essential oil, cinnamon oil and clove oil had significant repellent effect on *O. formosanus* in four selected plant oils. The above results showed that garlic essential oil, cinnamon oil and clove oil had good application prospects in the prevention and control of *O. formosanus*, and such three essential oils were optional materials to the development of green environmental protection and control of *O. formosanus*.

**Key words:** garlic essential oil, cinnamon oil, clove oil, *Odontotermes formosanus*, contact toxicity, repellency

白蚁(Termite)是危害我国经济林木、园林绿化苗木、房屋、建筑、铁道枕木、水库土坝、名胜古迹、江河堤围、仓库物资、室内装饰物、文物档案、家具等的重要害虫,属于世界性五大害虫之一(刘晓燕和钟国华,2002)。白蚁分布遍及中国28个省(区),特别是淮河以南地区,其对林木和农作物、堤坝、建筑物的为害尤为严重。黑翅土白蚁(*Odontotermes formosanus*)是长三角地区分布较广泛的一个种类,属于土栖性白蚁,是我国林区主要害虫之一,随着近年林业生产的迅速发展,黑翅土白蚁的为害也日趋严重。我国南方诸省的丘陵地区杉木人工林蚁害率为40%~60%,严重地块100%幼杉受害,桉树、黑荆树人工林受害也相当严重(周玉宝等,2016)。目前防治白蚁的主要方法有喷施药液、投放饵剂、喷粉和灌浆等。其中,防治白蚁的有效成分大多是有机合成农药,对土壤、水体和人体存在不同程度的安全威胁,因此有必要发展更加绿色环保的白蚁防治药剂(梁玉勇等,2012)。

植物精油(Essential oil)是一类植物次生代谢物质,部分植物精油在害虫防治领域具有较好的应用前景,可作为一种新型“绿色杀虫剂”,其作用机制主要包括拒食、忌避、熏蒸、触杀、杀卵、抑制生长发育和繁殖等(刘晓燕等,2012)。因为天然

植物精油具有低毒或无毒,使用后无药物残留、易降解、对环境无污染等优点而受到高度关注(梁玉勇等,2012)。部分植物精油,在对白蚁防治过程中同样具有较好潜力。Lima et al(2013)研究发现薄荷精油杀白蚁效果最好,30 min内10%薄荷精油对白蚁的致死率可达100%,10 h内0.12%薄荷精油对白蚁的致死率也达100%。仲利涛(2012)研究发现杉木心材精油对黑胸散白蚁的触杀毒性与趋避性较强,施用160 mg · mL<sup>-1</sup>的杉木心材精油时,3 d后白蚁死亡率达100%,当杉木心材精油浓度为50 mg · mL<sup>-1</sup>时,白蚁驱避效果达57.14%。谢永坚等(2013)的研究表明柳杉叶精油的杀白蚁活性显著高于柳杉树皮、边材和心材精油。韩萌等(2016)研究发现马缨丹叶片精油的处理浓度为20 μg · cm<sup>-2</sup>时,3 h后白蚁出现被击倒现象,24 h开始出现死亡,死亡率高达42%,3 d后白蚁死亡率为64%。可见,植物精油在对白蚁的防治过程中具有较好的潜力,但目前相关研究相对较少,可选择应用的植物精油种类也较少(梁玉勇等,2012)。因此,寻找出具有高效防治效果的植物精油,将有助于白蚁绿色防控模式的推广和降低有机合成农药的使用量。本研究以黑翅土白蚁为供试昆虫,探讨大蒜精油、肉桂油、丁香油和印楝素油四种植物精油对黑翅土白蚁的触杀效果和驱避

作用,以期发现对黑翅土白蚁有良好防治效果的植物精油,为开发绿色环保的白蚁防治药剂提供材料。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试昆虫

所用黑翅土白蚁从山林中腐烂的木桩中获得,带回实验室后在 $(25\pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(70\pm 5)\%$ 相对湿度(RH)的黑暗环境中饲养。挑选活性强的成熟工蚁作为研究对象,黑翅土白蚁的鉴定均以兵蚁特征为依据(黄复生等,2000)。

### 1.2 供试精油样品

大蒜精油(广州五味源生物科技有限公司)、丁香油(江西恒诚天然香料油有限公司)、肉桂油(江西恒诚天然香料油有限公司)、印楝素油(西安瑞盈生物科技有限公司)等均置于 $4^\circ\text{C}$ 冰箱保存备用。

### 1.3 植物精油对黑翅土白蚁的毒力测定

采用药膜滤纸法(黄求应等,2005)。将直径为9 cm的定性滤纸平放入直径9 cm的玻璃培养皿中,用移液枪移取1 mL稀释样品均匀滴在滤纸上,每个培养皿放入活性较强、大小一致的工蚁30头,在 $(25\pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(70\pm 5)\%$  RH,黑暗条件下进行(下同)。每隔2 h观察1次,以应试白蚁对镊子触碰无反应为死亡标准,剔除其中死亡工蚁并记录死亡数,连续观察直至白蚁全部死亡。供试精油样品先用无水乙醇稀释成一定浓度的母液,然后加入蒸馏水进行稀释,每种样品在预备试验的基础上设置5个处理浓度,以加入相同浓度无水乙醇的水溶液作为对照。大蒜精油、肉桂油、丁香油、印楝素油和对照每个处理设4次重复。若对照处理的死亡个体数超过20%,则视为无效。试验结束后,利用Abbott公式进行死亡率校正(Getahun & Jembere,2006),分别计算4种精油样品2、6、12 h后的校正死亡率。

### 1.4 植物精油对黑翅土白蚁的驱避性

试验装置如图1所示,三个孔之间相通,黑翅土白蚁在三个孔之间可以自由活动。将直径为3.5 cm的定性滤纸平铺在处理孔和对照孔中,处

理孔用移液管移取 $200\ \mu\text{L}$ 的一定浓度的精油样品均匀滴在滤纸上,对照孔中滴入相同量无水乙醇的水溶液。挑选活性较强、大小一致的工蚁50头,放入中间孔内,每隔2 h观察1次3个区域内活动的白蚁数量,试验重复4次。

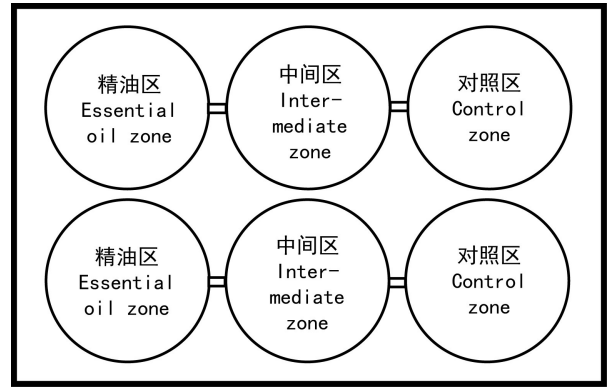


图1 白蚁驱避实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for repellency of *Odontotermes formosanus*

### 1.5 数据处理与分析

采用Excel 2013和SPSS17.0软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 四种植物精油对黑翅土白蚁的毒杀效果

由表1可知,四种植物精油处理2 h后,大蒜精油、肉桂油和丁香油对黑翅土白蚁的毒杀作用随精油浓度增加而增强,而印楝素油的浓度变化对毒杀效果影响相对较小。此时, $10、5\ \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的大蒜精油、肉桂油和丁香油处理的黑翅土白蚁校正死亡率均为100%,显著高于对应的印楝素油和对照。植物精油浓度降为 $2.5\ \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,肉桂油和丁香油对应的黑翅土白蚁校正死亡率均大于90%,大蒜精油对应的校正死亡率大于50%,均显著高于对应的印楝素油和对照,说明四种精油中肉桂油和丁香油对黑翅土白蚁毒杀效果相对较好,其次为大蒜精油。植物精油浓度降为 $1.25\ \text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,大蒜精油、肉桂油和丁香油对应的黑翅土白蚁2 h校正死亡率均大于50%,显著高于印楝素油和对照,进一步表明大蒜精油、肉桂油和丁

表 1 四种植物精油处理黑翅土白蚁 2 h 后的毒杀效果比较

Table 1 Contact toxicity comparison of four plant essential oils against *O. formosanus* after treated for 2 h

精油浓度 Concentration of essential oil (mg · mL <sup>-1</sup> )	校正死亡率 Adjusted mortality (%)				
	大蒜精油 Garlic essential oil	肉桂油 Cinnamon oil	丁香油 Clove oil	印楝素油 Neem oil	对照 Control
10	100±0a	100±0a	100±0a	3.33±0b	0±0b
5	100±0a	100±0a	100±0a	4.44±3.85b	0±0b
2.5	53.33±13.05b	100±0a	92.98±3.36a	6.67±6.67c	0±0c
1.25	50±6.09b	77.5±5.93a	75.44±6.08a	4.44±5.09c	0±0c
0.625	6.67±1.67a	0.83±1.67b	9.17±5a	2.22±3.85b	0±0b

注: 表中数据为平均值 ± 标准差; 同行数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Data in the table are  $\bar{x} \pm s$ ; Different lower letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). The same below.

香油对黑翅土白蚁毒杀效果较好。但是,当植物精油浓度进一步降为 0.625 mg · mL<sup>-1</sup>时,四种植物精油对应的黑翅土白蚁校正死亡率均低于 10%,表明只有大蒜精油、肉桂油和丁香油处理超过一定剂量后,才能对黑翅土白蚁均表现出较强的毒杀效果。由表 1 还可知,对应的所有浓度印楝素油处理的黑翅土白蚁校正死亡率均低于 10%,说明印楝素油对黑翅土白蚁的毒杀效果较差。

由表 2 可知,当大蒜精油、肉桂油和丁香油使用浓度分别为 10、5、2.5 和 1.25 mg · mL<sup>-1</sup>时,处理 6 h 后,对应的黑翅土白蚁校正死亡率均为 100%,显著高于印楝素油和对照,与表 1 相比,随着时间延长,大蒜精油、肉桂油和丁香油对黑翅土白蚁表现出更强的毒杀作用,此时所需的植物精油浓度相对更低。当植物精油浓度降到 0.625 mg · mL<sup>-1</sup>时,四种植物精油对应的黑翅土白蚁校正死亡率均不超过 20%,说明此时要保证精油毒杀黑翅土白蚁的效果,精油浓度要在 1.25 mg · mL<sup>-1</sup>以上。此外,处理 6 h 后,对应所有浓度的印楝素油处理的黑翅土白蚁校正死亡率均低于 15%,进一步说明印楝素油对黑翅土白蚁的毒杀效果较差。

由表 3 可知,当大蒜精油、肉桂油和丁香油使用浓度分别为 10、5、2.5 和 1.25 mg · mL<sup>-1</sup>时,处理 12 h 后,对应的黑翅土白蚁校正死亡率均为 100%,显著高于印楝素油和对照,结果与处理 6 h

(表 2) 的相同。当四种植物精油使用浓度均降为 0.625 mg · mL<sup>-1</sup>时,其中肉桂油对应的黑翅土白蚁校正死亡率仍达到 100%,显著高于其它三种植物精油和对照,说明肉桂油是几种植物精油中对黑翅土白蚁毒杀效果最强,在较低浓度处理情况下,通过延长其时间仍可达到较好的毒杀效果,而此时对应的大蒜精油和丁香油对应的校正死亡率超过 35%,说明随着时间延长,较低剂量的大蒜精油和丁香油对黑翅土白蚁的毒杀作用增强有限。此外,处理 12 h 后,对应的所有浓度的印楝素油处理的黑翅土白蚁校正死亡率均低于 20%,进一步说明印楝素油对黑翅土白蚁的毒杀效果较差。

考虑到现实中白蚁是自由活动的,需要对其快速触杀,因此选择植物精油处理 2 h 下的结果进行 LC<sub>50</sub> 值计算。由表 4 结果可知,大蒜精油、肉桂油和丁香油在处理黑翅土白蚁 2 h 后的 LC<sub>50</sub> 值分别为 1.572、1.05 和 1.03 mg · mL<sup>-1</sup>。这说明肉桂油对黑翅土白蚁的毒性最大,触杀效果最好,但三者 LC<sub>50</sub> 值浓度差异不大。因此,均可作为开发控制黑翅土白蚁药剂的环境友好型材料。

## 2.2 四种植物精油对黑翅土白蚁的驱避作用

表 5 显示,对大蒜精油而言,10 mg · mL<sup>-1</sup> 的大蒜精油处理黑翅土白蚁 4 h 后,精油处理区白蚁数为 1.75 头,显著低于中间区的 28.75 头和对照区的 19.5 头。处理 6 h 后,精油处理区黑翅土白蚁

表 2 四种植物精油处理黑翅土白蚁 6 h 后的毒杀效果比较

Table 2 Contact toxicity comparison of four plant essential oils against *O. formosanus* after treated for 6 h

精油浓度 Concentration of essential oil (mg · mL <sup>-1</sup> )	校正死亡率 Adjusted mortality (%)				
	大蒜精油 Garlic essential oil	肉桂油 Cinnamon oil	丁香油 Clove oil	印楝素油 Neem oil	对照 Control
10	100±0a	100±0a	100±0a	5.56±1.92b	0.83±1.67c
5	100±0a	100±0a	100±0a	5.56±5.09b	0.83±1.67c
2.5	100±0a	100±0a	100±0a	10±6.67b	0.83±1.67c
1.25	100±0a	100±0a	100±0a	10±11.55b	0.83±1.67c
0.625	16.67±3.33ab	12.5±3.19b	20±7.7a	3.33±3.33c	0.83±1.67c

表 3 四种植物精油处理黑翅土白蚁 12 h 后的毒杀效果比较

Table 3 Contact toxicity comparison of four plant essential oils against *O. formosanus* after treated for 12 h

精油浓度 Concentration of essential oil (mg · mL <sup>-1</sup> )	校正死亡率 Adjusted mortality (%)				
	大蒜精油 Garlic essential oil	肉桂油 Cinnamon oil	丁香油 Clove oil	印楝素油 Neem oil	对照 Control
10	100±0a	100±0a	100±0a	4.44±1.92b	2.5±1.67b
5	100±0a	100±0a	100±0a	6.67±5.77b	2.5±1.67b
2.5	100±0a	100±0a	100±0a	16.67±15.28b	2.5±1.67b
1.25	100±0a	100±0a	100±0a	13.33±17.32b	2.5±1.67b
0.625	53.33±28.07b	100±0a	35.71±8.75b	4.44±3.85c	2.5±1.67c

表 4 三种植物精油对黑翅土白蚁处理 2 h 的毒力回归方程

Table 4 Toxicity regression equation of three plant essential oils against *O. formosanus* after treated for 2 h

精油 Essential oil	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC <sub>50</sub> (mg · mL <sup>-1</sup> )	95%置信 区间 95% confidence interval	卡方值 Chi- square value
大蒜精油 Garlic essential oil	$y = -0.728 + 3.706x$	1.572	1.437~1.717	25.566
丁香油 Clove oil	$y = -0.175 + 8.262x$	1.050	0.986~1.115	12.035
肉桂油 Cinnamon oil	$y = -0.080 + 5.720x$	1.033	0.960~1.109	12.35

数为 2.5 头,显著低于中间区的 25.75 头和对照区的 21.75 头。处理黑翅土白蚁 8 h 后,精油处理区黑翅土白蚁数仅为 3.25 头,显著低于中间区的 36.0 头,与对照区 10.75 头无显著差异。处理 12 h 后,精油处理区黑翅土白蚁数仅为 3.5 头,显著低

于中间区的 34.25 头,但与对照区 12.25 头无显著差异。可见,大蒜精油在四个处理时段总体对黑翅土白蚁有较好的驱避作用,驱避率均在 93% 以上,但随时间延长驱避作用有下降的趋势。

对丁香油而言,10 mg · mL<sup>-1</sup> 的丁香油处理黑翅土白蚁 4 h 后,精油处理区白蚁数为 0.5 头,显著低于中间区的 19.75 头和对照区的 29.75 头。处理 6 h 后,精油处理区黑翅土白蚁数为 0.75 头,显著低于中间区的 16.75 头和对照区的 32.5 头。处理 8 h 后,精油处理区黑翅土白蚁数为 0.75 头,显著低于中间区的 21.5 头和对照区的 27.75 头。处理黑翅土白蚁 12 h 后,精油处理区黑翅土白蚁数为 0.25 头,显著低于对照区的 39.25 头,但与中间区 10.5 头无显著差异。可见,丁香精油在四个处理时段总体对黑翅土白蚁有较好的驱避作用,略低于肉桂油,且随时间延长,驱避作用相对稳定,驱避率均在 98% 以上,说明其在黑翅土白蚁驱

表 5 四种植物精油对黑翅土白蚁的驱避效果

Table 5 Repellent effects of four plant essential oils to *O. formosanus*

精油 Essential oil	驱避时间 Repellent time (h)	驻留数 Resident number		
		精油区 Essential oil zone	中间区 Intermediate zone	对照区 Control zone
大蒜精油 Garlic essential oil	4	1.75±0.96b	28.75±8.06a	19.5±8.85a
	6	2.5±1.29b	25.75±5.85a	21.75±7.14a
	8	3.25±0.5b	36±11.52a	10.75±11.76b
	12	3.5±0.82b	34.25±11.56a	12.25±12.66b
丁香油 Clove oil	4	0.5±0.58b	19.75±8.77a	29.75±9.32a
	6	0.75±0.96c	16.75±7.41b	32.5±8.35a
	8	0.75±0.96b	21.5±8.89a	27.75±9.54a
	12	0.25±0.5b	10.5±9.75b	39.25±9.64a
肉桂油 Cinnamon oil	4	0±0c	17.25±4.24b	32.75±2.7a
	6	0.25±0.5c	20.75±6.4a	29±6.63a
	8	0.25±0.5c	10.75±7.37b	39±7.39a
	12	0±0c	18.5±3.7b	31.5±3.7a
印楝素油 Neem oil	4	14.25±2.74a	19.25±7.35a	16.5±7.16a
	6	13.5±1.29a	18.25±5.95a	18.25±6.23a
	8	11.75±0.5a	18.75±8.56a	19.50±7.24a
	12	10.75±0.82a	18.00±6.44a	21.25±8.64a

避方面有较好的潜力和前景。

对于肉桂油而言, 10 mg · mL<sup>-1</sup>的肉桂油处理黑翅土白蚁 4 h 后, 精油处理区白蚁数为 0 头, 显著低于中间区的 17.25 头和对照区的 32.75 头。处理 6 h 后, 精油处理区黑翅土白蚁数为 0.25 头, 显著低于中间区的 20.75 头和对照区的 29.0 头。处理 8 h 后, 精油处理区黑翅土白蚁数为 0.25 头, 显著低于中间区的 10.75 头和对照区的 39.0 头。处理 12 h 后, 精油处理区黑翅土白蚁数为 0 头, 显著低于中间区的 18.5 头和对照区的 31.5 头。可见, 肉桂油在四个处理时段总体对黑翅土白蚁有很好的驱避作用, 且随时间延长, 驱避作用稳定, 驱避率均在 99% 以上, 说明其可作为黑翅土白蚁驱避剂制备的优选材料。

对于印楝素油而言, 10 mg · mL<sup>-1</sup>的肉桂油处理黑翅土白蚁 4、6、8 或 12 h 后, 精油处理区的白蚁数在 14.25 ~ 10.75 头之间变化, 驱避率为

28.5% ~ 21.5%, 虽随时间延长有轻微减少趋势, 但无显著变化, 中间区的白蚁数在 19.25 ~ 18.00 头之间变化, 随时间延长有轻微减少的趋势, 但变化差异不显著, 至于对照区的白蚁数在 16.5 ~ 21.25 头之间变化, 随时间延长有轻微增加的趋势, 但变化无显著差异。比较上述四个时段的精油处理区白蚁数均与中间区和对照区的白蚁数可知, 三个处理区无显著差异。可见, 印楝素油在四个处理时段对黑翅土白蚁的驱避作用较弱, 且随时间延长, 驱避作用无显著性变化, 说明其不适合作为黑翅土白蚁驱避剂制备的优选材料。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 四种植物精油对黑翅土白蚁的毒杀效果

植物精油对昆虫表现出直接或间接的毒杀作用, 一些植物精油及其单体表现出直接的杀虫活性, 主要是因为植物精油的分子量小, 容易挥发 (马卫宾, 2014)。本研究中, 浓度为 1.25 ~ 10 mg · mL<sup>-1</sup>植物精油处理黑翅土白蚁 2 h 后, 大蒜精油、肉桂油和丁香油均有明显的毒杀活性, 植物精油浓度达 5 mg · mL<sup>-1</sup>时, 黑翅土白蚁校正死亡率可达 100%, 但印楝素油在浓度 0.625 ~ 10 mg · mL<sup>-1</sup>时对黑翅土白蚁的毒杀活性较差, 处理白蚁 12 h 后, 所有对应浓度的印楝素油处理的校正死亡率均低于 20%, 表明大蒜精油、肉桂油和丁香油均有较好的毒杀黑翅土白蚁的作用。马卫宾 (2014) 研究发现肉桂油对浅色库蚊的幼虫有较好的毒杀活性, 在 80 mg · L<sup>-1</sup>浓度下处理淡色库蚊幼虫 24 h 后, 死亡率可达 87.5%, 说明肉桂油具有较好的防虫效果。Park & Shin (2005) 用熏蒸法测定表明, 大蒜精油和丁香油均对日本白蚁有很强的毒杀活性, 在 0.5 μL · L<sup>-1</sup>的剂量下日本白蚁死亡率可达 100%, 说明大蒜精油和丁香油在白蚁防治中的潜力。罗都强等 (2011) 研究发现, 大蒜精油对储粮害虫玉米象、米象和谷蠹有明显的熏蒸作用, 大蒜精油挥发性非常强, 小分子穿透力好, 小分子能钻入粮堆深处的缝隙中甚至谷粒内部将害虫杀死, 进一步说明大蒜精油在虫害防治中的作用。可见, 大蒜精油、肉桂油和丁香油防虫领域的

应用潜力较大,均可用于开发控制黑翅土白蚁的环境友好型制剂。印楝是最负盛名的杀虫植物,其主要活性成分为印楝素(梁玉勇等,2012)。印楝素对各种害虫具有强烈的拒食、胃毒、抑制生长发育等作用(李晓东和赵善欢,1996)。但本研究中印楝素油对黑翅土白蚁的毒杀活性都很差,可能是使用的印楝素油剂量不够高,对黑翅土白蚁的作用缓慢,导致供试白蚁死亡率较低。因此,其不适合选择用于防治黑翅土白蚁。

### 3.2 三种植物精油对黑翅土白蚁的驱避作用

驱避作用是指挥发性的气体分子在一定的范围内能刺激害虫的嗅觉器官,使之做出离开或逃避的行为反应(何君等,2010)。植物精油对昆虫具有驱避活性,其中最著名的是用香茅油防治蚊蝇(江志利,2002)。本研究中,10 mg · mL<sup>-1</sup>大蒜精油、丁香油和肉桂油处理6 h后,对黑翅土白蚁均有较好的驱避活性,驱避率均在95%以上,在处理12 h后,大蒜精油的驱避活性略有降低,有可能是大蒜精油挥发性较强,导致驱避活性降低,但大蒜精油、丁香油和肉桂油的驱避率均在93%以上,说明大蒜精油、丁香油和肉桂油对黑翅土白蚁的驱避作用总体稳定。肉桂油和丁香油有很好的驱虫活性,在欧美将肉桂油和丁香油混配作为驱虫剂使用已有百年历史(林翔云,2009)。肉桂油在200~800 μg · cm<sup>-2</sup>的剂量下,对赤拟谷盗成虫的驱避率在60%以上,持效期至少可维持8周(徐汉虹和赵善欢,1995)。使用5%肉桂油处理埃及伊蚊30、50和70 min后,对埃及伊蚊的驱避率依次为94%、83%和61%(Chang et al,2006)。丁香油不仅对烟草甲幼虫有较好的触杀活性,而且还有很好的驱避活性(王秀芳等,2011)。大蒜精油对赤拟谷盗的成虫有较强的驱避作用,同时对象甲的雄性和(或)雌性均具有驱避活性(边文波,2009)。大蒜精油对德国小蠊有较好的驱避活性(徐小玲,2004)。可见,大蒜精油、肉桂油和丁香油在驱虫方面具有广阔的应用潜力,结合本研究发现大蒜精油、丁香油和肉桂油对黑翅土白蚁均有较好的驱避作用,进一步表明大蒜精油、肉桂油和丁香油均可用于开发控制黑翅土白蚁的环境友好型驱避剂。虽然印楝素对各种害虫具有强烈的

拒食、胃毒、抑制生长发育等作用(李晓东和赵善欢,1996)。但本研究中印楝素油对黑翅土白蚁的驱避活性都较差,可能的原因是使用的印楝素油剂量不够高,导致对黑翅土白蚁的驱避作用较弱,这一结果与其对黑翅土白蚁的毒杀效果相似,因此其不适合选择用于防治黑翅土白蚁。

综上所述,(1)大蒜精油、肉桂油和丁香油对黑翅土白蚁有较强的触杀效果,大蒜精油、肉桂油和丁香油的浓度为5和10 mg · mL<sup>-1</sup>时,处理2 h后,黑翅土白蚁的校正死亡率达到100%,随处理时间延长,三种植物精油浓度降到1.25和2.5 mg · mL<sup>-1</sup>时,处理6 h后,黑翅土白蚁的校正死亡率仍能达到100%,说明三种植物精油的浓度对黑翅土白蚁的触杀效果随时间延长有所增强,所需剂量相应降低。(2)大蒜精油、丁香油和肉桂油在处理黑翅土白蚁2 h后,LC<sub>50</sub>值分别为1.572、1.05和1.03 mg · mL<sup>-1</sup>,说明三种植物精油对黑翅土白蚁的触杀剂量低,其中肉桂油对黑翅土白蚁的毒性相对最大,触杀效果相对最好。(3)大蒜精油、丁香油和肉桂油三种植物精油对黑翅土白蚁均有显著的驱避活性,处理12 h后,三者驱避率均大于93%,但肉桂油和丁香油处理随时间延长,驱避效果稳定,大蒜精油驱避效果略有下降。总之,大蒜精油、肉桂油和丁香油在防治黑翅土白蚁方面应用前景很好,是开发绿色环保的白蚁防治药剂的可选材料。

### 参考文献:

- BIAN WB, 2009. Bioactivity of 19 plant essential oils against *Myllocerinus aurolineatus* and polyphenol oxidase genes cloning of *Camellia Sinensis* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University: 1-48. [边文波, 2009. 十九种植物精油对茶丽纹象甲的生物活性及茶树多酚氧化酶基因的克隆 [D]. 南京: 南京农业大学: 1-48.]
- CHANG KS, TAK JH, KIM SI, et al, 2006. Repellency of *Cinnamomum cassia* bark compounds and cream containing cassia oil to *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) under laboratory and indoor conditions [J]. *Pest Manag Sci*, 62(11): 1032-1038.
- GETAHUN D, JEMBERE B, 2006. Evaluation of toxicity of crude extracts of some botanicals on different castes of *Macrotermes termites* [J]. *Pest Manage J Eth*, 10: 15-23

- HAN M, LUO L, YUAN ZL, 2016. Chemical composition of *Lantana camara* L. leaf essential oil and its biological activity to three insect pests [J]. *Chin J Appl Entomol*, 53(4): 874-883. [韩萌, 罗兰, 袁忠林, 2016. 马缨丹叶片精油化学成分及其对三种害虫的生物活性 [J]. *应用昆虫学报*, 53(4): 874-883.]
- HE J, XIE LD, HE YP, 2010. Research progress of botanical insecticides [J]. *Grain Oil Stor Sci Technol Newslett*, (6): 30-32. [何君, 谢令德, 贺艳萍, 2010. 植物源杀虫剂作用方式研究进展 [J]. *粮油仓储科技通讯*, (6): 30-32.]
- HUANG FS, ZHUSM, PING ZM, et al, 2000. *Isoptera* [M]// *Fauna Sinica, Insecta*. Beijing: Science Press, 17: 1-961. [黄复生, 朱世模, 平正明, 等, 2000. 等翅目 [M]//中国动物志, 昆虫纲. 北京: 科学出版社: 1-961.]
- HUANG QY, XUE D, TONG YY, et al, 2005. Performance of fipronil and imidacloprid as the attracticide against *Odontotermes formosanus* [J]. *Chin Bull Entomol*, 42(6): 656-659. [黄求应, 薛东, 童严严, 等, 2005. 氟虫腈, 吡虫啉作为黑翅土白蚁诱杀药剂的效果 [J]. *昆虫知识*, 2005, 42(6): 656-659.]
- JIANG ZL, 2002. Study on the toxicity of plant essential oil to housefly [D]. Yangling: Northwest A & F University: 1-58. [江志利, 2002. 植物精油对家蝇的毒杀作用研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学: 1-58.]
- LI XD, ZHAO SH, 1996. The toxic effects and mode of azadirachtin on insects [J]. *J S Chin Agric Univ(Nat Sci Ed)*, 17(1): 118-122. [李晓东, 赵善欢, 1996. 印楝素对昆虫的毒理作用机制 [J]. *华南农业大学学报(自然科学版)*, 17(1): 118-122.]
- LIANG YY, CHENG SD, CHENG ZX, et al, 2012. Advances in research on botanical insecticides for termite control [J]. *Chin Bull Entomol*, 49(3): 778-784. [梁玉勇, 程森弟, 程正新, 等, 2012. 植物性杀虫剂防治白蚁研究进展 [J]. *应用昆虫学报*, 49(3): 778-784.]
- LIMA JKA, ALBURQUERQUE ELD, SANTOS ACC, 2013. Biototoxicity of some plant essential oils against the *Termite Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) [J]. *Industrial Crops & Products*, 43: 246-251.
- LIN XY, 2009. The repellent effect of plant essential oil on medical animals [J]. *Chin J Hyg Insect Equip*, 15(5): 430-431. [林翔云, 2009. 植物精油对医学动物的驱避作用 [J]. *中华卫生杀虫药械*, 15(5): 430-431.]
- LIU XY, MIAO J, AN YX, et al, 2012. Overview and prospect of botanical termicides [J]. *Sugarc Canesug*, (4): 50-53. [刘晓燕, 苗静, 安玉兴, 等, 2012. 植物物质防白蚁剂开发与应用前景 [J]. *甘蔗糖业*, (4): 50-53.]
- LIU XY, ZHONG GH, 2002. Situation and prospect of Termicides [J]. *Chin J Pest Sci*, 4(2): 14-22. [刘晓燕, 钟国华, 2002. 白蚁防治剂的现在和未来 [J]. *农药学报*, 4(2): 14-22.]
- LUO DQ, QING JC, ZHANG X, 2001. Effects of triptolide on the midgut tissue and the digestive enzyme activities of *Mythimna separata* (Walker) larvae [J]. *J NW Sci Technol Univ Agric For (Nat Sci Ed)*, 29(6): 57-60. [罗都强, 秦建春, 张兴, 2001. 雷公藤甲素对粘虫中肠消化酶及其组织结构的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 29(6): 57-60.]
- MA WB, 2014. Study on the biological activity of plant essential oil against *Culex pipiens pallens* [D]. Yangling: Northwest A & F University: 1-89. [马卫宾, 2014. 植物精油对淡色库蚊的生物活性及天然蚊虫防控剂研发 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学: 1-89.]
- PARK ILK, SHIN SC, 2005. Fumigant activity of plant essential oils and components from garlic (*Allium sativum*) and clove bud (*Eugenia caryophyllata*) oils against the Japanese termite (*Reticulitermes speratus* Kolbe) [J]. *J Agric Food Chem*, 53(11): 4388-4392.
- WANG XF, REN GW, WANG XW, et al, 2011. Contact and fumigant activities of plant essential oils against *Lasioderma serricorne* (coleptera: anobiidae) [J]. *Acta Tabac Sin*, 17(2): 67-70. [王秀芳, 任广伟, 王新伟, 等, 2011. 植物精油对烟草甲触杀, 熏蒸和驱避作用研究 [J]. *中国烟草学报*, 17(2): 67-70.]
- XIE YJ, 2013. Study on chemical composition and insecticidal activity against *Reticulitermes Chinensis* snyder of cryptomeria fortune essential oil [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University: 1-130. [谢永坚, 2013. 柳杉精油化学成分及其对黑胸白蚁的毒杀活性研究 [D]. 武汉: 华中农业大学: 1-130.]
- XU HH, ZHAO SH, 1995. Study on effect of ovicidal and the repellent effect of five kinds of essential oils on stored grain pests [J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*, 10(1): 1-5. [徐汉虹, 赵善欢, 1995. 五种精油对储粮害虫的忌避作用和杀卵作用研究 [J]. *中国粮油学报*, 10(1): 1-5.]
- XU XL, 2004. Study on the biological activity of plant substances against *Blattella germanica* [D]. Beijing: China Agricultural University: 1-40. [徐小玲, 2004. 植物性物质对德国小蠊的生物活性研究 [D]. 北京: 中国农业大学: 1-40.]
- ZHONG LT, 2012. Study on the repellent activity to termite of the essential oil of *Cunninghamia lanceolata* [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology: 1-58. [钟利涛, 2012. 杉木精油驱蚁性研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学: 1-58.]
- ZHOU YB, YANG HJ, TANG F, 2016. Difference in the sensitivity of a cetylcholinesterase to six pesticides between *Odontotermes formosanus* (Shiraki) and *Reticulitermes chinensis* (Snyder) [J]. *J Jiangsu For Sci Technol*, 43(6): 12-14. [周玉宝, 杨海江, 汤方, 2016. 黑翅土白蚁和黑胸散白蚁乙酰胆碱酯酶对6种杀虫剂敏感性比较研究 [J]. *江苏林业科技*, 43(6): 12-14.]