

马缨丹叶片精油化学成分及其对 三种害虫的生物活性*

韩 萌^{1**} 罗 兰¹ 袁忠林^{1***} Ahn Young-Joon²

(1. 青岛农业大学农学与植物保护学院, 青岛 266109; 2. 韩国首尔大学农业与生命科学学院, 首尔 151742)

摘 要 【目的】为探讨马缨丹 *Lantana camara* L. 叶片精油化学成分以及其对 3 种害虫的生物活性, 以应用于生物防治。【方法】马缨丹叶片经水蒸气蒸馏法提取精油, 产率为 0.21%。经过气-质联用仪 (GC-MS) 分析, 从马缨丹叶片精油中检测出主要的 26 种化合物, 其中 α -姜黄烯 (α -curcumene, 32.76%), β -石竹烯 (β -caryophyllene, 16.36%), 石竹烯氧化物 (Caryophyllene oxide, 12.22%), 桉油烯醇 (Spathulenol, 10.48%) 含量较高, 并对 3 种不同害虫进行生物活性测定。【结果】生物测定结果表明, 马缨丹精油对米象 *Sitophilus oryzae* 成虫和 龄埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 幼虫的触杀效果显著, LC_{50} 分别为 0.92 mg/cm² 和 32.33 μ g/mL。随着浓度的升高, 对白蚁驱避作用增强, 白蚁死亡率增加; 高浓度精油对白蚁有触杀作用, 但较低浓度对白蚁无显著影响。【结论】本研究证明马缨丹叶片精油对 3 种害虫有良好防治的效果。**关键词** 马缨丹, 精油, 米象成虫, 蚊子幼虫, 黄胸散白蚁, 生物活性

Chemical composition of *Lantana camara* L. leaf essential oil and its biological activity to three insect pests

HAN Meng^{1**} LUO Lan¹ YUAN Zhong-Lin^{1***} Ahn Young-Joon²

(1. College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;

2. College of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151742, Korea)

Abstract 【Objectives】To investigate the chemical composition of *Lantana camara* L. leaf essential oil, its biological activity to 3 insect pests, and its potential as a means of controlling insect pests. 【Methods】*L. camara* leaf essential oil was extracted using the steam distillation method which gave a yield of 0.21%. The essential oil was examined using an Agilent GC-MS (gas chromatograph-mass spectrometer-computer) system. 26 major constituents were identified, but the major constituents were α -curcumene (32.76%), β -caryophyllene (16.36%), caryophyllene oxide (12.22%) and spathulenol (10.48%). After analysis of the chemical composition of this essential oil, its biological activity to 3 insect pests was determined. 【Results】The contact toxicity and repellent effect of *L. camara* leaf essential oil were tested on *Sitophilus oryzae* adults, fourth instar larvae of *Aedes aegypti*, and *Reticulitermes flavipes* worker. These bioassays showed that the essential oil had significant toxicity to *S. oryzae* adults and fourth instar larvae of *A. aegypti*, with LC_{50} values of 0.92 mg/cm² and 32.33 μ g/mL, respectively. The higher the concentration of the essential oil, the stronger its repellent effect and toxicity to the termite *Reticulitermes flavipes*. High concentrations of essential oil displayed significant contact toxic activity to termites, but mortality from lower concentrations was not significant. 【Conclusion】*L. camara* leaf essential oil has potential as a means of controlling the 3 insect pests tested.

Key words *Lantana camara*, essential oil, *Sitophilus oryzae*, *Aedes aegypti*, *Reticulitermes flavipes*, biological activity

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金 (31272106)

**第一作者 First author, E-mail: hanmengstar@163.com

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

收稿日期 Received: 2015-11-23, 接受日期 Accepted: 2016-01-22

马缨丹 *Lantana camara* L. 属马鞭草科 (Verbenaceae) 马缨丹属 (*Lantana*) 植物, 因其植株具有异味以及花色的多变性, 又被称为五色梅、五彩花、臭草、如意草等 (裴鉴和陈守良, 1982)。马缨丹原产于热带美洲, 最初作为观赏植物被人引入到世界各地, 后因鸟类传播、其本身繁殖和适应能力强, 并排挤当地植物迅速蔓延, 在各国不同地区占据了大面积的牧场、耕地、果园和森林, 破坏当地的生态环境 (Ghisalberti, 2000; 林英等, 2008)。由于马缨丹对世界各地的入侵, 被 IUCN 列为世界上“100 种最严重的入侵生物”之一 (IUCN, 2000)。据“中国生物入侵网”报道, 马缨丹现已广泛分布于热带、亚热带和温带地区的 50 多个国家和地区, 包括太平洋沿岸及众多太平洋岛屿国, 如菲律宾、新西兰、澳大利亚、泰国、柬埔寨、越南、马来西亚、印度尼西亚、美国和中国 (汪开治, 1999)。马缨丹在澳大利亚被认为是在农业区域中最令人头疼的有毒植物, 其分布已经覆盖了从新南威尔斯海岸线到北部昆士兰的 400 万 hm^2 的地区 (林英等, 2008)。中国的马缨丹最初是在 1645 年作为一种观赏花卉由荷兰引入台湾, 后在中国广泛繁殖, 逃逸为野生 (朱小薇和李红珠, 2002), 目前分布于台湾、海南、云南、广州、福建等地, 在云南被列为一级为害程度的外来入侵植物 (丁莉等, 2006)。防治入侵植物马缨丹已经迫在眉睫。

在控制马缨丹为害的同时, 人们也在不断探索如何对其进行有效利用。由于马缨丹生长能力强, 根系发达, 具有防止水土流失的作用, 因其病虫害少, 被普及为一种园林植物; 在印度马缨丹叶和嫩枝常被作为绿色的土壤覆盖物改良土壤、提高肥力 (马金华等, 2003)。马缨丹已被世界许多地方用于民间治疗多种疾病, 如用马缨丹可以治疗癌症和肿瘤, 叶和花煮水可用于防治发热、流行性感、胃痛等, 对水痘、麻疹、哮喘、刀伤、风湿、溃疡等都有良好的效果 (Ross, 1999; Ghisalberti, 2000; Sharma *et al.*, 2007)。在澳大利亚、印度、新西兰、南非和美洲发现, 其叶片提取物对动物具有毒性 (Seawright *et al.*, 1983; Sharma *et al.*, 1988; Pass, 1991)。马缨

丹地上部分的提取物对枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*、大肠杆菌 *Escherichia coli*、金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus* 等病原微生物有抑制作用, 对黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata*、萝卜蚜 *Lipaphis erysimi*、美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 等多种昆虫有杀虫作用, 其中杀虫作用主要表现在毒杀、拒食、拒避、抑制生长发育等方面 (周琼等, 2002; 赵辉等, 2003; Abdel-Hady *et al.*, 2005; 任立云等, 2006; Innocent *et al.*, 2008; 林燕文和董义平, 2009)。

研究记载, 马缨丹属植物主要含有环烯醚单萜、萜类、苯醌、黄酮、皂甙、生物碱等化学成分 (朱小薇和李红珠, 2002; 彭富全等, 2006)。这些代谢物质对外界病虫害的侵入具有一定的抑制作用从而起到保护自身的目的。有关马缨丹精油成分组成, 其杀虫活性已有一些的报道 (Saleh, 1974; 刘少群和贾正晖, 2002; 赵辉等, 2003; 任立云等, 2006)。Bouda 等 (2001) 用马缨丹叶片精油处理玉米粒, 发现对玉米象 *Sitophilus zeamais* 有胃毒作用, 在 0.5% (v/w) 的浓度下, 玉米象的死亡率可达 100%。但是马缨丹精油对米象成虫触杀活性, 以及对蚊子幼虫、白蚁的生物活性还未见报道。

本研究通过水蒸气蒸馏法提取马缨丹叶片中的挥发油, 采用 GC-MS 对化学组成进行分析, 并对米象 *Sitophilus oryzae* 成虫、龄埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 幼虫以及黄胸散白蚁 *Reticulitermes flavipes* 工蚁进行生物活性测定, 为合理开发应用马缨丹进行害虫的综合治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

马缨丹叶片于 2013 年 8 月采自福建省福州市, 阴干粉碎, 装入自封塑料袋中于 4℃ 冰箱保存备用。

米象成虫、蚊子幼虫由韩国首尔大学室内饲养提供; 黄胸散白蚁采自山东省青岛崂山。

气相色谱-质谱联用仪 (GC / MS) 是美国制造的 Clarus 680/680T (Clarus 680/680T GC/MS,

PerkinElmer, Fort Belvoir, VA, USA; Agilent, Palo Alto, CA, USA)。

自制挥发油提取装置: 2 000 mL 24 口径圆底烧瓶, 挥发油提取器, 冷凝管, 依次往上叠加。

1.2 方法

1.2.1 马缨丹叶片精油的提取 马缨丹精油提取方法参照路平等 (1999) 并稍做改进。取 100 g 马缨丹叶片干粉, 加入 1 500 mL 蒸馏水, 应用挥发油提取装置, 进行水蒸气蒸馏 4 h, 收集馏出液; 将馏出液加入无水硫酸钠干燥, 去除马缨丹精油中的水分, 获得澄清黄色油状精油, 保存于 4℃ 冰箱待用。

1.2.2 马缨丹叶片精油化学成分测定 将马缨丹叶片精油用甲醇配制为 500 μg/mL 精油溶液, 采用气相色谱-质谱联用仪 (GC/MS) 对其进行化学成分进行分析。马缨丹叶片精油成分分离用 HP-5 毛细管柱 (Agilent 30 m×0.25 mm, J & W scientific, Folsom, CA), 载气为氦气, 流速 1 mL/min, 升温程序 40℃ 保持 8 min, 以 2℃/min 升温至 250℃, 保持 5 min, 进口样温度为 250℃。

质谱条件 EI 离子源: 电离电压 70 eV, 离子源温度 250℃, 扫描范围 50~550 μm, 在 GC/FID 相同的条件下, 共进样。通过比较每个峰的相同的保留指数, 并与已知化合物和已经发表的论文数据对比鉴定, 确定化合物成分 (任立云等, 2006; 周晔, 2009; Zoubiri and Baaliouamer, 2012)。

1.2.3 精油生物活性测定

1.2.3.1 马缨丹精油对米象的触杀作用测定

用滤纸片药膜法测定, 参照姚英娟等 (2006) 的方法并加以改进。用甲醇配置不同浓度的马缨丹精油 (0.5、0.35、0.25、0.175、0.125 mg/μL) 在直径为 42.5 mm 的培养皿底部铺上面积相当的圆形滤纸, 在滤纸上滴入马缨丹精油甲醇稀释液 100 μL, 使马缨丹精油均匀浸入滤纸内, 不同处理滤纸中精油量分别为 3.5、2.5、1.8、1.2、0.9 mg/cm², 在同直径的滤纸片上滴加等量甲醇溶液 (100 μL) 做空白对照。通风橱待甲醇挥发后, 每皿放入 10 头米象, 并加入大米粒作为食物, 将其置于 25℃ 养虫室内, 每天检查触杀效

果, 统计死亡率, 试验共进行 3 d, 每处理 3 个重复。采用下列公式计算死亡率和校正死亡率:

$$\text{死亡率(\%)} = \frac{\text{死虫数}}{\text{总虫数}} \times 100,$$

$$\text{校正死亡率(\%)} = \frac{\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}}{1 - \text{对照死亡率}} \times 100。$$

1.2.3.2 马缨丹叶片精油对蚊子幼虫毒杀作用测定 马缨丹叶片精油对 IV 龄埃及伊蚊幼虫毒杀作用参照 Kim 等 (2007) 的方法并加以改进。取不同质量的马缨丹叶片精油, 用甲醇溶解, 加入到装有 200 mL 蒸馏水的纸杯中, 配置成 5 个不同浓度精油处理溶液 (100、75、50、35、25 μg/mL), 对照处理中加入等量甲醇溶液做空白对照; 每个纸杯中放入 20 头龄埃及伊蚊幼虫, 置于室温下 24 h, 测定蚊子幼虫死亡率, 计算校正死亡率。每个处理 3 个重复。

1.2.3.3 马缨丹叶片精油对黄胸散白蚁活性测定

1.2.3.3.1 驱避作用测定 采用小滤纸片接触法测定白蚁驱避作用 (Bläske and Hertel, 2001)。马缨丹叶片精油用丙酮稀释成 2、1、0.5 μg/μL 的药液。每个小滤纸片 (直径 7 mm) 上滴加 5 μL 处理药液, 丙酮处理为对照, 置于通风橱内 24 h 待溶剂挥发后, 用 5 μL 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℃), 前半小时间隔 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, 后半小时每 10 min 拍照一次, 共拍照 1 h (即每个处理共拍照 9 次)。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 (丙酮) 处理和未处理的滤纸片为对照。每个实验重复 4 次。

1.2.3.3.2 毒杀作用测定 将直径为 35 mm 的滤纸片, 均匀加入 100 μL 不同浓度精油丙酮药液 (2、1、0.5 μg/μL), 使滤纸片中的精油浓度为 20、10、5 μg/cm², 丙酮为空白对照。待丙酮溶剂挥发后称重, 用 100 μL 蒸馏水湿润滤纸片, 分别放入 6 孔培养板内, 每孔接入 30 头白蚁,

放于人工气候箱内 (25℃, 相对湿度 98%) 黑暗条件下培养, 每天统计存活白蚁数, 3 d 后结束实验, 对滤纸片干燥后称重, 统计白蚁死亡率。实验中设未处理的滤纸片为对照, 每个实验重复 3 次。

1.2.3.3.3 触杀作用测定 采用陈驹 (1988) 点滴法测定。配制不同浓度马缨丹叶片精油丙酮药液 (2、1、0.5 μg/μL), 用 Hamilton PB600 重复分配器 (Hamilton, Reno, NV) 加 10 μL 微量进样器, 每头白蚁滴加 0.2 μL 药液于白蚁体背, 丙酮处理为对照, 每处理 30 头白蚁, 并将白蚁放入铺有湿润滤纸的培养皿中, 在人工气候箱内黑暗条件下放置 10 d, 每天统计白蚁死亡率。每处理重复 3 次。

1.3 数据分析

本文采用 Excel 作图、用 SPSS 软件进行平均数、方差计算和方差分析。

2 结果与分析

2.1 马缨丹叶片精油化学成分分析

马缨丹干叶片精油产率为 0.21%。GC-MS 分析鉴定出大量化合物, 其中主要的化合物总电子流图如图 1 所示, 各化合物及其相对含量见表 1。马缨丹干叶片精油组成成分比较复杂, 含有单萜类、含氧单萜类以及倍半萜类、含氧倍半萜类等多种化合物, 其中 26 种主要的化合物的含量占 95.84%, α-姜黄烯 (α-curcumene, 相对含量为 32.76%), β-石竹烯 (β-caryophyllene, 16.36%), 石竹烯氧化物 (Caryophyllene oxide, 12.22%), 桉油烯醇 (spathulenol, 10.48%), 4 种化合物在马缨丹干叶片精油提取物中浓度较高。

2.2 马缨丹精油对米象和IV龄埃及伊蚊幼虫活性测定

马缨丹叶片精油对米象成虫和 IV 龄埃及伊蚊幼虫的活性测定见表 2。马缨丹叶片精油 3 d 后对米象成虫触杀作用的毒力方程为 $y = 0.13 + 3.48x$, LC_{50} 为 0.92 mg/cm²。24 h 后对 IV 龄埃及伊蚊幼虫毒杀作用效果明显, 其毒理方程为 $y = -3.04 +$

$2.02x$, LC_{50} 为 32.33 μg/mL。

2.3 马缨丹精油对白蚁活性测定

2.3.1 马缨丹精油对白蚁驱避作用 图 2 表明, 在 60 min 内, 马缨丹叶片精油不同浓度处理对黄胸散白蚁均具有显著驱避作用, 且随着马缨丹精油浓度的增加, 驱避作用越大 ($t > 3.361$, $df=35$, $P < 0.05$); 在对照组中, 未经处理的滤纸片和溶剂处理的滤纸片白蚁的数量并没有显著差异 ($t < 3.361$, $df=35$, $P > 0.05$)。

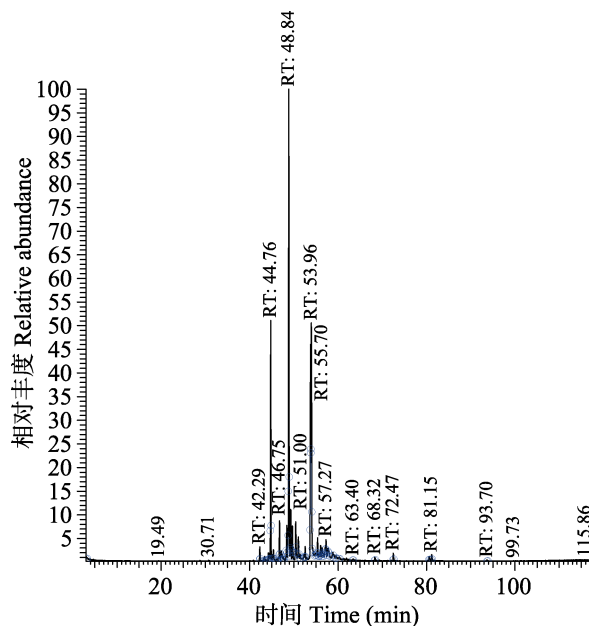


图 1 马缨丹叶片精油 GC-MS 总电子流图
Fig. 1 Gas chromatogram mass spectrometry of essential oil of *Lantana camara* leaf

2.3.2 马缨丹精油对白蚁的毒杀作用 马缨丹叶片精油对白蚁的毒杀活性如图 3。此试验的毒杀活性包括了触杀、胃毒和熏蒸等作用。在浓度为 20 μg/cm² 时, 白蚁放入 3 h 便出现击倒现象, 24 h 开始出现死亡, 且死亡率达到 42%。3 d 后白蚁的死亡率趋于稳定, 精油浓度为 20、10、5 μg/cm² 处理的滤纸膜中, 死亡率分别为 64%、26%、12%。图 3 表明, 高浓度 (20 μg/cm²) 精油处理短时间内即引起白蚁死亡, 说明熏蒸作用在精油对白蚁的毒性中占主导地位。其他 2 种浓度处理与对照处理的死亡率差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3.3 马缨丹精油对白蚁的触杀作用 用点滴法测定的马缨丹精油对白蚁触杀作用结果如图 4。

表 1 马缨丹叶片精油中主要化合物及其含量
Table 1 Composition and content of essential oil of *Lantana camara*

	化合物 Compound	保留时间 Retain time (min)	相对含量 Relative content (%)
1	萜澄茄烯 Cubebene	42.29	0.97
2	β -榄香烯 β -elemen	43.40	0.39
3	柏木烯 Cedren	44.24	0.53
4	姜烯 Zingiberene	44.46	0.41
5	β -石竹烯 β -caryophyllene	44.76	16.36
6	蒾烯 Copaene	45.19	0.29
7	葎草烯 Humulene	46.75	2.56
8	香橙烯 Aromadendrene	47.16	0.55
9	大香叶烯-D Germacrene-D	48.41	2.17
10	姜黄烯 Curcumene	48.63	0.28
11	α -姜黄烯 α -curcumene	48.84	32.76
12	榄香烯 Elemene	49.29	3.44
13	α -衣兰油烯 α -muurolene	49.66	2.98
14	衣兰油烯 Muurolene	50.41	2.44
15	杜松烯 Cadinene	51.00	1.44
16	大香叶烯 B Germacrene B	52.55	0.78
17	桉油烯醇 Spathulenol	53.75	10.48
18	石竹烯氧化物 Caryophyllene oxide	53.96	12.22
19	反石竹烯氧化物 (-)-caryophyllene oxide	55.36	1.23
20	萜澄茄油烯醇 Cubenol	56.40	0.52
21	T-毕澄茄醇 T-cadinol	57.27	0.89
22	(+)桉油烯醇 (+) Spathulenol	57.61	0.43
23	毕澄茄醇 Cadinol	57.95	0.33
24	十六烷酸 Hexadecanoic acid	72.47	0.57
25	亚麻酸甲酯 Methyl linolenate	80.61	0.33
26	叶绿醇 Phytol	81.15	0.49
	共计 Total	-	95.84

表 2 马缨丹精油对米象成虫和Ⅳ龄埃及伊蚊幼虫的毒力
Table 2 Toxicity of essential oil on adult of *Sitophilus oryzae* and fourth instar larvae of *Aedes aegypti*

昆虫种类 Insect species	毒力回归方程 Toxicity regression equations	相关系数 Coefficient (r)	LC ₅₀ , 95% CL
米象成虫 <i>Sitophilus oryzae</i>	$y=0.13+3.48x$	0.98	0.92 (0.65-1.11) mg/cm ²
龄埃及伊蚊 Fourth instar larvae of <i>Aedes aegypti</i>	$y= - 3.04+2.02x$	1.00	32.33 (26.40-38.58) μ g/mL

10 d 后在精油浓度为 2、1、0.5 μ g/ μ L 时对白蚁触杀作用死亡率分别为 17%、20%和 7%，低浓

度 (0.5 μ g/ μ L) 的触杀死亡率与丙酮处理和未处理差异不显著，高浓度处理与对照差异显著。

说明马缨丹精油在一定浓度范围内对白蚁具有一定的触杀作用。

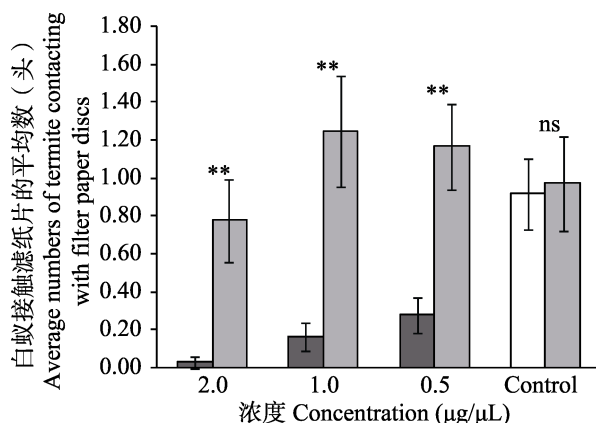


图2 马缨丹精油对白蚁驱避作用活性测定

Fig. 2 Repellent effect of essential oil of *Lantana camara* leaves on *Reticulitermes flavipes*

图为马缨丹叶片精油对白蚁驱避作用测定中 60 min 内的小纸片上白蚁的数量, 其中每个处理有 9 个数据。

□: 表示未做处理的小滤纸片; ▨: 表示经过丙酮处理过的小滤纸片; ■: 表示不同浓度精油丙酮溶液处理过的小滤纸片; **表示两小滤纸片之间存在显著性差异; ns: 表示两两小滤纸片之间不存在显著性差异 (配对样本 *t*-检验, $P < 0.05$)。

Repellency of essential oil of *L. camara* leaves on *R. flavipes* workers during a 60 min paper disc choice test (nine counts per disc). □: Untreated filter paper disc;

▨: Acetone solvent treated filter paper disc;

■: Extract-treated filter paper disc; ** indicates significant difference and "ns" indicates no significant difference between the two paper discs by Paired *t*-tests at $P < 0.05$.

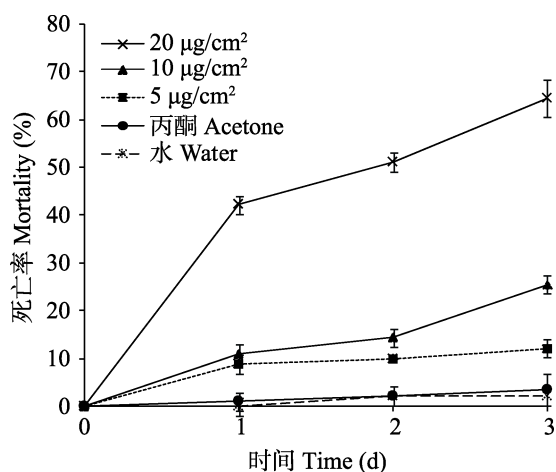


图3 马缨丹叶片精油对白蚁毒杀作用测定

Fig. 3 Toxicity of essential oil of *Lantana camara* leaves on *Reticulitermes flavipes*

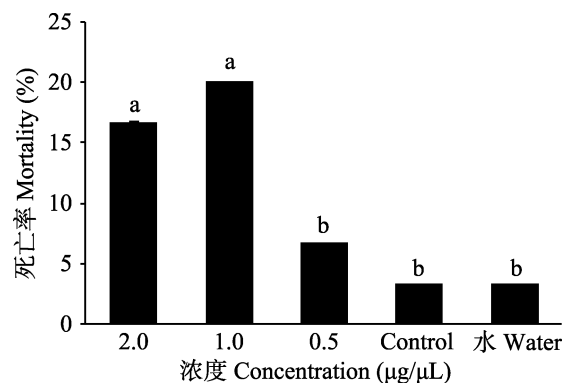


图4 马缨丹叶片精油对白蚁触杀作用活性测定

Fig. 4 Contact toxicity of essential oil of *Lantana camara* leaves on *Reticulitermes flavipes*

3 结论与讨论

在自然进化过程中,植物可以利用次生代谢物质来防御其他生物对自身机体的危害。植物精油是从芳香植物中分离提取出的有特征香味的挥发性的植物次生代谢物质(杨念婉和李艾莲, 2007)。据报道,某些植物精油早已应用于防治储粮害虫和卫生害虫。由于植物与昆虫在长期的协同进化中形成复杂的化学通讯,其代谢产物用于防御害虫对其危害。植物精油对害虫的生物活性主要表现在驱避、拒食、引诱、触杀、熏蒸、抑制生长发育等方面(Yatagai *et al.*, 2002; Choi *et al.*, 2003; Górski, 2004; Sampson *et al.*, 2004; Mauchline *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2006; 曾庆钱等, 2006; 赵晓燕和侯有明, 2006; Dua *et al.*, 2010)。

近年来科学家更加注重对人类健康和环境影响较小的天然产物杀虫剂的研究(Forschler and Jenkins, 2000),自然界中植物资源丰富,高等植物种类繁多,经研究发现某些高等植物的代谢产物有抗菌和杀虫活性(Addor, 1995; Zhu *et al.*, 2001),是未来害虫防治的替代产品,研究植物天然代谢产物中具有生物活性的化合物,明确其结构,通过仿生合成,可为开发具有新的作用机理的选择性杀虫杀菌剂提供新的途径(Duke, 1990; Mao and Henderson, 2007)。马缨丹精油对多种害虫和菌类有特殊的作用,因此该植物在对有害生物的生物活性、化感作用等方

面有良好的应用前景,从而能发展为新型的植物源农药产品。

本研究是对 8 月份采自福州的马缨丹干叶片精油进行提取,并用 GC-MS 对其化学成分进行分析,了解马缨丹精油中的主要化合物,并探讨了对米象、龄埃及伊蚊幼虫及白蚁生物活性。结果表明,马缨丹叶片精油中的化合物成分繁多,有单萜类、含氧单萜类以及倍半萜类、含氧倍半萜类等多种化合物,初步分析有近 50 种化合物,其中 26 种化合物含量较多, α -姜黄烯、 β -石竹烯、石竹烯氧化物和桉油烯醇相对含量均超过 10%。植物中代谢产物成分组成、含量会因为采集部位、采集季节、品种和生长地有所差异。国内外均有对马缨丹精油的研究,但主要成分和相对含量均有不同。国内对马缨丹精油的研究中,对采自于广州的马缨丹干叶挥发油成分进行研究,彭富全等(2006)共分离出 27 种化学成分,其中主要成分为香橙烯(相对含量 18.63%),异丁香烯(15.90%), α -丁香烯(13.43%),[+]-Aromadendrene junipene(9.07%), β -榄香素等(5.77%);周晔(2009)鉴定出了 48 种化学成分,含量较高的组分是石竹烯(相对含量 15.07%)、 α -葎草烯(15.22%)、 β -蒾澄茄萜(8.78%)等;任立云等(2006)鉴定出了 43 种化合物,主要成分为桉树脑(相对含量 11.76%)、反式-石竹烯(10.48%)、 β -蛇床烯(7.51%)等。何小稳等(2014)对产自海南的马缨丹嫩枝叶挥发油共鉴定出了 69 种成分,主要有大根香叶烯 D(相对含量 23.89%)、 α -石竹烯(18.76%)、 β -石竹烯(8.57%)、大根香叶烯 B(7.15%)等。刘少群和贾正晖(2002)研究发现马缨丹叶片挥发油化学成分主要是 α -石竹烯和 β -石竹烯,相对含量分别为 16.29%和 22.29%。国外各研究学者对马缨丹精油研究也相对较多,Zoubiri 等(2012)用水蒸气蒸馏法提取马缨丹叶片精油,发现精油中包含大量的倍半萜,主要化合物为 β -石竹烯(相对含量 35.7%)和石竹烯氧化物(10.04%)。Hernandez 等(2005)等通过 GC 和 GC-MS 对马缨丹地上部分精油进行鉴定,发现 18 种化学成分,其中香芹酚

(30.64%)、 α -红没药醇(11.23%)、异石竹烯(10.73%)含量最为丰富。Zandi-Sohani 等(2012)在马缨丹精油驱虫杀虫活性的研究中,提取并分析精油中的化学成分,倍半萜类化合物含量较高,主要为 α -葎草烯(23.3%),顺式石竹烯(16.2%)。Machado 等(2012)研究精油毒性作用中对其成分进行评估,在发现的 30 中化合物中,只要化合物是单萜类,最具有代表性的化合物成分为:大香叶烯-D(24.90%)、金合欢烯类(22%);Murugesan 等(2012)测定马缨丹叶片精油杀虫活性中,分析鉴定重要化合物 36 种,主要化合物为 α -蒾烯、大香叶烯-B & D,蒾澄茄烯(Cubebene)、 β -榄香烯等化合物。

马缨丹叶片精油对米象成虫、龄埃及伊蚊幼虫致死 LC_{50} 分别为 0.92 mg/cm^2 、 $32.33 \text{ }\mu\text{g/mL}$,高浓度精油对白蚁也具有毒杀和触杀作用。已有研究表明,马缨丹挥发油对美洲斑潜蝇的产卵、取食有驱避作用(任立云等,2006);马缨丹的乙醇提取物对萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* 有忌避作用,并能抑制其种群的增长(周琼等,2002);马缨丹总岩茨烯对小菜蛾 *Plutella xylostella* 和斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 幼虫有拒食作用(董易之等,2005);马缨丹提取物对绿豆象 *Callosobruchus chinensis*、谷蠹 *Rhizopertha dominica*、玉米象 *Sitophilus zeamais* 等有杀虫活性(Saxena et al., 1992; El-Lakwah et al., 1996; Bouda et al., 2001);马缨丹氯仿提取物对黄胸散白蚁 *Reticulitermes flavipes*、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 有拒食作用和毒杀作用(Verma, 2006; Yuan and Hu, 2012; 申翠翠等, 2014);马缨丹精油对蚊子成虫有驱虫和毒杀作用(Innocent et al., 2008; Dua et al., 2010)。本研究进一步证实了马缨丹精油对昆虫的生物活性,是对前人研究的有益补充。

目前的研究表明马缨丹提取物在驱虫、杀虫、抑菌等活性方面有广阔的开发前景,但是由于各种原因,对马缨丹的研究只是停留在对其组成成分分析和对粗提物的活性测定层面,分离出活性较高的化合物,进行仿生合成新型杀虫杀菌剂,研究其防治谱,并进行推广应用还需要进行

更多的工作。目前已有植物精油应用于害虫防治(王巨媛和翟胜, 2010)。马缨丹叶片精油以入侵植物马缨丹叶片为原料, 提取方法简单, 且成本较低, 叶片采集方便等, 本实验研究结果对开发马缨丹精油防治害虫提供了科学依据。

参考文献 (References)

- Abdel-Hady NM, Abdei-Halim AS, Al-Ghadban AM, 2005. Chemical composition and insecticidal activity of the volatile oils of leaves and flowers of *Lantana camara* L. cultivated in Egypt. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, 35(2): 687–698.
- Addor RW, 1995. Insecticides// Godfrey CRA(eds.). *Agrochemicals from Natural Products*. New York: Marcel Dekker. 1–62.
- Bläske VU, Hertel H, 2001. Repellent and toxic effects of plant extracts on subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *J. Econ. Entomol.*, 94(5): 1200–1208.
- Bouda H, Tapondjou LA, Fontem DA, Gumedzoe MYD, 2001. Effect of essential oils from leaves of *Ageratum conyzoides*, *Lantana camara* and *Chromolaena odorata* on the mortality of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera, Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.*, 37(2): 2883–2885.
- Chen J, 1988. Permethrin dripmeans to observe experiment in the Reticulitermes effectiveness of pesticides. *Science and Technology of Termites*, 5(2): 19–22. [陈驹, 1988. 二氯苯醚菊酯(氯菊酯)点滴法对散白蚁药效观察试验. 白蚁科技, 5(2): 19–22.]
- Choi WI, Lee EH, Choi BR, Park HM, Ahn YJ, 2003. Toxicity of plant essential oils to *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.*, 96(5): 1479–1484.
- Ding L, Du F, Zhang DC, 2006. A study of alien invasive plant in Yunnan province. *Journal of West China Forestry Science*, 35(4): 98–103, 108. [丁莉, 杜凡, 张大才, 2006. 云南外来入侵植物研究. 西部林业科学, 35(4): 98–103, 108.]
- 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.]
- Dua VK, Pandey AC, Dash AP, 2010. Adulticidal activity of essential oil of *Lantana camara* leaves against mosquitoes. *Indian J. Med. Res.*, 131(3): 434–439.
- Duke SO, 1990. Natural pesticides from plants// Janick J, Simon JE(eds.). *Advances in New Crops*. Oregon: Timber Press. 511–517.
- El-Lakwah FA, Hamed MS, Abdel-Latif AM, 1996. Effectiveness of *Lantana camara* and *Nerium olender* extracts alone and in mixtures with two insects against *Rhizopertha dominica* (F.). *Ann. Agr. Sci. Moshtohor*, 34(4): 1879–1905.
- Forschler BT, Jenkins TM, 2000. Subterranean termites in the urban landscape: understanding their social structure is the key to successfully implementing population management using bait technology. *Urban. Ecosys.*, 4(3): 231–251.
- Ghisalberti EL, 2000. *Lantana camara* L. (Verbenaceae). *Fitoterapia*, 71(5): 467–486.
- Górski R, 2004. Effectiveness of natural essential oils in the monitoring of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood). *Folia Horticulturae*, 16(1): 183–187.
- He XW, Yi GH, Ma YZ, Xue WL, Guo H, 2014. GC/MS analysis of essential oils from fresh flowers, leaves and twigs of *Lantana camara* L. growing in Hainan province. *Journal of Hainan Medical University*, 20(2): 162–164. [何小稳, 易国辉, 马寅正, 薛炜玲, 郭虹, 2014. 海南产新鲜马缨丹花和嫩枝叶挥发油的 GC/MS 分析. 海南医学院学报, 20(2): 162–164.]
- Hernandez T, Canales M, Avila JG, Garcia AM, Martinez A, Caballero J, Vivar AR, Lira R, 2005. Composition and antibacterial activity of essential oil of *Lantana achyranthifolia* Desf. (Verbenaceae). *J. Ethnopharmacol.*, 96(3): 551–554.
- Innocent E, Joseph CC, Gikonyo NK, Moshi MJ, Nkunya MHH, Hassanali A, 2008. Mosquito larvicidal constituents from *Lantana viburnoides* sp. *viburnoides* var *kisi* (A. rich) Verdc (Verbenaceae). *J. Vector. Borne. Dis.*, 45(3): 240–244.
- IUCN, 2000. 100 of the world's worst invasive alien species, a selection from the global invasive species database. ISSG.
- Kim NJ, Chang KS, Lee WJ, Ahn YJ, 2007. Monitoring of insecticide resistance in field-collected populations of *Culex pipiens pallens* (Diptera: Culicidae). *J. Asia-Pac. Entomol.*, 10(3): 257–261.
- Lin Y, Dai ZC, Si CC, Du DL, 2008. A study survey and prospect on invasive condition and invasive mechanism of *Lantana camara* L. *Journal of Hainan Normal University (Natural Science)*, 21(1): 87–93. [林英, 戴志聪, 司春灿, 杜道林, 2008. 入侵植物马缨丹(*Lantana camara*)入侵状况及入侵机理研究概况与展望. 海南师范大学学报(自然科学版), 21(1): 87–93.]
- 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 SQ, Jia ZH, 2002. Biological activity of aqueous extract and volatile oil from the leaf of *Lantana camara* and its chemical constituents. *Guihaia*, 22(2): 185–188. [刘少群, 贾正晖, 2002. 马缨丹叶片水提取物与挥发油的生物活性及化学成分研究. 广

- 西植物, 22(2): 185–188.]
- Lu P, Qiu GF, Xiao SQ, Luo Y, Li ZQ, 1999. Study on essential oil components in *Momordica charantia* Linn. *Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine*, 15(4): 219. [路平, 邱国福, 肖生强, 罗勇, 李宗清, 1999. 苦瓜果肉挥发油成分研究. 南京中医药大学学报, 15(4): 219.]
- Ma JH, Luo Q, Yuan Y, 2003. An integral utility value and developing prospect of *Lantana camara*. *Journal of Xichang Agricultural College*, 17(1): 28–29. [马金华, 罗强, 袁颖, 2003. 马缨丹的综合利用价值及其发展前景. 西昌农业高等专科学校学报, 17(1): 28–29.]
- Machado RRP, Júnior WV, Lesche B, Coimbra ES, Souza NBD, Abramo C, Soares GLG, Kanlan MAC, 2012. Essential oil from leaves of *Lantana camara*: a potential source of medicine against leishmaniasis. *Rev. Bras. Farmacogn.*, 22(5): 1011–1017.
- Mao L, Henderson G, 2007. Antifeedant activity and acute and residual toxicity of alkaloids from *Sophora flavescens* (Leguminosae) against formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *J. Econ. Entomol.*, 100(3): 866–870.
- Mauchline AL, Osborne JL, Martin AP, Poppy GM, Powell W, 2005. The effects of non-host plant essential oil volatiles on the behaviour of the pollen beetle *Meligethes aeneus*. *Entomol. Exp. Appl.*, 114(3): 181–188.
- Murugesan S, Rajeshkannan C, Babu DS, Sumathi R, Manivachakam P, 2012. Identification of insecticidal properties in common weed -*Lantana camara* Linn by gas chromatography and mass spectrum (GC-MS-MS). *Adv. Appl. Sci. Res.*, 3(5): 2754–2759.
- Pass MA, 1991. Poisoning of livestock by *Lantana* plants//Keeler R, Anthony T (eds.). *Handbook of Natural Toxins*, vol. , Toxicology of Plants and Fungal Compounds. New York: Marcel Dekker. 297–311.
- Pei J, Chen SL, 1982. *Flora of China*. Vol. 65: part one. Beijing: Science and Technology Press. 17–18. [裴鉴, 陈守良, 1982. 中国植物志第六十五卷: 第 1 分册. 北京: 科学技术出版社. 17–18.]
- Peng FQ, Zhou N, Wei G, 2006. Analysis of chemical constituents of volatile oil by gas chromatography-mass spectrometry. *Lishizhen Medicine & Materia Medica Research*, 17(3): 362–363. [彭富全, 周宁, 魏刚, 2006. 五色梅叶挥发油成分的气相色谱-质谱联用分析. 时珍国医国药, 17(3): 362–363.]
- Ren LY, Zeng L, Lu YY, Huang SS, Zhang MX, 2006. Deterrence effect of *Lantana camara* L. essential oil on adult of *Liriomyza sativae* Blanchard. *Journal of Guangxi Agricultural & Biological Science*, 25(1): 43–47. [任立云, 曾玲, 陆永跃, 黄寿山, 张茂新, 2006. 马缨丹挥发油成分及其对美洲斑潜蝇成虫产卵、取食行为的影响. 广西农业生物科学, 25(1): 43–47.]
- Ross IA, 1999. *Medicinal Plants of the World*. Volume 1: Chemical Constituents, Traditional and Modern Medical Uses. New Jersey: Humana Press. 487.
- Saleh M, 1974. Gas-chromatographic analysis of the essential oil of *Lantana camara* L. varieties. *Planta Medica*, 25(4): 373–375.
- Sampson BJ, Tabanca N, Kirimer N, Demirci B, Baser KHC, Khan IA, Spiers JM, Wedge DE, 2005. Insecticidal activity of 23 essential oils and their major compounds against adult *Lipaphis pseudobrassicar* (Davis) (Aphididae: Homoptera). *Pest Manag. Sci.*, 61(11): 1122–1128.
- Saxena RC, Dixit OP, Harshan V, 1992. Insecticidal action of *Lantana camara* against *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored. Prod. Res.*, 28(4): 279–281
- Seawright AA, Everist SL, Hrdlicka J, 1983. Comparative features of *Lantana*, *Myoporum* and *Pimelea* toxicities in livestock//Keeler RF, Tu AT(eds.). *Plant and Fungal Toxins*. New York: Marcel Dekker Inc. 511–541.
- Sharma OP, Sharma S, Patabhi V, Mahato SB, Sharma PD, 2007. A review of the hepatotoxic plant *Lantana camara*. *Crit. Rev. Toxicol.*, 37(4): 313–352.
- Sharma OP, Makar HPS, Dawra RK, 1988. A review of the noxious plant *Lantana camara*. *Toxicon Official Journal of the International Society on Toxinology*, 26(11): 975–987.
- 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)*, 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.]
- Verma RK, Verma SK, 2006. Phytochemical and termiticidal study of *Lantana camara* var. *aculeata* leaves. *Fitoterapia*, 77(6): 466–468.
- Wang KZ, 1999. The advantages and disadvantages of *Lantana camara* L. *Plant Journal*, (3): 10–11. [汪开治, 1999. 马缨丹利弊说. 植物杂志. (3): 10–11.]
- Wang JY, Zhai S, 2010. Advance and development prospect of plant essential oil. *Jiangsu Agricultural Science*, (4): 1–3. [王巨媛, 翟胜, 2010. 植物精油应用进展及开发前景展望. 江苏农业科学, (4): 1–3.]
- Wang SY, Lai WC, Chu FH, Lin CT, Shen SY, Chang ST, 2006. Essential oil from the leaves of *Cryptomeria japonica* acts as a silverfish (*Lepisma saccharina*) repellent and insecticide. *J. Wood. Sci.*, 52(6): 522–526.
- Yang NW, Li AL, 2007. Advances in the research of plant essential oils for pest control. *Plant Protection*, 33(6): 16–21. [杨念婉, 李艾莲, 2007. 植物精油应用于害虫防治研究进展. 植物保护,

- 33(6): 16–21.]
- Yao YJ, Yang CJ, Xue D, 2006. Bioactivities of extracts from *Acorus gramineus* Soland against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 25(6): 614–617. [姚英娟, 杨长举, 薛东, 2006. 石菖蒲提取物对玉米象的驱避和触杀作用. 华中农业大学学报, 25(6): 614–617.]
- Yatagai M, Makihara H, Oba K, 2002. Volatile components of Japanese cedar cultivars as repellents related to resistance to *Cryptomeria* bark borer. *J. Wood Sci.*, 48(48): 51–55.
- 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.
- Zandi-Sohani N, Hojjati M, Carbonell-Barrachina Á, 2012. Bioactivity of *Lantana camara* L. essential oil against *Callosobruchus maculatus* (Fabricius). *Chil. J. Agr. Res.*, 72(4): 502–506.
- Zeng QQ, Yan Z, Mo XL, Wang YS, Wang XG, 2006. Antifeedant activity of *Pogostemon cablin* essential oils against *Spodoptera litura*. *Agrochemicals*, 45(6): 420–421. [曾庆钱, 严振, 莫小路, 王玉生, 汪小根, 2006. 广藿香精油对斜纹夜蛾拒食活性. 农药, 45(6): 420–421.]
- Zhao H, Zhang MX, Ling B, Zhang SJ, Cong B, Liang GW, 2003. The influence of non-host plant volatiles on olfactory, feeding and oviposition behavior of *Phyllotreta striolata* Fabricius. *Journal of South China Agricultural University*, 24(2): 38–40. [赵辉, 张茂新, 凌冰, 张世军, 丛斌, 梁广文, 2003. 非寄主植物挥发油对黄曲条跳甲成虫嗅觉、取食及产卵行为的影响. 华南农业大学学报, 24(2): 38–40.]
- Zhao XY, Hou YM, 2006. Bioactivity of the essential oil from dragon juniper against diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Entomological Knowledge*, 43(1): 57–60. [赵晓燕, 侯有明, 2006. 龙柏精油对小菜蛾的生物活性. 昆虫知识, 43(1): 57–60.]
- 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). *Agricultural Sciences in China*, 35(11): 356–360. [周琼, 梁广文, 曾玲, 沈淑萍, 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, 35(11): 356–360.]
- Zhou Y, 2009. Studies on the chemical constituents in the essential oil from *Lantana camara* L. *Asia-Pacific Traditional Medicine*, 5(7): 25–28. [周晔, 2009. 马缨丹挥发油的化学成分分析. 亚太传统医药, 5(7): 25–28.]
- Zhu XW, Li HZ, 2002. Chemical composition and biological activities of *Lantana camara* L. *Foreign Medicine*, (3): 93–96. [朱小微, 李红珠, 2002. 马缨丹化学成分与生物活性. 国外医药(植物药分册), (3): 93–96.]
- Zhu BCR, Henderson G, Chen F, Maistrello L, Laine RA, 2001. Nootkatone is a repellent for Formosan subterranean termite (*Coptotermes formosanus*). *J. Chem. Ecol.*, 27(3): 523–531.
- Zoubiri S, Baaliouamer A, 2012. GC and GC/MS analyses of the Algerian *Lantana camara* leaf essential oil: effect against *Sitophilus granarius* adults. *J. Saudi. Chem. Soc.*, 16(3): 291–297.