

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2017.06.005

## 美花红千层叶片和果实挥发油化学成分及抗菌活性分析

祝一鸣, 刘 易, 王 伟, 吴奉奇, 王 军, 单体江

(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东省森林植物种质创新与利用重点实验室, 广东 广州 510642)

**摘要:** 采用水蒸汽蒸馏法分别提取美花红千层 *Callistemon citrinus* 叶片和果实中的挥发油, 通过 GC-MS 分析鉴定其化学组成, 并通过抑菌圈法测定挥发油对根癌土壤杆菌 (*Agrobacterium tumefaciens*, G<sup>-</sup>)、枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*, G<sup>+</sup>)、桉树青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*, G<sup>-</sup>)、番茄疮痂病菌 (*Xanthomonas vesicatoria*, G<sup>-</sup>) 和溶血葡萄球菌 (*Staphylococcus haemolyticus*, G<sup>+</sup>) 的抑制活性。结果表明, 叶片和果实中的挥发油得率分别为 0.16% 和 0.48% (鲜重); 从美花红千层叶片挥发油中共鉴定出 29 种成分, 占总相对含量的 92.84%, 其中主要成分为桉叶油醇 (50.67%)、 $\alpha$ -蒎烯 (19.27%)、2-蒎烯 (7.85%)、D-柠檬烯 (3.32%) 和 *p*-伞花烃 (2.26%), 从果实挥发油中共鉴定出 27 种成分, 占总相对含量的 91.71%, 其中主要成分为  $\alpha$ -蒎烯 (40.91%)、桉叶油醇 (38.57%)、柠檬烯 (3.99%) 和间异丙基甲苯 (2.21%)。叶片和果实挥发油中共有组分只有 7 种, 且同一种组分在相对含量上差异较大。美花红千层叶片和果实挥发油对 5 种供试细菌均表现出较强的抑制活性, 且叶片挥发油的抑菌活性明显强于果实挥发油和阳性对照硫酸链霉素。

**关键词:** 美花红千层; 挥发油; 化学成分; 抗菌活性

中图分类号: S789.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776 (2017) 06-0029-06

## Analysis on Composition and Antimicrobial Activity of Volatile Oils from Leaves and Fruits of *Callistemon citrinus*

ZHU Yi-ming, LIU Yi, WANG Wei, WU Feng-qi, WANG Jun, SHAN Ti-jiang

(Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm, College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** The volatile oil was extracted from fresh leaves and fruits of *Callistemon citrinus* by hydro-distillation method, with yield of 0.16% and 0.48% respectively. 29 components were identified from extracted oil of leaves and 27 ones of fruits by gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS), which accounted for 92.84% and 91.71% of their total volatile substance. Among them from leaves, Eucalyptol occupied 50.67%,  $\alpha$ -Pinene 19.7%,  $\alpha$ -Borneol 7.85%, D-Limonene 3.32% and *p*-Cymol 2.26%, and that from fruits,  $\alpha$ -Pinene 40.91%, Eucalyptol 38.57%, D-Limonene 3.99% and 3-Isopropyltoluene 2.21%. There were only 7 components could be extracted from leaves and fruits, and their relative content was different between leaves and fruits. Experiments were conducted on antimicrobial activities of volatile oil from leaves and fruits with streptomycin sulphate as control against *Agrobacterium tumefaciens*, *Bacillus subtilis*, *Ralstoniasolanacearum*, *Xanthomonasvesicatoria* and *Staphylococcus haemolyticus* showed that volatile oil from leaves was much better than that from the fruit and the control.

**Key words:** *Callistemon citrinus*; volatile oils; chemical composition; antibacterial activity

收稿日期: 2017-04-16; 修回日期: 2017-10-16

基金项目: 广东省自然科学基金 (2017A030313200); 国家青年自然科学基金 (31400544)

作者简介: 祝一鸣, 在读硕士, 从事植物和微生物次生代谢产物的研究; E-mail: zhu\_yiming1992@foxmail.com。通信作者: 单体江, 博士, 讲师, 从事植物和微生物次生代谢产物的研究; E-mail: tjshan@scau.edu.cn。

美花红千层 *Callistemon citrinus* (Curtis) Skeels 是桃金娘科 Myrtaceae 红千层属 *Callistemon* 植物<sup>[1]</sup>。桃金娘科植物约有 80 多属 3 000 多种, 主要分布在美洲、大洋洲的热带及亚热带地区<sup>[2]</sup>。红千层属植物由于开花时间长、姿态优美、花型奇特、花色艳丽等被广泛的应用在街道、公园、小区庭院的绿化中<sup>[3]</sup>。美花红千层原产澳大利亚, 也被称为硬枝红千层, 在广州地区栽培较多<sup>[1]</sup>。植物挥发油, 又称为植物精油, 是一种从植物中提取的具有挥发性并且可以被水蒸汽蒸馏出来的油状液体, 大多为无色或淡黄色, 难溶于水, 易溶于无水乙醇、乙醚、氯仿、石油醚等<sup>[4]</sup>。植物挥发油由于其低毒、高效、易分解等特点, 可作为天然杀菌剂、杀虫剂和抗氧化剂, 目前已引起人们越来越多的重视<sup>[5-6]</sup>。红千层属植物枝叶含有丰富的挥发性成分, 其主要成分为 1,8-桉叶素和  $\alpha$ -蒎烯, 具有较好的抗菌、杀虫、消炎、抗肿瘤等活性, 极具研究价值和潜力<sup>[7-9]</sup>。

美花红千层枝叶挥发油成分已有报道<sup>[10]</sup>, 但尚未见果实挥发油成分分析及其抗菌活性的报道。本研究采用水蒸汽蒸馏法分别提取美花红千层叶片和果实中的挥发油, 通过 GC-MS 分析鉴定其化学组成, 并通过抑菌圈法测定挥发油对 5 种供试细菌的抑制活性, 以期在美花红千层的推广种植以及挥发油资源的综合开发和利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 植物材料 美花红千层叶片和果实于 2014 年 8 月 5 日采自华南农业大学湿地公园(标本由华南农业大学林学院郑明轩老师鉴定, 植株于 2011 年春季种植), 叶片和果实采自同一植株, 果实为成熟果实, 将带有果实的枝条剪下后立即放入保鲜袋, 带回实验室后, 分别摘取果实和果实前端的所有叶片用于挥发油的提取。

1.1.2 供试细菌 供试细菌为根癌土壤杆菌 (*Agrobacterium tumefaciens*, G<sup>-</sup>)、枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*, G<sup>+</sup>)、桉树青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*, G<sup>-</sup>)、番茄疮痂病菌 (*Xanthomonas vesicatoria*, G<sup>-</sup>) 和溶血葡萄球菌 (*Staphylococcus haemolyticus*, G<sup>+</sup>) 共 5 种细菌, 均由华南农业大学林学与风景园林学院森林保护教研室提供。

1.1.3 仪器与试剂 水蒸汽蒸馏装置(北京永光明医疗仪器厂); 6890N-5975C 气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) (美国安捷伦科技有限公司); 硫酸链霉素(美国 Sigma 公司); C<sub>8</sub>-C<sub>40</sub> 系列正构烷烃(美国 Sigma 公司); 氯化钠、无水乙醚、无水硫酸钠、二氯甲烷等均为国产分析纯(北京化学试剂公司)。

### 1.2 方法

1.2.1 挥发油的提取 参照 Lou 等<sup>[11]</sup>方法, 称取美花红千层叶片 700 g 和果实 1 000 g, 分别装入 5 L 水蒸汽蒸馏装置内, 加入约 2.5 L 蒸馏水, 待温度升至 100℃ 后连续蒸馏 6 h, 收集蒸出的挥发油, 而后向油水混合物中加入一定量的 NaCl (分析纯, 每毫升挥发油混合物加 2 mg 的 NaCl), 用 2 倍体积的无水乙醚(分析纯)萃取 3 次, 萃取液合并, 加入 1 g 无水硫酸钠(分析纯)进行干燥, 让乙醚自然挥发, 挥发后计算其得率, 4℃ 密封保存在棕色药品瓶中。

1.2.2 挥发油化学组分的 GC-MS 分析 挥发油化学组分鉴定在 6890 N-5975C GC-MS 上进行, 色谱柱为 DB-5 (30 m × 250  $\mu$ m × 0.25  $\mu$ m), 无分流进样, 进样量 1  $\mu$ L。升温程序: 起始温度 70℃, 保持 1 min, 接着 8℃·min<sup>-1</sup> 上升到 120℃, 保持 1 min, 然后 30℃·min<sup>-1</sup> 上升到 150℃, 保持 1 min, 其次 5℃·min<sup>-1</sup> 上升到 175℃, 保持 0 min, 1℃·min<sup>-1</sup> 上升到 180℃, 保持 0 min, 最后 5℃·min<sup>-1</sup> 上升到 240℃, 保持 0 min。离子源温度 230℃, 电离方式为 EI, 电离能量 70 eV, 载气为 He, 流速 1 mL·min<sup>-1</sup>, 全扫描采集, 质谱检测器 (MSD) 检测。通过 NIST (2011) 谱库检索, 与标准化合物的保留时间和质谱图作对比, 确定待测成分<sup>[12]</sup>。

1.2.3 挥发油抗细菌活性的测定 采用抑菌圈法测定美花红千层叶片和果实挥发油对不同供试细菌的抑制活性<sup>[13]</sup>。病原细菌由于长期保存在 -20℃ 下, 在活性测定前, 先用 LB 平板进行活化培养 (28℃, 暗) 48 h, 然后挑取单菌落, 在 LB 液体培养基中摇培 (28℃, 暗, 150 rpm) 24 h, 将菌液浓度稀释到 10<sup>8</sup> cfu·mL<sup>-1</sup>, 备用。倒好平板后, 用移液枪分别吸取 50  $\mu$ L 菌液, 用玻璃棒涂板。用灭菌的镊子夹取无菌的滤纸片放在培养皿的中

央, 然后分别在滤纸片上加入 5  $\mu\text{L}$  的挥发油, 在黑暗条件下培养 24 h 后用尺子量取抑菌圈的大小, 阳性对照为 5  $\mu\text{L}$  0.2  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  的硫酸链霉素, 每皿放 3 个滤纸片, 每个处理重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 美花红千层叶片和果实挥发油化学成分分析

采用水蒸汽蒸馏法提取美花红千层叶片和果实中的挥发油, 得率为分别为 0.16% 和 0.48% (鲜重), 说明美花红千层果实挥发油的含量远高于其叶片。采用峰面积归一化法计算出各组分的相对百分含量, 并对相对百分含量进行定量分析, 结果见表 1。

表 1 美花红千层叶片和果实挥发油成分及其相对含量测定结果  
Table 1 Ingredients and their content of volatile oils from leaves and fruits of *C. citrinus*

编号	保留时间/min	化合物	分子式	相对含量/%	
				叶片	果实
1	4.258	3-侧柏烯 3-Thujene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	—	0.19
2	4.440	$\alpha$ -蒎烯 $\alpha$ -Pinene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	19.27	40.91
3	4.734	蒎烯 Camphene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.28	—
4	5.248	$\beta$ -蒎品烯 $\beta$ -Terpinene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.40	—
6	5.248	环萜酮 Cyclofenchone	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	—	0.46
8	5.799	$\alpha$ -水芹烯 $\alpha$ -Phellandrene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.25	0.36
9	6.018	蒎品油烯 Terpinolene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	—	0.11
10	6.184	<i>p</i> -伞花烃 <i>p</i> -Cymol	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}$	2.26	—
12	6.189	间异丙基甲苯 3-Isopropyltoluene	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}$	—	2.21
13	6.307	<i>D</i> -柠檬烯 <i>D</i> -Limonene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	3.32	—
14	6.307	柠檬烯 Limonene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	—	3.99
16	6.435	桉叶油醇 Eucalyptol	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	50.67	38.57
17	6.606	葑烯 Fenchene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.18	0.06
19	6.938	3-葑烯 3-Carene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.35	—
20	6.938	$\gamma$ -蒎品烯 $\gamma$ -Terpinene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	—	0.41
22	7.590	4-葑烯 (+)-4-Carene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	0.40	0.59
24	7.692	异丙烯基甲苯 1-Isopropenyl-2-methylbenzene	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}$	0.17	—
25	7.703	2-丁烯基苯 2-butenyl-Benzene	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}$	—	0.08
26	7.884	芳樟醇 Linalool	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	0.36	—
27	7.890	2-甲基-1-乙烯基-1,5-二甲基-4-己烯醇丙酸酯 Linalylisobutyrate	$\text{C}_{14}\text{H}_{24}\text{O}_2$	—	0.50
28	8.457	葑醇 exo-Fenchol	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	0.43	0.18
29	9.034	Bicyclo[3.1.0]hexan-3-ol,4-methylene-1-(1-methylethyl)-, 3-acetate	$\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_2$	1.88	—
30	9.564	$\alpha$ -松香芹酮 $\alpha$ -Pinocarvone	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0.98	—
31	9.741	1,3-二甲基-1-环己烯 1,3-Dimethyl-1-cyclohexene	$\text{C}_8\text{H}_{14}$	—	0.19
32	9.821	2-乙基-5-甲基呋喃 2-ethyl-5-methylfuran	$\text{C}_7\text{H}_{10}\text{O}$	—	0.36
33	9.821	(1 <i>S</i> )-(−)-冰片 L(−)-Borneol	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	0.67	—
36	10.035	(−)-4-蒎品醇 (−)-4-Terpineol	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$	0.47	0.72
38	10.430	2-蒎烯 $\alpha$ -Bornene	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	7.85	—
40	11.270	4-甲基吡啶氧化物 4-Methylpyridine 1-oxide	$\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}$	0.18	—
41	11.490	2,5-二甲氧基甲苯 2,5-Dimethoxytoluene	$\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}_2$	—	0.06
42	11.575	顺式-桉萜醇 <i>cis</i> -Sabinol	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	—	0.06
43	11.655	右旋香芹酮 <i>D</i> -(+)-Carvone	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0.13	—
46	11.800	香芹艾菊酮 Carvotanacetone	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$	—	0.27
47	12.827	2'-甲氧基苯乙酮 2'-Methoxyacetophenone	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$	—	0.05
48	13.062	百里香酚 Thymol	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	0.15	—
49	13.062	香芹酚 Carvacrol	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$	—	0.18
51	16.276	( <i>Z</i> )-丁香烯 ( <i>Z</i> )-Caryophyllene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.29	—
52	17.277	$\beta$ -愈创木烯 $\beta$ -Guaiene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	—	0.04
53	17.282	$\delta$ -杜松烯 $\delta$ -Cadinene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.06	—
54	17.384	<i>N</i> -(3-乙酰基)-苯酞氨酸 <i>N</i> -(3-acetyl-phenyl)-phthalamic acid	$\text{C}_{16}\text{H}_{13}\text{NO}_4$	0.09	—
55	18.667	四甲基对苯二酚 Duroquinol	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_2$	0.19	—
56	19.898	$\gamma$ -马榄烯 $\gamma$ -Maaliene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	0.17	—
57	19.898	长叶烯 $\alpha$ -Longifolene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	—	0.13
58	20.422	$\delta$ -芹子烯 $\delta$ -Selinene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	—	0.82
59	20.427	(−)-蓝桉醇 (−)-Globulol	$\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$	0.62	—
60	20.823	绿花烯 Viridiflorene	$\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	—	0.08
61	20.860	叔丁基对苯醌 <i>tert</i> -Butyl-1,4-benzoquinone	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_2$	—	0.15
62	29.354	叶绿醇 Phytol	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}$	0.30	—
63	29.696	反油酸 <i>trans</i> -Oleic acid	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$	0.46	—

美花红千层叶片和果实总离子流图如图1、图2所示。通过GC-MS分析发现,美花红千层叶片和果实挥发油在化学组成和相对含量上都存在差异。从美花红千层叶片中共鉴定出29种化合物,占总相对含量的92.84%,其中相对含量大于10%的成分有2种,分别为桉叶油醇(50.67%)、 $\alpha$ -蒎烯(19.27%);相对含量在2%~10%之间的成分有3种,分别为2-莰烯(7.85%)、*D*-柠檬烯(3.32%)和

-伞花烃(2.26%),其余成分相对含量均小于2%。从果实挥发油中共鉴定出27种化合物,占总相对含量的91.71%,其中主要成分为 $\alpha$ -蒎烯(40.91%)、桉叶油醇(38.57%)、柠檬烯(3.99%)和间异丙基甲苯(2.21%),其余成分相对含量均小于2%。从表1可以进一步看出美花红千层叶片和果实挥发油中化合物种类都超过了25种,但其共有组分只有7种,分别为桉叶油醇、 $\alpha$ -蒎烯、 $\alpha$ -水芹烯、葑烯、4-萜烯、葑醇、(-)-4-萜品醇。且同一种组分在相对含量上差异较大。其中,美花红千层叶片挥发油中的桉叶油醇的相对含量为50.67%,明显高于果实中的38.57%,而叶片挥发油中的 $\alpha$ -蒎烯相对含量为19.27%,则明显低于果实中的40.91%。

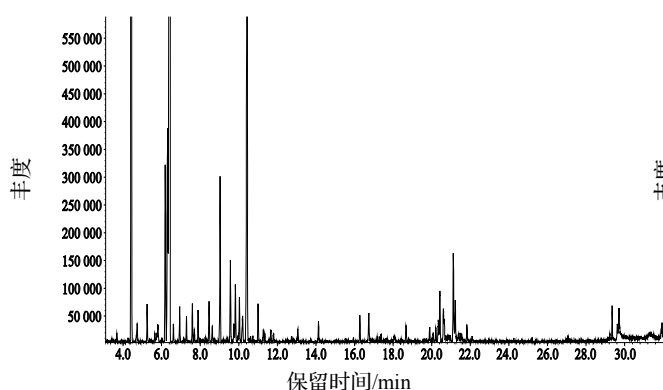


图1 美花红千层叶片挥发油总离子流图

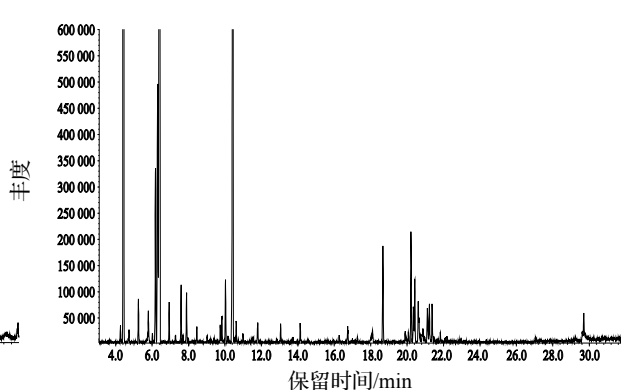


图2 美花红千层果实挥发油总离子流图

Figure 1 Totalion chromatogram (TIC) of volatile oil fromleaves of *C. citrinus*

Figure 2 TIC of volatile oil from the fruits of *C. citrinus*

## 2.2 美花红千层叶片和果实挥发油的抗菌活性

采用滤纸片扩散法测定了美花红千层叶片和果实挥发油对5种供试细菌的抑制活性,结果如图3所示。从图3可以看出,美花红千层叶片挥发油对5种供试细菌均表现出较强的抑菌活性,其活性明显强于阳性对照硫酸链霉素;其中美花红千层叶片挥发油对根癌农杆菌的抑制活性最强,其次为溶血葡萄球菌,抑菌圈直径分别为 $(34.0 \pm 0.5)$  mm和 $(33.8 \pm 2.8)$  mm;对枯草芽孢杆菌的抑制活性最弱,抑菌圈直径为 $(19.3 \pm 1.2)$  mm,但仍强于阳性对照硫酸链霉素 $(18.0 \pm 0.2)$  mm。果实挥发油对5种供试细菌的抑制活性与叶片的差别不大,抑菌圈直径范围在21.0~23.0 mm之间,其中对枯草芽孢杆菌的抑菌活性最强,抑菌圈直径为 $(23.0 \pm 1.0)$  mm,明显强于叶片挥发油 $(19.3 \pm 1.2)$  mm和硫酸链霉素 $(18.0 \pm 0.2)$  mm;果实挥发油对其他供试细菌的抑制活性均弱于叶片挥发油,对其他供试细菌的抑制活性与阳性对照差别不大。综上所述,美花红千层叶片和果实挥发油对5种供试细菌均表现出较强的抑制活性,且美花红千层叶片挥发油的抑菌活性明显强于果实挥发油。

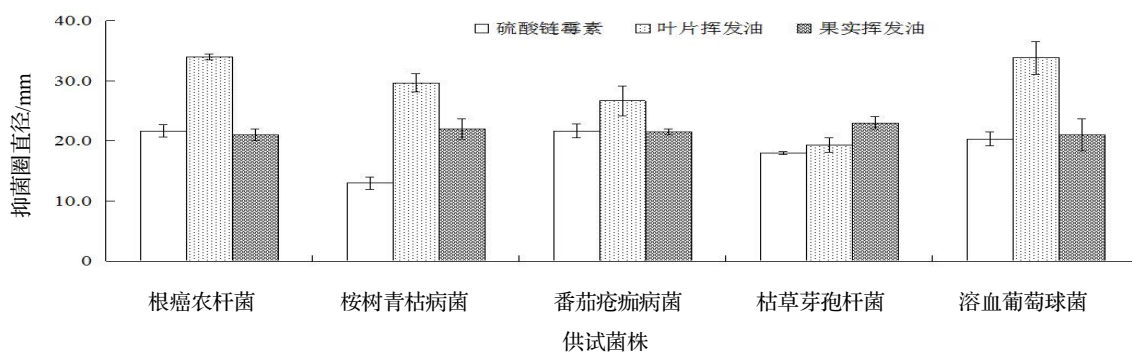


图3 美花红千层叶片和果实挥发油的抗菌活性

Figure 3 Antibacterial activity of the volatile oil from the leaves and fruits of *C. citrinus*

### 3 结论与讨论

不同的采集时间、样品产地、采集部位以及提取和分析的方法等都可能影响挥发油的组成、相对含量以及得率。本研究采用水蒸气蒸馏法从美花红千层叶片挥发油中鉴定出 29 种化合物, 主要成分为桉叶油醇 (50.67%)、 $\alpha$ -蒎烯 (19.27%)、2-蒎烯 (7.85%) 和 *D*-柠檬烯 (3.32%); 而李冬妹等<sup>[10]</sup>采用同样的方法从美花红千层叶片中鉴定出 21 种化合物, 主要成分为桉叶油醇 (40.36%)、 $\alpha$ -蒎烯 (33.18%)、 $\alpha$ -松油醇 (7.37%) 和柠檬烯 (3.57%), 虽然化合物的数量和相对含量差别较大, 但主要成分的种类差别不大, 可能与样品采集的时间、生长环境以及 GC-MS 分析条件有关。目前尚未见关于美花红千层果实挥发油化学组成成分的报道。美花红千层叶片和果实挥发油虽然在化合物的种类以及相对含量上存在差异, 但含量较高的成分均为桉叶油醇和 $\alpha$ -蒎烯, 符合红千层属植物挥发油的特性, 与其他人的研究结果一致<sup>[10,14-17]</sup>。而美花红千层果实挥发油的化学组成和相对含量是否会随着果实成熟度的变化而变化还有待于进一步的研究。

植物挥发油具有广谱的抗菌活性, 其成分主要是一些萜烯烃、芳香族化合物以及脂肪族化合物 (主要为脂肪族醛和醇)<sup>[18]</sup>。植物挥发油抗菌活性的强弱与其化学组分密切相关, 不同的植物挥发油化学成分不同, 其抗菌活性也存在差异, 植物挥发油组分抗微生物活性大小排序如下, 酚类 (活性最高) > 肉桂醛 > 醇类 > 醛类 = 酮类 > 酯类 > 碳氢化合物类<sup>[19]</sup>。本研究的结果表明美花红千层叶片和果实挥发油对 5 种供试细菌均表现出较强的抑制活性, 且美花红千层叶片挥发油的抑菌活性明显强于阳性对照和果实挥发油。本实验室前期的研究发现, 美花红千层叶片和果实挥发油对 5 种供试细菌的抑制活性明显强于池杉叶片和球果的挥发油<sup>[13]</sup>, 体现出美花红千层挥发油在生物农药、医药以及园林绿化等领域的应用潜力。美花红千层叶片挥发油中桉叶油醇的含量高达 50.67%, 其较强的抑菌活性与桉叶油醇是否具有一定联系, 还有待进一步的研究。桉叶油醇已广泛用于农业、食品、医药、日用化工等领域<sup>[20]</sup>。 $\alpha$ -蒎烯有明显镇咳和祛痰功能, 并有抗真菌 (如白念珠菌)、驱虫、杀虫和除螨的作用<sup>[21]</sup>。此外,  $\alpha$ -蒎烯、 $\beta$ -蒎烯和柠檬烯等萜烯类化合物可增强空气的清新感, 同时可以调节人体的神经系统, 对人体具有保健作用<sup>[18,22-23]</sup>。美花红千层叶片和果实挥发油对桉树青枯病菌的抑制活性明显强于阳性对照硫酸链霉素, 在营林和园林绿化时可以考虑美花红千层与桉树林混交或是作为桉树林的隔离带, 以降低桉树青枯病的大面积发生和危害。

综上所述, 美花红千层叶片和果实挥发油在化学组成和相对含量上有明显区别, 叶片挥发油的抑菌活性明显强于果实挥发油, 在今后的研究中还需进一步明确化学组成、相对含量与抗菌活性的关系; 在城市绿化中可以利用美花红千层花色艳丽、树形美观、挥发性产物具有抗菌保健等功效的特点, 合理配植, 以构建保健型生态园林城市。

#### 参考文献:

- [1] 李敏莹, 冯志坚. 红千层属观赏植物介绍及其园林应用[J]. 广东园林, 2014, 36 (1): 60-64.
- [2] Tantawy M E. Morpho-anatomical Study on Certain Taxa of Myrtaceae[J]. Asia J Plant Sci, 2004, 3 (3): 274-285.
- [3] 李伟. 澳洲红千层属 (*Callistemon* R. Br) 植物的分子系统学探讨[D]. 重庆: 西南大学, 2006: 1.
- [4] Peñuelas J, Llusià J. BVOCs: plant defense against climate warming?[J]. Trend Plant Sci, 2003, 8 (3): 105-109.
- [5] Tongnuanchan P, Benjakul S. Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation[J]. J Food Sci, 2014, 79 (7): R1231-R1249.
- [6] Dias C N, Moraes D F C. Essential oils and their compounds as *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) larvicides: review[J]. Parasitol Res, 2014, 113 (2): 565-592.
- [7] Radulović N S, Randjelović P J, Stojanović N M, et al. Aboriginal bush foods: A major phloroglucinol from Crimson Bottlebrush flowers (*Callistemon citrinus*, Myrtaceae) displays strong antinociceptive and anti-inflammatory activity[J]. Food Res Int, 2015, 77 (2): 280-289.
- [8] Siddique S, Perveen Z, Nawaz S, et al. Chemical Composition and Antimicrobial Activities of Essential Oils of Six Species from Family Myrtaceae[J]. J Essent Oil-bearing Plant, 2015, 18 (4): 950-956.
- [9] Kumar D, Sukapaka M, Babu G D, et al. Chemical Composition and In Vitro Cytotoxicity of Essential Oils from Leaves and Flowers of

- Callistemon citrinus* from Western Himalayas[J]. PLoS ONE, 2015, 10 ( 8 ) : e0133823.
- [10] 李冬妹, 伍成厚. 美花红千层挥发油的化学成分分析[J]. 顺德职业技术学院学报, 2013, 11 ( 3 ) : 16 – 18.
- [11] Lou J, Mao Z, Shan T, *et al.* Chemical Composition, Antibacterial and Antioxidant Properties of the Essential Oils from the Roots and Cultures of *Salvia miltiorrhiza*[J]. J Essent Oil-bearing Plant, 2014, 17 ( 3 ) : 380 – 384.
- [12] 马涛. 三种螟蛾生殖行为及性信息素活性组分鉴定[D]. 广州: 华南农业大学, 2014: 29.
- [13] 单体江, 唐祥佑, 刘易, 等. 池杉叶片和球果挥发油化学成分分析及抗菌活性[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37 ( 5 ) : 72 – 76.
- [14] 陶文琴, 梁锦升, 赵琳芝, 等. 垂枝红千层精油的提取及抗菌活性研究[J]. 广东农业科学, 2014, ( 6 ) : 113 – 116.
- [15] Salem M Z, Ali H M, E-Shanhorey N A, *et al.* Evaluation of extracts and essential oil from *Callistemon viminalis* leaves: Antibacterial and antioxidant activities, total phenolic and flavonoid contents[J]. Asia Pacif J Trop Med, 2013, 6 ( 10 ) : 785 – 791.
- [16] 梁忠云, 李桂珍, 李进华, 等. 柳叶红千层挥发油的化学成分研究[J]. 广东林业科技, 2010, 26 ( 3 ) : 59 – 61.
- [17] 刘布鸣, 董晓敏, 林霄, 等. 红千层挥发油的化学成分分析[J]. 清华大学学报 ( 自然科学版 ), 2010, 50 ( 9 ) : 1437 – 1439.
- [18] Abad M J, Bedoya L M, Apaza L, *et al.* The *Artemisia* L. Genus: a review of bioactive essential oils[J]. Molecules, 2012, 17 ( 3 ) : 2542 – 2566.
- [19] 李文茹, 施庆珊, 莫翠云, 等. 几种典型植物精油的化学成分与其抗菌活性[J]. 微生物学通报, 2013, 40 ( 11 ) : 2128 – 2137.
- [20] 杨辉, 刘布鸣, 韦刚, 等. 1,8-桉叶素型互叶白千层精油的质量标准研究[J]. 广西科学, 2011, 18 ( 1 ) : 52 – 55.
- [21] 杨永利, 郭守军, 马瑞君, 等. 乌榄叶挥发油化学成分分析[J]. 广西植物, 2007, 27 ( 4 ) : 662 – 664.
- [22] 殷倩, 俞益武, 高岩, 等. 3 种杉科植物挥发性有机化合物成分[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41 ( 6 ) : 23 – 26.
- [23] 高翔, 姚雷. 特定芳香植物组合对降压保健功能的初步研究[J]. 中国园林, 2011, 27 ( 4 ) : 37 – 38.