

千层金精油含量和成分变化规律研究

杨超^{1,2}, 张恕杰¹, 刘文嵩¹, 王文婷¹, 王志恒¹, 吴少华^{1,2*}, 李永裕^{1,2*}

¹福建农林大学园艺学院; ²福建农林大学园艺植物天然产物研究所, 福州 350002

摘要: 为了解不同部位和不同月份千层金精油含量和成分的变化规律, 采用水中蒸馏法对 2017 年 1~12 月下旬的千层金叶片进行精油提取, 利用 GC-MS 对其成分进行分析。结果表明: 千层金叶片不同部位中, 老叶的精油含量为 0.282%, 新叶的含量为 0.268%, 而根、茎干、枝条中精油含量极低; 在一年之中, 8 月份的精油含量最高达 1.10%, 1 月含量最低为 0.25%; 精油主要成分为甲基丁香酚; 千层金精油含量在气温高, 降水多的时候表现出较高的水平。研究结果阐明了千层金在不同月份和不同部位的精油含量和成分变化规律, 为千层金精油的高效利用与开发提供科学依据。

关键词: 千层金; 精油; 水中蒸馏法; 气相色谱-质谱

中图分类号: R284.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2019)3-0489-07

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2019.3.019

Study on the changes of contents and compositions of essential oil in *Melaleuca bracteata*

YANG Chao^{1,2}, ZHANG Shu-jie¹, LIU Wen-song¹, WANG Wen-ting¹,
WANG Zhi-heng¹, WU Shao-hua^{1,2*}, Li Yong-yu^{1,2*}

¹College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University;

²Institute of Natural Products of Horticultural Plants, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

Abstract: In order to understand the changes of the content and composition of essential oil from *M. bracteata* at different parts and different months, the essential oil in leaves of *M. Bracteata* was extracted by steam distillation from January to late December 2017, and then essential oil composition was analyzed by gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that the contents of essential oil were 0.282% and 0.268% in old leaves and new leaves of *M. bracteata*, while the contents of essential oil in roots, stems and branches were very low. In one year, the content of essential oil in August was the highest, with 1.10%; in January, it fell to the trough, with 0.25%; Methyl eugenol was the main components of essential oil. The content of essential oil in *M. bracteata* shows a higher level in the condition of high temperature and humidity. The research results discovered that the change law of contents and compositions of essential oil in different months and different parts of *M. bracteata*, this provides scientific basis for the efficient utilization and development of *M. bracteata* essential oils.

Key words: *M. bracteata*; essential oil; steam distillation method; GC-MS

千层金 (*Melaleuca bracteata*) 又名黄金宝树、黄金香柳、澳洲杉、包鳞白千层以及黄金串钱柳, 是原产自荷兰、新西兰、澳大利亚等濒海国家的喜光常绿乔木。千层金不仅具有观赏价值, 其植株中所含的

精油更是具有许多的优良特性, 国内外研究表明, 千层金精油对实蝇属害虫具有引诱效果^[1,2], 目前已有越来越多的国家开始关注将千层金精油用于农业生产上对实蝇的防治。此外千层金叶片精油对金黄色葡萄球菌、铜绿假单胞菌、紫色杆菌、红色粘质沙雷氏菌、白色粘质沙雷氏菌等具有不同程度的抗菌效果^[3,4], 因此, 千层金精油有望开发成为防控实蝇类害虫和防治植物细菌性病害的新型生物农药。然而, 目前对千层金精油的开发利用研究主要集中在精油提取工艺的优化和成分分析方面^[4-6], 尚未考虑

收稿日期: 2018-04-24 接受日期: 2018-12-18

基金项目: 国家自然科学基金(31501694); 福建省教育厅中青年
教师教育科研项目(JAT170162); 园艺学院青年骨干培
养基金(61201400722); 福建省科技计划(2018N0003);
福州市科技计划(榕科[2017]347号); 清远市科技计
划(2018A013)

* 通信作者 Tel: 86-591-83789241; E-mail: lilin3182@163.com,
wsh6677@hotmail.com

环境因素对精油含量和成分的影响。

植物精油属于次级代谢产物,其合成和积累受到环境条件的影响^[7]。高温多雨促进植物光合速率、次级代谢以及精油的积累,而气温低、降水少则影响光合作用以及碳合成的效率,造成次级代谢中精油合成下降,精油含量降低,这种规律在大马士革玫瑰 (*Rosa damascena* Mill. Landraces)^[8]、迷迭香 (*Rosmarinus officinalis* L.)^[9,10]、永州香樟 (*Cinnamomum camphora* L.)^[11]、姜黄 (*Curcuma longa* L.)^[12]、洋甘菊 (*Matricaria recutita* L.)^[13] 等植物中都得到了验证。但精油含量和成分的变化与环境之间的内在规律还需进一步的研究探讨。

本文采用水中蒸馏法提取千层金精油,GC-MS分析和测定精油的主要成分和相对含量,摸索不同部位及不同月份千层金精油含量以及成分的变化规律,探讨千层金叶片精油含量及成分变化和外界生

长温度及降水量季节变化的关系,以期为植物在不同月份和不同部位的精油变化规律提供一定的科学依据,为千层金精油的高效利用与开发提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 植物材料

千层金植物材料采自福建农林大学校内,于2017年1月下旬的晴天上午10:00随机均匀采集千层金金黄色的新叶、绿色的老叶、枝条、茎干和根用于不同部位精油分析;于2017年1~12月的各个月份下旬的晴天上午10:00随机均匀采集千层金黄色叶片用于不同月份精油含量和成分分析;采集时挑选没有病虫害,无机械损伤的千层金植物材料,洗净晾干之后备用;采样时记录外界环境温度和月平均降水量并整理于表1。

表1 采样时平均气温和降水量(2017年)

Table 1 Average temperature and rainfall during sampling in 2017

项目 Items	一月 Jan	二月 Feb	三月 Mar	四月 Apr	五月 May	六月 June	七月 July	八月 Aug	九月 Sept	十月 Otc	十一月 Nov	十二月 Dec
采样时温度 Average temperature during sampling(°C)	11.5	11.5	15.0	19.0	23.0	26.5	29.5	29.0	26.5	22.5	18.5	14.0
采样时月平均降水量 Average rainfall during sampling(mm)	50	82	130	148	201	210	113	165	145	46	37	32

1.1.2 试剂与药品

色谱甲醇、无水乙醇、无水硫酸钠等试剂购自国药集团化学试剂有限公司,均为分析纯。

1.1.3 主要仪器

LGJ-25C型冷冻干燥机(北京四环科学仪器厂有限公司);98-1-B型电子调温电热套(天津市泰斯特仪器有限公司);EL204型电子天平(上海梅特勒-托利多仪器有限公司);5810R型台式高速冷冻离心机(德国Eppendorf公司);Clarus® 680 + SQ8T型气相色谱-质谱联用仪(美国Perkin Elmer公司);Elite-5MS型色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)(美国Elite公司);中草药粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 精油提取

采用水中蒸馏法提取精油。分别取不同部位(新叶、老叶、枝条、茎干、根)、不同月份50 g千层金原料,冷冻干燥后经粉碎机粉碎,过40目筛,以1:

7的比例加入350 g的双蒸水,置于圆底蒸馏瓶内,加热蒸馏千层金材料,2 h后收集精油,并用无水硫酸钠干燥后计算精油含量(精油质量/提取前植物材料质量 × 100%),试验重复3次,取平均值。

1.2.2 精油成分分析

将精油用色谱甲醇稀释后采用气相色谱-质谱联用仪(GC/MS)分析精油成分,采用面积归一法计算各组分的相对含量,各组分的鉴定是通过与NIST11质谱数据库进行匹配对照解析,取碎片离子匹配度80%以上匹配数据(当有多个碎片离子匹配度超过80%时,选取最高值,同样匹配度时,选择匹配概率较高者,匹配度低于80%者定为未知)。

气相色谱条件:色谱柱为Elite-5MS(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);载气为99.999%氦气,载气压力82.74 kPa,流速1.0 ml/min;经色谱甲醇稀释后的精油进样1 μL,分流比1:20,进样口温度250 °C。升温程序为:柱初温50 °C,保持2 min,以3 °C/min升温至100 °C,保持2 min;以5 °C/min升温至160 °C,

保持 2 min;以 50 °C/min 升温至 250 °C,保持 2 min。

质谱条件:电离方式 EI,电子能量 70 eV,离子源温度 230 °C,质谱传输线温度 250 °C,扫描质量范围 m/z 45 ~ 55,溶剂延迟 1 min。

1.2.3 数据处理

采用 IBM SPSS Statistics 19 统计分析软件处理实验数据,用 ANOVA 进行差异显著性分析($P < 0.05$)。

表 2 千层金不同部位精油含量

Table 2 Contents of essential oil in different parts of *M. Bracteata*

千层金部位 Parts of <i>M. bracteata</i>	新叶 New leaves	老叶 Old leaves	枝条 Branches	茎干 Stems	根 Roots
精油含量 Contents of essential oil (%)	0.268 ± 0.003 ^b	0.282 ± 0.005 ^a	0 ^c	0 ^c	0 ^c

注:不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences at $P < 0.05$ level.

2.1.2 千层金新叶和老叶精油成分分析

千层金新叶和老叶精油的 GC-MS 总离子流图见图 1,成分分析结果见表 3,千层金新叶精油主要含有 24 种成分,其中相对含量较高的为甲基丁香酚(86.36%)和肉桂酸甲酯(5.12%),老叶精油主要含有 26 种成分,其中相对含量较高的同样是甲基丁香酚(85.45%)和肉桂酸甲酯(6.34%)。进一步分

2 结果与讨论

2.1 不同部位千层金精油含量和成分分析

2.1.1 不同部位千层金精油含量分析

采用水中蒸馏法从千层金新叶、老叶与枝条、茎干和根五个不同部位提取精油,结果表明(表 2),新叶精油含量为 0.268%,老叶精油含量为 0.282%,而枝条、茎干和根的含量为 0。

析发现,新叶精油和老叶精油的主要组成成分大体相同,但也存在差异,如在老叶精油中检测到(-)-柠檬烯、香叶酸甲酯、月桂烯,在新叶精油中并未被检测出来,而在新叶精油中发现 α -萜荜澄茄油烯,在老叶精油中并未发现。其他精油成分在新叶和老叶精油中的相对含量偏低,在千层金叶片的发育过程中维持一个比较稳定的水平。

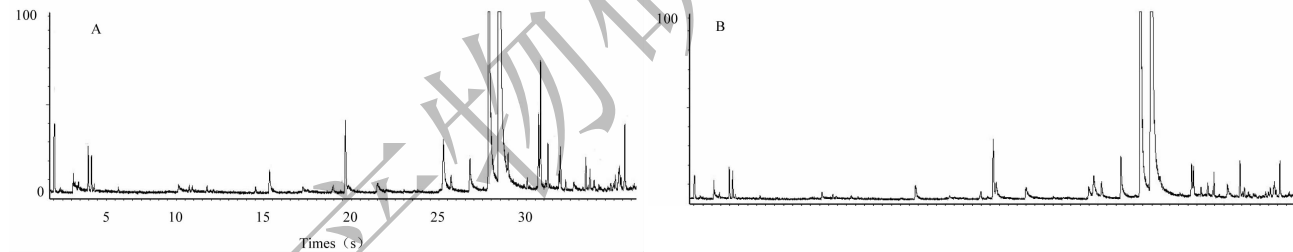


图 1 新叶(A)和老叶(B)GC-MS 离子流图

Fig. 1 GC-MS total ion flow diagram of young leaves(A) and old leaves(B)

表 3 千层金新叶和老叶精油的组成成分分析

Table 3 Chemical constituents of essential oils in young and old leaves of *M. Bracteata*

保留时间 Retention time (min)	化学成分 Chemical constituents	相似度 Similarity (%)	相对含量 Relative content (%)	
			新叶 New leaves	老叶 Old leaves
10.2	月桂烯 β -Myrcene	90.5	-	0.01 ± 0.00
11.5	α -水芹烯 α -Phellandrene	94.2	0.53 ± 0.01 ^a	0.61 ± 0.01 ^a
12.1	桉叶油醇 Eucalyptol	88.1	0.09 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^b
12.5	(-)-柠檬烯 (-)-Limonene	88.8	-	0.03 ± 0.00
14.7	萜品油烯 Terpinolene	93.4	0.28 ± 0.00 ^b	0.35 ± 0.01 ^a
15.5	芳樟醇 Linalool	95.4	0.55 ± 0.01 ^a	0.21 ± 0.00 ^b
17.6	α -松油醇 α -Terpineol	92.1	0.16 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^b

续表 3 (Continued Tab. 3)

保留时间 Retention time (min)	化学成分 Chemical constituents	相似度 Similarity (%)	相对含量 Relative content (%)	
			新叶 New leaves	老叶 Old leaves
19.8	4-烯丙基苯甲 4-Allylanisole	96.5	0.24 ± 0.01 ^b	0.56 ± 0.02 ^a
21.4	香茅醛 Citronellal	94.7	0.04 ± 0.00 ^a	0.02 ± 0.00 ^a
21.5	香茅醇 Citronellol	93.2	0.11 ± 0.00 ^a	0.12 ± 0.00 ^a
25.5	香叶酸甲酯 Methylgeranate	89.8	-	0.33 ± 0.00
28.5	肉桂酸甲酯 Methyl cinnamate	94.9	5.12 ± 0.13 ^b	6.34 ± 0.11 ^a
28.7	甲基丁香酚 Methyl eugenol	96.8	86.36 ± 0.78 ^a	85.45 ± 0.69 ^b
29.1	香橙烯 Aromadendrene	87.8	0.11 ± 0.00 ^a	0.15 ± 0.00 ^a
29.4	别香橙烯 Alloaromadendrene	90.4	0.02 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^a
29.5	异丁香烯 Isocaryophyllene	91.4	0.15 ± 0.00 ^b	0.18 ± 0.00 ^a
30.1	蛇麻烯 Humulene	87.9	0.09 ± 0.00 ^a	0.08 ± 0.00 ^a
30.9	异喇叭烯 Isoledene	90.3	0.12 ± 0.00 ^a	0.08 ± 0.00 ^b
31.1	γ-榄香烯 γ-Elemene	89.0	0.29 ± 0.00 ^a	0.24 ± 0.00 ^b
31.5	β-胡椒烯 β-copaene	93.2	0.06 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a
31.6	α-葑烯 α-cubebene	92.1	0.02 ± 0.00	-
32.2	δ-杜松烯 δ-Cadinene	93.4	0.08 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^b
33.6	榄香素 Elemicin	94.0	0.09 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^b
33.9	α-依兰烯 α-ylangene	84.3	0.02 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.00 ^a
35.9	榧叶醇 Torreyol	88.2	0.05 ± 0.00 ^a	0.05 ± 0.00 ^a
36.2	葑烯 A-cadinol	93.6	0.08 ± 0.00 ^a	0.09 ± 0.00 ^a

注:不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences at $P < 0.05$ level.

2.2 不同月份千层金叶片精油的含量和成分分析

2.2.1 不同月份千层金叶片精油含量分析

由图 2 可知,千层金精油的含量在一年之中差异显著($P < 0.05$),1 月的精油含量最低,只有 0.25%,与其它各月份的精油含量呈显著性差异,2-8 月的精油含量逐渐升高,8 月(1.10%)达到最大值,与其它各月份的精油含量呈显著性差异,随后开始缓慢下滑,至 12 月的精油含量只有 0.60%。

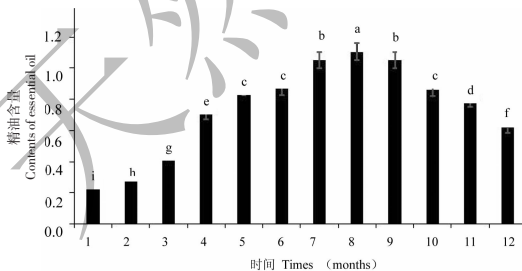


图 2 不同月份的千层金叶片精油含量(2017 年)

Fig. 2 Contents of essential oil in *M. bracteata* leaves in different months of 2017

注:不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences at $P < 0.05$ level.

精油为植物体内的次级代谢产物,其形成和积累与植物的生长发育过程密切相关。温度、降水等气候因子作为植物生长发育的重要影响因素,也必然影响其体内次级代谢产物的合成和积累,从而导致植物体内精油的含量和成分出现波动^[14]。结合表 1 分析可知,不同月份千层金叶片精油含量与福州月平均气温和降水量的变化趋势大致相同。气温较高月份,精油含量也较高,随着气温降低,精油含量逐渐下降。这种变化趋势在其他植物精油提取中也有报道,如甜牛至(*Origanum Majorana* L.)叶片精油的含量在一年之中的 8 月份达到其最大值,随后不断下降,直到 2 月份出现最低值后再慢慢升高^[15]。在银灰菊(*Santolina chamaecyparissus* L.)中,精油含量也是在一年中温度较高的 6 月份最高,温度较低的 12 月份最低^[16]。

在降水方面,1~6 月,随着降水量不断增加,精油含量不断升高,8~12 月,随着降水量不断减少,精油含量逐渐下降。这与朱雯琪的研究一致,在甜牛至中,降水量增大时,精油含量增多,降水量少的时候,精油含量刚好处于一年之中较低的水平^[7]。

张丹等的研究也发现,在干旱少水的时候,红松次级代谢反应受到了强烈的抑制,次级代谢产物含量显著下降,当复水的时候,大部分次级代谢产物含量在水分增加一段时间后慢慢升高^[17]。由此可以初步得出,随着降水量的不断上升,千层金的生长发育受到促进,精油含量也不断的上升,反之减少。

2.2.2 不同月份千层金叶片精油成分变化分析

由表4可知,千层金叶片精油主要组成成分的相对含量在不同月份的变化趋势相对复杂。其中主要成分甲基丁香酚的含量在一年中差异显著($P < 0.05$),在温度较高的7、8月份,甲基丁香酚含量也较高(9.10 mg/g 和 9.46 mg/g),随后随着温度的降低,甲基丁香酚含量也逐渐降低,1月份达到最低值(2.10 mg/g)后再逐步回升(图3)。

研究表明,温度通过影响植物体内酶系统的活性和催化反应速度,从而影响植物体内精油成分的合成^[14]。精油中的各种成分按照生物合成途径可分为萜烯类、苯丙烷类/苯环型和脂肪族化合物等三大类,千层金精油的主要成分甲基丁香酚属于苯丙烷类化合物,PAL、C4H是苯丙烷途径的关键酶,谭国飞等通过对鸭儿芹(*Cryptotaenia japonica*)生长过程主要面临的4种不同温度(10、18、30、38℃)下C4H基因的表达检测发现,在较高温度(30℃和

38℃)下,C4H基因的表达量增加,其中38℃条件下要明显高于30℃,说明高温条件下,苯丙烷途径相关基因响应更强,而低温条件下相关基因表达相对迟缓^[18]。Liu等^[19]通过对黄芩(*scutellaria bicalensis*)种子内次级代谢物质的研究表明,与室温(20℃)相比,低温条件下黄芩种子黄酮类化合物含量降低,PAL和C4H的活性也明显降低。杨慧芹等^[20]研究也表明,成熟期的烟草(*Nicotiana tobacum* L.)在较高温度下酶活性较高,体内总酚含量也较高,荧光定量PCR发现,PAL与C4H-1基因的表达量也较高。

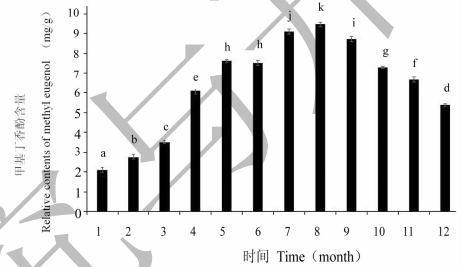


图3 不同月份的千层金精油中甲基丁香酚(2017年)的含量

Fig.3 Relative contents of methyl eugenol in essential oil from *M. bracteata* leaves in different months of 2017
注:不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences at $P < 0.05$ level.

表4 不同月份千层金叶片精油各组成成分相对含量的变化(2017年)

Table 4 Change of the relative content of the components of the *M. bracteata* essential oil in different months of 2017

保留时间 Retention time (min)	化学成分 Chemical constituents	相对含量 Relative content (%)											
		一月 Jan	二月 Feb	三月 Mar	四月 Apr	五月 May	六月 June	七月 July	八月 Aug	九月 Spet	十月 Oct	十一月 Nov	十二月 Dec
10.5	月桂烯 β -Myrcene	0.07 ± 0.00 ^a	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.01 ± 0.00 ^c	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^b
11.2	α -水芹烯 α -Phellandrene	0.65 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.01 ^f	0.01 ± 0.00 ^h	0.02 ± 0.00 ^h	0.05 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^h	0.12 ± 0.01 ^g	0.07 ± 0.00 ^b	0.24 ± 0.01 ^d	0.41 ± 0.01 ^b	0.21 ± 0.01 ^e	0.32 ± 0.01 ^c
12.2	(-)-柠檬烯 (-)-Limonene	0.17 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.00 ^e	0.01 ± 0.00 ^h	0.01 ± 0.00 ^h	0.02 ± 0.00 ^g	0.03 ± 0.00 ^f	0.03 ± 0.00 ^f	0.03 ± 0.00 ^f	0.06 ± 0.00 ^d	0.09 ± 0.00 ^c	0.10 ± 0.00 ^b	0.01 ± 0.00 ^b
12.4	桉叶油醇 Eucalyptol	0.12 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^g	0.02 ± 0.00 ^{fg}	0.02 ± 0.00 ^{fg}	0.10 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^{fg}	0.04 ± 0.00 ^{de}	0.03 ± 0.00 ^{ef}	0.05 ± 0.00 ^d	0.07 ± 0.00 ^c	0.08 ± 0.00 ^c	0.05 ± 0.00 ^d
14.8	萜品油烯 Terpinolene	0.75 ± 0.02 ^a	0.21 ± 0.01 ^e	0.03 ± 0.00 ^{hi}	0.05 ± 0.00 ^{hi}	0.06 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^{hi}	0.17 ± 0.00 ^f	0.08 ± 0.00 ^g	0.02 ± 0.00 ^{hi}	0.56 ± 0.02 ^b	0.25 ± 0.00 ^d	0.28 ± 0.00 ^c
15.6	芳樟醇 Linalool	0.27 ± 0.00 ^g	0.17 ± 0.00 ^b	0.36 ± 0.01 ^f	0.42 ± 0.02 ^d	0.45 ± 0.01 ^c	0.36 ± 0.01 ^f	0.37 ± 0.03 ^f	0.40 ± 0.03 ^e	0.42 ± 0.01 ^d	0.53 ± 0.01 ^a	0.51 ± 0.01 ^b	0.53 ± 0.02 ^a
17.9	异胡薄荷醇 Cyclohexanol	-	-	-	-	0.03 ± 0.00	-	-	-	-	-	-	-
18.1	香茅醛 Citronellal	0.05 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^c	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.03 ± 0.00 ^c	0.01 ± 0.00 ^d	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.03 ± 0.00 ^c	0.05 ± 0.00 ^b	0.18 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^d
20.0	α -松油 α -Terpineol	0.49 ± 0.01 ^c	0.22 ± 0.01 ^g	0.22 ± 0.00 ^g	0.32 ± 0.01 ^e	0.19 ± 0.00 ^b	0.20 ± 0.00 ^g	0.29 ± 0.01 ^f	0.29 ± 0.01 ^f	0.47 ± 0.04 ^d	0.55 ± 0.03 ^a	0.51 ± 0.02 ^b	0.47 ± 0.01 ^d

续表 4 (Continued Tab. 4)

保留时间 Retention time (min)	化学成分 Chemical constituents	相对含量 Relative content (%)											
		一月 Jan	二月 Feb	三月 Mar	四月 Apr	五月 May	六月 June	七月 July	八月 Aug	九月 Spet	十月 Oct	十一月 Nov	十二月 Dec
20.1	4-烯丙基苯甲 4-Allylanisole	0.22 ± 0.01 ^a	0.14 ± 0.00 ^e	0.18 ± 0.00 ^c	0.26 ± 0.00 ^a	0.15 ± 0.00 ^{de}	0.14 ± 0.00 ^e	0.16 ± 0.00 ^d	0.12 ± 0.00 ^f	0.13 ± 0.00 ^f	0.19 ± 0.00 ^c	0.16 ± 0.00 ^d	0.16 ± 0.00 ^d
21.8	香茅醇 Citronellol	0.11 ± 0.00 ^{cd}	0.05 ± 0.00 ^g	0.07 ± 0.00 ^f	0.10 ± 0.00 ^{de}	0.07 ± 0.00 ^f	0.05 ± 0.00 ^g	0.12 ± 0.00 ^{bc}	0.13 ± 0.00 ^b	0.11 ± 0.00 ^{cd}	0.15 ± 0.00 ^a	0.13 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.00 ^e
26.1	香叶酸甲酯 Methylgeranate	0.03 ± 0.00 ^c	0.05 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.01 ± 0.00 ^d	0.01 ± 0.00 ^d	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.05 ± 0.00 ^b	0.08 ± 0.00 ^a	0.08 ± 0.00 ^a	0.07 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^d
28.2	肉桂酸甲酯 Methyl cinnamate	5.81 ± 0.09 ^f	5.38 ± 0.08 ^g	6.59 ± 0.06 ^d	7.25 ± 0.19 ^c	6.53 ± 0.11 ^d	7.89 ± 0.11 ^a	6.53 ± 0.14 ^d	5.99 ± 0.16 ^e	5.85 ± 0.06 ^{ef}	6.44 ± 0.11 ^d	7.50 ± 0.11 ^b	7.46 ± 0.12 ^b
28.8	甲基丁香酚 Methyl eugenol	84.08 ± 0.92 ^f	89.17 ± 0.87 ^a	81.58 ± 0.61 ^g	86.15 ± 0.99 ^{bc}	87.63 ± 1.95 ^{ab}	85.99 ± 0.72 ^{bc}	86.74 ± 0.25 ^{bc}	85.76 ± 0.23 ^{bc}	85.19 ± 0.74 ^{de}	84.77 ± 0.47 ^{ef}	85.45 ± 0.49 ^{cd}	87.19 ± 0.22 ^{bc}
29.1	香橙烯 Aromadendrene	0.13 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.00 ^{cd}	0.05 ± 0.00 ^b	0.14 ± 0.00 ^a	0.12 ± 0.00 ^a	0.02 ± 0.00 ^{de}	0.13 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^e	0.01 ± 0.00 ^e	0.04 ± 0.00 ^{bc}	0.02 ± 0.00 ^{de}	0.01 ± 0.00 ^e
29.5	别香橙烯 Alloaromadendrene	0.02 ± 0.00 ^{de}	0.01 ± 0.00 ^e	0.03 ± 0.00 ^{cd}	0.02 ± 0.00 ^{de}	0.03 ± 0.00 ^{cd}	0.05 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^{bc}	0.05 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^{de}	0.05 ± 0.00 ^b	0.01 ± 0.00 ^e
29.7	异丁香烯 IsoCaryophyllene	0.09 ± 0.00 ^f	0.08 ± 0.00 ^f	0.11 ± 0.00 ^e	0.12 ± 0.00 ^e	0.16 ± 0.00 ^d	0.18 ± 0.00 ^c	0.22 ± 0.00 ^b	0.24 ± 0.00 ^a	0.18 ± 0.00 ^c	0.15 ± 0.00 ^d	0.11 ± 0.00 ^e	0.15 ± 0.00 ^d
30.4	蛇麻烯 Humulene	0.10 ± 0.00 ^d	0.06 ± 0.00 ^f	0.03 ± 0.00 ^g	0.08 ± 0.00 ^e	0.02 ± 0.00 ^g	0.06 ± 0.00 ^f	0.08 ± 0.00 ^e	0.16 ± 0.00 ^b	0.09 ± 0.00 ^{de}	0.18 ± 0.00 ^a	0.14 ± 0.00 ^c	0.06 ± 0.00 ^f
31.2	β -胡椒烯 β -Copaene	0.08 ± 0.00 ^j	0.19 ± 0.00 ^f	0.21 ± 0.00 ^e	0.28 ± 0.00 ^d	0.57 ± 0.03 ^e	0.77 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.00 ^j	0.21 ± 0.02 ^e	0.66 ± 0.02 ^b	0.17 ± 0.00 ^g	0.15 ± 0.00 ^b	0.13 ± 0.00 ⁱ
31.3	α -葑烯 α -Cubebene	-	-	0.35 ± 0.01 ^c	-	-	-	0.64 ± 0.04 ^b	1.28 ± 0.01 ^a	-	-	-	-
31.5	异喇叭烯 Isoledene	0.02 ± 0.00 ^e	0.01 ± 0.00 ^f	0.01 ± 0.00 ^f	0.02 ± 0.00 ^e	0.08 ± 0.00 ^b	0.10 ± 0.00 ^a	0.01 ± 0.00 ^f	0.08 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.00 ^d	0.05 ± 0.00 ^c	0.01 ± 0.00 ^f	0.01 ± 0.00 ^f
31.6	γ -榄香烯 γ -Elemene	0.22 ± 0.00 ^f	0.19 ± 0.00 ^g	0.27 ± 0.00 ^e	0.28 ± 0.00 ^{de}	0.27 ± 0.00 ^e	0.28 ± 0.01 ^{de}	0.31 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.01 ^a	0.31 ± 0.00 ^b	0.30 ± 0.01 ^{bc}	0.29 ± 0.00 ^{cd}	0.29 ± 0.00 ^{cd}
32.3	δ -杜松烯 δ -Cadinene	0.03 ± 0.00 ^e	0.01 ± 0.00 ^f	0.01 ± 0.00 ^f	0.01 ± 0.00 ^f	0.03 ± 0.00 ^e	0.03 ± 0.00 ^e	0.15 ± 0.00 ^b	0.20 ± 0.00 ^a	0.14 ± 0.00 ^b	0.08 ± 0.00 ^c	0.06 ± 0.00 ^d	0.01 ± 0.00 ^f
33.1	榄香素 Elemicin	0.05 ± 0.00 ^{de}	0.06 ± 0.00 ^{cd}	0.01 ± 0.00 ^f	0.04 ± 0.00 ^e	0.04 ± 0.00 ^e	0.05 ± 0.00 ^{de}	0.04 ± 0.00 ^e	0.05 ± 0.00 ^{de}	0.09 ± 0.00 ^a	0.07 ± 0.00 ^{bc}	0.08 ± 0.00 ^{ab}	0.01 ± 0.00 ^f
34.3	α -依兰烯 α -Ylangene	0.03 ± 0.00 ^{bc}	0.01 ± 0.00 ^d	0.03 ± 0.00 ^{bc}	0.10 ± 0.00 ^d	0.04 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.03 ± 0.00 ^{bc}	0.08 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.00 ^{bc}	0.04 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^{cd}	0.03 ± 0.00 ^{bc}
35.8	榧叶醇 Torreyol	0.03 ± 0.00 ^a	0.03 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a	0.04 ± 0.00 ^a
36.0	葑烯 α -Cadinol	0.09 ± 0.00 ^h	0.11 ± 0.00 ^g	0.07 ± 0.00 ^{hi}	0.08 ± 0.00 ^{hi}	0.25 ± 0.00 ^b	0.19 ± 0.00 ^d	0.21 ± 0.00 ^c	0.32 ± 0.01 ^a	0.26 ± 0.00 ^b	0.19 ± 0.00 ^d	0.13 ± 0.00 ^f	0.16 ± 0.00 ^e
38.9	2-十六烷醇 2-Hexadecanol	-	-	0.19 ± 0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注:不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences at $P < 0.05$ level.

3 结论

本文通过水中蒸馏法对 2017 年 1~12 月下旬采摘的千层金进行精油的提取,然后利用 GC-MS 联用仪对其成分进行分析后发现:(1)千层金不同部位的精油含量不同,其中,老叶含量最高(0.282%),新叶(0.268%)次之,而枝条、茎干和根中不含精油,千层金叶片是千层金精油提取的最主要部分。新叶和老叶的主要成分大体相同,其中,相对含量最高的为甲基丁香酚,高达 85% 以上;(2)福

州地区精油含量 1、2 月份最低,7、8 月份最高,这种变化可能与气温和降水量有关。这是由于精油中各种成分的合成、积累是植物体内氧化、聚合、失水、环化及酯化等多种生理生化反应的综合结果,气温和降水量作为影响植物生长发育的重要因素,必然影响其体内的生理生化反应,同时,温度的升高可以使 *PAL*、*C4H* 等基因的表达上调,酶活性增强,从而导致下游甲基丁香酚的合成加强,导致千层金精油不同月份的含量出现显著的变化。

参考文献

- 1 Kardinan AK, Hidayat P. Potency of *Melaleuca bracteata* and *Ocimum sp.* leaf extracts as fruit fly (*Bactrocera dorsalis* complex) attractants in guava and star fruit orchards in Bogor, West Java, Indonesia [J]. J Dev Sus Agr, 2013, 8: 79-84.
- 2 Chen XD. Study on microcapsule suspension of *Melaleuca bracteata* essential oil [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (福建农林大学), 2016.
- 3 Li C, Liu HX, Zhao LY, et al. Antibacterial neolignans from the leaves of *Melaleuca bracteata* [J]. Fitoterapia, 2017, 120: 171-176.
- 4 Ye ZM. The Study of extraction, composition analysis, antioxidant and antibacterial activity of *Melaleuca bracteata* essential oil [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (福建农林大学), 2014.
- 5 Brophy JJ, Goldsack RJ, Doran JC, et al. A comparison of the leaf oils of *Melaleuca squamophloia* with those of its close relatives, *M. stypelioides* and *M. bracteata* [J]. J Essen Oil Res, 1999, 11: 327-332.
- 6 Aboutabl EA, Tohamy SFE, Footer HLD, et al. A comparative study of the essential oils from three *Melaleuca* species growing in Egypt [J]. Flavour Frag J, 1991, 6: 139-141.
- 7 Yan XF, Wang Y, Li YM. Plant secondary metabolites and its response to environment [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 2007, 6: 2554-2562.
- 8 Yousefi B. Screening of *Rosa damascena* Mill. landraces for flower yield and essential oil content in cold climates [J]. Folia Hort, 2016, 28: 31-40.
- 9 Celiktas OY, Kocabas E, Bedir E, et al. Antimicrobial activities of methanol extracts and essential oils of *Rosmarinus officinalis*, depending on location and seasonal variations [J]. Food Chem, 2007, 100: 553-559.
- 10 Pan Y, Bai HT, Li H, et al. Effect of location, harvest season and plant age on chemical composition and antibacterial activity of essential oils from *Rosmarinus officinalis* [J]. Chin Bull Bot (植物学报), 2012, 47: 625-636.
- 11 Chen TB, Quan XG, Duang LP, et al. Extraction and content variation of essential oils from *Cinnamomum camphora* (L.) Leaf in Yongzhou [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2016, 28: 83-89.
- 12 Huang HF, Chen YX, Liang LJ, et al. Yield of molecular distillation turmeric oil under different temperature conditions and its components analysis by GC-MS [J]. Sci Tech Food Ind (食品工业科技), 2012, 33: 265-267.
- 13 Gosztola B, Sárossi S, Németh E. Variability of the essential oil content and composition of chamomile (*Matricaria recutita* L.) affected by weather conditions [J]. Nat Prod Commun, 2010, 5: 465-470.
- 14 Zhang GF, Feng J, Yu JB, et al. Time change rule of contents of essential oil and its main compositions in leaves of different chemical types of *Cinnamomum camphora* var *linaloolifera* [J]. J Plant Res Environ (植物资源与环境学报), 2012, 21: 82-86.
- 15 Zhu WQ, Yao L. Study on essential oil and chemical compositions of *Majorana* in anniversary [J]. J Shanghai Jiaotong Univ (上海交通大学学报), 2010, 28: 453-456.
- 16 Liu YQ, Yao L, Wu YN, et al. Compositions analysis of essential oil of *Santolina chamaecyparissus* L. during florescence in Shanghai Chongming Island [J]. J Shanghai Jiaotong Univ (上海交通大学学报), 2007, 4: 383-386.
- 17 Zhang D. Effects of environmental factors on photosynthesis and secondary metabolites of *Korean pine* [D]. Northeast: Northeast Forestry University (东北林业大学), 2016.
- 18 Tan GF, Wang F, Wang GL, et al. Isolation and expression analysis of cinnamic acid 4-hydroxylase gene under different temperatures in *Cryptotaenia japonica* Hassk [J]. Acta Bot Bor-Occid Sin (西北植物学报), 2014, 34: 1298-1304.
- 19 Liu JH, Li J, Zhang YQ. Germination characteristics and secondary metabolism regulation of *Scutellaria baicalensis* Georgi seeds under different temperature [J]. Agr Sci Tech, 2010, 11: 213-216.
- 20 Yang HQ, Wang SS, Jin YF, et al. Effects of different growth temperature on polyphenols metabolism in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves at different growth stages [J]. Gen Appl Biol (基因组学与应用生物学), 2015, 34: 1957-1974.