

深圳地区8种常见生态公益林树种VOCs测定及其保健作用*

孙延军¹ 张伟² 王一钦¹ 廖文波³
王蕾² 苏薇薇³

(1. 深圳园林股份有限公司, 广东 深圳 518400; 2. 首都师范大学 资源环境与旅游学院, 北京 100048;

3. 中山大学 生命科学学院, 广东 广州 510275)

摘要 以深圳地区 8 种常见生态公益林树种的叶为研究对象, 采用固相微萃取 (SPME) 收集挥发物质 (VOCs) 成分, 通过 GC-MS 对 VOCs 进行分离鉴定, 并通过各峰质谱图进行标准谱库检索, 以质谱和 KI 值的参比匹配和峰面积归一法确定挥发性物质成分及其相对含量, 结合相关文献确定其保健功效。麻楝 *Chukrasia tabularis*、海南蒲桃 *Syzygium hainanense*、红鳞蒲桃 *Syzygium hancei*、乐昌含笑 *Michelia chapensis*、深山含笑 *Michelia maudiae*、樟树 *Cinnamomum camphora*、华润楠 *Machilus chinensis*、枫香 *Liquidambar formosana* 分别鉴定出高匹配挥发物质 17、20、21、28、24、21、30、21 种, 占各自挥发性总成分的 80.21%、86.38%、98.08%、75.32%、98.83%、93.27%、95.25%、95.51%。经分析得出, 有益呼吸系统挥发物含量较高的有海南蒲桃、红鳞蒲桃、深山含笑、华润楠, 有益心血管系统挥发物含量较高的有深山含笑、华润楠, 镇痛镇静挥发物含量较高的有红鳞蒲桃、华润楠, 抗菌杀菌挥发物含量较高的植物有红鳞蒲桃、深山含笑、华润楠, 驱虫杀虫挥发物含量较高的植物有深山含笑。总体上, 所试材料中, 红鳞蒲桃、深山含笑、华润楠 3 种植物的保健作用较为广谱和突出。

关键词 生态公益林; VOCs; 固相微萃取 - 气质联用; 保健作用; 森林康养

中图分类号: S713 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2019) 02-0067-08

Identification of Volatile Organic Compounds and Pharmaceutical Properties of Eight Common Urban Forest Plants from Shenzhen Regions

SUN Yanjun¹ ZHANG Wei² WANG Yiqin¹ LIAO Wenbo³
WANG Lei² SU Weiwei³

(1. Shenzhen Landscape Co. Ltd., Shenzhen, Guangdong 518400, China; 2. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 3. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

Abstract The leaves of 8 common ecological public welfare forest species originated from the Shenzhen region were used as research objects. Based on the GC-MS analysis, the composition of volatile matter was determined by the reference of mass spectrometry and KI value, and the relative content was determined by peak area normalization method. The health benefits of each volatile substance were determined by reference to

* 基金项目: 广东省科技计划 (2018B030320001); 深圳市城管科研基金 (201003)

第一作者: 孙延军 (1979—), 男, 高级工程师, 主要从事园林与生态研究, E-mail: 19839862@qq.com。

通信作者: 苏薇薇 (1959—) 女, 教授, 主要从事植物来源的新药研究与开发, E-mail: lssww@126.com;

王蕾 (1977—) 女, 副教授, 主要从事植物资源保护利用与植物地理学研究, E-mail: lwang@cnu.edu.cn。

relevant literature. The recorded number of high-matching VOCs were 17 (with the relative content 80.21% of total volatile substances), 20 (86.38%), 21 (98.08%), 28 (75.32%), 24 (98.83%), 21 (93.27%), 30 (95.25%) and 21 (95.51%), respectively, which were detected from *Chukrasia tabularis*, *Syzygium hainanense*, *Syzygium hancei*, *Michelia chapensis*, *Michelia maudiae*, *Cinnamomum camphora*, *Machilus chinensis*, and *Liquidambar formosana*. Based on results from the analysis, several species were recorded with high abundance of useful chemical compounds that are useful for health and daily life applications, such as respiratory system (*Syzygium hainanense*, *Syzygium hancei*, *Michelia maudiae*, *Machilus chinensis*), blood circulation (*Michelia maudiae*, *Machilus chinensis*), pain-relieve (*Syzygium hancei*, *Machilus chinensis*), anti-microbial (*Syzygium hancei*, *Michelia maudiae*, *Machilus chinensis*), anti-pest (*Michelia maudiae*). Upon comparison between all tested species, *Syzygium hancei*, *Michelia maudiae*, *Machilus chinensis* were known to provide remarkable pharmacological benefits.

Key words ecological public welfare forest; VOCs; SPME-GC-MS; pharmaceutical properties; forest health and wellness

随着城市化的不断发展,高度集中的人口不仅给城市环境造成了巨大的威胁,也导致城镇居民长期处于情绪压抑、疲劳虚弱的亚健康状态^[1]。诸多研究表明,森林环境对人类部分生理和心理疾病有着良好的疗效^[2-5]。森林中的植物,尤其是芳香植物所含的萜类、醇类、酚类、酮类、酯类等挥发性物质,具有增强人体免疫力、缓解压力、改善情绪等作用^[6]。其中,单萜类主要作用是镇痛、杀菌消毒、抗病毒、使人镇静, α -蒎烯、 β -蒎烯、月桂烯具有镇痛、抗炎和镇咳、祛痰作用^[7-9], α -蒎烯对白念珠菌有明显的杀菌抑菌作用^[10],还能阻碍血脂在主动脉和心脏的沉积,预防动脉粥样硬化。柠檬烯具有杀菌抑菌、驱虫作用,还能祛痰、止咳、平喘,溶解胆结石,具有镇静中枢神经作用^[11];对动脉粥样硬化也有防治作用。萜品油烯、 α -水芹烯、莰烯有驱虫、抗菌作用^[12-14],其中萜品油烯能预防动脉粥样硬化。

倍半萜具有降低人体血压、杀菌消毒、抵抗炎症、镇痛等作用,并使人松弛。 β -石竹烯有平喘、镇咳、祛痰以及抗炎作用,临床上用于治疗气管炎^[15],同时亦显示出对激烈情绪的镇静作用,以 β -石竹烯为主要成分的香料已应用于部分妇产科医院治疗产妇生产后的烦躁情绪;此外, β -石竹烯还具有抗肿瘤活性^[16]。 α -可巴烯、吉玛烯D、 δ -毕澄茄烯、 α -毕澄茄油萜对昆虫、细菌、真菌等有抵御作用^[17-18]。 α -瑟林烯具有抗微生物活性,对人脑中枢神经有安定和抗痉挛作用^[19]。以 β -瑟林烯为主要成分的苍术挥发油具有抗急性炎症的作用,常温下随着保存时间增长,挥发油

中 β -瑟林烯明显增加,抗急性炎症作用增强^[20]。 β -榄香烯对肿瘤细胞具有抗增殖作用^[21],还有抗真菌活性^[22]。Z- β -金合欢烯是植物的蚜虫报警信息素,对桃蚜也具有驱避作用^[23]。

此外,部分醇类化合物也具有明显的保健作用。单萜形成的醇有很强的杀菌、抗感染、抗病毒、刺激作用,安全性高;倍单萜形成的醇,可以化解在循环器官中的滞留物,促进心脏和肝脏的机能^[6]。如芳樟醇可以降低人体心脏负荷、减慢呼吸频率、镇静安神、降压,对心血管系统、中枢神经系统有良好的作用^[24]。

本文对深圳地区8种常见生态公益林树种新鲜成熟叶片的VOCs成分进行测定分析,评价8种树种叶片的VOCs成分特征,整合具有相同保健作用的树种,以期营造保健型生态公益林提供理论依据及数据积累。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 供试材料 选取树种为华南乡土树种且在生态公益林中使用频率较高,材料采集地为深圳市典型山体公园的风景林,选择长势健壮、树龄约10 a、无病虫害的植株,采集时间集中在夏季晴朗天气上午、植株生理活动旺盛时段,选择1~2 a生枝条的成熟叶片,采集后立刻用保鲜袋密封,样品采集情况见表1。

1.1.2 主要仪器与试剂 GC-MS联用仪(美国Agilent公司7890-5975型,G1701DA Version D数据分析软件);弹性石英毛细管柱(美国Agilent

表 1 供试树种基本信息
Table1 Information of the test species

序号 No.	种名 Species	采摘地点 Sampling location	采样时间 sampling time	树种特性 Wild or artificial planting
1	麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i>	梅林山公园	2015 年 7 月	人工种植
2	海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i>	凤凰山森林公园	2015 年 6 月	人工种植
3	红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i>	梅林山公园	2015 年 5 月	野生
4	乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	梅林公园	2015 年 5 月	人工种植
5	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	梧桐山国家级风景区	2015 年 5 月	野生
6	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	银湖山郊野公园	2015 年 5 月	人工种植
7	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	三洲田森林公园	2015 年 5 月	野生
8	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	笔架山公园	2015 年 6 月	人工种植

公司, HP-5, 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 固相微萃取头 (美国 Supelco 公司, 50/30 μm DVB/CAR/PDMS, 于 270 ℃ 老化 1 h); 20 mL 顶空萃取瓶、磁性铁盖。

实验试剂: C₇~C₃₀ 正构烷烃标样 (美国 Supelco 公司, 49451-U, 正己烷中 1 mg/mL)。

1.2 VOCs 的提取

采用固相微萃取法 (SPME) 收集挥发气体成分。电子天平称取 1 g 新鲜采摘的叶片或花稍剪碎, 置于 20 mL 顶空萃取瓶中, 加磁性铁盖密封, 插入 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头在 35 ℃ 顶空萃取 40 min 后取出, 快速移出萃取头并立即插入气相色谱仪进样口, 于 230 ℃ 汽化室热解吸 3 min 进样。

1.3 气相色谱 - 质谱条件

1.3.1 GC 条件 HP-5 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm) 弹性石英毛细管柱, 进样口温度 230 ℃, 不分流进样, 载气为高纯 He, 恒流流速 1.0 mL/min; 柱温 50 ℃, 保持 1 min, 以 4 ℃/min 升至 150 ℃, 保持 2 min, 然后以 8 ℃/min 升至 250 ℃, 保持 10 min; 接口温度 280 ℃。

1.3.2 MS 条件 EI 离子源, 电子能量 70 eV, 离子源 230 ℃, 质量扫描范围 35~500 amu。用正己烷稀释正构烷烃混合对照品, 按上述色谱条件进行分析。

1.4 定性和定量分析

所检测的化合物经 NIST 谱库检索, 结合保留指数 (KI) 和文献参考进行鉴定。各组分的相对含量利用峰面积归一化法进行计算, 用各挥发物

质组分的峰面积占总峰面积的比值表示。

2 结果与分析

2.1 8 种生态公益林树种 VOCs 成分鉴定结果

通过 SPME-GC-MS 联用法分析各样品的 VOCs 成分, 得到 8 种植物样品的总离子流图, 以红鳞蒲桃的总离子流图为例, 如图 1 所示。扣除本底空气中的杂质后, 鉴定的挥发性化学成分如表 2。

麻楝共鉴定出 17 种化学成分, 占挥发性总成分的 80.21%。其中主要成分有 α-可巴烯 (17.95%), β-石竹烯 (17.45%), α-毕澄茄油萜 (11.36%), 金合欢烯 (7.53%) (Z)-β-罗勒烯 (4.21%), δ-毕澄茄烯 (4.19%) 等。

海南蒲桃共鉴定出 20 种化学成分, 占挥发性总成分的 86.38%。主要成分有顺式-β-罗勒烯 (34.34%), β-石竹烯 (13.99%), β-蒎烯 (8.75%), α-蒎烯 (6.99%), α-石竹烯 (6.34%) 等。

红鳞蒲桃共鉴定出 21 种化学成分, 占挥发性总成分的 98.08%。主要成分有柠檬烯 (36.97%), α-蒎烯 (26.3%), β-石竹烯 (16.05%), 月桂烯 (4.91%), α-水芹烯 (2.79%), β-蒎烯 (2.39%) 等。

乐昌含笑共鉴定出 28 种化学成分, 占挥发性总成分的 75.32%。其中主要成分有 β-石竹烯 (16.51%), 莰烯 (9.89%), β-榄香烯 (6.95%), 顺式-β-金合欢烯 (6.83%) 等。

深山含笑共鉴定出 24 种化学成分, 占挥发性总成分的 98.83%。其中主要成分有柠檬烯

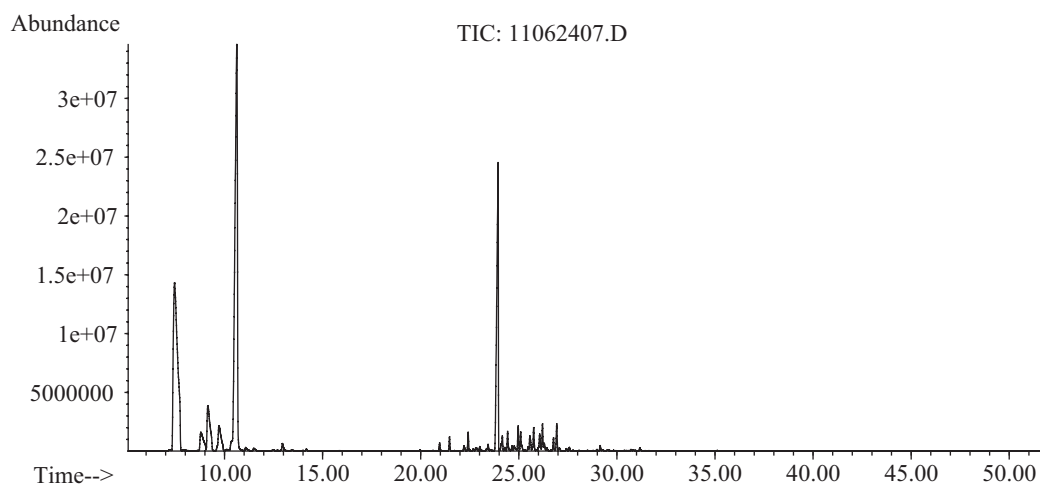


图1 红鳞蒲桃叶挥发成分总离子流图

Fig.1 Total ion chromatograms of volatile substances of *Syzygium hancei*

(26.56%), 苾烯 (23.22%), α -蒎烯 (16.11%), β -蒎烯 (9.08%), 月桂烯 (7.42%), β -石竹烯 (6.38%) 等。

樟树共鉴定出 21 种化学成分, 占挥发性总成分的 93.27%。其中主要成分有乙酸叶醇酯 (30.79), β -石竹烯 (20.86%), 罗勒烯 (9.56%), 芳樟醇 (6.21%), α -石竹烯 (6.12%), 反式-橙花叔醇 (4.04%) 等。

华润楠共鉴定出 30 种化学成分, 占挥发性总成分的 95.25%。其中主要成分有 α -蒎烯 (21.42%), β -石竹烯 (19.49%), ($\pm$)-柠檬烯 (19.02%), 月桂烯 (8.13%), 萜品油烯 (5.85%), β -蒎烯 (4.96%) 等。

枫香共鉴定出了其中 21 种化合物, 占挥发性总成分的 95.51%。其中主要成分有 β -蒎烯 (35.62%), α -蒎烯 (25.37%), ($\pm$)-柠檬烯 (14.3%), β -石竹烯 (3.49%) 等。

2.2 测试树种不同保健功效对比

所测 8 种植物 VOCs 成分共 63 种, 以萜类化合物为主 (共 50 种), 另有少量醇类、脂类和烃类化合物。将保健功效分为 7 类: 有益于呼吸系统、有益于心血管系统、镇痛镇静、抗炎、抑制肿瘤细胞活性、抑菌杀菌、驱虫杀虫。

由表 3 可看出, 所测树种叶片所含具有保健作用的挥发物质成分种数较为丰富, 其中, 深山含笑保健成分最为丰富, 含量超过 5% 的具有保健作用的挥发物质共有 23 种, 以有益呼吸系统、心血管系统、抑菌杀菌、驱虫杀虫效果的成分为主。保健成分较为丰富的树种还有红鳞蒲桃和

润楠, 均含 18 种。海南蒲桃、樟树和枫香含量超过 5% 的具有保健作用的挥发物质数量分别为 12 种、10 种和 10 种, 保健功能较为普通, 但海南蒲桃所含有益呼吸系统的挥发物质较为丰富。而乐昌含笑和麻楝的保健挥发物质种类相对较少, 含量超过 5% 的具有保健作用的挥发物质分别仅有 5 种和 6 种。

从保健功能角度分析, 有益呼吸系统的植物保健成分超过 3 种的有海南蒲桃、红鳞蒲桃、深山含笑和华润楠; 有益心血管系统的植物保健成分超过 3 种的有深山含笑和华润楠; 镇痛镇静作用植物保健成分超过 3 种的有红鳞蒲桃和华润楠; 抑菌杀菌作用植物保健成分超过 3 种的有红鳞蒲桃、深山含笑和华润楠; 驱虫杀虫作用植物保健成分超过 3 种的有深山含笑。可见, 所测树种普遍在保护呼吸系统和抑菌杀菌方面可能具有更好的表现。

3 结论与讨论

3.1 通过固相微萃取和气质联用法对海南蒲桃、红鳞蒲桃、乐昌含笑、深山含笑、樟树、华润楠、枫香、麻楝的叶的 VOCs 成分进行分析, 数据对比显示, 各树种叶片的 VOCs 中均不同程度含有有益于呼吸系统、心血管系统、镇静镇痛舒缓情绪、抗炎、抑制肿瘤细胞活性、杀菌抑菌和驱虫杀虫等保健作用的成分。

3.2 根据 8 种树种 VOCs 种类数量和含量以及保健作用的对比可以得出, 有益呼吸系统的挥发物含量较高的植物有海南蒲桃、红鳞蒲桃、深山含

表 2 8 种生态公益林树种 VOCs 成分高匹配成分对比

Table 2 Volatile constituents from leaves of eight ecological public welfare forest species

序号 No.	挥发性有机物 VOCs	相对百分含量 /%Relative content								
		分子式 Molecular formula	麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i>	海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i>	红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i>	乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>
1	顺-3-己烯-1-醇 cis-3-Hexen-1-ol	C ₆ H ₁₂ O					0.44	3.76		
2	叶醇 leaf alcohol	C ₆ H ₁₂ O				0.69				
3	α-蒎烯崖柏烯 alpha-thujene	C ₁₀ H ₁₆								
4	1R-α-蒎烯 1R-alpha-pinene	C ₁₀ H ₁₆		6.99	26.3	1.15	16.11	0.88	21.42	25.37
5	莰烯 camphene	C ₁₀ H ₁₆					23.22		3.37	1.13
6	β-蒎烯 beta-pinene	C ₁₀ H ₁₆		8.75	2.39		9.08	0.26	4.96	35.62
7	月桂烯 myrcene	C ₁₀ H ₁₆		2.72	4.91	1.05	7.42	0.71	8.13	4.5
8	乙酸叶醇酯 (Z)-3-hexenyl acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	0.96	1.44				30.79		0.78
9	桉烯 sabinene	C ₁₀ H ₁₆				1.66				
10	(R)-柠檬烯 R-limonene	C ₁₀ H ₁₆		1.57	36.97		26.56			
11	反式-罗勒烯 trans-ocimene	C ₁₀ H ₁₆		1.81			0.27	1.46	0.61	
12	(E)-3-Hexenyl acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂				6.2				
13	α-水芹烯 α-phellandrene	C ₁₀ H ₁₆			2.79		0.17			
14	顺式-β-罗勒烯 (Z)-beta-ocimene	C ₁₀ H ₁₆		34.34	0.27					1.22
15	α-萜品烯 alpha-terpinene	C ₁₀ H ₁₆				0.74				0.23
16	γ-萜品烯 gamma-terpinene	C ₁₀ H ₁₆		0.47	0.19	0.5	0.28		0.24	1.83
17	(±)-柠檬烯 limonene	C ₁₀ H ₁₆				3.91			19.02	14.3
18	罗勒烯 Ocimene	C ₁₀ H ₁₆	4.21			0.28	0.35	9.56	1.73	
19	萜品油烯 alpha-terpinolene	C ₁₀ H ₁₆				0.63	5.31		5.85	1.08
20	E,Z-别罗勒烯 E,Z-alloocimene	C ₁₀ H ₁₆		0.54			0.1	0.71	0.25	
21	E,E-别罗勒烯 E,E-alloocimene	C ₁₀ H ₁₆		0.41						
22	E,E-波斯菊萜 E,E-cosmene	C ₁₀ H ₁₆							0.12	
23	紫苏烯 perillene	C ₁₀ H ₁₄ O	3.02							
24	芳樟醇 linalool	C ₁₀ H ₁₈ O			0.48	0.17	1.28	6.21	0.89	
25	萜烯醇 terpinen-4-ol	C ₁₀ H ₁₈ O								0.83
26	(Z)-3-己烯醇丁酸酯 Z3-hexenyl butyrate	C ₁₀ H ₁₈ O ₂								0.41
27	十二烷 Dodecane	C ₁₂ H ₂₆				0.18				
28	左旋樟脑 L(-)-camphor	C ₁₀ H ₁₆ O					0.27			
29	冰片 L(-)-borneol	C ₁₀ H ₁₈ O					0.14			
30	α-松油醇 α-terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O					0.08			
31	异戊酸叶醇酯 cis-3-hexenyl isovalerate	C ₁₁ H ₂₀ O ₂						0.49		

序号 No.	挥发性有机物 VOCs	相对百分含量 /%Relative content								
		分子式 Molecular formula	麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i>	海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i>	红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i>	乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>
32	δ -榄香烯 δ -elemene	C ₁₅ H ₂₄	1.22						0.38	
33	α -毕澄茄油萜 alpha-cubebene	C ₁₅ H ₂₄	11.36	0.73		0.38		1.02	0.23	
34	β -毕澄茄油萜 beta-cubebene	C ₁₅ H ₂₅	2.78							
35	α -衣兰烯 alpha-ylangene	C ₁₅ H ₂₄		0.39	0.22	0.73			0.3	
36	α -可巴烯 alpha-copaene	C ₁₅ H ₂₄	17.95	1.77	0.6	1.18	0.17	0.18	0.81	
37	β -波旁烯 beta-bourbonene	C ₁₅ H ₂₄	0.48							0.29
38	β -石竹烯 beta-caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	17.45	13.99	16.05	16.51	6.38	20.86	19.49	3.49
39	β -榄香烯 beta-elemene	C ₁₅ H ₂₄						1.05	0.36	1.18
40	β -古芸烯 beta-gurjunene	C ₁₅ H ₂₄			0.21					0.23
41	十四烷 Tetradecane	C ₁₄ H ₃₀					0.07	0.19	0.4	
42	α -石竹烯 alpha-caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	2.72	6.34	0.75		0.59	6.12	1.78	0.23
43	别香橙烯 alloaromadendrene	C ₁₅ H ₂₄		0.45	0.54					0.45
44	R-香橙烯 R-aromadendrene	C ₁₅ H ₂₅	0.93							
45	(+)-香橙烯 R-aromadendrene	C ₁₅ H ₂₄					0.11		0.37	
46	γ -榄香烯 gamma-elemene	C ₁₅ H ₂₄				0.6				
47	α -紫穗槐烯 alpha-amorphene	C ₁₅ H ₂₄		0.98						
48	马兜铃烯 (-)-Aristolene	C ₁₅ H ₂₄				2.87				
49	Z- β -金合欢烯 Z-beta-farnesene	C ₁₅ H ₂₄				6.83				
50	α -衣兰油烯 α -muurolene	C ₁₅ H ₂₄		0.51			0.11			
51	E,E- α -金合欢烯 E,E-alpha-farnesene	C ₁₅ H ₂₄		0.44					0.89	
52	金合欢烯 α -farnesene	C ₁₅ H ₂₄	7.53							
53	γ -衣兰油烯 gamma-muurolene	C ₁₅ H ₂₄	0.76		0.7	0.83	0.1		0.51	0.34
54	吉玛烯 D germacrene D	C ₁₅ H ₂₄	3.1		0.87	3.45		0.24	0.86	0.68
55	β -愈创烯 beta-guaiene	C ₁₅ H ₂₄			0.94					1.32
56	β -毕澄茄烯 beta-cadinene	C ₁₅ H ₂₄	0.93	2.11	0.95					
57	莰烯 Curzerene	C ₁₅ H ₂₀ O				9.89				
58	β -瑟林烯 beta-selinene	C ₁₅ H ₂₄						2.77	0.19	
59	α -瑟林烯 alpha-selinene	C ₁₅ H ₂₄						1.8		
60	γ -毕澄茄烯 gamma-cadinene	C ₁₅ H ₂₄	0.62	0.61	0.43	2.91			1.33	
61	δ -毕澄茄烯 delta-cadinene	C ₁₅ H ₂₄	4.19			3.36	0.22	0.17	0.12	
62	反式-橙花叔醇 trans-nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O				0.46		4.04	0.43	
63	苯甲酸叶醇酯 Z3-hexenyl benzoate	C ₁₅ H ₁₆ O ₂				0.24				

表 3 基于 VOCs 种类数量和含量的各树种不同保健作用对比
Table 3 Comparison of health care effects of different tree species based on the quantity and content of VOCs

保健作用 Health care function	麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i>	海南蒲桃 <i>Syzygium hainanense</i>	红鳞蒲桃 <i>Syzygium hancei</i>	乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>
有益呼吸系统 Beneficial to the respiratory system	1	3	4	1	5	1	3	2
有益心血管系统 Beneficial to the cardiovascular system		1	2		4	1	4	2
镇痛镇静 Analgesic and sedative effects	1	2	3	1	2	2	3	1
抗炎 Anti-inflammatory effect	1	2	2	1	2	2	2	2
抑制肿瘤细胞活性 Inhibiting the activity of tumor cells	1	1	2	1	2	1	1	
抑菌杀菌 Bacteriostasis and bactericidal effect	2	2	3	1	4	2	3	2
驱虫杀虫 Insecticidal effect		1	2		4	1	2	1
合计 Tattle	6	12	18	5	23	10	18	10

注：数字表示该树种叶片的挥发性成分中具有该保健作用且含量超过 5% 的挥发性物质的种数
Note: The Arabic number indicates the number of volatile substances in the volatile components of the species that have this health effect and the content exceeds 5%

笑、华润楠，有益心血管系统挥发物含量较高的植物有深山含笑、华润楠，镇痛镇静挥发物含量较高的植物有红鳞蒲桃、华润楠，抗菌杀菌挥发物含量较高的植物有红鳞蒲桃、深山含笑、华润楠，驱虫杀虫挥发物含量较高的植物有深山含笑。总体上，红鳞蒲桃、深山含笑、华润楠 3 种植物的保健作用较为广谱和突出。

3.3 森林康养是发挥森林医学作用的新型医学治疗方式，涉及到不同树种，不同区域、不同的森林资源、不同的环境特点及不同人群的不同需求等康养要素^[28]。在生态公益林，尤其是森林公园的规划、建设和维护过程中，宜针对植物保健挥发物质的功能进行集中种植，对森林生态效益的充分发挥和森林康养理念的推广有积极作用。例如将红鳞蒲桃、海南蒲桃、华润楠等挥发性成分对呼吸系统有益的树种集中种植，营造呼吸系统疾病患者的疗养区；将深山含笑、华润楠等对心

血管系统有益的植物集中种植，营造心血管疾病患者的疗养区等。

3.4 本文中 VOCs 的保健作用，基于不同学者对单体化合物的药理作用实验研究总结归纳而来，这些研究多为离体或者在动物体内条件下进行的，实验结论只代表该类化合物在特定条件下具有一定药理作用，至于在自然条件下，该类挥发化合物对人体的药理作用和实际保健效果等问题比较复杂，还需要更多的深入研究来支持。

3.5 本研究还处于初步阶段，如：收集挥发物的实验方法还存在局限，得出的结论为植物叶片中存在此类型 VOCs，但是，在自然条件下不一定能够释放出来。因此，在市民健康需求越来越高，国家日益重视森林生态功能的背景下，森林植物挥发物成分、保健作用研究与实践还需要更深入的探索。

参考文献

- [1] 朱文冬, 徐莎莎, 张银玲, 等. 亚健康现状及对策的研究进展[J]. 护理实践与研究, 2013, 10(13): 114-115.
- [2] KARJALAINEN E, SARJALA T, RAITIO H. Promoting human health through forests: overview and major challenges [J]. Environ Health Prev Med, 2010, 15 (1): 1-8.
- [3] LI Q, OTSUKA T, KOBAYASHI M. Acute effects of walking in forest environments on cardiovascular and metabolic parameters[J]. Eur J Appl Physiol, 2011, 111 (11): 2845-2853.
- [4] 胡译文, 杨军. 城市森林保健功能研究进展[J]. 中国城市林业, 2012, 10 (5): 18-20.
- [5] 王小婧, 贾黎明. 森林保健资源研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26 (12): 73-80.
- [6] 金紫霖, 张启翔, 潘会堂, 等. 芳香植物的特性及对人体健康的作用[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(5): 1245-1247.
- [7] Orhan I, Küpeli E, Aslan M, et al. Bioassay-guided evaluation of anti-inflammatory and antinociceptive activities of pistachio, *Pistacia vera* L.[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2006, 105(1): 235-240.
- [8] 贵红霞, 李繁. 芳香植物的功能及园林应用形式[J]. 绿色科技, 2011(11): 53-54.
- [9] 倪娜, 赵君. GC-MS法分析红毛五加皮中挥发油的化学成分[J]. 中国科技论文, 2007, 2(11): 852-855.
- [10] 夏忠弟, 毛学政, 罗映辉. α -蒎烯抗真菌机制的研究[J]. 湖南医科大学学报, 1999, 24(6): 507-509.
- [12] 王伟江. 天然活性单萜: 柠檬烯的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2005(1): 33-37.
- [13] SINDHU S, CHEMPAKAM B, LEELA N K, et al. Chemoprevention by essential oil of turmeric leaves (*Curcuma longa* L.) on the growth of *Aspergillus flavus* and aflatoxin production[J]. Food & Chemical Toxicology, 2011, 49(5): 1188-1192.
- [14] BYERS J A, ZHANG Q H, BIRGERSSON G. Strategies of a bark beetle, *Pityogenes bidentatus*, in an olfactory landscape[J]. Naturwissenschaften, 2000, 87(11): 503-507.
- [15] GHELARDINI C, GALEOTTI N, MANNELLI L D C, et al. Local anaesthetic activity of beta-caryophyllene[J]. Farmaco, 2001, 56(5-7): 387-389.
- [16] DA SILVA S L, FIGUEIREDO P M, YANO T. Chemo-therapeutic potential of the volatile oils from *Zanthoxylum rhoifolium* Lam leaves[J]. European Journal of Pharmacology, 2007, 576(1-3): 180-188.
- [17] 凌冰, 张茂新, 庞雄飞. 飞机草挥发油对真菌和昆虫的生物活性及其化学成分研究[J]. 天然产物研究与开发, 2003, 15(3): 183-187.
- [18] ABRAHIM D, BRAGUINI W L, KELMER-BRACHT A M, et al. Effects of four monoterpenes on germination, primary root growth, and mitochondrial respiration of maize[J]. Journal of Chemical Ecology, 2000, 26(3): 611-624.
- [19] 纳智. 小叶臭黄皮叶挥发油化学成分的研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(1): 193-196.
- [20] 邓时贵, 胡学军, 李伟英. (茅)苍术挥发油主要化学成分的稳定性及其抗炎作用的初步比较[J]. 辽宁中医杂志, 2008, 35(11): 1733-1734.
- [21] XU L, TAO S, WANG X, et al. The synthesis and anti-proliferative effects of beta-elemene derivatives with mTOR inhibition activity[J]. Bioorg Med Chem, 2006, 14(15): 5351-5356.
- [22] HOSSAINM A, ZHARI I, ATIQRUR R, et al. Chemical composition and anti-fungal properties of the essential oils and crude extracts of *Orthosiphon stamineus* Benth[J]. Industrial crops and products, 2008, 27: 328-334.
- [23] DIRK A A, PETER G, WARD M T. Aphid repellent sesquiterpenes in glandular trichomes of *Solarium berd-muhii* and *S. tuberosum*[J]. Emomol Exp Appl, 1987, 44: 131-138.
- [24] SOTIRIOS P, PROKOPIOS M, PANAGIOTA G, et al. Chemical investigation and antimicrobial properties of mastic water and its major constituents[J]. Food Chemistry, 2011, 129: 907-911.
- [25] 丛浦珠. 质谱学在天然有机化学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 197-212.
- [26] PAPIEZ M R, POTOSNAK M J, GOLIFF W S, et al. The impacts of reactive terpene emissions from plants on air quality in Las Vegas, Nevada[J]. Atmos Environ, 2009, 43(27): 4109-4123.