



6种园林植物挥发性有机物成分分析

牛香 王兵 袁卿语 郭雅君 许庭毓 张维康

Analysis of Volatile Organic Compounds in 6 Garden Plants

Niu Xiang, Wang Bing, Yuan Qingyu, Guo Yajun, Xu Tingyu, Zhang Weikang

引用本文:

牛香, 王兵, 袁卿语, 郭雅君, 许庭毓, 张维康. 6种园林植物挥发性有机物成分分析[J]. *西南林业大学学报*, 2024, 44(2):174–179. doi: 10.11929/j.swfu.202212050

Niu Xiang, Wang Bing, Yuan Qingyu, Guo Yajun, Xu Tingyu, Zhang Weikang. Analysis of Volatile Organic Compounds in 6 Garden Plants[J]. *Journal of Southwest Forestry University(Natural Science)*, 2024, 44(2):174–179. doi: 10.11929/j.swfu.202212050

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202212050>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

迷迭香释放挥发性有机物的成分和变化规律研究

Components and Variations of Volatile Organic Compounds Released from *Rosmarinus officinalis*
西南林业大学学报. 2018, 38(1): 140–150 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.01.022>

广州南沙园林植物叶片与土壤养分及化学计量特征研究

Leaf Element and Soil Nutrient of Garden Plants and Their Stoichiometry in Nansha, Guangzhou
西南林业大学学报. 2017, 37(2): 95–102 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2017.02.016>

4个无性系杉木心材挥发性成分的GCMS分析

GCMS Analysis of Volatile Components from the Heartwoods of 4 *Cunninghamia lanceolata* Clones
西南林业大学学报. 2021, 41(1): 110–117 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201909019>

滇池湖滨湿地公园园林植物地理区系类型及外来种应用研究

Study on Geographical Flora of Landscape Plants and Application of Exotic Species in Wetland Parks of Dianchi Lake
西南林业大学学报. 2020, 40(6): 58–72 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202003038>

珍贵树种刺楸紫檀木材抽提物的成分分析

Composition Analysis of Extractives from Precious Tree Species *Pterocarpus erinaceus*
西南林业大学学报. 2020, 40(6): 139–145 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202002036>

产香真菌的鉴定及挥发性成分分析

Identification and Volatile Components Analysis of Aroma-producing Fungi
西南林业大学学报. 2017, 37(3): 118–126 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2017.03.019>

DOI: 10.11929/j.swfu.202212050

引文格式: 牛香, 王兵, 袁卿语, 等. 6种园林植物挥发性有机物成分分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2024, 44(2): 174-179.

6种园林植物挥发性有机物成分分析

牛香^{1,2} 王兵^{1,2} 袁卿语³ 郭雅君³ 许庭毓^{1,2} 张维康³

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所, 国家林业和草原局森林生态环境重点实验室, 北京 100091; 2. 江西大岗山森林生态系统国家野外科学观测研究站, 江西 新余 336606; 3. 沈阳农业大学林学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘要: 为探究北京市6种常见园林植物挥发性有机化合物(BVOCs)的组成, 采用动态顶空套装法采集和热脱附-气相色谱-质谱联用法对侧柏、雪松、矮紫杉、银杏、北京丁香以及月季的挥发性有机物进行分析鉴定, 并利用离子峰面积归一化法对植物释放挥发性有机物的峰面积进行百分比标准化, 测算化合物的相对含量。结果表明: 侧柏 BVOCs 包括 8 类 62 种, 雪松 BVOCs 包括 8 类 64 种, 矮紫杉 BVOCs 包括 7 类 65 种, 银杏 BVOCs 包括 8 类 56 种, 北京丁香 BVOCs 包括 8 类 57 种, 月季 BVOCs 包括 9 类 56 种; 6 种园林植物 BVOCs 均含有烯烃类、烷烃类、芳香烃类、醇类、醛类、酮类、酯类 7 类化合物, 但各类别化合物的相对含量有明显差异且挥发性有机物中均含有 (+)- α -蒎烯、(+)-柠檬烯、甲苯、正己醛、反式-3-己烯-1-醇 5 种共有成分, 其含量分别占侧柏、雪松、矮紫杉、银杏、北京丁香和月季挥发性成分总量的 12.24%、40.1%、2.44%、10.74%、24.32%、4.65%。研究结果对于北京市城市园林绿化树种的合理选择及科学配置具有参考意义。

关键词: 园林植物; 挥发性有机物; 成分; 气质联用

中图分类号: Q945

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2024)02-0174-06

Analysis of Volatile Organic Compounds in 6 Garden Plants

Niu Xiang^{1,2}, Wang Bing^{1,2}, Yuan Qingyu³, Guo Yajun³, Xu Tingyu^{1,2}, Zhang Weikang³

(1. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, National Forestry and Grassland Administration / Ecology and Nature Conservation Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Dagangshan National Key Field Observation and Research Station for Forest Ecosystem, Xinyu Jiangxi 336606, China; 3. College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang Liaoning 110866, China)

Abstract: To investigate the composition of volatile organic compounds(BVOCs) in 6 normal nursery plants in Beijing, we utilized powerful headspace stowing assortment and warm desorption-gas chromatography-mass spectrometry(TDS-GC-MS) to BVOCs in *Platycladus orientalis*, *Cedrus deodara*, *Taxus cuspidata*, *Ginkgo biloba*, *Syringa beijingensis* and *Rosa chinensis*. We also used particle top region standardization to normalize the peak areas of volatile organic compounds released from plants as a percentage to gauge the overall items in compounds. The results showed that the BVOCs released from *P. orientalis* included 8 classes of 62 species, *C. deodara* BVOCs included 8 classes of 64 species, *T. cuspidata* BVOCs included 7 classes of 65 species, *G. biloba* BVOCs included 8 classes of 56 species, *S. beijingensis* BVOCs included 8 classes of 57 species, and *R. chinensis* BVOCs included 9 classes of 56 species. All 6 nursery plants contained 7 sorts of builds including: olfens, alkanes, fragrant hydrocarbons, alcohols, aldehydes, ketones, and esters. However the general items in each

收稿日期: 2022-12-29; 修回日期: 2023-04-14

基金项目: 国家植物园森林环境空气质量监测站平台建设项目(99815-2022)资助。

第1作者: 牛香(1982—), 女, 博士, 研究员, 硕士生导师。研究方向: 森林生态系统功能与服务。
Email: niuxiang@caf.ac.cn。

kind of build differed significantly. All of them contained 5 common components of (+)- α -pinene, (+)-limonene, toluene, hexanal, and trans-3-hexen-1-ol in their BVOCs. Their items accounted for 12.24%, 40.1%, 2.44%, 10.74%, 24.32%, and 4.65% of the absolute unstable parts of *P. orientalis*, *C. deodara*, *T. cuspidata*, *G. biloba*, *S. pekinensis* and *R. chinensis*, respectively. The results of the review have significant hypothetical implications for the objective determination and scientific allocation of tree species for urban landscaping in Beijing.

Key words: garden plant; BVOCs; composition; GC-MS

植物源挥发性有机化合物 (BVOCs) 是指植物在生理代谢过程向周围释放的低沸点、易挥发、还原性强的一类次生代谢产物^[1]。BVOCs 不仅具有调节植物生长、繁殖、抵御天敌等方面的作用, 还能够增强人体免疫力、调节情绪、治疗慢性疾病^[2]。目前, 人们对园林景观的需求已经突破了传统美观的阶段, 进入到生态型园林的新层面, 不仅注重植物对环境的适应性、美观性、抗病虫能力, 还考虑到其生态化学效应。因此, 不同植物释放的挥发性有机物的差异是城市绿化树种选择的重要参考依据。

BVOCs 主要包括非甲烷烃类 (烷烃、烯烃、芳香烃) 和醛、酮、酚、醇、醚、酯等含氧挥发性有机物, 据估算可达 30000 种之多, 几乎所有植物都可以通过释放挥发性物质从而抑制或杀灭细菌、真菌、原生动物等^[3]。随着城市化进程加快, 人们休闲养生意识也随之提高, BVOCs 的保健功效受到重视, 被运用到生态旅游及康复景观设计中^[4]。目前, 国内对 BVOCs 的研究多集中于油松 (*Pinus tabulaeformis*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*) 等针叶乔木, 而对于矮紫杉 (*Taxus cuspidata*)、北京丁香 (*Syringa pekinensis*) 等灌木的研究则未见报道。

本研究采用动态顶空采集、热脱附气质联用技术, 对北京市常见的 6 种园林植物侧柏、雪松 (*Cedrus deodara*)、矮紫杉、银杏 (*Ginkgo biloba*)、北京丁香和月季 (*Rosa chinensis*) 的挥发性有机物的成分进行分析, 拟从生态化学的角度对北京市常见绿化植物做出科学评价, 为合理选择城市绿化树种、优化植物配置提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参考张莉等^[5]和赵静等^[6]对我国 100 多种植物释放挥发性有机物的研究并结合实地考察, 在北京市常见的园林树种中选择应用范围较广、观赏价值较高的 3 种针叶园林植物 (侧柏、雪松、

矮紫杉) 和 3 种阔叶园林植物 (银杏、北京丁香、月季) 的叶片为研究对象。实验地点为北京市海淀区西山卧佛寺附近的北京植物园 (39°59'53.34"N、116°12'11.95"E), 于 2021 年 7 月上、中、下旬各选择晴朗无风的一天, 对活体植物 BVOCs 进行采集, 每种植物选择生长环境一致、树龄相同、生理状况相似且健康无病害的 3 株作为采样标准株, 为避免环境条件日变化引起干扰, 采样时间统一在 13:00—14:00, 并设置空白对照。

1.2 植物挥发物的采集

本试验采用动态顶空套袋法对供试植物的挥发性有机物进行采集。采集过程选择一健康无病虫害、长势良好的枝条并套上透光率接近 100% 的 20 L 聚四氟乙烯采样袋, 袋口用绳子扎紧并用封口膜缠绕密封, 以防漏气。利用 QC-4S 型大气采样仪 (北京市科安劳保新技术公司) 抽空袋内气体, 再泵入通过活性炭过滤的空气, 然后密闭系统并静置 30 min 后开始循环采气。将挥发物吸入内填 Tenax-TA 吸附剂的 Perkin Elmer 吸附管中, 采气流量为 200 mL/min, 采样时长为 1 h。

1.3 植物挥发物的分离鉴定

采用热脱附气相色谱质谱联用仪 (Perkin Elmer 公司, 美国) 对挥发性有机物进行分析, 根据其不同的沸点逐个分离。

热脱附条件: 吸附管在自动解析器 250 °C 下被解析, 热解析出来的化合物先被吸附在冷阱 (1 °C), 然后迅速加热到 300 °C, 从热解析出来的化合物通过传输线进入 GC 开始进行分析。

色谱条件: VF-5MS 毛细管柱 (60 m × 0.25 mm × 0.25 μ m); 载气为高纯氦气; 体积流量为 1.0 mL/min; 色谱柱初始温度为 40 °C, 保持 3 min, 以 10 °C/min 升至 150 °C, 保持 1 min, 以 20 °C/min 升至 250 °C, 保持 30 min。

质谱条件: 离子源为电子轰击 (EI), 电子能量为 70 eV, 扫描质量数范围为 33 ~ 400 m/z,

离子源温度为 250 ℃。

1.4 数据分析

气质联用仪获得的总离子流图 (TIC) 中峰形代表的化学信息经 GCMS solution 软件进行积分分析、利用 Nist 2014 Library 标准谱库检索, 通过相似度、保留指数、CAS 号进行比对进而确定每种成分的结构式与分子式。利用离子峰面积归一化法对植物释放挥发性有机物的峰面积进行百分比标准化, 测算化合物的相对含量。

2 结果与分析

2.1 6 种园林植物挥发物的成分分析

6 种园林植物挥发性成分的总离子流图见图 1, 通过分离鉴定并扣除本底空白样品中的杂质, 共检测出包含烯烃类、烷烃类、芳香烃类、醇类、醛类、酮类、酯类、醚类、有机酸类以及其他类 10 类共 179 种化合物。其中, 针叶植物侧柏、雪松、矮紫杉中分别鉴定出 62、64、65 种挥发性有机物, 侧柏及雪松挥发性成分包含烯烃类、烷烃类、芳香烃类、醇类、醛类、酮类、酯类和其他类共 8 类化合物, 矮紫杉中未检测出其他类化合物。侧柏释放的 BVOCs 中烯烃类化合物种类最多 (22 种), 相对含量为 78.03%, 其他类种类最少 (1 种), 相对含量最低的为酮类 (4 种), 相对含量为 0.15%。雪松烯烃类化合物最多, 相对含量为 72.50%, 矮紫杉释放的 BVOCs 中醇类化合物最多, 相对含量为 53.54%。

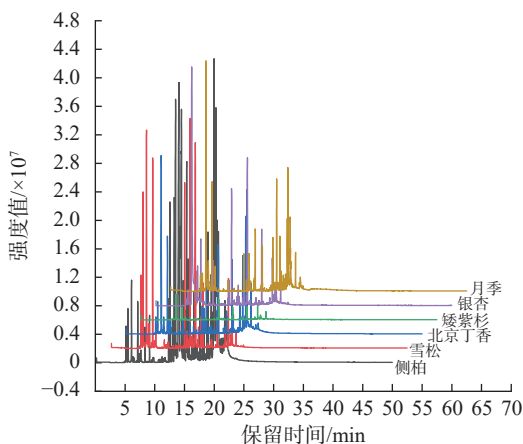


图 1 6 种园林植物挥发性有机物的总离子流图
Fig. 1 TIC of VOCs from 6 landscape plants

阔叶植物银杏、北京丁香、月季中分别鉴定出 56、57、56 种挥发性有机物, 银杏挥发性有机物中包含烯烃类、烷烃类、芳香烃类、醇类、醛类、酮类、酯类和其他类共 8 类化合物, 北京丁

香较银杏未检测出其他类化合物但检测到了有机酸类, 月季较银杏多检测出醚类化合物。月季释放的 BVOCs 中酯类化合物种类最多 (14 种), 相对含量为 40.69%; 芳香烃类化合物种类最少 (2 种), 相对含量为 0.46%。银杏释放的 BVOCs 中烷烃类化合物种类最多 (13 种), 相对含量为 21.82%; 酯类化合物种类最少 (3 种), 相对含量为 2.25%。北京丁香释放的 BVOCs 中醇类化合物种类最多 (12 种), 相对含量为 26.39%。

3 种针叶植物挥发物中检测出包含烯烃类、醇类、醛类、酮类、酯类、其他类的 6 类共 72 种有益 BVOCs, 3 种阔叶植物挥发物中检测出包含烯烃类、醇类、醛类、酯类、其他类的 5 类共 44 种有益 BVOCs。6 种园林植物有益 BVOCs 占总 BVOCs 相对含量的大小排序为雪松 (86.88%) > 侧柏 (82.03%) > 月季 (74.11%) > 北京丁香 (58.44%) > 银杏 (50.64%) > 矮紫杉 (30.51%)。

2.2 6 种园林植物挥发物成分的对比

从不同树种挥发物组成和含量差异 (附表 1) 可知, 6 种园林植物挥发物均含有烯烃类、烷烃类、芳香烃类、醇类、醛类、酮类、酯类 7 类化合物, 所含类别差异不大, 但各类别化合物的相对含量有明显差异。由图 2 可知, 侧柏和雪松挥发物中烯烃类化合物相对含量占比最大 (>70%), 矮紫杉主要排放醇类化合物, 银杏排放烷烃、醛类化合物较多, 北京丁香挥发物中醇类化合物占主要成分, 月季挥发物主要类别则为酯类化合物。总体来看, 烯烃类、烷烃类和醇类化合物是 6 种园林树种释放的主要成分。

6 种园林植物挥发物中含有 (+)- α -蒎烯、(+)-柠檬烯、甲苯、正己醛、反式-3-己烯-1-醇 5 种共有成分, 其含量分别占侧柏、雪松、矮紫杉、银杏、北京丁香和月季挥发性成分总量的 12.24%、40.10%、2.44%、10.74%、24.32%、4.65%; 但不同植物的挥发性有机物的组成不同: 侧柏挥发物以 3-蒎烯 (13.99%) 为主; 雪松挥发物主要成分为 (-)- β -蒎烯 (20.44%); 矮紫杉挥发物主要成分为 1-辛烯-3-醇 (42.64%); 银杏挥发物主要成分为正癸醛 (9.17%); 北京丁香挥发物主要成分为反式-3-己烯-1-醇 (18.31%); 月季挥发物主要成分为乙酸己酯 (16.61%)。6 种园林植物也含有特有成分, 侧柏的特有成分有异戊二烯、蒎品油烯、 β -波旁烯、(+)- β -柏木烯、(-)-罗汉柏烯、 α -香柠檬烯、 α -摩勒烯、异戊烷、甲基环戊烷、4-蒎烯醇、桃金娘烯醇、马鞭草烯醇、

γ -萜品醇、龙脑烯醛、3-环己烯甲醛、2,4-二甲基-3-戊酮、优葛缕酮、L(-)-香芹酮、(E)-3-己烯-1-醇乙酸酯、乙酸冰片酯、乙酸松油酯; 雪松的特有成分为苯乙烯、(+)- α -长叶蒎烯、(-)- α -萜澄茄油烯、2,4-二甲基庚烷、(S)-(+)-6-甲基-1-辛醇、反-2-十二烯-1-醇、 α -环柠檬醛、4-甲基-2-戊酮、8-羟基-2-辛酮、松香芹酮、 β -紫罗酮、惕各酸甲酯、香叶酸甲酯、(-)-乙酸桃金娘烯酯; 矮紫杉的特有成分有2-十二烯、2,3,6-三甲基庚烷、正十一烷、3-甲基十五烷、(-)-仲丁醇、异丁醇、异戊醇、4-甲基-1-戊醇、5-甲基-1-己醇、1-辛烯-3-醇、6-甲基-5-庚烯-2-醇、6-甲基-3-庚醇、4-甲基-1-庚醇、1-壬烯-3-醇、柏木脑、异戊醛、正戊醛、2-戊酮、2-甲基-3-戊酮、6-甲基-2-庚酮、3-辛酮、异戊酸甲

酯、水杨酸甲酯; 银杏的特有成分为(-)- α -可巴烯、4-甲基十二烷、正二十烷、苯、邻伞花烃、正壬醇、2-己基-1-辛醇、橙花叔醇、3-甲基-2-庚酮; 北京丁香的特有成分为2,3-二甲基辛烷、3-乙基-2-甲基庚烷、萘、3-戊醇、正庚醇、乙酸乙酯、(Z)-2-戊烯醇乙酸酯、丁酸叶醇酯、特戊酸; 月季的特有成分为正二十一烷、苯乙醇、香叶醇、(+)-香茅醇、橙花醛、乙酸丙酯、乙酸丁酯、乙酸-3-甲基-3-丁烯-1-醇酯、梨醇酯、乙酸异戊酯、乙酸苯乙酯、乙酸橙花酯、乙酸香茅酯、苯甲醚、苜甲醚。侧柏、雪松、矮紫杉、银杏、北京丁香和月季挥发物特有成分分别占其挥发物总量的15.73%、8.80%、66.99%、13.19%、8.96%、33.34%, 可见矮紫杉特有成分为其挥发物的主要成分。

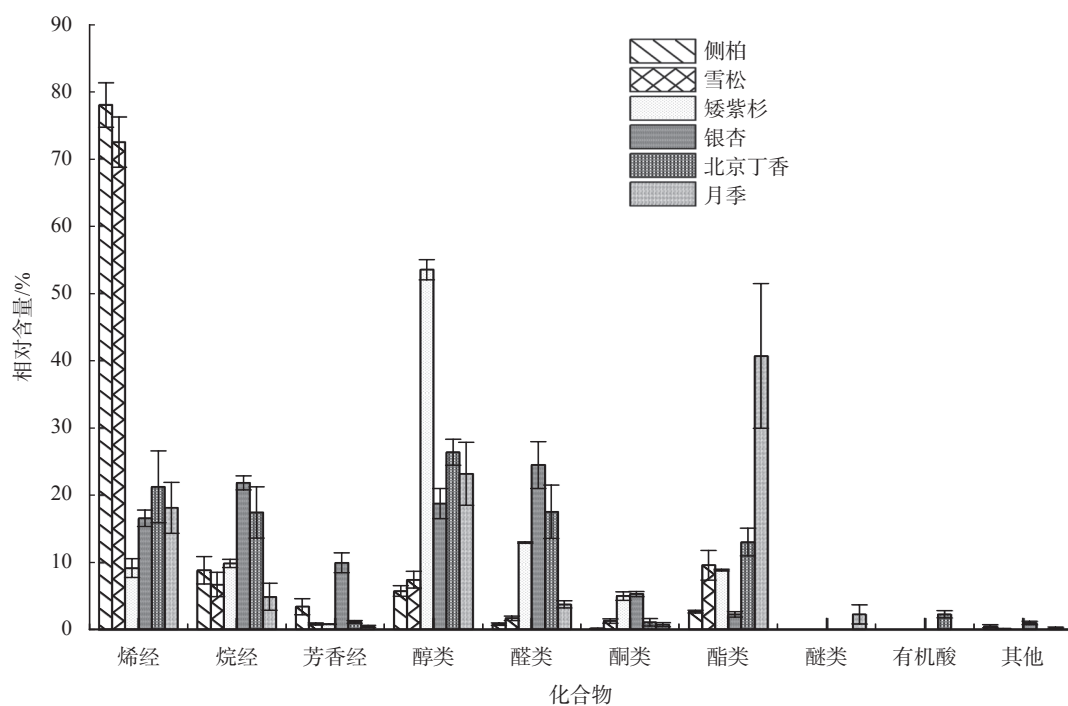


图2 6种园林植物10类挥发物含量变化

Fig. 2 Relative contents of 10 VOCs categories from 6 landscape plants

3 结论与讨论

3种针叶植物侧柏、雪松、矮紫杉释放的BVOCs以烯经类、烷经类、芳香经类、醇类、醛类、酮类、酯类共7类化合物为主。其中, 侧柏和雪松释放的BVOCs主要为烯经类化合物, 矮紫杉释放的BVOCs主要为醇类化合物。3种阔叶植物银杏、北京丁香、月季释放的BVOCs以烯经类、烷经类、芳香经类、醇类、醛类、酮类、酯类、其他类共8类化合物为主。其中, 银杏释

放的BVOCs主要为烷经类和醛类化合物, 北京丁香释放的BVOCs主要为烯经类、醇类、酯类化合物, 月季释放的BVOCs主要为酯类、醇类、烯经类化合物。植物挥发性有机物的合成与释放是一个受多种影响因子综合作用的繁杂过程, 加之采集方式、处理手段、分析方法存在差异, 致使针对植物挥发性成分的研究结果有较大差异。李娟^[7]通过活体植物动态顶空采集法于7月份分析侧柏挥发性有机物, 得出烯经类为侧柏释放的主要类别化合物, 相对含量达到75.47%,

与本研究结果(78.03%)接近。谢小洋等^[8]于7月份晴朗天气采集西安地区侧柏挥发性有机物,共鉴定出6类29种成分,低于本研究8类62种成分的结果,该研究发现烯烃类化合物相对含量达到93.85%,与本研究也有所差异,分析原因可能是由于该研究采用的是二氯甲烷洗脱吸附管,将洗脱液进行气质检测导致实验样品有损耗。王君怡^[9]于夏季采集北京地区侧柏挥发性有机物,共鉴定出8类65种成分,主要成分为3-萜烯、(+)- α -蒎烯,与本研究结果基本一致。本研究得到针叶树种中主导物质多为萜烯类化合物^[10-11],林静等^[12]研究南方红豆杉(*Taxus chinensis*)活体枝叶挥发性有机物释放特征,结果显示烯烃类化合物相对含量为67.13%、醇类只达到3.08%,与本研究结果不一致,二者虽都属于红豆杉属植物,但由于树种差异导致挥发性有机物含量有差别。

员梦梦^[13]采用静态顶空进样法研究白丁香(*Passer montanus*)、紫丁香(*Syzygium oblata*)鲜花的香气成分,发现白丁香以十四烷(17.07%)、金合欢烯(15.97%)为主,紫丁香以罗勒烯(15.97%)、金合欢烯(11.23%)为主,与本研究北京丁香的主要成分不一致,这是因为本研究采集的是叶片释放的挥发性有机物。苏庆臣等^[14]采用酒精浸泡提取法和直接固相微萃取法分析月季花瓣的香气成分,主要成分为乙酸己酯(24.06%),本研究中月季主要成分乙酸己酯(16.61%)低于上述结果。本研究采用动态顶空套袋法采集活体植物的挥发性有机物,不对采样枝条造成机械损伤,可以有效反应植株体在真实的自然生长状态下挥发性有机物的构成。

3-萜烯能够显著增强 α 波的脑电能量,缓解压抑心情^[15]。(+) α -蒎烯、 β -蒎烯等单萜类成分可使抑制因子的衰减时间常数得到延长,从而加强 γ -氨基丁酸A型受体介导的突触反应,有促进睡眠的功效^[16-17]。松油烯、萜品烯、 β -蒎烯进入人体血液循环后,可以作用于咳嗽中枢,使肌肉得到舒张,扩大支气管口,发挥止咳平喘的功效,促进祛痰^[18-19]。法尼烯可将人体神经母细胞瘤细胞系分化为神经元样细胞,用于治疗阿茨海默症^[20]。 β -榄香烯具有抑制肿瘤细胞迁移、逆转细胞耐药性等功效,是常用于抗肿瘤的成分^[21]。 β -石竹烯可有效调节焦虑、抑郁等疾病^[22]。乙酸己酯能够减缓疼痛、消除炎症^[23]。香叶醇能够抑制Atrogin-1基因表达,从而减缓由失神经支配

引起的肌肉萎缩;同时还可以用于治疗糖尿病、预防骨骼肌损伤且不会对心血管性能产生不利影响^[24-25]。醛类化合物有甜润的水果香气及清新的花朵香韵,这类化合物不仅可以有效抑菌还能用于芳香疗法,同时可以用于调配食品香精^[26]。橙花醇对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌均可以有效杀灭^[27]。顺-3-己烯-1-醇具有绿茶、青草气息,能使人心情舒畅,愉悦身心。(+)香茅醇具有激活降痛通路的抗痛觉过敏作用、可有效减缓人体疼痛症状^[28]。以上对人体健康有积极作用的挥发性有机化合物在本研究中都能检测到。

针叶植物侧柏挥发物中月桂烯、崖柏烯、3-萜烯、(+)- α -蒎烯、(+)-蒎烯、桉烯、(+)-柠檬烯、罗勒烯、 β -水芹烯、 α -水芹烯、 γ -松油烯、萜品油烯、4-萜烯、 β -波旁烯、 β -石竹烯、(+)- β -柏木烯、(-)罗汉柏烯、 α -律草烯、 α -香柠檬烯、 α -摩勒烯,雪松挥发物中崖柏烯、(+)- α -蒎烯、(+)-蒎烯、桉烯、(+)-柠檬烯、罗勒烯、 β -水芹烯、 α -水芹烯、 γ -松油烯、4-萜烯、(+)- α -长叶烯、(-)- α -萜澄茄油烯、 β -石竹烯、 α -律草烯、 α -法尼烯,这些有益烯烃类成分相对含量达到77.59%、71.61%。矮紫杉挥发物中醛类有益化合物异戊醛、正戊醛、正辛醛、龙脑烯醛、十一醛相对含量为12.92%。阔叶植物银杏挥发物中醛类有益化合物正己醛、正辛醛、壬醛、正癸醛、十二醛、十三醛相对含量为22.70%;北京丁香挥发物中顺-3-己烯-1-醇和芳樟醇两类醇类有益化合物相对含量为18.42%;月季挥发物中有益酯类化合物甲酸己酯、乙酸己酯、乙酸叶醇酯、乙酸香茅酯、乙酸橙花酯、乙酸香叶酯相对含量为34.62%。因此,6种植物都具有医疗保健、抑菌杀菌的功效。而矮紫杉中主要成分1-辛烯-3-醇是一种香精原料,对蚊虫等吸血昆虫有广谱引诱作用,因此常作为诱捕剂^[29-30],不适宜作为能够直接接触游客的观赏植物大面积栽植。

综合考量植物释放有益挥发性有机物的相关特性,除道路绿化外的绿地与公园等适宜种植侧柏、雪松2种烯烃类挥发物释放较高的树种。矮紫杉由于其主要挥发性成分1-辛烯-3-醇对蚊子等吸血昆虫有广谱引诱作用,不适宜作为能够直接接触游客的观赏植物大面积栽植。银杏、北京丁香和月季等阔叶植物释放有益醛类、酯类和醇类化合物相对含量较高,可以利用芳香特性营造康复景观如保健植物园等,调节人体身心健康。

[参 考 文 献]

- [1] 胡春芳, 袁相洋, 田媛, 等. 常见花卉植物释放挥发性有机化合物的研究进展 [J]. 生态学杂志, 2018, 37(2): 588-595.
- [2] 廖建军, 齐增湘, 李涛, 等. 植物挥发性有机物研究进展 [J]. 南华大学学报(自然科学版), 2016, 30(3): 119-123.
- [3] 李晓菲, 徐政. 植物源杀菌剂研究进展 [J]. 南方农业, 2018, 12(13): 40-42, 45.
- [4] 郟光发, 郟光发, 彭镇华. 森林生物挥发性有机物释放速率研究进展 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1151-1155.
- [5] 张莉, 白艳莹, 王效科, 等. 浙江省毛竹异戊二烯排放规律及其影响 [J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1339-1344.
- [6] 赵静, 白郁华, 王志辉, 等. 我国植物 VOCs 排放速率的研究 [J]. 中国环境科学, 2004, 24(6): 654-657.
- [7] 李娟. 侧柏和油松挥发物动态变化规律研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [8] 谢小洋, 冯永忠, 王得祥, 等. 5种园林树木挥发性成分分析 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(7): 146-153.
- [9] 王君怡. 北京地区 8 种典型景观树种释放挥发性有机物 (BVOCs) 动态变化特征研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [10] 杨克玉, 李燕敏, 黄佳, 等. 固相微萃取结合气-质联用分析侧柏叶中的挥发性成分 [J]. 化学研究与应用, 2016, 28(4): 462-471.
- [11] 董建华. 白皮松挥发物释放规律及其对小白鼠自发行行为的影响 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [12] 林静, 简毅, 李谨宵, 等. 南方红豆杉活体枝叶芬多精释放特征研究 [J]. 四川林业科技, 2021, 42(5): 92-97.
- [13] 员梦梦. 11 种香花植物鲜花香气成分及香型分类研究 [D]. 新乡: 河南科技学院, 2016.
- [14] 苏庆臣, 冯志洁, 冯天乐, 等. 不同前处理方法分析月季花瓣的香气成分 [J]. 现代园艺, 2017(24): 10-11.
- [15] 曲宁, 周春玲, 盖苗苗. 刺槐花香气成分对人体脑波及主观评价的影响 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 49-53.
- [16] Woo J, Lee C J. Sleep-enhancing effects of phytoncide via behavioral, electrophysiological, and molecular modeling approaches [J]. *Experimental Neurobiology*, 2020, 29(2): 120-129.
- [17] Woo J, Yang H, Yoon M, et al. 3-carene, a phytoncide from pine tree has a sleep-enhancing effect by targeting the GABA_A-benzodiazepine receptors [J]. *Experimental Neurobiology*, 2019, 28(5): 593-601.
- [18] 林静, 简毅, 骆宗诗, 等. 5 种康养植物芬多精成分及含量研究 [J]. 四川林业科技, 2018, 39(6): 13-19.
- [19] 吴楚材, 郑群明. 植物精气研究 [J]. *中国城市林业*, 2005, 3(4): 61-63.
- [20] Arslan M E, Türkez H, Mardinoğlu A. *In vitro* neuroprotective effects of farnesene sesquiterpene on alzheimer's disease model of differentiated neuroblastoma cell line [J]. *International Journal of Neuroscience*, 2021, 131(8): 745-754.
- [21] 朱琳芳, 王秋岩, 吴慧丽, 等. 榄香烯抗肿瘤活性机理及其衍生物活性研究进展 [J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2018, 17(2): 170-176.
- [22] da Silva Oliveira G L, da Silva J C C L, Dos Santos C L da Silva A P, et al. Anticonvulsant, anxiolytic and antidepressant properties of the β -caryophyllene in Swiss mice: involvement of benzodiazepine-GABAergic, serotonergic and nitroergic systems [J]. *Current Molecular Pharmacology*, 2021, 14(1): 36-51.
- [23] 崔艳秋, 南蓬, 林满红, 等. 园柏和龙柏主要挥发物及其抑菌和杀菌作用 [J]. *环境与健康杂志*, 2006, 23(1): 63-65.
- [24] Miyawaki A, Rojasawasthien T, Hitomi S, et al. Oral administration of geranylgeraniol rescues denervation-induced muscle atrophy via suppression of atrogen-1 [J]. *In Vivo (Athens, Greece)*, 2020, 34(5): 2345-2351.
- [25] Elmassry M, Chung E, Hamood A, et al. Supplementation of geranylgeraniol and tocotrienols to high-fat diet shifts the gut microbiome composition and function in type 2 diabetic mice [J]. *Current Developments in Nutrition*, 2020, 4(Suppl.2): 393.
- [26] 李晨辉, 朱元娣, 仇占南, 等. 不同贮藏方式对‘京白梨’果实香气成分的影响 [J]. 果树学报, 2016, 33(S1): 157-165.
- [27] 谢宇婷, 陈昭斌, 陈雯杰. 橙花醇的杀菌效果观察 [J]. *中国消毒学杂志*, 2020, 37(5): 339-341.
- [28] Santos P L, Rabelo T K, Matos J P, et al. Involvement of nuclear factor κ B and descending pain pathways in the anti-hyperalgesic effect of β -citronellol, a food ingredient, complexed in β -cyclodextrin in a model of complex regional pain syndrome - Type 1 [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2021, 153: 112260.
- [29] 李春晓, 阎婷, 董言德, 等. 1-辛烯-3-醇对我国稻田区主要媒介蚊种的引诱作用研究 [J]. *寄生虫与医学昆虫学报*, 2019, 26(2): 88-91.
- [30] 余冬冬, 王宗德, 韩招久, 等. 酰胺类驱避化合物与引诱物 1-辛烯-3-醇缩合作用的研究 [J]. *中华卫生杀虫药械*, 2016, 22(1): 14-18.

(责任编辑 刘永梅)



附表1 6种园林植物挥发性有机物的成分分析
Attached list 1 Components of VOCs from 6 landscape plants

化合物类别	化合物	分子式	相对含量/%					
			侧柏	雪松	矮紫杉	银杏	北京丁香	月季
烯烃类	异戊二烯	C ₅ H ₈	0.41 ± 0.351	—	—	—	—	—
	1,3-辛二烯	C ₈ H ₁₄	—	—	0.59 ± 0.062	—	—	—
	1-辛烯	C ₈ H ₁₆	—	0.16 ± 0.044	0.19 ± 0.023	—	0.42 ± 0.074	—
	苯乙烯	C ₈ H ₈	—	0.17 ± 0.034	—	—	—	—
	月桂烯	C ₁₀ H ₁₆	7.12 ± 0.937	—	—	—	3.05 ± 1.111	—
	崖柏烯	C ₁₀ H ₁₆	2.97 ± 0.704	0.17 ± 0.032	—	—	0.87 ± 0.513	—
	3-萜烯	C ₁₀ H ₁₆	13.99 ± 3.248	—	0.73 ± 0.023	1.02 ± 0.325	1.80 ± 0.102	—
	(+)- α -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	8.28 ± 0.976	17.53 ± 4.138	0.82 ± 0.230	3.88 ± 0.901	2.94 ± 0.626	3.26 ± 1.472
	(E)- β -罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	—	0.03 ± 0.008	—	—	—	0.67 ± 0.306
	(+)- γ -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	0.50 ± 0.339	0.48 ± 0.084	—	0.47 ± 0.050	—	0.20 ± 0.167
	桉烯	C ₁₀ H ₁₆	6.65 ± 1.072	0.68 ± 0.141	—	—	—	0.42 ± 0.135
	(-)- β -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	—	20.44 ± 3.370	0.88 ± 0.228	0.87 ± 0.309	—	3.96 ± 1.735
	(+)-柠檬烯	C ₁₀ H ₁₆	3.32 ± 0.941	19.36 ± 3.112	0.30 ± 0.045	1.09 ± 0.363	1.32 ± 1.022	0.49 ± 0.178
	γ -松油烯	C ₁₀ H ₁₆	—	—	—	1.50 ± 0.804	—	0.07 ± 0.017
	罗勒烯	C ₁₀ H ₁₆	0.09 ± 0.018	0.11 ± 0.023	—	0.98 ± 0.652	2.91 ± 0.757	3.62 ± 0.514
	β -水芹烯	C ₁₀ H ₁₆	6.44 ± 1.806	3.67 ± 1.49	0.16 ± 0.050	—	0.16 ± 0.033	0.12 ± 0.075
	α -水芹烯	C ₁₀ H ₁₆	1.67 ± 1.031	0.65 ± 0.219	0.11 ± 0.001	—	—	—
	γ -松油烯	C ₁₀ H ₁₆	0.84 ± 0.075	0.33 ± 0.106	—	—	—	—
	萜品油烯	C ₁₀ H ₁₆	0.56 ± 0.263	—	—	—	—	—
	4-萜烯	C ₁₀ H ₁₆	3.99 ± 0.461	1.89 ± 0.110	—	—	—	—
	2-十二烯	C ₁₂ H ₂₄	—	—	0.29 ± 0.133	—	—	—
	1-十三烯	C ₁₃ H ₂₆	0.03 ± 0.005	—	0.09 ± 0.016	1.81 ± 0.083	1.57 ± 0.104	—
	1-十四烯	C ₁₄ H ₂₈	—	0.56 ± 0.128	0.20 ± 0.027	—	2.64 ± 0.428	—
	(+)- α -长叶蒎烯	C ₁₅ H ₂₄	—	0.96 ± 0.383	—	—	—	—
	(-)- α -葑烯	C ₁₅ H ₂₄	—	0.87 ± 0.098	—	—	—	—
	(-)- α -可巴烯	C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	0.77 ± 0.347	—	—
	(-)- α -古芸烯	C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	0.90 ± 0.526	—	0.83 ± 0.306
	β -榄香烯	C ₁₅ H ₂₄	—	—	0.87 ± 0.326	—	1.20 ± 0.389	2.79 ± 1.695
	β -波旁烯	C ₁₅ H ₂₄	0.83 ± 0.613	—	—	—	—	—
	β -石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	4.73 ± 1.939	2.87 ± 0.846	1.83 ± 0.506	—	—	0.69 ± 0.039
	(+)- β -柏木烯	C ₁₅ H ₂₄	1.28 ± 0.511	—	—	—	—	—
	(-)-罗汉柏烯	C ₁₅ H ₂₄	1.53 ± 0.456	—	—	—	—	—
	α -律草烯	C ₁₅ H ₂₄	4.91 ± 1.491	1.46 ± 0.063	—	—	—	0.98 ± 0.515
	α -香柠檬烯	C ₁₅ H ₂₄	7.47 ± 5.339	—	—	—	—	—
α -法尼烯	C ₁₅ H ₂₄	—	0.13 ± 0.012	1.07 ± 0.058	1.54 ± 0.747	2.34 ± 1.890	—	
α -摩勒烯	C ₁₅ H ₂₄	0.45 ± 0.274	—	—	—	—	—	
红没药烯	C ₁₅ H ₂₄	—	—	0.98 ± 0.048	1.73 ± 1.190	—	—	

续附表 1

化合物类别	化合物	分子式	相对含量/%						
			侧柏	雪松	矮紫杉	银杏	北京丁香	月季	
烷烃类	异戊烷	C ₅ H ₁₂	0.07 ± 0.079	—	—	—	—	—	
	甲基环戊烷	C ₆ H ₁₂	0.21 ± 0.043	—	—	—	—	—	
	环己烷	C ₆ H ₁₂	8.29 ± 2.096	1.28 ± 0.192	—	—	1.95 ± 0.753	—	
	3-甲基戊烷	C ₆ H ₁₄	—	0.18 ± 0.020	—	2.67 ± 0.956	0.38 ± 0.161	—	
	甲基环己烷	C ₇ H ₁₄	—	0.04 ± 0.009	—	0.96 ± 0.199	0.24 ± 0.237	0.29 ± 0.286	
	庚烷	C ₇ H ₁₆	—	2.80 ± 2.462	—	1.11 ± 0.044	—	—	
	正辛烷	C ₈ H ₁₈	—	—	0.16 ± 0.029	1.85 ± 0.436	—	—	
	壬烷	C ₉ H ₂₀	—	—	—	1.34 ± 0.332	0.80 ± 0.058	—	
	2,4-二甲基庚烷	C ₉ H ₂₀	—	0.17 ± 0.030	—	—	—	—	
	2,3,6-三甲基庚烷	C ₁₀ H ₂₂	—	—	0.32 ± 0.091	—	—	—	
	2,3-二甲基辛烷	C ₁₀ H ₂₂	—	—	—	—	2.64 ± 0.360	—	
	3-乙基-2-甲基庚烷	C ₁₀ H ₂₂	—	—	—	—	0.26 ± 0.063	—	
	正十一烷	C ₁₁ H ₂₄	—	—	0.34 ± 0.079	—	—	—	
	正十二烷	C ₁₂ H ₂₆	0.10 ± 0.101	—	0.22 ± 0.047	1.23 ± 0.078	0.91 ± 0.155	0.24 ± 0.062	
	正十三烷	C ₁₃ H ₂₈	—	0.13 ± 0.026	—	—	2.60 ± 0.423	0.48 ± 0.406	
	正十四烷	C ₁₄ H ₃₀	—	—	1.22 ± 0.370	1.31 ± 0.061	—	—	
	2,6,11-三甲基十二烷	C ₁₅ H ₃₂	—	0.10 ± 0.046	0.31 ± 0.148	0.75 ± 0.500	—	—	
	正十五烷	C ₁₅ H ₃₂	0.15 ± 0.082	—	1.05 ± 0.044	3.08 ± 1.580	0.37 ± 0.401	—	
	4-甲基十二烷	C ₁₃ H ₂₈	—	—	—	0.46 ± 0.040	—	—	
	3-甲基十五烷	C ₁₆ H ₃₄	—	—	0.44 ± 0.058	—	—	—	
	正十六烷	C ₁₆ H ₃₄	—	1.92 ± 0.977	2.64 ± 0.376	4.30 ± 2.071	4.08 ± 1.660	2.71 ± 0.841	
	2,6,10-三甲基十五烷	C ₁₈ H ₃₈	—	0.02 ± 0.002	0.45 ± 0.036	—	0.80 ± 0.452	0.50 ± 0.349	
	正十七烷	C ₁₇ H ₃₆	—	0.06 ± 0.009	2.70 ± 0.058	1.20 ± 1.022	2.39 ± 0.335	0.57 ± 0.202	
	正二十烷	C ₂₀ H ₄₂	—	—	—	1.57 ± 0.280	—	—	
	正二十一烷	C ₂₁ H ₄₄	—	—	—	—	—	0.07 ± 0.021	
	芳烃类	苯	C ₆ H ₆	—	—	—	0.58 ± 0.037	—	—
		甲苯	C ₇ H ₈	0.40 ± 0.079	0.31 ± 0.117	0.41 ± 0.015	3.43 ± 0.661	0.67 ± 0.165	0.30 ± 0.063
乙基苯		C ₈ H ₁₀	0.02 ± 0.010	—	0.05 ± 0.025	1.14 ± 0.088	—	—	
间二甲苯		C ₈ H ₁₀	—	0.15 ± 0.054	—	—	0.19 ± 0.026	—	
邻二甲苯		C ₈ H ₁₀	0.11 ± 0.025	—	—	2.88 ± 0.409	—	—	
间伞花烃		C ₁₀ H ₁₄	2.87 ± 1.103	0.37 ± 0.094	0.29 ± 0.030	—	—	—	
邻伞花烃		C ₁₀ H ₁₄	—	—	—	1.27 ± 0.354	—	—	
萘		C ₁₀ H ₈	—	—	—	—	0.25 ± 0.082	—	
1-甲基萘		C ₁₁ H ₁₀	—	—	—	0.61 ± 0.133	—	0.16 ± 0.080	
醇类		(-)-仲丁醇	C ₄ H ₁₀ O	—	—	0.29 ± 0.030	—	—	—
	异丁醇	C ₄ H ₁₀ O	—	—	0.57 ± 0.023	—	—	—	
	1-戊烯-3-醇	C ₅ H ₁₀ O	0.33 ± 0.106	—	0.41 ± 0.036	—	1.83 ± 0.924	—	
	3-戊醇	C ₅ H ₁₂ O	—	—	—	—	1.46 ± 0.463	—	
	正戊醇	C ₅ H ₁₂ O	—	0.56 ± 0.035	1.44 ± 0.084	—	0.64 ± 0.837	0.33 ± 0.176	
	异戊醇	C ₅ H ₁₂ O	—	—	1.01 ± 0.023	—	—	—	
	3-甲基-3-丁烯-1-醇	C ₅ H ₁₀ O	3.12 ± 0.770	—	—	—	0.10 ± 0.003	0.08 ± 0.071	
	2-甲基丁醇	C ₅ H ₁₂ O	—	—	—	—	0.83 ± 1.139	0.07 ± 0.018	
	异戊烯醇	C ₅ H ₁₀ O	—	—	—	—	0.60 ± 0.853	0.02 ± 0.005	
	顺-3-己烯-1-醇	C ₆ H ₁₂ O	0.20 ± 0.062	2.58 ± 1.698	0.40 ± 0.038	1.27 ± 0.153	18.31 ± 2.887	0.07 ± 0.041	

续附表 1

化合物类别	化合物	分子式	相对含量/%					
			侧柏	雪松	矮紫杉	银杏	北京丁香	月季
	4-甲基-1-戊醇	C ₆ H ₁₄ O	—	—	0.32 ± 0.032	—	—	—
	正庚醇	C ₇ H ₁₆ O	—	—	—	—	0.13 ± 0.047	—
	5-甲基-1-己醇	C ₇ H ₁₆ O	—	—	0.44 ± 0.024	—	—	—
	1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O	—	—	42.64 ± 1.683	—	—	—
	6-甲基-5-庚烯-2-醇	C ₈ H ₁₆ O	—	—	0.47 ± 0.041	—	—	—
	6-甲基-3-庚醇	C ₈ H ₁₈ O	—	—	0.73 ± 0.078	—	—	—
	4-甲基-1-庚醇	C ₈ H ₁₈ O	—	—	0.18 ± 0.027	—	—	—
	2-乙基己醇	C ₈ H ₁₈ O	—	0.35 ± 0.112	0.86 ± 0.115	4.86 ± 0.859	1.01 ± 0.357	0.37 ± 0.095
	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	—	—	—	—	—	3.79 ± 0.500
	1-壬烯-3-醇	C ₉ H ₁₈ O	—	—	0.43 ± 0.052	—	—	—
	正辛醇	C ₈ H ₁₈ O	0.55 ± 0.269	1.88 ± 0.515	1.26 ± 0.409	1.72 ± 0.662	—	—
(S)-(+)-6-甲基-1-辛醇	C ₉ H ₂₀ O	—	—	0.05 ± 0.003	—	—	—	—
	正壬醇	C ₉ H ₂₀ O	—	—	—	1.66 ± 0.254	—	—
	桉树醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.15 ± 0.086	—	—	0.16 ± 0.080	—	—
	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.68 ± 0.175	0.52 ± 0.138	0.33 ± 0.030	1.08 ± 0.416	0.12 ± 0.036	—
	香叶醇	C ₁₀ H ₁₈ O	—	—	—	—	—	6.79 ± 3.156
(-)-反式松香芹醇	C ₁₀ H ₁₆ O	0.21 ± 0.068	0.95 ± 0.169	—	—	—	—	—
	4-萜烯醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.17 ± 0.030	—	—	—	—	—
	桃金娘烯醇	C ₁₀ H ₁₆ O	0.08 ± 0.025	—	—	—	—	—
	马鞭草烯醇	C ₁₀ H ₁₆ O	0.12 ± 0.026	—	—	—	—	—
	γ-萜品醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.12 ± 0.029	—	—	—	—	—
	(+)-香茅醇	C ₁₀ H ₂₀ O	—	—	—	—	—	11.65 ± 2.477
	反-2-十二烯-1-醇	C ₁₂ H ₂₄ O	—	0.52 ± 0.246	—	—	—	—
	反-2-十三烯醇	C ₁₃ H ₂₆ O	—	—	—	1.45 ± 0.565	0.92 ± 0.027	—
	2-己基-1-辛醇	C ₁₄ H ₃₀ O	—	—	—	1.24 ± 0.307	—	—
	十三醇	C ₁₃ H ₂₈ O	—	—	—	1.10 ± 0.439	0.45 ± 0.466	—
	柏木脑	C ₁₅ H ₂₆ O	—	—	1.74 ± 0.160	—	—	—
	橙花叔醇	C ₁₅ H ₂₆ O	—	—	—	4.20 ± 1.249	—	—
醛类	异戊醛	C ₅ H ₁₀ O	—	—	5.29 ± 0.294	—	—	—
	正戊醛	C ₅ H ₁₀ O	—	—	3.26 ± 0.159	—	—	—
	3-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	—	—	—	—	2.82 ± 0.754	0.86 ± 0.473
	正己醛	C ₆ H ₁₂ O	0.04 ± 0.009	0.32 ± 0.063	0.51 ± 0.119	1.07 ± 0.342	1.08 ± 0.027	0.53 ± 0.036
	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	0.03 ± 0.015	—	0.07 ± 0.023	—	1.09 ± 0.488	—
	安息香醛	C ₇ H ₆ O	0.04 ± 0.027	0.12 ± 0.040	—	1.04 ± 0.308	1.05 ± 1.104	0.22 ± 0.046
	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	—	—	—	—	—	0.10 ± 0.033
	水杨醛	C ₇ H ₆ O ₂	—	0.10 ± 0.031	—	0.72 ± 0.327	1.49 ± 1.949	0.08 ± 0.056
	正辛醛	C ₈ H ₁₆ O	—	—	0.91 ± 0.280	3.18 ± 0.557	—	—
	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	0.26 ± 0.065	0.69 ± 0.196	1.41 ± 0.171	5.42 ± 1.448	3.93 ± 0.734	—
	龙脑烯醛	C ₁₀ H ₁₆ O	0.07 ± 0.024	—	—	—	—	—
	橙花醛	C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	—	—	—	1.00 ± 0.917
	3-环己烯甲醛	C ₇ H ₁₀ O	0.03 ± 0.016	—	—	—	—	—

续附表 1

化合物类别	化合物	分子式	相对含量/%					
			侧柏	雪松	矮紫杉	银杏	北京丁香	月季
酮类	正癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	0.33 ± 0.127	—	—	9.17 ± 2.802	4.52 ± 1.262	—
	十一醛	C ₁₁ H ₂₂ O	—	0.13 ± 0.030	1.47 ± 0.090	—	0.63 ± 0.154	0.95 ± 1.006
	十二醛	C ₁₂ H ₂₄ O	—	0.21 ± 0.039	—	2.08 ± 0.625	—	—
	十三醛	C ₁₃ H ₂₆ O	—	—	—	1.77 ± 0.604	0.91 ± 0.023	—
	α -环柠檬醛	C ₁₀ H ₁₆ O	—	0.09 ± 0.006	—	—	—	—
	2-戊酮	C ₅ H ₁₀ O	—	—	0.11 ± 0.011	—	—	—
	2-甲基-3-戊酮	C ₆ H ₁₂ O	—	—	0.33 ± 0.121	—	—	—
	6-甲基-2-庚酮	C ₈ H ₁₆ O	—	—	0.07 ± 0.006	—	—	—
	3-甲基-2-庚酮	C ₈ H ₁₆ O	—	—	—	1.44 ± 0.404	—	—
	甲基庚烯酮	C ₈ H ₁₄ O	—	—	—	2.41 ± 0.297	1.07 ± 0.542	0.71 ± 0.329
	3-辛酮	C ₈ H ₁₆ O	—	—	4.03 ± 0.594	—	—	—
	苯乙酮	C ₈ H ₈ O	—	—	0.43 ± 0.108	1.44 ± 0.387	—	—
	2,4-二甲基-3-戊酮	C ₇ H ₁₄ O	0.02 ± 0.016	—	—	—	—	—
	4-甲基-2-戊酮	C ₆ H ₁₂ O	—	0.10 ± 0.016	—	—	—	—
	8-羟基-2-辛酮	C ₈ H ₁₆ O ₂	—	0.40 ± 0.096	—	—	—	—
	环己酮	C ₆ H ₁₀ O	0.04 ± 0.012	0.40 ± 0.149	—	—	—	—
	优葛缕酮	C ₁₀ H ₁₄ O	0.05 ± 0.026	—	—	—	—	—
	松香芹酮	C ₁₀ H ₁₄ O	—	0.24 ± 0.080	—	—	—	—
	L-(-)-香芹酮	C ₁₀ H ₁₄ O	0.04 ± 0.014	—	—	—	—	—
	酯类	β -紫罗酮	C ₁₃ H ₂₀ O	—	0.11 ± 0.036	—	—	—
乙酸乙酯		C ₄ H ₈ O ₂	—	—	—	—	0.67 ± 0.371	—
乙酸丙酯		C ₅ H ₁₀ O ₂	—	—	—	—	—	0.36 ± 0.254
乙酸丁酯		C ₆ H ₁₂ O ₂	—	—	—	—	—	0.38 ± 0.175
异戊酸甲酯		C ₆ H ₁₂ O ₂	—	—	0.46 ± 0.021	—	—	—
3,3-二甲基丙烯酸甲酯		C ₆ H ₁₂ O ₂	0.02 ± 0.002	0.14 ± 0.020	0.45 ± 0.198	—	—	—
惕各酸甲酯		C ₆ H ₁₂ O ₂	—	0.14 ± 0.042	—	—	—	—
乙酸-3-甲基-3-丁烯-1-醇酯		C ₇ H ₁₂ O ₂	0.05 ± 0.044	—	—	—	—	0.45 ± 0.145
甲酸己酯		C ₇ H ₁₄ O ₂	—	0.04 ± 0.008	4.16 ± 0.241	0.64 ± 0.223	1.45 ± 2.195	2.89 ± 2.054
(Z)-2-戊烯醇乙酸酯		C ₇ H ₁₂ O ₂	—	—	—	—	1.07 ± 1.408	—
丙烯酸丁酯		C ₇ H ₁₂ O ₂	—	0.08 ± 0.029	—	0.79 ± 0.406	—	—
梨醇酯		C ₇ H ₁₂ O ₂	—	—	—	—	—	0.25 ± 0.153
乙酸戊酯		C ₇ H ₁₄ O ₂	—	0.09 ± 0.015	0.39 ± 0.047	—	—	1.05 ± 0.609
乙酸异戊酯		C ₇ H ₁₄ O ₂	—	—	—	—	—	0.58 ± 0.180
新戊酸乙酯		C ₇ H ₁₂ O ₂	—	0.24 ± 0.041	—	—	0.51 ± 0.322	—
水杨酸甲酯		C ₈ H ₈ O ₃	—	—	2.64 ± 0.465	—	—	—
(E)-3-己烯-1-醇乙酸酯		C ₈ H ₁₄ O ₂	0.56 ± 0.211	—	—	—	—	—
乙酸叶醇酯		C ₈ H ₁₄ O ₂	—	—	—	—	8.91 ± 2.713	7.76 ± 4.102

续附表 1

化合物类别	化合物	分子式	相对含量/%					
			侧柏	雪松	矮紫杉	银杏	北京丁香	月季
	乙酸己酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.04 ± 0.028	0.61 ± 0.064	0.55 ± 0.039	—	—	16.61 ± 0.406
	丁酸叶醇酯	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	—	—	—	0.22 ± 0.060	—
	醋酸-2-乙基己酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	—	—	0.17 ± 0.035	0.82 ± 0.227	0.16 ± 0.045	0.05 ± 0.006
	乙酸苯乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	—	—	—	—	—	2.95 ± 0.294
	香叶酸甲酯	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	—	5.47 ± 1.655	—	—	—	—
	乙酸芳樟酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	0.27 ± 0.278	2.67 ± 0.570	—	—	—	—
	乙酸冰片酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	0.36 ± 0.121	—	—	—	—	—
	乙酸松油酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	1.30 ± 0.271	—	—	—	—	—
	乙酸香叶酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	0.03 ± 0.012	—	—	—	—	4.18 ± 3.299
	乙酸橙花酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	—	—	—	—	—	0.88 ± 0.530
	乙酸香茅酯	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	—	—	—	—	—	2.30 ± 2.256
	(-)-乙酸桃金娘烯酯	C ₁₂ H ₁₈ O ₂	—	0.08 ± 0.019	—	—	—	—
醚类	苯甲醚	C ₇ H ₈ O	—	—	—	—	—	0.08 ± 0.027
	苜甲醚	C ₈ H ₁₀ O	—	—	—	—	—	2.16 ± 1.449
其他类	石竹素	C ₁₅ H ₂₄ O	0.44 ± 0.221	—	—	—	—	0.23 ± 0.116
	甘菊蓝	C ₁₀ H ₈	—	0.12 ± 0.005	—	0.98 ± 0.260	—	—
	特戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	—	—	—	—	2.26 ± 0.543	—

注：—表示未检出。