

◆植物学◆

马尾松、杉木纯林及其混交林挥发性有机物成分分析*

文娟¹,常明山^{2**},郝建³,杨保国³,赵鹏飞²,吴耀军²

(1.广西壮族自治区森林资源与生态环境监测中心,广西南宁 530028;2.广西壮族自治区林业科学研究院,广西林业有害生物天敌繁育工程技术研究中心,广西南宁 530002;3.中国林业科学研究院热带林业实验中心,广西凭祥 532600)

摘要:为了摸清树种挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs)的释放规律和种类,采用顶空法提取马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)纯林及其混交林 11 个树种叶片的 VOCs,并用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)技术对其进行分析。结果表明:前 15 min, VOCs 检出率为 100% 的树种有马尾松混交林和杉木混交林中的格木(*Erythrophleum fordii*)、红锥(*Castanopsis hystrix*)、大叶栎(*Quercus griffithii*);检出率为 73%–90% 的树种有马尾松纯林及其混交林中的马尾松、黄毛榕(*Ficus esquiroliana*)和香梓楠(*Michelia hedyosperma*),以及杉木纯林及其混交林中的杉木和灰木莲(*Manglietia glauca*)。马尾松纯林及其混交林中鉴定出的 VOCs 种类有萜、醇、醛、酮、酯、酸、脂肪胺、环氧等 8 大类,除了红锥和大叶栎外,其他树种均以萜类化合物数量最多;杉木纯林及其混交林鉴定出的 VOCs 种类有萜、醇、醛、酮、酯、酸、脂肪胺、苯、硫醚和环氧等 10 大类,杉木纯林及其混交林中的灰木莲以萜类化合物最多,混交林中的格木、大叶栎以醛类最多,混交林中的红锥以醇类最多。上述结果说明格木、红锥和大叶栎的 VOCs 较其他树种挥发速度快,而灰木莲和香梓楠的 VOCs 挥发速度较其他树种慢。纯林 VOCs 种类较混交林少,两个树种的纯林及其混交林中检测出的 VOCs 有 7 大类与森林康养有关。

关键词:马尾松;杉木;纯林;混交林;挥发性有机物;成分分析

中图分类号:S763 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)02-0251-08

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20230529.004

森林植物挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs)是植物在自然状态下释放出的一类低沸点、小分子量的次生代谢产物,主要包括萜类、脂

肪酸衍生物、苯基等^[1,2]。VOCs 是植物自身产生的,用以抵御外界胁迫、适应环境的重要物质^[3,4],对植物自身和环境都具有重要作用。VOCs 通常由植物

收稿日期:2022-11-18

修回日期:2022-12-13

* 广西林业科技推广示范项目(桂林科研[2022]第 5 号)资助。

【第一作者简介】

文娟(1984-),女,高级工程师,主要从事森林资源监测工作。

【**通信作者】

常明山(1983-),男,正高级工程师,主要从事化学生态与森林保护工作,E-mail:12cms@163.com。

【引用本文】

文娟,常明山,郝建,等.马尾松、杉木纯林及其混交林挥发性有机物成分分析[J].广西科学,2023,30(2):251-258.

WEN J, CHANG M S, HAO J, et al. VOCs Analysis of Pure Forest and Mixed Forest of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(2): 251-258.

的叶、花等部位释放,具有一定的浓香气味,在杀菌、消毒、提高人体免疫以及预防植物自身病虫害等方面功效明显^[5]。了解和掌握这些森林植物 VOCs 的释放规律和种类组成,对研究不同林分结构森林植物 VOCs 的特征和康养功能具有重要意义。

20 世纪 70 年代前期,研究人员主要采用溶剂、水蒸气等方法提取植物 VOCs。顶空、固相微萃取和超临界等技术的出现,开启了植物 VOCs 精准提取和分析的历程^[6]。如陈智明等^[7]利用动态顶空技术检测 3 种棕榈科(Palmae)植物的 VOCs,发现其可分为 7 大类物质,其中萜类、醇类是主要成分。韦赛君^[8]采用动态顶空技术对 3 种植物 VOCs 进行检测,发现黑壳楠(*Lindera megaphylla*)和马尾松(*Pinus massoniana*)释放的 VOCs 以萜烯类为主,金钱松(*Pseudolarix amabilis*)以萜烯类和酯类为主;3 种林木释放的多种 VOCs 对空气微生物有抑制作用,可以净化空气,这为森林康养的建设提供了科学依据。宋志宇等^[9]总结发现森林中的植物通过次生代谢挥发的物质超过 30 000 种,其中萜烯类化合物占比很大,植物 VOCs 在杀菌、净化空气、提高人体免疫和稳定心理情绪等方面具有重要作用。不同林分的树种结构差异很大,本研究对马尾松、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)纯林及其混交林的 VOCs 进行研究,采用顶空法提取其 VOCs,利用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)技术分析各物质出峰的时间规律,掌握纯林和混交林中各树种 VOCs 的释放速率,并对鉴定出的 VOCs 种类进行大类分析,探讨各树种含有物质类型的作用及其与森林康养的关系,为下一步开展林间动态检测提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 树种和样地概况

供试林分树种结构分为 4 类。(1)马尾松纯林;(2)杉木纯林;(3)马尾松混交林:马尾松、格木(*Erythrophloeum fordii*)、红锥(*Castanopsis hystrix*)、大叶栎(*Quercus griffithii*)、黄毛榕(*Ficus esquiroliana*)、香梓楠(*Michelia hedyosperma*);(4)杉木混交林:杉木、格木、红锥、灰木莲(*Manglietia glauca*)、大叶栎。

上述试验树种均位于广西凭祥市中国林业科学研究院热带林业实验中心伏波实验场 1 林班,林地处于 22°10' N, 106°50' E,处于南亚热带季风气候区的西南部,样地年平均气温 20.5 °C 以上,相对湿度

80%–85%,主要地貌为丘陵和低山等。上述 4 种试验林为 1993 年种植,初始密度 2 500 株/hm²,经过几次抚育后密度维持在 1 200 株/hm²。2007 年开始近自然经营,保留部分马尾松纯林和杉木纯林作为对照,处理组马尾松纯林和杉木纯林进行强度间伐,保留密度为 450 株/hm²,2008 年初开始在处理组补种除马尾松和杉木外的其他树种,补种密度为 750 株/hm²。

1.2 方法

1.2.1 样品采集

2022 年 4 月采集上述 4 类林分中各树种的叶片,具体操作如下:选择健康植株树冠下部枝条,用枝剪剪下,每根带叶片的枝条长度在 20 cm 以上,每个树种采集成熟叶 20 片(或针)以上,叶片完整无缺损。为保持叶片新鲜,采集后立即装入大密封袋内带回实验室分析。

1.2.2 样品处理

采用顶空法提取植物的 VOCs^[10]:将样品用蒸馏水冲洗并快速晾干,剪成长度 1 cm 左右的样品,后用电子天平称取 1.0 g 植物样品,放入顶空瓶密封,加热平衡后抽取上层气体进样分析。顶空条件:平衡温度 60 °C,平衡时间 30 min,进样体积 1 mL,振荡器振荡速率 250 r/min。

1.2.3 样品检测

采用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS,仪器型号 GCMS-TQ8050 NX)对马尾松纯林、马尾松混交林、杉木纯林和杉木混交林叶片的 VOCs 成分进行鉴定。GC-MS 检测由广西壮族自治区分析测试中心完成,参考常明山等^[11]和吴耀军等^[12]的检测方法。

气相色谱条件:色谱柱 InertCap 5MS (30 m × 0.5 mm × 0.5 μm,美国安捷伦科技公司),载气氦气,流速 2 mL/min。升温程序:起始温度 50 °C,保持 2 min;以 5 °C/min 升温至 250 °C;以 10 °C/min 升温至 300 °C,保持 10 min。进样量 1 μL,进样口温度 250 °C,定量方法为面积归一法。

质谱条件:采用 EI 电离源(Electron impact ion source),电离能量为 70 eV,离子源温度为 230 °C,接口温度为 280 °C,电压 70 eV,质谱离子扫描范围为 30–650 m/z,扫描方式为全扫描。通过 GC-MS 分析得到化合物的质谱图,将离子流图采用 NIST11 标准谱库进行匹配分析,保留匹配度 85%以上的物质,结合树种特性鉴定 VOCs 种类,各种化合物的相对含量采用峰面积归一化法计算。

1.3 数据分析

采用 Excel 对数据进行分析并制作图表。

表 1 马尾松纯林及其混交林 VOCs 出峰时间规律

Table 1 Peak time rule of VOCs in pure forest and mixed forest of *P. massoniana*

森林类型 Forest type	树种 Tree species	N_1	N_2	检出率/ (%) Detection rate/(%)	N_3	检出率/ (%) Detection rate/(%)
Pure forest	<i>P. massoniana</i>	24	20	83	4	17
Mixed forest	<i>P. massoniana</i>	20	18	90	2	10
	<i>E. fordii</i>	18	18	100	0	0
	<i>C. hystrix</i>	16	16	100	0	0
	<i>Q. griffithii</i>	23	23	100	0	0
	<i>F. esquiroliana</i>	15	12	80	3	20
	<i>M. hedysperma</i>	30	22	73	8	27

Note: N_1 means total number of detected substances, N_2 means number of detected substances in the first 15 min, N_3 means number of detected substances in the 15–30 min.

2 结果与分析

2.1 VOCs 出峰数量和时间规律

2.1.1 马尾松纯林及其混交林

马尾松纯林及其混交林中的马尾松、格木、红锥、大叶栎、黄毛榕等树种中 80% 以上的 VOCs 在前 15 min 被检测出来,其中格木、红锥和大叶栎的 VOCs 在前 15 min 的检出率为 100%;马尾松混交林中香樟楠的 VOCs 在前 15 min 的检出率为 73%,较纯林低(表 1、图 1 和图 2)。说明格木、红锥和大叶栎 3 个树种含有的 VOCs 较其他树种的 VOCs 更容易释放出来,而香樟楠含有一些较本次检测到的其他树种释放速度慢的 VOCs。通过质谱库对比发现,格木、红锥和大叶栎 3 个树种含有的挥发速度较快的物质主要有乙醇、2-蒎烯和左旋-β-蒎烯等,而香樟楠含有的挥发速度慢的有机物多为长链的烯烃类物质,如长叶烯和石竹烯。

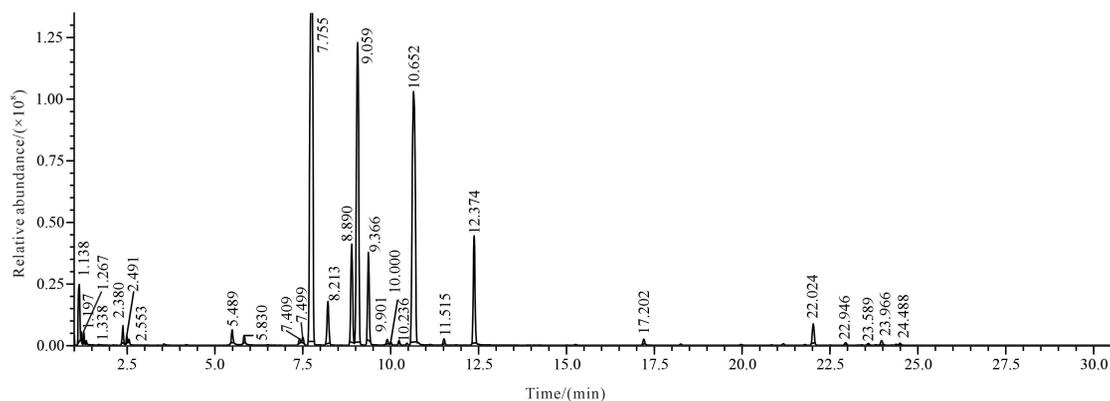
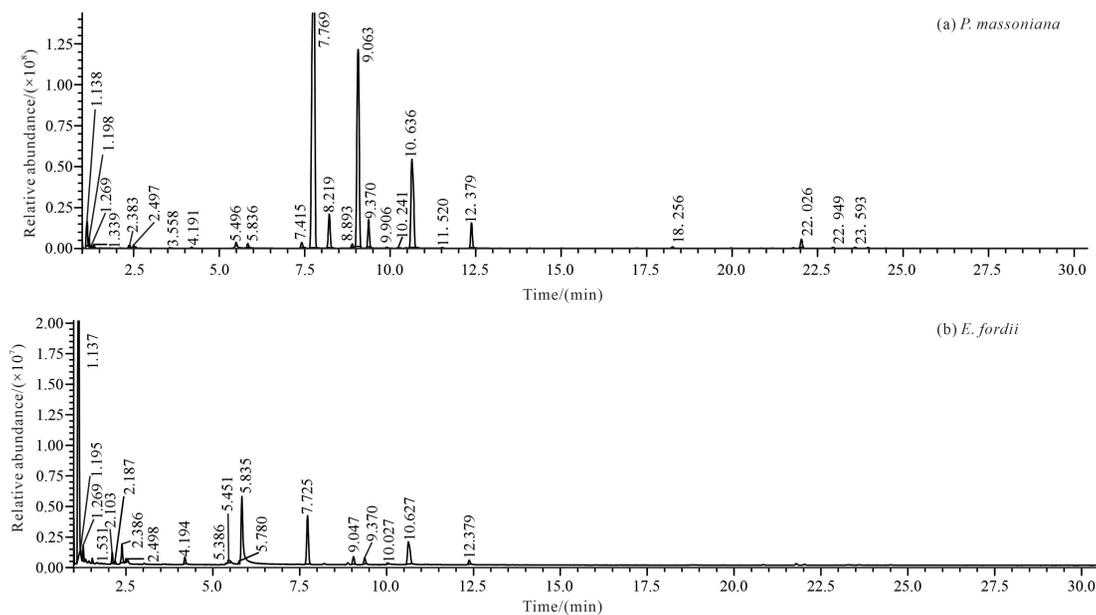


图 1 马尾松纯林 VOCs 总离子图

Fig. 1 Total ion diagram of VOCs in pure forest of *P. massoniana*



(a) *P. massoniana*

(b) *E. fordii*

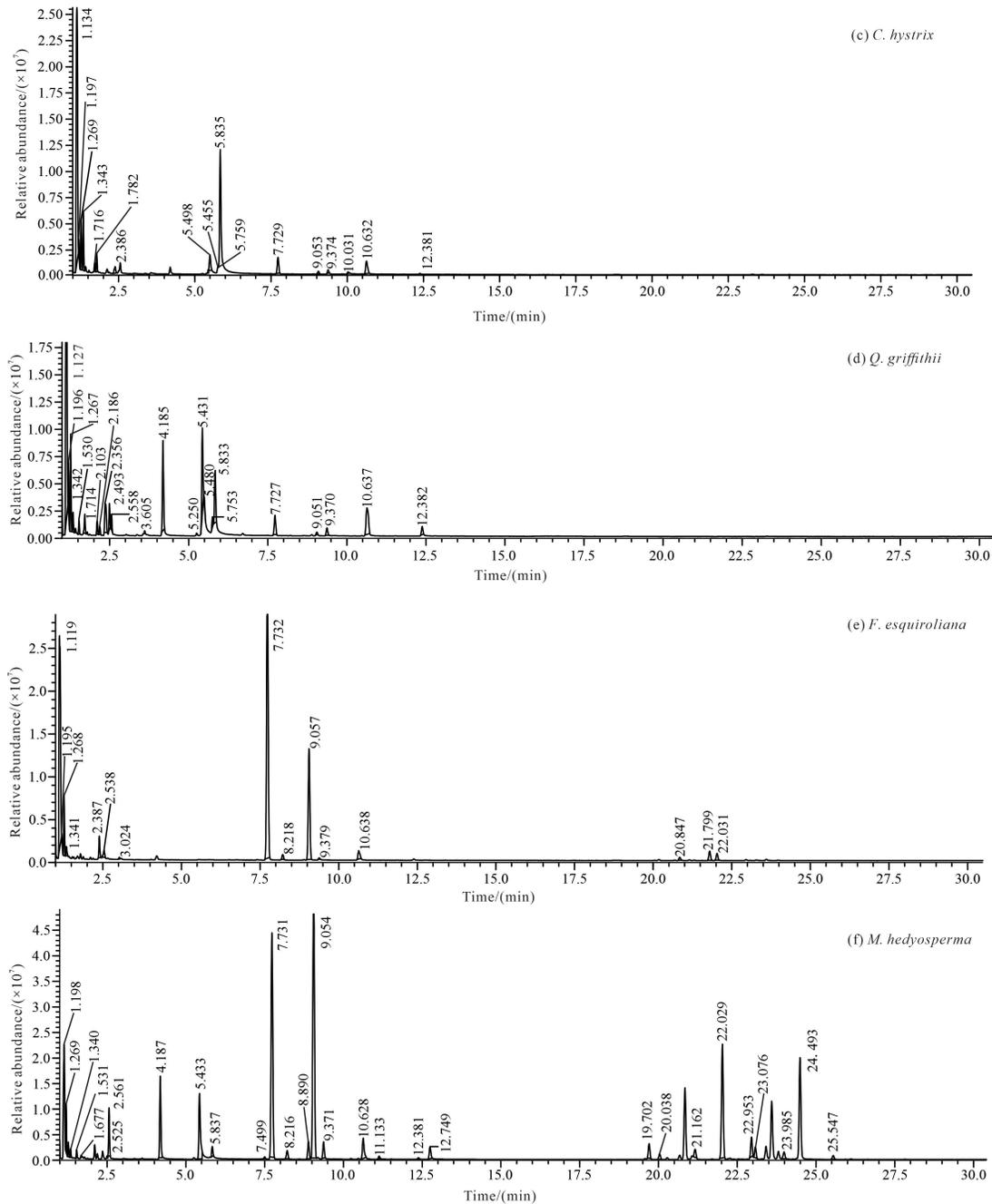


图2 马尾松混交林中马尾松、格木、红锥、大叶栎、黄毛栎和香梓楠的 VOCs 总离子图

Fig. 2 Total ion diagram of VOCs of *P. massoniana*, *E. fordii*, *C. hystrix*, *Q. griffithii*, *F. esquiroliana* and *M. hedyosperma* in the mixed forest of *P. massoniana*

2.1.2 杉木纯林及其混交林

杉木纯林及其混交林中的杉木、格木、红锥和大叶栎等树种中 80% 以上的 VOCs 在前 15 min 被检测出来, 其中格木、红锥和大叶栎的 VOCs 在前 15 min 的检出率为 100%; 杉木混交林中灰木莲的 VOCs 在前 15 min 的检出率为 76%, 较纯林低(表 2、图 3 和图 4)。说明格木、红锥和大叶栎 3 个树种含有的 VOCs 较其他树种更容易释放出来, 而灰木

莲含有一些较本次检测的其他树种释放速度慢的 VOCs。通过质谱库对比发现格木、红锥和大叶栎 3 个树种含有的挥发性较快的物质主要有乙醇、2-蒎烯和左旋-beta-蒎烯等, 而灰木莲含有的挥发速度慢的有机物多为长链的烯烃类物质, 如石竹烯。

2.2 VOCs 大类分析

从马尾松纯林及其混交林中鉴定出的 VOCs 可以归为萜、醇、醛、酮、酯、脂肪胺、环氧和酸等 8 大类。

表 2 杉木纯林及其混交林 VOCs 出峰时间规律

Table 2 Peak time rule of VOCs in pure forest and mixed forest of *C. lanceolata*

森林类型 Forest type	树种 Tree species	N_1	N_2	检出率/ (%) Detection rate/(%)	N_3	检出率/ (%) Detection rate/(%)
Pure forest	<i>C. lanceolata</i>	30	26	87	4	13
Mixed forest	<i>C. lanceolata</i>	17	15	88	2	12
	<i>E. fordii</i>	18	18	100	0	0
	<i>C. hystrix</i>	17	17	100	0	0
	<i>M. glauca</i>	23	17	76	6	24
	<i>Q. griffithii</i>	21	21	100	0	0

Note: N_1 means total number of detected substances, N_2 means number of detected substances in the first 15 min, N_3 means number of detected substances in the 15–30 min.

其中,马尾松纯林中含有萜类化合物 15 种,马尾松混交林中的马尾松含有萜类化合物 11 种,这两种林分中马尾松萜类化合物的数量均较其他树种该类物质和其他大类物质的数量多;萜、醇和酮类物质在马尾松纯林和混交林均有,醛类除了黄毛榕外其他树种也均有,环氧和酸类除了大叶栎和香梓楠外其他树种均无(表 3)。

从杉木纯林及其混交林中鉴定出的 VOCs 可以归为萜、醇、醛、酮、酯、脂肪胺、环氧、酸、硫醚和苯等 10 大类。其中,杉木纯林中含有萜类化合物 14 种,杉木混交林中的灰木莲含有萜类化合物 10 种,两者萜类化合物的数量均较其他树种该类物质和其他大类物质的数量多;萜、醇和醛类物质在杉木纯林及其混交林均有,酮类除了灰木莲外其他树种均有,酯类除了格木外其他树种均无,硫醚除了大叶栎外其他树种均无。各类林分 VOCs 分类情况详见表 3。

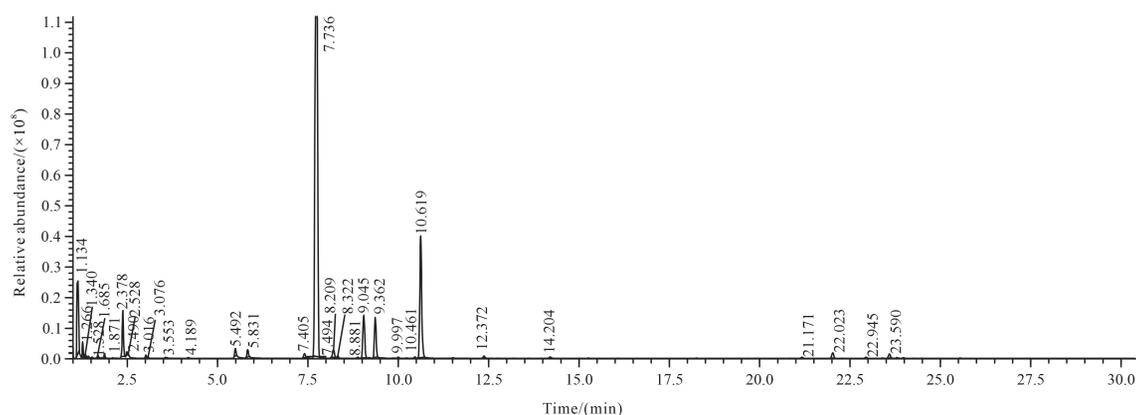
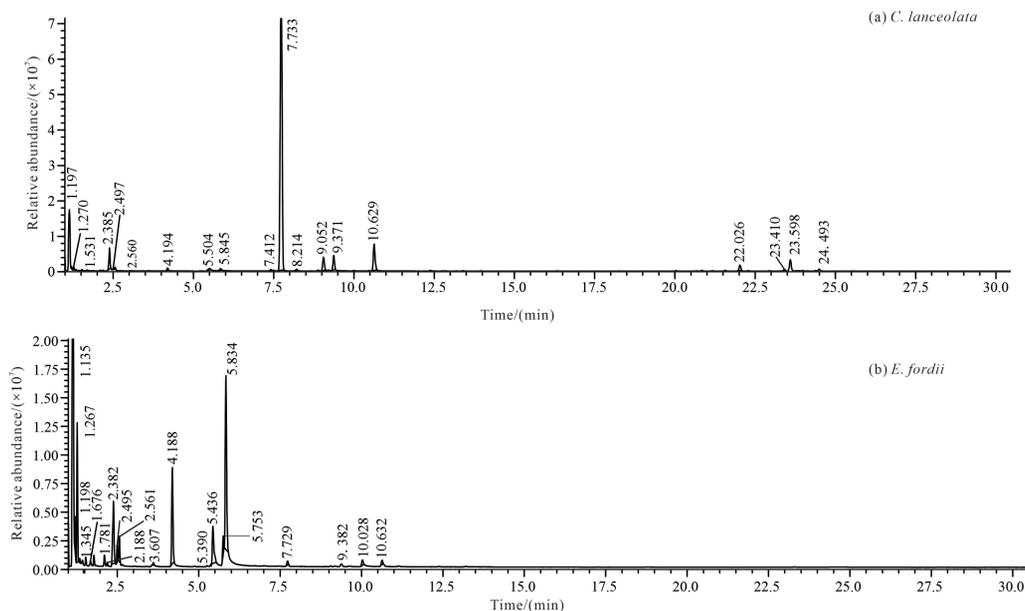


图 3 杉木纯林 VOCs 总离子图

Fig. 3 Total ion diagram of VOCs in pure forest of *C. lanceolata*

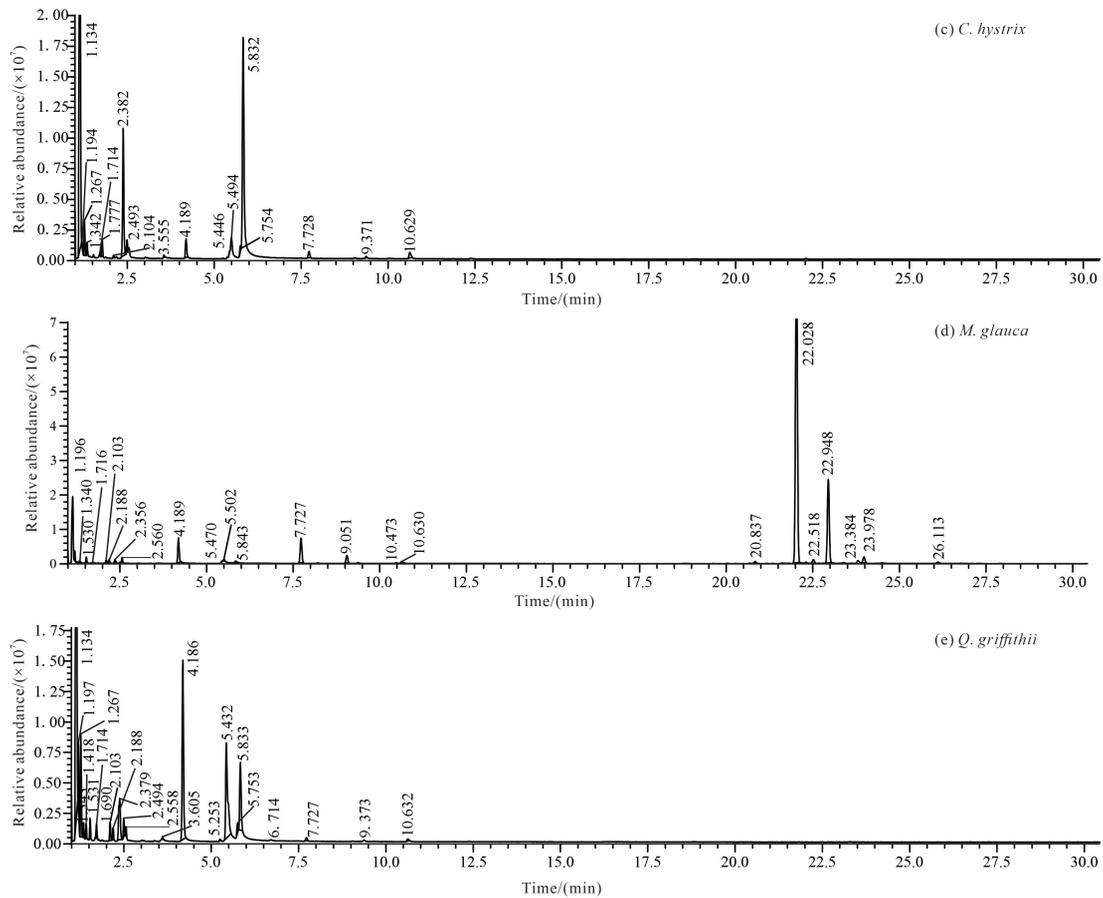


图4 杉木混交林中杉木、格木、红锥、灰木莲和大叶栎的 VOCs 总离子图

Fig. 4 Total ion diagram of VOCs of *C. lanceolata*, *E. fordii*, *C. hystrix*, *M. glauca* and *Q. griffithii* in the mixed forest of *C. lanceolata*

从表3还可以看出,纯林 VOCs 种类的数量较混交林少,如马尾松纯林的萜类物质有15种,杉木有14种,而马尾松混交林的萜类物质有50种,杉木的

有25种。其他大类,如醇、醛、酮、酯和脂肪胺等物质的种类也是纯林较混交林少。

表3 马尾松、杉木纯林和混交林 VOCs 种类及其数量

Table 3 Species and quantity of VOCs in pure forest and mixed forest of *P. massoniana* and *C. lanceolata*

森林类型 Forest type	树种 Tree species	萜 Terpenoids	醇 Alcohols	醛 Aldehydes	酮 Ketones	酯 Esters	脂肪胺 Aliphatic Amines	环氧 Epoxides	苯 Benzene	酸 Acids	硫醚 Thioethers
Pure forest	<i>P. massoniana</i>	15	3	1	3	1	1	0	0	0	0
Mixed forest	<i>P. massoniana</i>	11	3	2	3	0	1	0	0	0	0
	<i>E. fordii</i>	5	4	5	2	1	1	0	0	0	0
	<i>C. hystrix</i>	4	6	2	1	2	1	0	0	0	0
	<i>Q. griffithii</i>	5	7	7	1	0	1	1	0	1	0
	<i>F. esquiroliana</i>	8	4	0	2	0	1	0	0	0	0
	<i>M. hedysperma</i>	17	3	7	1	0	0	1	0	1	0

续表

Continued table

森林类型 Forest type	树种 Tree species	萜 Terpenoids	醇 Alcohols	醛 Aldehydes	酮 Ketones	酯 Esters	脂肪胺 Aliphatic Amines	环氧 Epoxides	苯 Benzene	酸 Acids	硫醚 Thioethers
Pure forest	<i>C. lanceolata</i>	14	8	1	3	0	1	0	2	0	0
Mixed forest	<i>C. lanceolata</i>	8	3	3	2	0	0	1	0	0	0
	<i>E. fordii</i>	2	5	7	2	2	0	0	0	0	0
	<i>C. hystrix</i>	3	8	3	2	0	1	0	0	0	0
	<i>M. glauca</i>	10	5	5	0	0	0	1	1	1	0
	<i>Q. griffithii</i>	2	6	8	1	0	1	1	0	1	1

3 讨论

植物 VOCs 种类繁多,已报道的与森林康养有关的 VOCs 主要有 8 大类:萜、醇、酚、酮、醛、酯、氧化物、醚。其中萜类和醇类具有杀菌消毒、抗感染的作用;酚类和酮类物质具有镇痛、促消化、提高免疫力的作用,但浓度高时有刺激作用;醛类有香气,且具有抗感染的作用;酯类具有抗感染、消炎作用;氧化物具有祛痰、止咳作用;醚类具有镇静作用^[13,14]。赖略等^[15]研究的马尾松松针含有 VOCs 22 种,其中以萜类化合物最多,其次为醇类;谢俊康等^[16]研究的马尾松幼苗含有 VOCs 22 种,其中最多的也是萜类化合物(18 种),其次为醇类和酯类。

目前,植物 VOCs 成分检测使用的是 GC-MS 技术,一般设置起始温度为 40–65 °C,总检测时间控制在 30–60 min^[10,17,18]。本次检测植物 VOCs 同样采用上述程序,但升温条件略有调整,同时增加了顶空加热。结果表明,本研究中各树种检测出的 VOCs 归属的大类主要有 4–8 种,未检测出酚类物质,其中与森林康养有关的 VOCs 有 7 种。萜类和醇类在全部检测树种中都有发现,以马尾松、香樟楠两个树种含有的萜类物质数量较多,说明这两个树种可能含有较多具有杀菌消毒和抗感染作用的 VOCs。酮类物质除了灰木莲外,其他树种均含有,说明这些树种的 VOCs 在镇痛、促消化和提高免疫力等方面具有一定的作用。马尾松、格木、红锥、大叶栎、黄毛榕、杉木等树种含有脂肪胺。脂肪胺类化合物可以作为化学、医药和新能源材料,或者添加剂等使用,刺激性很小^[19]。杉木和灰木莲含有苯类物质,但是混交林的杉木中未检测出苯,这可能与树种内含有的物质含量

以及检测过程有关。苯类物质有芳香气味,且具有神经毒性^[20]。另外,混交林 VOCs 种类数量之和远远超过纯林 VOCs 种类数量,说明混交林在森林康养方面发挥的功能性作用可能比纯林更加明显。

本研究采用 GC-MS 技术对各树种中 VOCs 的种类和数量进行研究,而不同树种和林分结构的 VOCs 在林间的实际存量、动态变化规律及其对人体产生的作用评价有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王晴艺. 四种芳香植物挥发物成分分析及其对人体身心健康的影响研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2021.
- [2] 张学珍,于志博,郑景云,等. 植物挥发性有机物的气候与环境效应研究进展[J]. 地球科学进展,2015,30(11): 1198-1209.
- [3] 邓晓军,陈晓亚,杜家纬. 植物挥发性物质及其代谢工程[J]. 植物生理与分子生物学学报,2004,30(1):11-18.
- [4] 阎秀峰,王洋,李一蒙. 植物次生代谢及其与环境的关系[J]. 生态学报,2007,27(6):2554-2562.
- [5] 王茜,任彬彬,张中霞. 园林植物挥发物释放的影响机理[J]. 农村实用技术,2019(8):87-88.
- [6] 杨莉. 不同顶空分析法对植物挥发物测定的影响[D]. 北京:北京林业大学,2007.
- [7] 陈智明,邓真,过赋文,等. 3 种棕榈科植物挥发物成分分析[J]. 安徽农业科学,2017,45(35):152-154,157.
- [8] 韦赛君. 3 种植物挥发物对空气负离子及空气微生物的影响[D]. 杭州:浙江农林大学,2021.
- [9] 宋志宇,沈思琪. 浅议植物挥发物与森林保健[J]. 林业勘查设计,2019(3):103-105.
- [10] 马丽鑫,郑旭,黄旭辉,等. 不同顶空进样技术结合多同位素内标法对香气物质定量分析的选择性差异[J]. 食品科学,2021,42(24):261-268.
- [11] 常明山,郝建,文娟,等. 荔枝异形小卷蛾危害的格木挥发性物质差异分析[J]. 广西林业科学,2021,50(5): 570-574.
- [12] 吴耀军,常明山,黎贵卿,等. 桉叶挥发物变化及桉树枝

- 瘦姬小蜂趋性反应[J]. 森林与环境学报, 2015, 35(1): 38-44.
- [13] 姚雪, 张少艾. 新世纪农业丛书: 芳香植物[M]. 上海: 上海教育出版社, 2002.
- [14] 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.
- [15] 赖略, 邹学冰, 徐金柱, 等. 马尾松叶片挥发物组成及其对松墨天牛有触角电生理反应的活性成分鉴定[J]. 林业与环境科学, 2022, 38(3): 148-153.
- [16] 谢俊康, 陈虎, 谭健晖, 等. 外源信号物质对马尾松幼苗松针挥发物的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(10): 29-36.
- [17] 张静静, 白泽珍, 李亚勇, 等. 紫花苜蓿不同部位的挥发性成分分析[J]. 草原与草坪, 2019, 39(6): 11-18.
- [18] 董易之, 陈炳旭, 徐淑, 等. 抗、感虫板栗品种果、叶挥发物化学成分的 GC-MS 分析[J]. 果树学报, 2012, 29(6): 1052-1056.
- [19] 朱赫. 脂肪醇类化合物经两步法合成脂肪胺类化合物的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2020.
- [20] 谭冰. 苯类物质的特点及应用[J]. 中国科技信息, 2015(3): 13-14.

VOCs Analysis of Pure Forest and Mixed Forest of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata*

WEN Juan¹, CHANG Mingshan^{2**}, HAO Jian³, YANG Baoguo³, ZHAO Pengfei²,
WU Yaojun²

(1. Guangxi Zhuang Autonomous Region Forest Resources and Environment Monitoring Center, Nanning, Guangxi, 530028, China; 2. Guangxi Engineering Research Center of Natural Enemy Breeding of Forestry Pests, Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Research Institute, Nanning, Guangxi, 530002, China; 3. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi, 532600, China)

Abstract: In order to find out the release rules and types of Volatile Organic Compounds (VOCs) from tree species, VOCs in the leaves of 11 tree species in *Pinus massoniana*, *Cunninghamia lanceolata* and their mixed forests were extracted by headspace method and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that in the first 15 min, VOCs was detected with a rate of 100% in *Erythrophleum fordii*, *Castanopsis hystrix* and *Quercus griffithii* from mixed forest of *P. massoniana* and mixed forest of *C. lanceolata*. VOCs was detected with a rate of 73% - 90% in *P. massoniana*, *Ficus esquiroliana* and *Michelia hedyosperma* from the pure and mixed forest of *P. massoniana*, as well as in *C. lanceolata* and *Manglietia glauca* from the pure and mixed forest of *C. lanceolata*. Terpenoids, alcohols, aldehydes, ketones, esters, acids, aliphatic amines and epoxides were detected in the pure and mixed forests of *P. massoniana*. Terpenoids was mostly detected in those 9 tree species, except *C. hystrix* and *Q. griffithii*. Terpenoids, alcohols, aldehydes, ketones, esters, acids, aliphatic amines, benzene, thioethers and epoxides were detected in the pure and mixed forests of *C. lanceolata*, and terpenoids counted most in *M. glauca*. In mixed forests of *C. lanceolata*, aldehydes counted most in *E. fordii* and *Q. griffithii*, while alcohols counted most in *C. hystrix*. The results indicated that the VOCs volatilization of *E. fordii*, *C. hystrix* and *Q. griffithii* were faster than that of the other tree species, while the VOCs volatilization of *M. glauca* and *M. hedyosperma* were slower than that of other tree species. The types of VOCs in pure forests are less than those in mixed forests. Seven categories of VOCs detected in pure forests and their mixed forests are related to forest health.

Key words: *Pinus massoniana*; *Cunninghamia lanceolata*; pure forest; mixed forest; Volatile Organic Compounds (VOCs); composition analysis

责任编辑: 陆 雁