

## 侧柏枝叶挥发性有机物(VOCs)的月份差异和日变化分析

牛 香<sup>1,2,①</sup>, 王 兵<sup>1,2</sup>, 张维康<sup>3</sup>, 袁卿语<sup>3</sup>, 李婉婷<sup>3</sup>, 许庭毓<sup>1,2</sup>

(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:** 采用热脱附-气相色谱/质谱联用(TDS-GC/MS)技术对侧柏(*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco)枝叶挥发性有机物(VOCs)的月份(7月至11月)差异和日变化进行检测分析。结果表明:在侧柏枝叶 VOCs 中鉴定出 133 个化合物,化合物总数在 9 月和 13:00—14:00 最多(均为 74),各月份和时段的烯烃类化合物数量和相对含量最高,且烯烃类相对含量在上午低于下午、夜晚低于白天。综上所述,侧柏枝叶 VOCs 以烯烃类为主,且化合物数量和相对含量存在明显的月份差异和日变化规律。

**关键词:** 侧柏; 挥发性有机物(VOCs); 动态变化

中图分类号: Q946.8; S791.38 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2023)04-0095-03  
DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2023.04.11

**Analyses on monthly differences and diurnal changes of volatile organic compounds (VOCs) from branches and leaves of *Platycladus orientalis*** NIU Xiang<sup>1,2,①</sup>, WANG Bing<sup>1,2</sup>, ZHANG Weikang<sup>3</sup>, YUAN Qingyu<sup>3</sup>, LI Wanting<sup>3</sup>, XU Tingyu<sup>1,2</sup> (1. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of National Forestry and Grassland Administration, Ecology and Nature Conservation Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Jiangxi Dagangshan National Key Field Observation and Research Station for Forest Ecosystem, Xinyu 336606, China; 3. College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2023, 32(4): 95-97

**Abstract:** The monthly (July to November) differences and diurnal changes of volatile organic compounds (VOCs) from branches and leaves of *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco were detected and analyzed by using thermal desorption-gas chromatography/mass spectrometry (TDS-GC/MS) technology. The results show that 133 compounds are identified in VOCs from branches and leaves of *P. orientalis*, the total number of compounds is the largest (both 74) in September and 13:00-14:00, the compound numbers and relative contents of alkenes in each month and period are the highest, and the relative contents of alkenes are lower in the morning than in the afternoon, and lower in the night than in the day. In conclusion, VOCs in branches and leaves of *P. orientalis* are mainly alkenes, and there are obvious rhythms of monthly differences and diurnal changes in numbers and relative contents of compounds.

**Key words:** *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco; volatile organic compounds (VOCs); dynamic change

植物挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)在调节植物生长发育和抵御环境胁迫上有重要作用<sup>[1]</sup>。相关研究表明:植物 VOCs 具有杀菌、抑菌、净化空气、维持生态平衡等功能<sup>[2]</sup>,并具有调节情绪、增强免疫力、促进新陈代谢等功效<sup>[3]</sup>。因此,研究植物 VOCs 具有重要的生理和生态意义。

侧柏(*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco)树姿优美、根系发达,具有观赏性高、抗逆性强、适应性广等优点,并具有较高的药用和材用价值<sup>[4]</sup>。为了探明侧柏枝叶 VOCs 的主要成分和释放特征,采用动态顶空套袋法采集侧柏枝叶 VOCs,并采用热脱附-气相色谱/质谱联用(TDS-GC/MS)技术对 VOCs 的月份(7月至11月)差异和日变化进行检测分析。

### 1 材料和方法

#### 1.1 材料

在北京植物园(东经 116°12'11.95"、北纬 39°59'53.34")内选择 3 株生长环境一致、生理状况相近且健康的侧柏(树龄 64 a、树高 14.9 m、胸径 12.3 cm)。园内夏季炎热多雨、冬季寒冷干燥,年均温 8℃~12℃,年均降水量 600~700 mm,年均空气相对湿度 50%~60%,年日照时数 2 802~2 842 h。

#### 1.2 方法

1.2.1 侧柏枝叶 VOCs 的采集 于 2021 年 7 月至 11 月检测侧柏枝叶 VOCs。在每月上、中、下旬各选择 1 个晴朗无风日,

收稿日期: 2022-09-07

基金项目: 国家林业和草原局重点项目(2021ZDKT003); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2022SY024)

作者简介: 牛 香(1982—),女,内蒙古巴彦淖尔人,博士,研究员,主要从事森林生态系统长期监测与评估工作。

①通信作者 E-mail: niuxiang@caf.ac.cn

引用格式: 牛 香, 王 兵, 张维康, 等. 侧柏枝叶挥发性有机物(VOCs)的月份差异和日变化分析[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(4): 95-97.

当日 7:00—20:00 间每 3 h 采集 1 次树冠中部向阳背风处 1~2 年生健康枝条(含叶片)的 VOCs, 每株 1 个枝条。在同年 7 月下旬选择 1 个晴朗无风日, 当日 7:00—20:00 间每 3 h 采集 1 次树冠中部向阳背风处 1~2 年生健康枝条(含叶片)的 VOCs, 每株 1 个枝条。采用动态顶空布袋法<sup>[5]</sup>采集枝叶 VOCs, 采样器流量 200 mL·min<sup>-1</sup>, 采集时间 1 h。每株选取 1 个枝条(含叶片)作为空白对照(不采集 VOCs), 用于校正本底影响。

1.2.2 侧柏枝叶 VOCs 的组成成分分析 使用 TurboMatrix 650 ATD 全自动热脱附系统(美国 PerkinElmer 公司)和 GCMS-QP2010 气相色谱/质谱联用仪(日本 Shimadzu 公司)进行分析。色谱条件: VF-5MS 毛细管柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm); 载气为高纯氮气, 载气流速 1.0 mL·min<sup>-1</sup>; 初始柱温 40 °C, 保持 3 min, 以 10 °C·min<sup>-1</sup> 速率升温至 150 °C, 保持 1 min, 以 20 °C·min<sup>-1</sup> 速率升温至 250 °C, 保持 30 min。质谱条件: EI 离子源, 电子能量 70 eV; 质量扫描范围 *m/z* 33~400; 离子源温度 250 °C。将总离子流图在 Nist 2014 Library 标准

谱库中进行相似度、保留指数、CAS 号比对, 确定化合物成分, 采用总离子流峰面积归一化法<sup>[6]</sup>计算相对含量。

## 2 结果和分析

### 2.1 侧柏枝叶 VOCs 的月份差异

本研究在侧柏枝叶 VOCs 中鉴定出 133 个化合物, 包括烯烃类、烷烃类、芳香烃类、醇类、醛类、酮类、酯类和其他类。统计结果(表 1)显示: 化合物总数在实验期间先增多后减少, 于 9 月达到峰值(74)。各月份烯烃类化合物数量最多。

由表 1 可见, 烯烃类和醛类相对含量在 11 月最高, 烷烃类、酯类和其他类相对含量在 7 月最高, 芳香烃类相对含量在 8 月最高, 而醇类和酮类相对含量在 9 月最高。各月份烯烃类相对含量均最高。

从不同类型化合物主要成分相对含量(表 2)看, 7 月至 10 月间, 3-蒎烯相对含量最高, (+)- $\alpha$ -蒎烯相对含量基本次之; 11 月, (+)- $\alpha$ -蒎烯相对含量最高, 3-蒎烯相对含量次之。

表 1 侧柏枝叶挥发性有机物(VOCs)的月份差异( $\bar{X}\pm SD$ )

Table 1 Monthly differences in volatile organic compounds (VOCs) from branches and leaves of *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco ( $\bar{X}\pm SD$ )

类型 Type	不同月份化合物数量 Number of compounds in different months					不同月份相对含量/% Relative content in different months				
	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	11月 Nov.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	11月 Nov.
烯烃类 Alkenes	22	24	26	23	25	78.03±1.04	80.56±0.57	81.10±0.59	83.35±0.74	89.96±0.53
烷烃类 Alkanes	5	10	6	7	7	8.82±0.48	8.76±0.25	3.35±0.16	3.22±0.09	3.35±0.14
芳香烃类 Aromatics	4	5	5	7	4	3.40±0.30	3.70±0.35	1.76±0.23	3.40±0.12	1.96±0.10
醇类 Alcohols	11	10	12	11	5	5.72±0.15	4.14±0.11	7.34±0.21	6.32±0.12	0.90±0.07
醛类 Aldehydes	7	8	10	7	6	0.80±0.04	1.30±0.06	2.37±0.08	1.49±0.05	2.57±0.21
酮类 Ketones	4	1	3	3	2	0.15±0.02	0.12±0.01	1.59±0.24	0.17±0.01	0.15±0.02
酯类 Esters	8	5	10	7	2	2.64±0.12	1.22±0.13	2.34±0.10	1.98±0.07	0.82±0.21
其他类 Others	1	1	2	2	2	0.44±0.22	0.22±0.02	0.16±0.03	0.07±0.01	0.29±0.06

表 2 侧柏枝叶挥发性有机物(VOCs)主要成分相对含量的月份差异( $\bar{X}\pm SD$ )

Table 2 Monthly differences in relative contents of main components in volatile organic compounds (VOCs) from branches and leaves of *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco ( $\bar{X}\pm SD$ )

类型 Type	主要成分 Main component	不同月份相对含量/% <sup>1)</sup> Relative content in different months <sup>1)</sup>				
		7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	11月 Nov.
烯烃类 Alkenes	3-蒎烯 3-carene	13.99±3.25	16.77±1.48	14.44±2.50	17.45±1.32	19.96±1.13
	(+)- $\alpha$ -蒎烯(+)- $\alpha$ -pinene	8.28±0.98	11.17±2.32	11.95±1.35	10.24±2.24	25.04±3.15
烷烃类 Alkanes	环己烷 Cyclohexane	8.29±2.10	—	—	—	—
	庚烷 Heptane	—	3.52±1.05	—	—	—
芳香烃类 Aromatics	4-乙基邻二甲苯 4-ethyl- <i>o</i> -xylene	—	2.33±0.60	—	2.71±0.69	1.67±0.27
	间伞花烃 <i>m</i> -cymene	2.87±1.10	—	—	—	—
醇类 Alcohols	3-甲基-3-丁烯-1-醇 3-methyl-3-buten-1-ol	3.12±0.77	0.06±0.05	—	1.49±0.19	—
	顺-3-己烯-1-醇 <i>cis</i> -3-hexen-1-ol	0.20±0.06	0.13±0.05	3.57±1.31	1.43±0.42	—
醛类 Aldehydes	3-己烯醛 3-hexenal	—	—	0.97±0.08	—	—
	正癸醛 Decyl aldehyde	0.33±0.13	0.60±0.29	—	0.47±0.15	1.08±0.33
酮类 Ketones	3-戊酮 3-pentanone	—	—	1.01±0.37	—	—
酯类 Esters	乙酸松油酯 Terpinyl acetate	1.30±0.27	0.70±0.30	0.17±0.03	1.10±0.20	0.69±0.35
其他类 Others	石竹素 Caryophyllene oxide	0.44±0.22	0.22±0.02	0.14±0.05	0.03±0.00	0.06±0.02

<sup>1)</sup>—: 未检出 Undetected.

## 2.2 侧柏枝叶 VOCs 的日变化

侧柏枝叶 VOCs 日变化分析结果(表3)表明:化合物总数大体上先增多后减少,在 13:00—14:00 达到峰值(74);多数类型化合物数量在 13:00—14:00 最多,在 19:00—20:00 最少。各时段烯烃类化合物数量最多。

烯烃类和酮类相对含量在 16:00—17:00 最高,烷烃类和芳香烃类相对含量在 7:00—8:00 最高,醇类相对含量在 13:00—14:00 最高,醛类和其他类相对含量在 10:00—11:00 最高,而酯类相对含量在 19:00—20:00 最高。各时段烯烃类相对含量最高,且在上午低于下午、夜晚低于白天。

表3 侧柏枝叶挥发性有机物(VOCs)的日变化( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

类型 Type	不同时段化合物数量 Number of compounds in different periods					不同时段相对含量/% Relative content in different periods				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
烯烃类 Alkenes	24	22	26	26	19	76.20±3.71	82.33±1.74	81.08±1.31	83.30±1.73	80.03±2.37
烷烃类 Alkanes	5	5	6	2	6	10.51±2.67	7.03±0.34	3.35±0.64	2.62±0.14	6.62±1.08
芳香烃类 Aromatics	6	5	5	3	3	6.35±0.53	3.27±0.61	1.76±0.97	2.13±0.52	2.10±0.29
醇类 Alcohols	8	8	12	11	6	2.44±0.39	2.39±0.34	7.34±1.14	4.19±0.56	1.93±0.24
醛类 Aldehydes	7	6	10	9	7	1.56±0.20	2.81±0.26	2.37±0.35	1.79±0.42	2.06±0.16
酮类 Ketones	3	1	3	4	2	0.98±0.06	0.08±0.01	1.59±0.48	1.99±0.40	0.26±0.02
酯类 Esters	5	7	10	9	4	1.39±0.13	1.41±0.24	2.34±0.35	3.79±0.45	6.65±0.87
其他类 Others	2	2	2	2	1	0.57±0.36	0.67±0.10	0.16±0.04	0.21±0.03	0.35±0.01

<sup>1)</sup> I: 7:00—8:00; II: 10:00—11:00; III: 13:00—14:00; IV: 16:00—17:00; V: 19:00—20:00.

## 3 讨论和结论

采用不同收集和分析方法得到的植物 VOCs 检测结果存在一定差异<sup>[7]</sup>。本研究在 7 月至 11 月侧柏枝叶 VOCs 中共检测到 133 个化合物,且不同类型化合物数量和相对含量的月份差异明显。比较而言,烯烃类的化合物数量和相对含量均明显高于其余类型,说明烯烃类化合物为侧柏枝叶 VOCs 的主要成分。已有研究证实植物 VOCs 中的部分萜烯类化合物具有调节神经系统、抗菌消炎等作用<sup>[8-10]</sup>,由此推测侧柏枝叶 VOCs 中的烯烃类化合物可能具有类似作用。

侧柏枝叶 VOCs 的化合物总数在 13:00—14:00 最多、19:00—20:00 最少。烯烃类相对含量有 2 个峰值,分别出现在 10:00—11:00 和 16:00—17:00,这可能与光照可通过间接控制萜烯类化合物合成酶的活性影响烯烃类化合物的合成和释放有关<sup>[11]</sup>,具体原因有待后续研究。

### 参考文献:

[1] DUDAREVA N, KLEMPIEN A, MUHLEMANN J K, et al. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds[J]. *New Phytologist*, 2013, 198: 16-32.  
[2] 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.

[3] 左照江, 张汝民, 王 勇, 等. 冷蒿挥发性有机化合物主要成分分析及其地上部分结构研究[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(4): 462-468.  
[4] 张俊飞, 孙广璐, 张 彬, 等. 侧柏叶药理作用的研究进展[J]. *时珍国医国药*, 2013, 24(9): 2231-2233.  
[5] 王金凤, 周 琦, 陈卓梅. 木荷枝叶挥发性有机物(VOCs)的季节差异及春季日变化[J]. *植物资源与环境学报*, 2022, 31(1): 53-60.  
[6] 陈俊刚. 森林植物排放挥发性有机物及对二次污染物生成的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2017: 97.  
[7] 李 娟, 王 成, 彭镇华. 侧柏挥发物变化规律[J]. *东北林业大学学报*, 2010, 38(3): 52-56.  
[8] 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]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43: 4109-4123.  
[9] ZHANG Z, GUO S, LIU X, et al. Synergistic antitumor effect of  $\alpha$ -pinene and  $\beta$ -pinene with paclitaxel against non-small-cell lung carcinoma (NSCLC)[J]. *Drug Research*, 2015, 65: 214-218.  
[10] 彭少麟, 南 蓬, 钟 扬. 高等植物中的萜类化合物及其在生态系统中的作用[J]. *生态学杂志*, 2002, 21(3): 33-38.  
[11] 李洪远, 王 芳, 熊善高, 等. 植物挥发性有机物的作用与释放影响因素研究进展[J]. *安全与环境学报*, 2015, 15(2): 292-296.

(责任编辑: 佟金凤)