

油松释放萜烯类挥发性成分研究

吕迪,王得祥*,谢小洋,张岗岗

(西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100)

摘要:以我国北方乡土树种油松为研究对象,运用活体植物动态顶空套袋法,结合 Porapak-Q 吸附采样—溶剂洗脱—GC-MS 分析洗脱液的方法进行样品采集与分析,对油松夏季健康木、夏季衰弱木、秋季健康木释放萜烯类挥发性成分组成进行分析,并研究挥发物释放浓度的日变化规律,在本研究结果分析的基础上,结合文献评价不同条件下油松释放的挥发物对人体的保健作用,为人们合理选择游憩时间提供依据。结果表明:油松主要释放 3-萜烯、 α -水芹烯、 α -蒎烯、莰烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、D-柠檬烯、萜品油烯等 8 种单萜烯;不同条件下,油松释放的挥发物成分又存在着差异,油松夏季健康木主要释放以上 8 种单萜烯,且释放浓度呈现“两峰一谷”日变化规律,而夏季衰弱木释放的单萜挥发物比健康木多 5 种,分别为 β -水芹烯、 α -松油烯、反式- β -罗勒烯、 β -罗勒烯、 γ -松油烯,秋季健康木比夏季多释放 3 种相对含量均低于 0.1% 的 β -水芹烯、反式- β -罗勒烯和 γ -松油烯;3 种条件的油松对倍半萜类挥发物释放极少,各物质相对含量均不高。研究显示,相比夏季而言,秋季健康油松林分释放的挥发物对人体健康更有益,更适合外出游憩。而夏季 16:30—18:00 期间也比较适合在油松健康林分内游憩。

关键词:油松;挥发物;单萜烯;GC-MS;动态顶空套袋法

中图分类号:S791.254 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)01-0231-07

Terpene Volatile Components Released from *Pinus tabulaeformis*

LYU Di, WANG De-xiang*, XIE Xiao-yang, ZHANG Gang-gang

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to understand the diurnal variations and differences of the components of terpene volatiles released from healthy and debility *Pinus tabulaeformis* boles, dynamic branch enclosure technique combined with Porapak-Q adsorption-solvent desorption-GC-MS method was used. On the basis of the results, combined with literatures, the effects of volatiles on human health were evaluated to provide a reasonable choice of recreation time for people. The results showed that: the main terpenes released from *P. tabulaeformis* were 3-carene, α -phellandrene, α -pinene, camphene, β -pinene, β -myrcene, D-limonene, and terpinolene. In summer, healthy boles released eight kinds of major monoterpene as above, and the releasing concentration presented “two-peak and one-valley” diurnal variation; debility boles released 5 more terpenes than healthy boles: β -phellandrene, α -terpinene, trans- β -ocimene, β -ocimene, and γ -terpinene. In autumn, healthy boles released 3 more than summer: α -terpinene, trans- β -ocimene, and γ -terpinene. Each sesquiterpene component from *P. tabulaeformis* had a very low relative content. The results suggested that the healthy *P. tabulaeformis* forest in autumn was more beneficial to health and suitable for traveling outside, while in autumn, the best time period was 16:30—18:00.

Key words: *Pinus tabulaeformis*; volatile component; monoterpene; GC-MS; dynamic branch enclosure technique

收稿日期:2015-01-25 修回日期:2015-03-14

基金项目:国家林业局 948 项目(2013-4-56):森林对大气质量影响评价模型应用技术引进。

作者简介:吕迪,女,在读硕士,研究方向:森林生态。E-mail:ld498309992@126.com

* 通信作者:王得祥,男,教授,博士生导师,研究方向:森林生态和森林可持续经营。E-mail:wangdx66@126.com

树木作为城市园林的主体,一方面吸收 CO_2 释放 O_2 ,另一方面还产生痕量的次生挥发性有机物(VOC)。Guenther^[1-2]等(1993,1995)将植物释放的 VOC 分为异戊二烯、单萜烯和其他 VOC (OVOC)3 类。其中,单萜类有机物的释放量约占总量的 11%。空气中的单萜烯具有抑菌杀菌、净化空气、改善人体心理和生理状态,缓解紧张、情绪烦躁等一系列积极作用^[3],OVOC 中的倍半萜释放量少,但植物释放的种类多,对周围环境中微生物也具有一定抑制作用^[4]。基于植物释放挥发物具有的这些积极作用,“森林浴”等概念也应运而生。

针叶树是单萜烯的主要释放源,油松作为我国北方城市主要园林绿化树种之一,吸引了大量学者对其自然状态下释放的单萜类成分进行研究。李金龙^[5]等(1994)分析出油松枝叶释放的 6 种单萜烯,然而受到当时设备限制所采用的气相色谱(GC)仪器,分析结果存在一定不确定性,检测出的物质成分较少。侯慧波^[6]等(2006)采用吸附-溶剂洗脱采样方法分析出油松球果枝梢释放的 6 种单萜烯挥发物。他们研究方法中所采用吸附剂 XAD-2 和 Tenax TA 的吸附性能,相对比目前流行的 Porapak-Q 而言更差一些^[7],检测出的物质成分也较少。因此,本研究以我国北方乡土树种油松为研究对象,运用活体植物动态顶空套袋法,参考侯慧波的采样方法,使用吸附性能更高的 Porapak-Q 作为吸附剂采样后,运用目前流行的、分析精度更高的 GC-MS 进行样品分析,旨在获得油松释放萜烯类挥发物成分的日变化规律以及不同条件下的挥发物组分差异,以期结合参考文献中各挥发物成分对人体所具有的功效,评价不同条件下的油松释放萜烯类挥发物成分对人体健康的影响,寻找合理的外出游憩时间。

1 材料与方法

1.1 材料

以西北农林科技大学校园 20 年生、胸径 20 cm 的生长良好、长势旺盛的油松(*Pinus tabulaeformis*)健康木和受病虫害干扰、生长不良的衰弱木为研究对象。

1.2 试剂

二氯甲烷色谱纯(美国 ACS 恩科化学);80—100 目的 Porapak-Q 吸附剂(sigma 公司);作为底物过滤物的 GDX-101 国产吸附剂(60—80 目);活性炭(天津 Kermel 公司)。

1.3 仪器

TRACE ISQ 1310 型气质联用仪(美国 Ther-

mo 公司);QC-3/1S 型大气采样器(北京劳保所);GLZ-A 型光合有效辐射计(浙江托普仪器有限公司);Kestrel 4000 手持气象仪(美国 NK)。

1.4 试验方法

本研究主要分析夏季健康木、夏季衰弱木、秋季健康木 3 种条件下油松释放萜烯类挥发物组分的差异,以及夏季释放浓度的日变化规律。2014 年 7 月对夏季油松健康木和衰弱木进行成分测定试验,10 月对秋季健康木进行成分测定试验,重复试验 3 组。7 月中旬,从 8:00 开始,2 h 采样 1 次,对夏季健康木进行释放浓度日变化试验,次日重复试验。试验采用 Porapak-Q 吸附采样—溶剂洗脱—GC-MS 分析洗脱液的方法进行样品采集与分析。利用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析,用 SigmaPlot 绘图。

1.4.1 采样准备 选择特氟龙(FEP)材质的采样袋(60 cm×70 cm),作为活体植物动态顶空气体采样的密闭场所。采样袋和硅胶管洗净,通入高纯 N_2 老化。玻璃吸附管清洗干净,高温烘干,通 N_2 老化,填充活化后的吸附剂 Porapak-Q,每管 0.15 g,吸附管两端用硅烷化的玻璃棉封口固定。对组装完成的吸附管用二氯甲烷润洗 3 次。

1.4.2 气体样品收集 在晴朗无风的天气条件下,选取树体基部背风向阳处距地面 2 m 高的 1 年生树枝进行采样,用 FEP 采样袋将目标树枝套住,系紧开口。将袋内空气抽完,通入经 GDX-101 过滤去除本底的新鲜空气。待采样袋内气体体积达到总体积的 3/4 时,停止充气,采样袋密闭平衡 20 min 后连接吸附管。将大气采样仪流量调节到 $200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,开始吸附采样,每个样品吸附 60 min。将吸附管带回实验室,分别用 0.6、0.8 mL 的二氯甲烷洗脱 2 次,收集洗脱液进行 GC-MS 分析。采样过程中,用手持气象仪测量空气温度和湿度,用 GLZ-A 型光合有效辐射计测量光合有效辐射,每 5 min 记录 1 次有效数据。采样袋内不套树枝,做空白对照采样。

1.4.3 试验分析 GC 工作条件:色谱柱为 $30 \text{ m} \times 0.32 \text{ mm} \times 0.25 \mu\text{m}$ 的 HP-5MS UI 柱;程序升温:初始温度 40°C ,4 min 后以 $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率上升至 240°C ,保持 8 min 后以 $15^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速率升温到 300°C ,并保持 5 min;载气为氦气,不分流进样。

MS 工作条件:电离源为 EI 源;质量范围为 33~500;离子源温度为 280°C ;接口温度为 250°C ;全扫描,扫描间隔为 0.2 s。

定性分析:获得的 GC-MS 离子流图,通过

NIST2010 谱图库检索,兼顾保留时间并参考已有文献中植物释放的物质成分进行^[5,6,9-11] 确认和筛选,鉴定样品中各萜烯成分。

各萜烯成分的相对含量=该物质峰面积/萜烯物总峰面积×100%

经 GC-MS 分析获得的有机物离子色谱图峰面积与该有机物的真实浓度间存在某种线性关系^[8],故夏季油松单萜烯的释放浓度日变化通过各单萜有机物峰面积的日变化来反映。

2 结果与分析

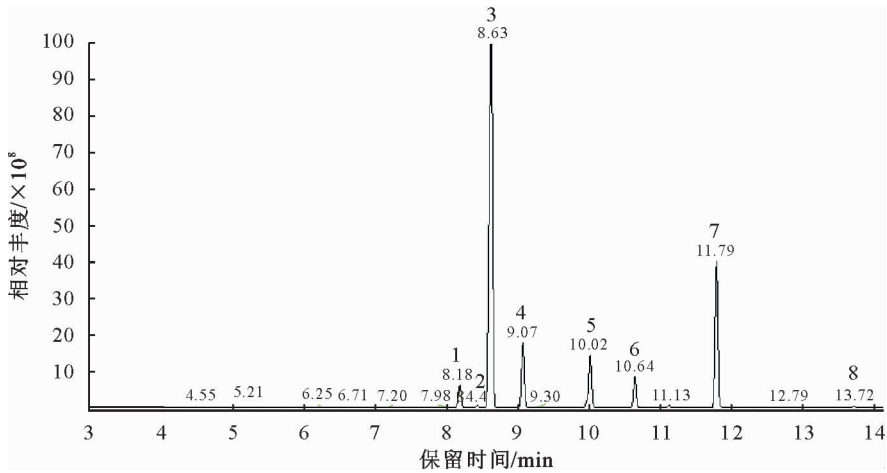
2.1 油松挥发物的主要成分

通过对油松夏季健康木、秋季健康木以及夏季衰弱木挥发物成分的分析,结果显示,3 种条件下的油松释放的萜烯类挥发物物质组成及其相对含量存

在差异,但都以 3-萜烯、 α -水芹烯、 α -蒎烯、苈烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、D-柠檬烯、萜品油烯等 8 种单萜烯为主要释放物,总相对含量分别为 96.72%、99.67%、95.43%(图 1)。

2.2 不同季节油松释放萜烯挥发物组分的差异

油松释放的萜烯类挥发物根据分子量可分为 2 大类,分子量为 136 的单萜烯和 204 的倍半萜烯。油松夏季健康木,释放 8 种单萜和 11 种倍半萜;秋季健康木,共释放 11 种单萜烯和 6 种倍半萜。其中,夏季主要释放 α -蒎烯(相对含量为 72.57%)、 β -蒎烯(13.83%)、苈烯(4.50%)、3-萜烯(2.62%)、石竹烯(2.44%)和 D-柠檬烯(1.37%)等有机物。秋季释放的挥发物主要有 α -蒎烯(59.64%)、 β -蒎烯(17.26%)、D-柠檬烯(13.36%)、 β -月桂烯(4.72%)和苈烯(3.44%)。



注:1:3-萜烯 3-Carene;2: α -水芹烯 α -Phellandrene;3: α -蒎烯 α -Pinene;4:苈烯 Camphene;5: β -蒎烯 β -Pinene;6: β -月桂烯 β -Myrcene;7:D-柠檬烯 D-Limonene;8:萜品油烯 Terpinolene。

图 1 油松主要单萜挥发物的总离子流

Fig. 1 Total ion chromatogram of major monoterpene volatiles from *P. tabulaeformis*

表 1 表明,油松健康木夏秋两季释放萜烯类挥发物成分组成存在差异。秋季比夏季多释放 3 种单萜烯,为 β -水芹烯、反式- β -罗勒烯和 γ -松油烯。夏季比秋季多释放 5 种倍半萜烯,为异石竹烯、雪松烯、 α -愈创木烯、 γ -榄香烯、 γ -依兰油烯。相对比夏季,秋季释放 α -蒎烯的相对含量减小,D-柠檬烯的含量增加。油松夏季健康木以释放 8 种单萜烯为主,其中 α -蒎烯相对含量最高,为 72.57%。秋季 α -蒎烯的相对含量减少,而 β -蒎烯、D-柠檬烯、 β -月桂烯、 α -水芹烯的含量增加。

2.3 不同健康状态油松释放萜烯挥发物组分的差异

表 1 表明,油松夏季衰弱木释放的萜烯种类最多,包括 13 种单萜烯和 17 种倍半萜。主要释放物有 α -蒎烯(35.96%)、 β -蒎烯(27.32%)、D-柠檬烯

(23.42%)、苈烯(3.51%)、 β -月桂烯(3.37%)、石竹烯(2.73%)和 3-萜烯(1.11%)(表 1)。

油松健康木和衰弱木释放萜烯类挥发物的成分组成存在差异(表 1)。衰弱木释放的挥发物种类比健康木多,单萜烯多 5 种,倍半萜烯多 6 种,分别为 β -水芹烯、 α -松油烯、反式- β -罗勒烯、 β -罗勒烯、 γ -松油烯和 β -榄香烯、(E)- β -法尼烯、 β -古巴烯、 α -依兰油烯、 α -法尼烯、 α -荜澄茄油烯。对比健康木而言,衰弱木释放的 α -蒎烯相对含量减少, β -蒎烯和 D-柠檬烯均有增加,其中 D-柠檬烯大幅度增加。

2.4 夏季油松健康木释放单萜类物质的日变化规律

表 2 表明,夏季油松健康木 1 d 内共释放 11 种单萜烯类有机物,在图 1 中 8 种主要单萜烯的基础上增加了 β -水芹烯、反式- β -罗勒烯、 γ -松油烯,且这

表 1 油松释放萜烯类物质成分的动态变化

Table 1 Dynamic changes of terpene volatile components from *P. tabulaeformis*

挥发物成分	分子量	相对含量/%		
		夏季健康木	秋季健康木	夏季衰弱木
3-蒎烯 3-Carene	136	2.622±0.101a	0.874±0.208b	1.116±0.144b
α-水芹烯 α-Phellandrene	136	0.154±0.028a	0.255±0.113a	0.070±0.008a
α-蒎烯 α-Pinene	136	72.572±2.343a	59.643±6.001a	35.962±1.629a
莰烯 Camphene	136	4.998±0.047a	3.441±0.615a	3.513±0.360a
β-蒎烯 β-Pinene	136	13.828±0.803b	17.266±2.259b	27.320±1.365a
β-月桂烯 β-Myrcene	136	0.988±0.243a	4.725±2.716a	3.375±0.140a
β-水芹烯 β-Phellandrene	136	0±0b	0.007±0.003b	0.026±0.001a
α-松油烯 α-Terpinene	136	0±0b	0±0b	0.032±0.006a
D-柠檬烯 D-Limonene	136	1.369±0.498c	13.360±0.596b	23.427±2.948a
反式-β-罗勒 Trans-β-Ocimene	136	0±0b	0.014±0.007b	0.044±0.001a
β-罗勒烯 β-Ocimene	136	0±0b	0±0b	0.204±0.026a
γ-松油烯 γ-Terpinene	136	0±0b	0.081±0.018a	0.051±0.011a
萜品油烯 Terpinolene	136	0.187±0.043b	0.110±0.036b	0.641±0.013a
依兰烯 Ylangene	204	0.080±0.021a	0.004±0.004b	0.023±0.004b
古巴烯 Copaene	204	0.112±0.028a	0.010±0.005b	0.049±0.003b
β-波旁烯 β-Bourbonene	204	0.058±0.013a	0.004±0.004b	0.053±0.006a
β-榄香烯 β-Elemene	204	0±0b	0±0b	0.110±0.000a
长叶烯 Longifolene	204	0.153±0.028a	0.017±0.003b	0.097±0.020a
石竹烯 Caryophyllene	204	2.444±0.739a	0.176±0.021b	2.738±0.085a
异石竹烯 Isocaryophillene	204	0.016±0.016a	0±0a	0.009±0.005a
葎草烯 Humulene	204	0.230±0.064a	0.014±0.002b	0.299±0.008a
β-法尼烯 β-Farnesene	204	0±0b	0±0b	0.136±0.011a
雪松烯 Cedrene	204	0.062±0.012a	0±0b	0.022±0.001b
β-古巴烯 β-copaene	204	0±0b	0±0b	0.109±0.004a
α-愈创木烯 α-Guaiene	204	0.014±0.014a	0±0a	0.031±0.002a
γ-榄香烯 γ-Elemene	204	0.034±0.018b	0±0b	0.144±0.004a
α-依兰油烯 α-Murolene	204	0±0b	0±0b	0.028±0.003a
α-法尼烯 α-Farnesene	204	0±0b	0±0b	0.225±0.029a
γ-依兰油烯 γ-Murolene	204	0.083±0.017a	0±0b	0.056±0.004a
α-葎澄茄油烯 α-Cubebene	204	0±0b	0±0b	0.087±0.008a

注:同列数字后不同字母表示显著差异($p<0.05$)。

表 2 油松夏季健康木释放的单萜烯相对含量日变化

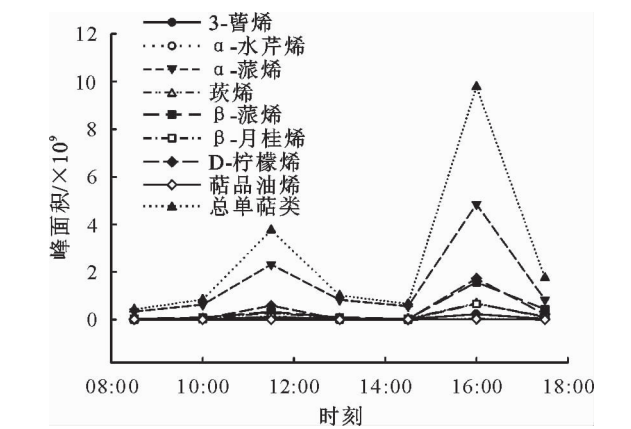
Table 2 Diurnal variation of relative content of monoterpene from summer healthy boles

成 分	时刻						
	8:30	10:00	11:30	13:00	14:30	16:00	17:30
3-蒎烯 3-Carene	2.523	3.025	2.762	2.814	3.002	2.229	2.245
α-水芹烯 α-Phellandrene	0.168	0.209	0.218	0.199	0.240	0.343	0.234
α-蒎烯 α-Pinene	79.335	74.554	64.133	81.935	85.055	48.218	62.480
莰烯 Camphene	4.490	7.038	7.048	5.003	4.845	6.717	5.088
β-蒎烯 β-Pinene	6.467	9.410	10.126	8.394	4.199	17.492	16.634
β-月桂烯 β-Myrcene	0.808	1.660	3.000	0.490	0.630	7.249	4.702
β-水芹烯 β-Phellandrene	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000
D-柠檬烯 D-Limonene	5.897	3.908	12.634	1.046	1.912	17.380	8.492
反式-β-罗勒烯 trans-β-Ocimene	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000
γ-松油烯 γ-Terpinene	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.083	0.000
萜品油烯 Terpinolene	0.310	0.196	0.080	0.117	0.117	0.261	0.125

3 种单萜烯仅被发现在 16:00 采集的样品中,是该样品中相对含量最小的 3 种有机物,均低于 0.3%。8 种主要单萜成分的相对含量随时间变化存在波

动,其中 α-蒎烯、β-蒎烯、D-柠檬烯波动幅度最大。16:00 时各有机物相对含量相对较均衡。图 2 显示的是夏季油松优势木 8 种主要单萜烯成分的色谱图

峰面积日变化规律,用以反映单萜烯真实释放浓度的日变化。从图中可看出:夏季油松优势木白天释放单萜烯的总峰面积呈现出“两峰一谷”的变化规律,分别在 11:30 和 16:00 前后出现波峰,在 13:00 与 14:30 之间出现波谷,在 16:00 左右达到最大值。各单萜烯有机物峰面积的变化与总峰面积变化一致,均呈现出“两峰一谷”的规律。



注:图上时间均为开始采样时间

图 2 夏季油松健康木主要单萜烯峰面积日变化

Fig. 2 Diurnal variation of peak area of monoterpene from summer healthy boles

3 结论与讨论

油松活体状态下释放的萜烯挥发物,以 3-萜烯、 α -水芹烯、 α -蒎烯、茨烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、D-柠檬烯、萜品油烯等 8 种单萜烯为主。对比前人的研究发现,相对含量较大的物质成分是相同的,如 α -水芹烯、 α -蒎烯、茨烯、 β -蒎烯、D-柠檬烯等,但在部分相对含量较低的物质成分上存在差异。本研究结果比侯慧波^[6]采用同种方法测定的成分多出 3-萜烯、萜品油烯 2 种,与高岩^[3]、李金龙^[5]的结果存在一些差异。高岩等的研究结果中未检出 3-萜烯、 β -月桂烯、萜品油烯等,而出现 α -松油烯、 γ -松油烯、罗勒烯;李金龙等的研究结果中分析出松油烯和罗勒烯,未检出 α -水芹烯、茨烯、 β -月桂烯、萜品油烯。产生这些差异的原因与采样时间、种源和植物所处环境有关。植物体合成和释放的挥发物与环境有着强烈的相关性和对应性,是植物与环境互相作用长期进化的结果^[12]。萜类有机物在植物化感作用、信号传递、防御机制的发生以及抑制微生物生长的过程中^[4,13-15]都起到重要作用。因此,油松所处环境的细微差异均可能造成释放成分的不同。本研究结果也表明,处在不同条件下的油松释放的单萜烯种类可能存在差异。夏季健康木以释放 α -蒎烯为主,秋季时具有抑菌杀菌作用的有机物成分种类和含量均

增加,如 γ -松油烯,夏季衰弱木释放的与植物体防御机制发生相关的有机物成分和含量最多,如具有抑菌杀菌作用的 3-萜烯、 β -蒎烯、 β -水芹烯、 γ -松油烯、 α -松油烯、D-柠檬烯^[14-18],以及与植物防御启动密切相关的信号分子 β -罗勒烯^[13]。

单萜烯释放浓度呈现“两峰一谷”日变化规律,与温度以及针叶表面气孔活动有关。研究表明,植物合成萜烯类有机物之后贮藏于特定的存储结构内,针叶树贮藏于树脂道内,而萜类挥发物释放速率的大小是存储结构内的蒸汽压和释放阻力综合调控的结果^[19],所以其合成速率与释放速率不同,通常每天只有一部分释放到大气中。高温增加了单萜的挥发性或其生物合成过程,随着温度的升高,储存萜类化合物的树脂道内部的蒸汽压增大,释放速率也增大;而树脂道中的萜烯类物质是通过针叶表面的气孔进入到大气中,这些气孔控制叶片气体交换的扩散阻力。李继泉(2001)文中还提到,如果叶子内部单萜的量很大,足以使内部气体达到饱和并使单萜的分压保持恒定。如这时气孔关闭,单萜的瞬间释放率就会下降。宋秀华^[20]的研究结果也证明,元宝枫释放的挥发物总峰面积与气孔导度呈显著正相关。夏季,早晨随着太阳升起,气温逐渐升高,单萜烯的释放速率从 8:00 开始逐渐增加。至 12:00 时,据测量值气温达到 38℃,植物产生“光合午休”现象,油松蒸腾作用减弱,气孔导度变小,有机物扩散阻力增大,单萜烯的释放速率故而降低^[21]。随着气孔关闭时间的持续延长,至 14:30 时,单萜烯的释放浓度出现最小值。随后,植物“午休”结束,蒸腾光合作用增强,气孔通道重新打开。但午后气温居高不下,据 John 的研究结果,袋内温度高于袋外 8℃。在高温条件下,植物气孔周围的细胞失水受损,储存在树脂道内单萜烯的释放不受阻力限制,合成的有机物大量释放,在 16:00 左右出现最大值^[20,22-23]。17:30 左右时,气温降低,气孔导度减小,单萜烯的释放浓度随之降低。16:00 样品中多出 3 种低浓度的有机物,与 16:00 时树脂道内贮藏的有机物大量释放有关,使原来浓度低于 GC 检测限的物质浓度达到检测下限。

大量研究表明,植物释放的单萜和倍半萜类有机物虽然物质浓度很低,但却与人体健康有着密切关系,日本学者更是将单萜烯的相对含量作为衡量植物保健作用的指标^[9]。洪蓉^[24]等(2002)报道松柏园含量较高的挥发性有机物为 α -蒎烯、 β -蒎烯和 D-柠檬烯,这些物质的存在对人体身心均具有良好的调节作用。高岩^[3]等(2005)研究结果也显示 β -蒎烯和 D-柠檬烯对细菌具有抑制作用,且 D-柠檬烯抑

菌能力强于 β -蒎烯。此外, α -蒎烯具有抑制人体紧张状态时所产生的兴奋,使人处于安定状态;柠檬烯的香气给人以清爽的感觉,能使人放松,也是重要的防癌物质^[25]; β -蒎烯、柠檬烯等物质被证实具有镇咳、祛痰的作用^[26]; 茨烯具有抗高血脂、增强免疫力的作用^[27]; 水芹烯对支气管有温和的刺激作用,可作祛痰剂,还可合成具有提神醒脑功效的薄荷脑^[28]。石竹烯不仅有抑菌杀菌作用,还具有平喘、镇咳、消炎等作用^[29], 榄香烯被普遍认为是重要的抗癌有效成分^[30], 法尼烯具有抑菌作用,月桂烯可兴奋中枢^[31], 雪松烯也具有一定的驱虫杀虫功效^[32]。

基于萜烯挥发物具有的以上功效,结合本研究结果评价不同条件下油松释放萜烯类挥发物成分对人体健康的影响,寻找合理的外出游憩时间。夏季健康木释放的 α -蒎烯相对含量高达 72.57%, 主要起到清新空气、安定情绪的功效,起杀菌和兴奋中枢作用的有机物含量较少,会使人过于安静。秋季健康木释放的对人体有利的单萜烯类物质含量最高,最有利于人体保健;相比夏季, α -蒎烯含量减少, β -蒎烯、柠檬烯、月桂烯、水芹烯含量均增加,使人安定的功效降低,具有平喘、镇咳、消炎、兴奋中枢、清新空气的功效增强,发挥的功效较均衡,氛围较好。夏季衰弱木,释放的具有抑菌杀菌作用的物质含量较高,使得其他有机物相对于秋季健康木而言含量偏低,具有的功效也较单一,并且从园林学角度来看,衰弱木所具有的美学观赏价值不高。因此,总体而言秋季健康油松林分释放的挥发物对人体最有利,具有多种保健功效,相对夏季高温炎热而言,更适合外出游憩。这一结果与李娟^[9](2009)报道的秋季有利于人体的成分高于夏季的结果一致。结合夏季油松单萜烯释放浓度的日变化规律发现,单萜烯释放浓度的最大值出现在 16:00 左右,且各有机物成分含量相对其他时间较均衡,具有多重功效。到 18:00 以后温度较低,萜烯挥发物释放量较少,对人体的保健功效不显著。因此,对于夏季油松健康林分而言,16:30—18:00 也比较适合在林分内游憩。

参考文献:

[1] GUENTHER A, P. ZIMMERMAN, P. HARLEY, *et al.* Isoprene and monoterpene emission rate variability: model evaluation and sensitivity analysis[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1993, 98(7): 12609-12617.

[2] GUENTHER A, C. NICHOLAS HEWITT, DAVID ERICKSON, *et al.* A global model of natural volatile organic compound emissions[J]. Journal of Geophysical Research, 1995, 100(5): 8873-8892.

[3] 高岩. 北京市绿化树木挥发性有机物释放动态及其对人体健康

的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.

[4] 孔垂华, 徐涛, 胡飞, 等. 环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 849-854.

KONG C H, XU T, HU F, *et al.* Allelopathy under environmental stress and its induced mechanism [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 849-854. (in Chinese)

[5] 李金龙, 白郁华, 胡建信, 等. 油松排放萜烯类化合物浓度的日变化及排放速率的研究[J]. 中国环境科学, 1994, 14(3): 165-169.

LI J L, BAI Y H, HU J X, *et al.* Diurnal variation in the concentration of terpenes and its emission rate measurements from oil pine[J]. China Environmental Science, 1994, 14(3): 165-169. (in Chinese)

[6] 侯慧波, 李新岗, 马养民, 等. 2 种吸附剂对油松挥发物的吸附效果比较[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(2): 134-137.

HOU H B, LI X G, MA Y M, *et al.* Adsorption efficiency of two adsorbents on volatiles of *Pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(2): 134-137. (in Chinese)

[7] 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.

[8] 张辉秀, 胡增辉, 冷平生, 等. 不同品种百合花挥发性成分定性定量分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(4): 790-799.

ZHANG H X, HU Z H, LENG P S, *et al.* Qualitative and quantitative analysis of floral volatile components from different varieties of *Lilium* spp. [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(4): 790-799. (in Chinese)

[9] 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.

[10] 孙月琴, 骆有庆. 侧柏挥发性物质组成及其释放速率的日变化[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(5): 84-87.

SUN Y Q, LUO Y Q. Volatile compound components and the daily variation of emission rates from *Platycladus orientalis* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(5): 84-87. (in Chinese)

[11] 霍燕, 陈辉. 秦岭华山松单萜类挥发物的动态变化[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(5): 96-101.

HUO Y, CHEN H. Dynamic changes of monoterpene volatiles in Chinese white pine in Qinling mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(5): 96-101. (in Chinese)

[12] 马世峰. 4 种园林植物挥发性有机物成分动态分析[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2010.

[13] 刘武, 阮颖, 刘春林. 植物防御信号分子 β -罗勒烯的研究进展[J]. 植物生理学报, 2012, 48(2): 103-110.

LIU W, RUAN Y, LIU C L. Research progress of plant defense signal molecule— β -Ocimene [J]. Plant Physiology Journal, 2012, 48(2): 103-110. (in Chinese)

[14] 张瑛, 严福顺. 虫害诱导的植物挥发性次生物质及其在植物防御中的作用[J]. 昆虫学报, 1998, 41(2): 204-212.

ZHANG Y, YAN F S. Herbivore-induced volatiles and their roles in plant defence [J]. Acta Entomologica Sinica, 1998, 41(2): 204-212. (in Chinese)

[15] 彭少麟, 高蓬, 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.

PENG S L,GAO P,ZHONG Y. Terpenoids in higher plants and their roles in ecosystems[J]. Chinese Journal of Ecology, 2002,21(3):33-38. (in Chinese)

[16] 赵海伊,卫飞,周才琼. 3 种不同方法提取牛至挥发精油及体外抑菌作用研究[J]. 食品科学,2013,34(2):236-240.

ZHAO H Y,WEI F,ZHOU C Q. Effect of extraction methods on the chemical composition and antibacterial activity in vitro of essential oil from whole plants of *Origanum vulgare* L[J]. Food Science,2013,34(2):236-240. (in Chinese)

[17] 张萍,王平,石超峰,等. 油樟油主成分对几种常见病原菌的抑菌活性研究[J]. 四川农业大学学报,2013,31(4):393-397.

ZHANG P,WANG P,SHI C F,*et al.* Antibacterial activity of essential components of *Cinnamomum longepaniculatum* oil on several typical pathogenic bacteria[J]. Journal of Sichuan Agricultural University,2013,31(4):393-397. (in Chinese)

[18] 赵鑫,鲍其冷,张磊,等. 互叶白千层精油 GC-MS 挥发性成分及抗菌活性研究[J]. 山东化工,2012,41(11):21-23.

ZHAO X,BAO Q L,ZHANG L,*et al.* Analysis of essential oil of *Melaleuca alternifolia* and its antimicrobial effectiveness[J]. Shandong Chemical Industry, 2012, 41(11): 21-23. (in Chinese)

[19] 李继泉,金幼菊,沈应柏,等. 环境因子对植物释放挥发性化合物的影响[J]. 植物学通报,2001,18(6):649-656.

LI J Q,JIN Y J,SHEN Y B,*et al.* The effect of environmental factors on emission of volatile organic compounds from plants [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2001, 18(6): 649-656. (in Chinese)

[20] 宋秀华,李传荣,许景伟,等. 元宝枫叶片挥发物成分及其季节差异[J]. 园艺学报,2014,41(5):915-924.

SONG X H,LI C R,XU J W,*et al.* The analysis of volatile compounds and seasonal differences emitted from leaves of *Acer truncatum* [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(5): 915-924. (in Chinese)

[21] 韩兴华. 4 种针叶树光和蒸腾特性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2007.

[22] JOHN ORTEGA,DETLEV HELMIG,RYAN W,*et al.* Approaches for quantifying reactive and low-volatility biogenic organic compound emissions by vegetation enclosure techniques-Part B: Applications[J]. Chemosphere, 2008, 72(3): 365-380.

[23] KLEIST E,MENTEL T F,ANDRES S,*et al.* Irreversible impacts of heat on the emissions of monoterpenes, sesquiterpenes, phenolic BVOC and green leaf volatiles from several tree species[J]. Biogeosciences,2012,9(12):5111-5123.

[24] 洪蓉. 北京植物园有机挥发物的构成及其保健作用[D]. 北京:北京林业大学,2002.

[25] 高群英,高岩,张汝民,等. 3 种菊科植物香气成分的热脱附气质联用分析[J]. 浙江农林大学学报,2011,28(2):326-332.

GAO Q Y,GAO Y,ZHANG R M,*et al.* Aromatic composition in three plant species using TDS-GC-MS[J]. Journal of Zhejiang A&F University,2011,28(2):326-332. (in Chinese)

[26] 肖崑,卢卫斌. 用色质联用仪分析鉴定野马追挥发油的化学成分[J]. 分析仪器,2004(3):21-24.

XIAO J,LU W B. Analysis of chemical constituents in essential oil of *Eupatorium lindlcyanum* DC. by GC-MS[J]. Analytical Instrumentation,2004(3):21-24. (in Chinese)

[27] 黄儒珠,檀东飞,张建清,等. 3 种南洋杉科植物叶挥发油的化学成分[J]. 林业科学,2008,44(12):99-104.

HUANG R Z,TAN D F,ZHANG J Q,*et al.* Chemical constituents of leaf volatile oil from three Araucariaceae[J]. Scientia Silvae Sinicae,2008,44(12):99-104. (in Chinese)

[28] 陆凌霄,李明,赵梨,等. 水芹烯的来源、合成及应用[J]. 安徽农业科学,2010,38(26):14361-14363.

LU L X,LI M,ZHAO L,*et al.* Sources,synthesis and application of phellandrene[J]. Journal of Anhui Agri. Sci. ,2010,38(26):14361-14363. (in Chinese)

[29] 黄晓冬,刘剑秋. 赤楠叶精油的化学成分及其抗菌活性[J]. 热带亚热带植物学报,2004,12(3):233-236.

HUANG X D,LIU J Q. Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil from the leaves of *Syzygium buxifolium* [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2004, 12(3):233-236. (in Chinese)

[30] 吴相呈,黄金华,周伟生. 榄香烯乳的抑瘤作用及其不良反应的防治[J]. 中药新药与临床药理,2004,15(1):70-72.

[31] CRUZ-LOPEZ L,JIMENEZ-ZUNIGA J A,SANTIESTEBAN-HEMANDEZ A ,*et al.* . Response of epiragus sallaei(champion) (coleoptera:tenebrionidae) to the odor of mangifera indica flowers [J]. Southwestern Entomologist,2001,26(2):165-170.

[32] 吴刚,戈峰. 蚊虫驱避剂的研究概况[J]. 寄生虫与医学昆虫学报,2004,11(4):253-256.

WU G,GE F. The general research outlines on mosquito repellents[J]. Acta Parasitol. Med. Entomol. Sin. ,2004,11(4): 70-72. (in Chinese)