

网络出版时间:2016-06-08 16:21

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2016.07.021

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160608.1621.042.html>

5 种园林树木挥发性成分分析

谢小洋^a,冯永忠^b,王得祥^a,吕迪^a,徐勇^a

(西北农林科技大学 a 林学院, b 农学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】探究西安市 5 种常见园林绿化树木挥发性有机化合物(VOCs)的成分组成,为园林树种的科学配置和植物资源的开发利用提供理论依据。【方法】采用动态顶空循环吸附采集法和气相色谱-质谱联用技术(GC-MS),对白皮松、油松、侧柏、云杉以及雪松的挥发物进行采集和分析,并结合峰面积归一化法计算不同树种各化合物的相对含量。【结果】白皮松 VOCs 包括 8 类 32 种,油松释放的 VOCs 为 8 类 38 种,侧柏 VOCs 包括 6 类 29 种,云杉中检测到的 VOCs 为 7 类 19 种,雪松 VOCs 则包含 8 类 36 种;5 种园林树木均含有萜烯类、醇类、酮类、醛类、烷烃类和芳烃类等 6 类化合物,其中萜烯类化合物相对含量最高,均达到 70% 以上;5 种树种 VOCs 中,包括 α -蒎烯、三环萜、蒎烯、1,3-二乙基苯等在内的 8 种共有成分分别占白皮松、油松、侧柏、云杉和雪松总 VOCs 的 86.87%, 59.89%, 74.35%, 64.12% 和 61.20%,其中以萜烯类共有成分占绝对优势。【结论】5 种园林树木有机挥发物成分的种类及相对含量存在一定差异,但主要成分皆为萜烯类化合物。

[关键词] 园林树木;有机挥发物;萜烯类化合物;西安市

[中图分类号] S731.2;X173

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)07-0146-08

Composition of volatile organic compounds from five landscape trees

XIE Xiaoyang^a, FENG Yongzhong^b, WANG Dexiang^a, LÜ Di^a, XU Yong^a

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

Abstract: 【Objective】Constituents of volatile organic compounds (VOCs) from five landscape trees in Xi'an were analyzed to provide theoretical basis for landscape application and exploitation of plant resources. 【Method】The VOCs from five landscape trees including *Pinus bungeana*, *Pinus tabulaeformis*, *Platycladus orientalis*, *Picea asperata* and *Cedrus deodara* in Xi'an were collected by dynamic headspace air-circulation method. Then the constituents and relative contents were identified with gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS). 【Result】The VOCs from *P. bungeana*, *P. tabulaeformis*, *P. orientalis*, *P. asperata* and *C. deodara* were 32 species from 8 categories, 38 species from 8 categories, 29 species from 6 categories, 19 species from 7 categories and 36 species from 8 categories, respectively. Terpenes, alcohols, ketones, aldehydes, alkanes and aromatics were found in VOCs from all five tree species with the highest relative content of 70% for terpenes. The 8 common components including α -pinene, tricyclene, camphene and 1,3-diethyl-benzene accounted for 86.87%, 59.89%, 74.35%, 64.12% and 61.20%, respectively. Terpenes were the dominating species in common components. 【Conclusion】Compositions and relative contents of VOCs from 5 species were different, but the major species of terpenes was same.

Key words: landscape trees; volatile organic compounds (VOCs); terpenes; Xi'an

[收稿日期] 2014-11-11

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

[作者简介] 谢小洋(1991—),女,山西永济人,在读硕士,主要从事城市森林生态研究。E-mail:xiexiaoyang1519@163.com

[通信作者] 王得祥(1966—),男,青海乐都人,教授,博士生导师,主要从事森林生态与森林可持续经营研究。

E-mail:wangdx66@126.com

白皮松(*Pinus bungeana*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、云杉(*Picea asperata*)以及雪松(*Cedrus deodara*)是西安市常见的造林绿化树种和观赏树种,其在优化城市景观、保护生态环境以及改善人类居住环境等方面发挥着重大作用。这些植物除了吸收二氧化碳并释放氧气外,也向周围大气释放大量的挥发性有机化合物(Volatile organic compounds, VOCs)。植物 VOCs 是植物在生长发育过程中向周围环境释放的低沸点易挥发的小分子化合物^[1]。近年来,随着人们对植物 VOCs 研究的深入,其在地球生态系统以及医疗保健中的作用引起了极大关注^[2-6]。在生态系统中,植物 VOCs 是重要的化学信息传递物质,能够调节植物的生长发育、抵御不良环境胁迫;在医疗保健方面,植物 VOCs 具有抑制微生物生长、净化空气、调节情绪、消除疲劳等功效。因此,不同植物释放的有机挥发物的差异是园林树木选择和配置的重要参考指标之一。目前,国内对园林树木挥发物的研究多集中在我国华东、华北等地区^[4,7-9],而对于包括西安在内的西北地区主要园林树种的研究则未见报道。本研究使用采集-吸附-分析相结合的实验技术,对西安市常见的5种园林树木的挥发物成分进行分析,并探讨其组分及含量的差异,拟从植物 VOCs 的角度为我国西北地区城市规划设计中园林绿化树种的选择和配置提供理论参考,为合理和深层次地开发利用植物资源提供科学依据,从而提高园林树木的多重功能和利用价值。

1 材料与方法

1.1 材料

供试树种为西安市应用规模较大且观赏价值较高的5种园林绿化树木,分别为白皮松(*P. bungeana*)、油松(*P. tabulaeformis*)、侧柏(*P. orientalis*)、云杉(*P. asperata*)和雪松(*C. deodara*)。于2014年7月,选择晴朗无风的天气,对5个树种的挥发物进行采集。为避免环境日变化引起的干扰,将采样时间统一在09:00—11:00。选择样树时保证各树种生长环境一致且健康无病虫害,挑选长势良好的枝叶进行挥发物采样,采样部位为树冠向阳背风面中部枝叶,为保证样品采集的有效性,每个树种随机采集3株作为平行样,且以采样袋内不套入植物枝叶作为空白对照,收集空白样品。

1.2 方法

1.2.1 植物挥发物的采集

本试验采用动态顶空

吸附-溶剂洗脱法对供试物种的挥发物进行采集和处理。采集过程中先用惰性的特氟龙透明袋罩住树枝,保证采样袋内的枝叶生物量基本一致,用大气采样仪迅速抽空袋内气体,再泵入由活性炭和国产吸附剂 GDX-101 双重净化过滤的空气,然后密闭系统并静置 30 min 后开始循环采气^[10]。将挥发性物质吸入填充 Porapak Q 吸附剂的吸附管中。采集气体时流量保持在 0.25 L/min,每次采样时间为 60 min。采样结束后,立即用 1.4 mL 的二氯甲烷对吸附管进行洗脱,并将洗脱液收集在 1.5 mL 的贮样瓶中。为控制样品成分的损失,洗脱时间控制在 2 min 内,最后于-20℃条件下保存备用^[11]。

1.2.2 挥发物成分的分离鉴定 采用美国 Thermo 公司生产的 TRACE ISQ 1310 型气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)对5个园林树木的挥发物样品进行分析。

GC 工作条件:色谱柱为 30 m×0.32 mm×0.25 μm 的 HP-5MS UI 柱;采用程序升温,初始温度为 40℃,4 min 后以 10℃/min 的速率上升至 240℃,保持 8 min 后以 15℃/min 的速率升温到 300℃,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 33~500 amu;离子源温度 280℃;接口温度 250℃;全扫描,扫描间隔 0.2 s。

1.2.3 数据分析 通过 GC-MS 分析获得各树种挥发物的总离子流图(TIC),采用气相色谱-质谱联用仪的计算机中附带的 NIST 11 版标准谱库进行检索(匹配度达到 85%以上),兼顾色谱保留时间并参考已有的相关文献资料进行筛选及确认,对各树种的挥发物成分进行鉴定。利用总离子流峰面积归一化方法,分别计算不同树种各成分在总有机挥发物中的相对百分含量。

2 结果与分析

2.1 5种园林树木挥发性有机化合物的 GC-MS 分析

通过 GC-MS 分析,分别得到白皮松、油松、侧柏、云杉和雪松挥发物成分的总离子流图如图 1 所示。通过分离鉴定并扣除本底空气中的杂质,从5种园林树木的挥发物气体样品中共检测出包含萜烯类、醇类、酮类、醛类、酯类、酸类、烷烃和芳烃 8 类化合物在内的 70 种化合物(表 1,图 2)。白皮松、油松和雪松枝叶释放的 VOCs 化合物种类较多,分别检测出了 32,38 和 36 种化合物,上述 8 类化合物在 3

种树木的挥发物中能全部检测到,其中萜烯类化合物分别为 11 种(相对含量 85.56%)、17 种(99.02%)和 11 种(71.06%),醇类分别检测到 2 种(1.83%)、6 种(0.22%)和 3 种(6.33%),酮类化合物分别有 2 种(3.61%)、4 种(0.12%)和 2 种(9.54%),醛类化合物分别有 4 种(2.30%)、2 种(0.04%)和 4 种(4.56%),酯类化合物分别有 4 种(1.61%)、2 种(0.38%)和 5 种(1.62%),酸类化合物分别有 3 种(1.05%)、1 种(0.02%)和 2 种(2.70%),烷烃类物质分别为 1 种(1.93%)、2 种(0.04%)和 4 种(1.50%),芳烃类化合物分别有 5 种(2.11%)、4 种(0.16%)和 5 种(2.69%)。从侧

柏中鉴定出 29 种化合物,仅包括 6 类化合物,是化合物种类最少的树种,其中萜烯类含量最大,达到总量的 93.85%,包含 12 种化合物;其次为芳烃类物质,为 5 种(3.17%);烷烃类、醇类、酮类和醛类化合物含量较低,分别为 4 种(1.08%)、3 种(0.71%)、2 种(0.71%)和 3 种(0.48%)。云杉挥发物中含有的化合物数目最少,共鉴定出 19 种化合物,包括 7 类化合物,各类化合物总数由高到低依次为萜烯类 8 种(80.74%)、芳烃类 4 种(7.68%)、酮类 2 种(3.96%)、酯类 2 种(2.11%)及烷烃、醇类和醛类化合物各 1 种,含量分别为 2.29%,1.61%和 1.61%。

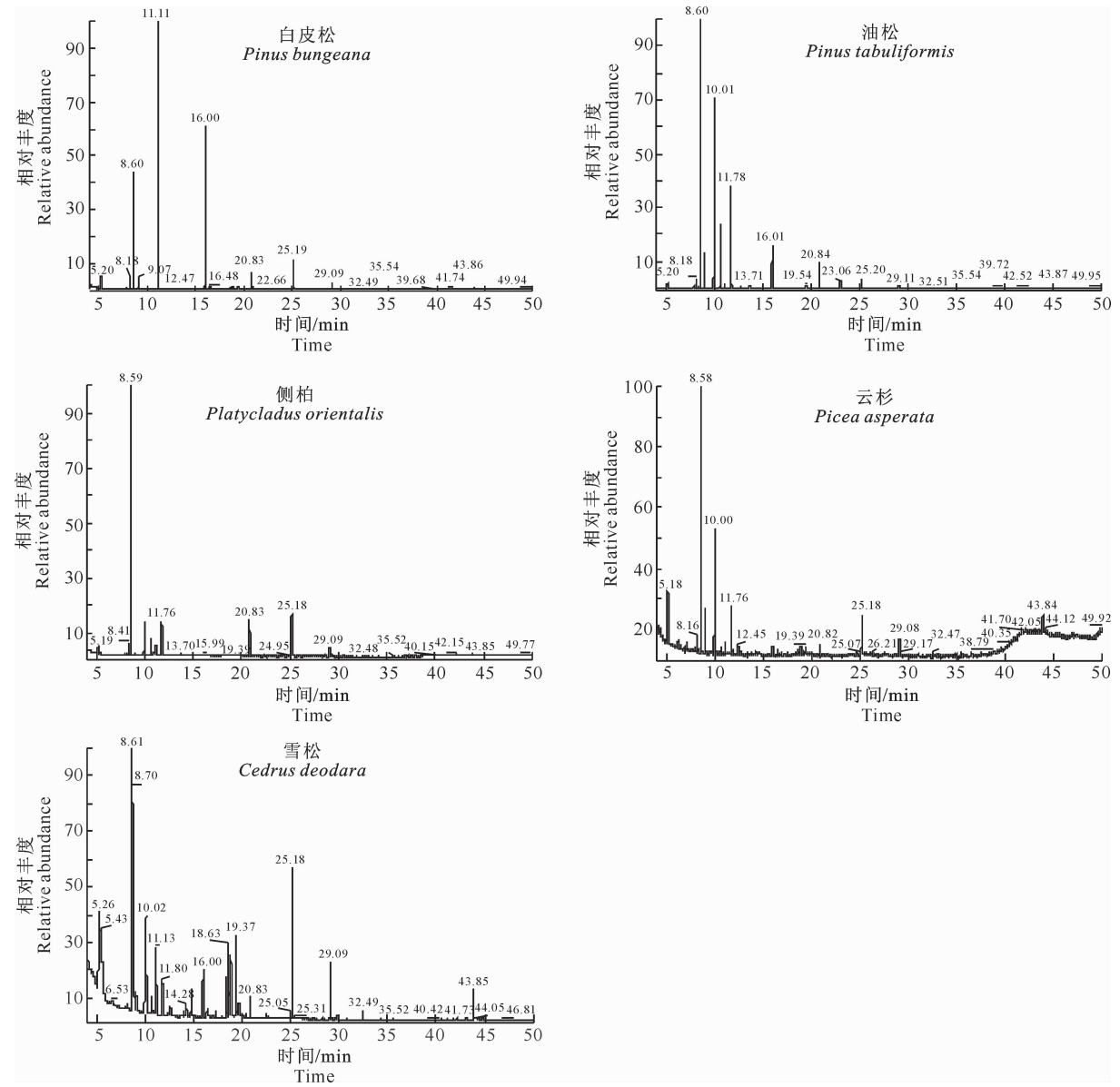


图 1 5 个园林树种挥发物成分的总离子流图
Fig.1 TIC of VOCs from 5 landscape trees

表 1 5 种园林树木挥发性有机物的成分分析
Table 1 Components of VOCs from five landscape trees

序号 No.	保留 时间/min Retention time	化合物 Component name	分子式 Molecular formula	相对含量/% Relative content				
				白皮松 <i>P. bung- eana</i>	油松 <i>P. tabuli- formis</i>	侧柏 <i>P. orient- alis</i>	云杉 <i>P. aspe- rata</i>	雪松 <i>C. deo- dara</i>
1	4.40	6-十八碳烯酸 6-octadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0.60	0.02			
2	4.52	辛醛 Octanal	C ₈ H ₁₆ O	0.34			1.61	
3	4.61	反式-1,2-环戊二醇 Trans-1,2-cyclopentanediol	C ₅ H ₁₀ O ₂					0.48
4	5.67	顺式-1-乙基-2-甲基环己烷 Cis-1-ethyl-2-methyl-cyclohexane	C ₉ H ₁₈			0.20		
5	5.90	1,3,5-三甲基环己烷 1,3,5-trimethyl-cyclohexane	C ₉ H ₁₈			0.20		
6	6.25	乙苯 Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	0.40		0.25	1.53	0.19
7	6.52	8,11-十八二炔酸甲酯 8,11-octadecadiynoic acid,methyl ester	C ₁₉ H ₃₀ O ₂	0.41			1.27	0.43
8	6.69	1,2,4-三甲基-环己烷 1,2,4-trimethyl-cyclohexane	C ₉ H ₁₈					0.68
9	7.20	苯乙烯 Styrene	C ₈ H ₈	0.35	0.02		2.73	
10	7.30	1,3-二甲基苯 1,3-dimethyl-benzene	C ₈ H ₁₀			1.00		0.35
11	7.72	9-十六烯酸 9-hexadecenoic acid	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	0.24				0.34
12	8.01	4-乙基苯甲酸,6-乙基-3-辛酯 4-ethylbenzoic acid,6-ethyl-3-octyl ester	C ₁₉ H ₃₀ O ₂					0.33
13	8.10	4-亚甲基环己烷甲醇 4-methylene-cyclohexanemethanol	C ₈ H ₁₄ O		0.04			
14	8.18	三环萜 Tricyclene	C ₁₀ H ₁₆	7.33	1.43	0.46	2.90	0.43
15	8.41	2-崖柏烯 2-thujene	C ₁₀ H ₁₆	0.24	0.29	3.03	0.88	
16	8.60	α -蒎烯 α -pinene	C ₁₀ H ₁₆	66.92	38.84	63.39	39.11	42.70
17	8.88	2,6,6-三甲基-双环[3.1.1]庚-2-烯 (1R)-2,6,6-trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	C ₁₀ H ₁₆					0.36
18	9.07	莰烯 Camphene	C ₁₀ H ₁₆	7.50	4.92	0.73	7.62	2.61
19	9.62	(Z)-9-十八碳烯酸己酯 (Z)-9-octadecenoic acid,hexyl ester	C ₂₄ H ₄₆ O ₂	0.34			0.84	0.27
20	9.95	4(10)-崖柏烯 4(10)-thjuene	C ₁₀ H ₁₆	0.25		8.85		
21	10.01	β -蒎烯 β -pinene	C ₁₀ H ₁₆	1.85	28.73		20.16	17.01
22	10.44	3-甲基-3-环己烯-1-酮 3-methyl-3-cyclohexen-1-one	C ₇ H ₁₀ O		0.03			
23	10.66	月桂烯 Myrcene	C ₁₀ H ₁₆		8.76	4.07	1.66	2.22
24	10.84	反式-4-侧柏醇 Trans-4-thujanol	C ₁₀ H ₁₈ O			0.19		
25	10.97	α -水芹烯 α -phellandrene	C ₁₀ H ₁₆			1.25		
26	11.15	3-蒎烯 3-carene	C ₁₀ H ₁₆			2.72		
27	11.46	乙酸己酯 Acetic acid,hexyl ester	C ₈ H ₁₆ O ₂		0.03			
28	11.66	邻-异丙基苯 o-cymene	C ₁₀ H ₁₄		0.06	1.13		
29	11.78	D-柠檬烯 D-limonene	C ₁₀ H ₁₆	0.35	14.56	8.27	7.12	4.06
30	11.93	2-丙基-1-戊醇 2-propyl-1-pentanol	C ₈ H ₁₈ O	0.37				
31	12.19	3,6,6-三甲基-双环[3.1.1]庚-2-烯 3,6,6-trimethyl-bicyclo[3.1.1]hept-2-ene	C ₁₀ H ₁₆		0.02			
32	12.50	1,3-二乙基苯 1,3-diethyl-benzene	C ₁₀ H ₁₄	0.63	0.05	0.50	2.01	1.06
33	12.64	1,4-二乙基苯 1,4-diethyl-benzene	C ₁₀ H ₁₄	0.53	0.04	0.29	1.40	0.80
34	12.82	γ -松油烯 γ -terpinene	C ₁₀ H ₁₆		0.12	0.31		0.22
35	13.40	顺-13-十八碳烯酸 Cis-13-octadecenoic acid	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0.21				
36	13.65	2,5-十八二炔酸甲酯 2,5-octadecadiynoic acid,methyl ester	C ₁₉ H ₃₀ O ₂	0.25				0.35
37	13.71	萜品油烯 Terpinolene	C ₁₀ H ₁₆	0.39	0.19	0.59		
38	13.99	α -环氧蒎烷 α -pinene oxide	C ₁₀ H ₁₆ O		0.02			0.40
39	14.14	里那醇 3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol	C ₁₀ H ₁₈ O		0.07	0.17		
40	14.30	壬醛 Nonanal	C ₉ H ₁₈ O	0.51		0.15		1.04
41	14.80	异辛酸 2-ethyl-hexanoic acid	C ₈ H ₁₆ O ₂					2.36
42	14.88	1,7,7-三甲基-双环[2.2.1]庚-5-烯-2-醇 1,7,7-trimethylbicyclo[2.2.1]hept-5-en-2-ol	C ₁₀ H ₁₆ O		0.04			
43	15.23	异松香芹醇 Isopinocarveol	C ₁₀ H ₁₆ O		0.02			
44	15.40	1,7,7-三甲基二环[2.2.1]庚烷-2-酮 (1S)-1,7,7-trimethyl-bicyclo[2.2.1]heptan-2-one	C ₁₀ H ₁₆ O		0.04			

表 1(续) Continued table 1

序号 No.	保留 时间/min Retention time	化合物 Component name	分子式 Molecular formula	相对含量/% Relative content				
				白皮松 <i>P. bung- eana</i>	油松 <i>P. tabuli- formis</i>	侧柏 <i>P. orient- alis</i>	云杉 <i>P. aspe- rata</i>	雪松 <i>C. deor- dara</i>
45	16.42	(-)-4-萜品醇 (R)-4-methyl-1-(1-methylethyl)-3-cyclohexen-1-ol	C ₁₀ H ₁₈ O		0.02			0.86
46	16.50	甘菊环 Azulene	C ₁₀ H ₈	1.93		0.50	2.29	
47	16.68	对甲基苯异丙醇 $\alpha,\alpha,4$ -trimethyl-benzenemethanol	C ₁₀ H ₁₄ O		0.03			
48	17.00	桃金娘烯醛 Myrtenal	C ₁₀ H ₁₄ O		0.02			0.17
49	17.30	癸醛 Decanal	C ₁₀ H ₂₀ O	0.60	0.02			0.51
50	18.42	2-茨烯-10-醛 2-careen-10-al	C ₁₀ H ₁₄ O	0.85		0.16		2.84
51	18.63	对-甲基异丙基-7-醇 p-cymen-7-ol	C ₁₀ H ₁₄ O	1.46		0.36	1.61	4.99
52	18.91	3,4-二甲基苯乙酮 1-(3,4-dimethylphenyl)-ethanone	C ₁₀ H ₁₂ O	1.55	0.03	0.28	1.93	4.06
53	19.39	3-乙基苯乙酮 <i>m</i> -ethylacetophenone	C ₁₀ H ₁₂ O	2.06	0.02	0.44	2.03	5.48
54	19.54	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	0.62	0.35			0.25
55	19.73	8-十七烷烯 8-heptadecene	C ₁₇ H ₃₄				1.30	0.77
56	20.10	二环[4.4.1]十一碳-1,3,5,7,9-五烯 Bicyclo[4.4.1]undeca-1,3,5,7,9-pentaene	C ₁₁ H ₁₀	0.22				
57	20.43	3,5-二甲基苯乙烯 1-ethenyl-3,5-dimethyl-benzene	C ₁₀ H ₁₂	0.21				0.29
58	21.97	古巴烯 Copaene	C ₁₅ H ₂₄	0.20	0.03			
59	22.17	β -波旁烯 β -bourbonene	C ₁₅ H ₂₄		0.03			
60	22.68	长叶烯 Longifolene	C ₁₅ H ₂₄	0.31	0.03			0.27
61	23.06	β -石竹烯 Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄		0.94			
62	23.91	α -石竹烯 Humulene	C ₁₅ H ₂₄		0.09			
63	24.46	4-十八(烷)醛 4-octadecenal	C ₁₈ H ₃₄ O			0.17		
64	24.61	大根香叶烯 Germacrene D	C ₁₅ H ₂₄	0.02			0.17	
65	24.97	1-乙烯基-1-甲基-2,4-二回(甲基亚乙基)-环己烷 1-ethyeny-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)- cyclohexane	C ₁₅ H ₂₄	0.02				
66	25.07	α -衣兰油烯 α -muurolene	C ₁₅ H ₂₄					0.42
67	27.03	环氧石竹烯 Caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O		0.02			
68	27.42	2,4,6-三甲基癸烷 2,4,6-trimethyl-decane	C ₁₃ H ₂₈					0.23
69	29.85	2,6,10,15-四甲基十七烷 2,6,10,15-tetramethyl-heptadecane	C ₂₁ H ₄₄					0.19
70	46.86	9-己基十七烷 9-hexyl-heptadecane	C ₂₃ H ₄₈			0.17		

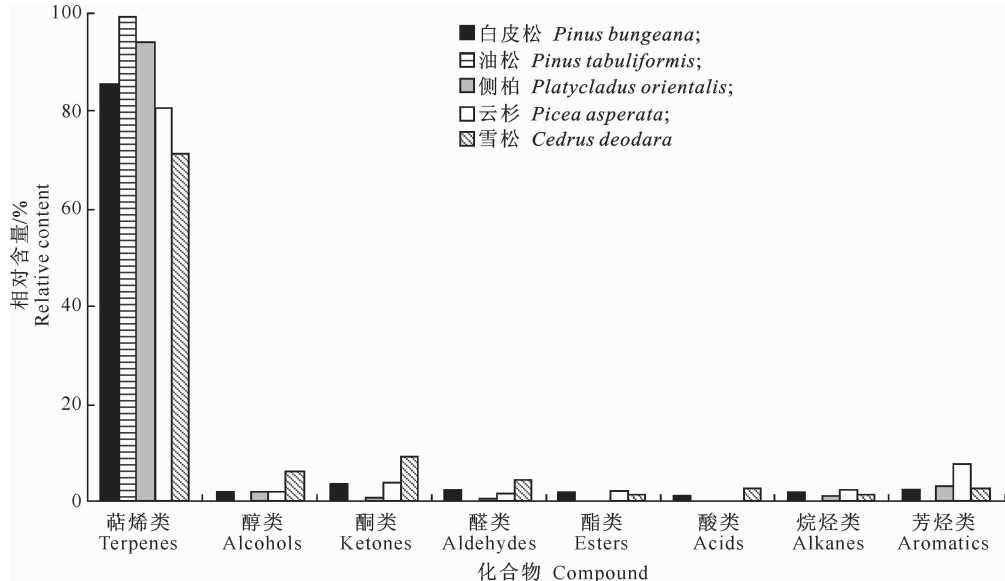


图 2 5 种园林树木 8 类挥发物含量的变化

Fig. 2 Relative contents of 8 VOCs categories from five landscape trees

2.2 5种园林树木挥发性物质成分的对比

白皮松、油松、侧柏、云杉和雪松挥发物的组成和含量都存在一定差异(表1)。5种树木挥发物所含类别差异不大,均含有萜烯类、醇类、酮类、醛类、烷烃类和芳烃类等6类化合物,且5个树种总挥发物中萜烯类物质的相对含量均为最大。由图2可知,各树种萜烯类化合物相对含量由大到小依次为油松(99.02%)、侧柏(93.85%)、白皮松(85.56%)、云杉(80.74%)和雪松(71.06%),均达到70%以上,可见萜烯类物质是5个园林树木的主要成分。而其他类化合物在5个园林树木中的相对含量差别较大:雪松挥发物中的醇类(6.33%)、酮类(9.54%)和醛类(4.56%)化合物含量较高,其含量分别是油松同类化合物的28.77、79.50和114.00倍;云杉中的烷烃类(2.29%)和芳烃类(7.68%)物质含量较高,分别是油松相应化合物的57.25和48.00倍;酯类和酸类化合物在白皮松、油松和雪松中含量相对较低,在侧柏和云杉中未检测到。

不同树种挥发物的组成不同:白皮松挥发物以 α -蒎烯(66.92%)为主,其次为莰烯(7.50%)、三环萜(7.33%);油松主要成分为 α -蒎烯(38.84%)、 β -蒎烯(28.73%)、*D*-柠檬烯(14.56%)和月桂烯(8.76%); α -蒎烯(63.39%)、4(10)-崖柏烯(8.85%)和*D*-柠檬烯(8.27%)为侧柏的主要挥发物成分;云杉的主要挥发物成分有 α -蒎烯(39.11%)、 β -蒎烯(20.16%)、莰烯(7.62%)和*D*-柠檬烯(7.12%);雪松的主要挥发物成分为 α -蒎烯(42.70%)、 β -蒎烯(17.01%)和3-乙基苯乙酮(5.48%)。5种园林树木有机挥发物中均含有 α -蒎烯、三环萜、莰烯、*D*-柠檬烯、1,3-二乙基苯、1,4-二乙基苯、3,4-二甲苯基乙酮、3-乙基苯乙酮等8种共有成分,其含量分别占白皮松、油松、侧柏、云杉和雪松挥发物总量的86.87%、59.89%、74.35%、64.12%和61.20%,均达到一半以上,可见共有成分在5个树种中所占比例较高,且8种共有成分中, α -蒎烯、莰烯等4种萜烯类共有成分分别达到上述各树种挥发物总量的82.10%、59.76%、72.85%、56.75%和49.80%,表明8种共有成分中萜烯类物质占绝对优势。此外,除云杉的挥发物种类较少外,其他4种树木还含有其特有成分,如白皮松中的2-丙基-1-戊醇、顺-13-十八碳烯酸等3种化合物;油松中的乙酸己酯、异松香芹醇、 β -波旁烯和石竹烯等13种物质;侧柏挥发物中的反式-4-侧柏醇、 α -水芹烯和3-萜烯等7种化合物;雪松挥发物中的反式-1,2-环

戊二醇、异辛酸和 α -衣兰油烯等8种化合物。白皮松、油松、侧柏和雪松4个树种的特有成分相对含量较低,分别占各自挥发物总量的0.80%、1.33%、4.90%和5.05%。

3 结论与讨论

在自然界中,树木挥发物的释放是一个复杂的多因子综合过程,其变化多样,加之各研究采用的收集和分析方法各异,针对5种园林树木挥发物成分的不同研究结果尚存在一定差异。杨莉^[12]采用固相微萃取法、吸附-溶剂洗脱法和吸附-热脱附法共3种方法采集分析白皮松和雪松松针的挥发物,测得2个树种挥发物的主要成分均为 α -蒎烯、莰烯、 β -蒎烯等萜烯类化合物,用上述3种方法测得白皮松中 α -蒎烯含量(分别为56.27%、83.14%、89.27%)最大,其次为莰烯(5.59%、8.07%、7.37%),与本研究测得的白皮松 α -蒎烯(66.92%)和莰烯(7.50%)含量比较接近;且3种方法测得雪松中 α -蒎烯含量(25.72%、29.43%、41.03%)最大, β -蒎烯含量(15.85%、19.19%、49.61%)次之,与本研究测得的雪松中 α -蒎烯(42.70%)和 β -蒎烯(17.01%)结果也较为类似。高岩^[13]采用动态顶空吸附采集法和热脱附气相色谱-质谱联用技术(TCT-GC-MS),从油松和白皮松枝叶中分别鉴定出22和33种化合物,其中 α -蒎烯、莰烯等10种萜烯类化合物含量各达到油松、白皮松挥发物总量的94%和95%以上,本研究测得的油松挥发物中萜烯类化合物含量(99.02%)与之接近,均占绝对优势,但本研究测得的白皮松相关结果(85.56%)偏低。李娟等^[9]通过分析北京地区春季侧柏的挥发物,从中检测出9类化合物,共计106种成分,得出萜烯类化合物是侧柏春季的主要挥发物,其含量最高时可达77.66%,与本研究结果(93.85%)有一定差异。周琦等^[14]通过采集罐收集云杉挥发物,经预浓缩后采用气质联用技术分析并检出14种挥发物成分,其中萜烯类物质含量达到80.53%,与本研究结果(80.74%)基本一致。本研究通过动态顶空循环吸附采集法收集自然状态下白皮松、油松、侧柏、云杉和雪松5种园林树木的挥发物,并通过气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)进行分析,能够有效排除外界挥发物的干扰且不对树木枝条造成机械损伤,较真实地反映了自然状态下5种园林树木挥发物的成分及含量,得到的结果与已有研究相比,5个树种释放的主要挥发物成分一致,皆为萜烯类化合物,但各组分含量有一定

差别,可能是采集时间、采集方法、分析技术、种源和样地环境等差异引起的。

研究表明, α -蒎烯、 β -蒎烯和月桂烯具有镇咳、祛痰、抗炎、抗真菌(如白念珠菌)的作用^[8];D-柠檬烯能够驱虫、缓解胃灼热、治疗胆结石,也是重要的防癌物质^[15];茨烯具有抗高血脂、增强免疫力的作用^[16];水芹烯气味温和,可作为祛痰剂,还具有提神的作用;萜品油烯具有提神醒脑的作用^[17];石竹烯具有平喘作用,乙酸己酯不仅能够镇痛抗炎,还可以愉悦心情^[8,18];壬醛、癸醛具有芳香气味,在芳香疗法中具有一定作用,并且能明显抑制细菌的生长^[19]。虽然含量不一,但以上对人体健康有正效应的几种挥发性成分在本研究中均可检测到。本次研究发现,5种园林树木白皮松、油松、侧柏、云杉和雪杉的挥发物中均包含 α -蒎烯、茨烯和D-柠檬烯3种有益的生理成分,且仅此3种成分的含量已达到各树种挥发物总量的74.77%,58.32%,72.39%,53.85%和49.37%,说明本研究中的5个园林树种在抑菌杀菌、医疗保健等方面具有明显功效,在化学药物的开发利用方面 also 具有很大的潜力,因此可多用于城市园林绿化。

另有研究表明,壬醛、癸醛具有类似玫瑰和柑橘的香气^[20],因此推测含有壬醛和癸醛成分的白皮松、油松、侧柏、雪松除了具有园林绿化、杀菌抑菌等功能外,还能够用于提取制作香精的原料。周琦等^[14]通过对比云杉八齿小蠹的寄主云杉和非寄主冷杉的挥发物成分,发现月桂烯、柠檬烯、桃金娘烯醛以及长叶烯等成分为昆虫选择寄主提供了依据,此发现为制作诱芯配方进行有害生物的化学生态防治奠定了科学基础。此外,蒎烯、月桂烯和柠檬烯等萜烯类化合物不仅能保护其母体植物不受侵害,还能对周围植物产生抑制作用,其中柠檬烯是具有化感作用潜力的物质之一^[3,21]。本研究的5种园林树木挥发物中均可检测到柠檬烯,且在油松、侧柏和云杉中含量较高,达到各挥发物总量的14.56%,8.27%和7.12%,其化感作用不容忽视,但作用机理还有待进一步研究,以便为新型农药的创制提供技术支持。本研究在前人研究的基础上,将多种园林树木挥发性物质的分离鉴定与各挥发物成分的生理功效、利用潜能结合起来,为城市绿化树种的选择以及植物资源的综合开发利用提供了重要的参考依据。

[参考文献]

[1] Goff S A, Klee H J. Plant volatile compounds; sensory cues for

health and nutritional value [J]. Science, 2006, 311: 815-819.

[2] 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.

Zuo Z J, Zhang R M, Wang Y, et al. Analysis of main volatile organic compounds and study of aboveground structures in *Artemisia frigida* [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34 (4): 462-468.

[3] 潘丹, 翟明普, 郭素娟. 核桃植株挥发性气体化学成分分析 [J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2007, 38(2): 234-238.

Pan D, Zhai M P, Guo S J. Chemical constituents of *Juglans regia* L. volatile [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2007, 38(2): 234-238.

[4] 殷倩, 俞益武, 高岩, 等. 3种杉科植物挥发性有机化合物成分 [J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(6): 23-26.

Yin Q, Yu Y W, Gao Y, et al. Composition of volatile organic compounds in *Metasequoia glyptostroboides*, *Taxodium ascendens* and *Taxodium distichum* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 41(6): 23-26.

[5] 刘洋, 王飞, 田治国, 等. 8种园林草本植物挥发性物质的抑菌效果研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(3): 141-145.

Liu Y, Wang F, Tian Z G, et al. The research of bacteriostasis of volatile organic compounds from eight landscape herbaceous plants [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2009, 37(3): 141-145.

[6] 戚继忠, 由士江, 王洪俊, 等. 园林植物清除细菌能力的研究 [J]. 城市环境与城市生态, 2000, 13(4): 36-38.

Qi J Z, You S J, Wang H J, et al. A preliminary approach to gardening plants to clean the atmosphere from bacteria [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 2000, 13(4): 36-38.

[7] 梁珍海, 刘海燕, 周玉开, 等. 南京紫金山主要植物挥发物成分与含量分析 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2010, 34 (1): 48-52.

Liang Z H, Liu H Y, Zhou Y K, et al. Analysis of ingredients and contents of volatile organic compounds from main plants in Nanjing Zijin Mountain [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2010, 34(1): 48-52.

[8] 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.

Cui Y Q, Nan P, Lin M H, et al. Main volatile compounds in the leaves of *Sabina chinensis* L. Ant and *Sabina chinensis* L. Ant. cv. Kaizuca and their effects on bacteria [J]. Journal of Environment and Health, 2006, 23(1): 63-65.

[9] 李娟, 王成, 彭镇华, 等. 侧柏春季挥发物浓度日变化规律及其影响因子研究 [J]. 林业科学研究, 2011, 24(1): 82-90.

Li J, Wang C, Peng Z H, et al. The diurnal variation and influence factors of VOC of *Platycladus orientalis* in spring [J]. Forest Research, 2011, 24(1): 82-90.

[10] 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.
- [11] 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. Absorption efficiency of two absorbents on volatiles of *Pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(2): 134-137.
- [12] 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.
Yang L. Effect of different headspace methods on determination of plant volatiles [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.
- [13] 高 岩. 北京市绿化树种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.
Gao Y. Releasing variation and effects on human health of volatile organic compounds from landscape trees in Beijing [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2005.
- [14] 周 琦,严善春,张 真. 云杉八齿小蠹对寄主、非寄主植物的嗅觉反应及发生机理 [J]. 林业科技, 2011, 36(3): 19-22.
Zhou Q, Yan S C, Zhang Z. The scent repercussion and mechanism of *Ips typographus* to plant volatiles and non-host plant volatiles [J]. Forestry Science & Technology, 2011, 36(3): 19-22.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 文福姬,俞庆善. 植物性天然香料的研究进展 [J]. 现代化工, 2005, 25(4): 25-28.
Wen F J, Yu Q S. Research progress of natural aroma compounds in plants [J]. Modern Chemical Industry, 2005, 25(4): 25-28.
- [18] Vlachogiannis D, Andronopoulos S, Passamichali A. A three-dimensional model study of the impact of AVOC and BVOC emissions ozone in an urban area of the eastern Spain [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2000, 65(1/2): 41-48.
- [19] Gao Y, Jin Y J, Li H D, et al. Volatile organic compounds and their roles in bacteriostasis in five conifer species [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 47(4): 499-507.
- [20] 徐 莺,倪光远,陈清婵,等. 气相色谱-嗅觉测量法鉴定菱蒿中的香气化合物 [J]. 园艺学报, 2009, 36(11): 1676-1680.
Xu Y, Ni G Y, Chen Q C, et al. Identification of the aroma compounds in seleng worn wood by gas chromatography-olfactometry [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(11): 1676-1680.
- [21] 谷文祥,段舜山,骆世明. 萜类化合物的生态特性及其对植物的化感作用 [J]. 华南农业大学学报, 1998, 19(4): 108-112.
Gu W X, Duan S S, Luo S M. Ecological characterisitic of terpenoids and their allelopathic effects to plants [J]. Journal of South China Agricultural University, 1998, 19(4): 108-112.