

7 种槭树释放挥发性有机化合物组分分析

王琦, 刘华红, 王彬, 张汝民, 高岩

(浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300)

摘要: 为探讨槭树 *Acer* spp. 释放挥发性有机化合物 (VOCs) 的组分, 采用动态顶空气体循环法对苦茶槭 *A. ginnala*, 鸡爪槭 *A. palmatum*, 三角槭 *A. buergerianum*, 樟叶槭 *A. cinnamomifolium*, 羊角槭 *A. yangjuechi*, 毛脉槭 *A. pubinerve* 和青榨槭 *A. davidii* 等 7 种植物释放 VOCs 进行收集, 利用热脱附/气相色谱/质谱 (TDS-GC-MS) 联用技术对其组分进行分析。结果表明: 不同树种释放 VOCs 种类与相对含量差异明显。苦茶槭和青榨槭分别释放 17 种和 20 种成分, 以酯类、醛类和醇类物质为主, 相对含量较多的有乙酸叶醇酯、癸醛、(Z)-3-己烯-1-醇和壬醛; 鸡爪槭、三角槭和毛脉槭分别释放 15 种、19 种和 23 种成分, 以萜类、酯类和醛类物质为主, 相对含量较多的为罗勒烯、乙酸叶醇酯、癸醛、长叶烯和壬醛; 樟叶槭释放 24 种成分, 以萜类化合物为主, 相对含量较多的有罗勒烯、 α -蒎烯、3-萜烯、 β -蒎烯和松油烯; 羊角槭释放 25 种成分, 以萜类、醛类和醇类物质为主, 相对含量较多的有癸醛、长叶烯、2-乙基-1-己醇、石竹烯和壬醛。以上 7 种槭树均可作为保健型园林植物材料。图 3 表 1 参 29

关键词: 植物学; 槭树; 挥发性有机化合物; 热脱附/气相色谱/质谱联用技术

中图分类号: S718.3; S685.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2016)03-0524-07

Component analysis of volatile organic compounds from branches and leaves in seven *Acer* species

WANG Qi, LIU Huahong, WANG Bin, ZHANG Rumin, GAO Yan

(The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To analyze the volatile organic compounds (VOCs) released in *Acer* spp., VOCs from the branches and leaves of *Acer ginnala*, *Acer palmatum*, *Acer buergerianum*, *Acer cinnamomifolium*, *Acer yangjuechi*, *Acer pubinerve*, and *Acer davidii* were collected and analyzed by the dynamic headspace air-circulation method and thermal desorption system/gas chromatography/mass spectrum (TDS-GC-MS). Results showed that the species of VOCs and their relative proportions varied significantly with species of *Acer* spp., *A. ginnala* and *A. davidii* released 17 and 20 kinds of VOCs, respectively, most of which were esters, aldehydes, and alcohols, such as 3-hexen-1-ol acetate, decanal, (Z)-3-hexen-1-ol, and nonanal. *A. palmatum*, *A. buergerianum*, and *A. pubinerve* released 15, 19, and 23 kinds, respectively, most of which were terpenes, esters, and aldehydes, such as ocimene, 3-hexen-1-ol acetate, (Z)-decanal, longifolene, and nonanal. *A. cinnamomifolium* released 24 kinds of VOCs, most of which were terpenes, such as ocimene, α -pinene, 3-carene, β -pinene, and terpinene. *A. yangjuechi* released 25 kinds, most of which were terpenes, aldehydes, and alcohols, such as decanal, longifolene, 2-ethyl-1-hexanol, caryophyllene, and nonanal. Thus, the health function of VOCs from these *Acer* species could be utilized in healthcare gardens. [Ch, 3 fig. 1 tab. 29 ref.]

Key words: botany; *Acer*; volatile organic compounds; TDS-GC-MS

收稿日期: 2015-01-24; 修回日期: 2015-12-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31270756, 31470704)

作者简介: 王琦, 从事园林植物研究。E-mail: hankywang@hotmail.com。通信作者: 王彬, 实验师, 从事植物生理生态研究。E-mail: wangbin@zafu.edu.cn

植物通过次生代谢释放的挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)主要包括萜烯类、苯丙酸类/苯环型和脂肪酸衍生物^[1-2]。这些 VOCs 是植物生长^[3]、发育^[4]和繁衍^[5]以及抵抗不利条件^[6-8]的重要手段,在人居环境中影响空气质量^[9]和人体健康^[10-12]。随着核磁共振和色谱等分析技术的发展,对园林树木释放 VOCs 的研究逐渐增多。目前,国内研究集中在油松 *Pinus tabulaeformis*, 侧柏 *Platycladus orientalis* 等针叶树上^[11, 13], 而对阔叶树较缺乏系统研究。槭树 *Acer* spp. 隶属槭树科 Aceraceae 槭树属 *Acer* 阔叶乔木或灌木,主产于北温带地区,是温带落叶阔叶林、针阔混交林以及亚热带山地森林的建群种和重要组成,也是针叶林的伴生种,中国槭树种类世界最多,许多槭树为优良荒山绿化和园林造景树种^[14]。糖槭 *A. saccharum*, 五角枫 *A. mono*, 元宝枫 *A. truncatum*, 复叶槭 *A. negundo* 和挪威槭 *A. platanoides* 等释放的 VOCs 具有信号传导^[15]、抑制昆虫^[16-17]和真菌^[18]的作用,关于其他槭树释放 VOCs 尚未见报道。因此,本研究以槭树为试验材料,采用活体植株动态顶空气体循环采集法与热脱附/气相色谱/质谱(TDS-GC-MS)联用技术测定不同槭树释放 VOCs,旨在探索槭树释放 VOCs 组分与规律,为进一步研究植物 VOCs 对环境质量的影响以及植物配置提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

以浙江农林大学东湖校区 7 种不同槭树苦茶槭 *Acer ginnala*, 鸡爪槭 *A. palmatum*, 三角槭 *A. buergerianum*, 樟叶槭 *A. cinnamomifolium*, 羊角槭 *A. yangjuechi*, 毛脉槭 *A. pubinerve* 和青榨槭 *A. davidii* 为材料。采集健康无损伤,树龄 15 a 左右植株枝叶释放 VOCs。

1.2 VOCs 采集

于 2013 年 7 月 10-20 日上午 10:00-11:00, 采用动态顶空气体循环法^[11]采集 7 种槭树枝叶释放 VOCs。选择生长一致的叶片,采集叶片 40 片·次⁻¹, 3 次重复。采气袋容积为 0.1 m³, 采气时间 30 min, 气体流量 0.1 m³·min⁻¹。

1.3 VOCs 分析

VOCs 分析采用 TDS-GC-MS 联用技术,仪器及参数设置条件参考文献[11]。TDS(德国 GERSTEL 公司 TD3 型)工作条件:系统载气压力 20 kPa,进样口温度 250 ℃,脱附温度 250 ℃,10 min,冷阱温度-100 ℃,保持 3 min,冷阱进样时温度骤然升至 260 ℃。GC(7890A, Agilent 安捷伦科技有限公司)工作条件:色谱柱为 30.00 m × 250.00 μm × 0.25 μm 的 HP-5 MS 柱;程序升温;初始温度 40 ℃,4 min 后以 6 ℃·min⁻¹ 的速率升至 250 ℃,保持 3 min 后以 10 ℃·min⁻¹ 的速率升至 270 ℃,保持 5 min。MS (5975C, Agilent 安捷伦科技有限公司)工作条件:电离方式为 EI,电子能量为 70 eV,质量范围为 4.67×10⁻²⁷~75.02×10⁻²⁷,接口温度 280 ℃,离子源温度 230 ℃,四级杆温度 150 ℃。

1.4 数据 处理

采用 NIST 2008 谱图库兼顾色谱保留时间,同时结合手工检索确定 VOCs 成分,利用峰面积归一化法测定各组分的百分含量,数据处理采用 Origin 8 软件。

2 结果与分 析

2.1 槭树科 7 种植物释放 VOCs 成分分析

槭树科 7 种植物释放的 VOCs 通过 TDS-GC-MS 分析(图 1),扣除本底空气中的杂质后,共鉴定出 48 种化合物(表 1)。其中苦茶槭鉴定出 17 种化合物,主要是酯类、醛类和醇类,包括乙酸叶醇酯(63.0%),癸醛(6.5%)和 2-乙基-1-己醇(5.6%)等 10 种化合物,占 VOCs 总量的 89.7%;鸡爪槭检测出 15 种化合物,主要是酯类、萜类和醇类,包括乙酸叶醇酯(49.6%),长叶烯(9.7%),2-乙基-1-己醇(11.7%)等 11 种化合物,占 VOCs 总量的 85.5%;三角槭检测出 19 种化合物,主要是萜类、醛类和酯类,包括罗勒烯(20.3%),长叶烯(10.6%),乙酸叶醇酯(13.0%),癸醛(11.3%)和壬醛(9.2%)等 14 种化合物,占 VOCs 总量的 84.9%;樟叶槭检测出 24 种化合物,主要为罗勒烯(24.4%),α-蒎烯(15.6%)和 3-蒎烯(11.9%)等 18 种萜类化合物,占 VOCs 总量的 96.6%;羊角槭检测出 25 种化合物,主要是萜类、醛类和醇类,包括长叶烯(12.0%),石竹烯(10.1%),癸醛(14.9%),壬醛(8.6%)和 2-乙基-1-己醇

表1 7种槭树释放挥发性有机化合物(VOCs)主要组分(平均值±标准偏差)

Table 1 Main components of the volatile organic compounds released from branches and leaves in 7 *Acer* species (mean ± SD)

挥发性有机化合物	分子式	峰面积 $A \times 10^6$						
		苦茶槭	鸡爪槭	三角槭	樟叶槭	羊角槭	毛脉槭	青榨槭
萜类								
3-蒎烯 3-garene	$C_{10}H_{16}$	-	-	-	330.39 ± 0.05	3.42 ± 0.03	-	-
α -蒎烯 α -pinene	$C_{10}H_{16}$	2.90 ± 0.12	1.80 ± 0.37	1.08 ± 2.15	433.87 ± 4.32	9.67 ± 1.01	3.17 ± 0.31	3.03 ± 1.76
β -蒎烯 β -pinene	$C_{10}H_{16}$	-	-	-	299.27 ± 1.18	14.72 ± 0.01	9.88 ± 0.19	-
罗勒烯 ocimene	$C_{10}H_{16}$	-	2.36 ± 0.97	32.55 ± 0.02	679.70 ± 1.64	2.88 ± 0.25	26.91 ± 0.89	-
反式罗勒烯 trans-ocimene	$C_{10}H_{16}$	-	-	-	102.86 ± 1.21	-	2.57 ± 0.01	-
别罗勒烯 Allo-ocimene	$C_{10}H_{16}$	-	-	-	39.87 ± 2.54	-	-	-
D-柠檬烯 D-limonene	$C_{10}H_{16}$	-	-	-	20.36 ± 0.23	-	7.36 ± 2.34	14.49 ± 2.67
松油烯 terpinene	$C_{10}H_{16}$	-	-	-	257.16 ± 9.18	-	-	-
焦烯 pyronene	$C_{10}H_{16}$	-	-	-	91.93 ± 8.49	6.83 ± 0.15	-	-
环萜烯 cyclofenchene	$C_{10}H_{16}$	-	-	-	217.38 ± 6.37	-	-	-
萜品油烯 terpinolene	$C_{10}H_{16}$	-	-	-	147.15 ± 9.81	-	-	-
香芹醇 carveol	$C_{10}H_{16}O$	2.07 ± 0.01	-	-	9.22 ± 0.12	-	13.80 ± 0.84	-
1,4-桉树脑 1,4-cineole	$C_{10}H_{18}O$	-	-	-	11.15 ± 1.67	-	-	-
萜品醇 terpineol	$C_{10}H_{18}O$	-	-	-	4.24 ± 5.02	-	-	-
卡达烯 cadalene	$C_{15}H_{18}$	-	-	-	-	-	4.66 ± 0.24	-
罗汉柏烯 thujopsene	$C_{15}H_{24}$	-	1.84 ± 0.99	-	-	-	-	-
长叶环烯 longicyclene	$C_{15}H_{24}$	2.16 ± 0.69	2.83 ± 1.00	4.63 ± 2.17	4.37 ± 0.34	6.99 ± 1.27	3.26 ± 0.04	3.20 ± 0.56
长叶烯 longifolene	$C_{15}H_{24}$	6.77 ± 2.52	13.74 ± 2.35	17.04 ± 1.16	21.40 ± 2.02	44.23 ± 5.64	21.13 ± 2.70	15.09 ± 0.02
雪松烯 cedrene	$C_{15}H_{24}$	2.41 ± 1.33	3.01 ± 0.18	3.81 ± 0.46	4.92 ± 1.10	9.00 ± 1.26	5.25 ± 0.43	3.02 ± 2.39
石竹烯 caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	1.95 ± 0.90	2.87 ± 0.45	8.97 ± 3.00	15.99 ± 1.80	37.01 ± 2.01	10.09 ± 1.08	3.65 ± 1.22
可巴烯 copaene	$C_{15}H_{24}$	-	-	3.50 ± 0.42	-	-	4.12 ± 0.58	-
萜澄茄烯 cadinene	$C_{15}H_{24}$	-	-	2.47 ± 0.06	-	-	12.71 ± 0.11	-
衣兰油烯 muurolene	$C_{15}H_{24}$	-	-	-	-	-	2.71 ± 0.13	-
法尼醇 farnesol	$C_{15}H_{26}O$	-	-	-	-	-	2.46 ± 0.60	-
醇类								
(Z)-3-己烯-1-醇 3-hexen-1-ol, (Z)-	$C_6H_{12}O$	-	-	-	-	-	-	32.73 ± 1.48
2-乙基-1-己醇 1-hexanol, 2-ethyl-	$C_8H_{18}O$	11.84 ± 0.21	16.55 ± 0.50	10.74 ± 5.32	-	43.21 ± 0.02	18.94 ± 0.61	22.65 ± 6.54
(E)-2-壬烯-1-醇 2-nonen-1-ol, (E)-	$C_9H_{18}O$	-	-	-	-	3.50 ± 0.43	-	3.15 ± 0.49
3,7-二甲基-1-辛醇 1-octanol, 3,7-dimethyl-	$C_{10}H_{22}O$	5.10 ± 0.04	2.17 ± 0.15	-	-	2.64 ± 0.17	3.00 ± 3.56	7.65 ± 0.03
1-癸醇 1-decanol	$C_{10}H_{22}O$	2.95 ± 0.07	-	-	-	4.84 ± 0.20	-	3.81 ± 0.01
反式-2-十二烯-1-醇 trans-2-dodecen-1-ol	$C_{12}H_{24}O$	3.51 ± 2.16	1.65 ± 0.67	5.74 ± 0.99	9.82 ± 0.06	16.83 ± 1.23	4.84 ± 0.50	10.03 ± 0.95
酯类								
甲酸乙酯 formic acid, vinyl ester	$C_3H_4O_2$	4.23 ± 0.33	2.55 ± 0.02	-	-	-	-	-
乙酸叶醇酯 3-hexen-1-ol, acetate	$C_8H_{14}O_2$	133.57 ± 5.66	70.21 ± 8.89	20.91 ± 1.29	-	15.37 ± 7.61	43.37 ± 5.40	69.83 ± 4.12
乙酸己酯 acetic acid, hexyl ester	$C_8H_{16}O_2$	2.67 ± 0.25	2.12 ± 0.03	-	-	-	2.65 ± 0.11	-
水杨酸甲酯 methyl salicylate	$C_8H_8O_3$	-	-	3.39 ± 0.06	-	-	-	-

表 1 (续)

Table 1 (Continued)

挥发性有机化合物	分子式	峰面积 $A \times 10^6$						
		苦茶槭	鸡爪槭	三角槭	樟叶槭	羊角槭	毛脉槭	青榨槭
异丁酸叶醇酯 hexenyl isobutanoate	$C_{10}H_{18}O_2$	-	-	2.92 ± 1.83	-	-	-	-
醋酸-2-乙基己酯 acetic acid, 2-ethylhexyl ester	$C_{10}H_{20}O_2$	2.68 ± 0.09	-	-	-	15.70 ± 0.33	11.05 ± 1.21	10.06 ± 0.16
乙酸龙脑酯 bornyl acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	-	-	-	-	4.10 ± 1.00	-	-
醛类								
2,4-己二烯醛 2,4-hexadienal	C_6H_8O	-	-	-	-	-	-	4.62 ± 0.11
壬醛 nonanal	$C_9H_{18}O$	10.04 ± 1.17	7.53 ± 1.94	14.74 ± 3.25	32.67 ± 2.58	31.49 ± 3.41	11.03 ± 2.75	29.63 ± 3.06
枯茗醛 cuminaldehyde	$C_{10}H_{12}O$	-	-	-	3.98 ± 0.05	-	-	-
癸醛 decanal	$C_{10}H_{20}O$	13.76 ± 1.35	6.00 ± 1.79	18.18 ± 2.31	27.37 ± 6.00	54.87 ± 5.14	12.03 ± 3.77	44.24 ± 8.00
十一醛 undecanal	$C_{11}H_{22}O$	-	-	2.15 ± 0.34	-	5.88 ± 2.75	-	-
酮类								
乙酰苯 acetophenone	C_8H_8O	-	-	-	-	3.67 ± 1.22	-	-
异佛尔酮 isophorone	$C_9H_{14}O$	-	-	2.12 ± 0.03	-	12.93 ± 0.10	-	6.45 ± 0.21
香叶基丙酮 acetone, Geranyl-	$C_{13}H_{22}O$	-	-	2.00 ± 0.72	8.55 ± 0.51	9.69 ± 0.01	-	3.04 ± 0.98
烃类								
1-十二烯 1-dodecene	$C_{12}H_{24}$	3.31 ± 0.15	-	-	-	3.36 ± 0.32	-	4.42 ± 0.41
2,6,10-三甲基-十四烯 tetradecane,2,6,10-trimethyl-	$C_{17}H_{36}$	-	-	-	-	4.38 ± 0.81	-	-
含氮类								
己内酰胺 caprolactam	$C_6H_{11}NO$	-	4.38 ± 1.27	3.55 ± 1.30	13.75 ± 1.01	-	-	-

说明: -表示未检出。

(11.8%)等 17 种化合物, 占 VOCs 总量的 81.1%; 毛脉槭检测出 23 种化合物, 主要为萜类和酯类, 包括罗勒烯(11.4%), 长叶烯(8.9%)和乙酸叶醇酯(18.3%)等 18 种化合物, 占 VOCs 总量的 79.0%; 青榨槭检测出 20 种化合物, 主要是醇类、酯类和醛类, 包括乙酸叶醇酯(23.7%), 癸醛(15.0%), 壬醛(10.1%), (Z)-3-己烯-1-醇(11.1%)和 2-乙基-1-己醇(7.7%)等 11 种化合物, 占 VOCs 总量的 80.9%。

槭树科 7 种植物释放 VOCs 的共有成分是 α -蒎烯、长叶烯、长叶环烯、雪松烯、石竹烯、反式-2-十二烯-1-醇、壬醛和癸醛等 8 种化合物, 分别占苦茶槭、鸡爪槭、三角槭、樟叶槭、羊角槭、毛脉槭和青榨槭各总量的 20.5%, 26.7%, 46.2%, 19.8%, 57.2%, 29.9% 和 38.0%。常绿树樟叶槭与落叶树苦茶槭、鸡爪槭、三角槭、羊角槭、毛脉槭和青榨槭共有成分分别为 21.5%, 32.6%, 70.0%, 67.4%, 55.4%和 43.9%。特有成分最多的是樟叶槭(24.4%), 其次是青榨槭(12.7%)、毛脉槭(4.2%)、三角槭(3.9%)、羊角槭(3.3%)和鸡爪槭(1.3%)。

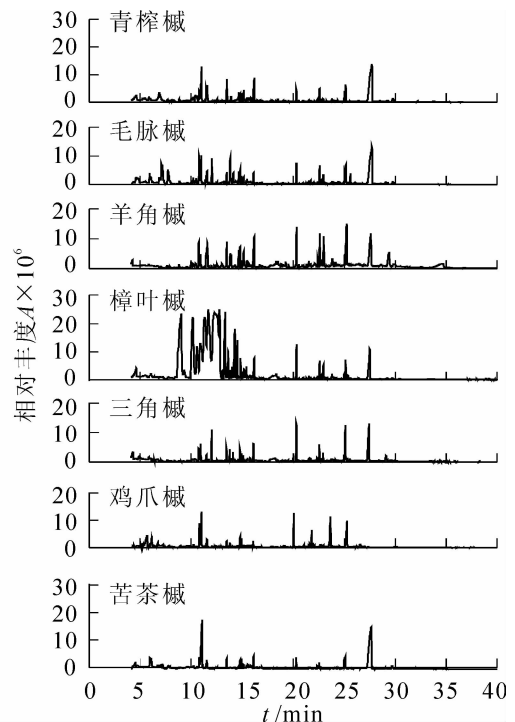


图 1 7 种槭树释放 VOCs 的总离子流图

Figure 1 Total ion current of volatile organic compounds released from branches and leaves in 7 *Acer* species

2.2 槭树科7种植物释放 VOCs 种类及差异性比较

7种槭树科植物释放 VOCs 种类和相对含量存在显著差异(图2)。苦茶槭共有5类化合物, 萜类6种(8.6%), 醇类4种(11.0%), 酯类4种(67.6%), 醛类2种(11.2), 烃类1种(1.6%); 鸡爪槭含有萜类、烃类、醛类等5类化合物, 萜类7种(20.1%), 醇类1种(11.9%), 酯类3种(52.9%), 醛类2种(9.6%), 含氮化合物1种(3.1%); 三角槭包括萜类、酮类、醛类等6类化合物: 萜类8种(46.1%), 醇类2种(10.3%), 酯类3种(17.0%), 醛类3种(21.9%), 酮类2种(2.6%), 含氮化合物1种(2.2%); 樟叶槭含有萜类、醇类、醛类等5类化合物: 萜类18种(96.6%), 醇类1种(0.4%), 醛类3种(2.3%), 酮类1种(0.3%), 含氮化合物1种(0.5%); 羊角槭含有萜类、醇类、酯类等6类化合物, 萜类9种(36.7%), 醇类5种(19.3%), 酯类3种(9.6%), 醛类3种(25.1%), 酮类3种(7.2%), 烃类2种(2.1%); 毛脉槭含有萜类、醇类、酯类等4类化合物, 萜类15种(54.9%), 醇类3种(11.3%), 酯类3种(24.1%), 醛类2种(9.7%); 青榨槭含有萜类、醇类、脂类等6类化合物, 萜类6种(14.4%), 醇类6种(27.2%), 酯类2种(27.1%), 醛类3种(26.6%), 酮类2种(3.2%), 烃类1种(1.5%)。萜类化合物含量最高的是樟叶槭, 其相对含量分别是苦茶槭、鸡爪槭、三角槭、羊角槭、毛脉槭和青榨槭的14.6倍、4.8倍、2.1倍、2.6倍、2.8倍和6.7倍。在苦茶槭 VOCs 中脂类化合物相对含量最高, 其相对含量是鸡爪槭、三角槭、羊角槭、毛脉槭和青榨槭的1.3倍、4.0倍、7.1倍、2.8倍和2.5倍, 在樟叶槭中未检测到。

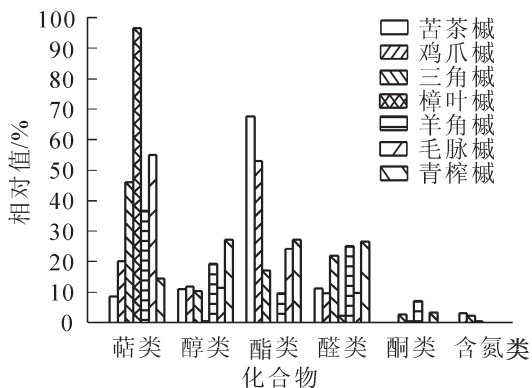


图2 7种槭树释放 VOCs 的相对含量

Figure 2 Relative contents of VOCs from branches and leaves in 7 *Acer* species

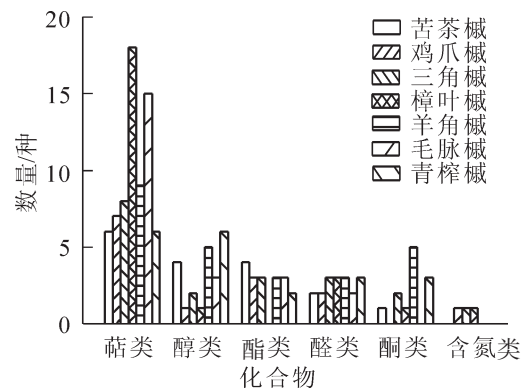


图3 7种槭树释放 VOCs 的种类

Figure 3 Constituents of VOCs from branches and leaves in 7 *Acer* species

3 结论与讨论

本研究对华东地区生长的7种槭树释放 VOCs 研究表明: 同属不同种间植物释放 VOCs 种类和相对含量差异明显。常绿树樟叶槭与落叶类释放 VOCs 差异较大, 说明槭树中常绿类与落叶类释放 VOCs 差异可能不完全反应组系差异。落叶类槭树间释放 VOCs 差异较小, 共有成分较高(占63.0%~96.0%), 其中鸡爪槭在落叶类中共有成分最高(占91.0%~94.0%), 可能为所测落叶类槭树释放 VOCs 的核心类型。本研究中苦茶槭和鸡爪槭主要成分是酯类物质(50.0%以上), 与张风娟等^[16]测定华北地区生长的4种落叶类槭树释放成分一致; 羊角槭释放的 α -蒎烯、 β -蒎烯、乙酸叶醇酯、长叶烯、长叶环烯和石竹烯等物质, 在宋秀华等^[19]测试的元宝枫7月释放 VOCs 中也检测到。这可能与采集方法、发育节律^[19]、外界条件^[20]、生长地域及亲缘关系等因素有关, 槭树释放 VOCs 调控规律还需深入研究。

萜类化合物在药剂预防和治疗心血管疾病、癌症以及抗菌、抗炎、抗病毒、抗氧化剂、抗高血糖等生物活性方面扮演着一定角色^[21]。石竹烯具有镇静、抗焦虑、抗抑郁^[22], 抗炎^[22]和抗肿瘤活性^[23]; α -蒎烯^[24]、3-蒎烯^[25]、 β -蒎烯^[26]能抗炎镇痛; 罗勒烯是重要信号分子, 抗菌杀虫^[27], 抗白血病肿瘤细胞增殖^[28]; 萜品油烯能有效抑制低密度脂蛋白氧化^[29]。槭树均释放 α -蒎烯、石竹烯等萜类物质, 樟叶槭富含罗勒烯、 α -蒎烯、3-蒎烯、 β -蒎烯和萜品油烯, 三角槭和毛脉槭主要释放罗勒烯, 羊角槭主要释放石竹烯, 推测所测槭树有不同程度的保健功能, 可作为保健型园林植物材料。苦茶槭和鸡爪槭富含的乙酸叶醇酯(63.1%, 49.6%)是一种具有香蕉气味的高级香料, 推测其还可种植提取香精。萜类及C6~C10醇

醛类物质对细菌、真菌和放线菌有抑制作用^[11,18,21], 说明槭树具有良好杀菌价值。建议在公园或小区的林荫步道、锻炼区、保健区等活动场所适量配置槭树, 以抑制微生物、改善空气质量、预防疾病, 发挥槭树资源优势, 构建优美人居环境。

4 参考文献

- [1] DUDAREVA N, PICHERSKY E. Biochemical and molecular genetic aspects of floral scents [J]. *Plant Physiol*, 2000, **122**(3): 627 – 634.
- [2] DIXON R A. Natural products and plant disease resistance [J]. *Nature*, 2001, **411**(6839): 843 – 847.
- [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.
ZUO Zhaojiang, ZHANG Rumin, WANG Yong, *et al.* Analysis of main volatile organic compounds and study of above-ground structures in *Artemisia frigid* [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2010, **34**(4): 462 – 468.
- [4] PICHERSKY E, GERSHENZON J. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense [J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2002, **5**(3): 237 – 243.
- [5] BALDWIN I T, HALITSCHKE R, PASCHOLD A, *et al.* Volatile signaling in plant-plant interactions: “talking trees” in the genomics era [J]. *Science*, 2006, **311**(5762): 812 – 815.
- [6] SINGSAAS E L, LERDAU M, WINTER, K., *et al.* Isoprene increases thermotolerance of isoprene-emitting species [J]. *Plant Physiol*, 1997, **115**(4): 1413 – 1420.
- [7] LORETO F, VELIKOVA V. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes [J]. *Plant Physiol*, 2001, **127**(4): 1781 – 1787.
- [8] LORETO F, PINELLI P, MANES F, *et al.* Impact of ozone on monoterpene emissions and evidence for an isoprenelike antioxidant action of monoterpenes emitted by *Quercus ilex* leaves [J]. *Tree Physiol*, 2004, **24**(4): 361 – 367.
- [9] CALFAPIETRA C, FARES S, MANES F, *et al.* Role of biogenic volatile organic compounds (BVOC) emitted by urban trees on ozone concentration in cities: a review [J]. *Environ Pollut*, 2013, **183**: 71 – 80.
- [10] 郑华, 金幼菊, 周金星, 等. 活体珍珠梅挥发物释放的季节性及其对人体脑波影响的初探[J]. *林业科学研究*, 2003, **16**(3): 328 – 334.
ZHENG Hua, JIN Youju, ZHOU Jinxing, *et al.* A preliminary study on human brain waves influenced by volatiles released from living *Sorbaria kirilowii* (Regel)Maxim. in different seasons [J]. *For Res*, 2003, **16**(3): 328 – 334.
- [11] GAO Yan, JIN Youju, LI Haidong, *et al.* Volatile organic compounds and their roles in bacteriostasis in five conifer species [J]. *J Integr Plant Biol*, 2005, **47**(4): 499 – 507.
- [12] LEE J, PARK B J, TSUNTESUGU Y, *et al.* Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects [J]. *Public Health*, 2011, **125**(2): 93 – 100.
- [13] 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 Juan, WANG Cheng, PENG Zhenhua, *et al.* The diurnal variation and influence factors of VOC of *Platycladus orientalis* in spring [J]. *For Res*, 2011, **24**(1): 82 – 90.
- [14] 徐廷志. 槭树科的地理分布[J]. *云南植物研究*, 1996, **18**(1): 43 – 50.
XU Tingzhi. Phyto geography of the family Aceraceae [J]. *Acta Bot Yunnan*, 1996, **18**(1): 43 – 50.
- [15] BALDWIN I T, SCHULTZ J C. Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: evidence for communication between plants [J]. *Science*, 1983, **221**(4607): 277 – 279.
- [16] 张风娟, 金幼菊, 陈华君, 等. 光肩星天牛对 4 种不同槭树科寄主植物的选择机制[J]. *生态学报*, 2006, **26**(3): 870 – 877.
ZHANG Fengjuan, JIN Youju, CHEN Huajun, *et al.* The selectivity mechanism of *Anoplophora glabripennis* four different species of maples [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(3): 870 – 877.
- [17] 张风娟, 金幼菊. 茉莉酸甲酯喷施和光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) 咬食后五角枫释放的挥发物[J]. *生态学报*, 2007, **27**(7): 2990 – 2996.
ZHANG Fengjuan, JIN Youju, Comparison of volatiles from *Anoplophora glabripennis* (Motsch.) and methyl jas-

- monate (MeJA)-applied *Acer mono* Maxim to identify wound signal transduction pathways [J]. *Acta Ecol Sin*, 2007, **27**(7): 2990 – 2996.
- [18] 张凤娟, 李继泉, 徐兴友, 等. 皂荚和五角枫挥发性物质组成及其对空气微生物的抑制作用[J]. 园艺学报, 2007, **34**(4): 973 – 978.
- ZHANG Fengjuan, LI Jiquan, XU Xingyou, *et al.* The volatiles of two greening tree species and the antimicrobial activity [J]. *Acta Horti Sin*, 2007, **34**(4): 973 – 978.
- [19] 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 Xiuhua, LI Chuanrong, XU Jingwei, *et al.* The analysis of volatile organic compounds and seasonal differences emitted from leaves of *Acer truncatum* [J]. *Acta Horti Sin*, 2014, **41**(5): 915 – 924.
- [20] LI Jianguang, JIN Youju, LUO Youqing, *et al.* Leaf volatiles from host tree *Acer negundo*: Diurnal rhythm and behavior responses of *Anoplophora glabripennis* to volatiles in field [J]. *Acta Bot Sin*, 2003, **45**(2): 177 – 182.
- [21] BAKKALI F, AVERBECK S, AVERBECK D, *et al.* Biological effects of essential oils-a review [J]. *Food Chem Toxicol*, 2008, **46**(2): 446 – 475.
- [22] GHELARDINI C, GALEOTTI N, MANNELLI L D C, *et al.* Local anaesthetic activity of β -caryophyllene [J]. *Il Farmaco*, 2001, **56**(5): 387 – 389.
- [23] da SILVA S L, FIGUEIREDO P, YANO T. Chemotherapeutic potential of the volatile oils from *Zanthoxylum rhoifolium* Lam leaves [J]. *Eur J Pharmacol*, 2007, **576**(1): 180 – 188.
- [24] ORHAN I, KÜPELI E, ASLAN M, *et al.* Bioassay-guided evaluation of anti-inflammatory and antinociceptive activities of pistachio, *Pistacia vera* L. [J]. *J Ethnopharmacol*, 2006, **105**(1): 235 – 240.
- [25] OCETE M A, RISCO S, ZARZUELO A, *et al.* Pharmacological activity of the essential oil of *Bupleurum gibraltarium*: anti-inflammatory activity and effects on isolated rat uteri [J]. *J Ethnopharmacol*, 1989, **25**(3): 305 – 313.
- [26] LIAPI C, ANIFANDIS G, ANIFANTIS G, *et al.* Antinociceptive properties of 1, 8-Cineole and beta-pinene, from the essential oil of *Eucalyptus camaldulensis* leaves, in rodents [J]. *Planta Med*, 2007, **73**(12): 1247 – 1254.
- [27] SINGH G, SINGH O P, de LAMPASONA M P, *et al.* Studies on essential oils. Part 35: chemical and biocidal investigations on *Tagetes erecta* leaf volatile oil [J]. *Flavour Frag J*, 2003, **18**(1): 62 – 65.
- [28] SAAB A M, TUNDIS R, LOIZZO M R, *et al.* Antioxidant and antiproliferative activity of *Laurus nobilis* L. (Lauraceae) leaves and seeds essential oils against K562 human chronic myelogenous leukaemia cells [J]. *Nat Prod Res*, 2012, **26**(18): 1741 – 1745.
- [29] GRASSMANN J, HIPPELI S, SPITZENBERGER R, *et al.* The monoterpene terpinolene from the oil of *Pinus mugo* L. in concert with α -tocopherol and β -carotene effectively prevents oxidation of LDL [J]. *Phytomedicine*, 2005, **12**(6): 416 – 423.