

基于HS-SPME-GC-MS测定5种蔷薇属植物 花瓣挥发性成分

王洪乾,寇亚平,姚晨阳,孟昭阳,王晶晶,贾瑞冬,赵鑫,葛红,杨树华

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所/蔬菜生物育种全国重点实验室/农业农村部花卉生物学与种质创制重点实验室(北方),北京 100081)

摘要:花瓣中挥发性成分对观赏植物的开发和利用起着重要作用。本研究采用顶空固相微萃取气质色谱联用技术,对5种蔷薇盛花期花瓣中挥发性成分进行检测分析,结果表明:5种蔷薇植物花瓣中共鉴定出91种挥发性成分,包含萜烯类、醇类、酯类、醛类、烷类、酚类、酮类、醚类和酸类9个类型。其中,百叶蔷薇共检测到45种挥发性成分,无特有成分,百叶蔷薇品种摩洛哥共检测到52种挥发性成分,5种特有成分;格拉斯共检测到40种挥发性成分,2种特有成分;菲茨詹姆斯共检测到57种挥发性成分,8种特有成分;大马士革蔷薇共检测出63种挥发性成分,11种特有成分。2-苯乙醇、香叶醇、香茅醇、乙酸香叶酯等是5种蔷薇花瓣中主要的挥发性成分,大马士革蔷薇花瓣的挥发性物质含量最多,达3622.68 ng/g,其次是摩洛哥、菲茨詹姆斯、格拉斯和百叶蔷薇,挥发性物质含量分别为2507.0 ng/g、2445.9 ng/g、1394.54 ng/g和883.38 ng/g。基于5种蔷薇花瓣中挥发性成分含量进行聚类分析发现,大马士革蔷薇与菲茨詹姆斯聚类关系较近,萜烯类挥发性成分种类和含量在5种蔷薇中差异较大。本研究为蔷薇属植物资源的开发和利用提供理论参考。

关键词:蔷薇属;挥发性成分;HS-SPME-GC-MS;主成分分析

Detection of Volatile Organic Compounds in Five Rose Petals Based on Headspace Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry

WANG Hongqian, KOU Yaping, YAO Chenyang, Meng Zhaoyang, WANG Jingjing,
JIA Ruidong, ZHAO Xin, GE Hong, YANG Shuhua

(Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory of
Vegetable Biobreeding/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Flower Crops (North China),
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081)

Abstract: Fragrance volatile organic compounds play key role on exploitation and utilization in ornamental plants. In this study, headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) was used to determine and quantify the volatile organic compounds (VOCs) in five rose petals. Ninety-one VOCs were identified and classified into nine types: terpenes, alcohols, esters, aldehydes, alkanes, phenols, ketones, ethers, acids. Forty-five components were detected in *R. centifolia*; 52 components including five exclusive compositions were detected in *R. 'Morocco'*; 40 compounds including two exclusive compositions were detected in *R. 'de Grasse'*; 57 compounds including eight exclusive compositions

收稿日期: 2023-03-24 修回日期: 2023-04-21 网络出版日期: 2023-05-12

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230324002>

第一作者研究方向为玫瑰花色花香代谢研究, E-mail: 793670339@qq.com

通信作者: 杨树华, 研究方向为花卉种质资源与遗传育种, E-mail: yangshuhua@caas.cn

寇亚平, 研究方向为花卉栽培生理与分子生物学, E-mail: kouyaping@caas.cn

基金项目:山东省重点研发计划项目(2022LGZCQY009);现代农业产业技术体系北京市创新团队(BAIC09-2023);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(IVF-BRF2021016, IVF-BRF2022014);国家重点研发计划项目(2018YFD1000401)

Foundation projects: Key R&D Program of Shandong Province, China (2022LGZCQY009); Beijing Innovation Consortium of Agriculture Research System (BAIC09-2023); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (IVF-BRF2021016, IVF-BRF2022014); National Key R&D Program of China (2018YFD1000401)

were detected in *R. 'Duc de Fitzjames'*; 63 compounds including 11 exclusive compositions were detected in *R. × damascena*. The compounds 2-Phenylethanol, Geraniol, β -Citronellol, and Geranyl acetate were predominant in five rose petals. *R. × damascena* had the highest content of VOCs, reaching 3622.68 ng/g, and the contents of VOCs in *R. 'Morocco'*, *R. 'Duc de Fitzjames'*, *R. 'de Grasse'*, *R. centifolia* were 2507.07 ng/g, 2445.9 ng/g, 1394.54 ng/g, 883.38 ng/g, respectively. Heatmap cluster analysis and cluster analysis showed that *R. × damascena* was closely related to *R. 'Duc de Fitzjames'*, and the content of terpenes were significantly different in petals of five rose. Collectively, this study provided reference for future exploitation and utilization of *Rosa* genus resources.

Key words: *Rosa* genus, volatile organic compounds; HS-SPME-GC-MS; principal component analysis

蔷薇属(*Rosa* L.)植物资源丰富,全属约有200个种,广泛分布亚、欧、北非、北美各洲寒温带至亚热带地区,是世界著名的观赏植物之一。中国拥有82个种,是世界蔷薇属植物的分布中心之一,对蔷薇属植物育种做出了重要贡献^[1-2]。如原产我国的月季花(*Rosa chinensis* Jacq.)对四季开花品种的培育做出重要贡献,原产我国的香水月季(*R. odorata* Sweet)和玫瑰(*R. rugosa* Thunb.)对蔷薇属芳香品种的培育提供重要的亲本资源,野蔷薇(*R. multiflora* Thunb.)和光叶蔷薇(*R. wichuriana* Crep.)在丰花及抗逆特性新品种培育中发挥重要的作用^[3]。蔷薇属不少资源具有重要的经济价值和药用价值,其花朵提取物被广泛应用^[4]。

蔷薇属植物花色丰富,花香宜人,许多物种的花中富含多糖、多酚和黄酮类等成分,具有抗氧化、抑菌、镇静催眠、调节血脂等作用,可以用于医药、化工、食品等行业^[5]。蔷薇属植物花瓣中提取的芳香精油,被称为玫瑰精油,是各种高级香水、香皂及化妆香精不可或缺的香料,也是调配多种花香型香精、可食用香精的主剂^[6]。20世纪50年代以来,随着全球香料工业的兴起和发展,精油的市场需求量逐年增加,全球玫瑰香精油消耗量为3000~4500 kg/年,由于精油的产量极低,只有0.3‰左右,价格昂贵,被称为“液体黄金”。许多国家和地区在大力发展玫瑰精油产业,精油产量品质,受众多因素的影响,如遗传因素(品种)、栽培环境、采后储藏和提取工艺等。国际常用的精油提取用蔷薇属植物主要有大马士革蔷薇(*R. × damascena*)及其栽培品种、百叶蔷薇(*R. centifolia*)及其栽培品种、法国蔷薇(*R. gallica*)及其栽培品种、白蔷薇(*R. × alba* L.)及其栽培品种,这些资源主要起源于欧洲及中东地区,广泛种植于保加利亚、摩洛哥、法国、土耳其、伊朗、印度、俄罗斯等国家和地区^[7-8]。我国自主培育的芳香蔷薇属植物品种,有苦水玫瑰(*R. sertata* × *R.*

rugosa Yü et Ku)、重瓣红玫瑰(*R. rugosa* cv. 'Plena')、丰花玫瑰(*R. rugosa* 'Feng Hua')、紫枝玫瑰(*R. rugosa* 'Zizhi')等,在新疆和田、山东菏泽、山东平阴、甘肃苦水、以及云南、四川、河北等地区广泛栽培。我国自主培育的精油提取用品种,精油的产量和品质与国际市场需求产品相比稍差,亟需进行品种改良^[9-11]。

芳香植物挥发性成分的鉴定,是植物资源多样性评价及品种改良、新品种培育的基础。花香挥发性有机物的采集与检测,是鉴定评价植物花香的重要环节。顶空固相微萃取技术(HS-SPME, headspace solid phase microextraction),是一种通过吸附针上涂覆固定相熔融膜来吸附挥发性成分,集采集和提取为一体,具有样本需求小、操作简便、灵敏度高等优点。顶空固相微萃取技术结合气相色谱-质谱联用技术(GC-MS, gas chromatography-mass spectrometry),可以用于检测活体植物挥发性有机物的释放,已广泛应用于月季、玫瑰、萱草、菊花、梅花、桂花、小苍兰等香花植物花香成分鉴定的研究中^[12-25]。本研究以相同栽培条件下的5种蔷薇属植物为研究对象,通过顶空固相微萃取结合气相色谱质谱联用技术,对盛花期花瓣挥发性有机物进行检测和分析,通过韦恩图、聚类热图等比较分析蔷薇属植物花瓣挥发性有机物的差异,为进一步利用和改良蔷薇属植物资源提供参考。

1 材料与方法

1.1 植物材料

供试材料为蔷薇属植物野生种百叶蔷薇(*R. centifolia*) (1318年发现)、百叶蔷薇参与杂交所得品种格拉斯(*R. 'de Grasse'*) (1861年以前育成品种)、摩洛哥(*R. 'Morocco'*) (1961年育成品种)、菲茨詹姆斯(*R. 'Duc de Fitzjames'*) (1837年以前育成

品种)及栽培种大马士革蔷薇(*R × damascena*)(1859年定名品种)。5种蔷薇属植物于2016年引种于新西兰和法国,栽植于北京市中国农业科学院蔬菜花卉研究所的南口基地,正常水肥管理。正常生长条件下,5种蔷薇活体植株上盛花期花瓣香味人鼻嗅闻差异较明显。

1.2 试验方法

1.2.1 HS-SPME 检测

于2021年春天,在晴朗无风的上午,选择长势健壮,无病虫害的5种蔷薇属植物植株中部枝条盛开期花朵,将其装进自封袋中放入冰盒运回实验室,取其花瓣分别称取1.5 g至20 mL顶空进样瓶中;向样品瓶中注射0.816 μg/μL的2-壬酮标准品1 μL后,于室温条件下静置平衡1 h后进行上样检测。

固相微萃取(SPME)萃取头使用安捷伦公司生产的57348-U型号的SPME纤维头(Agilent, USA),固定相为DVB/CAR/PDMS(50/30 μm),固定相厚度80 μm,24ga,250 °C老化5 min;使用安捷伦PAL自动进样器,将萃取头插入样品瓶上空约25 mm处,室温条件下抽吸附40 min,250 °C解吸5 min后进行数据采集。

1.2.2 GC-MS 检测

色谱条件/检测仪器:安捷伦7890B-5977A气相色谱-质谱联用仪(Agilent, USA);色谱柱:安捷伦,DB-WAX毛细色谱柱(长30 m,内径0.32 mm,膜厚0.25 μm);进样口温度:250 °C;载气:高纯氦气(99.99%);流速1.0 mL/min,不分流;升温程序:起始柱温40 °C,保持4 min,以2 °C/min升温至160 °C,保持2 min后,再以15 °C/min升温至220 °C,保持5 min;每个样品设置3个重复。

质谱条件/电子轰击离子源(EI);温度230 °C;电子能量70 eV,电流200 μA,接口温度250 °C,离子源温度230 °C,四级杆温度150 °C;扫描方式:全扫描;扫描质量范围:29~600 amu;真空系统:分子涡轮泵。

1.2.3 挥发性成分定性定量分析

定性分析:使用Qualitative Workflows B.08.00软件结合Excel,根据NIST 17.0和Wiley普库检索对比保留指数和人工图谱解析辅助定性。保留指数参考Kovats法在各组分中添加C₆~C₄₀的正构烷烃混合物,通过保留时间计算化合物的保留值。

定量分析:内标法及峰面积归一化法计算出各化合物的相对含量。2-壬酮为内标标准品,计算公式如下:组分含量(μg/g)=[(组分峰面积/内标峰面积)×内标的密度(μg/μL)×内标的体积(μL)]/样

品重量(g)。

本研究所用的试剂正己烷(色谱纯)和2-壬酮标准品(99%)均购于SIGMA公司。

1.3 数据分析

使用Excel、IBM SPSS Statistics 26进行差异显著性分析、Origin 2022软件进行韦恩图、聚类热图、柱形图、主成分双标图的绘制。

2 结果与分析

2.1 不同蔷薇资源挥发性成分定性分析

通过HS-SPME-GC-MS技术,分别对5种蔷薇属植物盛花期花瓣进行检测分析,如表1所示,5种植物共检测出91种挥发性组分,大马士革蔷薇检测出的花瓣挥发性成分最多,达63种,其次是菲茨詹姆斯、摩洛哥、百叶蔷薇和格拉斯,分别检测出57、52、45和40种挥发性成分。91种挥发性成分中,21种挥发性成分在5种植物花瓣中均能检测到,分别是:月桂烯、D-柠檬烯、β-水芹烯、β-罗勒烯、罗勒烯、玫瑰呔喃、紫苏烯、1-十九碳烯、2-甲基-3-庚醇、正己醇、β-香茅醇、香叶醇、2-苯乙醇、乙酸香茅酯、乙酸香叶酯、2,2,4-三甲基戊二醇二异丁酸酯、香茅醛、橙花醛、十五烷、十七烷、冰醋酸(表1)。玫瑰精油国际标准(ISO 9842:2003)中特征挥发性成分为乙醇、香茅醇、香叶醇、橙花醇、2-苯乙醇、十七烷、十九烷、二十一烷^[12],在5种蔷薇中,除乙醇、橙花醇、十九烷、二十一烷之外,其他成分均能检测到;二十一烷烃仅在大马士革蔷薇和摩洛哥花瓣中检测到。引种的5种蔷薇属植物花瓣挥发性成分包含玫瑰精油的大部分特征香气物质。

对5种蔷薇属植物检测到的91种挥发性成分进行差异分析,结果如图1所示:百叶蔷薇没有特有成分,摩洛哥有5种特有成分,分别是波斯菊萜、α-松油醇、2-甲基-2-丁烯-1-醇、十三烷、3-Caren-5-one;格拉斯有2种,分别是橙花醇、丁香酚;菲茨詹姆斯有8种特有成分,分别是α-萜荜澄茄油烯、3,5-杜松-二烯、大根香叶烯D、β-杜松烯、1,4-杜松-二烯、α-菖蒲烯、乙酸戊酯、苜甲醚;大马士革蔷薇特有成分最多,共有11种,分别是香叶烯、桉烯、新别罗勒烯、α-愈创木烯、α-法呢烯、丙酸香茅酯、2-甲基-3-苯基丙醛、十六烷、4-仲丁基-2,6-二叔丁基苯酚、3-(羟基苯甲基)-2,3-二甲基-4-辛酮、β-二氢紫罗兰酮。不同资源花瓣中特有挥发性成分,可能是造成不同植物香气类型及精油品质差异的主要原因。

表1 不同蔷薇属植物盛花期花瓣挥发性成分及含量
Table 1 Compounds and contents of five rose petals in the full blooming stage

编号 No.	中文名 Chinese name	英文名 English name	分子式 Molecular formula	CAS号 CAS number	RI值 RI value	含量 (ng/g) Content				
						百叶蔷薇 <i>R. centifolia</i>	摩洛哥 <i>R. 'Morocco'</i>	格拉斯 <i>R. 'de Grasse'</i>	菲茨詹姆斯 <i>R. 'Duc de Fitzjames'</i>	大马士革蔷薇 <i>R. x damascena</i>
Ter1	香叶烯 ^I	Geraniolene	C ₉ H ₁₆	6709-39-3	856	-	-	-	-	1.72
Ter2	α-蒎烯 ^{II}	(+)-α-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	80-56-8	937	3.34	32.60	-	-	56
Ter3	β-蒎烯 ^{II}	(±)-β-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	127-91-3	979	2.87	3.72	-	4.07	10.37
Ter4	桉烯 ^I	(±)-Sabinene	C ₁₀ H ₁₆	3387-41-5	974	-	-	-	-	3.97
Ter5	月桂烯 ^{II}	β-Myrcene	C ₁₀ H ₁₆	123-35-3	991	11.07	21.83	14.85	10.58	59.56
Ter6	D-柠檬烯 ^{II}	(+)-(R)-limonene	C ₁₀ H ₁₆	5989-27-5		2.92	5.39	4.26	3.97	8.26
Ter7	β-水芹烯 ^{II}	β-Phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	555-10-2	1031	1.20	4.16	1.30	2.23	5.42
Ter8	β-罗勒烯 ^{II}	trans-β-Ocimene	C ₁₀ H ₁₆	3779-61-1	1049	0.47	3.74	2.95	1.30	7.06
Ter9	γ-松油烯 ^V	γ-Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	99-85-4	1060	0.94	-	-	2.10	2.73
Ter10	罗勒烯 ^{II}	(Z)-β-ocimene	C ₁₀ H ₁₆	13877-91-3	1037	4.25	12.98	5.60	3.75	18.68
Ter11	波斯菊烯 ^{III}	Cosmene	C ₁₀ H ₁₄	460-01-5	1131	-	1.60	-	-	-
Ter12	松油烯 ^{II}	Terpinolene	C ₁₀ H ₁₆	586-62-9	1088	-	3.06	1.44	-	1.78
Ter13	新别罗勒烯 ^I	Neoolocimene	C ₁₀ H ₁₆	7216-56-0	1131	-	-	-	-	1.9
Ter14	玫瑰味喃 ^I	Rosefuran	C ₁₀ H ₁₄ O	15186-51-3	1093	3.14	12.30	20.53	3.77	141.26
Ter15	紫苏烯 ^V	Perillene	C ₁₀ H ₁₄ O	539-52-6	1101	3.92	8.33	7.25	6.25	7.17
Ter16	α-草澄茄油烯 ^{VI}	α-Cubebene	C ₁₅ H ₂₄	17699-14-8	1351	-	-	-	10.45	-
Ter17	α-蒎烯 ^V	α-Copaene	C ₁₅ H ₂₄	3856-25-5	-	-	-	-	3.11	1.9
Ter18	β-蒎烯 ^{VI}	β-Copaene	C ₁₅ H ₂₄	18612-33-4	1432	-	2.25	-	15.22	-
Ter19	β-石竹烯 ^V	(-)-β-caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	87-44-5	1419	-	-	-	23.81	7.29
Ter20	α-愈创木烯 ^I	α-Guaiene	C ₁₅ H ₂₄	3691-12-1	1439	-	-	-	-	3.75
Ter21	3,5-杜松-二烯 ^{VI}	Cadina-3,5-diene	C ₁₅ H ₂₄	267665-20-3	1458	-	-	-	4.26	-
Ter22	α-石竹烯 ^{VI}	α-Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	6753-98-6	1454	7.98	-	-	10.53	3.53
Ter23	顺式-木犀草-4(15),5-二烯 ^{VI}	<i>cis</i> -Muurola-4(15),5-diene	C ₁₅ H ₂₄	157477-72-0	1463	-	-	-	20.33	2.01
Ter24	大根香叶烯 ^{VI}	Germaacrene D	C ₁₅ H ₂₄	23986-74-5	1481	-	-	-	92.47	-

表1 (续)

编号 No.	中文名 Chinese name	英文名 English name	分子式 Molecular formula	CAS号 CAS number	RI值 RI value	含量(ng/g) Content				
						百叶蔷薇 <i>R. centifolia</i>	摩洛哥 <i>R. 'Morocco'</i>	格拉斯 <i>R. 'de Grasse'</i>	菲茨詹姆斯 <i>R. 'Duc de Fitzjames'</i>	大马士革蔷薇 <i>R. × damascena</i>
Ter25	2-异丙基-5-甲基-9-[4,4,0]12-1-烯 ^v	2-isopropyl-5-methyl-9-methylene [4,4,0]dec-1-ene	C ₁₅ H ₂₄	150320-52-8	1507	-	-	-	8.27	3.7
Ter26	香叶醛 ^{iv}	Geranial	C ₁₀ H ₁₆ O	141-27-5	1270	3.60	-	56.15	11.91	-
Ter27	β-杜松烯 ^{vi}	β-Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	523-47-7	1518	-	-	-	18.76	-
Ter28	1,4-杜松-二烯 ^{vi}	Cadina-1(10),4-diene	C ₁₅ H ₂₄	16729-01-4	-	-	-	-	12.81	-
Ter29	α-法呢烯 ⁱ	(E,E)-α-Farnesene	C ₁₅ H ₂₄	502-61-4	1508	-	-	-	-	2.8
Ter30	菖蒲烯 ⁱ	Calamenene	C ₁₅ H ₂₂	483-77-2	1523	-	3.36	1.83	1.66	12.79
Ter31	α-萜蒎烯 ^{vi}	α-Calacorene	C ₁₅ H ₂₀	21391-99-1	1542	-	-	-	3.71	-
Ter32	1-十九碳烯 ⁱⁱ	1-Nonadecene	C ₁₉ H ₃₈	18435-45-5	1892	0.93	24.08	4.66	28.40	52.77
Alc1	2-甲基-2-丁烯-1-醇 ⁱⁱⁱ	2-Methyl-2-buten-1-ol	C ₅ H ₁₀ O	4675-87-0	769	-	2.07	-	-	-
Alc2	2-甲基-3-庚醇 ⁱⁱⁱ	2-Methyl-3-heptanol	C ₈ H ₁₈ O	18720-62-2	970	21.32	14.79	18.26	6.87	12.94
Alc3	正己醇 ^{iv}	Hexanol	C ₆ H ₁₄ O	111-27-3	868	1.12	4.51	8.20	1.92	4.78
Alc4	叶醇 ⁱⁱⁱ	Leaf alcohol	C ₆ H ₁₂ O	928-96-1	857	1.28	5.00	1.03	-	1.7
Alc5	正庚醇 ^{iv}	Heptanol	C ₇ H ₁₆ O	111-70-6	970	-	0.96	3.58	-	-
Alc6	芳樟醇 ⁱⁱ	Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	78-70-6	1099	2.42	8.07	3.80	-	7.09
Alc7	(-)-α-松油醇 ⁱⁱⁱ	(-)-α-Terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	10482-56-1	1190	-	1.93	-	-	-
Alc8	β-香茅醇 ⁱ	β-Citronellol	C ₁₀ H ₂₀ O	106-22-9	1228	172.48	148.37	93.92	48.92	680.86
Alc9	γ-香叶醇 ⁱⁱ	γ-Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	13066-51-8	1195	-	4.05	2.33	-	6.6
Alc10	橙花醇 ^{iv}	Nerol	C ₁₀ H ₁₈ O	106-25-2	1228	-	-	254.47	-	-
Alc11	异-香叶醇 ⁱⁱ	iso-Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	5944-20-7	1240	-	4.80	2.19	3.98	12.56
Alc12	香叶醇 ^v	Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	106-24-1	1255	38.60	275.35	215.45	220.13	86.35
Alc13	丁醇 ⁱⁱⁱ	Texanol	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	77-68-9	1380	1.85	2.95	-	-	-
Alc14	苯甲醇 ⁱⁱⁱ	Benzyl alcohol	C ₇ H ₈ O	100-51-6	1036	33.23	36.91	21.80	-	53.89
Alc15	2-苯乙醇 ⁱⁱ	2-Phenylethanol	C ₈ H ₁₀ O	60-12-8	1116	315.10	667.69	353.54	319.67	622.03
Alc16	榄香醇 ^{vi}	Elemol	C ₁₅ H ₂₆ O	639-99-6	1549	22.61	-	-	57.10	2.76

表1(续)

编号 No.	中文名 Chinese name	英文名 English name	分子式 Molecular formula	CAS号 CAS number	RI值 RI value	含量(ng/g) Content				
						百叶蔷薇 <i>R. centifolia</i>	摩洛哥 <i>R. 'Morocco'</i>	格拉斯 <i>R. 'de Grasse'</i>	菲茨詹姆斯 <i>R. 'Duc de Fitzjames'</i>	大马士革蔷薇 <i>R. x damascena</i>
A1c17	γ -桉叶醇 ^{VI}	γ -Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	1209-71-8	1631	4.32	-	-	2.28	-
A1c18	(-)- α -桉叶醇 ^{VI}	(-)- α -Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	473-16-5	1653	7.43	-	-	6.98	-
A1c19	(+)- β -桉叶醇 ^{VI}	(+)- β -Eudesmol	C ₁₅ H ₂₆ O	473-15-4	1649	7.15	-	-	8.42	-
Est1	乙酸戊酯 ^{VI}	Pentyl acetate	C ₇ H ₁₄ O ₂	628-63-7	911	-	-	-	4.30	-
Est2	梨醇酯 ^{VI}	Prenyl acetate	C ₇ H ₁₂ O ₂	1191-16-8	918	0.50	-	-	3.38	-
Est3	乙酸己酯 ^{VI}	Hexyl acetate	C ₈ H ₁₆ O ₂	142-92-7	1011	3.10	-	6.37	123.86	2.9
Est4	反式-3-乙酸己烯酯 ^{VI}	trans-3-Hexenyl acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	3681-82-1	1005	11.60	-	4.13	38.51	-
Est5	4-己烯-1-醇乙酸酯 ^{VI}	4-Hexen-1-ol, acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	72237-36-6	1020	1.08	-	-	29.10	-
Est6	(2Z)-己烯基乙酸酯 ^{IV}	(2Z)-hexenyl acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	56922-75-9	1006	1.66	1.90	3.64	1.23	-
Est7	乙酸庚酯 ^{VI}	Heptyl acetate	C ₉ H ₁₈ O ₂	112-06-1	1113	-	-	1.83	8.63	-
Est8	乙酸香茅酯 ^V	Citronellyl acetate	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	150-84-5	1354	26.27	65.22	61.27	67.74	81.11
Est9	(±)-丙酸香茅酯 ^I	(±)-Citronellyl acetate	C ₁₃ H ₂₄ O ₂	141-14-0	1445	-	-	-	-	73.3
Est10	反式-香叶酸甲酯 ^V	Z-Methyl geranate	C ₁₁ H ₁₈ O ₂	1189-09-9	1324	-	4.52	1.67	7.64	4.11
Est11	乙酸半酯 ^V	Benzyl acetate	C ₉ H ₁₀ O ₂	140-11-4	1164	2.65	-	-	8.14	5.9
Est12	乙酸橙花酯 ^V	Neryl Acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	141-12-8	1364	-	-	-	87.78	117.57
Est13	乙酸香叶酯 ^V	Geranyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	105-87-3	1382	104.74	423.77	169.32	449.19	414.46
Est14	乙酸苯乙酯 ^V	Phenethyl Acetate	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	103-45-7	1258	-	506.91	-	526.19	555.76
Est15	2,2,4-三甲基戊二醇二异丁酸酯 ^{VI}	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	C ₁₆ H ₃₀ O ₄	6846-50-0	1586	16.00	13.40	7.65	21.29	9.55
A1d1	香茅醛 ^V	Citronellal	C ₁₀ H ₁₈ O	106-23-0	1153	2.29	4.48	4.35	11.10	6.06
A1d2	苯甲醛 ^I	Benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	100-52-7	962	2.74	2.37	-	-	11.36
A1d3	外-异-柠檬醛 ^{II}	exo-Isocitral	C ₁₀ H ₁₆ O	55050-40-3	1147	-	3.15	-	-	3.22
A1d4	异香叶醛 ^V	Isogeranial	C ₁₀ H ₁₆ O	55722-59-3	1170	-	3.18	4.41	4.82	4.01
A1d5	异柠檬醛 ^{II}	Isocitral	C ₁₀ H ₁₆ O	1754-00-3	1185	-	5.78	1.43	2.53	4.84
A1d6	2-甲基-3-苯基丙醛 ^I	2-Methyl-3-phenylpropanal	C ₁₀ H ₁₂ O	5445-77-2	1244	-	-	-	-	4.88

表 1 (续)

编号 No.	中文名 Chinese name	英文名 English name	分子式 Molecular formula	CAS 号 CAS number	RI 值 RI value	含量 (ng/g) Content				
						百叶蔷薇 <i>R. centifolia</i>	摩洛哥 <i>R. 'Morocco'</i>	格拉斯 <i>R. 'de Grasse'</i>	菲茨詹姆斯 <i>R. 'Duc de Fitzjames'</i>	大马士革蔷薇 <i>R. × damascena</i>
Ald7	苯乙醛 ^{III}	Benzeneacetaldehyde	C ₈ H ₈ O	122-78-1	1045	2.29	3.79	-	-	2.56
Ald8	橙花醛 ^{II}	Neral	C ₁₀ H ₁₆ O	106-26-3	1240	10.49	96.23	18.24	29.16	137.27
Ald9	香叶醛 ^I	Citral	C ₁₀ H ₁₆ O	5392-40-5	1276	11.36	2.50	1.50	-	182.33
Alk1	十三烷 ^{III}	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	629-50-5	1300	-	1.55	-	-	-
Alk2	十五烷 ^{II}	Pentadecane	C ₁₅ H ₃₂	629-62-9	1500	2.33	7.35	1.49	4.18	6.6
Alk3	环十五烷 ^{VI}	Cyclopentadecane	C ₁₅ H ₃₀	295-48-7	-	-	2.71	-	22.67	-
Alk4	十六烷 ^I	Hexadecane	C ₁₆ H ₃₄	544-76-3	1600	-	-	-	-	2.84
Alk5	十七烷 ^{II}	Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	629-78-7	1700	3.88	25.92	3.19	8.59	33.38
Alk6	二十烷 ^{II}	Eicosane	C ₂₀ H ₄₂	112-95-8	2000	-	1.75	-	-	3.25
Alk7	二十一烷 ^{II}	Heneicosane	C ₂₁ H ₄₄	629-94-7	2100	-	3.40	-	-	6.43
Phe1	4-仲丁基-2,6-二叔丁基苯酚 ^I	4-sec-Butyl-2,6-di-tert-butylphenol	C ₁₈ H ₃₀ O	17540-75-9	-	-	-	-	-	6.98
Phe2	甲基丁香酚 ^I	Methyl eugenol	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	93-15-2	1402	0.73	3.10	-	-	16.68
Phe3	丁香酚 ^{IV}	Eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	97-53-0	1357	-	-	2.14	-	-
Ket1	3-(羟基苯基)-2,3-二甲基-4-辛酮 ^I	3-(Hydroxy-phenyl-methyl)-2,3-dimethyl-octan-4-one	C ₁₇ H ₂₆ O ₂	1638535-42-8	-	-	-	-	-	3.83
Ket2	β-二氢紫罗兰酮 ^I	Dihydro-β-ionone	C ₁₃ H ₂₂ O	17283-81-7	1433	-	-	-	-	6.12
Ket3	3-Caren-5-one ^{III}	3-Caren-5-one	C ₁₀ H ₁₄ O	81800-50-2	1314	-	2.05	-	-	-
Eth1	反式玫瑰醛 ^{III}	<i>trans</i> -Rose oxide	C ₁₀ H ₁₈ O	5258-11-7	1127	1.75	1.70	-	-	2.62
Eth2	苯甲醛 ^{VI}	Benzyl methyl ether	C ₈ H ₁₀ O	538-86-3	984	-	-	-	2.95	-
Aci1	冰醋酸 ^{II}	Acetic acid	C ₂ H ₄ O ₂	64-19-7	610	2.44	3.53	2.53	2.95	4.81
含氧衍生物 Oxygen containing derivative						856.34	2418.00	1364.14	2417.91	3445.23
总计 Total						883.38	2507.07	1394.54	2445.90	3622.68

中文名字的上标数字 I, II, III, IV, V, VI 分别对应图 4 中 I~VI; CAS 号: 化学文摘数据库登录号; RI 值: 保留指数; -: 未检测到该成分

The Chinese name superscript numbers I, II, III, IV, V, VI correspond to I-VI in figure 4, respectively; CAS number: Chemical Abstracts Service registry number; RI value: Retention index value; Ter: Terpene; Alc: Alcohol; Est: Ester; Ald: Aldehyde; Alk: Alkane; Phe: Phenol; Ket: Ketone; Eth: Ether; Aci: Acid; -: Not detected; The same as below

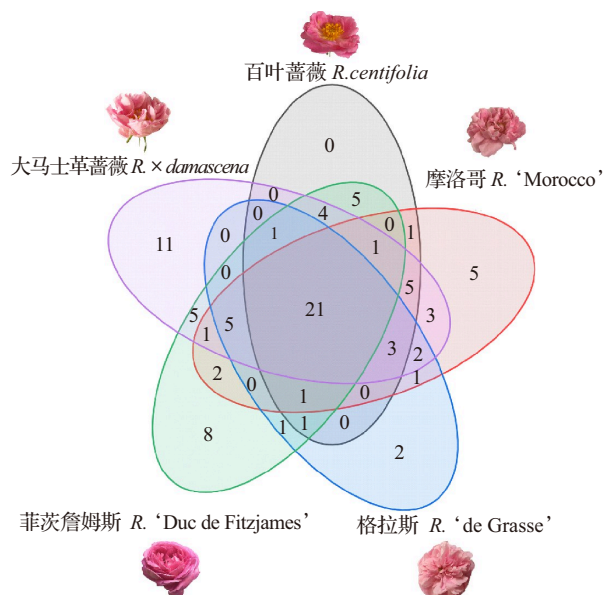


图1 5种蔷薇挥发性组分韦恩图分析
Fig. 1 Ven analysis of volatile organic compounds in five roses

受合成特异化合物直接催化酶缺失的限制,很多花香挥发性成分不能精准定位到合成途径的各个合成位点,因此,将挥发性成分按照碳骨架和次级官能团进行分类,可以准确反应挥发性成分差异情况^[6]。将91种挥发性成分分为9类,分别是:萜烯类(Ters, terpenes)、醇类(Alcs, alcohols)、酯类(Ests, esters)、醛类(Alds, aldehydes)、烷类(Alks, alkanes)、酚类(Phes, phenols)、酮类(Kets, ketones)、醚类(Eths, ethers)和酸类(Acis, acids)9个类型(图2、表2)。共检测出萜烯类32种、醇类19种、酯类15种、醛类9种、烷烃类7种、酚类3种、酮类3种、醚类2种、酸类1种。5种蔷薇属植物中不同类型的挥发性成分种类差异较大,菲茨詹姆斯检测出的萜烯类化合物成分种类最多,其次大马士革蔷薇、摩洛哥、百叶蔷薇和格拉斯;菲茨詹姆斯检测出的酯类化合物成分种类最多,大马士革蔷薇和百叶蔷薇次之,格拉斯、摩洛哥较少;醇类、酚类、醚类和酸类物质在5种蔷薇属植物中定性成分差异不大。萜烯类和脂肪族挥发性成分在5种蔷薇中的差异较大,可能是造成不同花瓣香味差异的主要原因。

2.2 不同蔷薇资源挥发性成分定量分析

如表2所示,5种蔷薇属植物花瓣挥发性有机物的含量差异较大:大马士革蔷薇花瓣挥发性物质含量最高,达3622.67 ng/g,其次是摩洛哥、菲茨詹姆斯、格拉斯和百叶蔷薇,花瓣挥发性物质总含量分别为

2507.07 ng/g、2445.9 ng/g、1394.54 ng/g、883.38 ng/g。大马士革蔷薇花瓣中,挥发性成分含量较高是 β -香茅醇、2-苯乙醇、乙酸苯乙酯、乙酸香叶酯、香叶醛,达2455.44 ng/g,占总成分的67.78%。菲茨詹姆斯花瓣中,乙酸苯乙酯、乙酸香叶酯、2-苯乙醇、香叶醇、乙酸己酯含量较高,达1639.04 ng/g,占总挥发性成分67.01%。摩洛哥花瓣中,2-苯乙醇、乙酸苯乙酯、乙酸香叶酯、香叶醇、 β -香茅醇含量较高,达2022.10 ng/g,占总挥发性成分的80.66%。格拉斯花瓣中,2-苯乙醇、橙花醇、香叶醇、乙酸香叶酯、 β -香茅醇含量较高,达1086.7 ng/g,占总挥发性成分的77.93%。百叶蔷薇中,含量较高的为2-苯乙醇、 β -香茅醇、乙酸香叶酯、香叶醇、苯甲醇,达664.15 ng/g,占总成分的75.18%。5种蔷薇属植物花瓣中,含量较高的5种成分,均为玫瑰精油特征挥发性成分。不同资源中,萜烯类挥发性成分种类多且在不同资源中的含量差异较大,这些可能是造成5种资源花香差异的原因。

如表2所示,5种蔷薇属植物中9种官能团类型成分含量百分比显示,萜烯类、醇类、醛类和酯类构成了花瓣挥发性有机物的主要组成成分,占总含量的95%以上。不同蔷薇属植物资源之间,不同类别的成分含量百分比差异较大,大马士革蔷薇和菲茨詹姆斯中萜烯类含量占比较高,其次是摩洛哥、格拉斯和百叶蔷薇;醇类含量占比最高的是大马士革蔷薇,其次是摩洛哥、格拉斯、菲茨詹姆斯和百叶蔷薇;酯类含量占比最高的是菲茨詹姆斯,其次是大马士革蔷薇、摩洛哥、格拉斯和百叶蔷薇。

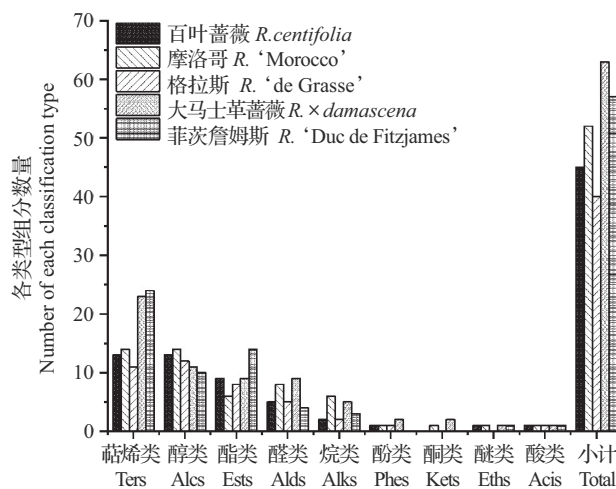


图2 5种蔷薇挥发性组分类型分析
Fig. 2 Analysis of volatile organic compounds in five roses

表 2 不同蔷薇属植物盛花期花瓣挥发性成分分类及含量
Table 2 Classifications and contents of five rose petals in the full blooming stage

官能团类别 Functional groups	百叶蔷薇 <i>R. centifolia</i>		摩洛哥 <i>R. 'Morocco'</i>		格拉斯 <i>R. 'de Grasse'</i>		菲茨詹姆斯 <i>R. 'Duc de Fitzjames'</i>		大马土革蔷薇 <i>R. × damascena</i>	
	含量 (ng/g) Content	占比 (%) Ration	含量 (ng/g) Content	占比 (%) Ration	含量 (ng/g) Content	占比 (%) Ration	含量 (ng/g) Content	占比 (%) Ration	含量 (ng/g) Content	占比 (%) Ration
萜烯类 Ters	46.3 ± 1.9 d	5.28 ± 0.14	134.49 ± 18.02 c	5.57 ± 0.50	119.91 ± 7.96 c	8.82 ± 0.15	282.3 ± 4.21 b	12.3 ± 0.40	410.1 ± 25.39 a	12.34 ± 0.46
醇类 Alcs	615.36 ± 60.5 d	64.75 ± 3.31	1176.47 ± 155.27 b	47.48 ± 0.71	978.56 ± 97.21 c	69.53 ± 9.11	673.95 ± 72.23 d	27.64 ± 0.65	1491 ± 209.54 a	39.73 ± 2.04
酯类 Ests	160.70 ± 18.1 d	26.31 ± 1.8	1015.72 ± 110.9 b	40.39 ± 1.36	255.28 ± 27.96 c	19.08 ± 6.44	1374.3 ± 186.1 a	57.44 ± 1.42	1196.72 ± 114.56 b	34.82 ± 7.5
醛类 Alds	23.70 ± 3.27 d	2.40 ± 0.66	118.33 ± 21.59 b	4.57 ± 0.83	27.96 ± 7.33 d	1.87 ± 0.31	41.46 ± 0.49 c	1.81 ± 0.55	354.05 ± 36.78 a	10.50 ± 1.05
烷类 Alks	6.21 ± 0.80 d	0.67 ± 0.06	41.59 ± 3.27 b	1.66 ± 0.07	4.67 ± 0.32 d	0.35 ± 0	26.48 ± 1.41 c	1.04 ± 0.08	52.50 ± 1.67 a	1.57 ± 0.39
酚类 Phes	0.48 ± 0.13 d	0.06 ± 0.01	3.09 ± 0.34 b	0.12 ± 0.03	2.14 ± 0.007 c	0.16 ± 0	0 d	0	23.66 ± 1.17 a	0.68 ± 0.13
酮类 Kets	0 c	0	2.05 ± 0.26 b	0.08 ± 0.01	0 c	0	0 c	0	6.63 ± 1.37 a	0.19 ± 0.11
醚类 Eths	1.75 ± 0.1 b	0.16 ± 0.03	1.7 ± 0.13 b	0.07 ± 0.01	0.00 c	0.00	1.96 ± 0.37 b	0.08 ± 0.02	6.63 ± 0.44 a	0.04 ± 0.01
酸类 Acids	2.44 ± 0.09 c	0.36 ± 0.06	3.53 ± 0.54 b	0.15 ± 0.04	2.53 ± 0.38 c	0.19 ± 0.01	2.95 ± 0.29 bc	0.12 ± 0.01	4.81 ± 0.51 a	0.14 ± 0.01
总计 Total	883.38 d	100.00	2507.07 b	100.00	1394.54 c	100.00	2445.90 bc	100.00	3622.67 a	100.00

同行不同小写字母表示样本间的差异显著性达 $P < 0.05$ 水平

Different little letters in the same row indicate significance of difference at the level of $P < 0.05$

2.3 不同蔷薇资源挥发性成分聚类分析

对5种蔷薇属资源花瓣挥发性有机物总含量进行聚类分析,结果如图3所示,大马士革蔷薇单独聚为一类,百叶蔷薇、格拉斯、摩洛哥和菲茨詹姆斯

斯聚为一类,这一结果与5种资源亲缘关系分类结果相符。在百叶蔷薇分支所在的4份资源中,菲茨詹姆斯与摩洛哥更接近,格拉斯与百叶蔷薇更接近。

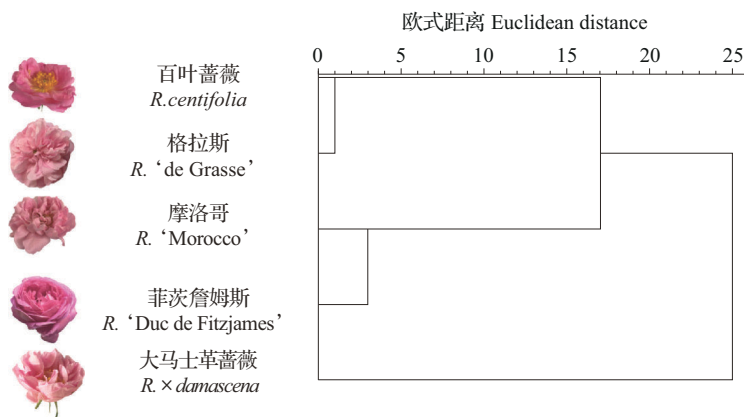


图3 基于5种蔷薇花瓣挥发性有机物总含量的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of volatile organic compounds based on contents in five roses

聚类热图可以直观反映5种资源花瓣中不同挥发性有机物的含量差异情况,因此,基于同一种挥发性成分在5种资源中检测到的含量进行均一化聚类分析,结果如图4所示,91种挥发性有机物可以分为6类。根据每种挥发性成分能在5种蔷薇属植物中的含量可知:大马士革蔷薇花香挥发性成分中第I类、第II类和第V类成分含量较高,菲茨詹姆斯花香挥发性成分中第V类和第VI类成分含量比较高,摩洛哥花香挥发性成分中第II类、III类和第V类成分含量比较高,格拉斯花香挥发性成分中第IV类和部分第V类成分含量比较高,百叶蔷薇花香挥发性成分中部分第III类和部分第VI类成分含量相对较高。第V类挥发性成分,在大马士革蔷薇、菲茨詹姆斯、摩洛哥、格拉斯4个品种中的含量高于百叶蔷薇,尤其是第V类挥发性成分中紫苏烯、香叶醇、乙酸香茅酯、3,7-二甲基-3,6-辛二烯醛、香叶酸甲酯、乙酸香叶酯、乙酸苯乙酯几种成分,在4个品种之中含量较高,且不同资源中成分差异较大,推测蔷薇属植物比较容易通过杂交育种改良花香挥发性物质。

2.4 挥发性有机物主成分分析

对5种蔷薇属植物花瓣中挥发性有机物相对含量大于1%的组分进行主成分分析,发现检测出的91种花瓣挥发性有机物中有26种相对含量大于1%的组分,分别是 α -蒎烯(Ter2)、月桂烯(Ter5)、玫瑰呋喃(Ter14)、 β -石竹烯(Ter19)、大根香叶烯D(Ter24)、香叶醛(Ter26)、1-十九碳烯(Ter32)、2-甲

基-3-庚醇(Alc2)、 β -香茅醇(Alc8)、橙花醇(Alc10)、香叶醇(Alc12)、苯甲醇(Alc14)、2-苯乙醇(Alc15)、榄香醇(Alc16)、乙酸乙酯(Est3)、反式-3-乙酸己烯酯(Est4)、4-己烯-1-醇乙酸酯(Est5)、乙酸香茅酯(Est8)、(\pm)-丙酸香茅酯(Est9)、乙酸橙花酯(Est12)、丙酸香茅酯(Est13)、乙酸苯乙酯(Est14)、2,2,4-三甲基戊二醇二异丁酸酯(Est15)、橙花醛(Ald8)、香叶醛(Ald9)、十七烷(Alk5)。其中月桂烯、玫瑰呋喃、1-十九碳烯、2-甲基-3-庚醇、 β -香茅醇、香叶醇、2-苯乙醇、乙酸香茅酯、乙酸香叶酯、2,2,4-三甲基戊二醇二异丁酸酯、橙花醛、十七烷等12种挥发性有机物是5种资源中共有的相对含量大于1%的组分;大根香叶烯D(Ter24)为菲茨詹姆斯特有成分,橙花醇(Alc10)为格拉斯特有成分,丙酸香茅酯(Est13)为大马士革蔷薇特有成分。

用Origin对26种相对含量大于1%的挥发性有机物进行主成分分析,提取两个主成分1和2的贡献率分别为34.3%和25.9%,累计达到60.2%,可有效反应原始数据的信息(图5)。其中,主成分1贡献较大的是 α -蒎烯(Ter2)、月桂烯(Ter5)、玫瑰呋喃(Ter14)、 β -香茅醇(Alc8)、反式-3-乙酸己烯酯(Est4)、橙花醛(Ald8);主成分2贡献较大的是 β -石竹烯(Ter19)、大根香叶烯D(Ter24)、榄香醇(Alc16)、乙酸乙酯(Est3)、4-己烯-1-醇乙酸酯(Est5)、2-甲基-3-庚醇(Alc2),这些成分可能是造成不同资源香气差异的主要原因。

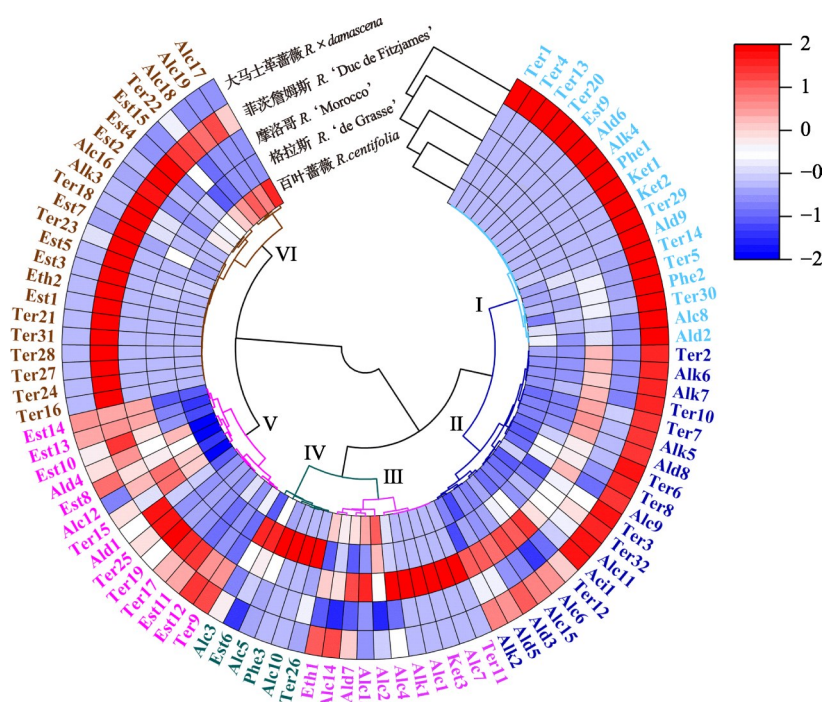


图4 基于5种蔷薇属植物花瓣中91种挥发性成分含量聚类热图分析

Fig. 4 Heatmap and hierarchical cluster analysis of 91 compositions content in five roses

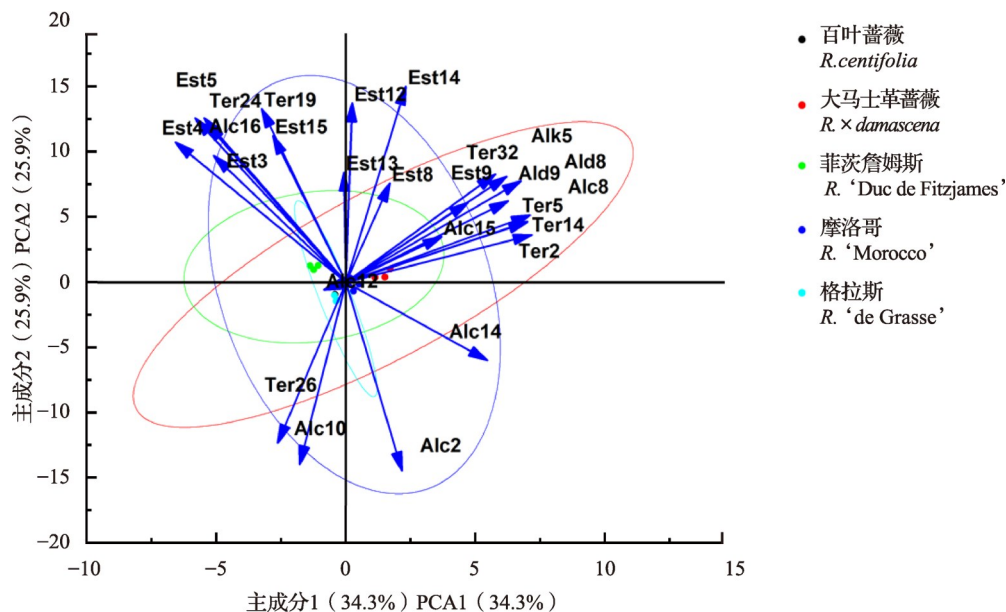


图5 5种蔷薇主要挥发性有机物的主成分分析

Fig. 5 Principle components analysis of major volatile organic compounds in five roses

3 讨论

花香是观赏植物最重要的观赏性状之一,花香挥发性有机物种类繁多,目前,已从90个科的植物中鉴定出超过1700种花香挥发物^[26]。蔷薇属植物种类丰富,花香类型较多,目前,已鉴定出的花香物质有400多种,主要由萜类、苯基/苯丙素类、脂肪族

三大类组成^[26-28]。花瓣中植物挥发性成分的鉴定与评价是芳香植物资源开发利用和品种创制的基础。蔷薇属植物中花瓣是提取精油的主要材料,花瓣中花香挥发性有机物的含量和占比,对精油产量和品质产生重要的影响。花瓣中花香挥发性有机物的含量和占比,受众多因素的影响,如品种、栽培环境等。本研究以百叶蔷薇、菲茨詹姆斯、摩洛哥、格拉

斯及大马士革蔷薇为研究对象,采用顶空固相微萃取结合气相色谱质谱技术,对盛花期花瓣挥发性有机物进行分析,5种蔷薇共检测出91种挥发性有机物,根据官能团可以分为萜烯类、醇类、酯类、醛类、烷类、酚类、酮类、醚类和酸类9个类型(图2),对9类挥发性有机物进行比较分析,发现萜烯类、醇类、酯类和醛类占5种蔷薇花香挥发性有机物总含量的95%。百叶蔷薇作为本研究材料中的野生资源,其萜烯类物质含量百分比最低,菲茨詹姆斯、摩洛哥和格拉斯,三者萜烯类挥发性有机物含量较高(表2)。基于萜烯类挥发性有机物种类繁多,不同育种年限的资源花瓣中萜烯类挥发性有机物含量差异比较大,推测蔷薇属植物花瓣中萜烯类挥发性有机物在栽培驯化过程中,受到人工选择的作用比较大。

中国植物志记载的可用于精油提取的蔷薇属植物有桂味组的玫瑰(*R. rugosa* Thunb.)、光叶山刺玫(变种)(*R. davurica* Pall. var. *glabra* Liou)、美蔷薇(原变种)(*R. bella* Rehd. et Wils. var. *bella*),合柱组的粉团蔷薇(*R. multiflora* Thunb. var. *cathayensis* Rehd. Et Wils.)、悬钩子蔷薇(原变型)(*R. rubus* f. *rubus*),芹叶组黄刺玫(原变型)(*R. xanthina* f. *xanthina*),木香组的木香花(*R. banksiae* var. *banksiae*),月季组的大花香水月季(*R. odorata* Sweet var. *Gigantea* (Crep.))等资源。尽管我国蔷薇属植物资源丰富,但目前开发利用较少^[29],尤其是芳香植物品种的培育和开发利用相对滞后。

基于本研究选用的5种蔷薇属植物花瓣挥发性有机物的比较分析,解析不同类型玫瑰花香差异的原因,为进一步解析油用玫瑰精油含量和品质差异的分子机理奠定理论基础。本研究的结果可以为我国蔷薇属植物的精油育种和开发利用提供参考。

参考文献

- [1] 王辉. 我国蔷薇属芳香资源及其开发利用现状. 香料香精化妆品, 2018(6): 63-67
Wang H. The Aromatic resources of genus *Rosa* and their development and utilization in China. Flavour Fragrance Cosmetics, 2018(6): 63-67
- [2] 俞德浚. 中国植物志: 第37卷. 北京: 科学出版社, 1985: 361
Yu D J. Flora of China. Beijing: Science Press, 1985: 361
- [3] 张佐双, 朱秀珍. 中国月季. 北京: 中国林业出版社, 2005: 1
Zhang Z S, Zhu X Z. Rose of China. Beijing: China Forestry Publishing House. 2005: 1
- [4] 王辉, 姚雷. 油用玫瑰国内外发展现状和研究进展. 香料香精化妆品, 2012(2): 47-51
Wang H, Yao L. Domestic-overseas current situation and research progress of oil-bearing rose. Flavour France Cosmetics, 2012(2): 47-51
- [5] 刘玉春. 油用玫瑰的开发利用. 化工时刊, 1991(6): 20-24
Liu Y C. Application of oil-bearing roses. Chemical Industry Times, 1991(6): 20-24
- [6] 李春丽, 赵娅敏, 杨军丽. 玫瑰花提取工艺、化学成分及其生物活性研究进展. 分析测试技术与仪器, 2020, 26(4): 249-257
Li C L, Zhao Y M, Yang Y J. Progress in extraction technology and chemical composition and biological activity of rose. Analysis and Testing Technology and Instruments, 2020, 26(4): 249-257
- [7] Kovacheva N, Rusanov K, Atanassov I. Industrial cultivation of oil bearing rose and rose oil production in Bulgaria during 21 super(st) century. Directions and Challenges Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2010, 24(2): 1793-1798
- [8] Baydar H. Oil-bearing rose (*Rosa damascena* Mill.) cultivation and rose oil industry in Turkey. Euro. Cosmetics, 2006, 14(6): 13-17
- [9] 宋佳, 孟庆华, 潘仙华. 玫瑰精油化学成分与香型特征的相关性研究. 香料香精化妆品, 2018(1): 5-12
Song J, Meng Q H, Pan X H. Study on the correlation between the chemical components and the odor type of rose essential oil. Flavour France Cosmetics, 2018(1): 5-12
- [10] 徐易. 玫瑰油国际标准(ISO9842:2003). 香料香精化妆品, 2003(6): 36-37
Xu Y. International standard for rose essential oil (ISO9842: 2003). Flavour France Cosmetics, 2003(6): 36-37
- [11] 程劼, 谢建春, 孙宝国. 国产玫瑰精油的化学成分及香气特征. 中国食品添加剂, 2007(5): 66-70
Cheng J, Xie J G, Sun B G. Composition and aromatic characteristics of rose essential oil produced in China. China Food Additives, 2007(5): 66-70
- [12] 王珍珍, 王其刚, 唐开学, 张灏, 杨锦红, 邱显钦, 蹇洪英, 杜光辉, 晏慧君. 云南主栽食用玫瑰花香成分及关键花香基因表达分析. 植物生理学报, 2019, 55(7): 1038-1046
Wang Z Z, Wang Q G, Tang K X, Zhang H, Yang J H, Qiu X Q, Jian H Y, Du G H, Yan H J. Analysis of volatile components and scent-related gene expressions of edible roses in Yunnan. Plant Physiology Journal, 2019, 55(7): 1038-1046
- [13] 冯立国, 生利霞, 赵兰勇, 于晓艳, 邵大伟, 何小弟. 玫瑰花发育过程中芳香成分及含量的变化. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4341-4351
Feng L, Sheng L X, Zhao L Y, Yu Y C, Shao D W, He X D. Changes of the aroma constituents and contents in the course of *Rosa rugosa* Thunb. flower development. Scientia Agricultural Sinica. 2008, 41(12): 4341-4351
- [14] Zhou L J, Yu C, Cheng B X, Han Y, Luo L, Pan H T, Zhang Q X. Studies on the volatile compounds in flower extracts of *Rosa odorata* and *R. chinensis*. Industrial Crops and Products, 2020, 146: 112143

- [15] Cheng X, Feng Y, Chen D L, Luo C, Yu X F, Huang C L. Evaluation of *Rosa* germplasm resources and analysis of floral fragrance components in *R. rugosa*. *Frontiers in Plant Science*. 2022, 13: 1026763
- [16] 强文彦, 孟庆然, 张志国, 高文杰. 萱草不同品种花瓣挥发性物质的HS-SPME-GC-MS分析. *园艺学报*, 2023, 50(1): 1-15
- Qiang W Y, Meng Q R, Zhang Z G, Gao W J. Analysis of petal volatile components among different hemerocallis cultivars based on HS-SPME-GC-MS. *Acta Horticulture Sinica*. 2022, 50(1): 1-15
- [17] 回瑞华, 侯冬岩, 李铁纯, 刁全平, 肖海燕. 紫丁香花与花蕾挥发性化学成分的HS-SPME-GC-MS分析. *鞍山师范学院学报*, 2020, 22(6): 26-28
- Hui R H, Hou D Y, Li T C, Diao Q P, Xiao H Y. Analysis of volatile chemical constituents in flowers and flower buds of *Lilacs* by HS-SPME-GC-MS. *Journal of Anshan Normal University*. 2020, 22(6): 26-28
- [18] 肖文芳, 李佐, 陈和明, 吕复兵. 基于HS-SPME-GC-MS的4种不同蝴蝶兰种质资源花朵挥发性成分比较分析. *中国农业大学学报*, 2021, 26(3): 38-52
- Xiao W F, Li Z, Chen H M, Lv F B. Analysis of volatile components in flowers of four different *Phalaenopsis* germplasm resources by headspace solid phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(3): 38-52
- [19] 陈国通, 芦云, 马萍萍, 范蕊, 杨中, 曹续. 基于HS-SPME-GC-MS的薰衣草不同部位挥发性成分分析. *食品与机械*, 2022(7): 37-42
- Chen G T, Lu Y, Ma P P, Fan R, Yang Z, Cao X. Analysis of volatile components in different parts of lavender based on HS-SPME-GC-MS. *Food and Machinery*, 2022(7): 37-42
- [20] 徐萌, 张经纬, 吴令上, 刘京晶, 斯金平, 张新风. HS-SPME-GC-MS联用测定蜡梅属植物花的挥发性成分. *林业科学*, 2016, 52(12): 58-65
- Xu M, Zhang J W, Wu L S, Liu J J, Si J P, Zhang X F. Determination of volatile components from *Chimonanthus* flowers by HS-SPME-GC-MS. *Scientia Silvae Sinicae*, 2016, 52(12): 58-65
- [21] 林榕燕, 钟淮钦, 黄敏玲, 罗远华, 林兵. 小苍兰品种花香成分分析. *福建农业学报*, 2016(11): 1216-1220
- Lin R Y, Zhong H Q, Huang M L, Luo Y H, Lin B. Aromatic in flowers of *Fressia hybrida*. *Fujian Journal of Agricultural Science*, 2016(11): 1216-1220
- [22] 李响. 基于转录组测序挖掘蜡梅挥发类萜代谢途径关键基因及功能分析. 武汉: 华中农业大学, 2020
- Li Xiang. Identification of genes related to volatile terpenoids biosynthesis in *Chimonanthus Praecox* based on RNA-seq technology. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020
- [23] 钱晓慧, 陈龙清, 李彪, 施蕊. 云南地区不同基因型蜡梅花香气成分分析. *西南农业学报*, 2021, 34(4): 834-841
- Qian X H, Chen L Q, Li B, Shi R. Analysis of aromatic components from different genotypes of *Chimonanthus praecox* in Yunnan province. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 34(4): 834-841
- [24] 郑冉冉, 吴景芝, 谷志佳, 袁文斌, 吴红芝. 玫瑰香味玫红百合和橙香味紫红花滇百合的花香成分研究. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2021, 47(1): 32-42
- Zheng R R, Wu J Z, Gu Z J, Yuan W B, Wu H Z. Study on the floral scent components of *Lilium amoenum* with rose fragrance and *Lilium bakerianum* var. *Rubrum* with orange fragrance. *Journal of Zhejiang University: Agricultural & Life Science*, 2021, 47(1): 32-42
- [25] 施婷婷, 杨秀莲, 王良桂. 3个桂花品种花香组分动态特征及花被片结构解剖学观测. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2020, 44(4): 12-20
- Shi T T, Yang X L, Wang L G. Dynamic characteristics of components and anatomical observation of petals in three cultivars of *Osmanthus fragrans*. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2020, 44(4): 12-20
- [26] Knudsen J T, Eriksson R, Gershenzon J, Stahl B. Diversity and distribution of floral scent. *The Botanical Review*, 2006, 72(1): 1-120
- [27] Pichersky E, Noel J P, Dudareva N. Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. *Science*, 2006, 311(5762): 808-811
- [28] Baudino S, Sun P L, Caissard J C, Nairaud B, Moja S, Magnard J L, Bony A, Jullien F, Schuurink R C, Vergne P, Dubois A, Raymond O, Bendahmane L, Oyant H, Jeuffre J, Cloutault J, Thouroude T, Foucher F, Blerot B. Rose floral scent. *Acta Horticulturae*, 2019, 1232: 69-80
- [29] 赵鑫, 贾瑞冬, 朱俊, 杨树华, 葛红. 我国重要花卉野生资源保护利用成就与展望. *植物遗传资源学报*, 2020, 21(6): 1494-1502
- Zhao X, Jia R D, Zhu J, Yang S H, Ge H. The achievements of conservation and utilization for wild important flower resources in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(6): 1494-1502