

彭天花,游惠婉,孙淑婉,等.11种香叶植物挥发物比较及玫瑰精油香气模拟研究[J].华中农业大学学报,2025,44(1):74-84.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.01.008

## 11种香叶植物挥发物比较及玫瑰精油香气模拟研究

彭天花,游惠婉,孙淑婉,李亚军,饶羽菲,宁国贵

华中农业大学园艺林学学院/果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室/  
华中农业大学花卉研究所,武汉 430070

**摘要** 为探究通过香叶植物混合模拟获得玫瑰精油香气的可能性,采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用法,选取蔷薇科、禾本科、唇形科、山茶科和芸香科等9个科11种香叶植物,对其叶片的挥发性成分进行定性与定量分析。结果显示:11种植物材料中共有主要挥发性物质78种,其中萜烯类39种,脂肪酸衍生物类23种,苯环/苯丙素类化合物16种;利用Matlab软件分析,以玫瑰精油香气为模拟对象,确定香叶植物混合质量比例,迷迭香、鄂茶10号、柠檬桉和香叶天竺葵以质量比31:7:11:1进行混合。结果表明:萜烯类化合物是香叶植物的主要挥发物类型,其次是脂肪酸衍生物类和苯环/苯丙素类化合物;混合模拟叶片组最终模拟获得与玫瑰精油香气相似的混合香气,主要成分为香茅醇、香叶醇、芳樟醇和石竹烯。

**关键词** 香叶植物;玫瑰精油;挥发性物质;HS-SPME-GC-MS;Matlab;香气模拟

**中图分类号** TQ654 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)01-0074-11

全球生物资源丰富,芳香植物种类高达3 000种<sup>[1]</sup>。芳香植物兼具文化内涵和历史传承,在医疗保健、康养旅游、化妆美容等领域具有巨大发展潜力<sup>[2]</sup>。据《诗经》《楚辞》《山海经》等历史典籍的文字记载,数千年前,人们已开始利用芳香植物<sup>[3]</sup>。追溯至公元前4 500年左右,古埃及亦有关于芳香植物应用情况的相关记载<sup>[4]</sup>。

在芳香植物的根、茎、叶、花和果实等部位中均含有芳香成分,这些成分提炼出的芳香油是香料工业和食品工业的重要原料。潘晓岚<sup>[5]</sup>利用小鼠及人体嗅闻实验,表明精油香气能提高小鼠免疫力,平缓人体血压,有效缓解焦虑情绪。中医芳香疗法是云南等芳香植物资源丰富地区康养旅游与芳香产业融合发展的核心纽带<sup>[2]</sup>。赋香是植物精油最具特色的功能,除此之外,许多植物精油被广泛应用于膏霜类、油蜡类、乳化体系类和液体洗涤剂类等系列化妆品中<sup>[6]</sup>。芳香植物是经济植物的重要组成部分,统计数据显示,2018年中国芳香保健产业仅植物精油市场规模高达57.11亿元,且其规模仍呈现扩大趋势<sup>[7]</sup>。

玫瑰精油被誉为精油界的女王,有“精油皇后”

“液体黄金”等美誉<sup>[8]</sup>,玫瑰精油香气丰腴饱满、持久留香,受到广大消费者的喜爱。然而,玫瑰精油价格昂贵且提取率低,500 kg鲜玫瑰花仅能提炼芳香油0.2~0.5 kg。国际市场上,1 kg玫瑰精油价格大约4 000美元左右<sup>[9]</sup>。目前,全球范围内最受欢迎的玫瑰精油香型是纯甜型,来自于大马士革玫瑰花瓣<sup>[10]</sup>。玫瑰精油中所含的挥发物成分复杂多样,翁良娜等<sup>[8]</sup>从大马士革玫瑰精油中共检测出85种香气物质,其中主要挥发物类型为萜烯类化合物,包含香茅醇、香叶醇和芳樟醇等。不同种类挥发性物质对大马士革玫瑰精油香气影响不同<sup>[11]</sup>,如香茅醇带有新鲜玫瑰的特殊香气<sup>[12]</sup>,香叶醇具有甜润且温和的玫瑰花气息<sup>[13]</sup>,芳樟醇则呈现出类似柑橘与铃兰的香气特征<sup>[12]</sup>。

我国芳香植物种类超过1 000种,然而,目前仅有150种得到了开发利用<sup>[14]</sup>。前期研究结果表明,被子植物和裸子植物的90个不同科中存在1 700多种挥发物<sup>[15]</sup>。香叶植物的开发与利用具有巨大潜力。目前,关于香气模拟的相关研究在菊花精油、凌仕契合香精<sup>[16]</sup>、烤牛肉香气<sup>[17]</sup>和肉味香精<sup>[18]</sup>中已有报道,然而,现有研究思路多由目的香型出发,采用现有化学物质混合模拟,而利用芳香植物混合配比

收稿日期:2024-05-14

基金项目:湖北省大学生创新创业训练计划项目(S202210504096)

彭天花,E-mail:2935322403@qq.com

通信作者:宁国贵,E-mail:ggning@mail.hzau.edu.cn

构成目标香型的相关研究较少。

本研究利用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用仪技术(head-space solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)对蔷薇科、唇形科、禾本科等9个科中11种香叶植物叶片和花瓣的挥发性物质进行定性定量分析,以玫瑰精油香气为模拟对象,基于Matlab软件分析获得不同香叶植物叶片混合质量配比,以期为香叶植物的开发利用以及从香叶植物中提取获得玫瑰精油香气提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料

本研究使用的植物材料:禾本科植物柠檬草(*Cymbopogon citratus*),山茶科植物鄂茶10号(*Cammellia sinensis*),唇形科植物迷迭香(*Rosmarinus officinalis*)、丁香罗勒(*Ocimum gratissimum*)和香蜂花(*Melissa officinalis*),蔷薇科植物玫瑰‘保白’(*Rosa rugosa* cv. ‘Bao Bai’)、玫瑰‘紫枝’(*Rosa rugosa* cv. ‘Zi Zhi’),芸香科植物九里香(*Murraya exotica*),豆科植物金合欢(*Vachellia farnesiana*),桃金娘科植物柠檬桉(*Eucalyptus citriodora*),菖蒲科植物石菖蒲(*Acorus calamus*),牻牛儿苗科植物香叶天竺葵(*Pelargonium graveolens*)。玫瑰‘紫枝’使用新鲜花瓣进行HS-SPME-GC-MS分析,其他植物均使用新鲜叶片进行HS-SPME-GC-MS分析。

九里香、金合欢、柠檬桉、香蜂花、丁香罗勒和香叶天竺葵种植于华中农业大学果蔬园艺作物种质创新与利用全国重点实验室生长室,柠檬草、石菖蒲、迷迭香、玫瑰‘保白’和玫瑰‘紫枝’种植于华中农业大学花卉基地,鄂茶10号种植于华中农业大学茶学基地。

### 1.2 试验方法

1)芳香挥发物萃取。称取0.50 g待测香叶植物叶片或玫瑰花瓣,剪碎后放置于萃取瓶中,移液枪加入1  $\mu$ L内标试剂(壬酸甲酯:正己烷=1:5 000)后立即密封。利用顶空固相微萃取法,将萃取瓶在50  $^{\circ}$ C水浴锅中平衡15 min后萃取30 min。取出萃取头保存于-80  $^{\circ}$ C冰箱直至上机检测。每种植物材料设置3次生物学重复。混合模拟叶片组将4种香叶植物叶片剪碎混合,后续步骤同上。

2)挥发物成分分析。试验所用Thermo DSQ II单四极杆气相色谱-质谱联用仪购置于美国Thermo

FisherScientific公司,DB-5MS色谱柱(30 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu$ m)购于Agilent公司,SPME纤维组件购置于美国Sigma-Aldrich公司。GC检测条件:离子源温度230  $^{\circ}$ C,进样口温度230  $^{\circ}$ C,传输线温度260  $^{\circ}$ C,载气为氦气(纯度99.999%),不分流进样,流速1 mL/min,GC程序升温程序参照文献[19-30]设定。MS检测条件:EI离子源,电子能量70 eV,离子源温度230  $^{\circ}$ C,质量扫描范围为10~500  $m/z$  [25]。

### 1.3 数据处理

1)定性分析。利用保留指数(retention index, RI,公式里记作 $I_x$ )对物质进行定性分析,计算公式如式(1)所示:

$$I_x = 100 \times Z + 100 \times \frac{T_x - T_z}{T_{z+1} - T_z} \quad (1)$$

$I_x$ :化合物X的保留指数, $T_x$ :化合物X的出峰时间, $T_z$ :碳数为Z的正构烷烃的保留时间, $T_{z+1}$ :碳数为(Z+1)的正构烷烃的保留时间。

2)定量分析。采用峰面积相对定量法对不同物质进行定量,物质峰面积占总面积百分比即为该挥发性物质相对含量,每个样品3次生物学重复。

3)Matlab(matrix laboratory)分析。基于11种香叶植物HS-SPME-GC-MS分析结果,11种香叶植物中有9种含有目标挥发性物质,组成矩阵 $A_{9 \times 9}$ ,由于A矩阵不可逆,将其伪逆矩阵定义为矩阵D。以王维恩等[30]分析的大马士革玫瑰精油特征香气成分为基准,参照Xiao等[31]的研究结果将目标挥发物比例组成矩阵 $B_{1 \times 9}$ ,所求9种香叶植物配比组成矩阵 $C_{1 \times 9}$ ,满足数学关系式 $C \times D = B$ ,求解不同香叶植物叶片混合质量比例矩阵C。

## 2 结果与分析

### 2.1 玫瑰‘紫枝’花瓣香气分析

由表1可知,脂肪酸衍生物和苯环/苯丙素类化合物是玫瑰‘紫枝’花瓣的主要挥发物类型,相对含量分别为53%和41%,萜烯类仅占6%。其中,玫瑰‘紫枝’花瓣的前5种主要挥发性物质为3-戊酮、苯乙醇、香茅醇、丁香酚和苯甲醇,这些化合物在总挥发性物质中的含量比例依次为46.72%、33.96%、4.95%、1.65%和0.53%。

### 2.2 多种香叶植物叶片香气分析

由图1可知,以萜烯类化合物为主要挥发物的香叶植物有禾本科植物柠檬草、唇形科植物迷迭香、芸香科植物九里香、桃金娘科植物柠檬桉和牻牛儿苗

表1 玫瑰‘紫枝’花瓣主要挥发性物质

Table 1 The main volatiles in the leaves of *Rosa rugosa* cv. ‘Zi Zhi’

编号 No.	保留时间/min Retention time	分子式 Molecular formula	挥发物名称 Volatile composition name	相对含量/% Relative content	挥发物所属类别 Category of volatile composition
1	3.55	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	3-戊酮 3-Pentanone	46.72	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
2	34.11	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	苯乙醇 Phenethyl alcohol	33.96	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
3	42.37	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	香茅醇 Citronellol	4.95	萜烯类 Terpenes
4	50.94	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	丁香酚 Eugenol	1.65	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
5	27.84	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	苯甲醇 Benzyl alcohol	0.53	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
6	50.64	C <sub>13</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	丙酸香茅酯 Citronellyl propionate	0.26	萜烯类 Terpenes
7	21.70	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	苯甲醛 Benzaldehyde	0.08	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
8	32.85	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	紫苏烯 Perillene	0.07	萜烯类 Terpenes
9	28.34	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	2-苯基乙醛 Phenylacetaldehyde	0.05	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
10	33.60	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	(2S-顺)-四氢化-4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-2H-吡喃 Laevo-rose oxide	0.04	萜烯类 Terpenes

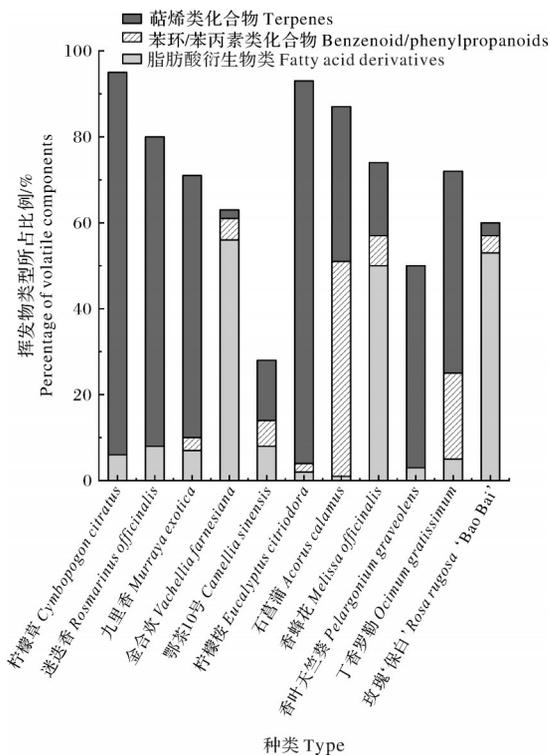


图1 11种香叶植物叶片主要挥发物类型

Fig. 1 The main types of volatile compounds in the leaves of 11 fragrant leaf plants

科植物香叶天竺葵;以脂肪酸衍生物为主的香叶植物有豆科植物金合欢、唇形科植物香蜂花和蔷薇科植物玫瑰‘保白’叶片;唇形科植物丁香罗勒和石菖蒲科植物石菖蒲则以萜烯类化合物和苯环/苯丙素类化合物为主;山茶科植物鄂茶10号中3种挥发物类型分布较为平均。

11种香叶植物中共有78种主要挥发性物质,其中萜烯类化合物39种、脂肪酸衍生物23种、苯环/苯丙素类化合物16种。禾本科植物香茅草和柠檬草、山茶科植物鄂茶10号、蔷薇科植物玫瑰‘保白’叶片和唇形科植物迷迭香和丁香罗勒中共检测到萜烯类化合物26种,禾本科叶片所含挥发物种类最多(11种),其次是山茶科(5种)、蔷薇科(4种),唇形科中仅检测到1种;共检测到脂肪酸衍生物23种,蔷薇科种类最多(13种),其次是山茶科(8种)、禾本科(6种),唇形科种类最少(2种);苯环/苯丙素类化合物共检测到12种,唇形科种类最多(13种),其次是山茶科(5种)、蔷薇科(5种),禾本科种类最少(2种)。

由表2可知,柠檬草叶片的主要挥发性物质为香叶醇和柠檬醛,相对含量分别为46.86%和20.21%;2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯在金合欢叶片

主要挥发物中相对含量为26.58%;醇类、醛类和酯类物质等脂肪酸衍生物是鄂茶10号香气的重要组成部分,如2-己烯醛和2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯;香茅醛为柠檬桉的主要挥发物,其相对含量达59.18%,香茅醇含量排在第二位为17.55%;细辛醚

(也称细辛脑)是石菖蒲中的药效活性物质,在石菖蒲叶片挥发物中相对含量为21.67%,甲基异丁香油酚在石菖蒲叶片的主要挥发物中相对含量也超过20%。石竹烯和蒎烯在多种香叶植物叶片中含量均较高。

表2 11种香叶植物叶片主要挥发物

Table 2 The main volatiles in the leaves of 11 fragrant leaf plants

植物材料 Plant material	编号 No.	保留时间/min Retention time	分子式 Molecular formula	挥发物名称 Volatile composition name	相对含量/% Relative content	挥发物所属类别 Category of volatile composition
柠檬草 <i>Cymbopogon citratus</i>	1	14.34	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	香叶醇 Geraniol	46.86	萜烯类 Terpenes
	2	14.69	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	柠檬醛 Citral	20.21	萜烯类 Terpenes
	3	8.12	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	蒎烯 Pinene	13.70	萜烯类 Terpenes
	4	18.00	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	乙酸香叶酯 Geranyl acetate	5.77	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	5	11.02	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	芳樟醇 Linalool	2.83	萜烯类 Terpenes
	6	17.35	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	香叶酸 Geranic acid	2.14	萜烯类 Terpenes
	7	5.42	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	叶醇 <i>cis</i> -3-Hexen-1-ol	0.64	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
迷迭香 <i>Rosmarinus officinalis</i>	1	8.04	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	蒎烯 Pinene	18.21	萜烯类 Terpenes
	2	11.58	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	桉叶油醇 Eucalyptol	15.64	萜烯类 Terpenes
	3	23.05	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	石竹烯 Caryophyllene	9.17	萜烯类 Terpenes
	4	19.42	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	8.22	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	5	17.19	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	马鞭烯酮 Verbenone	7.83	萜烯类 Terpenes
	6	16.11	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	2-茨醇 Borneol	4.23	萜烯类 Terpenes
	7	18.47	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	香叶醇 Geraniol	4.09	萜烯类 Terpenes
	8	15.32	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	左旋樟脑 Camphor	3.41	萜烯类 Terpenes
	9	13.88	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	芳樟醇 Linalool	3.34	萜烯类 Terpenes
九里香 <i>Murraya exotica</i>	1	14.65	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	石竹烯 Caryophyllene	23.11	萜烯类 Terpenes
	2	16.64	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	姜油烯 Zingiberene	16.34	萜烯类 Terpenes
	3	16.27	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub>	诺卡酮 Nootkatone	12.94	萜烯类 Terpenes
	4	2.86	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	Methyl-7-oxabicyclo[4.2.1]nona-2,4-dien-8-one	7.38	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	5	12.50	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	榄香烯 Elemene	5.74	萜烯类 Terpenes
	6	4.61	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	3-乙基甲苯 3-Ethyltoluene	3.01	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
金合欢 <i>Vachellia farnesiana</i>	1	41.92	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>4</sub>	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiol diisobutyrate	26.58	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	2	3.74	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	反-2-己烯醛 <i>trans</i> -2-Hexenal	19.46	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	3	66.85	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub>	环丙基苯甲烷 Cyclopropylphenylmethane	3.53	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
	4	13.15	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	正壬醛 Nonanal	3.12	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives

续表 2 Continued Table 2

植物材料 Plant material	编号 No.	保留时间/min Retention time	分子式 Molecular formula	挥发物名称 Volatile composition name	相对含量/% Relative content	挥发物所属类别 Category of volatile composition
金合欢 <i>Vachellia farnesiana</i>	5	2.88	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	正己醛 Hexanal	2.36	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	6	36.94	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol	1.90	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
	1	20.16	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	芳樟醇 Linalool	7.57	萜烯类 Terpenes
	2	25.81	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	5.07	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
	3	5.91	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	2-己烯醛 <i>trans</i> -2-Hexenal	3.82	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
鄂茶 10 号 <i>Camellia sinensis</i>	4	30.21	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub>	香叶醇 Geraniol	2.99	萜烯类 Terpenes
	5	17.74	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	顺-Alpha, Alpha-5-三甲基-5-乙炔 基四氢呋喃-2-甲醇 (Z)-linalool oxide (furanoid)	2.48	萜烯类 Terpenes
	6	51.12	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>4</sub>	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁 酸酯 2,2,4-Trimethyl-1,3-pen- tanediol diisobutyrate	2.23	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	7	13.66	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	乙酸叶醇酯 <i>cis</i> -3-Hexenyl acetate	0.84	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	8	4.22	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	正己醛 Hexanal	0.76	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	9	49.60	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	橙花叔醇 Nerolidol	0.46	萜烯类 Terpenes
	10	20.47	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	苯乙醇 Phenethyl alcohol	0.44	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
	1	11.46	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	香茅醛 Citronellal	59.18	萜烯类 Terpenes
	2	13.98	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	香茅醇 Citronellol	17.55	萜烯类 Terpenes
	3	14.26	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	柠檬醛 Citral	3.29	萜烯类 Terpenes
柠檬桉 <i>Eucalyptus citriodora</i>	4	19.23	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	异丁香烯 Isocaryophyllene	3.28	萜烯类 Terpenes
	5	4.87	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	蒎烯 Pinene	2.02	萜烯类 Terpenes
	6	20.04	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> /C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	石竹烯/乙酸芳樟酯 Caryophyllene/linalyl acetate	1.70	萜烯类/脂肪酸衍生物 Terpenes/fatty acid deriva- tives
	7	17.70	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	丁香酚 Eugenol	1.64	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
	8	21.05	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	双环大牻牛儿烯 Bicyclogermacrene	1.27	萜烯类 Terpenes
	9	14.67	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	香叶醇 Geraniol	1.16	萜烯类 Terpenes
	1	9.78	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	甲基异丁香油酚 Isoeugenyl methyl ether	22.69	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
石菖蒲 <i>Acorus calamus</i>	2	12.31	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	细辛脑 Asarone	21.67	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
	3	13.23	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	石竹素 Caryophyllene oxide	9.43	萜烯类 Terpenes
	4	9.20	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	石竹烯 Caryophyllene	7.96	萜烯类 Terpenes
	5	8.56	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub> / C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	甲基丁香酚/榄香烯 Methyleugenol / elemene	5.29	苯环/苯丙素类/萜烯类 Benzenoid/phenylpropanoid/ terpenes
	6	4.52	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	桉叶油醇 Eucalyptol	4.98	萜烯类 Terpenes

续表 2 Continued Table 2

植物材料 Plant material	编号 No.	保留时间/min Retention time	分子式 Molecular formula	挥发物名称 Volatile composition name	相对含量/% Relative content	挥发物所属类别 Category of volatile composition
香蜂花 <i>Melissa officinalis</i>	1	12.47	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	3-甲基-2-(3-甲基-2-丁烯基)呋喃 3-Methyl-2-(3-methylbut-2-enyl)fu- ran	31.54	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	2	24.17	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	石竹烯 Caryophyllene	9.33	萜烯类 Terpenes
	3	8.50	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	蘑菇醇 Oct-1-en-3-ol	9.01	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	4	9.15	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	乙酸叶醇酯 <i>cis</i> -3-Hexenyl acetate	6.60	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	5	15.62	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	4-异丙基苯甲醛 4-Isopropylbenzaldehyde	5.40	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
	6	21.91	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	榄香烯 Elemene	2.28	萜烯类 Terpenes
	7	4.84	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	叶醇 <i>cis</i> -3-Hexen-1-ol	1.44	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
香叶天竺葵 <i>Pelargonium graveolens</i>	1	21.33	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	香茅醇 Citronellol	20.57	萜烯类 Terpenes
	2	23.62	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	甲酸香茅酯 Citronellyl formate	8.01	萜烯类 Terpenes
	3	17.61	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	5-甲基-2-(1-甲基)环己酮 Menthone	5.10	萜烯类 Terpenes
	4	15.34	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	反式玫瑰醚 <i>trans</i> -Rose oxide	3.47	萜烯类 Terpenes
	5	33.70	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	杜松烯 Cadinene	3.02	萜烯类 Terpenes
	6	23.16	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	香叶醇 Geraniol	2.93	萜烯类 Terpenes
	7	34.08	C <sub>14</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	异丁酸香茅酯 Geranyl isobutyrate	2.52	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	8	29.55	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	石竹烯 Caryophyllene	2.22	萜烯类 Terpenes
丁香罗勒 <i>Ocimum gratissimum</i>	1	5.77	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	丁香酚 Eugenol	19.70	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid
	2	2.78	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	水化香桉烯 Sabinene hydrate	15.25	萜烯类 Terpenes
	3	3.15	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	芳樟醇 Linalool	13.74	萜烯类 Terpenes
	4	7.61	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	杜松烯 Cadinene	11.58	萜烯类 Terpenes
	5	8.38	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>4</sub>	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁 酸酯 2,2,4-Trimethyl-1,3-pen- tanediol diisobutyrate	4.83	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	6	7.17	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	雪松烯 Cedrene	4.00	萜烯类 Terpenes
玫瑰‘保白’ <i>Rosa rugosa ‘Bao Bai’</i>	1	7.67	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	叶醇 <i>cis</i> -3-Hexen-1-ol	20.17	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	2	16.77	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	乙酸叶醇酯 <i>cis</i> -3-Hexenyl acetate	14.57	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	3	54.55	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>4</sub>	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁 酸酯 2,2,4-Trimethyl-1,3-pen- tanediol diisobutyrate	6.59	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	4	8.20	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	3-2-己烯-1-醇 <i>cis</i> -2-Hexen-1-ol	6.14	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	5	68.13	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	棕榈酸 Palmitic acid-13C	4.28	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
	6	29.30	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	2.93	苯环/苯丙素类 Benzenoid/phenylpropanoid

基于植物学分类,对上述香叶植物主要挥发物进行总结分析,结果显示:禾本科植物柠檬草和香蜂

花中均含有挥发物乙酸香叶酯和叶醇,相对含量分别为 5.77%、6.60% 和 0.64%、1.44%;唇形科植物迷

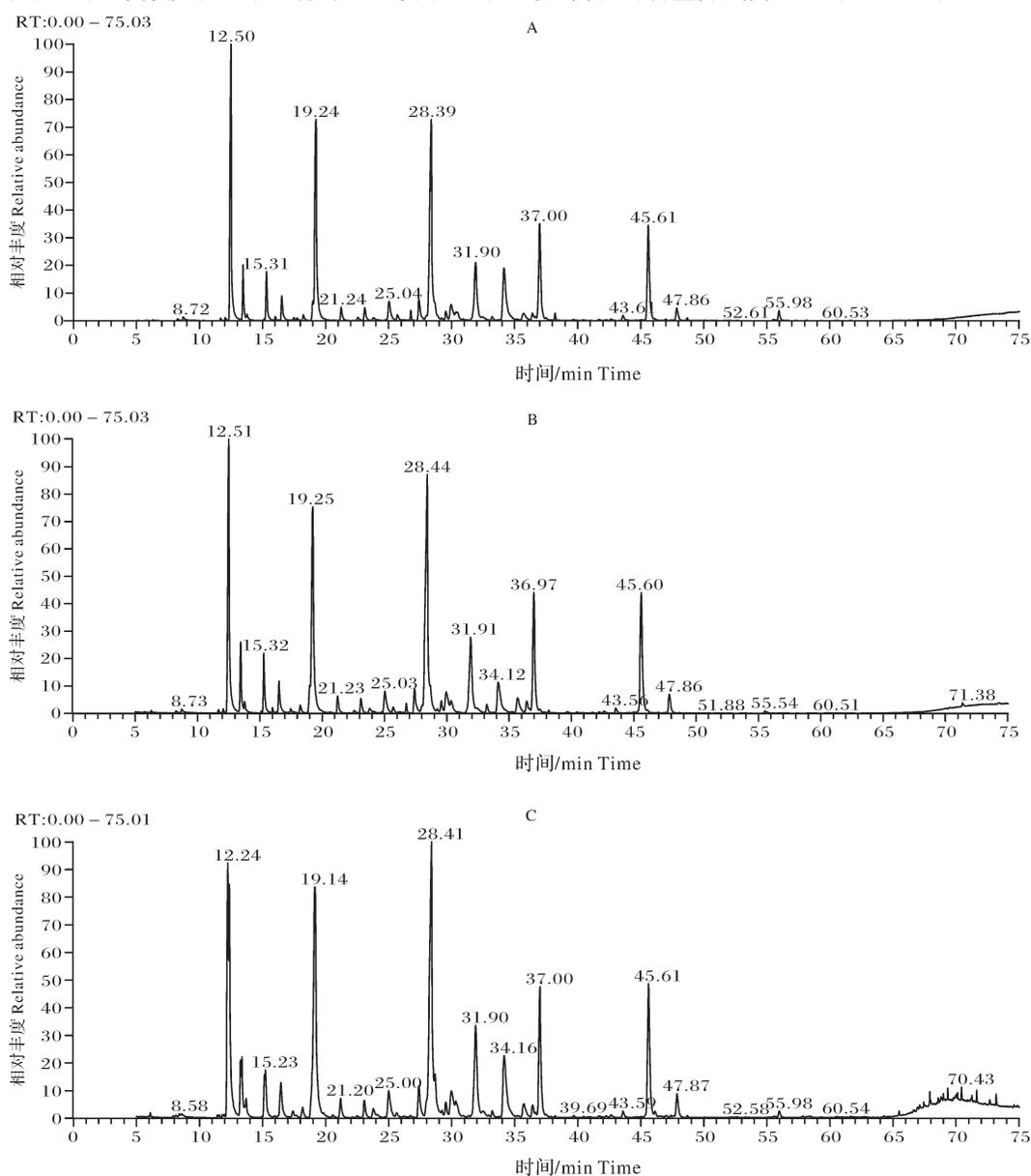
迭香和丁香罗勒中均含有挥发物芳樟醇,相对含量分别为3.34%、13.74%。蔷薇科植物玫瑰‘保白’叶片与禾本科植物香蜂花、柠檬草的主要挥发物中都有叶醇,前者叶醇的相对含量为20.17%,远高于禾本科植物香蜂花和柠檬草。

### 2.3 叶片混合模拟玫瑰精油香气对比分析

基于11种香叶植物HS-SPME-GC-MS定性定量分析结果与Matlab数学分析软件求解得9种香叶植物配比矩阵 $C_{1 \times 9} = [-0.20, 4.36, 0.93, 1.42, -2.46, 0.01, 0.17, -1.49, -2.88]$ ,取迷迭香(4.36)、鄂茶10号(0.93)、柠檬桉(1.42)和香叶天竺葵(0.17)

4种香叶植物为混合材料,明确迷迭香、鄂茶10号、柠檬桉、香叶天竺葵的质量比依次为31:7:11:1。以质量比31:7:11:1将迷迭香、鄂茶10号、柠檬桉和香叶天竺葵4种香叶植物叶片进行混合,如图2所示,混合模拟叶片组3次生物学间具有较好重复性,用于后续进一步分析。

由表3可知,混合叶片组主要挥发物类型为萜烯类物质,相对含量为83.3%,前15种挥发性物质中仅乙酸龙脑酯为脂肪酸衍生物类,相对含量为7.56%;混合叶片组主要挥发性物质为香茅醛、桉叶油醇和 $\alpha$ -蒎烯,相对含量分别为18.63%、15.71%和15.06%。



A—C: 分别代表3个生物学重复 Three biological replicates respectively.

图2 混合模拟结果挥发性物质检测峰图

Fig. 2 Peak plots of volatile substance detection for various mixed leaves

表 3 混合叶片模拟组主要挥发物分析

Table 3 Analysis of the main volatiles in the mixed blade simulation group

编号 No.	保留时间/min Retention time	分子式 Molecular formula	挥发物名称 Volatile composition name	相对含量/% Relative content	挥发物所属类别 Category of volatile composition
1	28.41	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	香茅醛 Citronellal	18.63	萜烯类 Terpenes
2	19.14	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	桉叶油醇 Eucalyptol	15.71	萜烯类 Terpenes
3	12.24	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	α-蒎烯 α-Pinene	15.06	萜烯类 Terpenes
4	45.61	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	反式石竹烯 β-Caryophyllene	8.04	萜烯类 Terpenes
5	37.00	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	乙酸龙脑酯 Bornyl acetate	7.56	脂肪酸衍生物 Fatty acid derivatives
6	34.16	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	马鞭烯酮 Verbenone	6.49	萜烯类 Terpenes
7	31.90	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	香茅醇 Citronellol	4.81	萜烯类 Terpenes
8	13.36	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	苈烯 Camphene	2.91	萜烯类 Terpenes
9	15.23	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	β-蒎烯 β-Pinene	2.63	萜烯类 Terpenes
10	25.00	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	芳樟醇 Linalool	1.83	萜烯类 Terpenes
11	16.45	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	月桂烯 Myrcene	1.70	萜烯类 Terpenes
12	29.96	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	茨醇 Borneol	1.63	萜烯类 Terpenes
13	27.39	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	左旋樟脑 Camphor	1.58	萜烯类 Terpenes
14	47.87	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	α-石竹烯 α-Caryophyllene	1.23	萜烯类 Terpenes
15	35.72	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	香叶醇 Geraniol	1.05	萜烯类 Terpenes

由表 2 可知,迷迭香叶片中有目标挥发性物质芳樟醇、香叶醇和石竹烯,相对含量分别为 3.34%、4.09% 和 9.17%;柠檬桉叶片中有目标挥发性物质香茅醇、柠檬醛、香叶醇和石竹烯,相对含量分别为 17.55%、3.29%、1.16% 和 1.70%;香叶天竺葵叶片中有目标挥发性物质反式玫瑰醚、香茅醇、香叶醇和石竹烯,相对含量分别为 3.47%、20.57%、2.93% 和 2.22%;鄂茶 10 号叶片中有目标挥发性物质苯乙醇和香叶醇,相对含量分别为 0.44% 和 2.99%。香茅醇是大马士革玫瑰精油的主要挥发物之一,柠檬桉和香叶天竺葵的叶片主要挥发物中包含该物质。大马士革玫瑰精油中的主要挥发物还有石竹烯和香叶醇等,迷迭香和柠檬桉叶片主要挥发物中含有目标挥发物石竹烯,4 种混合香叶植物叶片中均含有目标挥发物香叶醇。

玫瑰‘紫枝’和混合模拟叶片组均含有关键挥发物香茅醇,相对含量分别为 4.95% 和 4.81%。但玫瑰‘紫枝’主要挥发物中的 3-戊酮、苯乙醇、丁香酚和苯甲醇等在混合叶片组中并未找到,说明玫瑰精油与玫瑰花瓣挥发物之间存在一定的差异。

以大马士革玫瑰精油特征香气成分<sup>[8,30]</sup>为参照,对比分析混合叶片组中主要挥发物的类型和含量。翁良娜等<sup>[8]</sup>测定的大马士革玫瑰精油中萜烯类挥发物相对含量为 61.07%,脂肪酸衍生物类挥发物相对

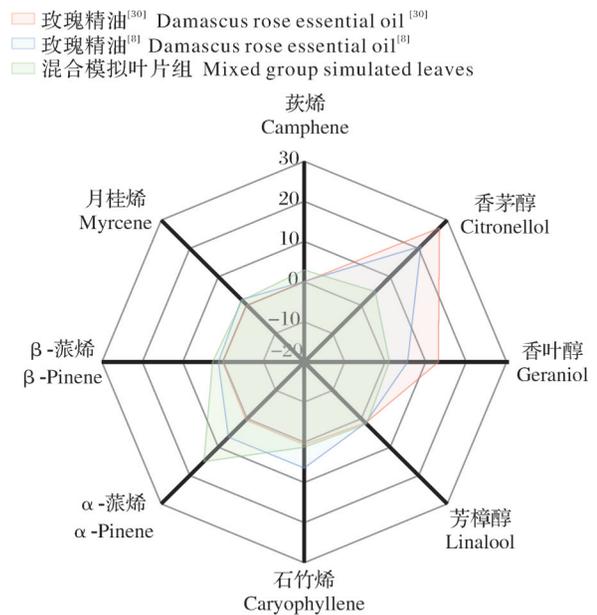


图 3 混合模拟叶片组与大马士革玫瑰精油香气主要挥发物雷达图

Fig. 3 Radar image of the main volatile compounds in the aroma of mixed group simulated leaves and Damascus rose essential oil

含量为 18.19%,苯环/苯丙素类化合物挥发物相对含量为 3.63%,该结果与王维恩等<sup>[30]</sup>检测结果一致,亦与混合叶片模拟组的结果相吻合。混合叶片模拟组含量前 15 种挥发物中,萜烯类挥发物为主要组成部

分,相对含量为83.31%,其次是脂肪酸衍生物,挥发物相对含量为7.56%。如图3可知,混合叶片组中包含大马士革玫瑰精油的主要挥发性物质香茅醇(4.81%)、香叶醇(1.05%)、芳樟醇(1.83%)、石竹烯(1.23%)、 $\alpha$ -蒎烯(15.06%)、月桂烯(1.70%)、 $\beta$ -蒎烯(2.63%)和蒎烯(2.91%)。上述结果表明,混合叶片模拟组在一定程度上实现了玫瑰精油特征香气还原模拟的目标。

### 3 讨论

本研究从挥发物角度出发,研究利用香叶植物叶片模拟还原大马士革玫瑰精油香气的可能性。首先,由玫瑰精油主要挥发物初步确定柠檬草等11种香叶植物叶片作为混合材料;11种香叶植物HS-SPME-GC-MS检测结果表明,柠檬草、迷迭香、鄂茶10号、柠檬桉、石菖蒲、香蜂花、香叶天竺葵、丁香罗勒和玫瑰‘保白’这9种香叶植物叶片中含有目标挥发物,可作为混合植物候选材料;利用Matlab等数据分析软件,明确迷迭香、鄂茶10号、柠檬桉和香叶天竺葵叶片质量混合配比,模拟获得香茅醇、香叶醇、芳樟醇和石竹烯等玫瑰精油特征香气挥发物。

区别于现有香气模拟研究中较多地利用化学物质混合模拟,本研究以香叶植物叶片作为香气物质来源创新性地模拟玫瑰精油香气。与王维恩等<sup>[30]</sup>测定的玫瑰精油主要挥发性物质香茅醇和香叶醇的目标含量(27.25%和13.17%)相比,本研究中混合叶片组已经初步模拟获得香茅醇和香叶醇,但较目标香气含量较低,分别为4.81%和1.05%。另外,混合叶片组中还存在相对含量较高的香茅醛、桉叶油醇、乙酸龙脑酯、马鞭烯酮等挥发性物质,但上述物质并不是玫瑰精油的主要挥发物。此外,香叶植物叶片及玫瑰等芳香植物香气会受到季节和气候的影响,在一定程度上影响了挥发物成分的组成<sup>[32]</sup>。

关于香叶植物混合模拟玫瑰精油香气的相关研究未来需从以下几个方面进行改进与提升:(1)充分考虑挥发性物质间的相互转化与化学反应;(2)完善香叶植物混合物的评估系统;(3)加强香叶植物混合物提取技术研发,优化提取工艺。

### 参考文献 References

[1] AYAZ M, SADIQ A, JUNAID M, et al. Neuroprotective and anti-aging potentials of essential oils from aromatic and medicinal plants[J/OL]. *Frontiers in aging neuroscience*, 2017, 9: 168

[2024-05-14].<https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00168>.

[2] 曹磊, 张大宝, 陈振艺. 云南省康养旅游产业与芳香产业融合发展初探: 从中医芳香疗法谈起[J]. *亚太传统医药*, 2023, 19(2): 11-14. CAO L, ZHANG D B, CHEN Z Y. Preliminary study on the integration of health tourism industry and aromatic industry in Yunnan Province: from Chinese medicine aromatherapy[J]. *Asia-Pacific traditional medicine*, 2023, 19(2): 11-14 (in Chinese with English abstract).

[3] 郝渊鹏, 李静一, 杨瑞, 等. 芳香植物精油的抗菌性及在动物生产中的应用[J]. *植物学报*, 2020, 55(5): 644-657. HAO Y P, LI J Y, YANG R, et al. Antimicrobial activity of aromatic plant essential oils and their application in animal production[J]. *Chinese bulletin of botany*, 2020, 55(5): 644-657 (in Chinese with English abstract).

[4] 何雪雁, 金荷仙, 姜嘉琦. 芳香植物的应用历史及园林应用研究进展[J]. *浙江林业科技*, 2019, 39(4): 87-94. HE X Y, JIN H X, JIANG J Q. Advances on research and application of aromatic plants[J]. *Journal of Zhejiang forestry science and technology*, 2019, 39(4): 87-94 (in Chinese with English abstract).

[5] 潘晓岚. 三种芳香植物精油香气对缓解焦虑作用的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009. PAN X L. Study on the effect of aroma of three aromatic plant essential oils on relieving anxiety[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009 (in Chinese with English abstract).

[6] 马永鹏, 张红霞, 杜芝芝. 云南高原芳香植物精油在化妆品中的应用[J]. *天然产物研究与开发*, 2018, 30(1): 146-154. MA Y P, ZHANG H X, DU Z Z. Application of essential oils from aromatic plants of Yunnan Plateau in cosmetics[J]. *Natural product research and development*, 2018, 30(1): 146-154 (in Chinese with English abstract).

[7] 王有江. 精油企业与市场之间差的不止是“精油与疫情防控”的话题[J]. *中国化妆品*, 2020(4): 102-103. WANG Y J. The difference between essential oil companies and the market is not only the topic of “essential oil and epidemic prevention and control”[J]. *China cosmetics*, 2020(4): 102-103 (in Chinese).

[8] 翁良娜, 吴晓鹏, 张群, 等. 大马士革玫瑰精油 GC-MS 分析条件优化及成分鉴定[J]. *香料香精化妆品*, 2022(4): 1-7. WENG L N, WU X P, ZHANG Q, et al. Optimization of GC-MS analytic conditions for essential oil from *Rosa damascena* and identification of its components[J]. *Flavour fragrance cosmetics*, 2022(4): 1-7 (in Chinese with English abstract).

[9] 冯庆华. 玫瑰精油系列产品的提取及工艺研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2010. FENG Q H. Research on extraction and process of rose essential oil series products[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010 (in Chinese with English abstract).

[10] 张睿, 魏安智, 杨途熙, 等. 3种不同香型玫瑰精油特性的研究[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(10): 1768-1771. ZHANG R, WEI A Z, YANG T X, et al. Studies on three kinds of fragrant type rose essential oil properties[J]. *Acta botanica boreali-occidentalia sinica*, 2003, 23(10): 1768-1771 (in Chinese with

- English abstract).
- [11] LI S S, ZHANG L, SUN M, et al. Biogenesis of flavor-related linalool is diverged and genetically conserved in tree peony (*Paonia × suffruticosa*) [J/OL]. Horticulture research, 2022, 10(2): uhac253 [2024-05-14]. <https://doi.org/10.1093/hr/uhac253>.
- [12] 朱岳麟, 王文广, 熊常健. 玫瑰香精油化学成分分析[J]. 北京工业大学学报, 2009, 35(9): 1253-1257. ZHU Y L, WANG W G, XIONG C J. Comparison on composition of different rose essential oil [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2009, 35(9): 1253-1257 (in Chinese with English abstract).
- [13] 李爱萍, 徐晓韵, 陈峥, 等. 不同加工工艺与收集时段对‘大马士革’玫瑰花水香气成分的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(4): 720-731. LI A P, XU X Y, CHEN Z, et al. Effects of different processing techniques and collecting periods on the aroma constituents of *Rosa damascena* flower water [J]. Scientia agricultura sinica, 2017, 50(4): 720-731 (in Chinese with English abstract).
- [14] 范彬彬. 菊花精油特征香气成分的鉴定及香气模拟研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2016. FAN B B. Identification and aroma simulation of characteristic aroma components of chrysanthemum essential oil [D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2016 (in Chinese with English abstract).
- [15] DUDAREVA N, KLEMPIEN A, MUHLEMANN J K, et al. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds [J]. New phytologist, 2013, 198(1): 16-32.
- [16] 周如隽, 朱建才, 顾永波, 等. 凌仕契合香精的香气分析及模拟研究[J]. 香料香精化妆品, 2012(6): 49-54. ZHOU R J, ZHU J C, GU Y B, et al. Analysis and simulation of volatile components of LYNX CLICK fragrance [J]. Flavour fragrance cosmetics, 2012(6): 49-54 (in Chinese with English abstract).
- [17] 戴水平, 肖作兵, 马双双, 等. 一种烤牛肉的挥发性成分分析及其香气模拟[J]. 香料香精化妆品, 2010(5): 43-47. DAI S P, XIAO Z B, MA S S, et al. Analysis and simulation of volatile components of roasted beef [J]. Flavour fragrance cosmetics, 2010(5): 43-47 (in Chinese with English abstract).
- [18] 钱敏, 白卫东, 赵文红, 等. 半胱氨酸-还原糖模拟美拉德反应制备肉味香精的香气成分分析[J]. 中国食品添加剂, 2015, (6): 66-72. QIAN M, BAI W D, ZHAO W H, et al. Analysis of aroma components of cysteine-reducing sugar simulating Maillard reaction to prepare meat flavor essence [J]. China food additives, 2015, (6): 66-72 (in Chinese with English abstract).
- [19] 施志凡, 尹金芳, 左怡丹, 等. 微池顶空萃取GC-MS法分析香茅草挥发性风味成分[J]. 中国调味品, 2019, 44(11): 79-84. SHI Z F, YIN J F, ZUO Y D, et al. Analysis of volatile flavor components of citronella by microcell headspace extraction and GC-MS [J]. China condiment, 2019, 44(11): 79-84 (in Chinese with English abstract).
- [20] 蒋冬月, 陈雅静, 李永红, 等. 迷迭香释放挥发性有机物的成分和变化规律研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2018, 38(1): 140-150. JIANG D Y, CHEN Y J, LI Y H, et al. Components and variations of volatile organic compounds released from *Rosmarinus officinalis* [J]. Journal of Southwest Forestry University (natural sciences), 2018, 38(1): 140-150 (in Chinese with English abstract).
- [21] 卢远倩, 王兰英, 骆焱平. 九里香精油的抑菌活性及成分分析[J]. 农药, 2011, 50(6): 443-445. LU Y Q, WANG L Y, LUO Y P. The antifungal activities and composition analysis of the essential oil from *Murraya paniculata* [J]. Agrochemicals, 2011, 50(6): 443-445 (in Chinese with English abstract).
- [22] 尹洪旭, 杨艳芹, 姚月凤, 等. 基于气相色谱-质谱技术与多元统计分析对不同栗香特征绿茶判别分析[J]. 食品科学, 2019, 40(4): 192-198. YIN H X, YANG Y Q, YAO Y F, et al. Discrimination of different characteristics of chestnut-like green tea based on gas chromatography-mass spectrometry and multivariate statistical data analysis [J]. Food science, 2019, 40(4): 192-198 (in Chinese with English abstract).
- [23] 谢勋. 黔产优质绿茶香气成分分析[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017. XIE X. Analysis of aroma components of high-quality green tea produced in Guizhou [D]. Guiyang: Guizhou University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [24] 李大红, 姚雷, 梁建生. 不同月份香叶天竺葵精油的含有率与成分变化分析[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2006, 24(4): 354-357. LI D H, YAO L, LIANG J S. Analysis on content and composition of essential oil in different month of growth in *Pelargonium graveolens* [J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University (agricultural science edition), 2006, 24(4): 354-357 (in Chinese with English abstract).
- [25] 许泽文, 李环通, 王绮潼, 等. 柠檬草精油成分分析、抑菌性及对巨峰葡萄保鲜研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(1): 51-59. XU Z W, LI H T, WANG Q T, et al. Analysis of volatile components, antibacterial activity and perseveration on Kyoho grapes of lemongrass essential oil [J]. Food research and development, 2020, 41(1): 51-59 (in Chinese with English abstract).
- [26] 王聪. 柠檬桉叶的HS-SDME-GC/MS谱图及其主成分分析[J]. 化学试剂, 2021, 43(1): 68-72. WANG C. HS-SDME-GC/MS chromatogram and principal component analysis for *Eucalyptus citriodora* Hook. f. leaves [J]. Chemical reagents, 2021, 43(1): 68-72 (in Chinese with English abstract).
- [27] 张影. 安徽产石菖蒲中挥发油成分的GC-MS研究及质量评价[D]. 安徽中医药大学, 2020. ZHANG Y. Quality evaluation of volatile oils of *Rhizoma Acori Tatarinowii* from Anhui by GC-MS [D]. Anhui University of Chinese medicine, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [28] 杜丽霞, 占豪, 姜子涛. 调味香料丁香罗勒精油成分、抗氧化及抑菌活性[J]. 中国调味品, 2021, 46(4): 174-178, 182. DU L X, ZHAN H, JIANG Z T. The components, antioxidant and

- antibacterial activities of essential oil of flavoring spice *Ocimum gratissimum* L. [J]. *China condiment*, 2021, 46(4): 174-178, 182 (in Chinese with English abstract).
- [29] 任洪涛, 周斌, 夏凯国, 等. 二种金合欢属植物花净油成分分析[J]. *香料香精化妆品*, 2010(5): 1-5. REN H T, ZHOU B, XIA K G, et al. Analysis of the volatile components from two genus *Acacia* flower absolute[J]. *Flavour fragrance cosmetics*, 2010(5): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- [30] 王维恩, 曹佳佳, 韩海洪, 等. 大马士革玫瑰精油香气特征成分分析[J]. *中成药*, 2021, 43(6): 1653-1655. WANG W E, CAO J J, HAN H H, et al. Analysis of aroma characteristic components of Damascus rose essential oil [J]. *Chinese traditional patent medicine*, 2021, 43(6): 1653-1655 (in Chinese).
- [31] XIAO Z B, LUO J, NIU Y W, et al. Characterization of key aroma compounds from different rose essential oils using gas chromatography-mass spectrometry, gas chromatography-olfactometry and partial least squares regression [J]. *Natural product research*, 2018, 32(13): 1567-1572.
- [32] HADIAN Z, KAMALABADI M, PHIMOLSIRIPOL Y, et al. Preparation, characterization, and antioxidant activity of  $\beta$ -cyclodextrin nanoparticles loaded *Rosa damascena* essential oil for application in beverage [J/OL]. *Food chemistry*, 2023, 403: 134410 [2024-05-14]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134410>.

## Comparing volatile compounds in 11 plants with aromatic leaf and simulating aroma of rose essential oil

PENG Tianhua, YOU Huiwan, SUN Shuwan, LI Yajun, RAO Yufei, NING Guogui

*College of Horticulture and Forestry Sciences/National Key Laboratory for Germplasm Innovation & Utilization of Horticultural Crops/Institute of Flower, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** The headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) was used to qualitatively and quantitatively analyze the volatile compounds in the leaves of 11 plants with aromatic leaf selected from 9 families including Rosaceae, Poaceae, Lamiaceae, Theaceae, Rutaceae and other families to study the possibility of obtaining the aroma of Damascus rose essential oil with mixed simulation of plants with aromatic leaf. The results showed that a total of 78 major volatile compounds including 39 terpenes, 23 fatty acid derivatives, and 16 benzenoid/phenylpropanoids were detected in the 11 tested plants. MATLAB software was used to analyze and simulate the aroma of rose essential oil to determine the mixed mass ratio of plants with aromatic leaf. The results of mixing the leaves of Rosemary, Echa No.10, *Eucalyptus citriodora* and *Pelargonium graveolens* in a mass ratio of 31:7:11:1 showed that terpenoids were the main volatile compounds in plants with aromatic leaf, followed by fatty acid derivatives and benzenoid/phenylpropanoids. The group with mixed simulation of plants with aromatic leaf ultimately obtained a mixed aroma similar to that of rose essential oil, mainly composed of citronellol, geraniol, linalool, and caryophyllene.

**Keywords** plants with aromatic leaf; rose essential oil; volatile compounds; headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry; Matlab; aroma simulation

(责任编辑:葛晓霞)