

不同工艺和鲜花产地桂花纯露香气成分比较

于萍^{1,2}, 谭云飞^{1,2}, 贺强³, 卫沈妮^{1,2}, 胡晶鼎^{1,3}, 刘梓璇², 刘忠⁴, 陈国庆⁵, 曾祥玲^{2,6*}
(1. 湖北科技学院药学院, 湖北咸宁 437100) (2. 国家林业草原桂花工程技术研究中心, 湖北咸宁 437100)
(3. 公共检验检测中心, 湖北咸宁 437100) (4. 湖北八月花食品股份有限公司, 湖北咸宁 437100)
(5. 湖北省沁丰农业开发有限公司, 湖北咸宁 437100) (6. 咸宁高新桂花产业技术研究院, 湖北咸宁 437100)

摘要: 为了探究桂花纯露的生产工艺和品质稳定性, 该研究采用 GC-MS 比较分析了不同工艺和产地鲜花提取的桂花纯露香气成分。结果表明, 不同工艺提取的桂花纯露香气成分差异较大, 共有成分仅 19 种。其中, 水蒸馏法提取的桂花纯露中 β -紫罗兰酮 (19.64%)、 γ -癸内酯 (15.82%)、二氢- β -紫罗兰醇 (12.26%) 是优势组分, 香气成分含量高但杂质也明显。真空冷冻干燥法提取的桂花纯露中主要含二氢- β -紫罗兰酮 (43.59%)、 β -紫罗兰酮 (25.73%) 和芳樟醇 (15.48%), 二氢- β -紫罗兰酮含量显著高于其他方法, 但香味偏弱。微波真空干燥法提取的桂花纯露中芳樟醇氧化物相对含量达 50% 以上, γ -癸内酯达 16.67%, 各组分含量均衡, 香味典型且层次丰富。不同产地鲜花提取的桂花纯露共有香气成分 43 种, 优势组分均为芳樟醇氧化物、 γ -癸内酯、 β -紫罗兰酮、香叶醇、二氢- β -紫罗兰酮等重要香气活性物质。由此说明, 加工工艺对桂花纯露品质稳定性影响较大, 综合考虑微波真空干燥是值得大力推广的工艺。另外, 产地之间虽有差异, 但主成分基本稳定。该研究为桂花纯露的产业化及开发利用奠定了基础。

关键词: 桂花; 纯露; 细胞液; 香味; 挥发性成分; 气相色谱质谱联用仪
文章编号: 1673-9078(2025)07-309-324 **DOI:** 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.7.1765

Comparison of Aroma Components in *Osmanthus fragrans* Hydrosol from Different Processes and Flower Origins

YU Ping^{1,2}, TAN Yunfei^{1,2}, HE Qiang³, WEI Shenni^{1,2}, HU Jingding^{1,3}, LIU Zixuan²,
LIU Zhong⁴, CHEN Guoqing⁵, ZENG Xiangling^{2,6*}
(1.School of Pharmacy, Hubei University of Science and Technology, Xianning 437100, China) (2.National Forestry and Grassland Administration Engineering Research Center for *Osmanthus Fragrans*, Hubei University of Science and Technology, Xianning 437100, China) (3.Public Inspection and Testing Center, Xianning 437100, China) (4.Hubei August Flower Food Co. Ltd., Xianning 437100, China) (5.Hubei Qinfeng Agricultural Development Co. Ltd., Xianning 437100, China) (6.Xianning Research Academy of Industrial Technology of *Osmanthus Fragrans*, Xianning 437100, China)

Abstract: To investigate the production process and quality stability of *Osmanthus fragrans* hydrosol, GC-MS was used in this study to conduct a comparative analysis of the aroma components extracted from the fresh flowers of *Osmanthus fragrans* obtained by different methods and from various origins. The results showed that the aroma components of *Osmanthus fragrans* hydrosol extracted by different processes were quite different, with only 19 identified components in common. Among them, the *Osmanthus fragrans*

引文格式:
于萍,谭云飞,贺强,等.不同工艺和鲜花产地桂花纯露香气成分比较[J].现代食品科技,2025,41(7):309-324.
YU Ping, TAN Yunfei, HE Qiang, et al. Comparison of aroma components in *Osmanthus fragrans* hydrosol from different processes and flower origins [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(7): 309-324.

收稿日期: 2024-11-25
基金项目: 国家自然科学基金项目 (32101581); 湖北省自然科学基金项目 (2025AFB857); 湖北省大学生创业实践项目 (S202410927001S)
作者简介: 于萍 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 天然产物的提取与开发, E-mail: 2754517531@qq.com
通讯作者: 曾祥玲 (1987-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 植物资源开发与利用, E-mail: 565431903@qq.com

hydrosol extracted by water distillation had β -ionone (19.64%), γ -decalactone (15.82%), and dihydro- β -ionol (12.26%) as the dominant components, which had a high aroma content and obvious impurities. The *Osmanthus fragrans* hydrosol extracted by the vacuum freeze-drying method primarily contained dihydro- β -ionone (43.59%), β -ionone (25.73%), and linalool (15.48%), with a significantly higher dihydro- β -ionone content but weaker aroma than those of the other methods. The relative content of linalool oxide in the hydrosol obtained via microwave vacuum drying exceeded 50%, with γ -decalactone accounting for 16.67%, balanced composition of individual compounds, and typical and rich aromas. The *Osmanthus fragrans* hydrosols extracted from the fresh flowers from different origins had a total of 43 aroma components, with linalool oxide, γ -decalactone, β -ionone, geraniol, and dihydro- β -ionone as the dominant aroma active substances. This finding shows that the processing technology had a great influence on the quality stability of *Osmanthus fragrans* hydrosol, with microwave vacuum drying emerging as a process worthy of promotion based on a comprehensive consideration. In addition, although there are differences among origins, the primary components remained essentially stable. This research provides a foundation for the industrialization, development, and utilization of *Osmanthus fragrans* hydrosol.

Key words: *Osmanthus fragrans*; hydrosol; cell fluid; aroma; volatile components; gas chromatography-mass spectrometer

桂花是中国传统名花,兼具观赏、香用、食用、药用多功能,被广泛用于园林绿化、食品、饮品、日用护肤及芳香等产品开发利用。桂花的栽培地域广泛,黄河流域以南均可种植,被20多个城市定为市花,在湖北、广西、四川、江苏、浙江、河南、湖南、贵州等地均有大面积栽培。桂花香味独特,被人们所喜爱,其香气中富含紫罗兰酮、癸内酯、芳樟醇及其氧化物等功能成分^[1-3],具有抗菌、抗氧化、镇静等功效^[4-7],所以关于桂花精油、纯露的提取利用一直是科研和产业关注的焦点。

桂花鲜花由于不易保存、香气成分易挥发、精油提取率低等问题^[8,9],导致利用天然精油开发产品的成本太高。纯露原指在水蒸气蒸馏法制备精油过程中得到的水相副产物,由于含有少量的精油组分,具有香味和功效,而且成本低,被广泛用于饮品、美容护肤等产品的开发^[10-12]。近年来,在鲜花干燥过程中回收的水相副产物——称为细胞液,由于细胞液也具有芳香气味,同样被当做纯露使用^[13,14]。目前关于桂花品种香气成分和精油的研究报道较多^[15-20],但关于桂花纯露、细胞液的研究却少见。目前,产业化应用的桂花干燥方法主要有传统的烘干、微波真空干燥和真空冷冻干燥^[20,21],不同干燥方法产生的桂花细胞液香气成分目前还未有人研究。虽然桂花有100多个品种,分为四季桂、银桂、金桂和丹桂四个品种群^[22-24],但是产业化还无法做到分品种进行加工,目前用于加工的主要是银桂和金桂,往往不同产地的鲜花原料收集后集中加工,不同产地新鲜桂花提取的细胞液香气成分差异还有待进一步研究。

该研究对水蒸馏、真空冷冻干燥和微波真空干燥三种方法获得的桂花纯露进行香气成分比较分析;

并对从湖北咸宁、安徽池州、湖南常德三个产地收集的鲜花采用微波真空干燥收集桂花纯露,然后进行香气成分比较分析。以期探究桂花纯露的品质稳定性,为桂花纯露的开发和利用提供理论参考和依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

不同方法的新鲜金桂于湖北咸宁收集,混合均匀后分成三组,一组用于水蒸馏提取(WD);一组用于真空冷冻干燥(FD)提取;剩余材料送往湖北八月花食品有限公司进行微波真空干燥提取(MD)。不同产地的新鲜金桂在湖北咸宁(HX)、安徽池州(AC)、湖南常德(HC)收集后,运回湖北咸宁进行微波真空干燥收集桂花纯露。

正己烷(色谱纯),美国Merck公司;月桂酸甲酯(99.5%),美国Merck公司;无水硫酸钠,中国国药。

1.2 仪器与设备

DP-1007DG真空冷冻干燥机,无锡德谱仪器制造有限公司;NHVF-48A微波动态真空干燥机,上海纳贺微波设备有限公司;KDM型调温电热套,山东鄞城华鲁电热仪器有限公司;KQ-800DE超声仪,昆山市超声仪器有限公司;NDK200-2N氮吹仪,杭州米欧仪器有限公司;7890B气相色谱-7000D质谱联用仪,美国安捷伦有限公司。

1.3 方法

1.3.1 水蒸馏提取桂花纯露

称取200 g新鲜桂花置于1 L圆底烧瓶中,加入300 mL去离子水,圆底烧瓶置于电热套中加热

进行常压蒸馏,收集 400 mL 蒸馏液作为水蒸馏提取桂花纯露样品。

1.3.2 真空冷冻干燥提取桂花纯露

参照文献方法^[21],将新鲜桂花以 5 mm 的厚度平铺于物料盘中,放入真空冷冻干燥仪中,物料放入之前将仪器 -25 ℃ 预冻 30 min,物料放入之后 -25 ℃ 冷冻 2.5 h, -10 ℃ 1 h, 5 ℃ 1 h, 20 ℃ 1 h, 35 ℃ 5 h, 冷阱温度 -80 ℃,干燥结束后回收冷阱中的水相物料即为真空冷冻干燥提取的桂花纯露样品。

1.3.3 微波真空干燥提取桂花纯露

将新鲜桂花平铺于物料筐中,参考姚胜楠^[25]的方法设置温度 40 ℃,功率 400 W 送湖北八月花食品股份有限公司进行干燥,连接冷凝装置对水相物料进行回收,所得即为微波真空干燥提取的桂花纯露样品。

1.3.4 桂花纯露中香气成分提取

取 100 mL 纯露样品,加入 10 mL 正己烷(含 0.87 mg/L 月桂酸甲酯为内标),超声仪 45 ℃ 超声 30 min,取出常温静止 30 min, -20 ℃ 冷冻 1 h,将上层液体转移至 40 mL 样品瓶,重复提取 2 次,将 3 次提取的 30 mL 样品于氮吹浓缩仪中浓缩至 3 mL,过无水硫酸钠柱和 0.22 μm 滤膜,然后进行 GC-MS 检测。

1.3.5 GC-MS 分析

采用 HP-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm, J&W Scientific)进行色谱分离,以高纯度氦气(99.999%)为载气,流量为 1.2 mL/min。色谱分析条件:起始柱温 40 ℃,维持 3 min;以 3 ℃/min 的速度升至 73 ℃,保持 3 min;然后以 5 ℃/min 升至 240 ℃,维持 10 min。质谱分析条件:传输线温度为 250 ℃,离子温度为 220 ℃,EI 电离模式,电子能量为 70 eV,扫描的质谱范围 45~450 u。在相同条件下 C7-C20 的正构烷烃标样(Sigma-Aldrich, USA)进行 GC-MS 分析。

1.4 数据分析

采用 Agilent Mass Hunter Qualitative Analysis Navigator B.08.00 软件结合 NIST MS Search 2.3 进行目标分析物初步预测,再结合保留指数(RI)和 NIST Chemistry WebBook(<https://webbook.nist.gov/chemistry/>)文献进行进一步确认。根据总离子流色谱峰的峰面积,采用归一化法计算各组分在总物质中的百分比。采用内标法(月桂酸甲酯为内标物)进行定量,目标物质的含量计算公式如公式(1):

$$B = \frac{S_1}{S_2} \times c \times \frac{V}{m} \times f \quad (1)$$

式中:

B ——目标物质的含量, μg/g;

S_1 ——目标物质的峰面积;

S_2 ——内标物的峰面积;

c ——内标物质量浓度, mg/L;

V ——总体积, L;

m ——样品量, g;

f ——各组分对内标物的校正因子, $f=1$ 。

采用 Excel 和 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析,采用 LSD 最小显著差异法分析显著性水平,不同小写字母表示不同样品之间差异显著($P<0.05$)。采用基迪奥生信云工具(<https://www.omicshare.com/tools/Home/Soft/getsoft>)绘制 Venn 图,数据表示为平均值 ± 标准误,每个样品 3 次生物学重复。

2 结果与讨论

2.1 不同方法提取桂花纯露香气成分对比分析

三种方法提取的桂花纯露香气成分总离子流图见图 1,水蒸馏提取(图 1a)的桂花纯露在保留时间(RT)35 min 之后仍可见较多物质峰;真空冷冻干燥提取(图 1b)的桂花纯露中物质种类最少;微波真空干燥提取(图 1c)的桂花纯露中物质种类较丰富,35 min 之后的物质峰也较少。

对三种方法提取的桂花纯露中的化合物进行鉴定和统计,结果见表 1。水蒸馏提取的桂花纯露中共检测出 101 种化合物,鉴定出 79 种,其中醛类物质种类最多 18 种,但相对含量仅 6.75%;醇类物质相对含量最高 38.08%,种类 14 种;酮类和烷烃类均为 13 种物质,相对含量分别为 26.09% 和 6.75%;酯类物质仅 8 种,相对含量有 18.18%。真空冷冻干燥提取的桂花纯露中共检测出 33 种化合物,鉴定出 28 种,其中醇类物质 11 种,相对含量 24.89%;酮类 7 种物质,相对含量占 71.21%,这两类物质的相对含量达 90% 以上。微波真空干燥提取的桂花纯露中共检测出 87 种化合物,鉴定出 55 种,醇和酮类物质各有 15 种,醇类物质相对含量最多,达 64.66%,酮类物质相对含量 14.02%;酯类物质相对含量 17.44%,物质种类 8 种。相较于桂花鲜花香气成分,桂花纯露中的烯烃类成分偏少^[1,2]。醇类

和酮类是桂花纯露的优势成分，这与前人报道的桂花浸膏、精油香气成分的结果相同^[16,26]。

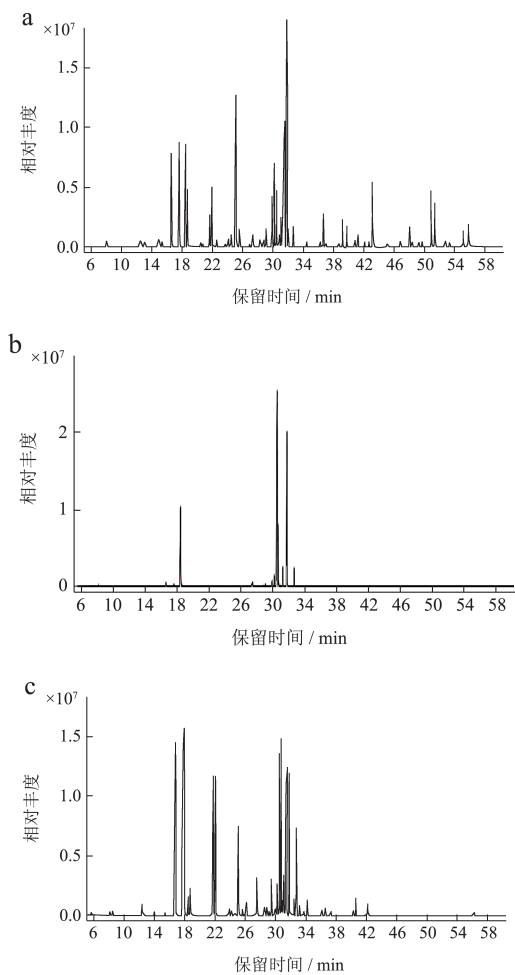


图 1 不同方法桂花纯露香气成分总离子流图

Fig.1 Total ion current chromatograms of aroma components in *Osmanthus fragrans* hydrosol using different methods

注：(a) 水蒸馏提取；(b) 真空冷冻干燥提取；(c) 微波真空干燥提取。

2.2 不同方法提取桂花纯露香气成分物质差异分析

从三种方法提取的桂花纯露中共鉴定出 108 种化合物（见表 2），Venn 图分析发现（图 2），三种方法提取的桂花纯露中共有的化合物有 19 种。水蒸馏提取的桂花纯露中特有化合物 46 种，微波真空干燥提取的桂花纯露中特有的 23 种，真空冷冻干燥提取的桂花纯露中特有的仅 4 种。水蒸馏和微波真空干燥提取的桂花纯露中共有化合物有 30 种，水蒸馏和真空冷冻干燥提取的桂花纯露中共有化合物 22 种，微波真空干燥和真空冷冻干燥提取的桂花纯露中共有化合物 21 种。

对三种方法提取的桂花纯露中相对含量排名前十的物质进行比较分析（图 3），水蒸馏提取的

桂花纯露中 β -紫罗兰酮相对含量最高，达 19.64%； γ -癸内酯其次，相对含量 15.82%；二氢- β -紫罗兰醇相对含量 12.26%，排名第三；前五种物质的相对总含量达 60% 以上。真空冷冻干燥提取的桂花纯露中二氢- β -紫罗兰酮相对含量最高（43.59%），其次为 β -紫罗兰酮（25.73%），再之芳樟醇（15.48%）， γ -癸内酯相对含量仅 2.25%，排名第五，前五种物质的相对含量共达 90% 以上。微波真空提取的桂花纯露中 (E)-芳樟醇氧化物（呋喃型）（21.89%）和 (Z)-芳樟醇氧化物（呋喃型）（17.56%）分别排名第一和第二， γ -癸内酯相对含量 16.66% 排名第三，(Z)-芳樟醇（吡喃型）和 (E)-芳樟醇氧化物（吡喃型）相对含量均为 7.16% 排名第四，前五种物质的相对含量共达 70% 以上。该结果表明，不同工艺生产的桂花纯露中主成分存在较大差异，有研究^[27]采用旋转蒸馏技术在不同条件下收集到的桂花细胞液在香气成分上也有显著差别，可见加工工艺是桂花纯露香气成分稳定性的重要影响因素。新鲜金桂中 β -紫罗兰酮（30.29%~51.19%）、芳樟醇（19.15%~38.48%）、 γ -癸内酯（3.05%~6.86%）是优势组分^[1-3]，该研究不同工艺生产的桂花纯露都较鲜花有明显差异，所以桂花纯露和鲜花香味从感官上也存在较大差异，但由于鲜花香味形成的大多数香气活性物质仍存在于桂花纯露中，因此提取的纯露仍具有桂花的典型香味。相较于从干花中提取的桂花浸膏和精油^[16,17,19,20]，提取的桂花纯露中香气活性成分的占比较多，所以桂花纯露的香味也更贴近鲜花。

表 1 不同方法桂花纯露香气成分分类

Table 1 Classification of aroma components in <i>Osmanthus fragrans</i> hydrosol by different methods						
物质 分类	水蒸馏提取 (WD)		真空冷冻干燥 提取 (FD)		微波真空干燥 提取 (MD)	
	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%
醇类	14	38.08 ± 0.04 ^b	11	24.89 ± 0.05 ^c	15	64.66 ± 1.89 ^a
酮类	13	26.09 ± 0.09 ^b	7	71.21 ± 0.02 ^a	15	14.02 ± 0.94 ^c
醛类	18	6.75 ± 0.05 ^a	0	0.00 ± 0.00 ^c	4	0.29 ± 0.03 ^b
烷烃类	13	4.80 ± 0.02 ^a	0	0.00 ± 0.00 ^c	4	0.18 ± 0.02 ^b
烯烃类	8	0.94 ± 0.02 ^a	3	0.23 ± 0.01 ^b	2	0.12 ± 0.01 ^c
酯类	8	18.18 ± 0.00 ^a	3	2.52 ± 0.03 ^b	8	17.44 ± 0.70 ^a
其他类	3	0.86 ± 0.01 ^b	4	0.88 ± 0.02 ^b	7	1.16 ± 0.07 ^a
未知	22	4.36 ± 0.02 ^a	5	0.27 ± 0.00 ^c	32	2.14 ± 0.20 ^b
合计	101		33		87	

注：不同小写字母表示不同样品之间差异显著（ $P < 0.05$ ）。下表同。

表 2 不同方法桂花纯露香气成分含量

Table 2 Content of aroma components in <i>Osmanthus fragrans</i> hydrosol by different methods								
序号	保留时间/ min	中文名称	英文名称	CAS	分子式	水蒸馏(ng/L)	真空冷冻(ng/L)	微波真空(ng/L)
醇类	5.11	2-庚醇	2-Heptanol	543-49-7	C ₇ H ₁₆ O	—	12.19 ± 0.95	—
	12.69	5-庚烯-2-醇, 6-甲基-	5-Hepten-2-ol, 6-methyl-	1569-60-4	C ₈ H ₁₆ O	—	—	4.43 ± 0.38
	13.54	双环[2.2.1]庚-2-烯-7-醇	Bicyclo[2.2.1]hept-2-en-7-ol	53783-87-2	C ₇ H ₁₀ O	12.38 ± 1.31	—	—
	16.67	(Z)-芳樟醇氧化物(呋喃型)	(Z)-Linalool oxide (furanoid)	5989-33-3	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	3 240.99 ± 30.02	131.51 ± 1.52	2 453.35 ± 39.30
	17.71	(E)-芳樟醇氧化物(呋喃型)	(E)-Linalool oxide (furanoid)	34995-77-2	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	3 563.63 ± 45.16	76.25 ± 1.96	3 057.90 ± 67.89
	18.49	芳樟醇	Linalool	78-70-6	C ₁₀ H ₁₈ O	3 793.60 ± 50.52	2 466.39 ± 41.40	91.95 ± 9.21
	18.69	1,7-辛二烯-3,6-二醇, 2,6-二甲基-	1,7-Octadiene-3,6-diol, 2,6-dimethyl-	51276-33-6	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	—	48.77 ± 1.91	—
	19.10	苯乙醇	Phenylethyl Alcohol	60-12-8	C ₈ H ₁₀ O	7.06 ± 2.06	—	9.65 ± 1.20
	21.71	(E)-芳樟醇氧化物(吡喃型)	(E)-linalool oxide (pyranoid)	39028-58-5	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	660.88 ± 6.56	26.77 ± 0.17	999.35 ± 40.17
	21.97	(Z)-芳樟醇氧化物(吡喃型)	(Z)-linalool oxide (pyranoid)	14049-11-7	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	1 252.46 ± 16.13	25.04 ± 0.39	999.65 ± 37.53
	22.59	(R)-(+)-α-萜品醇	(R)-(+)-α-terpineol	7785-53-7	C ₁₀ H ₁₈ O	51.68 ± 0.43	—	—
	24.11	橙花醇	Nerol	106-25-2	C ₁₀ H ₁₈ O	144.80 ± 0.44	—	12.55 ± 3.43
	24.31	异香叶醇	isogeraniol	5944-20-7	C ₁₀ H ₁₈ O	9.73 ± 0.81	—	—
	25.21	香叶醇	Geraniol	106-24-1	C ₁₀ H ₁₈ O	6 640.92 ± 109.23	—	389.88 ± 46.97
	27.51	1-环己烯-1-乙醇, 2,6,6-三甲基-	1-Cyclohexene-1-ethanol, 2,6,6-trimethyl-	472-65-1	C ₁₁ H ₂₀ O	—	93.44 ± 1.50	139.52 ± 20.37
28.53	2-(4-甲氧基苯基)乙醇	2-(4-Methoxyphenyl)ethanol	702-23-8	C ₉ H ₁₂ O ₂	—	—	35.59 ± 9.15	
28.86	α-紫罗兰醇	α-Ionol	25312-34-9	C ₁₃ H ₂₂ O	138.54 ± 4.83	4.29 ± 0.16	27.56 ± 6.28	
29.96	β-紫罗兰醇	β-Ionol	22029-76-1	C ₁₃ H ₂₂ O	1 043.07 ± 3.78	154.53 ± 19.76	23.65 ± 5.68	
30.35	2,6,10,10-四甲基-1-氧杂螺[4.5]癸烷-6-醇	2,6,10,10-Tetramethyl-1-oxaspiro[4.5]decan-6-ol	77981-89-6	C ₁₃ H ₂₄ O ₂	—	—	9.07 ± 1.50	
30.75	二氢-β-紫罗兰醇	Dihydro-β-ionol	3293-47-8	C ₁₃ H ₂₄ O	56.47 ± 3.46	926.81 ± 9.42	781.87 ± 66.86	

续表 2

序号	保留时间/ min	中文名称	英文名称	CAS	分子式	水蒸馏/(ng/L)	真空冷冻/(ng/L)	微波真空/(ng/L)
酮类	12.36	6-甲基-5-庚烯-2-酮	6-Methyl-5-hepten-2-one	110-93-0	C ₈ H ₁₄ O	16.21 ± 0.10	—	53.05 ± 2.53
	18.76	6-乙基-2,2,6-三甲基氧杂-3-酮	6-ethenyl-2,2,6-trimethylloxan-3-one	33933-72-1	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	—	—	141.81 ± 9.47
	21.36	4-异丙基环己-2-烯-1-酮	4-isopropylcyclohex-2-en-1-one	500-02-7	C ₉ H ₁₄ O	—	—	9.28 ± 1.33
	23.90	3-己烯-2-酮	3-Hexen-2-one	763-93-9	C ₆ H ₁₀ O	—	6.39 ± 1.02	16.01 ± 1.96
	28.56	2-(3-氧代丁基)环己酮	2-(3-Oxobutyl)cyclohexanone	26942-62-1	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	34.17 ± 3.58	—	—
	29.14	2-丁酮, 4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-亚基)-	2-Butanone, 4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-ylidene)-	56052-61-0	C ₁₃ H ₂₀ O	236.81 ± 3.37	46.91 ± 1.79	9.92 ± 1.72
	29.44	2-环戊烯-1-酮, 3-甲基-2-(2-戊烯基)-(Z)-	2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-2-(2-pentenyl)-(Z)-	488-10-8	C ₁₁ H ₁₆ O	—	—	126.91 ± 19.84
	29.91	二氢-α-紫罗兰酮	Dihydro-α-ionone	31499-72-6	C ₁₃ H ₂₂ O	—	—	12.10 ± 2.30
	30.23	α-紫罗兰酮	α-Ionone	127-41-3	C ₁₃ H ₂₀ O	1 305.61 ± 20.01	195.34 ± 2.10	111.86 ± 17.01
	30.42	香叶基丙酮	Geranylacetone	689-67-8	C ₁₃ H ₂₂ O	33.68 ± 2.32	—	—
	30.56	二氢-β-紫罗兰酮	Dihydro-β-ionone	17283-81-7	C ₁₃ H ₂₂ O	819.46 ± 9.36	6 945.22 ± 106.68	622.96 ± 54.83
	31.10	2H-吡喃-2-酮, 6-戊基-	2H-Pyran-2-one, 6-pentyl-	27593-23-3	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	722.52 ± 7.36	33.66 ± 1.01	168.59 ± 23.76
	31.84	β-紫罗兰酮	β-ionone	14901-07-6	C ₁₃ H ₂₀ O	10 636.07 ± 201.74	4 100.48 ± 49.97	584.46 ± 54.22
	32.90	3,5,9-十一碳三烯-2-酮, 6,10-二甲基-(E,Z)-	3,5,9-Undecatrien-2-one, 6,10-dimethyl-(E,Z)-	13927-47-4	C ₁₃ H ₂₀ O	7.11 ± 1.46	—	—
	34.05	巨豆三烯酮	Megastigmatrienone	38818-55-2	C ₁₃ H ₁₈ O	15.54 ± 1.52	—	—
	34.18	7,11-环氧巨豆-5(6)-烯-9-酮	7,11-Epoxy megastigma-5(6)-en-9-one	64243-62-5	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	11.59 ± 1.06	18.47 ± 0.41	63.95 ± 11.95
	35.13	三环[6.3.0.0(1,5)]十一烷-2-烯-4-酮, 5,9-二甲基-	Tricyclo[6.3.0.0(1,5)]undec-2-en-4-one, 5,9-dimethyl-	—	C ₁₃ H ₁₈ O	15.84 ± 1.45	—	—
	36.15	3-酮基-β-紫罗兰酮	3-Keto-β-ionone	27185-77-9	C ₁₃ H ₁₆ O ₂	12.97 ± 0.84	—	16.93 ± 2.87
	36.5	2,4,4-三甲基-3-(3-氧代丁基)环己-2-烯酮	2,4,4-Trimethyl-3-(3-oxobutyl)cyclohex-2-enone	72008-46-9	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	—	—	22.16 ± 3.16
	39.83	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮-	2-Pentadecanone, 6,10,14-trimethyl-	502-69-2	C ₁₈ H ₃₆ O	276.62 ± 2.57	—	—
	41.34	7,9-二叔丁基-1-氧杂螺(4,5)十-6,9-二烯-2,8-二酮	7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	82304-66-3	C ₁₇ H ₂₄ O ₃	—	—	2.85 ± 0.58

续表 2

序号	保留时间/ min	中文名称	英文名称	CAS	分子式	水蒸馏/(ng/L)	真空冷冻/(ng/L)	微波真空/(ng/L)
醛类	8.59	庚醛	Heptanal	111-71-7	C ₇ H ₁₄ O	13.28 ± 0.67	—	—
	13.09	辛醛	Octanal	124-13-0	C ₈ H ₁₆ O	76.33 ± 0.28	—	—
	14.94	苯乙醛	Benzeneacetaldehyde	122-78-1	C ₈ H ₈ O	187.00 ± 1.03	—	4.22 ± 0.53
	18.74	壬醛	Nonanal	124-19-6	C ₉ H ₁₈ O	1 276.56 ± 19.93	—	—
	20.96	丁香醛 C	Lilac aldehyde C	53447-48-6	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	6.02 ± 0.09	—	—
	22.41	3,6-辛二烯醛,3,7-二甲基-	3,6-Octadienal,3,7-dimethyl-	55722-59-3	C ₁₀ H ₁₆ O	17.57 ± 0.42	—	—
	23.29	癸醛	Decanal	112-31-2	C ₁₀ H ₂₀ O	32.70 ± 0.32	—	—
	23.74	环柠檬醛	β -Cyclocitral	432-25-7	C ₁₀ H ₁₆ O	15.81 ± 0.40	—	9.54 ± 1.63
	24.55	香橙醛	Neral	106-26-3	C ₁₀ H ₁₆ O	174.31 ± 2.05	—	6.80 ± 1.17
	25.60	柠檬醛	Citral	5392-40-5	C ₁₀ H ₁₆ O	243.53 ± 11.88	—	20.09 ± 2.34
	29.73	十二烷醛	Dodecanal	112-54-9	C ₁₂ H ₂₄ O	6.71 ± 0.35	—	—
	33.90	桃醛	Peach aldehyde	104-67-6	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	19.00 ± 1.93	—	—
	37.09	十五烷醛-	Pentadecanal-	2765-11-9	C ₁₅ H ₃₀ O	17.80 ± 0.70	—	—
	38.77	7-十六碳烯醛,(Z)-	7-Hexadecenal,(Z)-	56797-40-1	C ₁₆ H ₃₀ O	44.69 ± 0.18	—	—
	39.25	十六烷	Hexadecanal	629-80-1	C ₁₆ H ₃₂ O	355.14 ± 2.36	—	—
	41.29	十七烷醛	Heptadecanal	—	C ₁₇ H ₃₄ O	161.84 ± 0.88	—	—
	42.78	(Z)-9-十八烯醛	9-Octadecenal,(Z)-	2423-10-1	C ₁₈ H ₃₄ O	53.11 ± 0.03	—	—
	43.25	十八醛	Octadecanal	638-66-4	C ₁₈ H ₃₆ O	953.59 ± 9.35	—	—
	46.89	二十烷醛	Eicosanal	2400-66-0	C ₂₀ H ₄₀ O	78.58 ± 1.58	—	—

续表 2

序号	保留时间/ min	中文名称	英文名称	CAS	分子式	水蒸馏/(ng/L)	真空冷冻/(ng/L)	微波真空/(ng/L)
烷 烃 类	5.68	2,4-二甲基庚烷-	Heptane,2,4-dimethyl-	2213-23-2	C ₉ H ₂₀	—	—	3.33 ± 0.37
	7.11	辛烷,4-甲基-	Octane,4-methyl-	2216-34-4	C ₉ H ₂₀	—	—	2.21 ± 0.50
	8.50	壬烷	Nonane	111-84-2	C ₉ H ₂₀	—	—	14.34 ± 1.67
	15.88	十二烷	Dodecane	112-40-3	C ₁₂ H ₂₆	—	—	4.56 ± 0.34
	26.41	1-氧阿司匹林[4.5]癸-6-烯,2,6,10,10-四甲基-	1-Oxaspiro[4.5]dec-6-ene,2,6,10,10-tetramethyl-	36431-72-8	C ₁₃ H ₂₂ O	41.03 ± 1.22	—	—
	33.33	正壬基环己烷	n-Nonylcyclohexane	2883-2-5	C ₁₅ H ₃₀	9.52 ± 0.08	—	—
	34.51	十六烷	Hexadecane	544-76-3	C ₁₆ H ₃₄	51.81 ± 0.25	—	—
	36.77	十七烷	Heptadecane	629-78-7	C ₁₇ H ₃₆	416.57 ± 5.95	—	—
	38.89	十八烷	Octadecane	593-45-3	C ₁₈ H ₃₈	35.10 ± 0.66	—	—
	40.92	十九烷	Nonadecane	629-92-5	C ₁₉ H ₄₀	86.09 ± 0.72	—	—
烯 类	42.85	2,6,10-三甲基十四烷-	Tetradecane,2,6,10-trimethyl-	14905-56-7	C ₁₇ H ₃₆	16.22 ± 0.26	—	—
	44.69	二十一烷	Heneicosane	629-94-7	C ₂₁ H ₄₄	28.16 ± 0.06	—	—
	48.16	二十三烷	Tricosane	638-67-5	C ₂₃ H ₄₈	288.55 ± 3.80	—	—
	49.78	二十四烷	Tetracosane	646-31-1	C ₂₄ H ₅₀	73.87 ± 1.09	—	—
	51.42	二十烷	Heneicosane	629-94-7	C ₂₁ H ₄₄	780.09 ± 8.96	—	—
	53.38	二十六烷	Hexacosane	630-01-3	C ₂₆ H ₅₄	82.94 ± 1.71	—	—
	55.88	二十八烷	Octacosane	630-02-4	C ₂₈ H ₅₈	689.29 ± 9.83	—	—
	12.55	β-月桂烯	β-Myrcene	123-35-3	C ₁₀ H ₁₆	197.25 ± 3.95	9.69 ± 0.27	14.34 ± 0.57
	14.82	(E)-β-罗勒烯	(E)-β-Ocimene	3779-61-1	C ₁₀ H ₁₆	27.24 ± 1.26	—	—
	15.35	(Z)-β-罗勒烯	(Z)-β-Ocimene	3338-55-4	C ₁₀ H ₁₆	101.23 ± 1.81	—	2.11 ± 0.29
烯 类	25.22	巨豆-4,6(E),8(Z)-三烯	Megastigma-4,6(E),8(Z)-triene	71186-25-9	C ₁₃ H ₂₀	—	19.72 ± 0.38	—
	27.75	巨豆-4,6(Z),8(E)-三烯	Megastigma-4,6(Z),8(E)-triene	51468-85-0	C ₁₃ H ₂₀	16.03 ± 1.44	—	—
	28.23	巨豆-4,6(E),8(Z)-三烯	Megastigma-4,6(E),8(Z)-triene	71186-24-8	C ₁₃ H ₂₀	28.36 ± 3.06	—	—
	28.36	巨豆-4,6(E),8(Z)-三烯	Megastigma-4,6(E),8(E)-triene	51468-86-1	C ₁₃ H ₂₀	98.77 ± 5.07	6.90 ± 0.31	—
	36.26	8-庚二烯	8-Heptadecene	2579-04-6	C ₁₇ H ₃₄	29.03 ± 0.33	—	—
	47.71	(Z)-9-三碳烯	(Z)-9-Tricosene	27519-02-4	C ₂₃ H ₄₆	13.19 ± 0.60	—	—

续表 2

序号	保留时间/ min	中文名称	英文名称	CAS	分子式	水蒸馏/(ng/L)	真空冷冻/(ng/L)	微波真空/(ng/L)
	14.86	丁香内酯	Lilac lactone	1073-11-6	C ₉ H ₁₀ O ₂	—	—	4.13 ± 1.16
	26.15	(6-乙烯基-2,2,6-三甲基氧杂-3-基)乙酸酯	(6-ethenyl-2,2,6-trimethyl-oxan-3-yl) acetate	56752-50-2	C ₁₂ H ₂₀ O ₃	—	—	46.34 ± 6.37
	28.40	γ -壬内酯	γ -Nonalactone	104-61-0	C ₉ H ₁₆ O ₂	—	—	13.24 ± 2.03
	29.05	(Z)-2,6-辛二烯-1-醇, 3,7-二甲基-, 乙酸酯,	2,6-Octadien-1-ol,3,7-dimethyl-, acetate,(Z)-	141-12-8	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	17.15 ± 1.25	—	—
酯类	31.30	γ -癸内酯	γ -Decalactone	706-14-9	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	9 335.12 ± 147.52	359.08 ± 2.38	2 331.81 ± 186.54
	31.65	γ -十一内酯	2(3H)-Furanone, 5-heptyldihydro-	104-67-6	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	10.10 ± 2.11	—	—
	32.07	δ -癸内酯	5-Decanolide	705-86-2	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	345.18 ± 15.25	—	—
	32.86	二氢猕猴桃内酯	Dihydroactinidiolide	17092-92-1	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	—	—	8.31 ± 0.59
	33.61	异丁酸香叶酯	Geranyl isobutyrate	2345-26-8	C ₁₄ H ₂₄ O ₂	15.49 ± 1.26	—	—
	36.33	γ -十二内酯	γ -Dodecalactone	2305-5-7	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	50.78 ± 0.87	—	2.99 ± 0.90
	40.32	邻苯二甲酸二异丁酯	Diisobutyl phthalate	84-69-5	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	21.42 ± 0.31	10.13 ± 0.39	7.14 ± 0.69
	42.16	邻苯二甲酸二丁酯	Dibutyl phthalate	84-74-2	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	58.12 ± 0.38	32.82 ± 0.92	27.15 ± 3.18
	6.95	乙苯	Ethylbenzene	100-41-4	C ₈ H ₁₀	7.25 ± 0.15	7.18 ± 0.86	—
	7.25	对二甲苯	p-Xylene	106-42-3	C ₈ H ₁₀	26.83 ± 2.16	24.32 ± 2.03	—
其他类	20.38	苄腈	Benzyl nitrile	140-29-4	C ₈ H ₇ N	—	—	10.94 ± 0.61
	23.74	苯并噻唑	Benzothiazole	95-16-9	C ₇ H ₅ NS	—	23.17 ± 0.46	—
	27.40	5-甲基-2,4-二异丙基苯酚	5-Methyl-2,4-diisopropylphenol	40625-96-5	C ₁₃ H ₂₀ O	434.51 ± 5.76	85.70 ± 0.84	4.34 ± 2.03
	27.63	苯乙酸, 4-甲氧基-	Benzoic acid, 4-methoxy-	104-01-8	C ₉ H ₁₀ O ₃	—	—	34.93 ± 4.60
	28.26	丁香酚	Eugenol	97-53-0	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	—	—	3.39 ± 0.62
	32.37	乙酰胺, N-[2-(4-甲氧基苯基)乙基]-	Acetamide, N-[2-(4-methoxyphenyl)ethyl]-	54815-19-9	C ₁₁ H ₁₅ NO ₂	—	—	5.26 ± 1.11
	32.46	2,4-二叔丁基苯酚	2,4-Di-tert-butylphenol	96-76-4	C ₁₄ H ₂₂ O	—	—	48.87 ± 5.43
	40.65	2-((2-氯乙氧基)羰基)苯甲酸	2-((2-Chloroethoxy)carbonyl)benzoic acid	6139-60-2	C ₁₀ H ₉ ClO ₄	—	—	55.07 ± 4.51

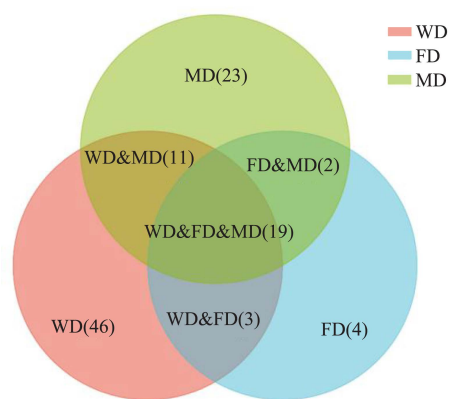


图 2 不同方法桂花纯露香气成分 Venn 图

Fig.2 Venn diagram of aroma components in *Osmanthus fragrans* hydrosol using different methods

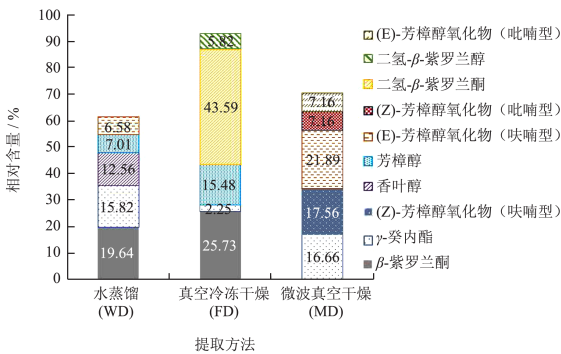


图 3 不同方法桂花纯露含量排名前五香气成分比较

Fig.3 Comparison of the top five aroma components in *Osmanthus fragrans* hydrosol by different methods

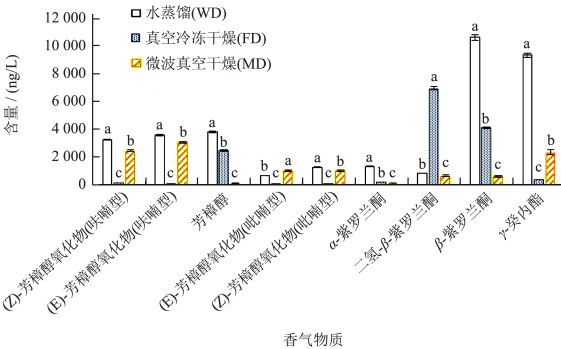


图 4 不同方法桂花纯露重要香气活性成分含量比较

Fig.4 Comparison of the content of important aroma active compounds in *Osmanthus fragrans* hydrosol from different methods

注：不同小写字母表示不同样品之间差异显著 ($P<0.05$)。

芳樟醇及其氧化物和类胡萝卜素裂解产生的香气物质是桂花香气形成的重要活性成分^[1-3]，采用内标法进一步比较三种方法提取桂花纯露中这些香气物质的含量（图 4）。结果发现，水蒸馏提取的桂花纯

露中芳樟醇、芳樟醇氧化物（呋喃型）和类胡萝卜素衍生的 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮含量均显著高于真空冷冻和微波真空干燥提取的桂花纯露。真空冷冻干燥提取的桂花纯露中二氢- β -紫罗兰酮含量显著高于其他两种方法。芳樟醇和 β -紫罗兰酮在真空冷冻干燥提取的桂花纯露中的含量显著高于微波干燥提取的。 γ -癸内酯呈现桃子香气^[28]，也是桂花香味呈现的重要活性物质，在水蒸馏提取的桂花纯露中含量最高，微波真空干燥提取的桂花纯露中次之，真空冷冻干燥提取的桂花纯露中最少。微波真空干燥提取的桂花纯露虽然在香气活性成分的含量上没有特别优势，但是胜在各种成分含量比较均衡，所以具备典型的桂花香味。孙可等^[29]的研究报道温度越高精油品质越差，该研究采用水蒸馏提取的桂花纯露虽然香气活性物质含量较高，但是高温造成的杂味也是最明显的，保留时间 35 min 之后的丰富物质峰可能是杂味形成的原因，严重影响桂花纯露的香气品质。真空冷冻干燥提取的桂花纯露鲜灵度较高，但是由于仅二氢- β -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮和芳樟醇少数成分含量较高，所以香味较弱。郭英杰等^[20]研究不同干燥方式对桂花浸膏与净油香气成分的影响，结果表明冷冻干燥有利于干花桂花提取浸膏和净油香味品质的提升。陈柏楠等^[21]比较烘干和真空冷冻干燥桂花香气活性物质含量，也发现真空冷冻干燥的桂花中含量更高。因此，该研究发现真空冷冻干燥回收的纯露中香气物质种类偏少，除二氢- β -紫罗兰酮外，其他香气活性成分含量也较低，可能就是因为冷冻干燥更有利于香气留存在花瓣体内造成的。考虑到真空冷冻干燥虽然可以获得高品质干桂花，但干燥时间长耗能高，桂花纯露中的香气成分少；而微波真空干燥可以在短时间低成本的情况下获得较好品质的干桂花和桂花纯露，是值得推广的桂花干燥和桂花纯露提取方法。

2.3 不同鲜花产地桂花纯露香气成分对比分析

从湖北咸宁（HX）、安徽池州（AC）、湖南常德（HC）收集鲜花提取的桂花纯露香气成分总离子流图见图 5，三个产地的主峰基本相似。对三个产地鲜花提取的桂花纯露中的物质进行鉴定和统计，结果见表 3。湖北咸宁鲜花提取的桂花纯露中共检测出 76 种物质，鉴定出 51 种，其中醇类物质最多 14 种，相对含量 63.31%；酮类物质 9 种，相对含量 13.73%；酯类物质 7 种，相对含量 13.69%；烷

烃类物质 6 种，相对含量 2.97%。安徽池州鲜花提取的桂花纯露中共检测出 96 种物质，鉴定出 56 种，其中醇类物质 16 种，相对含量 67.46%；酮类 11 种，相对含量 9.79%；酯类 10 种，相对含量 9.05%；烷烃类 7 种，相对含量 6.36%。湖南常德鲜花提取的桂花纯露中共检测出 100 种物质，鉴定出 57 种，其中也是醇类最多，18 种，相对含量 65.56%；酮类 11 种，相对含量 13.64%；酯类 9 种，相对含量 8.40%；烷烃类 7 种，相对含量 6.70%。可见，三个产地鲜花提取的桂花纯露中均为醇类物质种类和相对含量占优势，其次是酮类，再者是酯类和烷类。

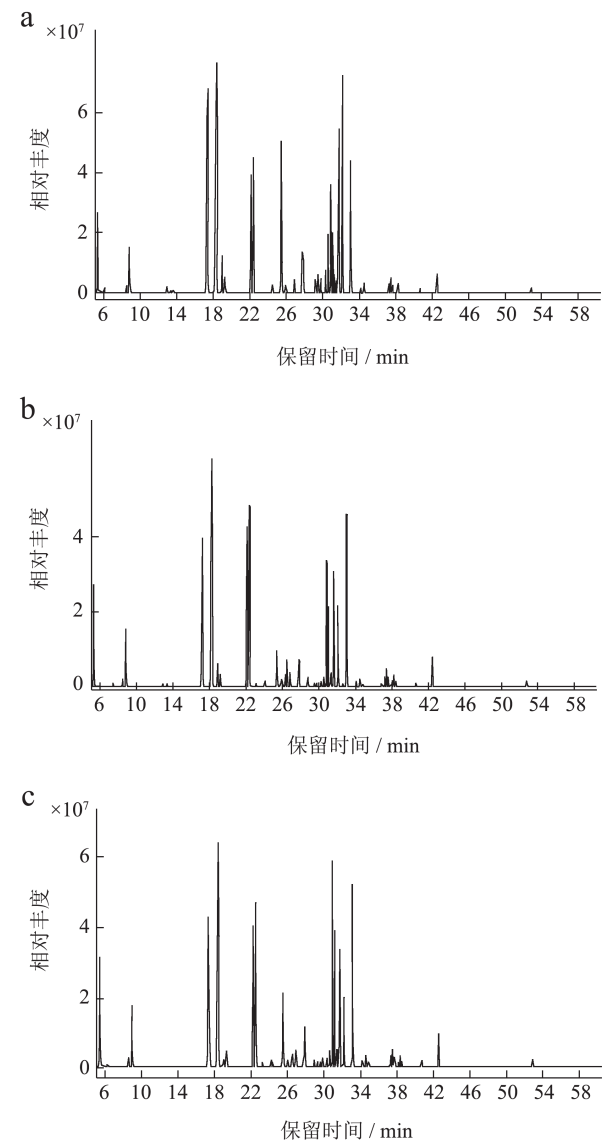


图 5 不同鲜花产地桂花纯露香气成分总离子流图

Fig.5 Total ion chromatogram of aroma components in *Osmanthus fragrans* hydrosol from different flower producing areas

注：(a) 湖北咸宁（HX）；(b) 安徽池州（AC）；(c) 湖南常德（HC）。

表 3 不同鲜花产地桂花纯露香气成分分类						
Table 3 Classification of aroma components in <i>Osmanthus fragrans</i> hydrosol from different flower producing areas						
物质分 类	湖北咸宁 (HX)		安徽池州 (AC)		湖南常德 (HC)	
	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%
醇类	14	63.31 ± 1.07 ^b	16	67.46 ± 1.82 ^a	18	65.56 ± 0.51 ^{ab}
酮类	9	13.73 ± 0.41 ^a	11	9.79 ± 0.38 ^b	11	13.64 ± 0.16 ^a
醛类	4	0.24 ± 0.01 ^b	3	0.28 ± 0.03 ^b	3	0.43 ± 0.01 ^a
烷烃类	6	2.97 ± 0.06 ^b	7	6.36 ± 0.12 ^a	7	6.70 ± 0.33 ^a
烯烃类	5	0.34 ± 0.07 ^a	2	0.12 ± 0.02 ^b	2	0.14 ± 0.01 ^b
酯类	7	13.69 ± 0.21 ^a	10	9.05 ± 0.32 ^b	9	8.40 ± 0.48 ^b
其他	6	2.54 ± 0.14 ^a	7	1.36 ± 0.27 ^b	7	1.10 ± 0.04 ^b
未知	25	3.18 ± 0.63 ^b	40	5.50 ± 1.03 ^a	43	4.03 ± 0.41 ^{ab}
合计	76		96		100	

2.4 不同鲜花产地桂花纯露香气成分物质差异分析

从三个产地鲜花提取的桂花纯露中共鉴定出 66 种物质（见表 4），Venn 图（图 6）结果表明三个产地共有的物质 43 种，湖北咸宁特有的 7 种，安徽池州特有的 2 种，湖南常德特有的 2 种，湖北咸宁与安徽池州共有 43 种，湖北咸宁与湖南常德共有 44 种，安徽池州与湖南常德共有 54 种。

对三个产地鲜花提取的桂花纯露中相对含量排名前十的物质进行比较分析（图 7），湖北咸宁鲜花提取的桂花纯露中 (E)-芳樟醇氧化物（呋喃型）相对含量最高，22.59%；(Z)-芳樟醇氧化物（呋喃型）其次，相对含量 20.19%； γ -癸内酯相对含量 12.84% 排第三；前五种物质的相对总含量达 70% 以上。安徽池州鲜花提取的桂花纯露中 (E)-芳樟醇氧化物（呋喃型）相对含量最高（23.11%），其次为 (Z)-芳樟醇氧化物（吡喃型）（12.92%），再之 (Z)-芳樟醇氧化物（呋喃型）（12.70%）和 (E)-芳樟醇氧化物（吡喃型）（10.98%），前五种物质的相对含量共达 65%。湖南常德鲜花提取的桂花纯露中 (E)-芳樟醇氧化物（呋喃型）相对含量 23.53%，(Z)-芳樟醇氧化物（呋喃型）（12.75%）和 (Z)-芳樟醇氧化物（吡喃型）（10.23%）分别排名第二和第三，前五种物质的相对含量也达 60% 以上。采用内标法比较不同产地鲜花提取的桂花纯露中重要香气活性物质的含量，结果见图 8，(Z)-芳樟醇氧化物（呋喃型）、(E)-芳樟醇氧化物（呋喃型）、芳樟醇、 α -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮和 γ -癸内酯的含量在湖北咸宁鲜花提取的桂花纯露中显著高于其他两个产地鲜花提取的。

表 4 不同鲜花产地桂花纯露香气成分含量

Table 4 Content of aroma components in <i>Osmanthus fragrans</i> hydrosol from different flower regions								
序 号	保留 时间/ min	中文名称	英文名称	CAS	分子式	湖北咸宁 HX/ (ng/L)	安徽池州 AC/ (ng/L)	湖南常德 HC/ (ng/L)
醇 类	14.22	苯甲醇	Benzylalcohol	100-51-6	C ₇ H ₈ O	—	3.38 ± 1.08	2.34 ± 0.29
	16.67	(Z)-芳樟醇氧化物 (呋喃型)	(Z)-Linalool oxide (furanoid)	5989-33-3	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	1 837.42 ± 305.58	523.46 ± 14.63	495.66 ± 25.99
	17.71	(E)-芳樟醇氧化物 (呋喃型)	(E)-Linalool oxide (furanoid)	34995-77-2	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	2 053.07 ± 309.30	952.99 ± 32.79	914.79 ± 46.39
	18.49	芳樟醇	Linalool	78-70-6	C ₁₀ H ₁₈ O	112.32 ± 22.05	49.35 ± 1.39	12.51 ± 0.62
	19.10	苯乙醇	Phenylethyl Alcohol	60-12-8	C ₈ H ₁₀ O	2.22 ± 0.52	4.06 ± 1.10	2.78 ± 0.65
	21.71	(E)-芳樟醇氧化物 (吡喃型)	(E)-linalool oxide (pyranoid)	39028-58-5	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	390.90 ± 26.36	454.84 ± 76.30	317.75 ± 46.01
	21.97	(Z)-芳樟醇氧化物 (吡喃型)	(Z)-linalool oxide (pyranoid)	14049-11-7	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	479.91 ± 32.70	534.39 ± 66.26	398.57 ± 41.59
	22.64	1-十二烷醇	1-Dodecanol	112-53-8	C ₁₂ H ₂₆ O	4.53 ± 0.49	5.65 ± 0.22	5.98 ± 0.18
	24.11	橙花醇	Nerol	106-25-2	C ₁₀ H ₁₈ O	18.96 ± 2.29	—	1.63 ± 0.25
	25.21	香叶醇	Geraniol	106-24-1	C ₁₀ H ₁₈ O	632.36 ± 109.94	52.84 ± 3.49	112.69 ± 9.39
	27.51	1-环己烯-1-乙醇,2,6,6-三甲基-	1-Cyclohexene-1-ethanol,2,6,6-trimethyl-	472-65-1	C ₁₁ H ₂₀ O	—	50.74 ± 1.09	62.22 ± 3.80
	28.53	2-(4-甲氧基苯基)乙醇	2-(4-Methoxyphenyl)ethanol	702-23-8	C ₉ H ₁₂ O ₂	—	21.97 ± 7.22	6.71 ± 1.64
	28.86	α -紫罗兰醇	α -Ionol	25312-34-9	C ₁₃ H ₂₂ O	26.26 ± 3.88	1.51 ± 0.29	3.55 ± 0.80
	29.26	1-十六醇	1-Hexadecanol	36653-82-4	C ₁₆ H ₃₄ O	4.53 ± 1.98	4.95 ± 0.46	4.83 ± 0.18
	29.96	紫罗兰醇	β -Ionol	22029-76-1	C ₁₃ H ₂₂ O	49.22 ± 6.94	7.25 ± 0.90	16.10 ± 1.52
	30.75	二氢- β -紫罗兰醇	Dihydro- β -ionol	3293-47-8	C ₁₃ H ₂₄ O	135.35 ± 22.61	115.04 ± 1.60	187.94 ± 11.45
	34.37	1-十六醇	1-Hexadecanol	36653-82-4	C ₁₆ H ₃₄ O	3.91 ± 1.26	2.78 ± 0.53	3.67 ± 1.19
	34.67	雪松醇	Cedrol	77-53-2	C ₁₅ H ₂₆ O	—	—	1.53 ± 0.35

续表 4

序 号	保留 时间/ min	中文名称	英文名称	CAS	分子式	湖北咸宁 HX/ (ng/L)	安徽池州 AC/ (ng/L)	湖南常德 HC/ (ng/L)
	14.92	(3H)-呋喃酮, 5-3-乙烯基二氢-5-甲基-2-(3H)-Furanone, 5-ethenyldihydro-5-3-methyl-		1073-11-6	C ₇ H ₁₀ O ₂	—	1.63 ± 0.08	1.32 ± 0.13
	18.76	6-乙烯基-2,2,6-三甲基氧杂-3-酮	6-ethenyl-2,2,6-trimethyloxan-3-one	33933-72-1	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	48.17 ± 8.05	34.27 ± 0.94	37.06 ± 2.02
	24.70	2-环己烯-1-酮, 5-甲基-2-(1-甲基乙基)-2-Cyclohexen-1-one, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-		5113-66-6	C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	1.57 ± 0.20
	26.39	十三烷	Tridecane	55955-46-9	C ₁₃ H ₂₈ O ₂	—	1.60 ± 0.97	—
	29.14	2-丁酮, 4-(2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-亚基)-2-Butanone, 4-(2,6,6-trimethyl-2-cyclohexen-1-ylidene)-		56052-61-0	C ₁₃ H ₂₀ O	34.32 ± 3.86	4.85 ± 0.35	4.65 ± 0.08
酮 类	29.44	2-环戊烯-1-酮, 3-甲基-2-(2-戊烯基)-, (Z)-2-Cyclopenten-1-one, 3-methyl-2-(2-pentenyl)-, (Z)-		488-10-8	C ₁₁ H ₁₆ O	25.24 ± 3.44	5.26 ± 0.29	8.87 ± 0.61
	30.23	α -紫罗兰酮	α -Ionone	127-41-3	C ₁₃ H ₂₀ O	140.59 ± 22.57	16.09 ± 0.69	20.61 ± 2.18
	30.56	二氢- β -紫罗兰酮	Dihydro- β -ionone	17283-81-7	C ₁₃ H ₂₂ O	250.56 ± 44.70	189.58 ± 0.74	329.23 ± 13.26
	31.10	2H-吡喃-2-酮, 6-戊基-2H-Pyran-2-one, 6-pentyl-		27593-23-3	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	23.43 ± 2.60	19.81 ± 0.85	20.94 ± 2.08
	31.84	-紫罗兰酮	β -ionone	14901-07-6	C ₁₃ H ₂₀ O	704.01 ± 123.63	115.50 ± 2.48	87.94 ± 4.35
	34.18	7,11-环氧巨豆-5(6)-烯-9-酮	7,11-Epoxymegastigma-5(6)-en-9-one	64243-62-5	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	20.61 ± 3.41	11.51 ± 0.83	14.84 ± 3.51
	36.55	2,4,4-三甲基-3-(3-氧代丁基)环己-2-烯酮	2,4,4-Trimethyl-3-(3-oxobutyl)cyclohex-2-enone	72008-46-9	C ₁₃ H ₂₀ O ₂	2.67 ± 0.19	3.46 ± 1.00	3.37 ± 1.54
醛 类	14.94	苯乙醛	Benzeneacetaldehyde	122-78-1	C ₈ H ₈ O	—	1.28 ± 0.31	1.55 ± 0.40
	23.74	环柠檬醛	β -Cyclocitral	432-25-7	C ₁₀ H ₁₆ O	3.19 ± 0.31	7.34 ± 1.93	10.58 ± 1.25
	23.91	2-甲基-4-辛烯醛	2-Methyl-4-octenal	30390-58-0	C ₉ H ₁₆ O	2.33 ± 0.35	2.78 ± 0.11	4.54 ± 0.50
	24.55	香橙醛	Neral	106-26-3	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	2.83 ± 0.80	—	—
	25.60	柠檬醛	Citral	5392-40-5	C ₁₀ H ₁₆ O	13.10 ± 2.51	—	—
烷 烃 类	4.95	辛烷	Octane	111-65-9	C ₈ H ₁₈	142.93 ± 19.63	128.44 ± 2.63	131.91 ± 1.28
	7.10	辛烷, 2-甲基-	Octane, 2-methyl-	3221-61-2	C ₉ H ₂₀	3.49 ± 0.27	2.97 ± 0.07	2.79 ± 0.10
	7.35	辛烷, 3-甲基-	Octane, 3-methyl-	2216-33-3	C ₉ H ₂₀	2.83 ± 0.39	2.47 ± 0.26	2.03 ± 0.22
	8.50	壬烷	Nonane	111-84-2	C ₉ H ₂₀	94.41 ± 14.26	93.27 ± 1.29	93.41 ± 1.13
	12.98	癸烷	Decane	124-18-5	C ₁₀ H ₂₂	3.72 ± 0.11	3.74 ± 0.40	3.67 ± 0.30
	22.21	2,6,10-三甲基十四烷	Tetradecane, 2,6,10-trimethyl-	56941-78-7	C ₁₀ H ₁₈ O ₃	—	6.28 ± 3.54	3.67 ± 1.60
	26.54	十三烷	Tridecane	629-50-5	C ₁₃ H ₂₈	22.07 ± 0.55	25.10 ± 2.57	22.50 ± 0.46

续表 4

序 号	保留 时间/ min	中文名称	英文名称	CAS	分子式	湖北咸宁 HX/ (ng/L)	安徽池州 AC/ (ng/L)	湖南常德 HC/ (ng/L)
烯 类	12.55	β -月桂烯	β -Myrcene	123-35-3	C ₁₀ H ₁₆	18.64 ± 6.98	2.38 ± 0.66	2.71 ± 0.35
	14.82	(E)- β -罗勒烯	(E)- β -Ocimene	3779-61-1	C ₁₀ H ₁₆	2.41 ± 1.05	—	—
	15.35	(Z)- β -罗勒烯	(Z)- β -ocimene	3338-55-4	C ₁₀ H ₁₆	5.05 ± 2.45	—	—
	19.98	1,3-环己二烯-1,2,6,6-四甲基-	1,3-Cyclohexadiene, 1,2,6,6-tetramethyl-	514-96-5	C ₁₀ H ₁₆	1.23 ± 0.22	—	—
	28.36	巨豆-4,6(E),8(E)三烯	Megastigma-4,6(E),8(E)-triene	51468-86-1	C ₁₃ H ₂₀	4.39 ± 0.96	2.63 ± 0.14	2.92 ± 0.18
	5.44	乙酸丁酯	Acetic acid, butyl ester	123-86-4	C ₆ H ₁₂ O ₂	—	0.91 ± 0.14	0.88 ± 0.10
	26.15	(6-乙烯基-2,2,6-三甲基氧杂-3-基)乙酸酯	(6-ethenyl-2,2,6-trimethyl-oxan-3-yl) acetate	56752-50-2	C ₁₂ H ₂₀ O ₃	—	53.98 ± 6.49	20.14 ± 3.34
酯 类	30.96	邻苯二甲酸二甲酯	Dimethyl phthalate	131-11-3	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	17.66 ± 1.67	17.89 ± 0.96	17.83 ± 0.08
	31.30	γ -癸内酯	γ -Decalactone	706-14-9	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	1 167.26 ± 175.83	236.53 ± 3.71	219.00 ± 17.87
	31.61	龙脑	Borneol	93043-70-0	C ₁₅ H ₂₆ O ₄	—	2.98 ± 0.61	—
	32.86	二氢猕猴桃内酯	Dihydroactinidiolide	17092-92-1	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	2.93 ± 0.50	2.49 ± 0.11	2.76 ± 0.49
	34.49	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	6846-50-0	C ₁₈ H ₃₀ O ₄	2.28 ± 1.00	1.88 ± 0.62	2.38 ± 0.55
	40.32	邻苯二甲酸二异丁酯	Diisobutyl phthalate	84-69-5	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	5.26 ± 1.09	4.66 ± 0.68	5.86 ± 4.13
	42.16	邻苯二甲酸二丁酯	Dibutyl phthalate	84-74-2	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	36.18 ± 4.49	37.96 ± 3.52	42.58 ± 13.38
其 他 类	52.59	邻苯二甲酸二酯	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	117-81-7	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	12.25 ± 2.25	15.34 ± 2.31	14.56 ± 0.60
	7.25	对二甲苯	p-Xylene	106-42-3	C ₈ H ₁₀	1.60 ± 0.28	1.36 ± 0.04	1.18 ± 0.12
	9.51	苯(1-甲基乙基)-	Benzene,(1-methylethyl)-	98-82-8	C ₉ H ₁₂	—	0.69 ± 0.08	0.62 ± 0.08
	20.38	苄腈	Benzyl nitrile	140-29-4	C ₈ H ₇ N	—	0.74 ± 0.19	1.48 ± 0.14
	26.57	甲酰胺,N,N-二丁基-	Formamide,N,N-dibutyl-	761-65-9	C ₉ H ₁₉ NO	3.60 ± 0.99	—	—
	27.40	5-甲基-2,4-二异丙基苯酚	5-Methyl-2,4-diisopropylphenol	40625-96-5	C ₁₃ H ₂₀ O	200.95 ± 33.00	27.36 ± 1.50	23.34 ± 1.38
	29.57	甲基丁香酚	Methyl eugenol	93-15-2	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	1.42 ± 0.33	—	—
	32.28	苯,1-甲氧基-4-(4-甲基-4-戊烯基)-	Benzene, 1-methoxy-4-(4-methyl-4-pentenyl)-	74672-06-3	C ₁₃ H ₁₈ O	—	3.59 ± 0.41	1.04 ± 0.14
	32.46	2,4-二叔丁基苯酚	2,4-Di-tert-butylphenol	96-76-4	C ₁₄ H ₂₂ O	1.78 ± 0.21	1.88 ± 0.30	2.00 ± 0.21
	36.95	苯酚,2-(1,1,3,3-四甲基丁基)-	phenol,2-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)-	140-66-9	C ₁₄ H ₂₂ O	21.02 ± 6.31	20.33 ± 7.96	13.26 ± 2.47

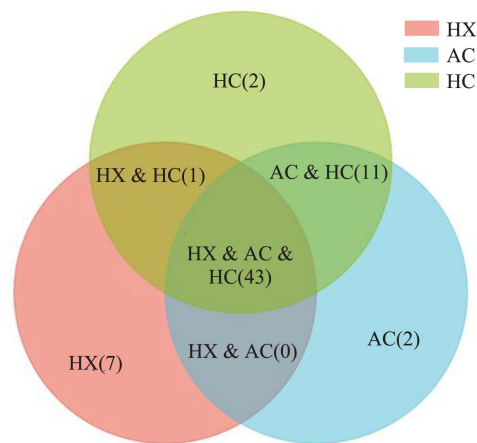


图 6 不同鲜花产地桂花纯露香气成分 VENN 图

Fig.6 VENN diagram of aroma components in *Osmanthus fragrans* hydrosol from different flower producing areas

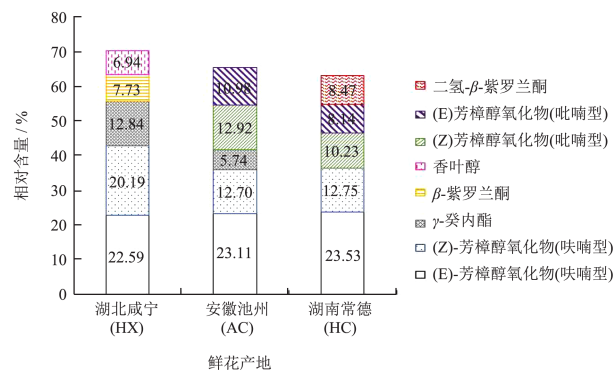


图 7 不同鲜花产地桂花纯露含量排名前五香气成分比较

Fig.7 Comparison of the top five aroma components in *Osmanthus fragrans* hydrosol from different flower producing areas

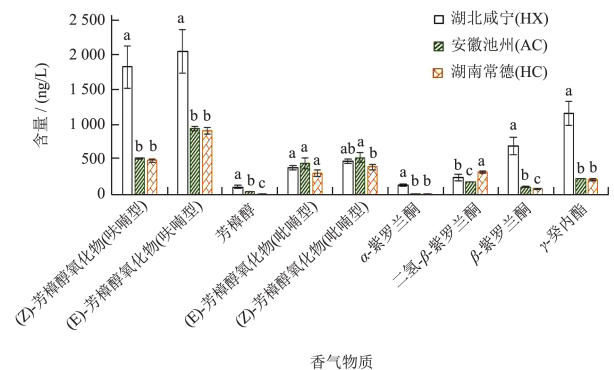


图 8 不同鲜花产地桂花纯露重要香气成分含量比较

Fig.8 Comparison of the content of important aroma active compounds in *Osmanthus fragrans* hydrosol from different flower producing areas

注：不同小写字母表示不同样品之间差异显著 ($P<0.05$)。

由上述结果可知，相较于工艺而言，不同鲜花

来源的桂花纯露香气成分差异相对较小，三个产地鲜花提取的桂花纯露中共有成分较多，主成分也保持较好的稳定性。不同产地的桂花主栽品种不同^[22,23]，关于桂花品种花香成分的研究表明^[30-32]，四大品种群最主要的香气化合物种类为醇类和酮类，聚类分析结果将丹桂品种香气归为淡甜香，大部分金桂、银桂及四季桂品种归为浓香，(Z)-氧化芳樟醇、(E)-氧化芳樟醇、芳樟醇、二氢-β-紫罗兰酮、β-紫罗兰酮和 γ-癸内酯是金桂比较重要的芳香物质。由此可见，在目前产业化无法进行品种细分的情况下，采用金桂、银桂、丹桂颜色区分加工是保证桂花纯露品质的一种可行方法。另外，湖北咸宁鲜花提取的桂花纯露中的重要香气活性物质含量显著高于其他两地，可能说明一些易挥发成分在长距离运输过程中存在损耗，关于运输距离对鲜花原料香气成分含量的影响还有待进一步研究，但长距离运输会导致桂花纯露的杂味增加是显而易见的，相较其他两地鲜花生产的桂花纯露，虽然湖北咸宁鲜花提取的桂花纯露中香气物质种类最少，但是香味鲜灵度最高，因此及时采摘加工也是保证桂花纯露品质的重要措施。

3 结论

该研究比较了水蒸馏、真空冷冻干燥和微波真空干燥三种方法提取的桂花纯露中香气成分差异，结果发现提取工艺对桂花纯露香气成分的影响较大。三种方法中共鉴定出 108 种物质，但共有物质仅 19 种，水蒸馏提取的桂花纯露中物质种类最丰富，真空冷冻干燥提取的桂花纯露中物质种类最少，β-紫罗兰酮、二氢-β-紫罗兰酮、γ-癸内酯及芳樟醇氧化物等重要香气活性物质是桂花纯露中的优势组分。水蒸馏提取的桂花纯露中重要香气活性物质含量高，但是伴随高温蒸煮造成的杂味严重；真空冷冻干燥和微波真空干燥提取的桂花纯露杂质峰较少，鲜灵度较好，真空冷冻干燥中仅少数成分含量较高，所以香味较弱；微波真空干燥提取的桂花纯露中各种香气活性物质的含量均衡，物质种类也丰富，所以香味典型且层次丰富，适合产业化大规模应用。该文还比较了湖北咸宁、安徽池州、湖南常德三个产地新鲜金桂加工的桂花纯露香气成分，共鉴定出 66 种物质，共有成分 43 种，醇类是三个产地鲜花提取的桂花纯露中的优势组分，相对含量达 60% 以上，酮类的相对含量达 10% 左右。芳樟醇氧

化物、 γ -癸内酯、二氢- β -紫罗兰酮、 β -紫罗兰酮等香气活性物质是三个产地鲜花提取的桂花纯露中的优势组分。综合分析,不同的加工工艺对桂花纯露品质的影响较大,而利用不同产地鲜花通过微波真空干燥提取的桂花纯露的优势成分比较相似,说明在工艺一致的条件下,桂花纯露产品品质较稳定,利用桂花纯露进样进一步的产品开发是可行的。该研究为桂花的综合利用和后期有效开发利用桂花纯露提供了理论基础和科学依据。

参考文献

- [1] CAI X, MAI R Z, ZOU J J, et al. Analysis of aroma-active compounds in three sweet osmanthus (*Osmanthus fragrans*) cultivars by GC-olfactometry and GC-MS [J]. Journal-Zhejiang University Science B, 2014, 15(7): 638-648.
- [2] 邹晶晶,蔡璇,曾祥玲,等.桂花不同品种开花过程中香气活性物质的变化[J].园艺学报,2017,44(8):1517-1534.
- [3] 朱琳琳,周婉飞,宁璇,等.不同桂花品种游离态香气物质分析[J].园艺学报,2022,49(11):2395-2406.
- [4] SINGH S, MISHRA A. Linalool: Therapeutic indication and their multifaceted biomedical applications [J]. Drug Research (Stuttg), 2024, 74(6): 255-268.
- [5] 刘有停,张卫红,周桐,等.桂花提取液在抗皮肤老化方面的功效研究[J].香料香精化妆品,2019,2:23-26.
- [6] YANG J, GU T, LU Y, et al. Edible *Osmanthus fragrans* flowers: aroma and functional components, beneficial functions, and applications [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 64(27): 10055-10068.
- [7] WANG FL, CHANG X, SHI Y, et al. β -Ionone enhances the inhibitory effects of 5-fluorouracil on the proliferation of gastric adenocarcinoma cells by the GSK-3 β signaling pathway [J]. PLoS One, 2024, 19(9): e0309014.
- [8] 丁艳霞,李书敏,金卓越,等.不同保存方法对桂花品质的影响[J].河南大学学报(医学版),2018,37(2):107-112.
- [9] YI F, XU H, LÜ C, et al. Comparison of three different extraction methods on *Osmanthus* volatile oil: aroma and biological Activity [J]. Chemistry & Biodiversity, 2023, 20(2): e202200658.
- [10] CÉCILE L, CHRISTIAN G, MARIE-HÉLÈNE G, et al. Hydrosols of orange blossom (*Citrus aurantium*), and rose flower (*Rosa damascena* and *Rosa centifolia*) support the growth of a heterogeneous spoilage microbiota [J]. Food Research International, 2015, 76(3): 576-586.
- [11] LEI G, MAO P, HE M, et al. Water-soluble essential oil components of fresh flowers of *Osmanthus fragrans* Lour [J]. Journal of Essential Oil Research, 2015, 28(3): 177-184.
- [12] 龙丹,洪鹏,李博洋,等.茶及植物类芳香水的加工工艺及生物活性研究进展[J].中国茶叶加工,2023,4:74-80.
- [13] 张海云,孟宪水,赵成良.玫瑰鲜花细胞液的提取[J].农产品加工,2010,5:33-34.
- [14] 徐晓俞,李爱萍,吴思逢,等.栀子鲜花花水和鲜花细胞液气相和液相的成分分析[J].中国农业科学,2020,53(22): 4710-4726.
- [15] ZENG X L, LIU C, ZHENG R R, et al. Emission and accumulation of monoterpene and the key terpene synthase (TPS) associated with monoterpene biosynthesis in *Osmanthus fragrans* Lour [J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 6: 1232.
- [16] 孙亚丽,卞建明,谢秋涛,等.基于GC-MS与电子鼻技术结合化学计量学方法分析不同品种桂花浸膏的挥发性成分[J].食品科学,2023,44(10):257-264.
- [17] 郭智鑫,郝丹丹,卞建明,等.GC-MS结合化学计量学方法分析桂花净油分子蒸馏馏分的挥发性成分[J].食品工业科技,2024,45(7):276-285.
- [18] 温福丽,蒋晓锋,贾俊杰,等.基于GC-MS结合气味活性值分析四川地区不同品种桂花的风味特征[J/OL].食品与发酵工业,1-10[2024-11-22].
- [19] 郭英杰,郭智鑫,卞建明,等.GC-MS结合OAV分析膜分离精制技术对桂花净油挥发性成分的影响[J/OL].食品科学,1-16[2024-11-22].
- [20] 郭英杰,郭智鑫,卞建明,等.气相色谱-质谱结合相对气味活性值分析不同干燥方式对桂花浸膏与净油香气成分的影响[J].食品科学,2024,45(14):151-160.
- [21] 陈柏楠,杨豪,包楹辉,等.不同工艺真空冷冻干燥桂花品质比较分析[J].现代食品科技,2021,37(2):205-212,307.
- [22] 向其柏,刘玉莲.中国桂花品种图志[M].杭州:浙江科学技术出版社,2008.
- [23] 杨康民.中国桂花[M].北京:中国林业出版社,2012.
- [24] CHEN H, ZENG X, YANG J, et al. Whole-genome resequencing of *Osmanthus fragrans* provides insights into flower color evolution [J]. Horticulture Research, 2021, 8(1): 98.
- [25] 姚胜楠.微波真空干燥法生产蜂王浆干粉的工艺研究[D].福州:福建农林大学,2018.
- [26] 邹晶晶,曾祥玲,杨洁,等.不同施肥种类对桂花精油成分的影响[J].江苏农业科学,2017,45(16):161-167.
- [27] MENG X, WANG F, FU C H, et al. Effect of osmanthus hydrolat on the aroma quality and volatile components of osmanthus black tea [J]. Food Chemistry: X, 2024, 23: 101564.
- [28] BRAGA A, BELO I. Biotechnological production of γ -decalactone, a peach like aroma, by *Yarrowia lipolytica* [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2016, 32(10): 169.
- [29] 孙可可,尹艳红,邢晓晓.不同加工温度和时间对超临界花椒精油品质的影响[J].中国调味品,2017,42(2):4.
- [30] XIN H, WU B, ZHANG H, et al. Characterization of volatile compounds in flowers from four groups of sweet osmanthus (*Osmanthus fragrans*) cultivars [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2013, 93: 923-931.
- [31] 侯丹.桂花主要品种花香和花色及其对温度变化的响应[D].杭州:浙江农林大学,2014.
- [32] LI Y, ZHAO H, XIA H X, et al. Multiomics analyses provide insights into the genomic basis of differentiation among four sweet osmanthus groups [J]. Plant Physiology, 2024, 195(4): 2815-2828.