

# 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

孙亚丽<sup>1,2,3,4</sup>, 卞建明<sup>2,\*</sup>, 谢秋涛<sup>2</sup>, 程小梅<sup>1,2,3,4</sup>, 刘伟<sup>1,2,3,4</sup>, 张菊华<sup>1,2,3,4</sup>, 李高阳<sup>1,2,3,4</sup>, 朱向荣<sup>1,2,3,4,\*</sup>  
(1.湖南大学生物学院隆平分院, 湖南长沙 410125; 2.湖南省农业科学院农产品加工研究所, 湖南长沙 410125;  
3.果蔬贮藏加工与质量安全湖南省重点实验室, 湖南长沙 410125;  
4.果蔬贮藏加工与质量安全国际联合实验室, 湖南长沙 410125)

**摘要:** 采用气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 和电子鼻技术结合化学计量学方法对不同品种桂花浸膏挥发性成分和整体气味进行分析。结果表明: GC-MS检测到4种桂花浸膏中共65种, 8大类挥发性成分, 包括醇类28种、酮类6种、醛类4种、酚类4种、酸类4种、烷烃类5种、酯类8种、其他类物质6种, 其中醇类、酮类和酯类是桂花浸膏挥发性成分的主要贡献物质。GC-MS Venn图和聚类热图表明, 4种桂花浸膏中各挥发性成分的种类和含量有显著差异。采用偏最小二乘判别分析确定了4种桂花浸膏的9种差异性特征挥发成分, 分别为正四十烷、氟丙酸、二氢- $\beta$ -紫罗兰醇、二十八烷醇、棕榈酸、醋酸(9Z,12E)-9,12-四环戊二烯、2,3-二甲基环己醇、二氢- $\beta$ -紫罗兰酮和豆甾醇。电子鼻结果显示, W2W、W2S、W1W、W1S、W5S是区分不同桂花浸膏气味的主要传感器。4种桂花浸膏的整体气味区分度较好, 浏阳金桂和浏阳银桂浸膏挥发性成分更为接近, 咸宁金桂和浏阳丹桂浸膏有较为明显的区别, 这与GC-MS聚类分析结果一致。本研究结果表明基于挥发性成分对不同品种的桂花浸膏区分别具有可行性。

**关键词:** 桂花浸膏; 挥发性成分; 电子鼻; 气相色谱-质谱技术; 化学计量学

## Analysis of Volatile Components of *Osmanthus fragrans* Extracts from Different Varieties by GC-MS and Electronic Nose Combined with Chemometrics

SUN Yali<sup>1,2,3,4</sup>, BIAN Jianming<sup>2,\*</sup>, XIE Qiutao<sup>2</sup>, CHENG Xiaomei<sup>1,2,3,4</sup>, LIU Wei<sup>1,2,3,4</sup>,  
ZHANG Juhua<sup>1,2,3,4</sup>, LI Gaoyang<sup>1,2,3,4</sup>, ZHU Xiangrong<sup>1,2,3,4,\*</sup>

- (1. Longping Branch, College of Biology, Hunan University, Changsha 410125, China;  
2. Agricultural Product Processing Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China;  
3. Hunan Key Lab of Fruits & Vegetables Storage, Processing, Quality and Safety, Changsha 410125, China;  
4. International Joint Lab on Fruits & Vegetables Processing, Changsha 410125, China)

**Abstract:** Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and electronic nose combined with chemometrics were used to analyze the volatile components and overall odor of *Osmanthus fragrans* extracts from four different varieties. The results showed that a total of 65 volatile components from eight chemical classes were identified, including 28 alcohols, 6 ketones, 4 aldehydes, 4 phenols, 4 acids, 5 alkanes, 8 esters and 6 other substances. Alcohols, ketones and esters were the main volatile components in *O. fragrans* extracts. Venn diagram and cluster heatmap showed that the types and contents of volatile components in the four *O. fragrans* extracts were significantly different. By partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), nine differential volatile components between these *O. fragrans* extracts were identified, namely, tetracontane, propanoic acid, 1-cyclohexene-1-propanol, 1-octacosanol, palmitic acid, 9,12-tetradecadien-1-ol, cyclohexanol,

收稿日期: 2022-08-20

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2017YFD0401303)

第一作者简介: 孙亚丽 (1995—) (ORCID: 0000-0001-9695-9686), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬贮藏及加工。

E-mail: 1907229833@qq.com

\*通信作者简介: 卞建明 (1972—) (ORCID: 0000-0003-4495-3199), 男, 副研究员, 硕士, 研究方向为农产品加工与综合利用。E-mail: 2509818513@qq.com

朱向荣 (1978—) (ORCID: 0000-0002-4468-7612), 男, 研究员, 博士, 研究方向为果蔬贮藏及加工。

E-mail: xiangrongchu@163.com

2-butanone, and stigmasterol. The results of electronic nose showed that W2W, W2S, W1W, W1S and W5S were the main sensors to distinguish the odors of different *O. fragrans* extracts. The overall odors of the four *O. fragrans* extracts were discriminated well. The volatile components of Liuyang Luteus Group and Liuyang Albus Group extracts were more similar, while those of Xianning Luteus Group and Liuyang Aurantiacus Group extracts were significantly different, which was consistent with the results from GC-MS and cluster analysis. The research findings showed that it was feasible to distinguish *O. fragrans* extracts from different varieties based on volatile substances.

**Keywords:** *Osmanthus fragrans* extract; volatile components; electronic nose; gas chromatography-mass spectrometry; chemometrics

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220820-238

中图分类号: TS207

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2023)10-0257-08

引文格式:

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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220820-238. <http://www.spkx.net.cn>

SUN Yali, BIAN Jianming, XIE Qiutao, et al. Analysis of volatile components of *Osmanthus fragrans* extracts from different varieties by GC-MS and electronic nose combined with chemometrics[J]. Food Science, 2023, 44(10): 257-264. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220820-238. <http://www.spkx.net.cn>

桂花 (*Osmanthus fragrans* Lour.) 是木犀科木犀属植物, 属于常绿灌木或乔木<sup>[1]</sup>, 有金桂、银桂、丹桂等多种品种<sup>[2]</sup>, 在我国湖北、湖南、浙江、广西等地广泛栽培<sup>[3]</sup>。桂花作为我国重要的经济香花植物, 其提取物桂花浸膏是食品和化妆品香精的重要来源之一<sup>[4-5]</sup>。桂花浸膏因桂花品种<sup>[6]</sup>、产地<sup>[7]</sup>、提取方式<sup>[8]</sup>等不同, 其挥发性成分存在差异, 浸膏产品质量存在较大波动<sup>[9]</sup>。目前桂花浸膏的品质鉴别主要依赖于闻香员的感官评估<sup>[10]</sup>, 观测结果较为主观<sup>[11]</sup>。采用仪器分析技术可对不同品种的桂花浸膏的挥发性成分进行鉴定和量化, 对桂花浸膏的质量评价和标准规范有着重要意义。

电子鼻是一种表征气味物质整体特征信息的检测仪器<sup>[12]</sup>, 相比于人工感官评定, 其结果较为客观, 同时具备简便、高效、无损、稳定性好等优点, 但无法分析出每种挥发性成分种类及其含量。而气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 技术可以准确定性和定量样品中挥发性物质<sup>[13]</sup>。电子鼻与GC-MS结合极大发挥了仪器的优势, 使挥发性成分分析更为全面<sup>[14]</sup>。Wang Limei等<sup>[4]</sup>利用顶空固相微萃取对不同花期桂花制成的精油挥发性成分的分析结果表明, 桂花精油的挥发性成分与采花期有关。夏必帮等<sup>[15]</sup>优化了微波-蒸馏萃取法提取桂花精油的工艺, 并探究了桂花精油的挥发性成分。张璟琳等<sup>[16]</sup>对3种不同商业品牌桂花浸膏进行分析, 桂花浸膏的挥发性成分具有显著差异。张雪松等<sup>[17]</sup>对不同酶处理的桂花浸膏研究表明, 桂花加工工艺对浸膏的挥发性成分有显著影响。目前, 关于桂花浸膏挥发性成分的研究主要集中在采花期、提取工艺优化、不同商业品牌来源、桂花的加工方式等方面, 鲜有采用GC-MS和电子鼻对不同品种桂花浸膏挥发性成分的相关研究。

本实验选取咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂4个桂花品种, 利用索氏抽提法制成浸膏, 采用GC-MS对其挥发性成分种类和相对含量进行测定; 使用聚类分析比较4种桂花浸膏挥发性成分差异, 偏最小二乘判别分析 (partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA) 确定样品间特征性挥发成分, 然后采用电子鼻结合主成分分析 (principal component analysis, PCA)、线性判别分析 (linear discriminant analysis, LDA) 对4个不同品种桂花浸膏进行区分与验证, 以期对桂花浸膏挥发性成分鉴别提供一种客观、高效、准确的方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

桂花: 2021年10月在湖北省咸宁市采摘咸宁金桂, 在湖南省浏阳市采摘浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂, 各10 kg。采摘后立即进行分选和预冷处理, 然后进行真空冷冻干燥, 60目粉碎, 装入密封袋, 置于干燥皿, 实验备用。

石油醚 (分析纯) 天津市化学试剂六厂; 正己烷 (色谱纯) 赛默飞世尔科技 (中国) 有限公司。

### 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; XA-1型高速万能粉碎机、WT0200型电子天平 上海精密科学仪器有限公司; 索氏抽提装置 巩义英峪仪器厂; RF01旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂; 6890N-5975B GC-MS仪 美国安捷伦科技公司; PEN3电子鼻 德国Airsense公司。

1.3 方法

1.3.1 桂花浸膏提取

采用索氏抽提法进行提取。准确称量50 g桂花粉末，用滤纸筒进行分装，取1 L石油醚使其完全浸泡，40 °C回流提取6 h。将提取液置于平底烧瓶中，旋转蒸发回收溶剂，40 °C干燥获得桂花浸膏。每组实验做3个平行。

1.3.2 桂花浸膏GC-MS分析

取1 g桂花浸膏，用正己烷稀释并定容至10 mL。取1.5 mL稀释液进行GC-MS分析。

GC条件：色谱柱HP-5MS (30 m×0.25 mm, 0.25 μm)；载气为He，流速1.0 mL/min；不分流模式；进样口温度250 °C；升温程序：50 °C保持1 min；以10 °C/min升温至100 °C，保持2 min；然后以5 °C/min升温至230 °C，保持20 min；再以5 °C/min升温至300 °C，保持20 min。

MS条件：电子电离源；电子能量70 eV；接口温度为230 °C；全扫描模式；扫描质量范围m/z 45~450。

定性定量分析：对总离子流图中各峰经质谱计算机数据系统检索、人工解析图谱及与NIST质谱库匹配并参考有关文献定性确定化合物，仅保留匹配度大于80的成分。用各化合物成分峰面积占总峰面积的比值表示各化学成分相对含量。

1.3.3 桂花浸膏的电子鼻分析

取1 g浸膏于20 mL顶空进样瓶内，30 °C水浴锅内保温10 min，然后在室温平衡30 min，取顶空气体进行检测。每次采样完成，需进行洗气，使其恢复到初始状态，再重复进样。每个样品平行3次。电子鼻参数：样品检测时间100 s；清洗传感器时间300 s；自动调零10 s；进样流量400 mL/min。PEN3电子鼻10个传感器的性能描述如表1所示。

表1 PEN3所用传感器及其性能描述

Table 1 Performance description of electronic nose sensors

传感器名称	性能描述
W1C	芳香成分
W5S	灵敏度大，对氮氧化物很灵敏
W3C	氨水，对芳香胺类成分灵敏
W6S	主要对氢气(氢化物)有选择性
W5C	烷烃芳香成分
W1S	对甲基类灵敏
W1W	对硫化物灵敏
W2S	对醇类、醛酮类灵敏
W2W	芳香成分，对有机硫化物灵敏
W3S	对烷烃灵敏

1.4 数据处理

使用IBM SPSS Statistics 26.0软件进行数据差异显著性分析，P<0.05，差异显著，P<0.01，差异极显著；由SIMCA 14.1软件对GC-MS数据进行PLS-DA并绘图；电子鼻数据的PCA得分图、载荷图及LDA得分图由WinMuster软件制作；其他图使用Origin 2021软件制作。

2 结果与分析

2.1 GC-MS检测结果分析

2.1.1 桂花浸膏挥发性化合物的组成分析

由表2可知，4种桂花浸膏中，共检测到65种挥发性成分，其中醇类28种、酮类6种、醛类4种、酚类4种、酸类4种、烷烃类5种、酯类8种、其他类物质6种，共8大类。

表2 4种桂花浸膏的挥发性成分种类及相对含量

Table 2 Types and relative contents of volatile components in four

*O. fragrans* extracts

序号	保留时间/min	挥发性成分	相对含量/%			
			咸宁金桂	浏阳金桂	浏阳银桂	浏阳丹桂
1	7.593	氧化芳樟醇	0.81±0.01 <sup>b</sup>	2.14±0.01 <sup>a</sup>	0.58±0.09 <sup>f</sup>	0.69±0.09 <sup>k</sup>
2	12.207	香叶醇	0.75±0.16	—	—	—
3	13.348	丁香醇	0.37±0.09 <sup>b</sup>	0.07±0.00 <sup>b</sup>	—	—
4	9.996	反式-氧化芳樟醇	2.27±0.01 <sup>b</sup>	2.65±0.08 <sup>a</sup>	1.91±0.05 <sup>e</sup>	1.48±0.04 <sup>d</sup>
5	17.279	二氢-β-紫罗兰醇	3.42±0.09 <sup>b</sup>	1.57±0.04 <sup>e</sup>	3.71±0.02 <sup>d</sup>	—
6	23.734	异长叶醇	0.93±0.09 <sup>a</sup>	0.10±0.00 <sup>b</sup>	—	—
7	31.526	叶醇	0.48±0.00 <sup>b</sup>	0.16±0.01 <sup>d</sup>	0.81±0.04 <sup>d</sup>	0.28±0.01 <sup>f</sup>
8	29.808	二十烷醇	0.75±0.00 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>d</sup>	0.30±0.01 <sup>f</sup>	0.39±0.04 <sup>d</sup>
9	58.097	二十六烷醇	0.52±0.04 <sup>b</sup>	—	1.53±0.25 <sup>d</sup>	—
10	42.313	二十七烷醇	0.59±0.01 <sup>b</sup>	—	2.01±0.25 <sup>d</sup>	—
11	58.753	二十八烷醇	5.96±0.51 <sup>a</sup>	0.59±0.05 <sup>d</sup>	2.31±0.16 <sup>d</sup>	1.45±0.01 <sup>f</sup>
12	45.506	油醇	0.97±0.01	—	—	—
13	67.212	岩皂甾醇	6.46±0.48 <sup>b</sup>	8.63±0.12 <sup>a</sup>	8.57±0.11 <sup>a</sup>	8.72±0.24 <sup>a</sup>
14	66.208	菜油甾醇	3.82±0.45 <sup>b</sup>	0.98±0.01 <sup>e</sup>	1.45±0.07 <sup>k</sup>	2.02±0.64 <sup>d</sup>
15	67.535	豆甾醇	3.73±0.04 <sup>b</sup>	2.39±0.01 <sup>e</sup>	2.91±0.12 <sup>e</sup>	4.17±0.14 <sup>d</sup>
16	67.848	植物甾醇	5.27±0.14 <sup>e</sup>	5.33±0.12 <sup>e</sup>	7.68±0.09 <sup>b</sup>	9.64±0.09 <sup>b</sup>
17	67.325	钝叶醇	—	—	—	0.43±0.01
18	69.204	羊毛甾醇	0.55±0.04 <sup>b</sup>	0.53±0.01 <sup>b</sup>	0.98±0.01 <sup>f</sup>	0.44±0.00 <sup>f</sup>
19	72.725	乌发醇	3.06±0.01 <sup>b</sup>	1.94±0.09 <sup>f</sup>	1.86±0.01 <sup>f</sup>	6.19±0.72 <sup>d</sup>
20	70.915	羽扇豆醇	0.18±0.01 <sup>e</sup>	0.20±0.01 <sup>b</sup>	0.22±0.00 <sup>f</sup>	—
21	53.773	2,3-二甲基环己醇	0.08±0.00 <sup>f</sup>	1.58±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.00 <sup>b</sup>	—
22	39.452	山萘醇	0.72±0.05	—	—	—
23	27.845	合金欢醇	0.19±0.00	—	—	—
24	8.194	芳樟醇	0.29±0.01 <sup>a</sup>	—	0.14±0.00 <sup>b</sup>	—
25	45.501	亚麻醇	—	1.91±0.21	—	—
26	30.954	十六烷醇	—	—	0.11±0.01	—
27	68.995	α-香树脂醇	—	—	—	0.87±0.05
28	68.409	汉地醇	—	—	—	0.36±0.00
醇类			42.17±0.50 <sup>b</sup>	30.89±0.18 <sup>c</sup>	37.29±0.49 <sup>b</sup>	37.13±0.29 <sup>b</sup>
29	17.115	二氢-β-紫罗兰酮	2.76±0.04 <sup>d</sup>	3.13±0.02 <sup>c</sup>	4.30±0.01 <sup>a</sup>	3.37±0.04 <sup>d</sup>
30	26.341	植酮	0.46±0.04 <sup>e</sup>	0.54±0.09 <sup>f</sup>	0.87±0.01 <sup>b</sup>	1.16±0.09 <sup>b</sup>
31	35.968	四氢-6-壬基-2H-吡喃-2-酮	0.14±0.00	—	—	—
32	56.935	青蒿酮	0.22±0.01	—	—	—

续表2

序号	保留时间/min	挥发性成分	相对含量/%			
			咸宁金桂	浏阳金桂	浏阳银桂	浏阳丹桂
33	9.661	环癸酮	—	—	—	0.32±0.04
34	27.043	加氢甲基萘酮	—	—	—	0.69±0.03
<b>醇类</b>						
35	8.298	壬醛	3.58±0.07 <sup>c</sup>	3.67±0.08 <sup>c</sup>	5.17±0.02 <sup>b</sup>	5.54±0.12 <sup>a</sup>
36	25.738	十六醛	0.18±0.01 <sup>c</sup>	0.36±0.04 <sup>b</sup>	0.39±0.04 <sup>b</sup>	0.69±0.01 <sup>a</sup>
37	29.795	正十五醛	0.07±0.02 <sup>c</sup>	0.16±0.01 <sup>b</sup>	0.14±0.01 <sup>b</sup>	0.50±0.04 <sup>a</sup>
38	70.707	白樟脂醛	0.08±0.01 <sup>d</sup>	0.62±0.04 <sup>c</sup>	0.85±0.06 <sup>c</sup>	1.33±0.01 <sup>b</sup>
<b>醛类</b>						
39	64.691	VE	0.68±0.33 <sup>d</sup>	1.14±0.03 <sup>c</sup>	1.38±0.06 <sup>c</sup>	2.71±0.03 <sup>b</sup>
40	18.883	2,4-二叔丁基苯酚	2.68±0.14 <sup>b</sup>	2.81±0.05 <sup>b</sup>	3.63±0.16 <sup>a</sup>	1.49±0.09 <sup>c</sup>
41	37.536	4-甲基-6-叔丁基苯酚	0.16±0.00 <sup>c</sup>	0.10±0.00 <sup>b</sup>	0.08±0.02 <sup>b</sup>	0.16±0.00 <sup>c</sup>
42	16.187	甲基丁香酚	0.38±0.09 <sup>a</sup>	0.23±0.04 <sup>b</sup>	—	—
<b>酯类</b>						
43	39.986	棕榈酸	—	—	0.10±0.00	—
44	66.261	氟丙酸	3.22±0.23 <sup>b</sup>	3.14±0.78 <sup>b</sup>	3.78±0.14 <sup>a</sup>	1.65±0.09 <sup>d</sup>
45	52.118	油酸酰胺	5.70±0.22 <sup>b</sup>	2.08±0.10 <sup>b</sup>	1.32±0.06 <sup>d</sup>	1.60±0.02 <sup>c</sup>
46	10.471	丁酸	6.64±0.01 <sup>a</sup>	3.43±0.14 <sup>a</sup>	8.21±0.10 <sup>a</sup>	7.88±0.14 <sup>b</sup>
<b>酸类</b>						
47	43.319	二十烷	0.87±0.04 <sup>a</sup>	—	0.63±0.01 <sup>b</sup>	—
48	33.067	二十一烷	—	0.34±0.01	—	—
49	61.161	三十六烷	13.21±0.24 <sup>a</sup>	5.85±0.55 <sup>d</sup>	10.16±0.19 <sup>b</sup>	9.48±0.13 <sup>c</sup>
50	58.952	正四十烷	1.00±0.01 <sup>b</sup>	1.26±0.04 <sup>a</sup>	1.30±0.01 <sup>b</sup>	1.25±0.08 <sup>c</sup>
51	64.202	五十四烷	0.15±0.01 <sup>d</sup>	0.52±0.01 <sup>b</sup>	0.71±0.02 <sup>a</sup>	0.32±0.01 <sup>c</sup>
<b>烷烃类</b>						
52	17.806	丙位萹内酯	0.81±0.09 <sup>a</sup>	0.44±0.00 <sup>b</sup>	—	0.74±0.04 <sup>a</sup>
53	59.935	亚麻酸乙酯	8.14±0.10 <sup>a</sup>	18.25±0.07 <sup>b</sup>	18.81±0.12 <sup>a</sup>	13.22±0.01 <sup>c</sup>
54	47.239	1-亚油酸单甘油酯	1.01±0.01 <sup>b</sup>	0.62±0.01 <sup>c</sup>	0.68±0.01 <sup>b</sup>	0.68±0.04 <sup>b</sup>
55	28.754	邻苯二甲酸二丁酯	11.11±0.17 <sup>a</sup>	21.09±0.03 <sup>b</sup>	21.50±0.12 <sup>a</sup>	16.21±0.18 <sup>c</sup>
56	61.841	硬脂酸乙酯	0.13±0.04 <sup>b</sup>	0.35±0.09 <sup>a</sup>	0.18±0.04 <sup>b</sup>	0.21±0.00 <sup>c</sup>
57	19.436	二氢猕猴桃内酯	2.01±0.01	—	—	—
58	54.923	十六酸乙酯	2.07±0.36 <sup>a</sup>	1.44±0.04 <sup>b</sup>	—	—
59	31.295	亚麻酸甲酯	2.07±0.36 <sup>a</sup>	1.44±0.04 <sup>b</sup>	1.94±0.16 <sup>b</sup>	2.94±0.06 <sup>c</sup>
<b>脂类</b>						
60	55.843	反式角鲨烯	—	2.11±0.01	—	—
61	60.227	氧化乙烯	—	—	—	2.32±0.04
62	39.171	十六烷基磺酰肼	5.67±0.32 <sup>b</sup>	6.16±0.98 <sup>a</sup>	2.12±0.29 <sup>c</sup>	5.47±0.09 <sup>d</sup>
63	34.343	1-十九烯	3.85±0.51 <sup>b</sup>	2.83±0.09 <sup>c</sup>	3.28±0.01 <sup>c</sup>	4.41±0.02 <sup>a</sup>
64	17.954	1-石竹烯	1.28±0.01 <sup>a</sup>	0.73±0.00 <sup>b</sup>	—	0.81±0.01 <sup>b</sup>
65	38.887	醋酸(9Z,12E)-9,12-四环戊二烯	7.94±1.17 <sup>a</sup>	2.08±0.09 <sup>b</sup>	—	—
<b>其他类</b>						
			15.40±0.59 <sup>a</sup>	5.64±0.09 <sup>b</sup>	5.80±0.05 <sup>c</sup>	8.60±0.06 <sup>d</sup>

注：—未检出；同行不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

如图1所示,在咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂4种浸膏中分别鉴定出52、42、43种和44种化合物。其中,4种桂花浸膏共有成分有28种;此外,咸宁金桂和浏阳金桂浸膏共有成分有5种,咸宁金桂和浏阳银桂浸膏共有成分有4种,咸宁金桂和浏阳丹桂浸膏共有成分有1种,浏阳银桂和浏阳丹桂浸膏共有成分有1种。检测到4种桂花浸膏具有各自不同的挥发性化合物,在咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂浸膏检测到了8、4、2、7种独有成分。因此,4种桂花浸膏挥发性成分的种类具有明显差异。

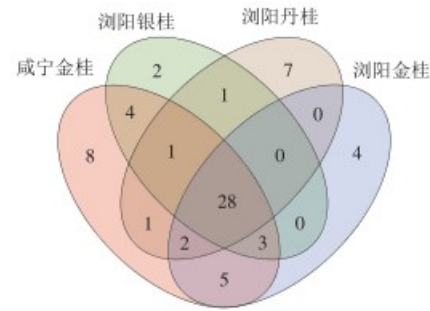


图1 4种桂花浸膏挥发性成分种类分析  
Fig. 1 Venn diagram of shared and unique volatile compounds identified in four *O. fragrans* extracts

4种桂花浸膏中,醇类物质种类最多,相对含量最高,是桂花浸膏挥发性成分的主要贡献物质<sup>[3]</sup>。醇类在咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂浸膏中相对含量分别为42.17%、30.89%、37.29%、37.13%,具有一定差异。其中咸宁金桂浸膏中醇类物质相对含量最高,其次为浏阳银桂浸膏和浏阳丹桂浸膏,浏阳金桂浸膏含量最低。不饱和醇类物质嗅觉阈值普遍偏低<sup>[18]</sup>,因而对桂花浸膏的整体风味贡献最大。氧化芳樟醇、反式-氧化芳樟醇、二氢- $\beta$ -紫罗兰醇和芳樟醇4种不饱和醇类已被证明是桂花浸膏的主要香气物质<sup>[19-21]</sup>。氧化芳樟醇和反式-氧化芳樟醇是4种桂花浸膏共有成分;氧化芳樟醇贡献樟脑等弱木香型的香气<sup>[22]</sup>,在咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂浸膏中相对含量分别为0.81%、2.14%、0.58%和0.69%;反式-氧化芳樟醇贡献柔甜持久的紫罗兰花香和蜜蜡香,相对含量分别为2.27%、2.65%、1.91%和1.48%,浏阳金桂浸膏中的氧化芳樟醇和反式-氧化芳樟醇含量最高。二氢- $\beta$ -紫罗兰醇贡献木质花香、樟脑气息<sup>[23]</sup>,在咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂浸膏中相对含量为3.42%、1.57%、3.71%,差异显著 ( $P<0.05$ );而浏阳丹桂浸膏不含二氢- $\beta$ -紫罗兰醇。芳樟醇贡献清甜鲜嫩的铃兰花香<sup>[24]</sup>,是咸宁金桂和浏阳银桂浸膏的共有成分,含量分别为0.29%、0.14%,差异显著 ( $P<0.05$ )。

酯类物质在4种桂花浸膏中相对含量少,其中二氢- $\beta$ -紫罗兰酮为4种桂花浸膏的共有成分,贡献柔甜花香<sup>[23]</sup>,其嗅觉阈值低,相对含量高,是桂花浸膏的主要风味物质。浏阳银桂浸膏中二氢- $\beta$ -紫罗兰酮含量最高,其次为浏阳丹桂、浏阳金桂和咸宁金桂浸膏,相对含量分别为4.30%、3.37%、3.13%和2.76%,差异显著 ( $P<0.05$ )。

不饱和醛类对桂花浸膏主要贡献青草香等香气。其中,壬醛是4种桂花浸膏共有成分,贡献油脂、青草以

及类似于柑橘香气<sup>[25]</sup>, 浏阳丹桂中含量最高为0.69%。白樟脂醛是咸宁金桂浸膏独有的香气物质, 具有愉悦的木香。浏阳产地的桂花浸膏醛类物质相对含量高于咸宁金桂浸膏, 差异显著 ( $P < 0.05$ )。

酚类和酸类在桂花浸膏中相对含量少。酚类物质中, VE和2,4-二叔丁基苯酚是4种桂花浸膏的共有成分; 甲基丁香酚是浏阳银桂的独有香气物质, 具有强烈的丁香香气和辛香香气。酸类物质中, 氟丙酸和棕榈酸是4种桂花浸膏的共有成分; 棕榈酸属于饱和脂肪酸, 在咸宁金桂中含量最高, 为5.70%。

烷烃类物质相对含量较高, 可为桂花浸膏提供蜡质气息。在咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂浸膏中相对含量分别为11.11%、21.09%、21.50%和16.21%。其中, 二十烷、二十一烷、正四十烷、五十四烷为4种桂花浸膏的共有成分, 相对含量较高的烷烃为正四十烷。烷烃类物质嗅觉阈值较高, 对桂花浸膏的整体香气贡献较小, 主要起到定香的作用<sup>[3]</sup>。

酯类贡献清甜的果香和油脂的芳香气味, 可以使桂花浸膏的香气更浓郁。丙位癸内酯是4种桂花浸膏共有成分, 贡献桃子般香甜气味, 在浏阳金桂中相对含量最高为0.35%。长链酯类物质本身没有明显的气味特征, 属于非香气成分, 一般通过影响香料中其他香气成分的释放影响浸膏的整体香气<sup>[26]</sup>。1-亚油酸单甘油酯是咸宁金桂浸膏和浏阳金桂浸膏的共有成分。亚麻酸乙酯、亚麻酸甲酯是咸宁金桂浸膏的独有成分, 十六酸乙烯酯、硬脂酸乙烯酯是浏阳金桂浸膏的独有成分, 二氢猕猴桃内酯具有微带奶香的水果味香甜气息<sup>[27]</sup>, 是浏阳丹桂的独有成分。咸宁金桂浸膏中的长链酯类物质种类多、相对含量高, 使其香气更为复杂和浓郁。邻苯二甲酸酯类是一种内分泌干扰物质, 具有急性毒性、致癌性、生殖毒性<sup>[28]</sup>。本研究采用索氏抽提法得到的4种桂花浸膏均含有邻苯二甲酸二丁酯, 其在咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂浸膏中相对含量分别为1.33%、1.64%、1.94%和2.94%, 差异显著 ( $P < 0.05$ ), 在咸宁金桂浸膏中含量最低。

综上, 4种桂花浸膏中挥发性成分种类和相对含量存在显著差异, 这与Deng Chunhui<sup>[29]</sup>和钱蕾<sup>[23]</sup>等的研究结果一致。醇类是桂花浸膏挥发性成分的主要贡献物质, 其次是酯类、酮类。咸宁金桂浸膏中典型挥发性成分种类和相对含量较多, 邻苯二甲酸酯类含量少, 相对于其他3种桂花浸膏, 用于香精香料更有优势。

2.1.2 GC-MS数据的聚类分析

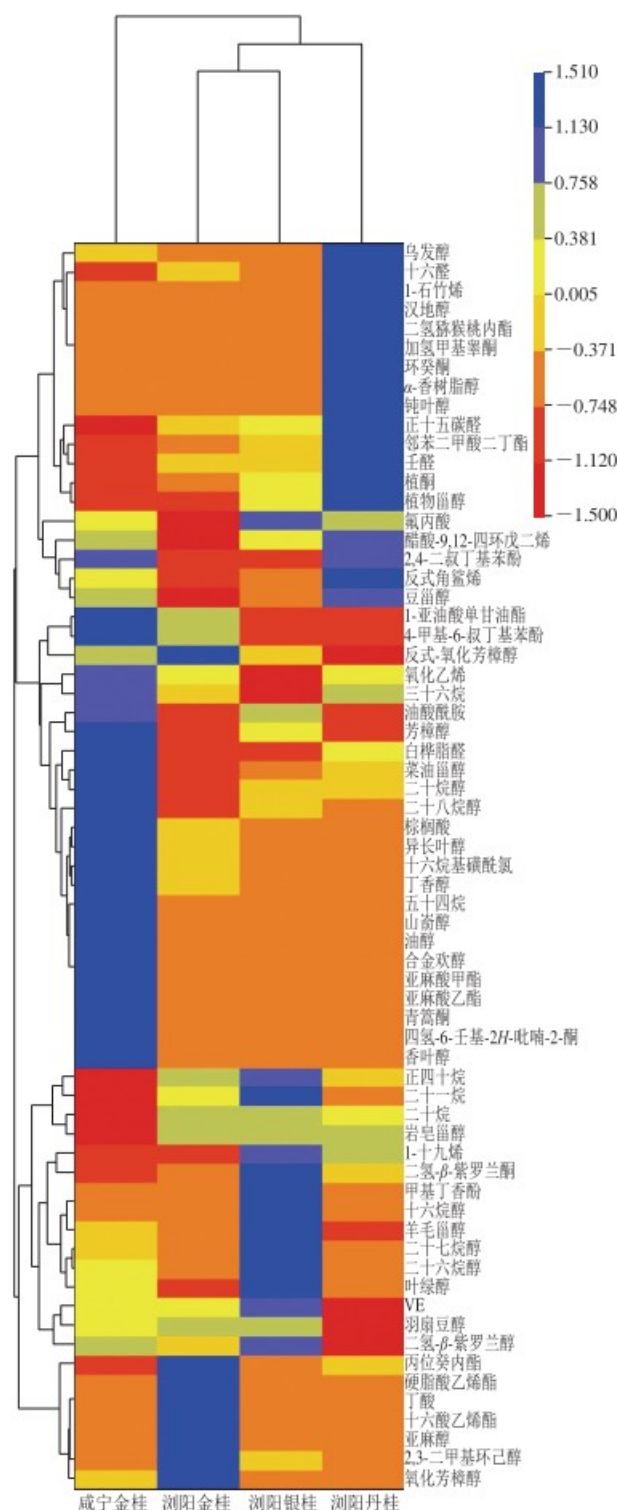


图2 4种桂花浸膏挥发性化合物聚类热图

Fig. 2 Clustering heatmap of volatile compounds in four *O. fragrans* extracts

由图2可知, 4种桂花浸膏挥发性成分相互区分, 浏阳金桂和浏阳银桂浸膏距离较近, 和咸宁金桂、浏阳丹

桂浸膏距离较远,说明浏阳金桂和浏阳银桂浸膏的挥发性成分相近,与咸宁金桂、浏阳丹桂浸膏挥发性成分差异较大。4种桂花浸膏中含量高的化合物有氧化芳樟醇、反式-氧化物芳樟醇、岩皂甙醇、菜油甙醇、豆甙醇、植物甙醇、乌发醇、二氢- $\beta$ -紫罗兰酮、反式角鲨烯、棕榈酸、氟丙酸、VE、二十烷和正四十烷,这与吴雷<sup>[9]</sup>和张璟琳<sup>[16]</sup>等的研究结果一致。

### 2.1.3 GC-MS数据的PLS-DA模型

建立PLS-DA模型对4种桂花浸膏进行区分,探究不同品种桂花浸膏之间的特征挥发性成分。如图3所示,咸宁金桂浸膏位于横坐标右侧,浏阳地区浸膏位于横坐标左侧,区分明显;浏阳丹桂浸膏位于第3象限,浏阳金桂和浏阳银桂位于第2象限,差别没有咸宁金桂和浏阳丹桂浸膏明显,但可以区分。基于挥发性化合物相对含量的差异,PLS-DA模型可明显区分4个不同品种桂花浸膏。

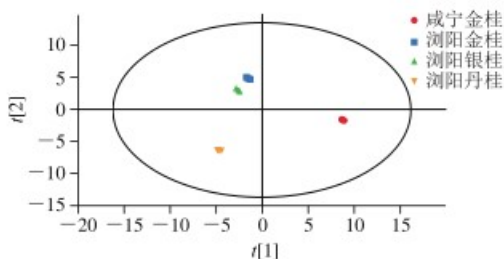
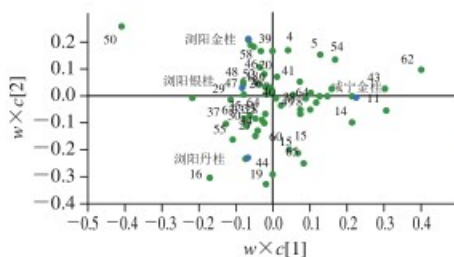


图3 4种桂花浸膏挥发性化合物PLS-DA得分图

Fig. 3 PLS-DA score plot of volatile compounds of four *O. fragrans* extracts

由图4可知,在桂花浸膏样品中,二十八烷醇(11)、菜油甙醇(14)、棕榈酸(43)、亚麻酸乙酯(53)和十六烷基磺酰氯(62)等化合物在载荷图中的位置与咸宁金桂浸膏在得分图的位置相近,且距离中心原点和主要化合物团远,表明这些化合物是咸宁金桂浸膏的主要挥发性物质。同理,氧化芳樟醇(1)、2,3-二甲基环己醇(21)、亚麻醇(25)和硬脂酸乙烯酯(56)等化合物是浏阳金桂浸膏的主要挥发性物质;岩皂甙醇(13)、二氢- $\beta$ -紫罗兰酮(29)和正四十烷(50)是浏阳银桂浸膏的主要挥发性物质;植物甙醇(16)、乌发醇(19)、氟丙酸(44)和二氢猕猴桃内酯(57)是浏阳丹桂浸膏的主要挥发性物质。



图中化合物编号与表2中对应,图6同。

图4 4种桂花浸膏挥发性化合物PLS-DA载荷图

Fig. 4 PLS-DA loading plot of volatile compounds of four *O. fragrans* extracts

### 2.1.4 区分4种桂花浸膏挥发性成分的筛选

建立PLS-DA模型,易出现过拟合现象,因此进行200次响应的置换检验验证PLS-DA模型是否存在过拟合现象<sup>[30]</sup>。如图5所示,置换检验得到 $R^2=0.0561$ , $Q^2=-0.452$ ,所有左侧的 $Q^2$ 大于右侧, $Q^2$ 与Y轴的截距为负值,说明该模型未出现拟合现象,具有较好的稳定性和预测能力。

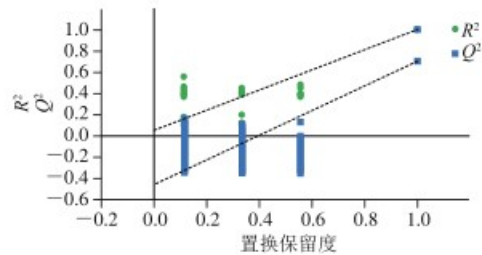


图5 PLS-DA模型的置换检验

Fig. 5 Permutation test of PLS-DA model

变量投影重要性(variable important in the projection, VIP)直接展示了每个变量对于样品区分的贡献大小。VIP越大,变量对于样品组间区分的贡献率越大,其中VIP大于1的变量,是重要挥发性成分<sup>[31]</sup>。由图6可知,有22种挥发性物质VIP值大于1.0,分别为正四十烷(50)、氟丙酸(44)、十六烷基磺酰氯(62)、二氢- $\beta$ -紫罗兰醇(5)、乌发醇(19)、植物甙醇(16)、二十八烷醇(11)、二十七烷醇(10)、棕榈酸(43)、硬脂酸乙烯酯(56)、二氢猕猴桃内酯(57)、二十六烷醇(9)、VE(39)、醋酸(9Z,12E)-9,12-四环戊二烯(65)、亚麻醇(25)、氧化芳樟醇(1)、1-亚油酸单甘油酯(54)、菜油甙醇(14)、2,3-二甲基环己醇(21)、二氢- $\beta$ -紫罗兰酮(29)、豆甙醇(15)和岩皂甙醇(13)。以上化合物能作为判别4种桂花浸膏的重要挥发性成分。

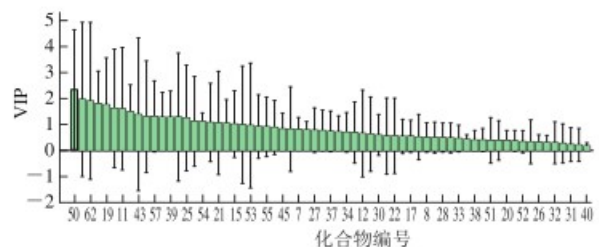


图6 4种桂花浸膏挥发性化合物的VIP

Fig. 6 VIPs of volatile compounds of four *O. fragrans* extracts

采用SPSS软件对VIP大于1的重要挥发性物质进行单因素方差分析,筛选4种桂花浸膏的差异极显著挥发性化合物( $P<0.01$ )。最终筛选出9种差异性挥发成分,即正四十烷(50)、氟丙酸(44)、二氢- $\beta$ -紫

罗兰醇(5)、二十八烷醇(11)、棕榈酸(43)、醋酸(9Z,12E)-9,12-四环戊二烯(65)、2,3-二甲基环己醇(21)、二氢-β-紫罗兰酮(29)和豆甾醇(15)。这9种化合物可作为建立判别4种桂花浸膏挥发性化合物相对含量分析的定量关系式的重要变量。

## 2.2 电子鼻分析结果

### 2.2.1 电子鼻检测及挥发性成分分析

由图7可知,5个传感器(W2W、W2S、W1W、W1S、W5S)对桂花浸膏整体气味响应强,即甲基类、氮氧化物、硫化物、醇类、醛酮类以及芳香族化合物在4种桂花浸膏中含量较高且区别较大。表明电子鼻对于桂花浸膏的甲基类、氮氧化物、硫化物、醇类、醛酮类和芳香类成分敏感。咸宁金桂浸膏对W1S、W2S、W5S传感器响应值最高,即咸宁金桂浸膏中的甲基类、醇类、醛酮类和氮氧化物高于其他3种桂花浸膏。

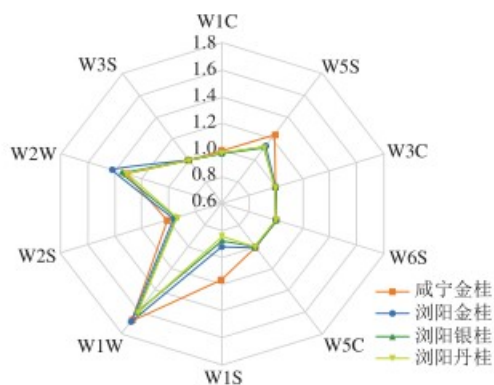


图7 电子鼻对4种桂花浸膏响应雷达图

Fig. 7 Radar chart of electronic nose sensor responses to four *O. fragrans* extracts

### 2.2.2 4种桂花浸膏的电子鼻的PCA

如图8所示,电子鼻结合PCA对4种桂花浸膏进行区分,PC1和PC2累计贡献率为99.05%,说明前两个PC可以代表不同品种桂花浸膏挥发性成分的主要信息。4种桂花浸膏之间没有相互重合部分,明显区分,说明4种桂花浸膏挥发性成分差异显著,具有各自的香气特征。因此,采用电子鼻可以准确识别和区分4种桂花浸膏挥发性成分的整体气味。

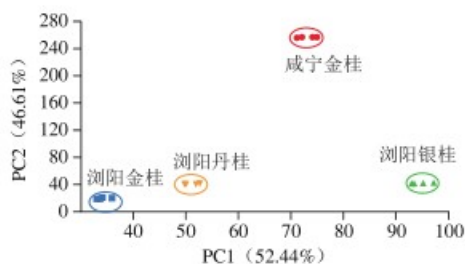


图8 4种桂花浸膏PCA得分图

Fig. 8 PCA score plot of four *O. fragrans* extracts

### 2.2.3 4种桂花浸膏电子鼻的载荷分析

由图9可知,4种桂花浸膏中,W2W、W2S、W1W、W1S、W5S这5个传感器起主要作用。传感器W1S在横坐标方向距离原点最远,W2W在纵坐标方向距离原点最远,即甲基类物质、芳香类物质和醇类物质区分4种桂花浸膏整体气味的贡献最大,这与电子鼻雷达图的结果一致。

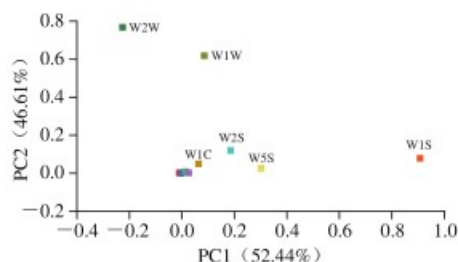


图9 4种桂花浸膏载荷分析图

Fig. 9 Loading plot of four *O. fragrans* extracts

### 2.2.4 4种桂花浸膏电子鼻的LDA

由图10可知,LD1和LD2累计贡献率为99.97%,反映了桂花浸膏气体的绝大部分信息。4种桂花浸膏样品分布于各自区域,基本无重合,且咸宁金桂与其余桂花品种之间间距较大,说明不同产地桂花浸膏挥发性成分气味差异较大。而浏阳金桂和浏阳银桂在图中有较少部分重叠,说明二者挥发性成分的气味较接近。浏阳3个桂花品种浸膏均居于右侧,说明三者差异相对较小,这与GC-MS聚类分析结果一致。

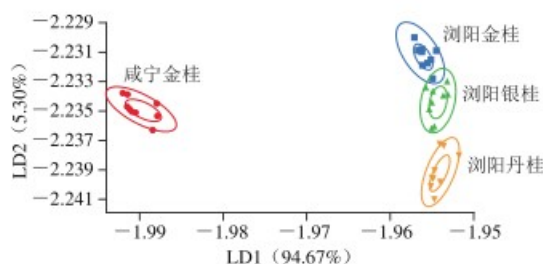


图10 4种桂花浸膏LDA得分图

Fig. 10 LDA score plot of four *O. fragrans* extracts

## 3 结论

以咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂4个不同品种提取的桂花浸膏作为研究对象,采用GC-MS与电子鼻技术结合化学计量学方法对其挥发性成分进行识别分析。通过GC-MS检测出4种桂花浸膏中有65种挥发性化合物,在咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂浸膏中分别检出52、42、43种和44种挥发性化合物。4种桂花浸膏挥发性成分的种类和相对含量均有差异:其

中,桂花浸膏的特征性挥发性物质主要为醇类、酯类和酮类化合物;咸宁金桂浸膏与其他3种桂花浸膏相比挥发性成分种类丰富、相对含量较高,其作为香精香料利用更有优势。聚类分析和PLS-DA模型对4种桂花浸膏有良好的区分,浏阳金桂浸膏和浏阳银桂浸膏挥发性成分气味更为接近,咸宁金桂浸膏和浏阳丹桂浸膏挥发性成分气味有较为明显的区别。PLS-DA筛选出4种桂花浸膏中9种差异性挥发物质,说明了这些挥发性化合物在咸宁金桂、浏阳金桂、浏阳银桂和浏阳丹桂浸膏中含量上具有极显著差异,这也是4种桂花浸膏具有各自独特香气的的原因。利用电子鼻对4种桂花浸膏整体气味进行区分,雷达图和载荷分析表明,W2W、W2S、W1W、W1S、W5S这5个传感器对桂花浸膏有较好的信号响应;电子鼻PCA和LDA模型明显区分4种桂花浸膏整体气味差异,与GC-MS聚类分析结果一致。本研究为桂花浸膏挥发性成分分析与品种鉴别提供理论依据。

#### 参考文献:

- [1] XIN H P, WU B H, ZHANG H 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(5): 923-931. DOI:10.1139/CJPS2012-333.
- [2] 夏科, 蒋柏生, 赵志国, 等. 桂林地区不同桂花品种花香成分比较分析[J]. 广西植物, 2018, 38(11): 1493-1504. DOI:10.11931/guihaia.gxzw201803047.
- [3] FU J X, WANG Y G, ZHANG C, et al. Identification of floral aromatic volatile compounds in 29 cultivars from four groups of *Osmanthus fragrans* by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2019, 60(4): 611-623. DOI:10.1007/s13580-019-00153-5.
- [4] WANG L M, LI M T, JIN W W, et al. Variations in the components of *Osmanthus fragrans* Lour. essential oil at different stages of flowering[J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 233-236. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.09.044.
- [5] LIAO X Y, HU F L, CHEN Z L. Identification and quantitation of the bioactive components in *Osmanthus fragrans* fruits by HPLC-ESI-MS/MS[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(1): 359-367. DOI:10.1021/acs.jafc.7b05560.
- [6] HU B F, GUO X L, XIAO P, et al. Chemical composition comparison of the essential oil from four groups of *Osmanthus fragrans* Lour. flowers[J]. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 2012, 15(5): 832-838. DOI:10.1080/0972060X.2012.10644128.
- [7] LI F F, HUANG Q Z. Analysis of fragrance composition in three cultivars of *Osmanthus fragrans* Albus group flower by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2011, 16(4): 342-348. DOI:10.1007/s11859-011-0761-8.
- [8] TANG W Z, WANG B, WANG M M, et al. Ultrasound-assisted extraction of *Osmanthus fragrans* fruit oil and evaluation of its fatty acid composition, physicochemical properties and antioxidant activity[J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2021, 25: 100331. DOI:10.1016/j.jarmap.2021.100331.
- [9] 吴雷, 卢斌斌, 席辉, 等. 桂花浸膏香气成分的GC-MS分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(3): 78-85. DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2019.03.014.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会. 食品添加剂 桂花浸膏: GB 1886.24—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 1-5.
- [11] DAI W D, XIE D C, LU M L, et al. Characterization of white tea metabolome: comparison against green and black tea by a nontargeted metabolomics approach[J]. Food Research International, 2017, 96: 40-45. DOI:10.1016/j.foodres.2017.03.028.
- [12] 田怀香, 李风华, 吴艳. 利用电子鼻分析不同品种的桂花香气[J]. 林业科技开发, 2014, 28(4): 93-96. DOI:10.13360/j.issn.1000-8101.2014.04.024.
- [13] CUI S Q, WANG J, YANG L C, et al. Qualitative and quantitative analysis on aroma characteristics of ginseng at different ages using e-nose and GC-MS combined with chemometrics[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2015, 102: 64-77. DOI:10.1016/j.jpba.2014.08.030.
- [14] 杜锋, 雷鸣. 电子鼻及其在食品工业中的应用[J]. 食品科学, 2003, 24(5): 161-163. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.05.041.
- [15] 夏必帮, 鲁韦韦, 李蕊. 桂花精油提取工艺及其抗氧化性的研究[J]. 氨基酸和生物资源, 2016, 38(1): 49-52; 75. DOI:10.14188/j.ajsh.2016.01.009.
- [16] 张璟琳, 李娟, 黄明泉, 等. 3种桂花浸膏的挥发性物质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(4): 1554-1560. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2016.04.039.
- [17] 张雪松, 裴建军, 赵林果, 等. 不同酶处理对桂花浸膏及精油成分的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(4): 254-263. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.4.039.
- [18] 陆宽, 王雪雅, 孙小静, 等. 电子鼻结合顶空SPME-GC-MS联用技术分析贵州不同品种辣椒发酵后挥发性成分[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 199-205. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201804030.
- [19] TOYONOBU U, KOKI M. Extraction of essential oils from the flowers of *Osmanthus fragrans* var. *aurantiacus* using an ionic liquid[J]. Bulletin of the Chemical Society of Japan, 2017, 90(10): 1105-1110. DOI:10.1246/bcsj.20170202.
- [20] LEI G M, MAO P Z, WANG L H, et al. Water-soluble essential oil components of fresh flowers of *Osmanthus fragrans* Lour[J]. Journal of Essential Oil Research, 2016, 28(3): 177-184. DOI:10.1080/10412905.2015.1114532.
- [21] WANG B J, LUAN F, BAO Y W, et al. Traditional uses, phytochemical constituents and pharmacological properties of *Osmanthus fragrans*: a review[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2022, 293: 115-273. DOI:10.1016/j.jep.2022.115273.
- [22] BURDOCK G A. Fenaroli's handbook of flavor ingredients[M]. Boca Raton: CRC Press, 2016: 325-678. DOI:10.1201/9781439847503.
- [23] 钱蕾, 杨程, 侯亚龙. 基于主成分分析和聚类分析讨论不同桂花浸膏的香气品质[J]. 香料香精化妆品, 2021(5): 20-27. DOI:10.3969/j.issn.1000-4475.2021.05.004.
- [24] ZHANG W J, CAO J X, LI Z G, et al. HS-SPME and GC/MS volatile component analysis of Yinghong No. 9 dark tea during the pile fermentation process[J]. Food Chemistry, 2021, 357: 129654. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.129654.
- [25] 李欢康, 杨佳玮, 刘文玉, 等. 不同工艺核桃油挥发性物质比对及关键香气成分表征[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 185-192. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200901-006.
- [26] 吴雷, 席辉, 赵龙, 等. 桂花浸膏中长链酯的测定及对香气成分释放的影响[J]. 烟草科技, 2020, 53(7): 62-69. DOI:10.16135/j.issn1002-0861.2019.0205.
- [27] 徐春晖, 王远兴. 基于GC-MS结合化学计量学方法鉴别3种江西名茶[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 141-150. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190925-309.
- [28] 黄河, 黄婷, 王媚, 等. 白酒中邻苯二甲酸酯塑化剂问题研究进展[J]. 酿酒科技, 2022(1): 97-103. DOI:10.13746/j.njkj.2021148.
- [29] DENG C H, SONG G X, HU Y M. Application of HS-SPME and GC-MS to characterization of volatile compounds emitted from osmanthus flowers[J]. Annali di Chimica, 2004, 94(12): 921-927. DOI:10.1002/adic.200490114.
- [30] 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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180120-276.
- [31] MARSEGLIA A, MUSCI M, RINALDI M, et al. Volatile fingerprint of unroasted and roasted cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) from different geographical origins[J]. Food Research International, 2020, 132: 109101. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109101.