

郑宗昊, 张向争, 傅芳浩, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 技术的不同品种(系)橄榄香气成分研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(23): 282–290. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020244

ZHENG Zonghao, ZHANG Xiangzheng, FU Fanghao, et al. Study on Aroma Components of *Canarium album* of Different Cultivars Based on HS-SPME-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(23): 282–290. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020244

· 分析检测 ·

基于 HS-SPME-GC-MS 技术的不同品种 (系) 橄榄香气成分研究

郑宗昊^{1,2}, 张向争^{1,2}, 傅芳浩^{1,2}, 孙 兴^{1,2}, 潘腾飞^{1,2}, 郭志雄^{1,2}, 余文琴^{1,2,*}

(1. 福建农林大学园艺学院, 福建福州 350022;

2. 福建农林大学园艺产品贮运保鲜研究所, 福建福州 350002)

摘 要: 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪 (HS-SPME-GC-MS) 对不同品种 (系) 的橄榄果实进行香气检测分析, 探究其香气成分特征。结果显示, 9 个橄榄品种 (系) 共检测出 56 种香气物质, 均以烯烃类物质为主, 占各个品种 (系) 总香气成分含量的 78.51%–89.34%。 α -蒎烯、 β -蒎烯、石竹烯、 α -石竹烯和月桂烯等是主要的香气成分, 这些香气物质奠定了橄榄的香气基础, 其中石竹烯是各个品种 (系) 中含量高且稳定存在的香气物质。香气活性值 (OAV) 在不同品种 (系) 橄榄间也存在差异, 蒎烯是构成这 9 个品种 (系) 橄榄果实香气特征的重要成分, 香气类型上表现为松油香及木香。不同橄榄品种 (系) 在香气物质与物质含量间均存在差异, 研究结果可为后期橄榄香气机理研究、育种、推广及品质创新等提供依据。

关键词: 橄榄, 品种, 香气, 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术, 香气活性值

中图分类号: S667.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)23-0282-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020244



本文网刊:

Study on Aroma Components of *Canarium album* of Different Cultivars Based on HS-SPME-GC-MS

ZHENG Zonghao^{1,2}, ZHANG Xiangzheng^{1,2}, FU Fanghao^{1,2}, SUN Xing^{1,2}, PAN Tengfei^{1,2}, GUO Zhixiong^{1,2},
SHE Wenqin^{1,2,*}

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350022, China;

2. Institute of Storage, Transportation and Preservation of Horticultural Products, Fujian Agriculture and Forestry
University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) was used to detect and analyze the aroma of *Canarium album* of different cultivars to explore the characteristics of aroma components. The results showed that a total of 56 aroma compounds were detected in 9 kinds of *C. album* of different cultivars, all of which were mainly olefinic substances, accounting for 78.51%–89.34% of the content of the total aroma components of each variety. α -pinene, β -pinene, caryophyllene, α -caryophyllene and myrcene were the main aroma components. These aroma substances laid the foundation for the aroma of *C. album*. Among them, caryophyllene was a relatively high content and stable existence in various cultivars. There were also differences in odor activity value (OAV) among different varieties of *C. album*. Pinene was an important component of the aroma characteristics of *C. album* of these nine varieties, and the aroma types were pine oily and woody. There are differences in aroma substances and substance contents among different *C. album* varieties, and the research results can provide a basis for later *C. album* aroma mechanism research, breeding, promotion and quality innovation.

收稿日期: 2022-02-28

基金项目: 中央财政项目 (闽财指 [2021]363 号)。

作者简介: 郑宗昊 (1998–), 男, 硕士研究生, 研究方向: 果树生理生化与分子生物学, E-mail: 964837911@qq.com。

* 通信作者: 余文琴 (1970–), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果树生理生化与分子生物学, E-mail: wenqinshe@163.com。

Key words: *Canarium album*; cultivars; aroma; headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS); odor activity value

橄榄作为福建省特色的经济水果之一^[1],主要分布于福州闽清、闽侯,莆田城厢、仙游,漳州漳浦、诏安、长泰、华安和宁德福安等地。其中,福州地区栽培的品种有‘檀香’、‘长营’、‘清榄 1 号’、‘梅埔 2 号’、‘灵峰’、‘惠圆’等;莆田地区栽培的品种有‘霞溪本’和‘刘族本’等。香气是客观反映果实风味、成熟度和果实品质的重要指标,果品怡人的香气也是吸引消费者和增强市场竞争力的重要因素。随着国内外市场对果品品质要求越来越高,以及食品工业对天然风味物质需求的增加,果品的香气研究日益受到关注,已成为果品品质的重要研究领域之一^[2-3]。

果实香气富集方法包括同时蒸馏萃取法 (SED)^[4]、固相微萃取法 (SPME)^[5] 和顶空法 (HS)^[6] 等。顶空固相微萃取作为一种气相色谱的无溶剂萃取技术,具有操作简单、富集率高、重现性好等优点,也可以更加准确、真实地反映香气成分的组成状况^[7-8]。钟明等^[9-10] 采用固相微萃取和气相色谱-质谱联用方法对广东的‘冬节圆’和‘三棱榄’果实挥发油化学成分进行分析,赵丽娟等^[11] 采用同时蒸馏萃取装置并用 GC-MS 分别对橄榄中的橄榄肉和橄榄仁的挥发油进行提取和鉴定,方丽娜等^[12] 同样采用了 SPME-GC-MS 对福建闽侯的‘长营’果实的香气进行检测分析,赖联瑞等^[13] 采用顶空固相微萃取对福州的‘清榄 1 号’、‘闽清 2 号’及‘灵峰’果实进行检测,前人的研究结果表明石竹烯是橄榄果实香气物质中含量最高且稳定的物质,烯烴类物质占大多数,并且可以通过香气活性值确定各组分对其整体香气的贡献度^[14],从而精确其有效香气组成结构。目前,关于橄榄果实香气成分的研究主要集中于福建、广东等地的橄榄品种香气成分,然而,关于多个橄榄品种(系)研究与橄榄果实香气物质香气活性值的相关报道较少。

本研究采用 HS-SPME-GC-MS 技术并在 9 个不同品种(系)橄榄果肉中加入癸酸乙酯作为内标,分析橄榄果实中香气化合物的组成及含量,同时计算香气活性值,利用热图分析与主成分分析探究不同橄榄品种(系)香气成分组成特征。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘惠圆’、‘揭西香榄’、‘檀香’、‘长营’、‘梅埔 2 号’、‘灵峰’、‘清榄 1 号’、‘刘族本’和‘霞溪本’分别于 2020 年 10 月至 2020 年 12 月采自福州市农科所、闽清、莆田等地,每个品种选择长势一致,无病虫害的果树。采果时沿树冠东西南北方位取大小适中、均匀一致,无病虫、无损伤且成熟度为九成熟的果实,每个品种设 3 次重复,每个品种一次共取 30 个果实。取回实验室后清洗、削皮后果肉切块混样处

理之后用锡箔纸包裹,液氮速冻后放置于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存备用;癸酸乙酯 98% 色谱纯,美国 Sigma 公司;饱和氯化钠 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

萃取纤维头 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 美国 Supelco 公司;手持 SPME 进样器 上海洽姆分析技术有限公司;GC680+SQ8T+HS40 GC-MS 气质联用仪 美国 Perkin Elme 公司;MM400 型磨样机 德国莱驰公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理 取出样品放入液氮盒中,以磨样机(28 Hz, 45 s)磨成粉末。取 1 g 磨好的样品放入顶空萃取瓶中,以浓度为 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 癸酸乙酯为内标,加入 1 mL 饱和氯化钠进行混合并加入 6 μL 癸酸乙酯,再将瓶口密闭,随后插入萃取针并将萃取瓶放置 30 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅中萃取 90 min。随后上机进样热脱附 4 min。

1.2.2 GC-MS 分析条件 参照方丽娜等^[12] 的 GC-MS 方法并加以优化,对不同品种(系)橄榄进行香气测定。

1.2.2.1 色谱条件 FFAP-5MS;载气为 99.99% 氦气,压力 100 kPa;分流比 10:1;柱箱温度 50 $^{\circ}\text{C}$,进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,柱流量 1 mL/min;升温程序:起始温度 50 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min;以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 150 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min;以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min。

1.2.2.2 质谱条件 电子轰击离子源;接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;开始时间 1.1 min,结束时间 48 min;质量扫描范围 50~620 m/z。

1.2.3 定性与定量分析

1.2.3.1 定性分析 在 GC-MS 条件下,测得橄榄香气成分 GC-MS 总离子流色谱图。将质谱图 NIST 11.L 与质谱库 Wiley 7 相匹配,以匹配度前五的物质为鉴定依据,并参照每种香气成分的 CAS 编号,再根据相关文献中的数据进行定性。

1.2.3.2 定量分析 通过与内标物(癸酸乙酯)的峰面积比较,得到香气成分的含量,单位为 $\mu\text{g}/\text{g}$,即:香气成分含量=(香气成分物质峰面积 $\times$ 内标物含量)与内标物峰面积之比。

1.2.4 OAV 值分析 通过查阅文献报道的香气组分在水介质中的气味阈值^[15],再通过香气组分在橄榄中的含量,计算得到部分香气组分在橄榄果实中的 OAV(即香气成分的含量与香气成分阈值之比)。

1.3 数据分析

使用 SPSS 24.0 软件进行单因素分析;使用 TBtools^[16] 软件绘制热图;使用 SIMCA 14.1 软件进行 PCA^[17]。

2 结果与分析

2.1 香气成分的定性定量分析

如表 1 所示,本研究参试的‘檀香’、‘长营’、‘梅埔 2 号’等 9 种橄榄中共检测出 56 个香气组分,包括烯炔类 33 种、苯环类 5 种、醇类 7 种、醛类 3 种、萘类 4 种、醚类 1 种、酚类 1 种、酮类 1 种以及脂类 1 种,其中烯炔类占总香气成分的 78.51%~89.34%,酚类占

0.74%~10.65%,醛类占 0.18%~0.89%,苯环占 3.28%~8.06%,醇类占 0.16%~4.89%,醚类占 0.02%~0.24%,萘类占 0.86%~7.39%。检测出的烯炔类含量最高并且在每种橄榄中都能稳定存在。其中石竹烯的含量最高,占总香气成分的 23.79%~57.01%,与前人[9-13]对‘长营’、‘清榄 1 号’、‘灵峰’、‘闽清 2 号’等橄榄果实的研究结果相似。

表 1 不同品种(系)橄榄的香气成分

Table 1 The aroma components of *Canarium album* of different cultivars

香气成分	登录号CAS	香气物质含量(μg/g)								
		‘清榄1号’	‘檀香’	‘长营’	‘梅埔2号’	‘揭西香榄’	‘灵峰’	‘霞溪本’	‘刘族本’	‘惠圆’
α -蒎烯 α -Pinene	7785-70-8	6.133±0.883 ^a	0.133±0.083 ^d	1.905±1.589 ^c	0.097±0.046 ^d	4.002±0.942 ^b	0.654±0.155 ^{cd}	3.838±1.847 ^b	0.293±0.211 ^{cd}	0.287±0.176 ^{cd}
石竹烯 Caryophyllene	87-44-5	4.65±0.889 ^a	4.498±2.99 ^a	4.056±0.602 ^a	3.621±0.853 ^a	3.456±1.313 ^a	3.159±0.721 ^{ab}	4.156±1.646 ^a	0.817±0.36 ^b	2.082±0.758 ^{ab}
β -蒎烯 β -Pinene	18172-67-3	1.715±0.269 ^a	0.644±0.387 ^b	0.342±0.327 ^{bc}	0.343±0.155 ^{bc}	0.204±0.085 ^c	0.04±0.017 ^c	0.178±0.077 ^c	0.004±0.003 ^c	0.035±0.027 ^c
α -石竹烯 α -Humulene	6753-98-6	0.646±0.142 ^a	0.617±0.381 ^a	0.442±0.023 ^{abc}	0.393±0.096 ^{abc}	0.506±0.138 ^{abc}	0.465±0.127 ^{abc}	0.67±0.304 ^a	0.12±0.059 ^c	0.232±0.058 ^{bc}
α -古巴烯 α -Copaene	3856-25-5	0.553±0.106 ^{bc}	0.23±0.157 ^c	0.397±0.194 ^c	0.166±0.047 ^c	1.083±0.431 ^b	0.386±0.075 ^c	2.402±0.952 ^a	0.028±0.011 ^c	0.096±0.035 ^c
1-ethenyl-1-methyl-2-(1-methylethenyl)-4-(1-methylethylidene)-Cyclohexane,	3242-8-8	0.333±0.065 ^a	—	—	—	—	—	—	0.003±0.002 ^b	—
大根香叶烯 D Germacrene D	37839-63-7	0.462±0.088 ^b	0.154±0.083 ^c	0.134±0.055 ^c	0.059±0.01 ^c	—	0.013±0.005 ^c	1.305±0.502 ^a	0.037±0.019 ^c	0.022±0.006 ^c
γ -榄香烯 γ -Elemene	29873-99-2	0.198±0.082 ^a	—	0.063±0.049 ^b	—	0.041±0.02 ^b	0.047±0.014 ^b	0.013±0.004 ^b	0.016±0.008 ^b	0.007±0.001 ^b
月桂烯 Myrcene	123-35-3	0.246±0.222 ^a	0.068±0.053 ^b	0.161±0.052 ^{ab}	0.042±0.028 ^b	0.103±0.041 ^{ab}	0.138±0.052 ^{ab}	0.048±0.007 ^b	0.022±0.01 ^b	0.006±0.002 ^b
桉烯 Sabinene	10408-16-9	0.266±0.048 ^{bc}	0.974±0.574 ^{bc}	1.35±0.421 ^b	0.557±0.293 ^{cd}	0.638±0.16 ^{bcd}	2.713±0.924 ^a	—	0.007±0.004 ^d	0.004±0.002 ^d
β -水芹烯 β -Phellandrene	555-10-2	—	—	—	—	0.195±0.046 ^b	0.501±0.139 ^a	0.097±0.035 ^c	—	—
大根香叶烯 B Germacrene B	15423-57-1	0.131±0.054	—	—	—	—	—	—	—	—
香树烯 Alloaromadendrene	25246-27-9	0.054±0.044 ^{bc}	0.058±0.033 ^{bc}	0.13±0.008 ^{ab}	0.02±0.015 ^c	0.086±0.074 ^{abc}	—	0.166±0.116 ^a	0.006±0.002 ^c	—
α -异松油烯 α -Terpinolene	586-62-9	0.051±0.011 ^{ab}	0.087±0.067 ^a	0.045±0.009 ^{ab}	0.009±0.004 ^b	0.013±0.007 ^b	0.057±0.018 ^{ab}	0.013±0.002 ^b	0.025±0.013 ^b	0.019±0.013 ^b
γ -松油烯 γ -Terpinene	99-85-4	0.049±0.018 ^b	0.2±0.138 ^a	0.157±0.079 ^a	0.045±0.027 ^b	0.036±0.011 ^b	0.174±0.051 ^a	—	0.002±0.001 ^b	—
γ -冰罗烯 γ -Murolene	30021-74-0	0.036±0.01 ^{abc}	0.016±0.009 ^{cd}	—	—	0.061±0.014 ^a	0.028±0.011 ^{bc}	0.044±0.036 ^{ab}	—	—
(-)-氧化石竹烯 (-)-Caryophyllene oxide	1139-30-6	0.072±0.071 ^a	0.036±0.017 ^{ab}	0.04±0.013 ^{ab}	0.019±0.01 ^{ab}	0.02±0.011 ^{ab}	0.039±0.01 ^{ab}	0.045±0.036 ^{ab}	0.004±0.002 ^b	0.007±0.001 ^b
罗勒烯 (Z)- β -ocimene	502-99-8	0.035±0.008 ^{ab}	0.012±0.007 ^{cd}	0.037±0.021 ^a	0.016±0.013 ^{bcd}	0.002±0.004 ^d	0.022±0.008 ^{abc}	0.022±0.007 ^{abc}	—	0.003±0.002 ^d
水芹烯 Phellandrene	99-83-2	0.022±0.007 ^c	0.006±0.001 ^c	0.035±0.014 ^c	0.011±0.002 ^c	0.011±0.003 ^c	0.647±0.164 ^a	0.024±0.014 ^c	0.374±0.21 ^b	0.349±0.215 ^b
莰烯 Camphene	79-92-5	0.019±0.002	—	—	—	—	—	—	—	—
α -松油烯 α -terpinene	99-86-5	0.021±0.008 ^b	0.045±0.023 ^b	0.048±0.034 ^b	0.025±0.014 ^b	0.014±0.003 ^a	—	—	—	—
(-)- α -萜澄茄油烯 α -Cubebene	17699-14-8	0.147±0.04 ^{ab}	0.234±0.172 ^a	0.225±0.067 ^{ab}	0.167±0.05 ^{ab}	0.328±0.177 ^a	0.141±0.057 ^{ab}	0.237±0.102 ^a	0.037±0.007 ^b	0.212±0.072 ^{ab}
δ -榄香烯 -Elemene	20307-84-0	0.013±0.003 ^a	0.003±0.002 ^b	—	—	—	—	—	—	—
1,1-二甲基-3-亚甲基-2-乙 烯基环己烷 2-ethenyl-1,1-dimethyl-3- methylene-Cyclohexane,	95452-08-7	0.019±0.004 ^a	0.009±0.006 ^b	—	—	—	—	0.021±0.003 ^a	—	—
(+)-3-萜烯 (+)-3-Carene	13466-78-9	—	0.077±0.052	—	—	—	—	—	—	—
D-柠檬烯 D-Limonene	5989-27-5	0.443±0.168 ^a	—	0.198±0.128 ^b	—	0.203±0.116 ^b	—	0.267±0.059 ^b	0.483±0.237 ^a	0.495±0.293 ^a
去氢白菖烯 1,2,3,4- Tetrahydro-4-isopropyl-1,6- dimethylnaphthalene	483-77-2	0.006±0.003 ^a	—	—	—	—	0.008±0.004 ^a	—	—	—

续表 1

香气成分	登录号CAS	香气物质含量(μg/g)								
		‘清榄1号’	‘檀香’	‘长营’	‘梅埔2号’	‘揭西香榄’	‘灵峰’	‘霞溪本’	‘刘族本’	‘惠圆’
<i>β</i> -古巴烯 <i>β</i> -copaene	18612-33-4	—	—	—	—	—	0.463±0.066	—	—	—
依兰烯 Ylangene	14912-44-8	—	—	—	—	—	0.008±0.001	—	—	—
(+)-环苜蓿烯 (+)-Cyclosativene	22469-52-9	—	—	—	—	0.015±0.005 ^a	—	0.026±0.009 ^a	—	—
A-布藜烯 A-Bulnesene	31682-28-7	—	—	—	—	—	—	0.104±0.031	—	—
姜烯 <i>α</i> -Zingiberene	495-60-3	—	—	—	—	0.28±0.132	—	—	—	—
<i>α</i> -愈创木烯 <i>α</i> -guaiaene	3691-12-1	—	0.003±0.002 ^a	—	—	—	—	0.007±0.001 ^a	—	—
邻异丙基甲苯 o-Cymene	527-84-4	0.04±0.021 ^{bc}	—	—	0.043±0.024 ^{abc}	0.031±0.015 ^c	—	0.018±0.005 ^c	0.092±0.037 ^a	0.088±0.063 ^{ab}
对伞花烃 p-Cymene	99-87-6	—	0.078±0.053 ^b	0.116±0.023 ^b	—	—	0.169±0.047 ^a	—	—	—
2-异丙基-1-甲氧基-4-甲基 苯 2-Isopropyl-1-methoxy- 4-methylbenzene	31574-44-4	—	0.008±0.005	—	—	—	—	—	—	—
1,2-二甲基-4-乙烯基-苯 4- Ethenyl-1,2-dimethyl- benzene,	27831-13-6	0.015±0.003	—	—	—	—	—	—	—	—
1H-Cyclopenta[1,3] cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-3- methylene-4-(1- methylethyl)-, (3aS,3bR,4S,7R,7aR)-	13744-15-5	0.565±0.096 ^{bc}	0.36±0.223 ^{cd}	0.286±0.087 ^{cd}	0.179±0.039 ^{cd}	0.905±0.406 ^b	0.44±0.146 ^{cd}	1.389±0.523 ^a	0.053±0.022 ^d	0.228±0.098 ^{cd}
龙脑烯醛 Campholenic Aldehyde	4501-58-0	0.015±0.012 ^a	—	—	—	0.005±0.001 ^b	—	—	—	—
反式-2-己烯醛 2-Hexenal	6728-26-3	0.053±0.002 ^a	—	0.054±0.023 ^a	0.044±0.032 ^{ab}	—	—	0.033±0.022 ^{ab}	0.008±0.001 ^{ab}	0.005±0.004 ^{ab}
<i>β</i> -环柠檬醛 <i>β</i> -Cyclocitral	432-25-7	0.046±0.01 ^b	0.092±0.071 ^a	0.02±0.009 ^b	0.006±0.002 ^b	0.017±0.007 ^b	0.02±0.007 ^b	0.019±0.007 ^b	0.004±0.001 ^b	0.007±0.002 ^b
二氢- <i>β</i> -紫罗兰酮 Dihydro- <i>β</i> -ionone	17283-81-7	0.018±0.006	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>α</i> -松油醇 <i>α</i> -Terpineol	98-55-5	0.028±0.025 ^a	0.011±0.01 ^b	—	—	—	—	—	—	—
4-epi-cubedol	—	0.012±0.003 ^b	0.024±0.013 ^a	—	0.007±0.001 ^{bc}	0.009±0.004 ^{bc}	—	0.015±0.01 ^{ab}	—	0.004±0.001 ^{bc}
4-萜烯醇 Terpinen-4-ol	562-74-3	0.085±0.064 ^{bc}	0.447±0.287 ^a	0.038±0.022 ^c	0.012±0.007 ^c	0.024±0.008 ^c	0.244±0.116 ^b	0.007±0.001 ^c	0.002±0.001 ^c	—
反式-3-己烯-1-醇 3-Hexen-1-ol	928-97-2	0.032±0.01 ^{abcde}	0.007±0.006 ^{de}	0.06±0.024 ^a	0.042±0.03 ^{abc}	0.051±0.033 ^{ab}	0.039±0.016 ^{abcd}	0.023±0.011 ^{bcd}	0.006±0.002 ^{de}	0.003±0.002 ^c
桉树醇 Cineole	470-82-6	—	0.008±0.006	—	—	—	—	—	—	—
Bicyclo[3.1.0]hexan-2-ol,2- methyl-5-(1-methylethyl)-, (1R,2S,5S)-rel-	15537-55-0	—	—	—	—	—	0.073±0.038	—	—	—
2-Cyclohexen-1-ol,1- methyl-4-(1-methylethyl)-, (1R,4R)-rel-	29803-82-5	—	0.007±0.004	—	—	—	—	—	—	—
百里香酚 Thymol	89-83-8	1.299±0.227 ^a	1.106±0.85 ^{ab}	0.489±0.098 ^{bcd}	0.342±0.18 ^{cd}	0.564±0.157 ^{bcd}	0.452±0.108 ^{cd}	0.933±0.379 ^{abc}	0.196±0.07 ^d	0.097±0.064 ^d
4-异丙基苯甲醚 1- Isopropyl-4- methoxybenzene	4132-48-3	—	0.023±0.017 ^a	—	—	—	0.021±0.006 ^a	—	0.006±0.002 ^b	—
(1S,8aR)-1-异丙基-4,7-二 甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘 (1S,8aR)-1-Isopropyl-4,7- dimethyl-1,2,3,5,6,8a- hexahydronaphthalene	483-76-1	0.402±0.099 ^{bc}	0.093±0.057 ^{cd}	0.101±0.036 ^{cd}	0.066±0.023 ^{cd}	0.651±0.291 ^b	0.298±0.077 ^{cd}	1.221±0.424 ^a	0.023±0.011 ^d	0.032±0.007 ^d
1,2,4a,5,6,8a-六氢-4,7-二 甲基-1-(1-甲基乙基)萘 <i>α</i> -Muurolene	31983-22-9	—	—	—	—	—	0.017±0.006 ^b	0.038±0.012 ^a	—	—
1,2,3,4,4a,7-hexahydro-1, 6-dimethyl-4- (1-methylethyl)- Naphthalene	16728-99-7	—	—	—	—	—	—	0.017±0.008	—	—
Naphthalene,1,2,3,4,4a,5,6, 8a-octahydro-7-methyl-4- methylene-1-(1-methylethyl)-, (1R,4aS,8aS)-	1460-97-5	—	—	—	—	—	0.011±0.007 ^a	0.013±0.004 ^a	—	0.004±0.001 ^b
辛酸乙酯 Ethyl caprylate	106-32-1	—	—	—	—	—	—	0.02±0.01	—	—

注: “—”表示该成分未检测到; 表中数值为平均值±标准差; 同行字母不同, 表示不同品种间的差异达到显著水平($P<0.05$)。

9 种橄榄品种的共有香气成分为 15 种, 相互结合形成了橄榄的基本香气, 其中含量较多的有 α -蒎烯、石竹烯、 β -蒎烯、 α -石竹烯、 α -古巴烯、(-)- α -萜烯、百里香酚、(1S,8aR)-1-异丙基-4,7-二甲基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘等。虽然 9 种橄榄香气组成成分差异不大, 但香气成分含量有较大的差异, 以‘清榄 1 号’总香气成分含量为最高, ‘刘族本’总香气成分含量为最低。不同品种(系)橄榄香气特征, 与香气组分及其含量上的差异具有密切联系。

2.2 香气成分的热图分析

从果实风味品质在一定程度上受香气组分含量和比例结构的影响, 特别是香气组分构成的转变对香气品质的形成更为重要^[18]。从图 1 可以看出, 9 个不

同品种(系)鲜食橄榄果实的香气组分和含量丰富, 无论在组成种类、含量、占有比例、特有成分等方面都存在较大差异。

从‘清榄 1 号’中共检测出 38 种香气成分, 包括 25 种烯烴类、3 种芳香类、3 种醛类、1 种酚类、4 种醇类、1 种萜类和 1 种酮类。该品种香气种类和总香气成分含量明显高于其他品种(系), 且烯烴类占总香气成分的 86.19%。该品种(系)中 α -蒎烯、 γ -榄香烯、大根香叶烯 B、月桂烯、氧化石竹烯、龙脑烯醛、二氢- β -紫罗兰酮、 δ -榄香烯等成分的含量明显高于其他品种(系)。本研究检测的 9 品种(系)大多是以石竹烯为主, 总香气成分含量 0.817~4.650 $\mu\text{g/g}$ 之间, 占总香气成分的 23.79%~57.01% 之间, 但‘清榄



图 1 不同品种(系)橄榄果实香气成分含量的热度图

Fig.1 Heat map of the contents of aroma components in *Canarium album* of different cultivars

1 号’中香气含量最高的是 α -蒎烯, 含量达 6.133 $\mu\text{g/g}$, 占该品种总香气含量的 32.37%, 而石竹烯为 4.650 $\mu\text{g/g}$, 占该品种(系)总香气含量的 24.54%。

从‘檀香’中检测出共 33 种香气成分, 包括 21 种烯烃类、3 种苯环类、1 种醛类、1 种酚类、6 种醇类和 1 种萜类, 该品种(系)中烯烃类物质占总香气成分的 78.13%, 其中石竹烯含量为 4.498 $\mu\text{g/g}$, 占总香气成分的 43.31%。‘檀香’中的醇类含量是本研究中检测出最多的品种(系), 含量为 0.470 $\mu\text{g/g}$, 占该品种(系)总香气成分的 4.89%。其中 4-萜烯醇、桉树醇等醇类物质含量显著高于其他品种(系)。

‘长营’中检测出共 26 种香气成分包括 18 种烯烃类、2 种苯环类、2 种醛类、1 种酚类、2 种醇类和 1 种萜类, 该品种(系)中烯烃类物质占总香气成分的 89.34%, 其中石竹烯含量为 4.056 $\mu\text{g/g}$, 占总香气成分的 37.08%, 与前人的研究结果相近^[12]。

‘梅埔 2 号’中检测出共 25 种香气成分包括 16 种烯烃类、2 种苯环类、2 种醛类、1 种酚类、3 种醇类和 1 种萜类。‘梅埔 2 号’中烯烃类物质占总香气成分的 88.25%, 其中石竹烯含量为 3.621 $\mu\text{g/g}$, 占总香气成分的 57.01%, 是本研究中石竹烯含量占比最高的品种(系)。

‘揭西香椰’中检测出共 31 种香气成分包括 22 种烯烃类、2 种苯环类、2 种醛类、1 种酚类、3 种醇类、1 种萜类。该品种(系)中烯烃类物质占总香气成分的 83.32%, 其中石竹烯含量为 3.456 $\mu\text{g/g}$, 占总香气成分的 25.47%。‘揭西香椰’中的 γ -冰片烯和姜烯含量显著高于其他品种(系)。

‘灵峰’中检测出共 31 种香气成分包括 20 种烯烃类、2 种苯环类、1 种醛类、1 种酚类、3 种醇类、3 种萜类化合物以及 1 种醚类化合物。该品种(系)中烯烃类物质占总香气成分的 84.67%, 其中石竹烯含量为 3.159 $\mu\text{g/g}$, 占总香气成分的 26.98%。‘灵峰’中的桉烯含量为 2.713 $\mu\text{g/g}$, 占总香气成分的 23.17%, 且该品种中依兰烯、 β -古巴烯、水芹烯、 α -松油烯等香气物质的含量显著高于($P < 0.05$)其他品种(系)。

‘霞溪本’中检测出共 33 种香气成分包括 20 种烯烃类、2 种苯环类、2 种醛类、1 种酚类、3 种醇类、4 种萜类和 1 种脂类化合物。该品种(系)中烯烃类物质占总香气成分的 78.51%, 其中石竹烯含量为 4.156 $\mu\text{g/g}$, 占总香气成分的 23.79%。本研究中‘霞溪本’香气物质的总含量仅次于清榄 1 号, 其中 α -古巴烯、1,2,4a,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)萜、(+)-环苜蓿烯等香气物质的含量显著高于($P < 0.05$)其他品种(系)。

‘刘族本’中检测出 25 种香气成分包括 15 种烯烃类、3 种苯环类、2 种醛类、1 种酚类、2 种醇类、1 种萜类以及 1 种醚类化合物。该品种(系)中烯烃类物质占总香气成分的 85.33%, 其中石竹烯含量为 0.817 $\mu\text{g/g}$, 占总香气成分的 30.52%。‘刘族本’是本研究中测检出香气的总香气成分含量最低的品种

(系), 仅为 2.767 $\mu\text{g/g}$ 。

‘惠圆’中检测出共 24 种香气成分包括 15 种烯烃类、2 种苯环类、2 种醛类、1 种酚类、2 种醇类以及 2 种萜类化合物, 该品种(系)中烯烃类物质占总香气成分的 89.11%, 其中石竹烯含量为 2.082 $\mu\text{g/g}$, 占总香气成分的 48.03%。‘惠圆’中的 D-柠檬烯含量为 0.495 $\mu\text{g/g}$, 是本研究中含量最高的品种(系)。

上述品种共检测出 56 种香气化合物, 均以烯烃类物质为主要的香气物质, 其中石竹烯是这些品种中含量最高且稳定存在的香气物质。结果可为后续橄榄果实香气物质代谢物相关基因的挖掘与功能分析提供参考。

2.3 不同品种橄榄香气成分的 OAV 分析

根据定性定量结果对橄榄进行 OAV 分析。通过计算 OAV 值来评价单个香气组分对果实及其他物种上整体香气的贡献度^[19], 通常认为, 大部分具有挥发性的物质并无气味, 不能构成果实的特征香气, 只有香气活性组分才对香气具有显著贡献^[20], 香气活性值常用于确定特征香气组分^[21], OAV>1 时认为该香气组分对果实香气具有一定影响性, OAV>10 时认为该香气组分对香气整体贡献极大^[22-24]。如表 2 所示, 共筛选出 20 个物质的 OAV 值, 其中 OAV>1 的共有 13 个, 且不同品种橄榄香气成分在 OAV 值存在明显差异。

结合本实验及前人研究结果发现, 石竹烯在所有橄榄品种(系)和资源果实中均作为主要香气组分存在, 并且在各个品种中石竹烯的香气贡献程度较大, 但均不是贡献度最高的挥发性物质, 因此认为石竹烯是橄榄果实主要的香气特征之一。

‘清榄 1 号’中 OAV>1 的香气成分有 8 种, 认为它们构成清榄 1 号的基本香气特征。OAV>10 的香气成分有 5 种, 其中 α -蒎烯香气强度高(OAV>1000), β -蒎烯也有较高的香气强度(OAV>100)与其他品种相比差异明显, 因此认为蒎烯是‘清榄 1 号’中香气的主要贡献物质, 前人对蒎烯化合物在其他物种上香气描述为木香、甜香及松油香型^[25-26]; ‘檀香’中 OAV>1 的香气成分有 6 种, 认为它们构成‘檀香’的基本香气特征。其中 OAV>10 的香气成分有 3 种。除了烯烃类物质还有一种醇类化合物 4-萜烯醇 OAV>1, 并且是 9 个品种中最高的, 前人对 4-萜烯醇的香气描述为胡椒气息^[27]。相较于大多数品种檀香中蒎烯化合物的 OAV 值小, 因此这些差异可能是形成‘檀香’果实风味特殊的原因; ‘刘族本’和‘惠圆’中 OAV>1 的香气成分有 5 和 6 种, 这两个品种(系)主要香气物质(OAV>10)的 OAV 值差异不大。在两个品种(系)中 D-柠檬烯的 OAV 值明显高于其他品种(系), 因此认为 D-柠檬烯是这两个品种(系)主要香气物质, 前人对柠檬烯的香味描述为柠檬香^[27-28]。值得注意的是这两个品种(系)中蒎烯的贡献程度较其他品种(系)不高。

表 2 不同品种(系)橄榄香气成分的 OAV 值

Table 2 OAV values of aroma components in *Canarium album* of different cultivars

香气成分	香气阈值 ^[22,31] ($\mu\text{g/g}$)	OAV值								
		‘清榄1号’	‘檀香’	‘长营’	‘梅埔2号’	‘揭西香榄’	‘灵峰’	‘霞溪本’	‘刘族本’	‘惠圆’
α -蒎烯	0.006	1022.28	22.28	317.58	16.31	667.09	109.15	639.76	48.93	47.89
石竹烯	0.390	11.92	11.53	10.40	9.29	8.86	8.10	10.66	2.10	5.34
β -蒎烯	0.014	122.55	46.05	24.48	24.54	14.57	2.86	12.74	0.32	2.55
α -石竹烯	0.160	4.04	3.86	2.77	2.46	3.17	2.91	4.19	0.75	1.45
月桂烯	0.015	16.40	4.59	10.76	2.85	6.89	9.20	3.22	1.52	0.42
桉烯	0.980	0.27	0.99	1.38	0.57	0.65	2.77	—	0.01	—
γ -松油烯	0.260	0.19	0.77	0.60	0.18	0.14	0.67	—	0.01	—
(-)-氧化石竹烯	0.410	0.18	0.09	0.10	0.05	0.05	0.10	0.11	0.01	0.02
罗勒烯	0.034	1.04	0.37	1.11	0.50	0.08	0.67	0.67	—	0.11
水芹烯	0.040	0.57	0.17	0.88	0.28	0.29	16.18	0.62	9.37	8.73
α -松油烯	0.085	0.26	0.54	0.57	0.30	0.18	2.41	0.25	—	—
D-柠檬烯	0.034	13.03	—	5.85	—	5.97	—	7.86	14.22	14.57
α -异松油烯	0.034	0.26	0.44	0.23	0.05	0.07	0.29	0.07	0.13	0.10
百里香酚	1.700	0.76	0.65	0.29	0.20	0.33	0.27	0.55	0.12	0.06
反式-2-己烯醛	0.017	3.13	—	3.20	2.64	—	—	1.95	0.51	0.35
对伞花烃	0.120	—	0.65	0.97	—	—	1.42	—	—	—
4-萜烯醇	0.130	0.66	3.44	0.29	0.10	0.19	1.88	0.06	0.01	—
反式-3-己烯-1-醇	0.110	0.30	0.07	0.55	0.39	0.46	0.36	0.21	0.06	0.03
α -松油醇	0.330	0.09	0.03	—	—	—	—	0.01	—	—
辛酸乙酯	0.047	—	—	—	—	—	—	0.43	—	—

注: “—”表示无法计算其OAV值。

各个品种(系)检测出 α -蒎烯和 β -蒎烯的差异较明显,但在各个品种中 α -蒎烯的香气贡献程度极大,有 5 个品种的 OAV>100,因此认为 α -蒎烯是大多数橄榄果实最主要的香气特征物质。 β -蒎烯在各个品种中的贡献程度差异较为显著,在 9 个品种中有 6 个品种的 OAV>10,其中刘族本<1。相较于 α -蒎烯, β -蒎烯的在橄榄果实中的香气贡献程度较低。在特殊香气分类方面,果实香气类型通常可分为果香型、木香型和醛香型等几种,周如隽^[26]、张海朋^[29]等对蒎烯类挥发性物质香气描述为清新清香、木香、甜香型, α -蒎烯是本研究 OAV 最高的,即香气贡献程度最高的挥发性物质,因此橄榄果实烯炔类香气主要成分所表现出来香气风味为木香、甜香型,可能是形成橄榄鲜食初苦涩后回甘清甜实际感官效果^[30]的原因之一。

2.4 不同品种橄榄香气的主成分分析

主成分分析是一种可直观反映样本成分构成近似度的统计方法,样本间的相似度越高则距离越近。如图 2 所示,9 个不同品种(系)橄榄的香气成分在得分散点图上实现了品种的分,从图中可以清晰地看到‘清榄 1 号’和‘霞溪本’与其他品种存在较为明显的差异,‘惠圆’与‘刘族本’两个品种(系)间存在较高的相似度,其余品种(系)间的相似度并不高。主成分分析结果表明本次检测出的香气成分用于不同品种(系)橄榄的香气特征的分析具有可行性。

结合香气活性值和主成分分析的结果可以将这 9 个品种橄榄香气分为 2 种类型,其中‘清榄 1 号’、

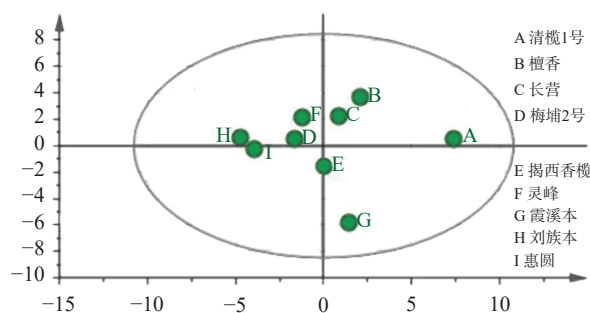


图 2 不同橄榄品种(系)香气成分主成分得分图

Fig.2 Principal component score of aroma components of *Canarium album* of different cultivars

注: 得分散点图($R^2X=0.291$; $R^2Y=0.18$)。

‘揭西香榄’、‘霞溪本’、‘长营’在香气类型上表现出明显的松油香及木香,主成分分析表明‘清榄 1 号’明显有别于其他品种(系),可能是‘清榄 1 号’中含有贡献度较高的 α -蒎烯及 β -蒎烯;‘檀香’、‘梅埔 2 号’、‘灵峰’、‘刘族本’和‘惠圆’这些品种表现出的松油香及木香相对不明显。值得注意的是‘刘族本’与‘惠圆’两个品种(系)蒎烯的 OAV 相较其他品种不高,D-柠檬烯的 OAV 高于其他品种,因此这两个品种(系)在风味上与其他品种存在一定的差别,香气类型上表现出更高的甜香及柠檬香。

3 结论

9 个品种(系)鲜食橄榄果实共检测出 56 种香气化合物,均以烯炔类物质为主要的香气物质,且占各个品种(系)总香气成分含量的 78.51%~89.34%,其

中石竹烯是这 9 个品种中含量最高且稳定存在的香气物质。因此, 烯炔类化合物是构成橄榄果实香气组分基本骨架的主要物质, 与前人的结论相同。9 个不同品种(系)橄榄果实的香气组成成分和含量丰富, 根据香气活性值可得, 蒎烯是构成这 9 个品种(系)橄榄果实香气特征的重要成分, 香气类型上表现为木香、甜香型。不同橄榄品种(系)在香气物质、物质含量间存在差异, 结果可为后期橄榄香气机理研究、育种、推广及品质创新等提供参考。

参考文献

- [1] 吴如健. 橄榄种质资源保护与创新利用研究[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 433. [WU R J. Conservation and innovative utilization of olive germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(2): 433.]
- [2] 李秋棉, 罗均, 李雪萍, 等. 果实香气物质的合成与代谢研究进展[J]. 广东农业科学, 2012, 39(19): 104-107. [LI Q M, LUO J, LI X P, et al. Advances in the study on the biosynthesis and metabolism of volatile compounds in fruits[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(19): 104-107.]
- [3] 梁敏华, 苏新国, 梁瑞进, 等. 芒果果实采后香气物质合成代谢调控研究进展[J]. 农产品加工, 2020, 1(18): 61-64. [LIANG M H, SU X G, LIANG R J, et al. Progress on aroma substances synthesis and metabolism of postharvest Mango fruit[J]. Farm Products Processing, 2020, 1(18): 61-64.]
- [4] ZHU Y, LÜ H, DAI W, et al. Separation of aroma components in Xihu Longjing tea using simultaneous distillation extraction with comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry[J]. Separation and Purification Technology, 2016, 164(9): 146-154.
- [5] ZHU B, ZHANG J, LI J, et al. Aroma profile of Jinmudan tea produced using camellia sinensis, cultivar Jinmudan using solid-phase microextraction, gas chromatography-mass spectrometry, and chemometrics[J]. European Food Research and Technology, 2021(p republic): 1-22.
- [6] 王蔚, 黄旭建, 易国春, 等. HS-GC/MS 法分析乌龙茶挥发性成分[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(2): 222-229. [WANG W, HUANG X J, YI G C. Analysis of volatile components in oolong tea by HS-GC/MS[J]. Natural Product Research and Development, 2019, 31(2): 222-229.]
- [7] 王静. 固相微萃取-气相色谱分析方法[J]. 山东化工, 2018, 47(19): 85-89. [WANG J. Solid phase microextraction and gas chromatographic analysis[J]. Shandong Chemical Industry, 2018, 47(19): 85-89.]
- [8] 宝贵荣, 成喜峰, 领小, 等. 固相微萃取技术模式的研究进展[J]. 应用化工, 2015, 44(11): 2097-2099. [BAO G R, CHENG X F, LING X, et al. Developments of solid phase micro-extraction techniques[J]. Applied Chemical Industry, 2015, 44(11): 2097-2099.]
- [9] 钟明, 陈玉芬, 甘廉生, 等. ‘三棱榄’橄榄果实香气成分分析[J]. 园艺学报, 2003, 30(6): 757. [ZHONG M, CHEN Y F, GAN L S, et al. Studies on the volatile aroma compounds in fruit of Chinese white olive Sanling (*Canarium album* raeusch)[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(6): 757.]
- [10] 钟明, 陈玉芬, 甘廉生, 等. 冬节圆橄榄果实挥发油化学成分分析[J]. 果树学报, 2004, 21(5): 494-495. [ZHONG M, CHEN Y F, GAN L S, et al. Studies on the volatile compounds in fruit of Chinese olive cultivar Dongjiejue[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(5): 494-495.]
- [11] 赵丽娟, 辛广, 张捷莉. 气相色谱-质谱法分析福建地区橄榄中橄榄肉和橄榄仁挥发油成分[J]. 食品科学, 2005, 26(9): 373-377. [ZHAO L J, XIN G, ZHANG J L. Study on volatile constituents of the meat and kernel of *Canarium album* (Lour) raeusch from Fujian province by gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS)[J]. Food Science, 2005, 26(9): 373-377.]
- [12] 方丽娜, 吴文珊, 黄美丽, 等. ‘长营’橄榄果实挥发性成分分析[J]. 亚热带植物科学, 2009, 38(2): 44-47. [FANG L N, WU W S, HHUANG M L, et al. Study on volatile compounds in fruit of *Canarium album* ‘Changying’[J]. Subtropical Plant Science, 2009, 38(2): 44-47.]
- [13] 赖瑞联, 冯新, 陈瑾, 等. 福州 3 个鲜食橄榄品种(系)的果实品质特征与香气组分分析[J]. 食品科学, 2020, 41(6): 231-238. [LAI R L, FENG X, CHEN J, et al. Quality characteristics and aroma components of three fresh edible cultivars of *Canarium album* grown in Fuzhou[J]. Food Science, 2020, 41(6): 231-238.]
- [14] 王玲, 尹克林. ‘达赛莱克特’草莓果实发育成熟过程中香气物质的变化及其特征成分的确定[J]. 果树学报, 2018, 35(4): 433-441. [WANG L, YIN K L. Changes in aroma of ‘Darselect’ strawberry during development and characterization of the key aroma components[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(4): 433-441.]
- [15] 张劲. 芒果香气特征分析研究[D]. 南宁: 广西大学, 2011. [ZHANG J. Study on aroma characteristics of Mango fruit[D]. Nanning: Guangxi University, 2011.]
- [16] CHEN C J, C H Z Y. TB tools: An integrative toolkit developed for interactive analyses of big biological data[J]. Molecular Plant, 2020, 13(8): 1194-1202.
- [17] 段亮亮, 田兰兰, 郭玉蓉, 等. 采用主成分分析法对六个苹果品种果实香气分析及分类[J]. 食品工业科技, 2012, 33(3): 85-88. [DUAN L L, TIAN L L, GUO Y R, et al. Review on factors affecting aroma components and biosynthesis during maturation of apple[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(3): 85-88.]
- [18] ADEL K A. Flavor quality of fruits and vegetables[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(11): 1863-1868.
- [19] 赵明, 邹瑜, 何海旺, 等. 基于 GC-MS 的不同香蕉品种果实香气品质分析[J]. 西南农业学报, 2021, 34(5): 964-970. [ZHAO M, ZOU Y, HE H W, et al. Analysis of aromatic components from six banana varieties by GC-MS[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(5): 964-970.]
- [20] OHASHI T M Y I S. Identification of odor-active trace compounds in blooming flower of damask rose (*Rosa damascene*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(26): 7410-7415.
- [21] SHENG X J, LIN Y G, CAO J M, et al. Comparative evaluation of key aroma-active compounds in sweet osmanthus (*Osmanthus fragrans* Lour.) with different enzymatic treatments[J]. Journal

of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(1): 332–344.

[22] PINO J A, MESA J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2006, 21(2): 207–213.

[23] CACHO J M L P J. Characterization of the aromatic profile of the Italia variety of Peruvian pisco by gas chromatography-olfactometry and gas chromatography coupled with flame ionization and mass spectrometry detection systems[J]. *Flavour & Fragrance Journal*, 2012, 27(4): 322–333.

[24] 王奕, 罗红玉, 袁林颖, 等. 不同干燥方式对夏季绿茶香气品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(9): 1–9. [WANG Y, LUO H Y, YUAN L Y, et al. Effects of drying methods on volatile components of summer green tea[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(9): 1–9.]

[25] TEIXEIRA B M A R C. Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils[J]. *Industrial Crops and Products*, 2013(43): 587–595.

[26] 周如隽, 赵雯琪, 张越, 等. 基于GC-MS与GC-O法分析两种桔子油中特征性香气成分[J]. *香料香精化妆品*, 2021(3): 1–5.

[ZHOU R J, ZHAO W Q, ZHANG Y, et al. Study on characteristic aroma components in two tangerine oils by GC-MS and GC-O[J]. *Fragrance and Flavor Cosmetics*, 2021(3): 1–5.]

[27] 刘晔, 葛丽琴, 王远兴. 3个产地不同等级庐山云雾茶挥发性成分主成分分析[J]. *食品科学*, 2018, 39(10): 206–214. [LIU Y, GE L Q, WANG Y X. Principal component analysis of volatile compounds in different grades of Lu Mountain Clouds-Mist tea from three regions[J]. *Food Science*, 2018, 39(10): 206–214.]

[28] DU L, LI J, LI W, et al. Characterization of volatile compounds of pu-erh tea using solid-phase microextraction and simultaneous distillation–extraction coupled with gas chromatography–mass spectrometry[J]. *Food Research International*, 2014(57): 61–70.

[29] 张海朋. 不同柑橘种质挥发性物质谱分析及相关基因挖掘和验证[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019. [ZHANG H P. Volatile profiling of various citrus germplasms in combination with mining and characterization of volatile biosynthetic genes[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019.]

[30] 许长同. 橄榄鲜食果品品质的感观与理化评价初探[J]. *福建果树*, 2009(4): 35–37. [XU C T. Preliminary study on sensory and physicochemical evaluation of fresh olive fruit quality[J]. *Fujian Fruits*, 2009(4): 35–37.]

[31] BOONBUMRUNG S T H. Characteristic aroma components of the volatile oil of yellow Keaw Mango fruits determined by limited odor unit method[J]. *Food Sci Technol Res*, 2001, 3(7): 200–206.