

浙江省 4 个产区红美人柑橘果皮中香气成分的测定及差异性分析

罗振玲, 陈红波, 林刚健, 夏慧丽*

(台州市食品检验检测中心, 台州 318000)

摘要: 目的 分析浙江省 4 个不同产区红美人柑橘果皮中主要香气成分的差异性。**方法** 采用顶空固相微萃取-气相色谱-四极杆飞行时间串联质谱法测定红美人柑橘果皮中的香气成分, 经未知化合物分析软件自动解卷积后, NIST 谱库检索对红美人果皮中的香气成分进行鉴定, 并用 SPSS 22.0 软件进行主成分分析。**结果** 红美人柑橘果皮中主要含有 *D*-柠檬烯、 β -月桂烯、癸醛、芳樟醇、 α -蒎烯、香茅醛、壬醛、4-松油醇、 γ -松油烯 9 种香气成分, 其中 *D*-柠檬烯含量最高, 壬醛和 4-松油醇含量相对较低; 主成分分析显示 PC-1 的贡献率为 62.02%, PC-2 的贡献率为 26.42%, 解释了原香气特征变量 88.44% 的方差信息。**结论** 9 种香气物质的主成分分析基本可区分 4 个产区的红美人。

关键词: 顶空固相微萃取; 气相色谱-四极杆飞行时间串联质谱法; 红美人; 香气成分; 主成分分析

Determination and comparative analysis of aroma components of Hongmeiren citrus peel from 4 producing areas in Zhejiang

LUO Zhen-Ling, CHEN Hong-Bo, LIN Gang-Jian, XIA Hui-Li*

(Taizhou Food Inspection Centre, Taizhou 318000, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the differences of the main aroma components of Hongmeiren citrus peel from 4 different producing areas of Zhejiang province. **Methods** The aroma components were determined by head-space solid-phase microextraction-gas chromatography-quadrupole time of flight mass spectrometry. The data were processed by deconvolution method with unknown compound analysis software, and the aroma components were identified by NIST spectral database, then the principal components were analyzed by SPSS 22.0 software. **Results** There were mainly 9 kinds of aroma components in the Hongmeiren citrus peel, including *D*-limonene, β -myrcene, decaldehyde, linalool, α -pinene, citronelloal, nonanal, 4-terpenol and γ -terpinene, and the content of *D*-limonene was the highest, the content of nonanal and 4-terpenol were relatively low. The contribution rates of PC-1 and PC-2 were respectively 62.02% and 26.42%, which explained 88.44% of the variance information of the original aroma characteristic variables. **Conclusion** The principal components analysis of 9 kinds of aroma compounds can basically distinguish the Hongmeiren from different producing areas.

KEY WORDS: head-space solid-phase microextraction; gas chromatography-quadrupole time of flight mass

基金项目: 台州市科技计划项目(1901ny06)

Fund: Supported by the Science and Technology Planning Project of Taizhou City (1901ny06)

*通信作者: 夏慧丽, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量控制与管理。E-mail: 64463403@qq.com

*Corresponding author: XIA Hui-Li, Ph.D, Senior Engineer, Taizhou Food Inspection Centre, No.788, Donghai Road, Jiaojiang District, Taizhou 318000, China. E-mail: 64463403@qq.com

spectrometry; Hongmeiren; aroma components; principal component analysis

0 引言

红美人又名爱媛 28, 是引自日本的杂柑类品种^[1], 因其果香浓郁、色泽艳丽、果肉细腻多汁, 深受消费者喜爱, 成为近年来各地主推的柑橘新品种之一。目前红美人在市场定价、果品质量等方面存在一定的差异, 人们对红美人果品质量的评价因缺少科学的评价指标也大都停留在外观、口感等感官评判上。当前与红美人相关的文献多集中在不同产地的引种表现及栽培技术的研究^[2-5], 而有关红美人中香气物质等功效性成分的研究较少, 在一定程度上阻碍了红美人柑橘的商品化开发。

香气是评价柑橘果实及其加工产品内在品质的重要指标之一^[6], 香气成分主要集中在柑橘果皮中, 香气的好坏直接影响着消费者的选购。柑橘香气物质的研究已成为国内外研究的热点, 涉及香气提取方法、加工和贮藏过程中香气成分变化、香气物质的组成及不同品种柑橘果实的香气物质的比较等^[7-12]。乔宇等^[13]发现柑橘果实的主要成分为烃类、酯类、醇类、酮类和醛类化合物, 温州蜜柑(*Citrus unshiu* Marc.)的重要特征香气是 γ -松油烯, 锦橙(*C. sinensis* Osbeck.)的重要特征香气成分是丁酸乙酯和 3-羟基己酸乙酯, 酸橙(*C. aurantium* L.)的特征香气成分是芳樟醇; 张涵等^[14]比较研究了芦柑(*Citrus reticulata* Blanco cv. Ponkan)、脐橙(*Citrus sinensis* Osb. var. brasiliensis Tanaka)、砂糖橘(*Citrus reticulata* cv. *Citrus tachibana* Blanco)和狮头柑(*Citrus reticulata* Blanco cv. ManauGan)的香气成分, 发现 4 种柑橘的香味差异较大, 其差异与果皮中挥发性成分有关。在众多的与柑橘香气物质的研究文献中, 目前还未见对红美人柑橘果皮的香气成分进行系统分析和研究的报道。

香气物质的提取方法有水蒸气蒸馏、溶剂浸提、超声波辅助提取^[15]、顶空固相微萃取法^[16-18]等。相比其他提取方式, 顶空固相微萃取集采样、萃取、浓缩和进样于一体, 具有处理时间短、不使用有机溶剂、绿色环保等优点, 应用越来越广泛。因此, 本研究通过顶空固相微萃取-气相色谱-四极杆飞行时间串联质谱法(head-space solid-phase microextraction-gas chromatography-quadrupole time of flight mass spectrometry, HS-SPME-GC-QTOF MS), 对浙江台州、宁波、衢州和丽水 4 个主产区红美人果皮中的香气成分进行定性和定量分析, 并采用主成分分析(principal component analysis, PCA)比较 4 个产区红美人果皮中香气物质的种类、组成及含量差异, 确定 4 个产区红美人果皮中的特征或主要香气成分, 以期为后期红美人柑橘的产地溯源和深加工提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

原料: 红美人柑橘采摘时间自 2020 年 12 月 1 日至 6 日, 分别从浙江台州黄岩的头陀镇、宁波象山的晓塘乡、衢州衢江的全旺镇、丽水莲都的碧湖镇 4 个地区的主要生产基地采集。实验所用的红美人柑橘均为完全成熟期的果实, 按代表性采样原则采集: 分别从 4 个地区选取 10 家树龄一致、长势相近的健康植株 3 株, 每株树上选择大小和成熟度一致, 完全成熟的果实各 10 个。

标准品: *D*-柠檬烯、 γ -松油烯、4-松油醇(分析纯, 德国 Dr. Ehrenstorfer 公司); β -月桂烯(加拿大 Toronto Research Chemicals 公司); α -蒎烯(上海安谱实验科技股份有限公司); 芳樟醇(上海安谱实验科技股份有限公司); 癸醛(美国 SIGMA-ALORICH 公司); 香茅醛、壬醛(美国 Chem service 公司)。

试剂: 氯化钠(分析纯, 江苏强盛功能化学股份有限公司)

1.2 仪器与设备

Agilent 7250-GC/Q-TOF 四极杆飞行时间串联质谱仪(美国 Agilent 公司); Alpha 1-4 LSC basic 冻干机(德国 Christ 公司); IKA Multidrive control 多功能破碎机(德国 IKA 公司); Milli-Q Advantage A10 超纯水机(美国 Millipore 公司)。

1.3 实验方法

按照采集地区对样品进行分组, 从每个地区采集的果实中随机取 10 个, 洗净并擦干, 取果皮混合均匀, 真空冷冻干燥, 粉碎过 60 目筛, 密封保存备用。

称取 0.5 g 粉碎过筛后的果皮于 20 mL 螺口样品瓶中, 加入 4 mL 饱和氯化钠溶液, 迅速盖上带聚四氟乙烯隔垫的瓶盖。以 CTC-PAL 自动进样器中 SPME 系统萃取吸附红美人果皮中香气成分。200 μ L 质量浓度为 1 μ g/mL 的 9 种香气物质混合标准储备液, 以同样的方式进样, 外标法定量。

顶空固相微萃取条件: 样品在 45 $^{\circ}$ C 条件下振摇 15 min 后, 预先于 240 $^{\circ}$ C 老化 5 min 的 DVB/C-WR/PDMS/10 萃取头插入顶空瓶上方, 振摇提取 40 min, 最后在进样口处解吸附 5 min 后进样。

色谱条件: 色谱柱: HP-INNOWAX (30 m \times 250 μ m, 0.25 μ m); 载气: 高纯氦气; 柱流速: 1 mL/min; 进样口温度: 240 $^{\circ}$ C; 分流比: 50:1; 色谱柱升温程序: 40 $^{\circ}$ C 保持 4 min, 再以 3 $^{\circ}$ C/min 升至 160 $^{\circ}$ C, 后以 8 $^{\circ}$ C/min 升至 240 $^{\circ}$ C, 运行时间 54 min。运行结束后, 以温度 240 $^{\circ}$ C 后运

行 5 min, 气相总循环时间 70 min。

质谱条件: 扫描方式: MS 模式, 离子源温度 200 °C, 四极杆温度(Q1 和 Q2) 150 °C, 传输线温度 250 °C, 电子电离源(electron ionization, EI) 电子能量 70 eV, 质量范围 35~350 AMU/s。

1.4 数据分析

采集的数据分别经 Agilent 定性、定量分析软件分析, 所有数据为 4 次独立重复实验的平均值, 以平均值±标准偏差表示。采用 SPSS 22.0 软件中的单因素方差分析和 Duncan 多次比较法进行数据统计分析, $P < 0.05$, 即认为差异显著。用 Excel 2016 绘制图表及数据整理。

2 结果与分析

2.1 4 个产区红美人果皮中香气物质总离子流图

经 GC-Q-TOF-MS 检测得丽水、宁波、衢州和台州 4 个不同产地红美人果皮中香气物质的总离子流图, 如图 1 所示。

2.2 4 个产区红美人果皮中主要香气物质含量

分析各产区红美人果皮中香气物质的总离子图, 发现 *D*-柠檬烯含量远高于其他香气成分, 可以认为其是红美人柑橘的主要香气成分, 这与乔宇等^[13,19-20]发现的柠檬烯是柑橘香气含量最高的化合物是一致的。

D-柠檬烯含量最高, 但在各产区红美人之间差异不明显。因此, 实验选取 β -月桂烯、 α -蒎烯、芳樟醇、癸醛、香茅醛、 γ -松油烯、壬醛、4-松油醇 8 种香气物质进行差异分析。4 个产区红美人果皮中 8 种香气物质含量如表 1 所示, 可以看出 8 种香气物质中的壬醛和 4-松油醇在 4 个产区的红美人果皮中含量均较低; 芳樟醇含量在 4 个产地红美人果皮中差异显著, 宁波最高为(50.28±1.13) $\mu\text{g/g}$, 台州仅有(27.69±1.03) $\mu\text{g/g}$; β -月桂烯在台州红美人果皮中含量最高, 宁波相对最低; α -蒎烯表现为台州>衢州>丽水>宁波; 癸醛、香茅醛、 γ -松油烯分别表现为丽水>宁波>台州>衢州、丽水>台州>衢州>宁波、宁波>台州>丽水>衢州。

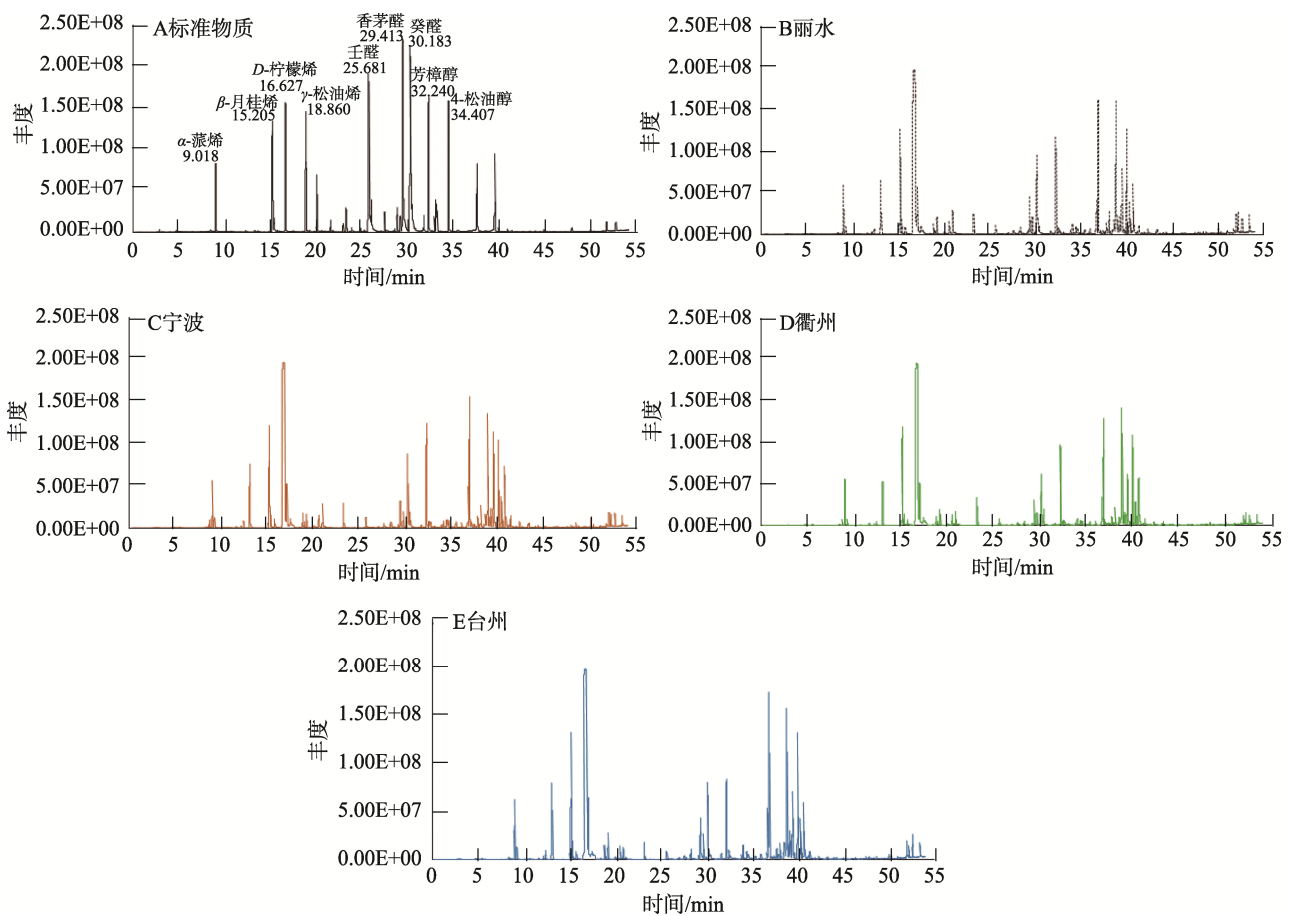


图 1 4 个产区红美人果皮中香气物质及 9 种香气标准物质的总离子流图

Fig.1 Total Ion chromatograms of 4 Hongmeiren samples of different origins and 9 kinds of standard aroma substances

2.3 4 个产区红美人果皮中香气物质相关性分析

采用 SPSS 22.0 主成分分析法分析 4 个不同产区红美人果皮样品与 β -月桂烯等 8 种香气物质的相关性, 为减少误差, 每个产区做 4 次重复实验。SPSS 分析结果如图 2 所示, 图(A)为主成分分值得图, (B)为 8 种香气物质的相关性载荷图。8 种香气物质在 PC-1、PC-2 上的相关度分量值及香气阈值见表 2。

一个可靠的模型通常需要前几个主成分能解释 75% 以上变量的总方差信息^[21]。采用 PCA^[22]对 4 个产区红美人果皮中香气物质进行分析, 发现 PC-1 的贡献率为 62.02%, PC-2 的贡献率为 26.42%, 2 个主成分累计贡献 88.44%, 解释了 8 种香气特征变量总变异的 88.44%。PC-1 能将宁波和丽水的红美人区分开来, PC-2 能将台州、衢州和丽水的红美人区分开, 2 者结合, 基本可以区分 4 个产区的红美人。

载荷图显示, 芳樟醇、4-松油醇、壬醛、 γ -松油烯、

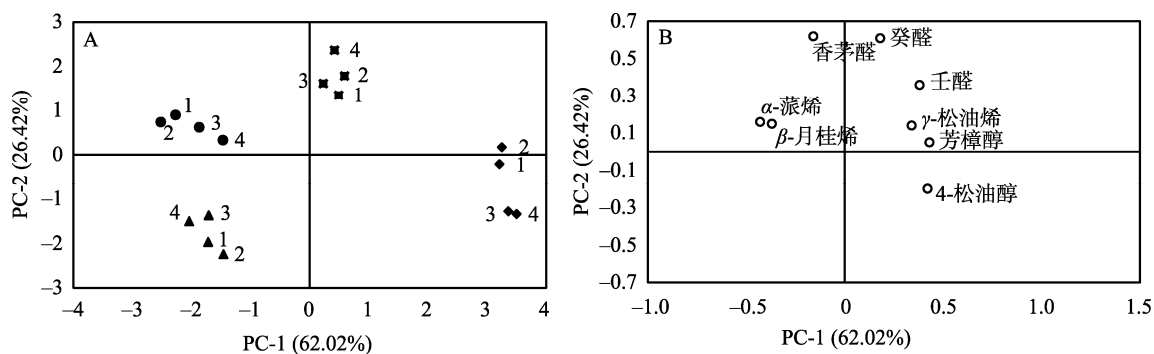
癸醛与 PC-1 成正相关, α -蒎烯、 β -月桂烯与 PC-2 成负相关, 其中芳樟醇、4-松油醇、 α -蒎烯在 PC-1 上的相关度分量 >0.4 , 壬醛、 γ -松油烯次之, 分别为 0.38、0.34, 即芳樟醇、4-松油醇、壬醛、 γ -松油烯在 X+方向上贡献较大, α -蒎烯则对 X-方向贡献大。

比较对 PC-1 贡献较大的 5 种香气物质阈值^[10,23-24](见表 2), 发现壬醛 $<$ 芳樟醇 $<$ α -蒎烯 $<$ γ -松油烯 $<$ 4-松油醇。壬醛香气阈值极低, 易被人感知, 但是其在红美人果皮中含量却较低; 而芳樟醇香气阈值低, 且在红美人果皮中含量较高, 因此认为芳樟醇对 PC-1 贡献最大。除了 4-松油醇与 PC-2 成负相关, 其他 7 种香气物质均与 PC-2 成正相关, 香茅醛和癸醛在 PC-2 上的相关度分量均 >0.6 , 远高于其他 5 种香气物质; 癸醛、香茅醛和 4-松油醇香气阈值分别为 0.03、0.04、0.35 $\mu\text{g/g}$, 在红美人果皮中含量高低顺序为癸醛 $>$ 香茅醛 $>$ 4-松油醇, 可以认为癸醛对 PC-2 贡献最大。

表 1 4 个产区红美人果皮中 8 种香气物质含量($\mu\text{g/g}$) ($n=4$)
Table 1 8 kinds of aroma substances in Hongmeiren samples of 4 origins ($\mu\text{g/g}$) ($n=4$)

	丽水	宁波	衢州	台州
β -月桂烯	191.53 \pm 4.13 ^{bc}	181.62 \pm 6.19 ^a	198.16 \pm 7.99 ^c	215.62 \pm 7.74 ^d
α -蒎烯	49.86 \pm 1.62 ^b	41.83 \pm 1.08 ^a	51.63 \pm 0.58 ^c	54.74 \pm 1.00 ^d
芳樟醇	43.30 \pm 2.15 ^c	50.28 \pm 1.13 ^d	31.71 \pm 1.41 ^b	27.69 \pm 1.03 ^a
癸醛	20.28 \pm 1.09 ^c	16.82 \pm 1.64 ^b	12.89 \pm 1.16 ^a	15.97 \pm 0.36 ^b
香茅醛	10.51 \pm 0.46 ^c	7.13 \pm 0.44 ^a	7.46 \pm 0.30 ^a	9.79 \pm 0.45 ^b
γ -松油烯	5.71 \pm 0.32 ^b	7.52 \pm 0.53 ^c	4.65 \pm 0.12 ^a	6.18 \pm 0.32 ^b
壬醛	0.84 \pm 0.05 ^c	0.89 \pm 0.03 ^c	0.52 \pm 0.03 ^a	0.66 \pm 0.01 ^b
4-松油醇	0.80 \pm 0.05 ^b	1.48 \pm 0.08 ^c	0.76 \pm 0.06 ^b	0.64 \pm 0.09 ^a

注: 采用 Duncan's 多重比较。同一行中分析数据后的上标不同小写字母表示分析结果显著($P<0.05$)。



注: (A)主成分分值得图, (B)相关性载荷图; 其中*代表丽水样品; ◆ 代表宁波样品; ▲ 代表衢州样; ● 代表台州样品; ○为 8 种香气物质相关性载荷。

图 2 主成分分值得图及载荷图

Fig.2 Principal component load diagram

表 2 8 种香气物质主成分系数及香气阈值
Table 2 Principal component coefficients and threshold of 8 kinds of aroma substances

	β -月桂烯	α -蒎烯	芳樟醇	癸醛	香茅醛	γ -松油烯	壬醛	4-松油醇
PC-1	-0.37	-0.43	0.43	0.18	-0.16	0.34	0.38	0.42
PC-2	0.15	0.16	0.05	0.61	0.62	0.14	0.36	-0.20
香气阈值/($\mu\text{g/g}$)	0.67	0.19	0.03	0.03	0.04	0.26	0.001	0.35

3 结论与讨论

采用顶空固相微萃取-气相色谱-四极杆飞行时间串联质谱法对浙江丽水、宁波、衢州和台州 4 个主产地红美人柑橘果皮中 9 种香气物质进行测定,发现 *D*-柠檬烯含量最高,但其香气强度不高,对总体香气贡献率较低^[25]。 β -月桂烯含量次之,壬醛和 4-松油醇含量相对较低。

主成分分析结果表明,2 个主成分解释了 4 个不同产区红美人果皮中 8 种香气特征变量的 88.44% 方差信息,PC-1 为 62.02%,PC-2 为 26.42%。其中芳樟醇对 PC-1 贡献最大,癸醛对 PC-2 贡献最大。尽管同一香气物质在不同产地柑橘果皮中表现不同^[26-27],但芳樟醇、癸醛香气强度值较高,对红美人总体香气起到了一定的调节作用。

浙江台州、宁波、衢州、丽水 4 个产区红美人果皮中 8 种香气物质含量和成分差异的分析结果,初步阐明了各香气成分对完全成熟期红美人香气品质的贡献程度。红美人果皮中所含香气物质种类繁多,除产地这一影响因素外,还有亲本品种、树龄、种植地、栽培方式、管理技术、生长阶段等的影响,后续将加大样本量、扩大香气物质的研究范围,进一步分析红美人果皮中各特征香气物质对香气风味的贡献程度,为产地溯源搭建更加精准的预测模型。

参考文献

- 柯甫志,徐建国,孙建华,等. 日本柑橘新品种——红美人[J]. 浙江柑橘, 2011, 28(4): 22-24.
KE PZ, XU JG, SUN JH, *et al.* A new citrus variety of Japan—'Hongmeiren' [J]. Zhejiang Ganju, 2011, 28(4): 22-24.
- 黄永敬,吴文,曾继吾,等. “红美人”杂柑在粤西地区的引种表现及栽培技术要点[J]. 中国南方果树, 2020, 49(6): 149-151.
HUANG YJ, WU W, ZENG JW, *et al.* Introduction performance and key points of cultivation techniques of 'Hongmeiren' in Yuexi area [J]. South China Fruits, 2020, 49(6): 149-151.
- 张仁杰,安学君,张艳,等. 柑桔新品种“红美人”在黄岩的引种表现及注意事项[J]. 中国果菜, 2017, 37(11): 82-84.
ZHANG RJ, AN XJ, ZHANG Y, *et al.* Introduction performance and attention of new citrus variety 'Hongmeiren' in Huangyan area [J]. China Fruit Veget, 2017, 37(11): 82-84.
- 黄振东,王鹏,徐建国,等. 浙东地区“红美人”杂柑果实品质与土壤和叶片养分的关系[J]. 果树学报, 2020, 37(1): 88-97.
HUANG ZD, WANG P, XU JG, *et al.* Relationship between fruit quality and nutrients in soil and leaves of 'Hongmeiren' citrus hybrid cultivated in eastern Zhejiang province [J]. J Fruit Sci, 2020, 37(1): 88-97.
- 胡章琼,林永高,郭德章,等. 杂柑‘红美人’在福州的引种表现及主要栽培技术[J]. 福建农业科技, 2018, (2): 15-17.
HU ZQ, LIN YG, GUO DZ, *et al.* Introduction performance and main cultivation techniques of tangerine 'Ehime 28' in Fuzhou city [J]. Fujian Agric Sci Technol, 2018, (2): 15-17.
- 金润楠,李子涵,赵开丽,等. 基于气质联用的不同产地温州蜜柑香气成分比较分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(2): 252-260.
JIN RN, LI ZH, ZHAO KL, *et al.* A comparative analysis of aroma components of Satsuma mandarin from different producing areas based on HS-SPME-GC-MS [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(2): 252-260.
- YU Y, BAI JH, CHEN CX, *et al.* Comparative analysis of juice volatiles in selected mandarins, mandarin relatives and other citrus genotypes [J]. J Sci Food Agric, 2017, 98(3): 1124-1131.
- 周琦,易鑫,欧阳祝,等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用结合多元统计法分析不同品种温州蜜柑汁的香气成分[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(10): 248-254.
ZHOU Q, YI X, OUYANG Z, *et al.* Analysis of aroma components in different satsuma juices by HS-SPME-GC-MS combined with multivariate statistical methods [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(10): 248-254.
- 刘琨毅,王琪,郑佳,等. 不同柑橘品种对柑橘果酒香气成分的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 275-279, 284.
LIU KY, WANG Q, ZHENG J, *et al.* Effects of different orange varieties on the aromatic composition of orange wine [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(10): 275-279, 284.
- 成传香,王鹏旭,贾蒙,等. 基于 GC-MS 结合多元统计方法分析不同种类柑橘汁中香气物质[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(21): 236-243.
CHENG CX, WANG PX, JIA M, *et al.* Analysis of the aroma substances in different citrus juice by GC-MS combined with multivariate statistical methods [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(21): 236-243.
- 何利刚,蒋迎春,吴黎明,等. 金峡桃叶橙等四种甜橙香气物质测定及比较分析[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(20): 120-123.
HE LG, JIANG YC, WU LM, *et al.* Determination and comparative analysis of fruit aroma volatile constituents from four different sweet orange varieties [J]. Hubei Agric Sci, 2018, 57(20): 120-123.
- 李贵节,张群琳,何雅静,等. 三种晚熟甜橙冷磨精油挥发性及主体香气成分的比较分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(5): 284-291.
LI GJ, ZHANG QL, HE YJ, *et al.* Comparative analysis of volatile and principal aroma components of cold-pressed oil from three varieties of late-maturing sweet oranges [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(5): 284-291.
- 乔宇,谢笔钧,张弛,等. 顶空固相微萃取-气质联用技术分析 3 种柑橘果实的香气成分[J]. 果树学报, 2007, 24(5): 699-704.
QIAO Y, XIE BJ, ZHANG C, *et al.* Analysis of aromatic components from three citrus fruits by HS-SPME-GC-MS [J]. J Fruit Sci, 2007, 24(5): 699-704.
- 张涵,鲁周民,王锦涛,等. 4 种主要柑橘类香气成分比较[J]. 食品科

- 学, 2017, 38(4): 192–196.
- ZHANG H, LU ZM, WANG JT, *et al.* Comparative aroma components of fruits of four main citrus varieties [J]. *Food Sci*, 2017, 38(4): 192–196.
- [15] 樊迎, 郭科阳, 赵洁, 等. 超声波辅助法提取生姜油的工艺研究[J]. *食品工程*, 2020, 2: 11–13, 34.
- FAN Y, GUO KY, ZHAO J, *et al.* Study on ultrasonic wave auxiliary extraction technology of ginger oil [J]. *Food Eng*, 2020, 2: 11–13, 34.
- [16] 雷冬明, 陈金明, 陈恺嘉. 利用顶空固相微萃取联动气相色谱-质谱分析对比分析刺果番荔枝和普通番荔枝的挥发性香气成分[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(15): 4960–4966.
- LEI DM, CHEN JM, CHEN KJ. Analysis of volatile aromatic compounds of *Annona squamosal* and *Annona muricata* by headspace-solid phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(15): 4960–4966.
- [17] 李亮星, 史云东, 李明, 等. 顶空固相微萃取法结合气相色谱-质谱联用法分析 2 种滇产艾纳香的挥发性成分[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(8): 2475–2480.
- LI LX, SHI YD, LI M, *et al.* Analysis of volatile components of 2 kinds of *Blumeabal samifera* collected from Yunnan by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(8): 2475–2480.
- [18] 付铭, 曹续, 孙宝阳, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法测定香紫苏香气成分[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 12(4): 1508–1512.
- FU M, CAO X, SUN BY, *et al.* Determination of aromatic ingredients of *Salvia sclarea* by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 12(4): 1508–1512.
- [19] 尹昌海, 魏远隆, 左海根, 等. GC-MS 结合保留指数分析南丰蜜桔挥发性成分[J]. *分析实验室*, 2012, 31(11): 58–62.
- YIN CH, WEI YL, ZUO HG, *et al.* Application of GC-MS coupled with retention indices to identify the volatile components in Nanfeng oranges [J]. *China J Anal Lab*, 2012, 31(11): 58–62.
- [20] 冯璐璐, 毛运芝, 冉慧, 等. 6 种宽皮柑橘果皮精油 GC-MS 鉴定与组分差异分析[J]. *果树学报*, 2018, 35(4): 412–422.
- FENG LL, MAO YZ, RAN H, *et al.* Identification and analysis of essential oil components of the fruit peels of 6 mandarin orange species by GC-MS [J]. *J Fruit Sci*, 2018, 35(4): 412–422.
- [21] CHEN H, JIN L, FAN C, *et al.* Non-targeted volatile profiles for the classification of the botanical origin of Chinese honey by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry combined with chemometrics [J]. *J Sep Sci*, 2017, 40(22): 4377–4384.
- [22] GOLDENBERG L, YANIV Y, DRON A, *et al.* Diversity among mandarin varieties and natural sub-groups in aroma volatiles compositions [J]. *J Sci Food Agric*, 2016, 96(1): 57–65.
- [23] AHMED EM, DENNISON RA, DOUGHERTY RH, *et al.* Flavor and odor thresholds in water of selected orange juice components [J]. *J Agric Food Chem*, 1978, 26(1): 187–191.
- [24] TØNDER D, PETERSEN MA, POLL L, *et al.* Discrimination between freshly made and stored reconstituted orange juice using GC odor profiling and aroma values [J]. *Food Chem*, 1998, 61(1/2): 223–229.
- [25] XIAO ZB, WU QY, NIU YW, *et al.* Characterization of the key aroma compounds in five varieties of mandarins by gas chromatography-olfactometry, odor activity values, aroma recombination, and omission analysis [J]. *J Agric Food Chem*, 2017, 65(38): 8392–8401.
- [26] FENG S, SUH JH, GMITTER FG, *et al.* Differentiation between flavors of sweet orange (*Citrus sinensis*) and mandarin (*Citrus reticulata*) [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(1): 203–211.
- [27] SHUI MZ, FENG T, TONG YZ, *et al.* Characterization of key aroma compounds and construction of flavor base module of Chinese sweet oranges [J]. *Molecules*, 2019, 24: 2384.

(责任编辑: 李磅礴 于梦娇)

作者简介



罗振玲, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品、农产品质量安全。

E-mail: zlluo1989@sina.com



夏慧丽, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量控制与管理。

E-mail: 64463403@qq.com