

基于主成分分析和HS-SPME-GC-MS技术综合评价不同品种芒果品质特性

黄立标, 袁艺洋, 陈琳, 杨美艳, 彭志愿, 卢小婷, 高向阳

Comprehensive Evaluation of Quality Characteristics of Different Mango Varieties Based on Principal Component Analysis and HS-SPME-GC-MS Technology

HUANG Libiao, YUAN Yiyang, CHEN Lin, YANG Meiyang, PENG Zhiyuan, LU Xiaoting, and GAO Xiangyang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040221>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

顶空固相微萃取-气质联用分析不同芒果品种香气成分差异

Analysis and Comparison of Aroma Components in Different Mango Varieties by Headspace-solid-phase Microextraction-Gas Chromatograph-Mass Spectrometer

食品工业科技. 2021, 42(11): 211-217 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020060377>

顶空固相微萃取-全二维气相色谱/飞行时间质谱测定三种芒果香气成分

Detection of Aroma Components in Three Cultivars of Mango with Headspace Solid Phase Microextraction-Comprehensive Two-dimensional Gas Chromatograph/Time of Flight Mass Spectrometer

食品工业科技. 2021, 42(15): 218-226 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070275>

顶空固相微萃取-气质联用结合主成分分析法对太平猴魁茶香气成分的研究

Studies on aroma components in Taiping Houkui tea by HS-SPME-GC-MS coupled with principal component analysis

食品工业科技. 2017(10): 49-53 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.10.001>

顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析啤特果挥发性风味物质

Analysis of volatile compounds in Piteguo by headspace-solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

食品工业科技. 2017(20): 266-270 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.20.047>

基于主成分分析的芹菜品质评价

Quality Evaluation of Celery Based on Principal Component Analysis

食品工业科技. 2020, 41(3): 308-314,320 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.051>

基于主成分分析法综合评价四种干燥方式对茼蒿脆片香气品质的影响

Comprehensive Evaluation of Four Drying Methods on Aroma Quality of Turnip Chips Based on Principal Component Analysis

食品工业科技. 2018, 39(22): 212-218,224 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.22.037>



黄立标,袁艺洋,陈琳,等. 基于主成分分析和 HS-SPME-GC-MS 技术综合评价不同品种芒果品质特性 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 297-306. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040221

HUANG Libiao, YUAN Yiyang, CHEN Lin, et al. Comprehensive Evaluation of Quality Characteristics of Different Mango Varieties Based on Principal Component Analysis and HS-SPME-GC-MS Technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 297-306. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040221

· 分析检测 ·

基于主成分分析和 HS-SPME-GC-MS 技术综合评价不同品种芒果品质特性

黄立标¹,袁艺洋¹,陈琳¹,杨美艳¹,彭志愿²,卢小婷²,高向阳^{1,*}

(1.华南农业大学食品学院广东省功能食品活性物重点实验室,广东广州 510642;

2.东莞市宝来食品有限公司,广东东莞 523270)

摘要:为表征台农、象牙和金煌三种芒果的品质特性,本文通过测定其主要品质指标,利用主成分分析法(PCA),构建芒果主要品质综合评分模型,并采用 HS-SPME-GC-MS 技术对其挥发性风味物质进行分析,综合评价其品质。结果表明,金煌的可溶性固形物、总糖含量和糖酸比最高,分别为 19%、24.18 mg/g 和 10.86;台农的 V_C 和总酚含量最高,分别达 9.52 mg/100 g 和 1.03 mg/g;主成分分析结果表明,台农的综合得分最高,其次为金煌,象牙的综合得分最低。HS-SPME-GC-MS 技术从三种芒果中共检测出 116 种挥发性风味物质,主要包括烯烃类、酚类和醛类等 8 类物质。台农和象牙的挥发性化合物以烯烃类为主,相对含量分别为 45.52% 和 58.12%,金煌中以酚类物质为主,相对含量为 56.88%。通过 ROAV 分析法共确定了 15 种关键风味化合物,其中台农和象牙香气贡献最大的物质为 (E,Z)-2,6-壬二烯醛,金煌香气贡献最大的是 3-己烯醛。台农呈柑橘香、甜香等芳香气味,象牙具有黄瓜香特征风味,而金煌含有特殊的木香气味,该风味主要由 2,4-二叔丁基苯酚所贡献。综合分析认为,台农和象牙适用于深加工,金煌则更适用于鲜食。

关键词:芒果,品质,风味,主成分分析,顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用

中图分类号:TS255.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)03-0297-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040221

本文网刊:



Comprehensive Evaluation of Quality Characteristics of Different Mango Varieties Based on Principal Component Analysis and HS-SPME-GC-MS Technology

HUANG Libiao¹, YUAN Yiyang¹, CHEN Lin¹, YANG Meiyan¹, PENG Zhiyuan², LU Xiaoting², GAO Xiangyang^{1,*}

(1.Guangdong Provincial Key Laboratory of Nutraceuticals and Functional Foods, College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2.Dongguan Baolai Food Co., Ltd., Dongguan 523270, China)

Abstract: In order to characterize the quality characteristics of three varieties of mango (Tainong, Xiangya and Jinhuang), the main quality indexes of mango was determined and a comprehensive scoring model of main quality of mango was established by principal component analysis (PCA). The volatile flavor compounds of mango were analyzed by HS-SPME-GC-MS technology, and its quality and processing characteristics were evaluated comprehensively. The results showed that the content of soluble solids, total sugar and sugar acid ratio of Jinhuang were the highest, which were 19%, 24.18 mg/g and 10.86 respectively; The contents of V_C and total phenol in Tainong were the highest, which were 9.52 mg/100 g and 1.03 mg/g respectively; The results of PCA analysis showed that the comprehensive score of Tainong was the highest, indicating that its comprehensive quality was the best, followed by Jinhuang, and the comprehensive score of Xiangya was

收稿日期: 2022-04-20

作者简介: 黄立标 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程, E-mail: 996506468@qq.com。

* 通信作者: 高向阳 (1966-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品风味化学, E-mail: gaoliangyang@scau.edu.cn。

the lowest. A total of 116 volatile compounds were detected from three mangoes by HS-SPME-GC-MS, mainly including olefins, phenols and aldehydes. The volatile compounds of Tainong and Xiangya were mainly olefins, with relative contents of 45.52% and 58.12% respectively. The volatile compounds of Jinhuang were mainly phenols, with relative contents of 56.88%. Fifteen key flavor compounds were identified from three mango varieties by the analysis of relative activity value (ROAV). Among them, (E,Z)-2,6-nonadienal contributed the most to the aroma in Tainong and Xiangya, 3-hexenal contributed the most to the aroma in Jinhuang; Tainong had citrus and sweet aroma, Xiangya had cucumber flavor, and Jinhuang had special wood flavor, which was mainly contributed by 2,4-di-tert-butylphenol. Comprehensive analysis showed that Tainong and Xiangya were suitable for deep processing, while Jinhuang was more suitable for fresh food.

Key words: mango; quality; flavor; principal component analysis; headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

芒果属漆树科(Anacardiaceae)芒果属(*Mangifera indica* L.),为世界五大水果之一,被誉为“热带果王”^[1]。因其果肉细腻,口味独特,营养丰富,备受广大消费者喜爱。芒果果实富含碳水化合物、脂类和脂肪酸、蛋白质和氨基酸、有机酸等大量营养物质,含有多酚、黄酮、萜类化合物等生物活性成分以及少量的磷、钾、铁、硫等矿物质^[2-3]。我国芒果品种众多,其中台农、象牙、金煌是广东、广西和海南等热带地区主栽的芒果品种。不同品种的芒果具有不同的品质特性,其品质特性决定了芒果产品在市场上的竞争力^[4]。研究不同品种芒果的品质特性,对芒果深加工及产品开发具有重要指导意义。

目前关于芒果品质特性分析研究已有相关报道。张劲等^[5]通过主成分分析法研究了台农一号等 6 种芒果品质特性,从色泽、口感滋味及物理特征等方面评价了不同品种芒果品质特性的差异性。谢若男等^[6]分析了海南省不同产区的台农和贵妃芒果品质特性,结果表明不同产区同一品种芒果可溶性固形物、果糖和 V_C 等成分含量差异显著。Rumainum 等^[7]分析了泰国 6 种品种芒果的品质特性及抗氧化能力的差异性。以上研究未结合芒果香气进行品质特性综合评价,而香气成分是决定芒果品质特性好坏的重要因素,因此可进一步研究不同品种芒果的香韵特征及香气强度,结合气味阈值评价芒果关键香气成分。芒果中香气物质主要是由萜类、醇类、醛类、酮类、酯类、含氮化合物和其他挥发物混合而成,不同品种芒果有其独特的香气特征^[8-9]。研究芒果风味成分及其动态特性有助于更好地控制影响芒果加工的关键品质参数^[10]。目前台农、象牙和金煌三种芒果的关键香气物质有待进一步挖掘,尚缺乏对其品质特性综合评价的研究。

顶空固相微萃取结合气相色谱/质谱(HS-SPME-GC/MS)是分析芒果挥发性化合物的主要手段,已被用于分析芒果的芳香成分和研究其品种特性^[11-12]。本研究以台农、象牙和金煌三种品种芒果为研究对象,对其主要品质特性进行分析,结合主成分分析(PCA)方法,构建芒果主要品质综合评分模型;同时采用 HS-SPME-GC-MS 技术对芒果的挥发性风味进行分析评价,进一步通过 ROAV 法分析芒果中关键风味活性物质。通过对三种品种芒果的综合品质

进行分析,旨在更好地了解其品种特性,为芒果的深加工及产品开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

本实验所用台农、象牙和金煌芒果 于 2021 年 6 月采摘于东莞市宝来食品有限公司芒果生产基地;将采摘后芒果置于 25 ℃ 条件下放至九成熟后去皮、去核,果肉立即用液氮冷冻,置于-80 ℃ 贮藏,备用;无水葡萄糖、没食子酸、硫酸 天津化学试剂有限公司;福林酚 上海麦克林生化科技有限公司;抗坏血酸 国药集团化学试剂有限公司;以上试剂均为分析纯。

LB90T 糖度计 广州市速为电子科技有限公司;PHS-3C 精密 pH 计 上海仪分科学仪器有限公司;KQ-500B 型超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;QP2010 ultra 型气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 芒果主要品质指标测定

1.2.1.1 样品前处理 将液氮冷冻后的芒果果肉样品置于 4 ℃ 冰箱中完全解冻后进行打浆处理,所得芒果浆进行以下营养成分测定。

1.2.1.2 可溶性固形物测定 采用手持便携式糖度计进行测定。将芒果浆滴在清洗校正后的手持糖度计棱镜表面后进行读数。

1.2.1.3 pH 测定 采用 PHS-3C 精密 pH 计测定。

1.2.1.4 可滴定酸测定 按 GB 12456-2021 食品中总酸的测定方法进行。

1.2.1.5 维生素 C 测定 按 GB 5009.86-2016 中 2,6-二氯酚靛滴定法进行。

1.2.1.6 总糖测定 按 GB/T 15672-2009《食用菌中总糖含量的测定》的酸水解苯酚-硫酸比色法进行。

1.2.1.7 总酚测定 参考刘晓珍等^[13]的方法,并略做修改。没食子酸标准曲线的制备:称取没食子酸 5.00 mg,加蒸馏水定容到 50 mL 容量瓶中,摇匀,得到没食子酸标准液,浓度为 0.1 mg/mL。分别取没食子酸标准液 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mL 于 25 mL 具塞试管中,用蒸馏水补足至 5 mL。然后分别加入

1.0 mL 福林酚试剂,充分振荡后静置 5 min。往各具塞试管中加入 5% Na₂CO₃ 溶液 4 mL,混匀后室温避光放置 1 h,于 760 nm 处测定其吸光度值,以不加没食子酸标准液为空白对照。绘制没食子酸标准曲线为: $y=5.91x-0.0114(R^2=0.9953)$ 。样品多酚的提取:称取芒果浆 1.00 g,按料液比 1:20 加入 60% 乙醇,置于 50 ℃、超声功率 250 W 下提取 1.5 h,于 4000 r/min 离心 20 min,取上清液用 60% 乙醇定容到 25 mL,得待测液。样品多酚含量的测定:取 1.0 mL 待测液,检测方法同标准曲线制作。

1.2.2 挥发性风味物质分析

1.2.2.1 顶空固相微萃取 参照 Shimizu 等^[11]的方法稍作改动。称取 5 g 芒果浆样品于 20 mL 顶空瓶中,加入 1 g NaCl,将老化后(250 ℃, 60 min)的 CAR/PDMS 萃取纤维头插入样品瓶顶空部分,于 50 ℃ 顶空吸附 40 min 后,将萃取头插入气相色谱进样口,250 ℃ 解析 3 min,并启动仪器采集数据。

1.2.2.2 GC-MS 条件 参照 Shimizu 等^[11]的方法稍作改动。气相色谱条件:DB-WAX 毛细管色谱柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm);进样口温度为 240 ℃,氦气载气流速 1 mL/min,不分流进样。升温程序:初始温度为 50 ℃,保持 2 min,然后以 4 ℃/min 的速率升高到 140 ℃,最后以 10 ℃/min 的速率升高到 220 ℃,保持 3 min。质谱条件:电离方式为电子电离;电子能量 70 eV;传输线温度 280 ℃;离子源温度 230 ℃;四极杆温度 150 ℃;质量扫描范围 35~500 amu。

1.2.2.3 定性定量分析 应用 GC-MS 内置的 NIST 11s.lib 谱库对检测到的挥发性成分进行鉴定,取 SI(Similar Index)>80 的数据,利用面积归一化法计算各组峰面积百分比。

1.2.2.4 相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV) 参照 Zhu 等^[14]的方法,采用 ROAV 法确定芒果中关键挥发性风味物质。将样品风味贡献最大的组分设为 $ROAV_{max}=100$,其他风味化合物由下式计算:

$$ROAV_i \approx \frac{C_i}{C_{max}} \times \frac{T_{max}}{T_i} \times 100$$

式中: C_i 和 T_i 分别为各风味化合物的相对百分含量和对应的感觉阈值; C_{max} 和 T_{max} 分别为样品中总体风味贡献最大组分的相对含量和相对应的感觉阈值。

1.3 数据处理

以上实验均平行测定 3 次,结果表示为平均值±标准偏差,并采用 IBM SPSS 24.0、Origin 2018 64Bit 和 Excel 软件进行数据处理及作图;采用 SIMCA-P 14.1 进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 芒果主要品质指标测定结果

测定三种品种芒果的 pH、可溶性固形物、可滴定酸、糖酸比、 V_C 、总糖和总酚等成分,结果见表 1。

由表 1 可知,三种品种芒果的 pH 有显著差异($P<0.05$),其中台农 pH 最低,金煌最高;可溶性糖和可滴定酸是芒果中重要的营养成分和风味物质,芒果中的甜酸滋味主要由糖酸的种类和比例所决定的^[15-16]。金煌和台农的糖含量显著高于象牙芒果($P<0.05$),其中金煌的含糖量最高,可滴定酸含量最低,糖酸比显著高于台农和象牙芒果($P<0.05$);可见,金煌在口感风味上偏甜,而台农芒果的糖酸比最低,口感偏酸,这与王贵一等^[17]的研究结果一致。台农中 V_C 含量为 9.52 ± 0.42 mg/100 g,总酚含量为 1.03 ± 0.06 mg/g,显著高于另外两个芒果品种($P<0.05$),象牙中 V_C 和总酚的含量最低,分别为 4.45 ± 0.4 mg/100 g 和 0.57 ± 0.01 mg/g。 V_C 和多酚是芒果中主要的抗氧化物质,台农的 V_C 和总酚含量最高,这也赋予了台农更高的抗氧化能力和丰富的营养价值。

表 1 三种品种芒果主要品质指标分析
Table 1 Analysis on main quality indexes of three varieties of mango

主要品质指标	芒果品种		
	台农	象牙	金煌
pH	4.06±0.09 ^c	4.45±0.07 ^b	4.58±0.04 ^a
可溶性固形物(%)	18.75±0.11 ^a	11.50±0.00 ^b	19.00±0.00 ^a
可滴定酸(g/L)	5.24±0.04 ^a	1.81±0.01 ^b	1.75±0.03 ^b
糖酸比	3.58±0.03 ^c	6.35±0.02 ^b	10.86±0.20 ^a
总糖(mg/g)	22.24±0.33 ^a	17.68±2.12 ^b	24.18±0.34 ^a
V_C (mg/100 g)	9.52±0.42 ^a	4.45±0.4 ^c	8.13±0.36 ^b
总酚(mg/g)	1.03±0.06 ^a	0.57±0.01 ^c	0.86±0.02 ^b

注:表中不同字母表示同一指标下不同样品差异性显著($P<0.05$)。

2.2 芒果主要品质指标主成分分析

一般认为当主成分特征值>1,累计方差贡献率>85%时,所提取的主成分可表示原始变量大部分主要信息^[18]。利用主成分分析法对三种芒果主要品质指标的数据进行分析,结果见表 2、表 3。由表 2 可知,提取前 2 个特征值为主成分,累计方差贡献率达 93.813%,说明这 2 个主成分可以代表原始数据 93.813% 的信息,有较高的代表性。

表 2 主成分特征值及方差贡献率
Table 2 Eigenvalue and variance contribution rate of principal component

主成分	特征值	方差贡献率(%)	累计方差贡献率(%)
1	3.936	56.233	56.233
2	2.631	37.580	93.813
3	0.241	3.440	97.253
4	0.118	1.681	98.934
5	0.046	0.661	99.595
6	0.028	0.404	100.000

结合表 2 和表 3 可知,主成分 1 的方差贡献率为 56.233%,其中糖酸比、总酚、可滴定酸的荷载绝对值较高,表明主成分 1 主要代表的是糖酸比、总酚、可滴定酸的信息;总酚含量对主成分 1 正向影响

表3 主成分荷载矩阵

Table 3 Principal component loading matrix

理化指标	主成分1	主成分2
pH(X ₁)	-0.748	-0.647
可溶性固形物(X ₂)	0.019	0.978
可滴定酸(X ₃)	0.890	0.438
糖酸比(X ₄)	-0.965	0.178
总糖(X ₅)	-0.224	0.890
V _C (X ₆)	0.263	0.930
总酚(X ₇)	0.949	-0.119

较大,因此主成分1可作为芒果抗氧化能力的体现;主成分2的方差贡献率为37.58%,其中可溶性固形物、V_C、总糖的荷载绝对值较高,表明主成分2主要代表的是可溶性固形物、V_C、总糖的信息。可溶性固形物含量对主成分2正向影响较大,因此主成分2可作为芒果甜度的体现。

由SIMCA-P软件得到三种品种芒果主成分分析图(图1)。由图1可知,9个实验样品数据点均分布于95%置信区间内,三种品种芒果有较好的区分效果,三种品种芒果分别位于得分图的不同象限,表明三种品种芒果的品质存在一定差异。其中,金煌和台农对主成分1的影响较为一致,象牙在主成分1和主成分2上与台农和金煌的距离较远,说明象牙的营养品质与台农和金煌差异较大。

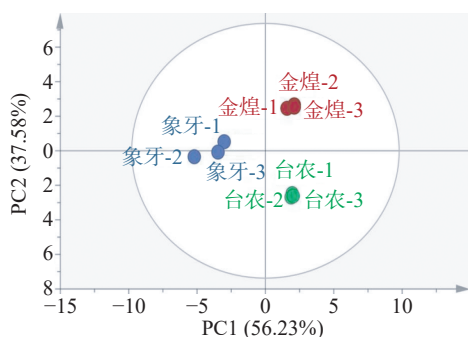


图1 三种品种芒果品质主成分分析图

Fig.1 Principal component analysis of quality of three varieties of mango

2.3 芒果主要品质综合评价

对各主要品质指标原始数据进行标准化处理,以消除不同单位及数据量纲的影响^[19]。各主成分得分根据标准化后的各品质指标及因子荷载矩阵计算,设2个主成分为F₁、F₂,以特征向量为权重建立2个主成分的表达式如下:

$$F_1 = -0.377X_1 + 0.01X_2 + 0.449X_3 - 0.486X_4 - 0.113X_5 + 0.133X_6 + 0.478X_7$$

$$F_2 = -0.399X_1 + 0.603X_2 + 0.27X_3 + 0.11X_4 + 0.549X_5 + 0.537X_6 - 0.073X_7$$

以2个主成分对应的方差贡献率为权重,构建不同品种芒果的综合评价得分函数,公式为: $F_{\text{综}} = 0.56233F_1 + 0.3758F_2$ 。根据综合评价模型计算不

同品种芒果的得分并排名,结果见表4。

表4 三种品种芒果主成分分析综合得分

Table 4 Comprehensive score of principal component analysis of three varieties of mango

品种	F ₁	F ₂	F _综	排名
台农	1.644	28.589	11.668	1
象牙	-1.715	18.242	5.891	3
金煌	-3.321	28.682	8.911	2

F值越大,表明该品种芒果的综合品质越好。由表4可知,台农的品质综合得分最高,表明其综合品质最好,其次为金煌,象牙的品质综合得分最低,其综合品质最差。台农的总酚、V_C和可溶性固形物含量高,具有较高营养价值,品质较好;象牙的总酚、V_C和可溶性固形物含量最低,品质较差,这与主成分分析综合得分结果一致。

2.4 不同品种芒果挥发性风味物质分析

2.4.1 不同品种芒果的挥发性组分分析 采用SPME-GC-MS分析不同品种芒果的挥发性风味成分,其总离子流图和各挥发性风味物质相对含量见图2、表5所示。三种品种芒果共检测出116种挥发性风味物质,其中包含醇类26种、醛类19种、酯类22种、烯烃18种、酮类7种、酚类4种、烷烃7种、其他13种。Ma等^[20]研究表明,芒果中香气物质主要包括萜烯、酯、醛、酮、醇和酸等,其中萜烯类物质是芒果的主体特征香气成分,与本实验检测结果一致。

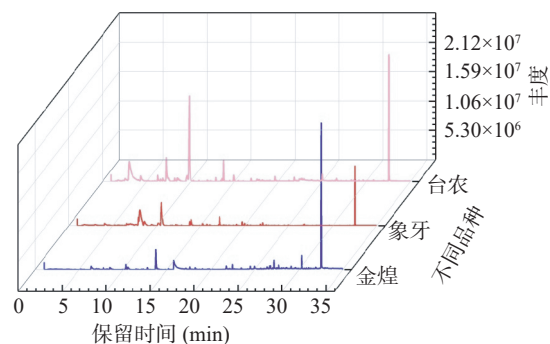


图2 不同品种芒果挥发性成分总离子流图

Fig.2 Total ion current map of volatile components in different mango varieties

由图3可知,烯烃和酚类是三种品种芒果中主要的挥发性风味化合物,其中烯烃类在台农、象牙和金煌中相对含量分别为45.52%、58.12%及10.77%,酚类相对含量分别为25.76%、14.11%及56.88%。此外,醛类物质在象牙中相对含量为16%,高于台农(5.05%)和金煌(4.54%);醇类物质在金煌中相对含量为12.64%,高于台农(11.35%)和象牙(5.11%);酯类物质在台农中相对含量为7.95%,而在象牙和金煌中相对含量较低,分别为1.49%和2.59%。综上,台农和象牙中相对含量占比较高的挥发性化合物组分相同,主要以烯烃类为主,但含量有所差异;金煌中相对含量占比较高的挥发性化合物在组分和含量上,与

表 5 不同品种芒果挥发性风味成分 SPME-GC-MS 分析结果

Table 5 SPME-GC-MS analysis results of volatile flavor components in different mango varieties

类别	序号	保留时间 (min)	CAS号	名称	相对含量(%)		
					台农	象牙	金煌
醇类	1	3.012	64-17-5	乙醇	2.63±1.32 ^a	0.40±0.04 ^a	—
	2	7.249	71-36-3	正丁醇	0.80±1.01 ^a	—	—
	3	8.795	123-51-3	异戊醇	0.19±0.16 ^a	—	—
	4	11.78	556-82-1	异戊烯醇	—	0.27±0.04 ^a	—
	5	11.912	1576-95-0	顺-2-戊烯醇	0.46±0.15 ^a	—	—
	6	12.871	111-27-3	正己醇	0.89±0.06 ^a	—	1.01±0.15 ^a
	7	13.801	928-96-1	叶醇	5.07±0.76 ^b	2.18±0.20 ^b	9.55±1.29 ^a
	8	14.142	5454-79-5	顺-3-甲基环己醇	—	0.17±0.16 ^a	—
	9	15.973	5921-73-3	2-壬炔-1-醇	0.11±0.10 ^a	—	—
	10	15.978	105-30-6	2-甲基-1-戊醇	0.10±0.00 ^a	—	—
	11	17.032	104-76-7	2-乙基己醇	—	0.31±0.02 ^a	—
	12	18.734	78-70-6	芳樟醇	—	0.14±0.00 ^a	—
	13	19.039	111-87-5	正辛醇	0.14±0.02 ^b	0.37±0.03 ^a	0.19±0.04 ^b
	14	20.279	562-74-3	4-萜烯醇	—	0.18±0.19 ^a	—
	15	20.292	150-86-7	植物醇	—	0.24±0.23 ^a	—
	16	21.418	15356-70-4	DL-薄荷醇	—	0.10±0.01 ^a	—
	17	21.804	1066-42-8	二甲基硅烷二醇	—	0.19±0.2 ^a	—
	18	22.015	143-08-8	1-壬醇	0.16±0.01 ^a	—	—
	19	22.685	10339-61-4	反式-3-壬烯-1-醇	—	—	0.04±0.04 ^a
	20	22.712	50598-21-5	2-乙烯基-2, 5-二甲基-4-己烯-1-醇	—	0.09±0.09 ^a	—
	21	23.015	98-55-5	α -松油醇	—	0.12±0.005 ^a	—
	22	24.494	56805-23-3	3,6-亚壬基-1-醇	0.14±0.06 ^a	0.15±0.03 ^a	0.88±0.35 ^a
	23	26.649	1197-01-9	2-(4-甲基苯基)丙-2-醇	0.64±0.32 ^a	0.22±0.01 ^a	—
	24	26.68	106-24-1	香叶醇	—	—	0.81±0.09 ^a
	25	28.64	112-53-8	月桂醇	—	—	0.01±0.02 ^a
	26	31.159	112-72-1	1-十四醇	—	—	0.14±0.11 ^a
醛类	1	1.798	75-07-0	乙醛	—	0.69±0.36 ^a	—
	2	5.155	66-25-1	正己醛	—	0.33±0.00 ^b	0.43±0.03 ^a
	3	6.47	4440-65-7	3-己烯醛	0.14±0.12 ^a	—	0.56±0.61 ^a
	4	7.648	111-71-7	庚醛	—	0.51±0.49 ^a	—
	5	8.498	6728-26-3	2-己烯醛	1.51±0.48 ^b	5.60±0.81 ^a	1.87±0.02 ^b
	6	10.364	124-13-0	正辛醛	0.27±0.05 ^a	—	—
	7	13.635	124-19-6	壬醛	0.64±0.12 ^b	3.00±0.63 ^a	0.75±0.17 ^b
	8	15.51	112-54-9	十二醛	0.05±0.04 ^b	0.51±0.19 ^a	—
	9	16.938	112-31-2	癸醛	0.79±0.02 ^b	3.08±0.86 ^a	0.38±0.05 ^b
	10	17.664	100-52-7	苯甲醛	0.21±0.26 ^a	—	—
	11	18.209	18829-56-6	反式-2-壬烯醛	—	0.07±0.07 ^a	—
	12	19.598	557-48-2	(E,Z)-2,6-壬二烯醛	1.17±0.04 ^a	1.50±0.14 ^a	—
	13	20.682	432-25-7	β -环柠檬醛	—	0.14±0.00 ^a	—
	14	22.445	106-26-3	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	—	0.27±0.03 ^a	—
	15	23.334	124-25-4	肉豆蔻醛	—	0.10±0.01 ^a	—
	16	23.811	5392-40-5	柠檬醛	0.14±0.02 ^a	—	—
	17	23.88	141-27-5	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	0.05±0.05 ^b	0.20±0.04 ^a	—
	18	29.162	1620-98-0	3,5-二叔丁基-4-羟基苯甲醛	0.13±0.11 ^b	—	0.49±0.10 ^a
	19	32.33	66408-55-7	金合欢基乙醛	—	—	0.06±0.06 ^a
酯类	1	2.557	141-78-6	乙酸乙酯	1.92±0.63 ^a	—	—
	2	4.368	105-54-4	丁酸乙酯	3.42±0.84 ^a	—	—
	3	4.567	4358-59-2	(2Z)-2-丁烯酸甲酯	—	0.21±0.20 ^a	—
	4	4.985	123-86-4	乙酸丁酯	0.13±0.01 ^a	—	—
	5	5.686	4606-07-9	环丙基甲酸乙酯	—	0.24±0.23 ^a	—
	6	8.216	109-21-7	丁酸丁酯	0.83±0.19 ^a	—	—
	7	11.571	3681-82-1	(E)-3-己烯-1-醇乙酸酯	—	—	0.27±0.08 ^a

续表 5

类别	序号	保留时间 (min)	CAS号	名称	相对含量(%)		
					台农	象牙	金煌
酯类	8	11.593	3681-71-8	乙酸叶醇酯	—	0.26±0.01 ^a	—
	9	12.797	10307-26-3	正己基磺酸甲酯	—	0.14±0.14 ^a	—
	10	12.803	400-61-3	三氟乙酸己酯	—	0.11±0.12 ^a	—
	11	16.039	53398-84-8	(E)-己-3-烯基丁酸酯	—	0.42±0.06 ^a	—
	12	17.833	5405-41-4	3-羟基丁酸乙酯	0.44±0.06 ^a	0.07±0.07 ^b	—
	13	21.213	110-38-3	癸酸乙酯	0.14±0.03 ^a	—	—
	14	26.535	106-33-2	月桂酸乙酯	0.17±0.01 ^a	—	—
	15	22.896	695-06-7	γ-己内酯	0.69±0.3 ^a	—	—
	16	25.29	823-22-3	丁位己内酯	0.06±0.06 ^a	—	—
	17	27.015	74367-34-3	2-甲基丙酸3-羟基-2,4,4-三甲基苯酯	—	0.03±0.03 ^a	0.13±0.13 ^a
	18	27.159	74381-40-1	2,4,4-三甲基戊烷-1,3-二基双(2-甲基丙酸酯)	—	—	1.17±1.27 ^a
	19	27.473	106-29-6	丁酸叶醇酯	—	—	0.25±0.04 ^a
	20	27.734	104-50-7	丙位辛内酯	0.12±0.06 ^b	—	0.81±0.24 ^a
	21	27.872	126-73-8	磷酸三丁酯	—	—	0.09±0.10 ^a
	22	28.555	698-76-0	丁位辛内酯	0.04±0.06 ^a	—	—
烯烃	1	4.128	7785-70-8	蒎烯	—	2.10±0.05 ^a	—
	2	5.536	127-91-3	β-蒎烯	0.53±0.32 ^a	0.11±0.10 ^a	—
	3	6.251	13466-78-9	3-萜烯	1.69±0.25 ^a	1.30±1.23 ^a	1.80±0.11 ^a
	4	6.77	3338-55-4	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	—	0.66±0.71 ^a	0.72±0.76 ^a
	5	6.89	99-86-5	松油烯	0.71±0.59 ^a	—	—
	6	7.173	123-35-3	月桂烯	—	1.05±0.27 ^a	—
	7	7.286	5989-27-5	D-柠檬烯	8.10±0.64 ^b	24.53±1.3 ^a	1.67±0.47 ^c
	8	7.527	555-10-2	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	0.75±0.63 ^a	—	—
	9	8.642	99-85-4	γ-松油烯	0.58±0.48 ^a	1.32±0.02 ^a	—
	10	9.873	29050-33-7	4-萜烯	30.70±4.28 ^a	23.96±0.19 ^a	5.63±0.92 ^b
	11	13.487	18368-95-1	对薄荷-1,3,8-三烯	0.44±0.10 ^a	—	—
	12	14.855	62338-57-2	3-乙烯基-1,2-二甲基-1,4-环己二烯	—	0.05±0.05 ^a	—
	13	14.935	2039-90-9	2,6-二甲基苯乙烯	1.30±1.08 ^a	0.70±0.66 ^a	—
	14	14.995	768-49-0	2-甲基-1-苯基丙烯	0.72±0.91 ^a	0.64±0.69 ^a	0.56±0.23 ^a
	15	19.983	87-44-5	β-石竹烯	—	1.25±0.13 ^a	—
	16	22.067	6753-98-6	α-石竹烯	—	0.30±0.32 ^a	—
	17	23.417	3691-11-0	α-布藜烯	—	0.14±0.02 ^a	—
	18	23.442	17066-67-0	β-瑟林烯	—	—	0.39±0.18 ^a
酮类	1	4.098	1629-58-9	1-戊烯-3-酮	0.52±0.08 ^a	—	—
	2	10.99	513-86-0	3-羟基-2-丁酮	0.29±0.07 ^a	—	—
	3	12.182	110-93-0	甲基庚烯酮	—	0.56±0.02 ^a	0.11±0.11 ^b
	4	24.905	585-74-0	3'-甲基苯乙酮	—	0.02±0.02 ^a	—
	5	26.768	3796-70-1	香叶基丙酮	—	0.41±0.03 ^a	0.74±0.27 ^a
	6	28.174	14901-07-6	β-紫罗兰酮	—	0.04±0.04 ^a	—
	7	29.555	3658-77-3	呋喃酮	—	—	0.11±0.045 ^a
酚类	1	27.757	128-37-0	2,6-二叔丁基对甲酚	—	0.02±0.03 ^a	—
	2	29.175	57354-65-1	4-叔丁基-2,6-二异丙基苯酚	0.16±0.21 ^a	0.03±0.04 ^a	—
	3	32.565	96-76-4	2,4-二叔丁基苯酚	25.5±1.57 ^b	14.06±3.72 ^c	56.88±2.35 ^a
	4	30.086	106-44-5	对甲酚	0.10±0.08 ^a	—	—
烷烃	1	3.21	630-04-6	三十一烷	—	0.07±0.07 ^a	—
	2	5.285	1002-17-1	2,9-二甲基癸烷	—	0.11±0.10 ^a	—
	3	25.681	629-94-7	正二十一烷	—	—	0.30±0.38 ^a
	4	28.07	2719-62-2	6-苯基十二烷	—	—	0.13±0.14 ^a
	5	28.191	2719-63-3	5-苯基十二烷	—	—	0.12±0.13 ^a
	6	28.463	2719-64-4	4-苯基十二烷	—	—	0.08±0.09 ^a
	7	28.637	294-62-2	环十二烷	—	—	0.11±0.13 ^a
其他	1	1.54	71773-95-0	(2S)-2-氨基-N-乙基丙酰胺	—	0.31±0.09 ^a	—
	2	9.61	527-84-4	邻-异丙基苯	3.19±0.25 ^a	3.20±0.09 ^a	0.45±0.32 ^b

续表 5

类别	序号	保留时间 (min)	CAS号	名称	相对含量(%)		
					台农	象牙	金煌
其他	3	15.83	64-19-7	乙酸	—	—	9.14±2.06 ^a
	4	17.933	1759-28-0	4-甲基-5-乙基噻唑	—	0.15±0.01 ^a	—
	5	19.303	7320-37-8	1,2-环氧十六烷	—	0.08±0.03 ^a	—
	6	19.535	631-61-8	乙酸铵	—	0.03±0.03 ^a	—
	7	22.378	2834-5-1	11-溴十一酸	0.37±0.31 ^a	—	—
	8	22.504	556-68-3	十六烷基环八硅氧烷	—	0.05±0.05 ^a	—
	9	24.986	2941-78-8	2-氨基-5-甲基苯甲酸	—	—	0.99±0.25 ^a
	10	28.375	95-16-9	苯并噻唑	—	0.15±0.03 ^a	—
	11	30.606	19870-75-8	8-丙氧基雪松	—	—	0.10±0.12 ^a
	12	31.393	105-60-2	己内酰胺	—	—	0.07±0.08 ^a
	13	32.972	76-74-4	戊巴比妥	—	—	0.12±0.13 ^a

注: “—”为未检测出成分, 表中不同小写字母表示同一物质在不同品种之间差异性显著($P<0.05$)。

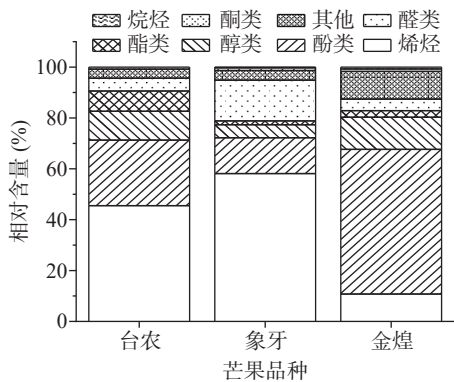


图3 不同品种芒果挥发性成分种类相对含量图

Fig.3 Relative content of volatile components in different mango varieties

另外两个品种有一定差异, 主要以酚类物质为主。不同品种芒果挥发性化合物组分和含量的差异, 导致其在香气特征上各不相同。

由表 5 可知, 台农中相对含量最高的是 4-萜烯(30.7%), 其次为 2,4-二叔丁基苯酚(25.5%)和 D-柠檬烯(8.1%); 象牙中相对含量最高的是 D-柠檬烯(24.53%), 其次为 4-萜烯(23.96%)和 2,4-二叔丁基苯酚(14.06%); 金煌中相对含量最高的是 2,4-二叔丁基苯酚(56.88%), 其次为叶醇(9.55%)和乙酸(9.14%)。其中 4-萜烯和 D-柠檬烯是三种芒果中共有的主要萜烯类化合物, 在台农和象牙中相对含量较高, 在金煌中的相对含量为 5.63% 和 1.67%。萜烯类化合物具有特殊的香气及生理活性, 这些物质赋予了芒果主要的特征香气^[21]。张浩等^[22]研究发现芒果中含量最高的萜烯类化合物主要包括 4-萜烯、D-柠檬烯等, 与本研究结果一致。2,4-二叔丁基苯酚是共有的酚类物质, 且在金煌中的含量非常突出, 可能对其香气有一定贡献, 需进一步分析。叶醇是共有的主要醇类物质, 在金煌中的相对含量高于台农和象牙, 这也赋予了芒果更多的清香香韵^[23]。此外, 2-己烯醛、壬醛和癸醛是共有的醛类物质, 在象牙中相对含量较高, 分别为 5.60%、3.00% 和 3.08%, 这些醛类物质具有花香、果香香气^[24]。

2.4.2 ROAV 计算分析芒果中关键挥发性风味物质

芒果的风味是由各挥发性物质含量与其香气阈值共同决定的, 为进一步确定芒果中关键挥发性风味物质, 结合各风味化合物相对含量及其在水中的香味阈值, 计算各组分 ROAV 值, 结果见表 6。

由表 6 可知, 在三种品种芒果中, 共有 15 种挥发性风味化合物 $ROAV \geq 1$, 分别为叶醇、3-己烯醛、2-己烯醛、正辛醛、壬醛、癸醛、反式-2-壬烯醛、(E, Z)-2,6-壬二烯醛、丁酸乙酯、3-萜烯、D-柠檬烯、4-萜烯、香叶基丙酮、2,4-二叔丁基苯酚和邻-异丙基苯, 这些物质对芒果整体香气的贡献相对较高, 是关键挥发性物质。 $0.1 \leq ROAV < 1$ 的挥发性风味化合物共有 8 种, 分别为正己醇、芳樟醇、1-壬醇、香叶醇、十二醛、月桂烯、1-戊烯-3-酮和 β -紫罗兰酮, 它们对芒果的整体香气起修饰作用。

台农中的关键风味物质为(E, Z)-2,6-壬二烯醛、丁酸乙酯、正辛醛和 4-萜烯, 其中丁酸乙酯和正辛醛是台农特有的关键风味物质, 具有柑橘香、甜香香气特征^[31]。象牙中的关键风味物质以醛类物质为主, 有(E, Z)-2,6-壬二烯醛、反式-2-壬烯醛和壬醛, 其中反式-2-壬烯醛为象牙特有的关键风味物质, 赋予其黄瓜香气^[24]。(E, Z)-2,6-壬二烯醛作为台农和象牙中风味贡献最大的物质, 奠定了芒果的清香韵风味特征^[29]。张劲^[26]研究发现(E, Z)-2,6-壬二烯醛、3-萜烯和柠檬烯等是构成台农一号主要香气物质, 与本实验结果一致。Munafa 等^[10]研究发现“Praya Sowoy”芒果品种中(E, Z)-2,6-壬二烯醛、(E)3-己烯醛和(E)-2-壬烯醛对芒果整体香气有重要贡献, 与本实验结果一致。金煌中风味贡献最大的是 3-己烯醛, 其关键风味物质还包括 2,4-二叔丁基苯酚、香叶基丙酮、邻-异丙基苯、叶醇以及醛类(壬醛、癸醛和 2-己烯醛)和烯炔类(4-萜烯、D-柠檬烯和 3-萜烯)。这些风味化合物形成了金煌特征的果香、花香等香味气息^[23], 使其风味更为浓郁、丰富。其中 2,4-二叔丁基苯酚是金煌中相对含量最高的关键风味化合物, 有较高风味活度值(12.7), 对芒果风味贡献较大, 这也赋予了

表 6 不同品种芒果挥发性成分的相对风味活度值
Table 6 Relative flavor activity values of volatile components in different mango varieties

类别	序号	名称	阈值 ^[25-28] (mg/kg)	风味描述 ^[1,26, 29-33]	ROAV		
					台农	象牙	金煌
醇类	1	正己醇	0.2	水果香	0.01	—	0.23
	2	叶醇	0.2	绿色嫩叶清香	0.04	0.01	2.13
	3	芳樟醇	0.0015	花香	—	0.12	—
	4	正辛醇	0.11	油脂, 柑橘味	0.00	0.00	0.08
	5	1-壬醇	0.002	柑橘香	0.14	—	—
	6	香叶醇	0.075	玫瑰香	—	—	0.48
醛类	1	乙醛	0.167	过熟苹果香味	—	0.01	—
	2	正己醛	0.21	青草香, 苹果香	—	0.00	0.09
	3	3-己烯醛	0.00025	青草味	0.96	—	100.00
	4	庚醛	0.031	果香	—	0.02	—
	5	2-己烯醛	0.04	草香味	0.06	0.19	2.09
	6	正辛醛	0.0001	柑橘香	4.62	—	—
	7	壬醛	0.0035	脂肪花香	0.31	1.14	9.57
	8	十二醛	0.00107	柑橘香	0.08	0.64	—
	9	癸醛	0.005	柑橘香, 花香	0.27	0.82	3.39
	10	反式-2-壬烯醛	0.000065	黄瓜香气	—	1.44	—
	11	(E,Z)-2,6-壬二烯醛	0.00002	绿色, 甜瓜	100.00	100.00	—
	12	β -环柠檬醛	0.005	玫瑰, 果味	—	0.04	—
	13	柠檬醛	0.005	柠檬香	0.05	—	—
	14	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	0.04	—	—	0.01	—
酯类	1	丁酸乙酯	0.001	强烈果香	5.85	—	—
	2	丁酸丁酯	0.1	果香	0.01	—	—
	3	乙酸叶醇酯	0.0121	青草香	—	0.03	—
	4	癸酸乙酯	0.02	白兰地似香气	0.01	—	—
烯烃	1	蒎烯	0.033	松节油味	—	0.08	—
	2	3-蒎烯	0.044	柑橘香	0.07	0.04	1.83
	3	松油烯	0.085	柠檬香	0.01	—	—
	4	月桂烯	0.013	柑橘味	—	0.11	—
	5	D-柠檬烯	0.034	柠檬果香	0.41	0.96	2.19
	6	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	0.036	—	0.04	—	—
	7	4-蒎烯	0.044	甜香味	1.19	0.73	5.71
	8	对薄荷-1,3,8-三烯	0.0393	—	0.02	—	—
酮类	9	β -石竹烯	0.064	丁香似香味	—	0.03	—
	1	1-戊烯-3-酮	0.0012	刺激性气味	0.74	—	—
	2	甲基庚烯酮	0.1	柑橘香	—	0.01	0.05
	3	香叶基丙酮	0.01	果香	—	0.05	3.30
酚类	4	β -紫罗兰酮	0.000461	花香	—	0.12	—
	1	2,4-二叔丁基苯酚	0.2	酚芳香气味	0.22	0.09	12.70
	2	对甲酚	0.002	苯酚气味	0.09	—	—
其他	1	邻-异丙基苯	0.0084	胡萝卜气味	0.65	0.51	2.39

注: “—”为未查出相关阈值或香气描述。

金煌一种特殊的木香气味^[34]。目前暂未发现 2,4-二叔丁基苯酚物质作为芒果中关键风味物质的相关报道。Pino 等^[24]采用 GC-MS 结合 OAV 检测分析 20 种芒果挥发性风味发现(E, Z)-2,6-壬二烯醛、反式-2-壬烯醛和癸醛等风味化合物的气味活性值大于 1,并对芒果整体香气有重要贡献,与本实验结果一致。

3 结论

三种品种芒果主要品质和风味特征均有一定差异。通过主成分分析构建了芒果主要品质综合评价

模型: $F_{\text{综}}=0.56233F_1+0.3758F_2$,并对三种品种芒果分析得出台农的综合得分最高,其次为金煌,而象牙的综合得分最低。采用 HS-SPME-GC-MS 技术共检测出 116 种挥发性风味物质,主要含有醇、醛、酯、烯烃、酮、酚、烷烃以及其他等 8 类物质。结合 ROAV 分析确定了 15 种关键风味化合物和 8 种修饰性风味化合物,其中(E, Z)-2,6-壬二烯醛对台农和象牙的风味贡献最大,3-己烯醛对金煌风味贡献最大。综合分析认为,台农具有柑橘香、甜香等宜人的芳香气

味,营养价值高,综合品质好,适用于深加工。象牙虽综合得分低,但具有黄瓜香特征风味,且其成熟期不同于另外两个品种,可填补因采摘期不同所造成的芒果市场空白;金煌含糖量高,糖酸比大,还含有一种特殊的木香气味,则更适合于鲜食。

本研究有利于更好的了解台农、象牙和金煌三种芒果品种特性,所确定的关键风味化合物为下一步寻找芒果成熟度标记物的研究奠定了基础。在下一步研究中将考虑感官评价分析,采用气相色谱与嗅闻结合技术,验证芒果的特征挥发性成分,确定其关键香气物质强度。

参考文献

- [1] CUEVAS-GLORY L F, SAURI-DUCH E, SOSA-MOGUEL O, et al. Characterization of odor-active compounds in mango 'Ataulfo' (*Mangifera indica* L.) fruit[J]. *Chemical Papers*, 2020, 74(11): 4025–4032.
- [2] MALDONADO-CELIS M E, YAHIA E M, BEDOYA R, et al. Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Nutritional and phytochemical compounds[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 10: 1073.
- [3] 梁秀嫻. 芒果皮精油提取、成分分析及抗氧化性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2017. [LIANG Xiumei. Research on different extraction methods and antioxidant characteristics of mango peel essential oil[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017.]
- [4] JHA S, NARSAIAH K, SHARMA A, et al. Quality parameters of mango and potential of non-destructive techniques for their measurement-A review[J]. *Food Sci. Technol*, 2010, 47(1): 1–14.
- [5] 张劲, 黄丽, 夏宁, 等. 6个芒果品种品质特性评价研究[J]. *食品科技*, 2011, 36(9): 65–69. [ZHANG Jing, HUANG Li, XIA Ning, et al. Evaluation of six mango cultivars by fruit quality characters[J]. *Food Science and Technology*, 2011, 36(9): 65–69.]
- [6] 谢若男, 马晨, 张群, 等. 海南省芒果主产区主栽品种果实品质特性分析[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(12): 2511–2517. [XIE Ruonan, MA Chen, ZHANG Qun, et al. Characteristic analysis on fruit quality of major varieties in main mango producing regions of Hainan[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(12): 2511–2517.]
- [7] RUMAINUM I M, WORARAD K, SRILAONG V, et al. Fruit quality and antioxidant capacity of six Thai mango cultivars[J]. *Agriculture and Natural Resources*, 2018, 52: 208–214.
- [8] PANDIT S S, CHIDLEY H G, KULKARNI R S, et al. Cultivar relationships in mango based on fruit volatile profiles[J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(1): 363–372.
- [9] LEBRUN M, PLOTTO A, GOODNER K, et al. Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 48(1): 122–131.
- [10] MUNAFO J P, DIDZBALIS J, SCHNELL R J, et al. Characterization of the major aroma-active compounds in mango (*Mangifera indica* L.) cultivars haden, white alfonso, Praya Sowoy, royal special, and malindi by application of a comparative aroma extract dilution analysis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(20): 4544–4551.
- [11] SHIMIZU K, MATSUKAWA T, KANEMATSU R, et al. Volatile profiling of fruits of 17 mango cultivars by HS-SPME-GC/MS combined with principal component analysis[J]. *Bioscience Biotechnol Biochem*, 2021, 85(8): 1789–1797.
- [12] SILVA E D S, SANTOS JUNIOR H B, GUEDES T J F L, et al. Comparative analysis of fresh and processed mango (*Mangifera indica* L., cv. "Maria") pulps: Influence of processing on the volatiles, bioactive compounds and antioxidant activity[J]. *Food Science and Technology*, 2021: 1–10.
- [13] 刘晓珍, 李福香, 祝兆亮, 等. 芒果核多酚超声辅助提取工艺优化及抑菌活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(14): 56–60, 70. [LIU Xiaozhen, LI Fuxiang, ZHU Zhaoliang, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction and antimicrobial activity of polyphenols from mango core[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(14): 56–60, 70.]
- [14] ZHU Y, CHEN J, CHEN X, et al. Use of relative odor activity value (ROAV) to link aroma profiles to volatile compounds: application to fresh and dried eel (*Muraenesox cinereus*)[J]. *International Journal of Food Properties*, 2020, 23(1): 2257–2270.
- [15] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. *果树学报*, 2015, 32(2): 304–312. [ZHENG Lijing, NIE Jiyun, YAN Zhen. Advances in research on sugars, organic acids and their effects on taste of fruits[J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32(2): 304–312.]
- [16] WU J X, XU Z L, ZHANG Y J, et al. An integrative analysis of the transcriptome and proteome of the pulp of a spontaneous late-ripening sweet orange mutant and its wild type improves our understanding of fruit ripening in citrus[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2014, 65(6): 1651–1671.
- [17] 王贵一, 孟嘉琪, 许文静, 等. 不同品种芒果的营养成分及风味物质分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(1): 71–79. [WANG Guiyi, MENG Jiajun, XU Wenjing, et al. Analysis of nutritional components and flavor substances of different varieties of mangoes[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(1): 71–79.]
- [18] 雷月, 宫彦龙, 邓茹月, 等. 基于主成分分析和聚类分析综合评价蒸谷米的品质特性[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(7): 258–267. [LEI Yue, GONG Yanlong, DENG Ruyue, et al. Comprehensive evaluation of quality characteristics of parboiled rice based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(7): 258–267.]
- [19] 李伟, 邵海燕, 陈杭君, 等. 基于主成分分析的不同品种杨梅果实综合品质评价[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(6): 161–171. [LI Wei, HAO Haiyan, CHEN Hangjun, et al. Comprehensive fruit quality evaluation of different varieties of bayberry based on principal component analysis[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(6): 161–171.]
- [20] MA X W, SU M Q, WU H X, et al. Analysis of the volatile profile of core chinese mango germplasm by headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Molecules*, 2018, 23(6): 1480.

- [21] 刘华南, 江虹锐, 陆雄伟, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同芒果品种香气成分差异[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(11): 211–217. [LIU Huanan, JIANG Hongrui, LU Xiongwei, et al. Analysis and comparison of aroma components in different mango varieties by headspace-solid-phase microextraction-gas chromatograph-mass spectrometer[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(11): 211–217.]
- [22] 张浩, 安可婧, 徐玉娟, 等. 基于电子舌与 SPME-GC-MS 技术的芒果风味物质的比较分析[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(10): 214–224. [ZHANG Hao, AN Keqian, XU Yujuan, et al. The characteristic flavor compounds analysis of different cultivars of mango by electronic tongue and SPME-GC-MS[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(10): 214–224.]
- [23] 李雪, 韩燕, 许晶冰, 等. 顶空固相微萃取-气质联用法研究油麦菜采后香气成分的变化[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(8): 254–260. [LI Xue, HAN Yan, XU Jingbing, et al. Analysis of aroma components dynamic changes during the storage of the leaf-used lettuce by HS-SPME-GC-MS method[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(8): 254–260.]
- [24] 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.
- [25] 李美萍, 李彩林, 王华瑞, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-嗅闻-质谱联用分析红香酥梨的香气成分[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(6): 130–139. [LI Meiping, LI Cailin, WANG Huarui, et al. Analysis of aroma compounds in red fragrant pear by headspace solid phase micro-extraction and gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(6): 130–139.]
- [26] 张劲. 芒果香气特征分析研究[D]. 南宁: 广西大学, 2011. [ZHANG Jing. Study on aroma characterization of mango fruit[D]. Nanning: Guangxi University, 2011.]
- [27] SAN A T, JOYCE D C, HOFMAN P J, et al. Stable isotope dilution assay (SIDA) and HS-SPME-GCMS quantification of key aroma volatiles for fruit and sap of Australian mango cultivars[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 613–619.
- [28] 沈菲, 罗瑞明, 丁丹, 等. 基于相对气味活度值法的新疆大盘鸡中主要挥发性风味物质分析[J]. *肉类研究*, 2020, 34(8): 46–50. [SHEN Fei, LUO Ruiming, DING Dan, et al. Analysis of main volatile flavor compounds in Xinjiang market chicken based on relative odor activity value[J]. *Meat Research*, 2020, 34(8): 46–50.]
- [29] ZHANG W T, DONG P, LAO F, et al. Characterization of the major aroma-active compounds in Keitt mango juice: Comparison among fresh, pasteurization and high hydrostatic pressure processing juices[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 215–222.
- [30] 陈婷婷. 柑橘果实香气活性物质的确定及香气品质评价模型的建立[D]. 重庆: 西南大学, 2018. [CHEN Tingting. Identification of aroma-active compounds and modeling of aroma quality evaluation of citrus fruits[D]. Chongqing: Southwest University, 2018.]
- [31] 项攀. 芒果香气化合物协同作用研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2020. [XIANG Pan. Study on the perceptual interactions among odorants in mangoes[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2020.]
- [32] 王春龙, 罗禹, 段灵鑫, 等. GC-MS 法比较分析不同产地川佛手精油成分[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(7): 274–281. [WANG Chunlong, LUO Yu, DUAN Lingxin, et al. Comparative analysis of essential oil components of bergamot from different origins by GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(7): 274–281.]
- [33] TAO Y S, ZHANG L. Intensity prediction of typical aroma characters of cabernet sauvignon wine in Changli County (China) [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2010, 43(10): 1550–1556.
- [34] 崔琳琳, 赵葵, 周一鸣, 等. 基于 GC-MS 和电子鼻技术的大米挥发性风味成分分析[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(12): 134–141. [CUI Linlin, ZHAO Shen, ZHOU Yiming, et al. Analysis of volatile flavor components in rice based on GC-MS and electronic nose technology[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(12): 134–141.]