

不同品种芒果的营养成分及风味物质分析

王贵一, 孟嘉, 许文静, 陈昌琳, 刘思琪, 吕远平

Analysis of Nutritional Components and Flavor Substances of Different Varieties of Mangoes

WANG Guiyi, MENG Jiajun, XU Wenjing, CHEN Changlin, LIU Siqi, and LV Yuanping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021030216>

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

6种菊花花瓣的营养成分分析与评价

Analysis and evaluation of nutritional components in 6 species of *Dendranthema morifolium*

食品工业科技. 2017(08): 346-349

不同搭架方式百香果营养成分分析及综合评价

Comprehensive Evaluation and Analysis of Passion Fruit in Different Frame Modes

食品工业科技. 2021, 42(21): 33-40

不同加工方式红糖营养成分与香气成分分析比较

Analysis and Comparison of Nutritional Components and Aroma Components of Brown Sugar with Different Processing Methods

食品工业科技. 2021, 42(19): 43-55

新疆吐鲁番地区不同品种甜瓜营养成分分析及品质综合评价

Analysis of Nutritional Components and Comprehensive Evaluation of Quality of Different Varieties of Muskmelon in Turpan, Xinjiang

食品工业科技. 2021, 42(13): 358-365

柴达木地区不同果色枸杞果实营养成分比较分析

Comparative Analysis of Nutritional Ingredient of Goji Berries with Different Fruit Colors in Qaidam Area

食品工业科技. 2021, 42(4): 202-207



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王贵一, 孟嘉珺, 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. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030216

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. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030216

不同品种芒果的营养成分及风味物质分析

王贵一¹, 孟嘉珺¹, 许文静¹, 陈昌琳², 刘思琪¹, 吕远平^{1,3,*}

(1. 四川大学轻工科学与工程学院, 四川成都 610065;
2. 四川省农业科学院经济作物育种栽培研究所, 四川成都 610300;
3. 四川大学食品科学与技术四川省高校重点实验室, 四川成都 610065)

摘要: 本论文以产自四川攀枝花地区的四种芒果(大黄芒、大青芒、鹰嘴芒、台芒)为研究对象, 通过测定其各项营养成分指标并通过主成分分析(PCA), 结合其挥发性香气成分, 对其进行综合评价。结果表明: 糖酸比、 β -胡萝卜素含量最高的是大黄芒, 分别为 16.47 和 4.06 mg/100 g; 水分含量、可溶性糖、可滴定酸和总酚含量最高的是鹰嘴芒, 分别为 82.96%、21.22%、2.03% 和 0.73 mg/g; 可溶性蛋白质含量最高的是台芒, 为 7.83 mg/g。主成分分析结果表明, 芒果评价体系可由两个主成分来表征, 综合排名由高到低为鹰嘴芒、台芒、大黄芒、大青芒。四种芒果的挥发性香气成分中, 萜烯类化合物占比由高到低分别为大黄芒、鹰嘴芒、台芒、大青芒。本研究为攀枝花芒果产业发展划分提供了一定的理论依据。

关键词: 芒果, 营养成分, 主成分分析, 风味成分

中图分类号: TS255.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)01-0071-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030216



本文网刊:

Analysis of Nutritional Components and Flavor Substances of Different Varieties of Mangoes

WANG Guiyi¹, MENG Jiajun¹, XU Wenjing¹, CHEN Changlin², LIU Siqi¹, LV Yuanping^{1,3,*}

(1. College of Biomass Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. Industrial Crop Research Institute Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610300, China;
3. Food Science and Technology Key Laboratory of Universities in Sichuan Province, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In this thesis, four varieties of mangoes (Dahuang mango, Daqing mango, eagle-mouth mango, Tai mango), which were all out put in Panzhihua, were investigated as the research objects. The comprehensive evaluation of the four varieties of mangoes was carried out by measuring their various nutritional components combined with their volatile aroma components. In the meantime, the principal component analysis (PCA) was established on the nutritional components. The results showed that there were obvious differences in the quality of the four varieties of mangoes. The highest sugar-acid ratio and β -carotene content belonged to Dahuang mango, which were 16.47 and 4.06 mg/100 g, respectively. The highest water content, content of soluble sugar, titratable acid and total phenols belonged to eagle-mouth mango, which were 82.96%, 21.22%, 2.03% and 0.73 mg/g, respectively. The highest soluble protein content belonged to Tai mango, which was 7.83 mg/g, respectively. Principal component analysis (PCA) results showed that the mango evaluation system can be characterized by two principal components. The highest comprehensive score was eagle-mouth mango, the second was Tai mango, the third was Dahuang mango, and the fourth was Daqing mango. The proportions of terpenoids in the four varieties of mangoes from high to low were Dahuang mango, eagle-mouth mango, Tai mango and Daqing mango. This research provided a theoretical basis for the development of Panzhihua mango industry.

Key words: mango; nutritional components; principal component analysis; volatile aroma

收稿日期: 2021-03-17

基金项目: 四川省科技计划项目(重点研发项目); 四川特色水果加工关键技术研究及产品开(2020YFN0149)。

作者简介: 王贵一(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品工程, E-mail: 948588956@qq.com。

* 通信作者: 吕远平(1971-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬、肉制品加工, E-mail: 364943477@qq.com。

芒果(*Mangifera indica* L.)素有“热带果王”之美誉,为世界五大水果之一^[1]。地处金沙江干热河谷区的四川省攀枝花市,其芒果产业在全国领先,已有芒果品种超 300 个^[2]。以大黄芒、大青芒、鹰嘴芒、台芒为代表的晚熟“攀芒”品种,市场占有率最高,广受消费者喜爱。

研究表明,芒果营养成分丰富且含量较高,同时还富含多酚等天然抗氧化剂,具有抗氧化、防治心脑血管疾病等功效^[3]。目前国内外学者对芒果的研究主要包括贮藏与保鲜^[4-6]、芒果产品的营养与功能特性^[7-8]、芒果的无损检测^[9]、芒果香气成分^[10-11]等方面,但缺乏对芒果营养物质和香气两者结合的评价,如赵家桔^[12]只对不同品种芒果的品质特征进行了研究,PINO 等^[13]只对比了不同地区芒果品种香气成分种类和含量的差异。

基于现有研究基础,并结合四种晚熟“攀芒”的品质特征无深度研究,品种优势得不到凸显的研究现状。本研究以上述四种芒果为研究对象,对其营养特性进行探究,依据主成分分析方法,采用降维思想,建立芒果综合品质评价体系,更客观、全面地描述样品的相对地位。同时采用顶空固相微萃取(HS-SPME)技术结合气质联用仪(GC-MS),对芒果样品的挥发性香气进行采样分析。为消费者进行芒果品种的选择以及攀枝花芒果优良品种的后续开发利用、优势芒果品牌创建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大黄芒、大青芒、鹰嘴芒、台芒 购于成都青石桥菜市场,鲜果,成熟度一致,产地均为四川省攀枝花市;考马斯亮蓝、牛血清蛋白、氢氧化钠、酚酞、苯酚、浓硫酸、蔗糖、福林酚、抗坏血酸、丙酮,石油醚、HCl、NaOH 均为分析纯,成都科隆化学有限公司;β-胡萝卜素 阿拉丁试剂(上海)有限公司;MgCO₃、2-辛醇 上海麦克林生化科技有限公司。

SQP 型分析天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;GZX-9140MBE 型电热鼓风干燥箱 上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;UV-1800BPC 型分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;GC-MS-QP2010SE SYSTEM 气质联用仪 日本岛津制作株式会社;173R 高速冷冻离心机 丹麦 Scanspeed 公司;VORTEX-GENIE5 型可调速漩涡混合器 美国 Scientific Industries 公司;Milli-Q Element 超低元素型超纯水系统 上海晶仪科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 营养成分测定

1.2.1.1 果实重量测定 对新鲜、洗净的芒果进行剥皮及去核处理,削皮厚度约 1 mm,紧贴果核进行切割,尽可能保证芒果果肉被切割,称量其净果肉重量,四种芒果均进行同样的处理。

1.2.1.2 水分含量的测定 参考《果蔬采后生理生化

实验指导》中“果蔬组织含水量的测定”方法进行^[14]。将芒果烘至恒重,烘干后减少的质量占鲜重的质量分数即为芒果的水分含量。

$$\text{芒果水分含量}(\%) = \frac{m_{\text{芒果鲜重}} - m_{\text{芒果干重}}}{m_{\text{芒果鲜重}}}$$

1.2.1.3 可溶性蛋白质的测定 参考邓丽莉等^[15]采用的考马斯亮蓝法。分别将 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 的标准蛋白质溶液(100 μg/mL 牛血清白蛋白)和 1.0、0.8、0.6、0.4、0.2、0 mL 蒸馏水与 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液混匀,静置 5 min 后在 595 nm 波长处测定吸光度。以蛋白质含量为横坐标,以吸光度为纵坐标绘制标准曲线。分别取不同品种芒果果肉 2 g,加入 5 mL 水,充分研磨后于 4 ℃、12000 r/min 离心处理 15 min,取上清液得到可溶性蛋白质提取液。吸取 1.0 mL 提取液,加入 5.0 mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液,静置 5 min 后在波长 595 nm 处比色,按照制作标准曲线同样的方法测定吸光度。

$$\text{可溶性蛋白质含量}(\text{mg/g}) = \frac{m_1 \times V}{V_s \times m \times 1000}$$

式中: m_1 为从标准曲线查得的蛋白质的含量(μg); V 为样品提取液总体积(mL); V_s 为测定时所取样品提取液体积(mL); m 为样品质量(g)。

1.2.1.4 可滴定酸含量的测定 参考《果蔬采后生理生化实验指导》中“果蔬中可滴定酸含量的测定”方法进行^[14]。称取研磨后的芒果样品 10.0 g 于 100 mL 容量瓶中,定容并静置 30 min。吸取 20.0 mL 滤液,加入 2 滴 1% 酚酞指示剂,用 0.1 mol/L 氢氧化钠溶液滴定。滴定至溶液初显粉色并在 0.5 min 内不褪色时为终点(pH=8.1~8.3),记录氢氧化钠滴定液的用量,重复三次。以蒸馏水代替滤液进行滴定作为空白对照。

$$\text{可滴定酸含量}(\%) = \frac{(V_1 - V_0) \times 0.067}{2 \times m} \times 100$$

式中: V_1 滴定滤液所消耗的氢氧化钠溶液体积, mL; V_0 为滴定蒸馏水消耗的氢氧化钠溶液体积, mL; m 为样品质量, g; 0.067 为折算系数。

1.2.1.5 可溶性糖含量的测定 参考《果蔬采后生理生化实验指导》中“果蔬中可溶性糖含量的测定”方法进行^[14]。分别将 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 的 100 μg/L 的蔗糖标准液和 2.0、1.8、1.6、1.4、1.2、1.0 mL 蒸馏水混合,再按顺序加入 1.0 mL 90 g/L 苯酚溶液、5 mL 浓硫酸并混匀,室温下反应 30 min。以空白为参比,在波长 485 nm 处比色,以蔗糖质量为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线。分别取 1 g 不同品种芒果果肉研磨,再加入 5~10 mL 蒸馏水,沸水煮沸提取 30 min,于 100 mL 容量瓶中定容,制成可溶性糖提取液。吸取 0.5 mL 提取液,加入 1.5 mL 蒸馏水,测定步骤与制作标准曲线相同,根据下式计算芒果中可溶性糖含量。

$$\text{可溶性糖含量}(\%) = \frac{m_1 \times V \times N}{V_s \times m \times 10^6} \times 100$$

式中: m_1 为从标准曲线查得的蔗糖质量, μg ; V 为样品提取液总体积, mL ; N 为样品提取液稀释倍数; V_s 为测定时所取样品提取液体积, mL ; m 为样品质量, g 。

1.2.1.6 糖酸比的测定 糖酸比根据可溶性糖和可滴定酸的含量计算。

1.2.1.7 总酚含量的测定 参照 Folin-Ciocalteus 法进行^[16]。取 5 g 研磨好的芒果样品于 50 mL 离心管中,用 51% 的丙酮提取(液料比 7:1,提取温度为 47 °C,提取时间为 43 min),并 6000 r/min 离心 10 min,取上清液旋转蒸发除去溶剂,加蒸馏水至 10 mL,4 °C 条件保存。分别吸取 0.1 mL 不同浓度(0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mg/mL)的没食子酸标准溶液与 2.0 mL 碳酸钠溶液(20 mg/mL)混合,25 °C 孵育 2 min 后加入已用蒸馏水对倍稀释的 Folin—Ciocalteu 试剂溶液 0.9 mL,混匀,25 °C 反应 30 min,于波长 750 nm 处测定反应溶液的吸光度值,绘制没食子酸标准曲线。样品的测定:取样品溶液 0.1 mL 替代没食子酸标准溶液按上述步骤反应,将所测吸光度值代入标准曲线,计算得到样品提取物的总酚含量。标准曲线方程为: $Y=0.5605X+0.01725$, $R^2=0.99932$, 式中 Y : 吸光度, X : 总酚含量(mg)。以求得的总酚含量乘以稀释倍数再除以所称的芒果重量(g),即得到每克芒果中所含总酚含量,单位为 mg/g。

1.2.1.8 维生素 C 的测定 采用马宏飞等^[17]的方法,并略做改进。以蒸馏水为参比,以 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、8.0、10.0 $\mu\text{g/mL}$ 维生素 C 标准溶液在 243 nm 处的吸光度绘制标准曲线。称取 10.0 g 芒果果肉于研钵中,加入 10 mL 1% HCl 研磨。以蒸馏水定容至 50 mL 后离心处理 10 min,上清液为芒果提取液。将 1 mL 上清液与 2 mL 10% HCl 混合于 50 mL 容量瓶中,蒸馏水定容后在 243 nm 处测定其吸光度。将 1 mL 芒果提取液、10 mL 蒸馏水和 4 mL 1 mol/L NaOH 溶液于 50 mL 容量瓶中,混合静置反应 20 min,加入 4 mL 10% HCl 后以蒸馏水定容,在 243 nm 处测定其吸光度。利用两次吸光度计算出芒果中维生素 C 的含量(mg/100 g)。标准曲线方程为: $Y=0.05571X+0.01231$, $R^2=0.99943$, 式中 Y : 吸光度, X : 维生素 C 含量($\mu\text{g/mL}$)。

1.2.1.9 β -胡萝卜素的测定 参照 ORTEGA 等^[18]的方法,并做适当修改。取 10.0 g 芒果果肉,加入 30 mL 丙酮与石油醚混合液($V(\text{丙酮}):V(\text{石油醚})=4:1$)研磨均匀,再加入 1.0 g MgCO_3 ,超声 30 min 后离心 20 min。取上清液置于分液漏斗中,加入 75 mL 20% NaCl 溶液萃取,分离后排出水相,用石油醚定容至 50 mL,在 450 nm 波长下测定吸光值^[19]。以石油醚溶解 β -胡萝卜素标品,分别配制 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 $\mu\text{g/mL}$ 的 β -胡萝卜素溶

液,在 450 nm 下测定吸光值,以 β -胡萝卜素含量为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线。将所测样品的吸光度值代入标准曲线,计算得到样品的 β -胡萝卜素含量。标准曲线方程为: $Y=0.28211X+0.0048$, $R^2=0.99956$, 式中 Y : 吸光度, X : β -胡萝卜素含量($\mu\text{g/mL}$)。

1.2.2 风味物质测定 选用 2-辛醇(20 $\mu\text{g/mL}$)做内标物,该成分不出现在样品香气中,出峰位置附近无干扰峰出现,且出现在组分中前部,是较为理想的内标物^[20]。

1.2.2.1 HS-SPME 提取香气成分 在尚朝杰^[21]方法的基础上有所改动。取 7.0 g 芒果果肉,磨成匀浆,置于 15 mL 样品瓶中,加入 2-辛醇(20 $\mu\text{g/mL}$)作为内标物,加盖密封并使用漩涡振荡器混合均匀。平衡 10 min 后插入 100 μm PDMS-DVB 固相微萃取头,于 45 °C 条件下顶空萃取 60 min,将萃取头插入气-质联用仪进样口,萃取头在 GC-MS 进样口解吸附 5 min。

1.2.2.2 GC-MS 分析 色谱条件:色谱柱为 DB-5MS 毛细管柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);载气为 He,流速 1 mL/min,不分流;进样温度为 250 °C,柱箱温度为 50 °C;升温程序为起始温度 35 °C,保持 6 min,以 5 °C/min,升至 150 °C,保留 2 min,以 8 °C/min 升至 250 °C,保留 3 min;质谱条件:EI 电离源,能量 70 eV,倍增电压 1400 V;离子源温度 230 °C,接口温度 250 °C,四极杆温度 150 °C;扫描范围 35~350 m/z。

1.3 数据处理

除特殊说明外,所有数据均为 3 次平行实验的平均值。采用 Excel 2019 进行数据整理,结果用测定指标的平均值 \pm 标准差表示,利用 SPSS Statistics 26 软件进行数据相关性分析、主成分分析, SIMCA14.1 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 营养成分分析

四种芒果的功能指标及营养品质的检测结果见表 1。由表 1 可知,大黄芒、大青芒的净果肉含量高于鹰嘴芒、台芒,而水分含量与可溶性蛋白质含量四种芒果均相差不大,分别在 80%、7 mg/g 左右。

糖酸含量是形成果品营养价值和风味特点的重要基础物质。糖酸比越高,水果越甜,反之则越酸^[22],水果中多种糖和有机酸的综合作用会对水果的风味、贮藏性、加工性质等产生重要的影响^[23]。鹰嘴芒和台芒的含糖量高出其他两个品种 40% 以上,其可滴定酸的含量也高出另外两个芒果品种 110% 以上,致使它们的糖酸比反而低于另外两个品种。当水果糖酸比小于 14.9 时,风味多为甜酸或酸涩,表明鹰嘴芒和台芒的风味浓郁且偏甜酸^[24]。而大黄芒与大青芒在风味上更偏甜一些。苹果酸与柠檬酸这两种有机酸在芒果总酸中起主要作用,而总糖又包括蔗糖、果糖和葡萄糖,四种芒果糖酸比及口感出现差异可能

表1 不同品种芒果果实的营养成分

Table 1 Nutritional composition of different varieties of mangoes

理化指标	样品			
	大黄芒	大青芒	鹰嘴芒	台芒
净果肉含量(%)	74.96±4.46 ^a	75.10±2.50 ^a	68.28±4.44 ^b	71.07±4.19 ^{ab}
水分含量(%)	82.76±1.12 ^a	81.43±1.08 ^a	82.96±1.18 ^a	79.36±1.30 ^a
可溶性蛋白质(mg/g)	7.01±0.02 ^d	7.17±0.05 ^c	7.61±0.07 ^b	7.83±0.01 ^a
可滴定酸(%)	0.79±0.03 ^c	0.83±0.04 ^c	2.03±0.03 ^a	1.78±0.029 ^b
可溶性糖(%)	13.03±0.19 ^b	13.62±0.11 ^b	21.22±0.37 ^a	19.78±0.28 ^a
糖酸比	16.47±0.48 ^a	16.45±0.39 ^a	10.45±0.25 ^b	11.11±0.23 ^b
总酚(mg/g)	0.45±0.01 ^c	0.47±0.02 ^{bc}	0.73±0.02 ^a	0.55±0.02 ^b
维生素C(mg/100 g)	9.66±0.20 ^a	4.29±0.20 ^b	4.99±0.07 ^b	5.96±0.18 ^{ab}
β -胡萝卜素(mg/100 g)	4.06±0.05 ^a	2.67±0.06 ^c	4.01±0.08 ^{ab}	3.87±0.05 ^b

注: 同行不同字母代表差异显著($P < 0.05$)。

是因为不同品种有机酸和糖类在组分、含量以及对甜度的贡献度方面存在差异^[25]。

鹰嘴芒的总酚含量在几种品种中最高, 与其他品种有显著差异($P < 0.05$)。酚类化合物是一种广泛存在于水果中的次生代谢产物^[26], 除了参与水果风味及色泽等感官品质的形成外, 还具有清除机体体内自由基、抗脂质氧化等生物活性功能^[27], 酚类物质的存在赋予了芒果更多的营养价值。

四种芒果的维生素 C 含量均不高于 10 mg/100 g, 与其他水果相比, 虽低于柑橘(维生素 C 含量约为 32 mg/100 g)、西瓜(19 mg/100 g)、葡萄(16 mg/100 g)等, 但也高于梨(5 mg/100 g)、香蕉(0.4 mg/100 g)等水果^[18, 28]。维生素 C 又称抗坏血酸, 它既是鉴定水果品质的重要生理生化指标, 也具有广泛的生理功能。

从表 1 可看出, 四种芒果的 β -胡萝卜素含量非常高, 大黄芒高达 4.06 mg/100 g, 最低的大青芒也达到 2.67 mg/100 g。四种芒果的 β -胡萝卜素含量虽有一定的差别, 但均远远高于普通常见水果, 约为桂圆的 185 倍、草莓的 123 倍、杨梅的 93 倍、桑葚的 65 倍、葡萄的 61 倍、桃的 41 倍、苹果和梨的 37 倍、猕猴桃的 27 倍、西瓜的 8 倍^[29]。 β -胡萝卜素作为类胡萝卜素的一种, 占总类胡萝卜素含量的 48%~84%^[30], 所以芒果是补充类胡萝卜素的良好食物来源。类胡萝卜素作为维生素 A 的前体物质, 当人体需要维生素 A 时, 它能迅速转化^[31], 所以对于维生素 A 缺乏人群, 可多食用芒果。

2.2 不同品种芒果果实品质主成分分析

由于所测定的 9 个营养成分指标间存在差异且各个指标间有一定相关性, 故利用主成分分析法进行营养品质的评价。提取到 2 个特征值大于 1 的主成分, 累积的方差贡献率达到 95.599%, 反应了四个品种芒果的原始数据信息的 95.599%, 选择前 2 个主成分代替原始 9 个指标, 将 9 个营养成分指标转化为 2 个不相关的综合指标, 从而起到降维的作用^[32-33], 如表 2 所示。第 1 主成分贡献率为 73.766%, 主要

表2 主成分的特征值及贡献率

Table 2 Eigenvalues and contribution rate of the principal components

主成分	特征值	贡献率(%)	累积贡献率(%)
1	6.639	73.766	73.766
2	1.965	21.833	95.599
3	0.396	4.401	100.000

反映了可滴定酸、糖酸比、可溶性糖、净果肉含量、总酚、可溶性蛋白质及水分含量的信息。第 2 主成分贡献率为 21.833%, 主要反映了维生素 C 和 β -胡萝卜素的信息。

由图 1 可知, 不同品种芒果的区分效果较好, 四个实验样品数据点均分布于 95% 置信区间内。将得分图分为 4 个象限, 可看到大黄芒分布于第一象限, 与第四象限的大青芒有着较好的聚集性, 说明其营养品质含量相近, 同理, 鹰嘴芒和台芒两者有较好的聚集性, 即这两种芒果营养品质含量相近。但大黄芒、大青芒与鹰嘴芒、台芒并没有较好的聚集, 表明其营养品质存在一定差别。

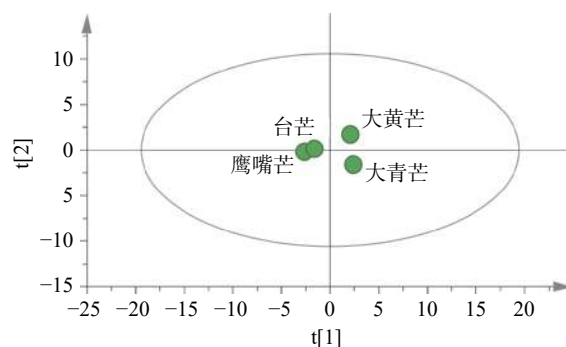


图1 不同品种芒果 PCA 得分图

Fig.1 PCA score diagram of different varieties of mangoes

由图 2 可知, 大黄芒和大青芒的维生素 C、净果肉含量、糖酸比较高, 故分布于 PC1 正方向, 鹰嘴芒和台芒的可溶性糖、可滴定酸、总酚、可溶性蛋白质等含量较高, 故分布于 PC2 负方向。综上可知, 芒果品种与营养品质存在着一定的对应关系, 不同的芒果品种有着不同的营养品质。

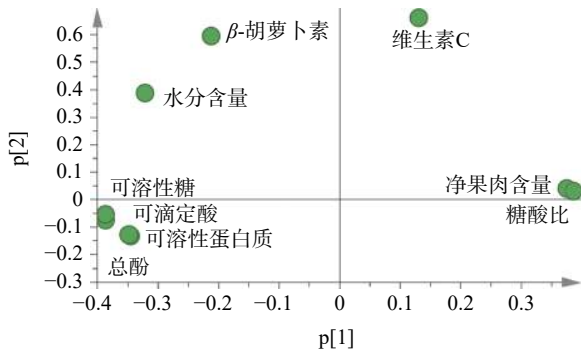


图 2 不同品种芒果 PCA 载荷图

Fig.2 PCA loading diagram of different varieties of mangoes

2.3 不同品种芒果的综合评价

为了消除不同单位及数据量纲的影响, 对各理化及营养品质等原始数据进行标准化处理。根据标准化后的各品质指标及因子荷载矩阵计算^[34]。利用主成分荷载矩阵(表 3)中各指标数据除以主成分相对应的特征值开平方根, 得到 2 个主成分中各指标所对应的系数即特征向量, 设 2 个主成分得分依次为 Y_1 、 Y_2 , 以特征向量为权重构建 2 个主成分得分表达式。

$$Y_1 = -0.382X_1 + 0.322X_2 + 0.346X_3 - 0.386X_4 + 0.387X_5 - 0.386X_6 + 0.347X_7 - 0.131X_8 + 0.213X_9$$

$$Y_2 = 0.035X_1 + 0.391X_2 - 0.133X_3 - 0.075X_4 + 0.528X_5 - 0.321X_6 - 0.126X_7 + 0.671X_8 + 0.594X_9$$

以 2 个主成分的方差贡献率为权重, 构建芒果综合评价模型: $Y = 0.73766Y_1 + 0.21833Y_2$ 。根据上述综合评价模型计算出各不同品种芒果的综合评价分值, 分值越高, 该品种芒果的综合价值越高, 不同品种芒果的主成分得分及排名如表 4 所示。

表 3 主成分荷载矩阵

品质指标	主成分1	主成分2
可滴定酸(X_5)	0.997	-0.074
糖酸比(X_6)	-0.995	0.045
可溶性糖(X_4)	0.994	-0.105
净果肉含量(X_1)	-0.983	0.049
总酚(X_7)	0.895	-0.176
可溶性蛋白质(X_3)	0.891	-0.187
水分含量(X_2)	0.830	0.548
维生素C(X_8)	-0.337	0.941
β -胡萝卜素(X_9)	0.550	0.832

表 4 不同品种芒果的主成分得分

Table 4 Principal component scores of different varieties of mangoes

名称	主成分得分		综合得分Y	排名
	Y_1	Y_2		
大黄芒	-1.32	0.93	-0.77	3
大青芒	-1.75	-2.45	-1.82	4
鹰嘴芒	1.93	0.74	1.59	1
台芒	1.14	0.78	1.01	2

由结果可知, 四种芒果中, 鹰嘴芒综合得分最高, 表明其品质表现最好, 排名第二为台芒, 而大青芒主成分综合得分最低, 表明其品质表现最差。

2.4 不同品种芒果的挥发性香气

实验得到的各芒果挥发性香气成分经计算机谱库(NIST)检索及资料分析, 四种芒果品种检出的主要香气成分及相对含量如表 5 所示^[35]。

表 5 不同品种芒果的挥发性香气

Table 5 Volatile aroma of different varieties of mangoes

类别	编号	化合物		相对含量(%)			
		中文	英文	大黄芒	大青芒	鹰嘴芒	台芒
萜烯	1	2-蒎烯	.alpha.-Pinene	10.39	8.67	3.66	17.73
	2	β -月桂烯	.beta.-Myrcene	0.60	—	—	—
	3	2-萜烯	(+)-2-Carene	22.13	6.29	—	9.28
	4	右旋萜二烯	Cyclohexene,1-methyl-4-(1-methylethenyl)-, (4R)-	1.04	—	—	—
	5	萜品烯	.gamma.-Terpinene	0.06	—	—	—
	6	[1R-(1R*,4Z,9S*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯	Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-[1R-(1R*,4Z,9S*)]-	0.06	—	—	—
	7	环己烯	Cyclohexene,1-methyl-5-(1-methylethenyl)-	0.71	—	0.14	0.40
	8	罗勒烯	1,3,6-Octatriene,3,7-dimethyl-, (3E)-	—	—	17.42	—
	9	[1R-(1R*,4Z,9S*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯	Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylene-[1R-(1R*,4Z,9S*)]-	—	—	0.50	0.03
	10	α -可巴烯	.alpha.-copaene	—	—	0.20	0.04
	11	β -可巴烯	.beta.-copaene	—	—	0.48	0.15
	12	1-石竹烯	1-Caryophyllene	—	—	—	0.01
	13	α -石竹烯	(1E,4E,8E)-.alpha.-humulene	—	—	0.13	0.01
	14	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	—	0.25	2.72	—
	15	2,4-二甲基苯乙烯	1-methyl-4-(1-methylethenyl)-Benzene	—	—	—	—

续表5

类别	编号	化合物		相对含量(%)			
		中文	英文	大黄苳	大青苳	鹰嘴苳	台苳
	16	(-)-柠檬烯	(S)-(-)-Limonene	—	0.95	—	—
	17	双戊烯	Limonene	—	—	0.17	—
	18	3-异丙烯基-5,5-二甲基环戊烯	Cyclopentene, 3-isopropenyl-5,5-dimethyl-	—	—	0.10	—
	19	4-甲基-3-(1-甲基亚乙基)环己烯	Cyclohexene, 4-methyl-3-(1-methylethylidene)-	—	—	0.22	—
	20	1,5-环癸二烯, 1,5-二甲基-8-(1-甲基亚乙基)-	1,5-Cyclodecadiene, 1,5-dimethyl-8-(1-methylethylidene)-, (E,E)-	—	—	0.46	—
	21	(3E, 5E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯	(3E,5E)-2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	—	—	0.04	—
	22	2,5-二甲基-3-乙烯基-2,4-己二烯	2,5-Dimethyl-3-vinyl-2,4-hexadien	—	—	5.85	—
	23	愈创木烯	.alpha.-Guaiene	—	—	—	0.04
	24	环己烷	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,2.beta.,4.beta.)]-	0.11	—	0.22	0.02
	25	(-)- α -muurolene	(-)- α -muurolene	—	—	—	0.02
	26	B-瑟林烯	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4a.alpha.,7.alpha.,8a.beta.)]-	2.39	3.35	0.06	2.55
	27	佛术烯	(1R,7R,8aS)-1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,8a-dimethyl-7-(1-methylethenyl)naphthalene	0.14	—	—	0.09
	28	Δ -杜松烯	(+)- δ -cadinene	—	—	—	0.01
	29	1,2,3,4,4a,5,6,8a-八氢-4a,8-二甲基-2-(1-甲基乙炔基)-	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-, [2R-(2.alpha.,4a.alpha.,8a.beta.)]-	0.22	0.29	0.16	0.08
	30	1,2,3,5,6,7,8,8a-八氢-1,4-二甲基-7-(1-甲基乙炔基)-, 1S,7R,8aS)-	Azulene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,7.alpha.,8a.beta.)]-	—	—	0.98	0.09
	31	大根香叶烯	Germacrene D	—	—	—	0.05
	32	α -古香油烯	α -Gurjunene	0.10	—	—	—
	33	邻异丙基甲苯	1-isopropyl-2-methylbenzene	—	—	—	—
	34	间异丙基甲苯	1-methyl-3-(1-methylethyl)-benzen	—	0.27	—	—
	35	4,7-二甲基-1-丙烷-2-基-1,2,3,5,6,8a-六氢萘	4,7-dimethyl-1-propan-2-yl-1,2,3,5,6,8a-hexahydronaphthalene	—	—	0.07	0.05
	36	[1S-(1 α ,4 α ,7 α)]-1,2,3,4,5,6,7,8-八氢化-1,4-二甲基-7-(1-甲基乙炔基)奥	.alpha.-Guaiene	—	—	0.46	0.32
	37	(-)-Alpha-葎澄茄油烯	(-)- α -CUBEBENE	—	—	—	0.06
总计				37.97	20.07	34.03	31.01
占比				95.38%	63.45%	95.55%	98.23%
烯烃	38	3-十四烯	3-Tetradecene, (Z)-	0.09	0.26	—	—
	39	1,5,8-对戊三烯	1,5,8-p-Menthatriene	0.22	0.33	0.09	—
	40	(3Z)-3-十六烯	(3Z)-3-Hexadecene	0.13	—	—	—
	41	2-癸烯	2-Decenal, (Z)-	—	0.40	—	—
	42	1-十四烯	1-Tetradecene	—	0.47	—	—
	43	3-十八烯	3-Octadecene, (E)-	—	0.39	—	—
	44	2-(2,2-二甲基环丙烷)-1,1-二甲基环丙烷	1,1'-Bicyclopropyl, 2,2,2',2'-tetramethyl-	—	—	0.01	—
	45	3-二十碳烯	3-Eicosene, (E)-	—	0.22	—	—
总计				0.43	2.07	0.09	0.00
占比				0.01%	0.07%	0.00%	0.00%
烷烃	46	正十四烷	Tetradecane	0.36	0.57	0.03	0.04
	47	正十五烷	Pentadecane	0.21	0.99	—	—
	48	正十六烷	Hexadecane	—	0.86	—	0.12
	49	正十七烷	Heptadecane	0.09	0.37	—	—
	50	正十九烷	Nonadecane	—	0.25	—	—
总计				0.66	3.04	0.03	0.17
占比				1.65%	9.61%	0.07%	0.62%
芳香烃	51	2,4-二叔丁基苯酚	2,4-Di-tert-butylphenol	—	0.23	0.04	—
总计				—	0.23	0.04	—
占比				0.00%	0.01%	0.00%	0.00%
醛	52	壬醛	Nonanal	0.10	0.83	—	—

续表 5

类别	编号	化合物		相对含量(%)			
		中文	英文	大黄芒	大青芒	鹰嘴芒	台芒
	53	反式-2-壬烯醛	2-Nonenal, (E)-	—	0.53	—	—
	54	正己醛	Hexanal	—	1.91	—	—
	55	癸醛	Decanal	—	0.20	0.06	—
	56	反-2-辛烯醛	2-Octenal, (E)-	—	0.12	—	—
	57	2-十一烯醛	2-Undecenal	—	0.47	—	—
	58	2-亚乙基-6-甲基庚烷-3,5-二烯醛	2-ethylidene-6-methylhepta-3,5-dienal	—	—	0.07	—
总计				0.10	4.06	0.13	0.00
占比				0.24%	12.83%	0.37%	0.00%
酯	59	1,3-二氧-1,3-二氢-异苯并呋喃-5-羧酸壬酯	1,3-dioxo-1,3-dihydro-isobenzofuran-5-carboxylic acid nonyl ester	—	—	—	0.01
	60	(Z)-丁酸-3-己烯酯	Butanoic acid, 3-hexenyl ester, (Z)-	—	—	0.28	0.02
	61	2-乙基己酸乙酯	2-ethylhexyl butanoate	—	—	0.23	—
	62	壬酸乙酯	Nonanoic acid, ethyl ester	—	—	—	—
	63	3-羟基-2,2,4-三甲基戊基异丁酸酯	(3-hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl) 2-methylpropanoate	—	0.45	—	—
	64	乙酸叶醇酯	Leaf acetate	—	—	0.78	—
	65	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	—	0.32	—	0.10
	66	丁烯酸顺-3-己烯酯	2-Butenoic acid, 3-hexenyl ester, (E,Z)-	—	—	—	0.02
	67	2-丁烯酸, 2-甲基-, (3Z)-3-己烯-1-基酯, (2Z)-	(Z)-(Z)-Hex-3-en-1-yl 2-methylbut-2-enoate	—	—	—	0.08
	68	邻苯二甲酸二异丁酯	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	—	—	—	0.02
总计				0.00	0.78	1.29	0.24
占比				0.00%	2.46%	3.62%	0.90%
酸	69	十六酸	n-Hexadecanoic acid	—	—	—	0.01
	70	亚麻酸	Linoelaidic acid	—	—	—	0.04
	71	顺式-十八碳烯酸	cis-Vaccenic acid	—	—	—	0.01
	72	十八烷酸(硬脂酸)	Octadecanoic acid	—	—	—	0.09
总计				0.00	0.00	0.00	0.15
占比				0.00%	0.00%	0.00%	0.49%
醇	73	顺-3-壬烯醇	3-Nonen-1-ol, (3Z)-	—	1.13	—	—
	74	(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇	2,3-Butanediol, [R-(R*,R*)]-	—	0.25	—	—
总计				0.00	1.39	0.00	0.00
占比				0.00%	4.38%	0.00%	0.00%

注: —表示未检出。

本次检测的四种芒果中共检测出 74 种香气成分(大黄芒 19 种, 大青芒 29 种, 鹰嘴芒 29 种, 台芒 32 种)。其中萜烯类化合物 37 种, 烯烃类化合物 8 种, 烷烃类化合物 5 种, 芳香烃 1 种, 醛类化合物 7 种, 酯类化合物 10 种, 酸类化合物 4 种以及醇类化合物 2 种。各个品种芒果的挥发性香气成分的种类相对含量差异明显。从表 5 可知, 4 种芒果样品中都含有 2-蒎烯、B-蒎烯、1,2,3,4,4a,5,6,8a-八氢-4a,8-二甲基-2-(1-甲基乙基)-、正十四烷这几种物质, 它们是组成芒果香气的重要成分, 但含量各有不同^[36-37]。

本研究的四种不同品种芒果中, 各品种所含有的挥发性组分差异较大, 这必然导致此四种芒果在香型特征上各不相同。研究表明, 芒果的香气物质有 270 多种, 主要有单萜、倍半萜、酯、醛、酮、醇、酸等, 其中萜烯类物质是最主要的香气成分^[38], 萜烯类化合物具有特殊香气及生理活性, 赋予作用较大。

萜烯类组分又以单萜为主, 最大含量的单萜组

分的不同决定了不同品种各自独特的香气特征^[39]。不同品种芒果中含有的单萜组分不同, 主要有: 蒎烯、月桂烯、柠檬烯、萹烯等。大黄芒中 2-蒎烯、2-萹烯的含量突出, 其含量甚至是低含量物质的上百倍, 这种成分一般来说对芒果的整体香气都起到一定的作用, 这些组分主要含有橘、松和果香等香韵^[39], 可能对大黄芒整体香韵有一定的贡献。大青芒中除了 2-蒎烯、2-萹烯、B-蒎烯等成分含量较高外, 其醛类含量占总挥发性成分的 12.83%, 是四种芒果之最, 这使得其香气与其他三种芒果有一些差别。鹰嘴芒中含量最高的是罗勒烯, 罗勒烯包含果香、青香和兰香韵, 含量第二高的是 2-蒎烯, 具有非常典型的松香韵, 它们对鹰嘴芒的香气有重要贡献。台芒中的 2-蒎烯、2-萹烯含量突出, 除此之外, 台芒的酯类含量是四种芒果之最, 反映出台芒除了有非常典型的橘香和果香外, 还具有较浓的甜香和脂香味。

此研究以萜烯类化合物占其总挥发性香气成分

的比例为评价指标,萜烯类化合物含量由高到低分别为:大青芒、鹰嘴芒、台芒、大青芒。从这一角度来看,大青芒和鹰嘴芒的芒果特征香气强度表现得较为明显。

3 结论

芒果果实的营养成分和风味成分是决定其是否有市场竞争力的重要因素,对不同品种芒果的营养品质进行分析,能更好地了解其品质特性,对新品种选育、未来产品开发、产品深加工乃至指导攀枝花芒果产业转型发展具有重要意义。

本研究对四种芒果品种的9项营养成分指标进行系统测定,结果表明,四种芒果营养成分在含量上均有一定程度的差异。糖酸比、 β -胡萝卜素含量最高的是大青芒,分别为16.47和4.06 mg/100 g;水分含量、可溶性糖、可滴定酸和总酚含量最高的是鹰嘴芒,分别为82.96%、21.22%、2.03%和0.73 mg/g;可溶性蛋白质含量最高的是台芒,为7.83 mg/g。利用主成分分析法对四种芒果进行全面的评价中,鹰嘴芒综合得分最高,说明其综合价值最高,之后分别是台芒、大青芒、大青芒。挥发性香气成分的检测结果显示,四种芒果共检测出74种挥发性香气成分,其中含有萜烯类、酯类、醇类、醛类、酸类化合物,这些化合物的共同作用,使芒果呈现出特殊的香甜气味。不同芒果品种的香气物质含量不同,在萜烯类化合物的占比上,大青芒>鹰嘴芒>台芒>大青芒。

本研究结果是基于现有实验条件及分析方法而做出的结论,在下一步研究中,需要考虑对不同品种芒果的黄酮、氨基酸含量等进行测定,还应结合其抗氧化性能进行芒果理化品质的综合评价。对于芒果中活性香气成分,还应结合香气特征及气味阈值进行更深入、透彻地分析。

参考文献

- [1] ENGEL K H, TRESSL R. Studies on the volatile components of two mango varieties[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1983, 31(4): 796-801.
- [2] 伍从银. 攀枝花芒果产业发展研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016. [WU Congyin. Research on the development of Panzhihua mango industry[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2016.]
- [3] KIM H, BANERJEE N, RYAN C, et al. Mango polyphenolics reduce inflammation in intestinal colitis— involvement of the miR-126/PI3K/AKT/mTOR axis *in vitro* and *in vivo*[J]. *Molecular Carcinogenesis*, 2017, 56(1): 197-207.
- [4] 蔡晨晨, 马瑞佳, 刘涛, 等. 百里香精油微胶囊复合涂膜在芒果保鲜中的应用[J/OL]. *食品工业科技*: 1-14 [2021-05-18]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020080254>. [CAI Chenchen, MA Ruijia, LIU Tao, et al. Application of Thyme oil microcapsule composite coating in mango preservation[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*: 1-14 [2021-05-18]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020080254>.]
- [5] 董婷, 高鹏, 蒋毅, 等. 电子束辐照对芒果品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(2): 279-283, 289. [DONG Ting, GAO Peng, JIANG Yi, et al. Effect of electron beam irradiation on mango quality[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(2): 279-283, 289.]
- [6] 杨华, 江雨若, 邢亚阁, 等. 壳聚糖/纳米TiO₂复合涂膜对芒果保鲜效果的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(11): 297-301. [YANG Hua, JIANG Yuruo, XING Yage, et al. Effect of Chitosan/Nano-TiO₂ composite coating on fresh-keeping of mango[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(11): 297-301.]
- [7] CHILAKALASHIREESHA, MEHTABVAZIDA, TALLAPALLY MAHESHWARI. SEC-MS/MS determination of amino acids from mango fruits and application of the method for studying amino acid perturbations due to post harvest ripening[J]. *LWT*, 2021: 138.
- [8] LAN Tian, BAO Shihan, WANG Jiaqi, et al. Shelf life of non-industrial fresh mango juice: Microbial safety, nutritional and sensory characteristics[J]. *Food Bioscience*, 2021(42): 1-10.
- [9] WANG Hailong, PENG Jiyu, XIE Chuanqi, et al. Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: A review[J]. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2015, 15(5): 11889-11927.
- [10] SYED GHULAM MUSHARRAF, JALAL UDDIN, AMNA JABBAR SIDDIQUI, et al. Quantification of aroma constituents of mango sap from different Pakistan mango cultivars using gas chromatography triple quadrupole mass spectrometry[J]. *Food Chemistry*, 2016, 196: 1355-1360.
- [11] SAN ANH T, JOYCE DARYL C, HOFMAN PETER 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.
- [12] 赵家桔. 芒果品质构成及其发育规律的研究[D]. 海口: 海南大学, 2010. [ZHAO Jiaju. Study on the development of mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality characteristics[D]. Haikou: Hainan University, 2010.]
- [13] PINO J A, MESA J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma[J]. *Flavour & Fragrance Journal*, 2010, 21(2): 207-213.
- [14] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 31-32, 54-56. [CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 31-32, 54-56.]
- [15] 邓丽莉, 潘晓倩, 生吉萍, 等. 考马斯亮蓝法测定苹果组织微量可溶性蛋白含量的条件优化[J]. *食品科学*, 2012, 33(24): 185-189. [DENG Lili, PAN Xiaoqian, SHENG Jiping, et al. Optimization of experimental conditions for the determination of water soluble protein in apple pulp using coomassie brilliant blue method[J]. *Food Science*, 2012, 33(24): 185-189.]
- [16] PASTRANA-BONILLA EDUARDO, AKOH CASIMIR C, SELLAPPAN SUBRAMANI, et al. Phenolic content and antioxidant capacity of muscadine grapes[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(18): 5497-5503.
- [17] 马宏飞, 卢生有, 韩秋菊, 等. 紫外分光光度法测定五种果蔬中维生素C的含量[J]. *化学与生物工程*, 2012, 29(8): 92-94. [MA Hongfei, LU Shengyou, HAN Qiujie, et al. Determination of vitamin C content in five kinds of fruits and vegetables by UV spec-

- trophometry[J]. *Chemistry & Bioengineering*, 2012, 29(8): 92–94.]
- [18] ORTEGA V G, JOSÉ ALBERTO RAMÍREZ DE LEÓN, VELAZQUEZ G, et al. Effect of high hydrostatic pressure on antioxidant content of 'Ataulfo' mango during postharvest maturation[J]. *Ciência Tecnologia De Alimentos*, 2013, 33(3): 561–568.
- [19] 彭达, 胡凯, 刘秋豆, 等. 高压处理对“台农”芒果采后营养活性成分及抗氧化能力的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(10): 174–181. [PENG Da, HU Kai, LIU Qiudou, et al. Effects of high pressure treatment on nutritional components and antioxidant capacities of postharvest TaiNong mango[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(10): 174–181.]
- [20] 张云峰, 陈凯, 李景明. HS-SPME-GC-MS 法分析栽培架式对威代尔葡萄果实香气的影响[J/OL]. *食品科学*: 1–12 [2021-01-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201229.0910.008.html>. [ZHANG Yunfeng, CHEN Kai, LI Jingming. Analysis of the influence of training systems to the aroma of vidalblanc grape based on HS-SPME-GC-MS[J/OL]. *Food Science*: 1–12 [2021-01-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201229.0910.008.html>.]
- [21] 尚朝杰. 芒果带皮果汁加工过程中品质变化及控制的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015. [SHANG Chaojie. Study on quality change and control during the processing of mango juice with peel[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2015.]
- [22] Z Jinfen, Y Bing, XU Hualong, et al. High efficiency determination of organic acid in fruit by reversed phase liquid chromatography[J]. *Journal of Fudan University(Natural Science)*, 2008, 47(4): 473–477.
- [23] TECHNOLOGYNUTRITION D O F, TECHNOLOGY S O F, et al. Influence of development, postharvest handling, and storage conditions on the carbohydrate components of sweetpotato (*Ipomea batatas* Lam'n.) roots[J]. *Food Science & Nutrition*, 2017, 5: 1088–1097.
- [24] 郑丽静, 聂继文, 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.]
- [25] MALDONADOCELIS MARIA ELENA, YAHIA ELHADI M, BEDOYA RAMIRO, et al. Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Nutritional and phytochemical compounds[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2019: 10.
- [26] ALAIN-MICHEL B. Evolution and current status of research in phenolic compounds[J]. *Phytochemistry* 2007, 68(22–24): 2722–2735.
- [27] 姜喜, 唐章虎, 吴翠云, 等. 3 个梨品种果实发育过程中酚类物质及其抗氧化能力分析[J/OL]. *食品科学*: 1–12 [2021-01-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210108.1523.010.html>. [JIANG Xi, TANG Zhanghu, WU Cuiyun, et al. Analysis of phenolic substances and antioxidant capacity of three pear fruits during development[J/OL]. *Food Science*: 1–12 [2021-01-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210108.1523.010.html>.]
- [28] 王延华, 范荣波, 周霞, 等. 不同贮藏方式对 5 种水果中维生素 C 和总糖含量的影响[J]. *食品工业*, 2020, 41(11): 305–307. [WANG Yanhua, FAN Rongbo, ZHOU Xia, et al. Effects of different storage methods on the contents of vitamin C and total sugar in five kinds of fruits[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(11): 305–307.]
- [29] 张雪松, 曹梦锦, 王晓婧, 等. 部分市售植物性食物中 α -胡萝卜素和 β -胡萝卜素含量分析[J]. *营养学报*, 2019, 41(2): 193–197, 203. [ZHANG Xuesong, CAO Mengjin, WANG Xiaojing, et al. Analysis of α -Carotene and β -Carotene contents in marketed plant foods[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2019, 41(2): 193–197, 203.]
- [30] 刘凤霞. 基于超高压技术芒果汁加工工艺与品质研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014. [LIU Fengxia. Effect of high hydrostatic pressure on processing and qualities of mango juice[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.]
- [31] A SALUR CAN, MELTEM TÜRKÜYLMAZ B, M. Z. A. Effects of sulfur dioxide concentration on organic acids and β -carotene in dried apricots during storage[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 412–421.
- [32] 李跃红, 冉茂乾, 徐孟怀, 等. 不同产地红心猕猴桃品质的主成分及聚类分析[J/OL]. *食品工业科技*: 1–9 [2021-02-24]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040315>. [LI Yuehong, RAN Maoqian, XU Menghuai, et al. Principal component and cluster analysis of quality of red-centred kiwifruit from different Habitats[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*: 1–9 [2021-02-24]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020040315>.]
- [33] SONG Jianxin, Shao Yong, Yan Yiming, et al. Characterization of volatile profiles of three colored quinoas based on GC-IMS and PCA[J]. *LWT*, 2021(1): 146.
- [34] 邵旭鹏, 李霖华, 沈琦, 等. 新疆吐鲁番地区不同品种甜瓜营养成分分析及品质综合评价[J/OL]. *食品工业科技*: 1–14 [2021-01-27]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090009>. [SHAO Xupeng, LI Meihua, SHEN Qi, et al. Analysis of nutritional components and comprehensive evaluation of quality of different varieties of muskmelon in Turpan, Xinjiang[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*: 1–14 [2021-01-27]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090009>.]
- [35] SINGH S P, SAINI M K. Postharvest vapour heat treatment as a phytosanitary measure influences the aroma volatiles profile of mango fruit[J]. *Food Chemistry*, 2014, 164: 387–395.
- [36] MACLEOD ALEXANDER J, MACLEOD GLESLI, SNYDER CARL H. Volatile aroma constituents of mango (cv Kensington)[J]. *Pergamon*, 1988, 27(7): 2189–2193.
- [37] BONNEAU A, BOULANGER R, LEBRUN M, et al. Impact of fruit texture on the release and perception of aroma compounds during *in vivo* consumption using fresh and processed mango fruits[J]. *Food Chemistry*, 2018, 239(15): 806.
- [38] 谢若男, 马晨, 张群, 等. 海南省芒果主产区主栽品种果实挥发性成分的对比[J]. *热带作物学报*, 2019, 40(3): 558–566. [XIE Ruonan, MA Chen, ZHANG Qun, et al. Comparative study on volatile components of mango fruit (*Mangifera indica* L.) from main producing regions of Hainan Province[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, 40(3): 558–566.]
- [39] 张劲. 芒果香气特征分析研究[D]. 南宁: 广西大学, 2011. [ZHANG Jin. Study on aroma characterization of mango fruit abstract[D]. Nanning: Guangxi University, 2011.]