

邢宇航, 郑烨宇, 薛璐, 等. 不同品种芒果核中多酚类化合物的鉴定及抗氧化活性分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 63–70. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080125

XING Yuhang, ZHENG Yeyu, XUE Lu, et al. Identification and Antioxidant Activity Analysis of Polyphenols in Different Mango Kernels Cultivars[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 63–70. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080125

· 研究与探讨 ·

不同品种芒果核中多酚类化合物的鉴定及 抗氧化活性分析

邢宇航^{1,2}, 郑烨宇³, 薛璐^{1,2}, 陈绵鸿², 刘洋洋², 周伟², 李如一^{2,*}, 李积华²

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070;

2. 中国热带农业科学院农产品加工研究所/农业农村部热带作物产品加工重点实验室,
广东湛江 524001;

3. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱 665099)

摘要: 研究不同品种芒果核内所含的多酚类物质及其抗氧化活性。对 4 种市售芒果 (象牙芒、玉芒、紫花芒和三年芒) 核中多酚类物质进行提取、测定以及统计学分析。结果表明: 芒果核中含有较为丰富的多酚类物质且具有良好的抗氧化活性, 其中紫玉芒核中多酚含量最高, 其抗氧化活性最强, 其次是象牙芒核和三年芒核, 玉芒核最差; 4 个品种的芒果核提取物存在较大差异, 易于区分, 且测定指标之间均呈现正相关, 其中总酚和水解单宁与体外抗氧化指标均呈现显著的相关性 ($P < 0.05$); 通过 UPLC-Triple TOF-MS/MS 对芒果核中的多酚类化合物进行鉴定, 共鉴定出 28 种多酚及其衍生物, 包括 2 种酚酸、8 种酚酸酯、10 种酚酸糖苷、7 种黄酮糖苷和 1 种黄酮。研究结果可为合理选择芒果品种提取芒果核中多酚类化合物提供科学依据。

关键词: 芒果核, 多酚类物质, 抗氧化活性, 相关性分析

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)09-0063-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080125

本文网刊:



Identification and Antioxidant Activity Analysis of Polyphenols in Different Mango Kernels Cultivars

XING Yuhang^{1,2}, ZHENG Yeyu³, XUE Lu^{1,2}, CHEN Mianhong², LIU Yangyang², ZHOU Wei²,
LI Ruyi^{2,*}, LI Jihua²

(1. College of Food Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory
of Tropical Crop Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhanjiang 524001, China;

3. College of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Pu'er 665099, China)

Abstract: The polyphenols and antioxidant activities of different mango cultivars were studied. Polyphenols from four commercial mango (Ivory, Yu, Zihua and Sannian) mango kernels were extracted, determined and analyzed statistically. The results showed that mango kernel contained abundant polyphenolic compounds and had good antioxidant activity. Among them, the content of polyphenol in Zihua mango kernel was the highest and its antioxidant activity was the strongest, followed by Ivory mango kernel and Sannian mango kernel, and that in Yu mango kernel was the worst. There were great differences in the extracts of mango kernels among the four cultivars, which were easy to distinguish, and there was a positive correlation between the determination indexes. Among them, total phenols and hydrolyzed tannins were

收稿日期: 2021-08-12

基金项目: 海南省自然科学基金项目 (No. 320QN325); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (No.32001689); 广东省自然科学基金面上项目 (No.2021A1515010901); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金 (No.1630122021006)。

作者简介: 邢宇航 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: xingyuhang2022@163.com。

* 通信作者: 李如一 (1991-), 女, 博士, 特聘研究员, 研究方向: 天然产物, E-mail: mwly19901016@163.com。

significantly correlated with *in vitro* antioxidant activities ($P<0.05$). Compounds in mango kernel were identified by UPLC-Triple TOF-MS/MS, and 28 polyphenols and their derivatives were identified, including 2 phenolic acids, 8 phenolic esters, 10 phenolic glycosides, 7 flavonoid glycosides and 1 flavonoid. The results can provide scientific basis for reasonable selection of mango cultivars to extract polyphenols from mango kernel.

Key words: mango kernels; polyphenols content; antioxidant activities; correlation analysis

芒果(*Mangifera indica* L.)是著名的热带水果,其果肉肉质滑嫩、含糖量高、富有特殊气味,深受广大消费者的喜爱,被誉为“热带水果之王”,是热带、亚热带的主要经济作物^[1]。近年来,世界芒果种植面积和产量都在不断上升,已成为世界五大热带农作物之一^[2]。我国的芒果种植主要集中在海南、广东、广西、云南等地区,每年产量约 160 万吨,其果肉大部分用于鲜食、制作果汁、罐头等,而剩余的果皮^[3]和果核基本上被当作废弃物,不仅造成环境污染,还会造成资源浪费^[4]。此外,芒果核还有较高含量的优质蛋白^[5]、脂肪酸^[6]、淀粉^[7]等具有极高的药用价值,据中国药典理论记载,芒果核具有补肾、祛肾寒的功能^[2],这多与所含的多酚类物质有关。

多酚是植物体内天然存在的化合物,具有单个或多个苯环并结合单个或多个羟基的化学结构,参与抵御紫外线或病原体的侵袭,属于植物次级代谢产物^[8]。基于提取的多酚类物质普遍存在抗氧化特性,可有效清除氧自由基、保护机体组织免受损伤^[9],植物多酚可作为天然抗氧化剂广泛的应用到食品、畜牧和水产等方面^[10];也可作为潜在的治疗疾病的药物^[11],所表现的抗氧化活性、抗病毒^[12]、抗菌^[13]等多种生物活性使其成为近年来研究热点^[14]。目前,从芒果核中提取多酚并测定其生物活性的研究报道较多,普遍采用的提取方法为乙醇作为有机溶剂以超声^[15]、微波^[16]等方法辅助提取,并对提取的多酚做了抗氧化活性^[17]、抑菌性^[18]以及抗癌^[11]等生物活性评估。前人所做的研究大部分集中于多酚的提取、抗氧化和生物活性,鲜有探究多酚类物质的具体成分鉴定及多酚与抗氧化之间相关性和主成分的分析。

为了鉴定不同品种芒果核内所含的多酚类物质、抗氧化性以及之间的相关性,本文选取市场上常见的象牙芒(海南)、玉芒(海南)、紫花芒(广西)和三年芒(云南)4个品种,用超声波辅助乙醇提取多酚并测定4种芒果核中的总酚、总黄酮、水解单宁、缩合单宁和体外抗氧化,并通过 UPLC-TripleTOF-MS/MS 鉴定其中的多酚类化合物,用 SPSS25 和 Origin 2019b 对所测指标进行主成分分析和相关性分析。其结果可为后续芒果核内多酚类物质进一步加工研究提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

本试验所使用的芒果 选自市售的象牙芒(产自海南)、玉芒(产自海南)、紫花芒(产自广西)和三年芒(产自云南)4种芒果,分离表皮、果肉得到其芒

果核,芒果核冻干后备用;无水碳酸钠、无水氯化铝、六水合三氯化铁、甲醇、乙醇、氢氧化钠 分析纯,西陇科学股份有限公司;盐酸 广东广试试剂科技有限公司;七水合硫酸亚铁、六氰合铁酸钾、硝酸钠 广州市金华大化试剂有限公司;三氟乙酸 上海麦克林生化科技有限公司;没食子酸、儿茶素、芦丁 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;Folin-Ciocalteu (FC)试剂、香草醛 美国 Sigma 公司;1,1-二苯基-2-苦肼基(DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基苯并噻唑-6-磺酸)(ABTS)、TPTZ 北京索莱宝有限公司。

SK2210LHC 型超声波清洗器 上海科导超声仪器有限公司;U-T6A 型紫外可见光分光光度计 屹谱仪器制造(上海)有限公司;Christ/Alpha 2-4 LDplus 型冻干机 德国 Martin Christ 公司;H1-16KR 台式高速冷冻离心机 湖南可成仪器设备有限公司;LABOROTA 400 型旋转蒸发仪 德国 Heidolph 公司;CPA225D 精密分析电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;AB ekspert™ ultraLC 110 超高效液相色谱仪、AB Sciex Triple TOF 5600+混合四级杆飞行时间质谱仪 美国 AB SCIEX 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 多酚类物质提取 用乙醇提取方法^[19]提取多酚类物质。芒果核冷冻干燥粉碎,后过 60 目筛得样品。称取 1.0 g 样品加入 20 mL 80% 乙醇,混匀后在 25 ℃、超声频率 53 kHz、功率 100 W 条件下超声 30 min,静置过夜后,离心(8000 r/min, 30 min)取上清液,获得芒果核提取物。

1.2.2 总酚含量测定 福林-酚法^[20]测定总酚含量。0.1 mL 样品与 2.9 mL 蒸馏水、0.25 mL Folin-Ciocalteu 试剂混合 5 min 后加入 0.75 mL 20% Na_2CO_3 溶液,25 ℃ 避光反应 30 min,于 765 nm 处测其吸光值,用 80% 乙醇溶解没食子酸的 50~400 $\mu\text{g/mL}$ 溶液作为参考标准绘制标准曲线($y=0.0019x+0.0193$, $R^2=0.9996$),没食子酸当量表示总酚含量。

1.2.3 总黄酮含量测定 AlCl_3 - NaOH - NaNO_3 方法^[21]测定总黄酮含量。取 0.5 mL 样品与 0.2 mL 5% NaNO_2 ,25 ℃ 反应 6 min 后,加 0.2 mL 10% AlCl_3 混匀,25 ℃ 反应 6 min,然后加 0.5 mL 4% NaOH 和 5 mL 蒸馏水充分混匀,25 ℃ 反应 15 min,于 510 nm 测定吸光值。用 80% 乙醇溶解芦丁的 100~500 $\mu\text{g/mL}$ 溶液作为参考标准绘制标准曲线($y=0.0011x+0.0026$, $R^2=0.9923$),芦丁当量表示总黄酮含量。

1.2.4 水解单宁含量测定 采用饱和 KIO_3 法测定水解单宁的含量。取 2 mL 样品与 3 mL 饱和 KIO_3

溶液混合反应 15 min, 离心(10000 r/min, 2 min), 取上清液于 550 nm 处测定吸光值。用 80% 乙醇溶解没食子酸的 50~600 $\mu\text{g/mL}$ 溶液作为参考标准绘制标准曲线($y=0.0011x+0.0342$, $R^2=0.9994$), 没食子酸当量表示水解单宁含量。

1.2.5 缩合单宁含量测定 香草醛-盐酸方法^[22] 测定缩合单宁含量。取 0.6 mL 样品与 3.0 mL 香草醛试剂(1% 香草醛甲醇溶液和 8% 盐酸甲醇溶液等体积混合, 现配现用), 25 $^{\circ}\text{C}$ 反应 20 min 后于 500 nm 处测定吸光值。用甲醇溶解儿茶素的 50~600 $\mu\text{g/mL}$ 溶液作为参考标准绘制标准曲线($y=0.0011x+0.0378$, $R^2=0.9993$), 儿茶素当量表示缩合单宁含量。

1.2.6 DPPH·清除能力 DPPH·清除能力的测定参照 Chang 等^[23]的方法并加以修改。样品溶液与 DPPH 甲醇溶液(0.1 mmol/L)混合(1:1, v/v), 25 $^{\circ}\text{C}$ 避光反应 30 min, 在 517 nm 处测定吸光值 A。空白组用超纯水代替样品, 吸光值为 A_0 。以维生素 C 标准品绘制浓度为 0.5~5 $\mu\text{g/mL}$ 的标准曲线($y=12.875x+4.2096$, $R^2=0.9998$)计算样品的 DPPH·清除能力。

$$\text{DPPH}\cdot\text{清除率}(\%) = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$$

按样品质量计算:

$$\text{DPPH}\cdot\text{清除能力}(\text{mg V}_C/\text{g d.w.}) = \frac{[(\text{清除率} - 4.2096)/12.875] \times V \times D}{W \times 1000}$$

式中: V 为加入提取液体积, mL; W 为样品质量, g; D 为稀释倍数。

1.2.7 ABTS⁺·清除能力 ABTS⁺·清除能力的测定参照杨希娟等^[24]的方法并加以修改。将 1.92 g ABTS 和 0.33 g 过硫酸钾溶于纯水中, 黑暗放置 12~16 h。取 0.6 mL 样品与 3.4 mL ABTS 溶液混匀反应 6 min, 在 734 nm 处测定其吸光值 A。空白组用超纯水代替样品, 吸光值为 A_0 。以维生素 C 标准品绘制浓度为 5~50 $\mu\text{g/mL}$ 标准曲线($y=1.4303x+1.5861$, $R^2=0.9989$)计算样品的 ABTS⁺·清除能力, 公式参照 DPPH·清除能力。

1.2.8 Fe^{3+} 还原力测定 Fe^{3+} 还原力的测定参照刘瑞等^[25]的方法并加以修改。0.5 mL 样品、1.5 mL PBS(pH=6.6)和 1.5 mL $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 混匀, 50 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 20 min。后加入 1.5 mL 10% 三氯乙酸, 离心, 取上清液 2.5 mL, 并向其中加入 1.5 mL 纯水和 0.3 mL 0.1% FeCl_3 溶液混匀, 在 700 nm 处测定其吸光值 A_i 。空白组用超纯水代替, 吸光值为 A_j 。以维生素 C 标准品绘制浓度为 25~400 $\mu\text{g/mL}$ 标准曲线($y=0.0069x+0.049$, $R^2=0.9977$, 其中 $y=\Delta A=A_i-A_j$)计算样品的 Fe^{3+} 还原力。

1.2.9 总抗氧化能力 总抗氧化能力的测定依据 FRAP 法^[23]。乙醇稀释的样品与 FRAP 试剂(包括 A 液: 0.3 mol/mL pH=3.6 醋酸缓冲液; B 液: 40 mmol/mL

盐酸配置的 10 mmol/mL 的 TPTZ 溶液; C 液: 超纯水配置的 20 mmol/L 的 FeCl_3 溶液, 上述三种溶液按照 A:B:C=10:1:1 体积比混合, 现配现用)混合后, 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴反应 5 min, 在 593 nm 处测定其吸光值, 以 FeSO_4 标品绘制浓度为 0.003125~0.1 $\mu\text{mol/mL}$ 标准曲线($y=9.1101x+0.0313$, $R^2=0.9993$)计算总抗氧化能力, 结果表示为 mmol $\text{Fe}^{2+}/\text{g d.w.}$ 。

1.2.10 多酚类化合物鉴定 色谱柱: Waters HSS T3 C_{18} 色谱柱(100 mm $\times$ 2.1 mm, 1.8 μm), 柱温: 35 $^{\circ}\text{C}$, 流动相 A: 0.05% 甲酸水, 流动相 B: 乙腈, 流速: 0.3 mL/min。采用梯度洗脱程序(0~4 min, 1%~5% B; 4~20 min, 5%~15% B; 20~30 min, 15%~35% B; 30~35 min, 35%~95% B; 35~36 min, 95%~1% B; 36~40 min, 1% B), 进样量: 3 μL , 检测器波长: 280 nm。

质谱条件: 电喷雾离子源(ESI), 并在负离子模式下进行, 其主要操作参数如下: 以空气为载气, 氮气为雾化气和辅助气, 相应的载气、雾化气和辅助气压分别为 30、50、50 psi; 离子源温度为 550 $^{\circ}\text{C}$; 雾化电压 5 kV; 去簇电压 80 V; 碰撞能 35 $\pm$ 15 eV。质谱仪的扫描范围为 m/z 50~1500, 并采用信息关联数据采集模式(IDA)对质谱数据进行采集。

1.3 数据处理

所有试验数据采用 SPSS25.0 进行显著性和相关性分析, Origin2019b 进行主成分分析并绘图。

2 结果与分析

2.1 不同品种芒果核中总酚、总黄酮、水解单宁和缩合单宁的含量

多酚类物质作为芒果核中重要的生物活性成分, 其含量及组成对于芒果核的精深加工及功能性产品的创制具有重要意义^[2]。由表 1 可以看出, 4 种芒果核提取物中总酚含量在 118.55~193.77 mg GAE/g d.w. 之间; 总黄酮的含量 8.23~25.58 mg RT/g d.w.; 而水解单宁含量差异不大, 在 22.68~27.63 mg GAE/g d.w. 之间; 缩合单宁的含量 2.34~23.17 mg CE/g d.w.。总酚和总黄酮含量较文献值^[26]测定的均较高, 可能是所选取的芒果品种或测定方法存在差异所导致的。在 4 种芒果核提取物中, 紫花芒核的总酚、总黄酮、水解单宁和缩合单宁含量均为最高, 而玉芒核含量都为最低, 其余 2 种芒果, 象牙芒核和三年芒核在总酚、总黄酮和水解单宁含量差异不大, 而缩合单宁含量相差较大。不同品种之间含量的差异, 可能是由于芒果在种植过程土壤酸碱度、水分、气候等条件的不同影响芒果核多酚类物质的积累^[27], 具体的机理还需进一步探究。

2.2 芒果核提取物抗氧化活性分析

比较 4 种芒果核中提取物的抗氧化活性的差异, 结果如表 2 所示, 在 4 种芒果核在 DPPH·清除能力和总抗氧化能力上, 象牙芒核和紫花芒核基本上无明显差异, 其次是三年芒核和玉芒核。在 ABTS⁺·清除能力上, 紫花芒核提取物的 ABTS⁺·清除能力最

表 1 不同品种芒果核中总酚、总黄酮、水解单宁和缩合单宁的含量

Table 1 The contents of total phenols, total flavonoids, hydrolyzed tannins and condensed tannins in mango kernels from different cultivars

种类	总酚(mg GAE/g d.w.)	总黄酮(mg RT/g d.w.)	水解单宁(mg GAE/g d.w.)	缩合单宁(mg CE/g d.w.)
象牙芒核	176.70±4.48 ^b	15.24±0.98 ^b	26.72±0.52 ^{ab}	5.61±0.27 ^c
玉芒核	118.55±5.59 ^c	8.23±0.75 ^c	22.68±0.59 ^c	2.34±0.16 ^d
紫花芒核	193.77±3.65 ^a	25.58±1.91 ^a	27.63±1.32 ^{ab}	23.17±0.55 ^a
三年芒核	175.02±2.49 ^b	22.69±1.37 ^a	25.23±1.46 ^b	18.40±0.72 ^b

注: GAE为没食子酸, RT为芦丁, CE为儿茶素。同一列不同小写字母表示具有显著差异($P<0.05$), 表2同。

表 2 不同芒果核提取物体外抗氧化活性分析

Table 2 Analysis of antioxidant activity of different mango kernel extracts *in vitro*

种类	DPPH·清除能力(mg V _C /g d.w.)	ABTS ⁺ ·清除能力(mg V _C /g d.w.)	Fe ³⁺ 还原能力(mg V _C /g d.w.)	总抗氧化能力(mmol Fe ²⁺ /g d.w.)
象牙芒核	108.17±2.69 ^a	387.07±21.88 ^b	352.62±2.93 ^a	52.55±2.50 ^a
玉芒核	50.15±1.12 ^c	309.69±7.07 ^c	178.41±1.44 ^d	35.99±3.31 ^c
紫花芒核	108.66±3.19 ^a	618.17±27.03 ^a	300.65±7.71 ^b	50.29±1.51 ^a
三年芒核	89.64±2.78 ^b	277.98±9.82 ^d	222.54±5.44 ^c	45.35±2.25 ^b

强, 约是其他三种的 2 倍。在 Fe³⁺还原能力上差异较大, 以象牙芒核最高。总体来说, 紫花芒核和象牙芒核提取物的抗氧化能力都较强, 其次是三年芒核, 玉芒核提取物的抗氧化能力在四种芒果核中是最差的。这也基本上与表 1 所测定的多酚类物质含量相吻合, 可能抗氧化能力的大小, 是由总酚含量高低所决定的。

2.3 相关性分析与主成分分析

多酚类物质可通过酚羟基作为氢供体直接与自由基反应、抑制产生自由基所需的酶活性、螯合诱导自由基产生的金属离子以及与其他物质产生协同抗氧化作用等方式表现抗氧化活性^[28], 因此植物提取物中的多酚类物质与其生物活性(如抗氧化活性)间存在一定的相关性^[29]。

由表 3 可知, 所测总酚、总黄酮、水解单宁、缩合单宁与抗氧化活性指标之间均呈现正相关, 说明各指标之间存在或强或弱的相关性。其中, 缩合单宁只与 DPPH·清除能力呈现显著相关性($P<0.05$), 总黄酮与 DPPH·清除能力和总抗氧化能力分别呈现极显著相关性($P<0.01$)和显著相关性($P<0.05$), 总酚与 ABTS⁺·清除能力呈现和显著相关性($P<0.05$), 与其

他 3 种抗氧化活性指标均呈现极显著相关性($P<0.01$), 水解单宁与 4 种抗氧化活性指标均均呈现极显著相关性($P<0.01$), 以上结果表明总酚和水解单宁的含量对芒果核提取物的抗氧化活性影响较大。

主成分分析见表 4, 由表 4 可知前两个主成分的特征值均大于 1, 其中主成分 1 贡献最大, 达到 76.987%, 当主成分个数达到 2 时, 累积方差贡献率 92.957%, 说明这两个主成分能够反映和解释所测的 8 个指标大部分信息^[30]。主特征向量可以反映各个指标对主成分的贡献率^[31], 也可从图 1 中可以更明显地观察到各个指标的贡献率。在第一主成分方差贡献率 77%, 所测定 8 个指标均有较大的载荷, 分布成正相关; 第二主成分方差贡献率 16%, Fe³⁺还原力、缩合单宁、总黄酮在第二主成分上有较大的载荷, 其中缩合单宁和总黄酮呈现正相关, 而 Fe³⁺还原力呈现负相关。从图 1 中可以看出四个样品得分分布图上彼此之间相距较远, 所选品种之间的差异性还是较为明显的。

2.4 UPLC-Triple TOF-MS/MS 鉴定芒果核中多酚类化合物

利用 UPLC-Triple TOF-MS/MS 进行芒果核多

表 3 芒果核提取物中总酚、总黄酮、水解单宁、缩合单宁与体外抗氧化活性的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of total phenols, total flavonoids, hydrolyzed tannins, condensed tannins and antioxidant activities *in vitro* of mango kernel extracts

	总酚	总黄酮	水解单宁	缩合单宁	DPPH·	ABTS ⁺ ·	Fe ³⁺ 还原力	总抗氧化能力
总酚	1	0.886**	0.927**	0.767**	0.952**	0.596*	0.723**	0.898**
总黄酮		1	0.748**	0.959**	0.733**	0.540	0.357	0.619*
水解单宁			1	0.630*	0.951**	0.722**	0.844**	0.940**
缩合单宁				1	0.582*	0.561	0.169	0.448
DPPH·					1	0.589*	0.879**	0.978**
ABTS ⁺ ·						1	0.533	0.532
Fe ³⁺ 还原力							1	0.937**
总抗氧化能力								1

注: **表示极显著, $P<0.01$; *表示显著, $P<0.05$ 。

表 4 芒果核多酚类物质各评价指标主成分分析
Table 4 Principal component analysis of each evaluation index of mango kernels polyphenols

评价指标	主成分	
	1	2
总酚	0.39606	0.0716
总黄酮	0.34011	0.45525
水解单宁	0.39988	-0.09835
缩合单宁	0.2914	0.61036
DPPH·	0.39206	-0.16605
ABTS ⁺ ·	0.29045	0.08844
Fe ³⁺ 还原力	0.32194	-0.5311
总抗氧化能力	0.3754	-0.29656
特征值	6.159	1.278
方差贡献率(%)	76.987	15.97
累计贡献率(%)	76.987	92.957

酚类化合物物质的分析,并将实验数据与文献中已报道的研究结果及质谱数据库(Massbank 和 Metlin)进行比对,对比一级和二级质谱信息得出鉴定结果。4 种芒果核中均含有的多酚类物质鉴定结果如表 5

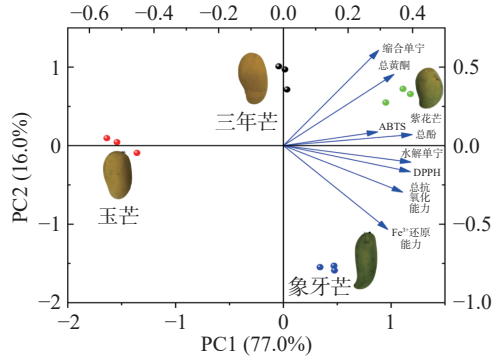


图 1 不同芒果核多酚类物质 PCA 分析的得分图和载荷图
Fig.1 Score chart and load chart of PCA analysis of different mango kernel polyphenols

所示。芒果核多酚中总共鉴定出 28 种多酚及其衍生物,包括 2 种酚酸、8 种酚酸酯、10 种酚酸糖苷、7 种黄酮糖苷和 1 种黄酮。

2.4.1 酚酸的鉴定 芒果核提取物中化合物 1 和 18 的母离子 [M-H]⁻分别为 m/z 169.0149 和 300.9988,化合物 1 的特征性碎片离子 m/z 125 为母离子失去一个 CO₂ 所产生,根据文献鉴定为没食子酸^[32],化合

表 5 芒果核提取物中多酚的鉴定结果
Table 5 Identification of phenolic compounds of mango kernel extracts

编号	保留时间	[M-H] ⁻ (m/z)		误差(ppm)	分子式	ESI 二级质谱主要的碎片离子(m/z)	鉴定组分	类别
		测定值	理论值					
1	4.512	169.0149	169.0142	-3.8	C ₇ H ₆ O ₅	125 ⁺ , 79	没食子酸	酚酸
2	4.656	331.0689	331.0671	-5.4	C ₁₃ H ₁₆ O ₁₀	271 ⁺ , 169 ⁺ , 125 ⁺	没食子酰葡萄糖	酚酸糖苷
3	5.502	343.0672	343.0671	-0.3	C ₁₄ H ₁₆ O ₁₀	191 ⁺ , 169 ⁺ , 125 ⁺	没食子酰奎宁酸	酚酸酯
4	7.597	493.1196	493.1199	0.6	C ₁₉ H ₂₆ O ₁₅	313 ⁺ , 169 ⁺ , 125 ⁺	没食子酰二己糖	酚酸糖苷
5	9.907	423.0940	423.0933	-1.7	C ₁₉ H ₂₀ O ₁₁	333, 303 ⁺ , 223, 193 ⁺ , 165	桑橙素-C-葡萄糖苷	黄酮糖苷
6	11.129	483.0798	483.0780	-3.7	C ₂₀ H ₂₀ O ₁₄	331 ⁺ , 271, 169 ⁺ , 125	二没食子酰葡萄糖	酚酸糖苷
7	11.658	183.0301	183.0299	-1.1	C ₈ H ₈ O ₅	169 ⁺ , 124 ⁺	没食子酸甲酯	酚酸酯
8	12.544	577.1351	577.1352	0.2	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	451 ⁺ , 425 ⁺ , 407 ⁺ , 289, 287, 245 ⁺ , 125	B型原花青素	黄酮
9	13.718	321.0248	321.0252	1.2	C ₁₄ H ₁₀ O ₉	169 ⁺ , 125 ⁺	间双没食子酸	酚酸酯
10	13.991	575.1049	575.1042	-1.2	C ₂₆ H ₂₄ O ₁₅	333, 303 ⁺ , 193 ⁺ , 169 ⁺ , 125	桑橙素-C-(O-没食子酰)-葡萄糖苷	黄酮糖苷
11	18.186	559.1113	559.1053	-3.6	C ₂₆ H ₂₄ O ₁₄	407 ⁺ , 389 ⁺ , 317 ⁺ , 287 ⁺ , 269, 245, 169 ⁺	鸢尾酚酮-3-C-(2-O-没食子酰)-葡萄糖苷	黄酮糖苷
12	19.228	197.0460	197.0455	-2.5	C ₉ H ₁₀ O ₅	169 ⁺ , 124 ⁺	没食子酸乙酯	酚酸酯
13	19.312	421.0767	421.0776	2.1	C ₁₉ H ₁₈ O ₁₁	331 ⁺ , 301 ⁺ , 271, 259	芒果苷	黄酮糖苷
14	23.048	635.0889	635.0890	0.2	C ₂₇ H ₂₄ O ₁₈	465 ⁺ , 313 ⁺ , 169 ⁺ , 125	三没食子酰葡萄糖	酚酸糖苷
15	25.515	787.0980	787.0999	2.4	C ₃₄ H ₂₈ O ₂₂	787, 617 ⁺ , 465 ⁺ , 295 ⁺ , 169	四没食子酰葡萄糖	酚酸糖苷
16	25.769	441.0817	441.0827	2.3	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₀	289 ⁺ , 245 ⁺ , 169, 125	表儿茶素没食子酸酯	酚酸酯
17	26.289	787.1024	787.0999	-3.2	C ₃₄ H ₂₈ O ₂₂	787, 617 ⁺ , 465 ⁺ , 295, 169, 125	四没食子酰葡萄糖异构体1	酚酸糖苷
18	26.292	300.9988	300.9989	0.3	C ₁₄ H ₆ O ₈	229 ⁺ , 145 ⁺	鞣花酸	酚酸
19	26.737	463.0860	463.0882	4.8	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	301 ⁺ , 300 ⁺ , 271 ⁺ , 255, 151 ⁺	金丝桃苷	黄酮糖苷
20	26.864	441.0816	441.0827	2.5	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₀	289 ⁺ , 245 ⁺ , 203, 125	表儿茶素没食子酸酯异构体1	酚酸酯
21	26.952	431.0983	431.0984	0.2	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	341, 311 ⁺ , 283 ⁺	牡荆素	黄酮糖苷
22	27.032	787.1009	787.0999	-1.3	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	787, 617 ⁺ , 465 ⁺ , 295, 169	四没食子酰葡萄糖异构体2	酚酸糖苷
23	27.262	463.0878	463.0882	0.9	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	301 ⁺ , 300 ⁺ , 271, 255, 151 ⁺	异槲皮素	黄酮糖苷
24	27.673	335.0420	335.0409	-1.0	C ₁₅ H ₁₂ O ₉	183 ⁺ , 168, 124 ⁺	二没食子酸甲酯	酚酸酯
25	28.055	441.0811	441.0827	3.6	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₀	289 ⁺ , 245 ⁺ , 203	表儿茶素没食子酸酯异构体2	酚酸酯
26	28.565	939.1117	939.1109	-0.9	C ₄₁ H ₃₂ O ₂₆	787 ⁺ , 617 ⁺ , 465, 169 ⁺	五没食子酰葡萄糖	酚酸糖苷
27	29.612	1091.1225	1091.1219	-0.5	C ₄₈ H ₃₆ O ₃₀	787 ⁺ , 769, 617 ⁺ , 169 ⁺	六没食子酰葡萄糖	酚酸糖苷
28	30.358	1243.1336	1243.1328	-0.6	C ₅₅ H ₄₀ O ₃₄	1091 ⁺ , 939 ⁺ , 787 ⁺ , 169 ⁺	七没食子酰葡萄糖	酚酸糖苷

注: *表示主要的定性碎片离子。

物 18 的特征性碎片离子 m/z 229 $[M-2CO-H_2O-H]^-$ 和 145 $[M-5CO-H_2O-H]^-$, 根据文献鉴定为鞣花酸^[33]。

2.4.2 酚酸衍生物的鉴定 由于芒果核提取物中大量化合物的碎片离子中有 m/z 169 和 125 或 124 的存在, 此类化合物可鉴定为没食子酸衍生物^[34], 因此芒果核提取物中富含没食子酸衍生物。

化合物 2 的母离子 $[M-H]^-$ 为 m/z 331.0689, 碎片离子 m/z 271 $[M-2CH_2O-H]^-$ 。碎片离子 m/z 169 和 m/z 125 与没食子酸质谱信息一致, 故化合物 2 被鉴定为没食子酰葡萄糖^[34]。

化合物 6 的母离子 $[M-H]^-$ 为 m/z 483.0798, 碎片离子 m/z 331 $[M-C_7H_4O_4-H]^-$ 失去一个没食子酰基, 其余碎片离子与化合物 2 质谱信息一致, 故化合物 6 被鉴定为二没食子酰葡萄糖^[33]。

化合物 14 的母离子 $[M-H]^-$ 为 m/z 635.0890, 碎片离子 m/z 465 $[M-C_7H_6O_5-H]^-$ 和 m/z 313 $[M-C_7H_6O_5-C_7H_4O_4-H]^-$, 其余碎片离子与没食子酸质谱信息一致, 故化合物 14 被鉴定为三没食子酰葡萄糖^[33]。

化合物 15、17 和 22 的母离子 $[M-H]^-$ 均为 787.1009 左右, 碎片离子 m/z 617 $[M-C_7H_6O_5-H]^-$ 、 m/z 465 $[M-C_7H_6O_5-C_7H_4O_4-H]^-$ 和 m/z 295 $[M-C_7H_6O_5-2C_7H_4O_4-H]^-$, 其余碎片离子与没食子酸质谱信息一致, 因而化合物 15、17 和 22 被鉴定为四没食子酰葡萄糖^[33]。

化合物 26、27 和 28 的母离子 $[M-H]^-$ 分别为 m/z 939.1117、1091.1225 和 1243.1336, 且均有 m/z 787、617 和 169 等碎片离子, 对照文献^[34], 化合物 26、27 和 28 被分别鉴定为五没食子酰葡萄糖、六没食子酰葡萄糖和七没食子酰葡萄糖。

化合物 4 的母离子 $[M-H]^-$ 为 m/z 493.1199, 碎片离子 m/z 313 $[M-C_6H_{10}O_5-H_2O-H]^-$ 以及碎片离子 m/z 169 和 m/z 125 与没食子酸质谱信息一致, 化合物 4 被鉴定为没食子酰二己糖。

化合物 3 的母离子 $[M-H]^-$ 为 m/z 343.0672, 碎片离子 m/z 191 $[M-C_7H_4O_4-H]^-$ 、169 $[M-C_7H_{10}O_5-H]^-$ 和 125 $[M-C_7H_{10}O_5-CO_2-H]^-$, 此化合物被鉴定为没食子酰基奎宁酸^[35]。

化合物 7 和 12 的母离子 $[M-H]^-$ 分别为 m/z 183.0301 和 197.0460, 碎片离子 m/z 169 分别为 $[M7-CH_2-H]^-$ 和 $[M12-CH_2CH_2-H]^-$, 故化合物 7 和 12 分别被鉴定为没食子酸甲酯和没食子酸乙酯^[34]。

化合物 24 的母离子 $[M-H]^-$ 为 335.0420, 其碎片离子 m/z 183 $[M-C_7H_4O_4-H]^-$ 为母离子失去一个没食子酰基, 其余碎片离子与化合物 7 质谱信息一致, 故化合物 24 被鉴定为二没食子酸甲酯^[32]。

化合物 16、20 和 25 的母离子 $[M-H]^-$ 均为 441.0817 左右, 碎片离子 m/z 289 $[M-C_7H_4O_4-H]^-$ 、245 $[M-C_7H_4O_4-CO_2-H]^-$ 以及没食子酸的特征碎片离子, 故化合物 16、20 和 25 被鉴定为表儿茶素没食子酸酯^[32]。

2.4.3 黄酮及其衍生物的鉴定 化合物 8 的母离子 $[M-H]^-$ 为 m/z 的母离子 $[M-H]^-$ 为 m/z 577.1351, 碎片离子 m/z 451 $[M-C_6H_6O_3-H]^-$, 425 $[M-C_8H_8O_3-H]^-$, 407 $[M-C_8H_8O_3-H_2O-H]^-$, 此外 m/z 289 和 287 分别是通过 QM 裂变产生的碎片 $[M-H(290-H)]^-$ 和 $[M-2H(290-2H)]^-$, 化合物 8 被鉴定为 B 型原花青素^[33]。

化合物 5 和 10 的母离子 $[M-H]^-$ 分别为 m/z 423.0940 和 575.1049, 两者母离子间相差 152 且化合物 10 的碎片离子中含有 m/z 169 和 125 没食子酸的质谱信息, 其余碎片离子两者相同, 与文献值^[35]一致, 故化合物 5 和 10 分别被鉴定为桑橙素-C-葡萄糖苷和桑橙素-C-(O-没食子酰)-葡萄糖苷^[36]。

化合物 11 的母离子 $[M-H]^-$ 为 m/z 559.1113, 碎片离子 m/z 407 $[M-C_7H_4O_4-H]^-$ 为母离子失去一个没食子酰基所产生, 389 $[M-C_7H_6O_5-H]^-$ 为母离子失去一个没食子酸所产生; 另外, 碎片离子 m/z 317 $[M-C_7H_4O_4-C_3H_6O_3-H]^-$ 和 287 $[M-C_7H_4O_4-C_4H_8O_4-H]^-$ 均对应葡萄糖苷部分的损失; 根据已有的文献报道, 化合物 11 被鉴定为鸢尾酚酮-3-C-(2-O-没食子酰)-葡萄糖苷^[36]。

化合物 13 的母离子 $[M-H]^-$ 为 m/z 421.0767, 碎片离子 m/z 259 $[M-C_6H_{10}O_5-H]^-$ 为母离子失去一个己糖苷所产生, 碎片离子 m/z 331 $[M-C_3H_6O_3-H]^-$ 和 301 $[M-C_4H_8O_4-H]^-$ 均对应糖苷部分的损失, m/z 271 $[M-C_4H_8O_4-CH_2O-H]^-$, 参照文献化合物 13 被鉴定为芒果苷^[36-37]。

化合物 19 和 23 的母离子 $[M-H]^-$ 均为 m/z 463.0860 左右, 且碎片离子也是完全一致, 碎片离子 m/z 301 $[M-C_6H_{10}O_5-H]^-$ 为母离子失去一个己糖苷所产生和 151 为黄酮类化合物特有的 RDA 碎片, 进一步跟标准品比对后确认化合物 19 和 23 分别为金丝桃苷和异槲皮素^[37]。

化合物 21 的母离子 $[M-H]^-$ 为 431.0983, 碎片离子 m/z 341 $[M-C_3H_6O_3-H]^-$ 和 311 $[M-C_4H_8O_4-H]^-$ 均对应葡萄糖苷部分的损失, m/z 283 $[M-C_4H_8O_4-CHO-H]^-$, 并与标准品比对后确认化合物 21 是牡荆素。

3 结论

本研究探索了不同品种芒果核总酚、总黄酮、水解单宁、缩合单宁以及抗氧化活性之间的差异, 并对其多酚类物质进行了鉴定。结果表明: 实验选取的市售 4 种芒果的芒果核, 紫花芒核在总酚、总黄酮、水解单宁和缩合单宁均为最高, 分别达到 193.77 mg GAE/g d.w.、25.58 mg RT/g d.w.、27.63 mg GAE/g d.w. 和 23.17 mg CE/g d.w.。体外抗氧化实验中, DPPH·清除能力和总抗氧化能力上, 象牙芒核和紫花芒核基本上无明显差异, 其次是三年芒核和玉芒核, 而 ABTS⁺清除能力上, 紫花芒核提取物的 ABTS⁺清除能力最强, 约是其他 3 种的 2 倍。在 Fe³⁺还原能力上差异较大, 以紫花芒核最高。所测 8 个指标之间均呈现正相关, 其中总酚和水解单宁与其他指标均存

呈现较高的显著水平,而所选取的四个品种也存在较大差异,易于区分。通过 UPLC-Triple TOF-MS/MS 共鉴定出 28 种多酚及其衍生物,包括 2 种酚酸、8 种酚酸酯、10 种酚酸糖苷、7 种黄酮糖苷和 1 种黄酮。总体来说,芒果核中含有较多酚类物质,其含量较高,抗氧化能力也较强。在一定程度上为芒果的副产品加工提供科学理论依据。

参考文献

- [1] PANDEY K B, RIZVI S I. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2009, 2(5): 270-278.
- [2] WABOI M P, SUNIL K, NITIN K, et al. Physicochemical characteristics, bioactive compounds and industrial applications of mango kernel and its products: A review[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, 19(5): 2421-2446.
- [3] 张影, 夏晓彤, 黄桂莲, 等. 常见热带水果芒果果皮中果胶的提取[J]. *广东化工*, 2021, 48(3): 44-45. [ZHANG Y, XIA X T, HUANG G L, et al. Extraction of pectin from mango peel of common tropical fruit[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2021, 48(3): 44-45.]
- [4] 李日旺, 黄国弟, 苏美花, 等. 我国芒果产业现状与发展策略[J]. *南方农业学报*, 2013, 44(5): 875-878. [LI R W, HUANG G D, SU M H, et al. Present situation and development strategy of mango industry in China[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013, 44(5): 875-878.]
- [5] TORRES-LEON C, ROJAS R, CONTRERAS-ESQUIVEL J C, et al. Mango seed: Functional and nutritional properties[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 55: 109-117.
- [6] AUGUSTIN M A, LING E T. Composition of mango seed kernel[J]. *Pertanika*, 1987, 10(1): 53-59.
- [7] WUERSCH P, HOOD L F. Structure of starch from mango seed[J]. *Starch/Staerke*, 1981, 33(7): 217-221.
- [8] 杨巍巍, 邓航, 李娇, 等. 植物多酚化合物抗氧化损伤研究进展[J]. *现代食品*, 2020, 22(16): 74-78. [YANG W W, DENG H, LI J, et al. Research progress on antioxidant damage of plant polyphenols[J]. *Modern Food*, 2020, 22(16): 74-78.]
- [9] 康超, 李燕, 段振华, 等. 芒果核酚类物质提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(5): 47-51. [KANG C, LI Y, DUAN Z H, et al. Optimization of extraction process and antioxidant activity of phenolic compounds from mango kernel[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(5): 47-51.]
- [10] LI H, XIA J, YANG L, et al. Plant polyphenols: Antioxidant capacity and application in animal production[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(11): 2529-2534.
- [11] MIRZA B, CROLEY C R, AHMAD M, et al. Mango (*Mangifera indica* L.): A magnificent plant with cancer preventive and anticancer therapeutic potential[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(13): 2125-2151.
- [12] WENG W, ZHANG Q, LI S, et al. Research progress in antiviral effect and mechanism of plant polyphenols[J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2020, 35(12): 6236-6240.
- [13] FU S L, WU T T, WU C H, et al. Antioxidation and antibacterial mechanisms of plant polyphenols and application in food industry[J]. *Food Industry*, 2016, 37(6): 242-246.
- [14] KITTIPHOM S. Utilization of mango seed[J]. *International Food Research Journal*, 2012, 19(4): 1325-1335.
- [15] 高云涛, 付艳丽, 李正全, 等. 超声与双水相体系耦合提取芒果核多酚及活性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2009, 35(9): 164-167. [GAO Y T, FU Y L, LI Z Q, et al. Ultrasonic and aqueous two-phase system coupling extraction of mango polyphenols and activity research[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2009, 35(9): 164-167.]
- [16] LUO B F, HUANG Z J, SUN M F, et al. Study on microwave-assisted extraction of mango polyphenol from mango nuculeolus[J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(1): 37-39.
- [17] CHEN Y J, SHENG Z W, SHI R C, et al. Antioxidant activities of ethanol extracts from three varieties of mango seeds[J]. *Food Science*, 2011, 32(9): 8-13.
- [18] 黄社健, 阮玉凤, 罗宝芳, 等. 微波辅助提取芒果核多酚及其抑菌活性的研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(12): 295-298. [HUANG Z J, RUAN Y F, LUO B F, et al. Microwave-assisted extraction of polyphenols from mango seeds and their antibacterial activities [J]. *Food Industry Technology*, 2014, 35(12): 295-298.]
- [19] 杨郑州, 陆雪梅, 谢晓娜. 芒果多酚含量及抗氧化能力的测定[J]. *安徽农学通报*, 2017, 23(11): 142-143, 170. [YANG Z Z, LU X M, XIE X N. Determination of polyphenol content and antioxidant capacity of mango[J]. *Anhui Agronomy Bulletin*, 2017, 23(11): 142-143, 170.]
- [20] 冯晓翎, 曹诗瑜, 徐晓瑜, 等. 11 个鲜食葡萄品种总酚含量和抗氧化活性的评价[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(6): 68-75. [FENG X L, CAO S Y, XU X Y, et al. Evaluation of total phenol content and antioxidant activity of 11 fresh grape varieties[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2019, 40(6): 68-75.]
- [21] 白雪莲, 沈淑雅, 陈怀玉, 等. 微波辅助提取芒果皮黄酮工艺研究[J]. *农产品加工*, 2015, 3(6): 29-32. [BAI X L, SHEN S Y, CHEN H Y, et al. Microwave assisted extraction of flavonoids from mango peel[J]. *Agricultural Products Processing*, 2015, 3(6): 29-32.]
- [22] 王瑶. 元宝枫果实成熟过程中主要成分测定及抗氧化能力研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2019. [WANG Y. Determination of main components and antioxidant capacity of *Acer truncatum* during fruit ripening [D]. Xianyang: Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2019.]
- [23] CHANG X X, YE Y T, PAN J P, et al. Comparative assessment of phytochemical profiles and antioxidant activities in selected five varieties of wampee (*Clausena lansium*) fruits[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2018, 53(12): 2680-2686.
- [24] 杨希娟, 党斌, 樊明涛. 溶剂提取对青稞中不同形态多酚组成及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(24): 239-248. [YANG X J, DANG B, FAN M T. Effects of solvent extraction on the composition and antioxidant activity of different forms of polyphenols in highland barley[J]. *Food Science*, 2018, 39(24): 239-248.]
- [25] 刘瑞, 于章龙, 孙元琳, 等. 黑小麦芽抗氧化活性成分提取及其抗氧化能力研究[J]. *食品工业*, 2021, 42(7): 134-138. [LIU

- R, YU Z L, SUN Y L, et al. Extraction of antioxidant active components from black wheat sprouts and their antioxidant capacity[J]. Food Industry, 2021, 42(7): 134–138.]
- [26] 张怡评, 杨婷, 洪专, 等. 青钱柳多酚提取工艺及抗氧化活性[J]. 食品工业, 2021, 42(6): 212–216. [ZHANG Y P, YANG T, HONG Z, et al. Polyphenol extraction process and antioxidant activity of *Cyclocarya paliurus* [J]. Food Industry, 2021, 42(6): 212–216.]
- [27] 许鹏, 谭德锦, 宋海云, 等. 3个芒果品种的性状对比试验[J]. 中国热带农业, 2016, 72(5): 55–57. [XU P, TAN D J, SONG H Y, et al. Comparative experiment on characters of three mango varieties [J]. China Tropical Agriculture, 2016, 72(5): 55–57.]
- [28] LV Q Z, LONG J T, GONG Z F, et al. Current state of knowledge on the antioxidant effects and mechanisms of action of polyphenolic compounds[J]. Natural Product Communications, 2021, 16(7): 1–13.
- [29] 李瑞娟, 梁锦, 王丹, 等. 不同品种猕猴桃汁抗氧化成分及体外抗氧化活性比较 [J/OL]. 食品工业科技: 1–12 [2021-09-16]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050119>. [LI R J, LIANG J, WANG D, et al. Comparison of antioxidant components and *in vitro* antioxidant activity of different varieties of kiwifruit juice [J/OL]. Science and Technology of Food Industry: 1–12 [2021-09-16]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050119>.]
- [30] 杨倩雨, 郑浩, 李志强, 等. 油橄榄果实经济性性状随成熟度的变化 [J/OL]. 中国油脂: 1–13 [2021-09-08]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210288>. [YANG Q Y, ZHENG H, LI Z Q, et al. Changes of economic characters of olive fruit with maturity [J/OL]. Chinese Oil: 1–13 [2021-09-08]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210288>.]
- [31] 王丽艳, 王鑫森, 荆瑞勇, 等. 不同品种亚麻籽营养成分分析与品质综合评价[J]. 食品与机械, 2021, 37(7): 26–32. [WANG L Y, WANG X M, JING R Y, et al. Nutrient composition analysis and quality comprehensive evaluation of different varieties of flaxseed [J]. Food and Machinery, 2021, 37(7): 26–32.]
- [32] BALLESTEROS-VIVAS D, ALVAREZ-RIVERA G, JOHANNA M S, et al. An integrated approach for the valorization of mango seed kernel: Efficient extraction solvent selection, phytochemical profiling and antiproliferative activity assessment[J]. Food Research International, 2019: 126.
- [33] LIU P Z, LI L L, SUN X T, et al. Characterisation of phenolics in fruit septum of *Juglans regia* Linn. by ultra performance liquid chromatography coupled with orbitrap mass spectrometer[J]. Food Chemistry, 2019, 286: 669–677.
- [34] ANAYA-LOYOLA M A, GARCIA-MARIN G, GARCIA-GUTIERREZ D G, et al. A mango (*Mangifera indica* L.) juice by-product reduces gastrointestinal and upper respiratory tract infection symptoms in children[J]. Food Research International, 2020: 136.
- [35] MOHSEN E, YOUNIS I Y, FARAG M A. Metabolites profiling of Egyptian *Rosa damascena* Mill. flowers as analyzed via ultra-high-performance liquid chromatography-mass spectrometry and solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry in relation to its anti-collagenase skin effect[J]. Industrial Crops and Products, 2020: 155.
- [36] DORTA E, GONZALEZ M, GLORIA L M, et al. Screening of phenolic compounds in by-product extracts from mangoes (*Mangifera indica* L.) by HPLC-ESI-QTOF-MS and multivariate analysis for use as a food ingredient[J]. Food Research International, 2014, 57: 51–60.
- [37] 覃洁萍, 邓家刚, 冯钰铸, 等. 有机质谱分析在芒果苷原料药微量杂质结构鉴定中的应用[J]. 质谱学报, 2008, 29(4): 218–225. [QIN J P, DENG J G, FENG Y K, et al. Application of organic mass spectrometry in the identification of trace impurities in mangiferin API[J]. Journal of Mass Spectrometry, 2008, 29(4): 218–225.]