

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.10.004

王思丹, 何伟忠, 盘菊秀, 等. 基于核磁共振分析新疆不同杏果的化学成分差异 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(10): 39-49.

基于核磁共振分析新疆不同杏果的化学成分差异

王思丹^{1,2}, 何伟忠², 盘菊秀^{1,2},

马磊^{1,2}, 陶永霞¹, 沈琦²

- 新疆农业大学 食品科学与药学院, 乌鲁木齐 830052;
- 新疆农业科学院 农业质量标准与检测技术研究所/农业农村部农产品质量安全风险评估实验室/
农业农村部荒漠绿洲生态区特色农产品功能营养与健康重点实验室(部省共建)/
新疆农产品质量安全重点实验室, 乌鲁木齐 830091

摘要: 为表征新疆产区主栽品种杏果(阿克苏产区小白杏、巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏、和田产区穆克尤杏、喀什产区赛麦提杏、吐鲁番产区塔西杏、伊犁哈萨克自治州产区树上干杏)的品质多样性及营养成分的潜在差异性, 采用核磁共振(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)技术, 对新疆主栽品种杏果肉进行核磁共振氢谱(¹H-NMR)分析, 明确归属谱图中的主要化学成分; 利用主成分分析和最小二乘法判别分析(PLS-DA)综合评价新疆主栽品种杏果实的营养品质及差异化学成分。结果表明: 新疆主栽品种杏果营养品质整体分离度较好, ¹H-NMR显示, 相较于其他产区, 吐鲁番产区塔西杏化学成分信号明显较多。PLS-DA模型筛选出组氨酸、赖氨酸、精氨酸、丝氨酸、谷氨酰胺、蔗糖、D-果糖7种差异贡献较大的化学成分。阿克苏产区小白杏化学成分中的丝氨酸和赖氨酸含量较高; 巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏化学成分中的赖氨酸、谷氨酰胺、D-果糖和组氨酸含量较高; 和田产区穆克尤杏和喀什产区赛麦提杏化学成分中含量较高的是组氨酸和蔗糖; 吐鲁番产区塔西杏化学成分中含量较高的是精氨酸、丝氨酸、赖氨酸、谷氨酰胺; 伊犁哈萨克自治州产区树上干杏化学成分中含量较高的是组氨酸、蔗糖和D-果糖。

关键词: 杏果; 核磁共振; 化学成分差异

中图分类号: S662.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1673-9868(2025)10-0039-11



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

收稿日期: 2024-09-13

基金项目: 新疆维吾尔自治区重大科技专项(2022A02006-5)。

作者简介: 王思丹, 硕士研究生, 主要从事农产品质量安全及其功能营养特性研究。

通信作者: 沈琦, 硕士, 助理研究员。

Chemical Composition Differences of Different Apricot Fruits in Xinjiang Based on Nuclear Magnetic Resonance Analysis

WANG Sidan^{1,2}, HE Weizhong², PAN Juxiu^{1,2},
MA Lei^{1,2}, TAO Yongxia¹, SHEN Qi²

1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/
Laboratory of Agricultural Product Quality and Safety Risk Assessment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/
Key Laboratory of Functional Nutrition and Health of Characteristic Agricultural Products in Desert Oasis
Ecological Zone (Jointly Built by Ministry of Agriculture and Rural Affairs)/Key Laboratory of Quality and
Safety of Xinjiang Agricultural Products, Urumqi 830091, China

Abstract: To characterise the quality diversity and potential differences in nutrient composition of apricot fruits of the main cultivars in Xinjiang production areas (small white apricot of Aksu production area, large white apricot of Bayin'guoleng Mongol Autonomous Prefecture, Mukyu apricot of Hotan production area, Saimaiti apricot of Kashgar production area, Tasi apricot of Turfan production area, and on-tree dried apricot of Ili Kazakh Autonomous Prefecture production area). In this study, Nuclear Magnetic Resonance (NMR) technology was employed for Nuclear Magnetic Resonance Hydrogen Spectroscopy (¹H-NMR) analysis and identification of pulp of Xinjiang main apricot varieties. Main chemical components in attributive spectra was clarified, and the nutritional quality of pulp of Xinjiang main apricot varieties was comprehensively evaluated with principal component analysis and least square discriminant analysis. The multivariate statistical analysis showed that the nutritional quality of apricot fruit of Xinjiang's main planted varieties had a better overall separation. ¹H-NMR showed that compared with other production areas, the chemical component signals of Tashi apricot in Turfan production area were obviously more. Seven chemical components with large contributions to the differences were screened out, namely histidine, lysine, arginine, serine, glutamine, sucrose and *D*-fructose. In small white apricots of Aksu, the contents of serine and lysine in the chemical composition were higher. In large white apricots from Bayin'guoleng Autonomous Prefecture, the contents of lysine, glutamine, *D*-fructose and histidine in the chemical composition were higher. In Mukyu apricots of Hotan and Saimaiti apricots of Kashgar, the contents of histidine and sucrose in the chemical composition were higher, and in Tasi apricots from Turfan, the contents of arginine, serine, lysine and glutamine in the chemical composition were higher. Histidine, sucrose and *D*-fructose were found to be more abundant in the chemical composition of on-tree dried apricots from Ili Kazakh Autonomous Prefecture.

Key words: apricot fruit; nuclear magnetic resonance; chemical compositional differences

杏子(*Prunus armeniaca* L.)属于蔷薇科杏属落叶乔木,果实一般呈圆形或卵圆形,口味酸甜,营养丰富,含有大量的糖、有机酸、胡萝卜素和糖苷^[1-3]。目前,对新疆不同产区杏子的研究主要集中于总有机酸和总糖含量的差异化、品种特性差异^[4]、采后的保鲜贮藏^[5-7]以及产品加工^[8-9]等方面。我国杏种植资源相对丰富,主要种植在华北及西北地区,而新疆作为杏子栽培种植的主产区之一,种质资源丰富^[10],所产杏子果实风味浓郁、营养品质较好。

近年来,核磁共振(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)技术在研究待测物的系统性和完整性方面有一定的优势,可以通过获得样本间化学成分的结构信息,比较不同样本之间的差异,现已成为食品研究领域中颇受青睐的技术之一^[11-14]。NMR技术可以系统完整地分析果实品质的差异,也可以分析不同品种或不同产地作物间的品质差异。安莉等^[15]基于NMR技术从不同品种草莓的氮谱(¹H-NMR)图中识别出20种化学成分,分析了不同品种草莓间的化学成分差异,并结合多元统计分析筛选出了丙氨酸、柠檬酸、苹果酸等7种潜在的差异代谢物;魏亮等^[16]的研究表明NMR技术可以比较不同产地铁棍山药间的化学成分,通过谱图信息指认共识别出30种主要的化学成分,并利用葡萄糖、果糖的含量鉴别铁棍山药是否为道地怀山药。此外,NMR技术还用于分析灵芝^[17]、甜瓜^[18]、芍药^[19]等作物的品质差异。

杏果中化学成分组成多样,仅靠感官评价或某一类化学成分含量都不能全面反映其果实的品质。传统的研究方法往往忽略了杏果中化学成分的整体特征,无法实现对杏果中所含化学成分信息的高通量捕获和不同杏果间化学成分的差异性鉴别。NMR技术则可以系统全面地分析待测物的化学成分,是一种可以应用于生物的代谢组学分析方法^[20]。杏果中的糖类、氨基酸类和有机酸类物质与杏果的口味和营养品质密切相关,故本研究利用NMR技术结合多元统计分析方法探讨新疆6产区主栽品种杏果的营养品质差异,旨在为新疆不同产区主栽品种杏果特色挖掘提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

N,N-二甲基甲酰胺(DMF)、二甲基亚砜(DMSO),化学纯,国药集团化学试剂有限公司。

核磁共振波谱仪(ADVANCE 400型),瑞士Bruker公司;电子天平(FA2004型),上海舜宇恒平科学仪器有限公司;磁力加热搅拌器(IKA RCT basic型),德国IKA公司;真空泵(IKA VACSTAR digital),德国IKA公司;真空冷冻干燥机(LGJ-25C型),北京四环科学仪器厂有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品采集

根据杏果成熟及上市时间,于2023年7—8月,采集新疆阿克苏产区小白杏、巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏、和田产区穆克尤杏、喀什产区赛麦提杏、吐鲁番产区塔西杏、伊犁哈萨克自治州产区树上干杏,分别对应A、B、C、D、E、F产区。根据采样产区主栽杏果种植面积的大小,在产区内各乡镇采集杏果样品,A产区10份、B产区16份、C产区15份、D产区27份、E产区27份、F产区10份,共采集杏果样品105份,样品采集详细信息见表1。

表 1 杏果样品采集信息

产区	品种	单样份数/ 份	混样份数/ 份	纬度/ (°)	经度/ (°)	采集时间/ 月
A	阿克苏产区小白杏	10	4	41.626	82.895	2023 年 7—8 月
B	巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏	16	3	41.926	84.593	2023 年 7—8 月
C	和田产区穆克尤杏	15	3	37.189	78.498	2023 年 7—8 月
D	喀什产区赛麦提杏	27	6	38.937	76.076	2023 年 7—8 月
E	吐鲁番产区塔西杏	27	4	42.750	88.693	2023 年 7—8 月
F	伊犁哈萨克自治州产区树上干杏	10	4	43.959	81.654	2023 年 7—8 月

每份杏果样品质量为 (3 ± 0.5) kg, 样品采集后直接运回实验室。由于核磁共振谱图采集成本较高, 无法采集所有样品谱图, 故将同产区内采集的样品以该产区乡镇为单位混匀后表征该产区杏果的整体营养品质特征, 去核取果肉后打浆制成混样。根据各产区作物种植面积大小确定混样个数, 混样共 24 份, 其中 A 产区 4 份、B 产区 3 份、C 产区 3 份、D 产区 6 份、E 产区 4 份、F 产区 4 份, 置于 -80 °C 冰箱预冻后, 经真空冷冻干燥机冻干为粉末状待测。

1.2.2 检测及分析方法

称取 20 mg 的冻干杏果样品粉末, 加入 0.4 mL 的磷酸缓冲液 (0.05 mol/L Na_2HPO_4 和 NaH_2PO_4 的重水溶液) 以及 1 mL 氘代 DMSO, 超声促进溶解, 用一次性注射器吸取样液, 微量过滤器过滤, 使滤液装入核磁管待测。核磁共振氢谱 ($^1\text{H-NMR}$) 检测于室温 (25 °C) 测定, 5 mm OneNMR 探头, 脉冲序列为 PRESAT 以压制样品中的水峰, 扫描 64 次, 谱宽 4 800 Hz, 采样点数 16 K, 弛豫时间 2 s, 采集时间 3.408 s。

1.2.3 核磁共振谱图数据预处理

使用 MestReNova 软件 (V 9.0.1, Mestrelab Research, Santiago de Compostela, Galicia, Spain) 对谱图进行傅立叶变换, 相位调整, 基线校正等处理, 所有谱图在进行傅立叶变换时均乘以增宽因子为 0.3 Hz 的指数窗函数以提高信噪比。核磁共振谱图以内标物 (TSP) 在 δ 0 ppm 处的单峰定标, 对比 6 产区杏果样品的 $^1\text{H-NMR}$ 分段谱图, 对谱图进行分段积分。积分区间为 δ 0.2~10 ppm, 积分间距为 0.04 ppm, 全谱积分并将数据导出后归一化。为了消除基线波动和溶剂峰、水峰对数据分析带来的影响, 在进行统计分析时去除 δ 2.52~3.32 ppm 和 δ 4.72~5.12 ppm 之间的信号。

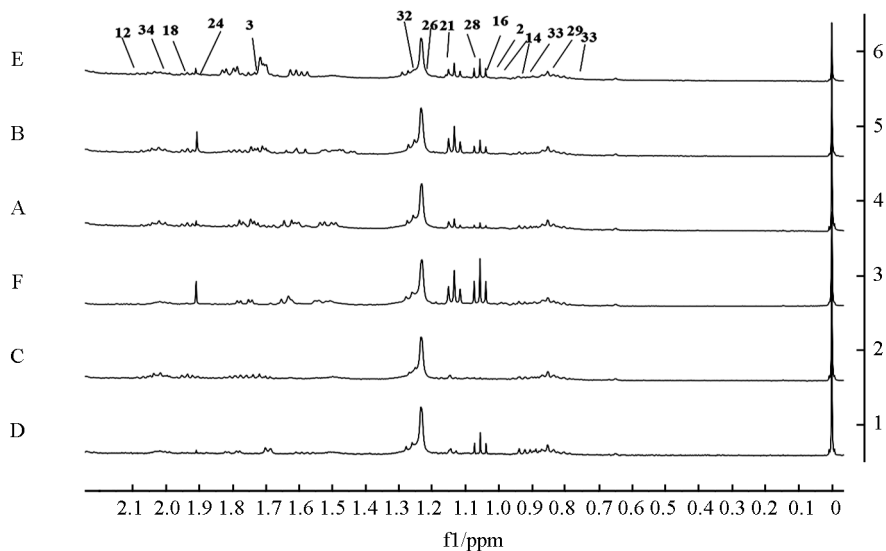
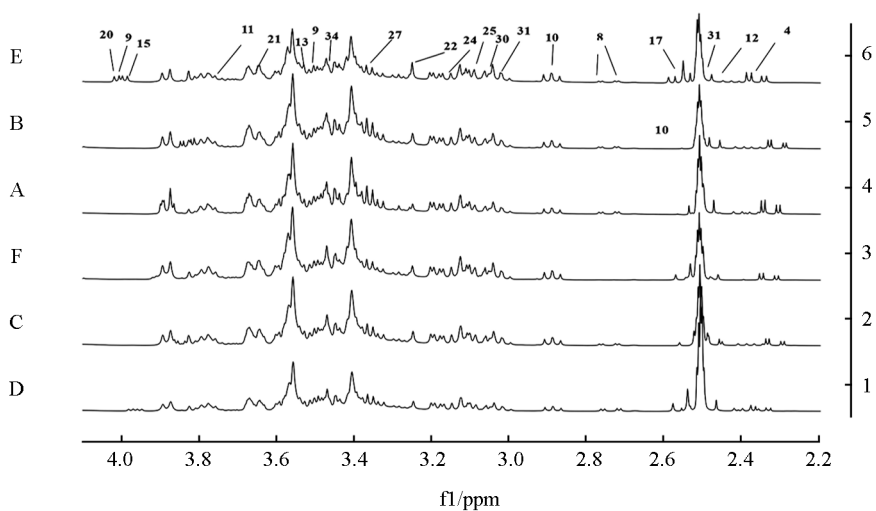
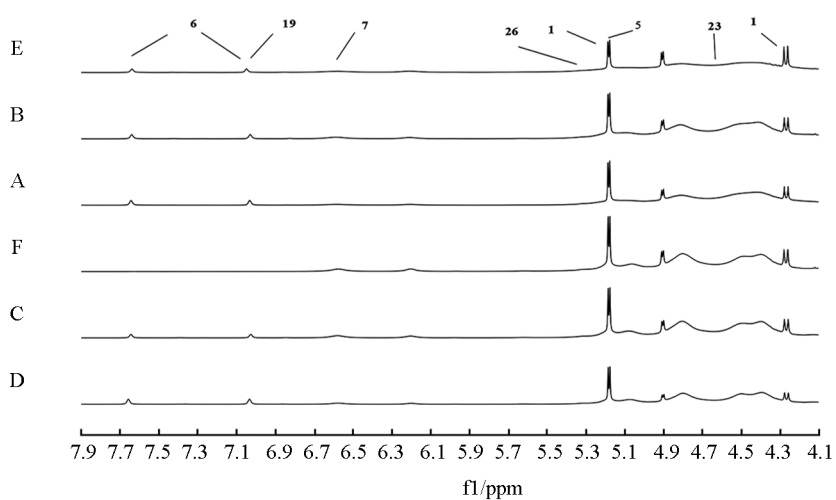
1.2.4 核磁共振数据分析

使用 SIMCA-P14.0 软件对归一化后的核磁数据进行主成分分析 (Principle Component Analysis, PCA) 和最小二乘法判别分析 (Partial Least Squares Discriminant Analysis, PLS-DA), 对于 PLS-DA 模型, 利用随机置换排列对模型的可靠性进行验证。

2 结果与分析

2.1 6 产区杏果氢谱 ($^1\text{H-NMR}$) 图中化学成分的鉴定

从 6 产区杏果混样的氢谱图中各选取 1 张作为该产区代表杏果样品的谱图, 结果如图 1。根据试验报道、文献数据^[21-23] 以及对照品的氢谱图, 对杏果中的化学成分进行归属和识别, 共指认出 34 种化学成分, 具体的特征化学成分归属见表 2, 主要含有氨基酸、有机酸及糖类物质。

a. δ 0~2.1 ppmb. δ 2.2~4.0 ppmc. δ 4.1~7.9 ppm

A、B、C、D、E、F 分别代表阿克苏产区小白杏、巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏、和田产区穆克尤杏、喀什产区赛麦提杏、吐鲁番产区塔西杏、伊犁哈萨克自治州产区树上干杏。

图 1 6 产区杏果分段氢谱 ($^1\text{H-NMR}$) 图

表 2 6 产区杏果样品主要化学成分谱图归属表

序号	代谢物质	氢化学位移
1	Sucrose(蔗糖)	δ 5.18(d)、 δ 4.27(d)
2	Leucine(亮氨酸)	δ 0.94(t)
3	Arginine(精氨酸)	δ 1.71(m)
4	Malate(苹果酸)	δ 2.36(dd)
5	α -D-Glucose(α -D-葡萄糖)	δ 5.18(d)
6	Histidine(组氨酸)	δ 7.05(s)、 δ 7.64(s)
7	Fumarate(富马酸)	δ 6.58(s)
8	Citric acid(柠檬酸)	δ 2.72(d)、 δ 2.58(d)
9	D-fructose(D-果糖)	δ 3.57(m)、 δ 4.00(dd)
10	Asparagine(天冬酰胺)	δ 2.89(dd)
11	Alanine Ala(丙氨酸)	δ 3.72(m)
12	Glutamine(谷氨酰胺)	δ 2.10(m)、 δ 2.43(m)
13	Glycine(甘氨酸)	δ 3.57(s)
14	Isoleucine(异亮氨酸)	δ 0.94(t)、 δ 1.05(d)
15	Serine(丝氨酸)	δ 4.00(dd)
16	Valine(缬氨酸)	δ 1.03(d)
17	Succinic acid(琥珀酸)	δ 2.55(s)
18	Aceticacid(乙酸)	δ 1.91(s)
19	Gall IC acid(没食子酸)	δ 7.05(s)
20	Ethyl acetate(乙酸己酯)	δ 4.03(dd)
21	Ethanol(乙醇)	δ 1.13(t)、 δ 3.64(d)
22	Choline(胆碱)	δ 3.19(s)
23	Ascorbic acid(抗坏血酸)	δ 4.44(d)
24	Lysine(赖氨酸)	δ 1.75(m)、 δ 1.90(m)、 δ 3.04(m)
25	Malonic acid(丙二酸)	δ 3.15(s)
26	Rhamnose(鼠李糖)	δ 1.24(t)、 δ 5.18(d)
27	Methanol(甲酸)	δ 3.35(s)
28	2- Ketobutyric acid(2-酮丁酸)	δ 1.06(t)
29	Isovaleric acid(异戊酸)	δ 0.85(t)
30	gamma-aminobutanoic acid(γ -氨基丁酸)	δ 2.88(t)
31	α -Ketoglutaric acid(α -氧代戊二酸)	δ 2.46(t)、 δ 3.09(m)
32	Ethylacetate(乙酸乙酯)	δ 1.24(t)
33	Oleanolic acid(齐墩果酸)	δ 0.75(s)、 δ 0.89(s)、 δ 5.34(m)
34	3-Caffeoylquinic acid(3-咖啡酰奎宁酸绿原酸)	δ 3.49(dd)、 δ 2.02(m)

注：s、d、t、q、m 和 dd 分别为单峰、双峰、3 重峰、4 重峰、多重峰和双重双分裂峰。

通过对 6 产区杏果样品氢谱图的初步解析, 可以将其大致可分为 3 个区域, 即脂肪区、碳水化合物区和芳香区。指认出的氨基酸包括精氨酸、亮氨酸、组氨酸、丙氨酸、甘氨酸、赖氨酸、丝氨酸、缬氨酸和谷氨酰胺; 有机酸包括苹果酸、富马酸、柠檬酸、2-酮丁酸、异戊酸、琥珀酸、乙酸、氧代戊二酸和丙二酸; 糖类物质包括蔗糖、 α -D-葡萄糖和 D-果糖等。

从 6 产区谱图信息得到, 相较于其他 5 产区, 吐鲁番产区塔西杏中解析到的化学成分信号较多, 如精氨酸和丝氨酸等; 伊犁哈萨克自治州产区树上干杏中柠檬酸、谷氨酸、没食子酸等化学成分的信号峰较弱; 2-酮丁酸、乙醇两种化学成分的信号峰在喀什产区赛麦提杏、巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏、吐鲁番产区塔西杏和伊犁哈萨克自治州产区树上干杏中较为明显, 在阿克苏产区小白杏和田产区穆克尤杏中信号较弱; 喀什产区赛麦提杏的乙酸信号峰较强。通过对比谱图信息, 可以解析到信号峰在 6 产区区内都有较为明显的化学成分, 如蔗糖、D-果糖、赖氨酸等; 还有一些化学成分在部分产区信号较为明显, 如 2-酮丁酸、乙醇等。

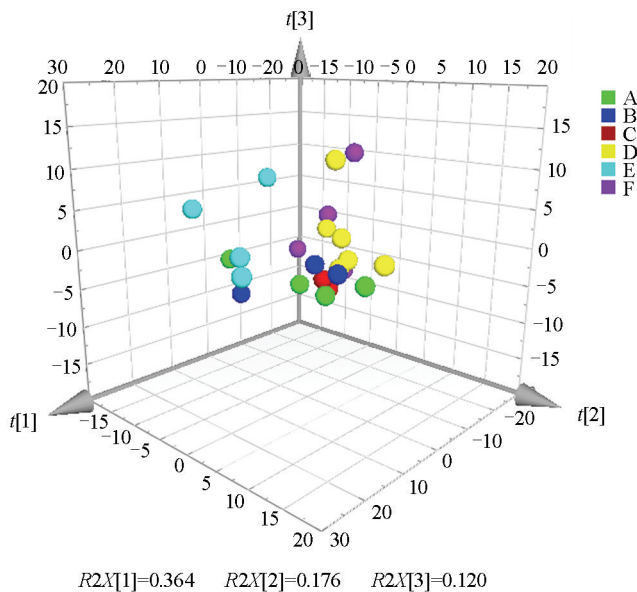
2.2 潜在差异化学成分的鉴别

通过 PCA 模型得分图初步观察各产区样本间的总体分布, 分析是否存在离异样本。图 2 中, $R^2X[1]=0.364$ 表示第 1 主成分的累积贡献率为 36.4%, $R^2X[2]=0.176$ 表示第 2 主成分的累积贡献率为 17.6%, $R^2X[3]=0.120$ 表示第 3 主成分的累积贡献率为 12.0%。由 3 个主成分所得的 PCA 3D 得分图可见, 24 个样本未出现强异常值, 没有离异样本存在。由于 PCA 分析是无监督的分析方法, 只能反映数据的原始状态, 为进一步分析组间差异, 确定 6 地区杏果之间的化学成分差异, 对相应数据进行有监督的 PLS-DA 分析。

图 3a 为 6 产区杏果样品 PLS-DA 得分图, 结果表明吐鲁番产区塔西杏(E)和伊犁哈萨克自治州产区树上干杏(F)对比其他 4 个产区的杏果有良好的分离度; 喀什产区赛麦提杏(D)

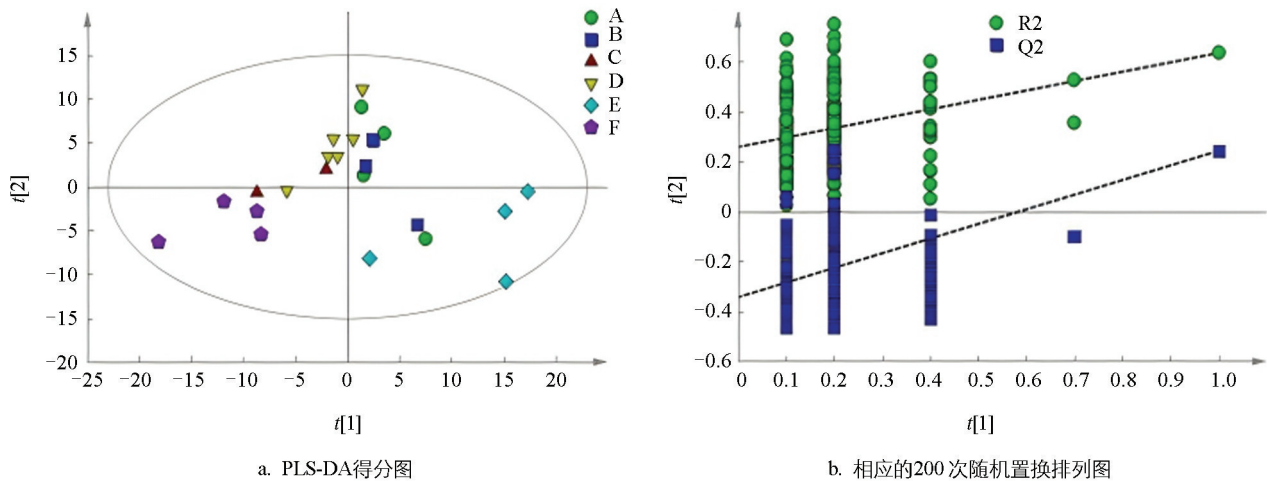
对比阿克苏产区小白杏(A)、吐鲁番产区塔西杏(E)及伊犁哈萨克自治州产区树上干杏(F)的样品均有较好的分离度, 但喀什产区赛麦提杏(D)与和田产区穆克尤杏(C)有 1 个样品重叠, 巴音郭楞蒙古自治州大白杏(B)与阿克苏产区小白杏(A)样品大致重叠。总体而言, 6 产区样品有良好的分离度。对所建的 PLS-DA 模型进行 200 次随机置换排列检验(图 3b), 得到模型的 R^2 大于将数据随机打乱建模后得到的 Q^2 , 且 Q^2 的回归线在 $t[2]$ 轴上的截距小于 0, 证明所建立的 PLS-DA 模型具有统计学意义, 可用于进一步筛选 6 产区杏果中的潜在差异化学成分。

图 4 为 6 产区杏果 PLS-DA 分析的载荷散点图, 图中从冷色调的蓝色到暖色调的红色是变量对不同产区杏果化学成分之间的差异贡献值(Variable Important in Projection, VIP)由小到大的显示, 散点形状越大, 颜色越接近暖色, 表明该变量在不同产区杏果化学成分之间的差异贡献越大, 定义 VIP 较大的变量为有显著差异的化学成分。通过鉴别, 发现组氨酸、赖氨酸、精氨酸、丝氨酸、谷氨酰胺、蔗糖、D-果糖等 7 种化学成分对不同产区杏果的差异贡献大, 可视为不同产区之间杏果的潜在差异化学成分。



A、B、C、D、E、F 分别代表阿克苏产区小白杏、巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏、和田产区穆克尤杏、喀什产区赛麦提杏、吐鲁番产区塔西杏、伊犁哈萨克自治州产区树上干杏。

图 2 6 产区杏果样品 PCA 3D 得分图



A、B、C、D、E、F 分别代表阿克苏产区小白杏、巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏、和田产区穆克尤杏、喀什产区赛麦提杏、吐鲁番产区塔西杏、伊犁哈萨克自治州产区树上干杏。

图 3 6 产区杏果样品 PLS-DA 得分图和相应的 200 次随机置换排列图

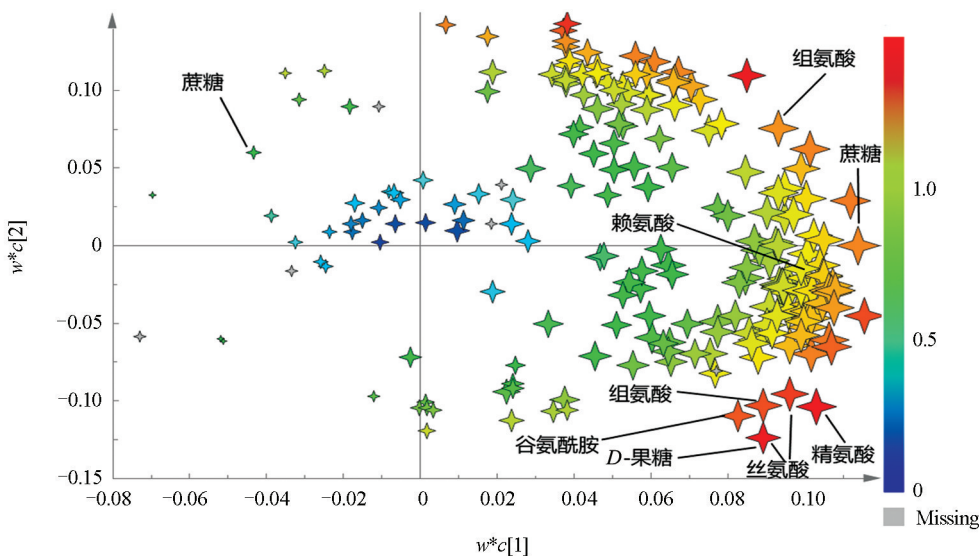
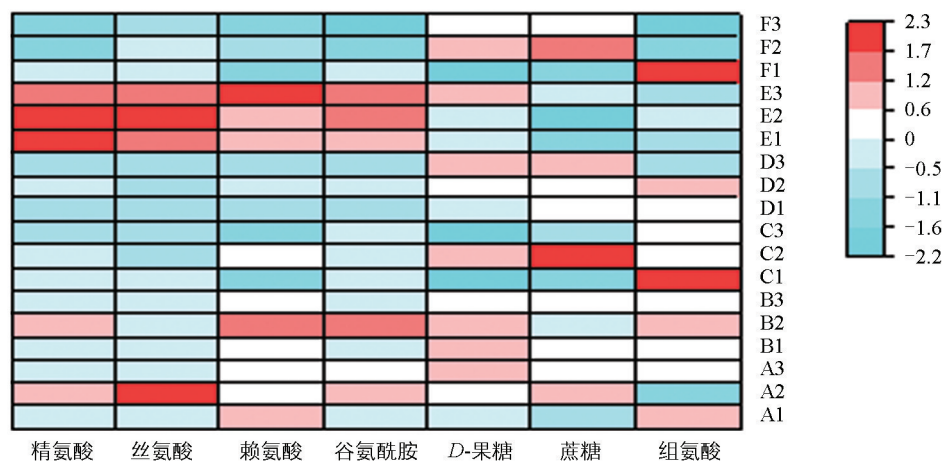


图 4 6 产区杏果样品 PLS-DA 载荷散点图

2.3 潜在差异化学成分相对含量相关性分析

图 5 为 6 产区杏果潜在差异化学成分相对含量相关性热图，图中高含量区域表示为红色，低含量区域表示为蓝色。结果表明，阿克苏产区小白杏(A)中含量较高的是丝氨酸和赖氨酸，含量较低的是组氨酸和精氨酸；巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏(B)中含量较高的是赖氨酸、谷氨酰胺、D-果糖、组氨酸，含量较低的是丝氨酸和蔗糖；和田产区穆克尤杏(C)和喀什产区赛麦提杏(D)中含量较高的是组氨酸和蔗糖，含量较低的是赖氨酸、精氨酸、丝氨酸、谷氨酰胺；吐鲁番产区塔西杏(E)中含量较高的是精氨酸、丝氨酸、赖氨酸、谷氨酰胺，其余 3 种化学成分含量较低；伊犁哈萨克自治州产区树上干杏(F)中组氨酸、蔗糖和 D-果糖 3 种化学成分含量较高，其余 4 种化学成分含量较低。分析发现，吐鲁番产区塔西杏(E)中相对高含量的化学成分最多，且都为氨基酸类物质。包括精氨酸、丝氨酸、赖氨酸和谷氨酰胺，这与 6 产区杏果质谱图解析结果一致。



A、B、C、D、E、F 分别代表阿克苏产区小白杏、巴音郭楞蒙古自治州产区大白杏、和田产区穆克尤杏、喀什产区赛麦提杏、吐鲁番产区塔西杏、伊犁哈萨克自治州产区树上干杏。数字代表同一地区选取的 3 个样品。

图 5 6 产区杏果样品潜在差异化学成分相对含量相关性热图

3 讨论与结论

3.1 讨论

基于 NMR 技术以及 PLS-DA 模型分析发现, 6 产区样品整体分离度较好, 其中巴音郭楞蒙古自治州大白杏(B)与阿克苏产区小白杏(A)样品大致重叠, 原因可能是两个产区的主栽品种都是白杏, 差异并不显著; 喀什产区赛麦提杏(D)与和田产区穆克尤杏(C)有 1 个样品重叠, 可能是由于两个产区地理位置较接近, 气候差异较小、种植方式相近等。有研究报道显示, 在不同产区的作物会由于地理位置较近等因素导致化学成分较为相似, 差异不明显^[6]。

新疆 6 产区主栽杏果品种中潜在的差异化学成分为氨基酸和糖类, 各产区杏果中差异代谢物含量与杏果品质之间均有着密切的联系, 这些差异可能使不同产区杏果呈现出不同的特征优势。氨基酸是蛋白质、酶和核酸的前体物质, 作为信号分子在果实的合成代谢和渗透调节中发挥作用, 蔗糖、D-果糖是果实中主要的可溶性糖, 是杏果口感与风味的重要影响因子^[24]。果实中部分氨基酸与可溶性糖的转化具有相关性, 特别是呈味氨基酸, 如甘氨酸本身作为一种甜味氨基酸, 能够通过促进气孔开放和光合电子转移速率提高净光合速率, 增加光合产物, 提高果实中可溶性糖的含量, 利于果实着色^[25]; 谷氨酰胺是果实中氮同化过程中产生的第一种氨基酸, 除了为果实带来鲜味外, 还可以降解柠檬酸, 降低杏果的酸度, 从而提高适口性。

研究表明, 氨基酸种类及含量与果实品质和抗病性密切相关, Yan 等^[26]发现以丝氨酸为前体合成的丝氨酸蛋白酶处理果实后可以通过抑制菌类生长、提高果实抗病性等相关基因的相对表达量来增强果实对病原真菌的抗性。诸多学者^[27-29]的报道表明, 赖氨酸处理可以抑制相关病原真菌的活性, 提高果实的抗病性, 减少果实腐烂, 从而保持果实的采后品质。阿克苏产区小白杏(A)和吐鲁番产区塔西杏(E)果实中丝氨酸、赖氨酸含量较高, 这为新疆杏果的病害防治与采后贮藏提供了新的思路。还有研究发现^[30-31], 精氨酸处理可以通过调控果实中多胺、脯氨酸和一氧化氮等物质的合成、增强抗氧化酶活性并提高植物的抗冷性, 减轻果实贮藏期的冷害。吐鲁番产区塔西杏(E)果实中精氨酸含量较高, 在冷藏期冷害率较低, 可能更适合长途冷链运输。通过研究解析新疆不同产区主栽品种杏果差异化学成分的相对含量, 有利于明确不同产区主栽品种杏果的营养品质特征及差异性, 对打造和增强新疆不同产区杏果品

牌特色具有积极的意义。

3.2 结论

对 6 个产区的主栽品种杏果进行化学成分指认和差异分析,并找出潜在的差异化学成分,共鉴别出组氨酸、赖氨酸、精氨酸、丝氨酸、谷氨酰胺、蔗糖、D-果糖等 7 种差异化学成分。研究表明,NMR 技术能够用于不同产区杏果化学成分及其含量的差异分析,并且可以结合多元统计分析筛选各产区之间影响杏果品质的差异化学成分,可为新疆不同产区杏果营养品质差异分析及杏果资源深度开发利用提供理论依据。

参考文献:

- [1] 阿依姑丽·艾合麦提,王妙颖,彭祺菲,等.野山杏果肉总有机酸对高脂血症大鼠血脂及相关基因表达的影响[J].食品科学,2018,39(21):171-176.
- [2] 张籽润,张瑞杰,赵津,等.24-表油菜素内酯对杏果实采后抗冷性与可溶性糖含量的影响[J].食品科学,2019,40(7):198-203.
- [3] DENG P, CUI B, ZHU H L, et al. Accumulation Pattern of Amygdalin and Prunasin and Its Correlation with Fruit and Kernel Agronomic Characteristics during Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Kernel Development [J]. Foods, 2021, 10(2): 397.
- [4] 陈钰,郭爱华,姚延涛,等.杏品种花蕾细胞膜透性和脯氨酸含量与抗寒性的关系[J].云南农业大学学报,2008,23(2):211-214.
- [5] 吕云皓.1-MCP与紫外(UV-C)联合处理对小白杏采后生理及香气物质的影响[D].石河子:石河子大学,2022.
- [6] 白国荣.冰温贮藏对吊干杏采后贮藏品质及生理影响的研究[D].石河子:石河子大学,2019.
- [7] 阿丽耶·图尔荪.壳聚糖复合涂膜剂结合纳米活性包装对小白杏贮藏品质的影响[D].阿拉尔:塔里木大学,2023.
- [8] 武士科,李洁.仁用杏果脯加工工艺研究[J].安徽农学通报,2024,30(7):90-93.
- [9] 王雪,王新宇,刘希艺,等.以杏坯为原料加工杏脯的渗糖工艺优化[J].中国调味品,2023,48(7):101-110.
- [10] 刘娟.新疆杏种质资源遗传多样性及核心种质构建[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.
- [11] SONG Y K, CHENG S S, WANG H H, et al. Variable Temperature Nuclear Magnetic Resonance and Magnetic Resonance Imaging System as a Novel Technique for in Situ Monitoring of Food Phase Transition [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(3): 740-747.
- [12] SCHMITT C, BASTEK T, STELZER A, et al. Detection of Peanut Adulteration in Food Samples by Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(49): 14364-14373.
- [13] EZEANAKA M C, NSOR-ATINDANA J, ZHANG M. Online Low-Field Nuclear Magnetic Resonance (LF-NMR) and Magnetic Resonance Imaging (MRI) for Food Quality Optimization in Food Processing [J]. Food and Bioprocess Technology, 2019, 12(9): 1435-1451.
- [14] CAO R G, LIU X R, LIU Y Q, et al. Applications of Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy to the Evaluation of Complex Food Constituents [J]. Food Chemistry, 2021, 342: 128258.
- [15] 安莉,汪红,马婧玮,等.基于核磁共振代谢组学分析不同品种草莓的化学成分差异[J].食品安全质量检测学报,2020,11(14):4750-4756.
- [16] 魏亮,张超楠,李科研,等.基于核磁共振代谢组学技术比较不同产地铁棍山药的化学成分差异[J].分析测试学报,2022,41(5):774-780.
- [17] 王寿峰,梁俊威,雍登金,等.基于¹H-NMR的灵芝产地分类与识别方法研究[J].中药材,2023,46(3):598-602.
- [18] GIRELLI C R, ACCOGLI R, DEL COCO L, et al. ¹H-NMR-Based Metabolomic Profiles of Different Sweet Melon (*Cucumis melo* L.) Salento Varieties: Analysis and Comparison [J]. Food Research International, 2018, 114: 81-89.

- [19] 范玛莉, 邢婕, 李震宇, 等. 基于 NMR 代谢组学技术的白芍与赤芍化学成分比较研究 [J]. 中草药, 2014, 45(22): 3230-3237.
- [20] CROOK A A, POWERS R. Quantitative NMR-Based Biomedical Metabolomics: Current Status and Applications [J]. Molecules, 2020, 25(21): 5128.
- [21] JIANG M M, WANG C H, ZHANG Y, et al. Sparse Partial-Least-Squares Discriminant Analysis for Different Geographical Origins of *Salvia Miltiorrhiza* by $^1\text{H-NMR}$ -Based Metabolomics [J]. Phytochemical Analysis, 2014, 25(1): 50-58.
- [22] 何晨曦. 核磁共振技术应用于柑橘属水果溯源分析和营养成分比较 [D]. 厦门: 厦门大学, 2020.
- [23] 董泰山, 韩晓静. 基于核磁共振的山药与麸炒山药化学成分比较 [J]. 中国现代中药, 2015, 17(7): 673-678.
- [24] SUN M, ZHAO B T, CAI Z X, et al. Amino Acid Profiles in Peach (*Prunus persica* L.) Fruit [J]. Foods, 2022, 11(12): 1718.
- [25] LI Y Y, LV Y, LIAN M, et al. Effects of Combined Glycine and Urea Fertilizer Application on the Photosynthesis, Sucrose Metabolism, and Fruit Development of Peach [J]. Scientia Horticulturae, 2021, 289: 110504.
- [26] YAN F, ZHANG D, WANG X, et al. Reduction of Postharvest Diseases of Loquat Fruit by Serine Protease and Possible Mechanisms Involved [J]. Scientia Horticulturae, 2022, 304: 111246.
- [27] SUN J Z, FAN Z Q, CHEN Y Z, et al. The Effect of E-Poly-l-Lysine Treatment on Molecular, Physiological and Biochemical Indicators Related to Resistance in Longan Fruit Infected by *Phomopsis Longanae* Chi [J]. Food Chemistry, 2023, 416: 135784.
- [28] LI H, HE C, LI G J, et al. The Modes of Action of Epsilon-Polylysine (ϵ -PL) Against *Botrytis cinerea* in Jujube Fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 147: 1-9.
- [29] BAI J L, WANG H H, ZHANG J M, et al. Postharvest Quality Maintenance of Wax Apple and Guava Fruits by Use of a Fermented Broth of an E-Poly-l-Lysine-Producing *Streptomyces* Strain [J]. PLoS One, 2022, 17(3): e0265457.
- [30] ALI M H, KHAN A S, JASKANI M J, et al. Pre-Storage Application of L-Arginine Mitigates Chilling Injury and Maintains Quality of Sandhuri Guava Fruit [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(3): e16405.
- [31] BABALAR M, PIRZAD F, ALI ASKARI SARCHESHMEH M, et al. Arginine Treatment Attenuates Chilling Injury of Pomegranate Fruit during Cold Storage by Enhancing Antioxidant System Activity [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 137: 31-37.

责任编辑 周仁惠