

基于主成分及聚类分析的不同产地 红枣功能成分品质分析

郝慧敏¹, 黄丽萍², 纵伟^{3*}

(1. 鹤壁职业技术学院食品工程学院, 鹤壁 458030; 2. 海南科技职业大学临床医药学院, 海口 571126;
3. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 郑州 450000)

摘要: **目的** 比较不同产地的红枣功能成分品质差异。**方法** 选取新疆不同产地的 12 个红枣原料, 对其多酚、总糖、总黄酮、皂甙、环磷酸腺苷(cyclic adenosine monophosphate, cAMP)和维生素 C 含量进行测定, 通过主成分分析和聚类分析对红枣功能成分的品质进行综合评价。**结果** 多酚含量排名前 3 的红枣产地分别是伊吾县、和田县和沙雅县, 总糖含量排名前 3 的红枣产地分别是伊吾县、若羌县和莎车县, 总黄酮含量排名前 3 的红枣产地分别是伊吾县、巴楚县和沙雅县, 皂苷含量排名前 3 的红枣产地分别是麦盖提县、莎车县和轮台县, cAMP 含量排名前 3 的红枣产地分别是沙雅县、麦盖提县和疏勒县, 维生素 C 含量排名前 3 的红枣产地分别是疏勒县、图木舒克市和阿拉尔市。红枣功能成分指标评价可简化为 4 个主成分, 累积方差贡献率达到 92.359%。根据功能成分的综合得分, 功能成分综合品质排名前 3 的红枣产地是伊吾县、沙雅县、麦盖提县。当欧氏距离为 15 时, 12 个产地红枣按功能成分可以分为三类。**结论** 基于主成分分析和聚类分析的分析方法简便、科学、有效, 可用于分析不同产地红枣品质。

关键词: 主成分分析; 聚类分析; 红枣; 功能成分

Quality analysis of functional components of jujube from different producing areas by principal component analysis and cluster analysis

HAO Hui-Min¹, HUANG Li-Ping², ZONG Wei^{3*}

(1. School of Food Engineering, Hebi Polytechnic, Hebi 458030, China; 2. School of Clinical Medicine, Hainan Vocational University of Science and Technology, Haikou 571126, China; 3. College of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450000, China)

ABSTRACT: Objective To compare the quality differences of functional components in different producing areas of Chinese jujube. **Methods** Twelve jujube materials from different habitats in Xinjiang were selected to determine the content of polyphenols, total sugars, total flavonoids, saponins, cyclic adenosine monophosphate (cAMP) and vitamin C. The quality of functional components of jujube were comprehensively evaluated by principal component analysis and cluster analysis. **Results** The sample areas of top 3 polyphenols were Yiwu County, Hotan County and Xayar County, top 3 total sugars were Yiwu County, Ruoqiang County and Yarkant County, top 3 total flavonoids

基金项目: 海南省重点研发计划项目(ZDYF2021XDNY143)、鹤壁职业技术学院科研课题项目(2023-KJZD-005)

Fund: Supported by the Key Research and Development Program of Hainan Province (ZDYF2021XDNY143), and the Research Topic of Hebi Vocational and Technical College (2023-KJZD-005)

*通信作者: 纵伟, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: zongwei1965@126.com

*Corresponding author: ZONG Wei, Ph.D, Professor, Zhengzhou University of Light Industry, Science Avenue, Zhongyuan District, Zhengzhou 450000, China. E-mail: zongwei1965@126.com

were Yiwu County, Maralbexi County and Xayar County, top 3 total saponins were Makit County, Yarkant County and Luntai County, top 3 cyclic AMP were Xayar County, Makit County and Shule County, top 3 vitamin C were Shule County, Tumxuk City and Aral City, respectively. The department of functional component evaluation of jujube was simplified to 4 principal components, and the contribution rate of cumulative variance was 92.359%. According to the comprehensive score of the functional components, the top 3 producing areas of the functional components were Yiwu County, Xayar County and Makit County. When the Euclidean distance was 15, the jujube of 12 producing areas could be divided into 3 types according to the functional components. **Conclusion** The analysis method based on principal component analysis and cluster analysis is simple, scientific and effective, which can be used to analyze the quality of jujube from different producing areas.

KEY WORDS: principal component analysis; cluster analysis; jujube; functional component

0 引言

枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)为鼠李科枣属植物,是我国重要的经济果树^[1]。我国是世界枣生产大国,产量均占全世界95%以上。红枣营养丰富,富含维生素C(vitamin C, VC)^[2],同时含有多糖^[3]、黄酮^[4]、多酚^[5-6]、环磷酸腺苷(cyclic adenosine monophosphate, cAMP)^[7-8]、皂甙^[9]等功能成分,是深受消费者喜爱的药食同源食物资源。近年来,我国红枣种植面积不断扩大,尤其是新疆地区,由于其独特的自然环境,红枣产量已占全国产量的一半以上。但由于新疆地域广阔,不同生长地域的自然环境因素会对枣的品质产生影响。因此,开展对新疆不同产地枣的品质评价具有重要意义。

主成分分析(principal component analysis, PCA)是通过将多个变量线性变换后进行降维,而将多个变量转换为较少变量的多元统计分析方法^[10-11];聚类分析(cluster analysis, CA)是将研究对象的多个评价指标找出能够度量样品或指标间相似程度的统计量,并将相似度较高的样品进行聚类的一种分析方法^[12-13]。在果蔬原料的品质分析上,PCA和CA分析被广泛应用在苹果^[14]、柑橘^[15]和甜瓜^[16]、榴莲^[17]等果蔬的品质评价中。在枣的品质评价方面,目前对枣的品质差异研究多集中在不同品种^[18-19]、不同成熟度^[20]对红枣品质的影响上。由于枣是功能性食品的重要原料,在枣产品的加工中,功能成分的指标对枣功能食品的质量具有重要影响^[21],而目前尚无基于功能成分角度,采用PCA和CA对不同产地枣品质指标进行评价的报道。因此,本研究基于功能成分的角度,以12个新疆不同产地的红枣为研究对象,测定其功能成分(多酚、总糖、总黄酮、皂甙、cAMP和维生素C)含量,通过PCA和CA分析不同产地红枣功能成分品质的差异性,为枣品质评价提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红枣,产地分别为伊吾县(S₁)、和田县(S₂)、沙雅县

(S₃)、轮台县(S₄)、麦盖提县(S₅)、若羌县(S₆)、阿拉尔市(S₇)、图木舒克市(S₈)、疏勒县(S₉)、巴楚县(S₁₀)、尉犁县(S₁₁)、莎车县(S₁₂),采收于2022年10月,均为成熟期采收。

芦丁标准对照品、没食子酸标准对照品、cAMP标准对照品(纯度98%,上海源叶生物科技有限公司);乙醇、草酸、磷酸二氢钾、苯酚、硫酸(分析纯)、甲酸、甲醇(色谱纯)(国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

NovAA350 火焰原子吸收光谱仪(德国耶拿分析仪器股份公司);1290UPLC™超高效液相色谱仪、ZORBAX Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5.0 μm)(北京安捷伦科技有限公司);Enspire2003 多功能酶标仪(美国 pE 公司);FA2204N 电子天平(精度 0.0001 g, 上海菁海仪器有限公司);KQ3200DE 超声波清洗器(昆山舒美超声仪器有限公司);T6 新世纪紫外可见分光光度计(北京普析仪器有限公司);JC-FW-80 粉碎机(青岛聚创环保集团有限公司);H1650R 台式高速冷冻离心机(湖南湘仪实验室仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 多酚、总黄酮和皂甙含量的测定

取 100 g 左右的红枣,去核,粉碎机破碎后,精密称取 1.00 g,加入 25 mL 70%乙醇、在 60℃下采用超声波清洗器进行超声辅助提取 30 min, 5000 r/min 离心 20 min,残渣重提一次,合并 2 次提取液,采用福林-酚比色法测定多酚含量^[22-23],采用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠比色法测定总黄酮含量^[24-25],香草醛-高氯酸法测定皂甙含量^[26-27]。

1.3.2 总糖含量的测定

取 100 g 左右的红枣,去核,粉碎机破碎后,精密称取 1.00 g,加入 25 mL 80%乙醇,在室温下超声辅助提取 30 min, 5000 r/min 离心 20 min,残渣加水 25 mL,超声提取 30 min, 5000 r/min 离心 20 min,混合 2 次提取液,采用苯酚-硫酸比色法测定总糖含量^[28-29]。

1.3.3 VC 含量的测定

取 100 g 左右的红枣,去核,粉碎机破碎后,精密称

取 1.00 g, 加入研钵中, 加 20 mL 20 g/L 草酸研磨成匀浆, 滤纸过滤, 滤液采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定^[30]。

1.3.4 环磷酸腺苷

取 100 g 左右的红枣, 去核, 粉碎机破碎后, 精密称取 1.00 g, 加入 20.00 mL 提取溶剂(甲醇:0.05 mol/L 磷酸二氢钾溶液=2:8, V:V), 超声提取 40 min, 提取后 5000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 过 0.22 μm 水相滤膜后采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定。

检测条件: ZORBAX Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(250 mm \times 4.6 mm, 5.0 μm); 柱温: 35 $^{\circ}\text{C}$; 流动相: 甲醇:(水:甲酸=10:0.5)=10.5:89.5 (V:V); 流速: 0.7 mL/min; 等度洗脱 10 min; 进样量 10 μL ; 检测波长 268 nm。

标准曲线: 吸取标准溶液, 分别配制标准溶液质量浓度为 1.0、5.0、10.0、20.0、50.0、100.0 mg/L, 进样测定, 绘制标准曲线, 得到 cAMP 的标准曲线回归方程。

1.4 数据处理

所有数据重复测定 3 次, 数据采用平均值 \pm 标准偏差形式表示, 采用 SPSS 26.0 软件对数据进行 PCA 和 CA。

2 结果与分析

2.1 不同产地红枣的功能成分分析

2.1.1 不同产地红枣的多酚含量

不同产地红枣的多酚含量如表 1 所示。由表 1 可知, 红枣多酚含量排名前 3 的产地分别是伊吾县、和田县和沙雅县, 其中和田县和沙雅县枣的多酚含量无显著性差异 ($P>0.05$); 多酚含量较少的红枣产地分别是若羌县、巴楚县、尉犁县、莎车县, 但 4 个产地的红枣多酚含量无显著

表 1 不同产地红枣的多酚含量
Table 1 Content of polyphenol in jujube from different producing areas

序号	产地	含量/(mg/g 干基)
S ₁	伊吾县	7.88 \pm 0.15 ^a
S ₂	和田县	8.04 \pm 0.26 ^{ab}
S ₃	沙雅县	8.42 \pm 0.47 ^b
S ₄	轮台县	6.57 \pm 0.10 ^c
S ₅	麦盖提县	7.03 \pm 0.22 ^d
S ₆	若羌县	6.22 \pm 0.09 ^c
S ₇	阿拉尔市	7.21 \pm 0.38 ^d
S ₈	图木舒克市	7.22 \pm 0.34 ^d
S ₉	疏勒县	7.00 \pm 0.14 ^d
S ₁₀	巴楚县	6.52 \pm 0.36 ^c
S ₁₁	尉犁县	5.97 \pm 0.07 ^c
S ₁₂	莎车县	6.03 \pm 0.23 ^c

注: 同列不同小写字母代表具有显著性差异 ($P<0.05$), 下同。

性差异 ($P>0.05$)。枣的功能成分是枣基因组和生态环境因子的综合表现^[31], 本次研究采用的品种都为灰枣, 品种相同, 但功能成分含量不同, 表明新疆枣树在不同的生态环境下有不同的响应, 最终形成枣中功能成分含量的差异。伊吾县属于大陆性气候; 和田地区属于暖温带极端干旱荒漠气候, 沙雅县属暖温带沙漠边缘气候区, 3 个地域气候条件不同, 但多酚含量都较高, 可能是土壤环境对其具有较大的影响, 万胜等^[31]在研究新疆不同产区枣果品质及其对生境因子的响应时发现, 碱解氮含量对枣生长过程中总酚的影响较大。

2.1.2 不同产地红枣的总糖含量

不同产地红枣的总糖含量如表 2 所示。由表 2 可知, 总糖含量排名前 3 的红枣产地分别是伊吾县、若羌县和莎车县, 其中若羌县和莎车县枣的总糖含量无显著性差异 ($P>0.05$); 总糖含量较少的红枣产地是沙雅县、轮台县和麦盖提县, 其中沙雅县和轮台县枣的总糖含量无显著性差异 ($P>0.05$)。植物中糖的代谢受到温度、光照、水分、土壤等不同环境条件的影响^[32]。以伊吾县、若羌县和莎车县来看, 伊吾县属于大陆性气候, 若羌县和莎车县暖温带荒漠干旱气候, 这些地域温度、光照、水分差异较大, 但若羌县和莎车县枣的总糖含量无显著性差异 ($P>0.05$), 表明温度、光照、水分不是主要影响因素, 土壤环境可能是其总糖含量差异的重要原因。

表 2 不同产地红枣的总糖含量
Table 2 Content of total sugar in jujube from different producing areas

序号	产地	含量/(mg/g 干基)
S ₁	伊吾县	524.31 \pm 11.42 ^a
S ₂	和田县	462.98 \pm 13.08 ^b
S ₃	沙雅县	397.75 \pm 12.51 ^c
S ₄	轮台县	405.34 \pm 2.73 ^c
S ₅	麦盖提县	360.19 \pm 15.25 ^d
S ₆	若羌县	561.20 \pm 12.06 ^e
S ₇	阿拉尔市	414.85 \pm 14.97 ^c
S ₈	图木舒克市	490.25 \pm 9.59 ^f
S ₉	疏勒县	464.63 \pm 5.35 ^b
S ₁₀	巴楚县	474.87 \pm 2.92 ^b
S ₁₁	尉犁县	515.22 \pm 9.21 ^a
S ₁₂	莎车县	572.25 \pm 12.22 ^e

2.1.3 不同产地红枣的总黄酮含量

不同产地红枣的总黄酮含量如表 3。由表 3 可知, 总黄酮含量排名前 3 的红枣产地分别是伊吾县、巴楚县和沙雅县, 其中巴楚县和沙雅县枣的总黄酮含量无显著性差异 ($P>0.05$); 总黄酮含量较少的的红枣产地分别是麦盖提县、尉犁县和莎车县, 其中尉犁县和莎车县枣的总黄酮含量无显著性差异 ($P>0.05$)。枣中黄酮和多酚都是枣的次级代谢产物, 因此, 其二者之间有密切的关系, 万胜等^[31]在研究

新疆不同产区枣果品质及其对生境因子的响应时发现, 碱解氮含量对不仅对枣生长过程中总酚的影响较大, 对黄酮的产生也具有较大的影响。

表 3 不同产地红枣的总黄酮含量

Table 3 Content of total flavonoids in jujube from different producing areas

序号	产地	含量/(mg/g 干基)
S ₁	伊吾县	0.28±0.01 ^a
S ₂	和田县	0.22±0.02 ^{bc}
S ₃	沙雅县	0.24±0.02 ^b
S ₄	轮台县	0.20±0.01 ^c
S ₅	麦盖提县	0.19±0.01 ^c
S ₆	若羌县	0.23±0.01 ^b
S ₇	阿拉尔市	0.20±0.02 ^c
S ₈	图木舒克市	0.21±0.01 ^c
S ₉	疏勒县	0.21±0.03 ^c
S ₁₀	巴楚县	0.25±0.01 ^b
S ₁₁	尉犁县	0.17±0.01 ^d
S ₁₂	莎车县	0.17±0.01 ^d

2.1.4 不同产地红枣的皂苷含量

不同产地红枣的皂苷含量如表 4 所示。由表 4 可知, 皂苷含量排名前 3 的红枣产地分别是麦盖提县、莎车县、轮台县, 三者枣的皂苷含量无显著性差异($P>0.05$); 皂苷含量较少的红枣产地分别是阿拉尔市、疏勒县和巴楚县, 其中疏勒县和巴楚县枣的皂苷含量无显著性差异($P>0.05$)。魏云洁等^[33]在研究人参中皂甙的代谢过程中发现, 人参皂甙的形成受到温度、光照、水分、土壤等不同环境条件的影响, 其中有机肥的使用对皂甙形成影响显著, 不同地区枣中红枣皂甙的含量差异, 可能也是和土壤中有机的含量有密切关系。

表 4 不同产地红枣的皂苷含量

Table 4 Content of saponins in jujube from different producing areas

序号	产地	含量/(mg/g 干基)
S ₁	伊吾县	0.162±0.003 ^a
S ₂	和田县	0.158±0.005 ^a
S ₃	沙雅县	0.161±0.002 ^a
S ₄	轮台县	0.163±0.001 ^{ab}
S ₅	麦盖提县	0.167±0.002 ^b
S ₆	若羌县	0.160±0.003 ^a
S ₇	阿拉尔市	0.133±0.006 ^c
S ₈	图木舒克市	0.157±0.002 ^a
S ₉	疏勒县	0.155±0.004 ^a
S ₁₀	巴楚县	0.154±0.002 ^a
S ₁₁	尉犁县	0.156±0.003 ^a
S ₁₂	莎车县	0.166±0.001 ^b

2.1.5 不同产地红枣的 cAMP 含量

不同产地红枣的 cAMP 含量如表 5 所示。由表 5 可知, cAMP 含量排名前 3 的红枣产地分别是沙雅县、麦盖提县和疏勒县, 其中沙雅县和麦盖提县的 cAMP 含量无显著性差异($P>0.05$); cAMP 含量较少的红枣产地分别是轮台县、阿拉尔市和若羌县, 3 个产地红枣的 cAMP 含量都有显著性差异($P<0.05$)。杨根芳等^[34]研究发现, 不同生物肥处理对枣树体吸收营养有一定影响, 进而影响到枣的 cAMP 含量。本研究中不同产地枣中 cAMP 含量的差异, 可能与种植过程中的肥料使用有一定的关系。

表 5 不同产地红枣的 cAMP 含量

Table 5 Content of cAMP in jujube from different producing areas

序号	产地	含量/($\mu\text{g/g}$ 干基)
S ₁	伊吾县	517.44±1.62 ^a
S ₂	和田县	455.72±0.55 ^b
S ₃	沙雅县	572.16±9.55 ^c
S ₄	轮台县	423.08±3.00 ^d
S ₅	麦盖提县	570.18±0.29 ^c
S ₆	若羌县	444.20±4.01 ^e
S ₇	阿拉尔市	432.29±1.20 ^f
S ₈	图木舒克市	508.95±1.77 ^e
S ₉	疏勒县	525.94±1.56 ^b
S ₁₀	巴楚县	522.78±5.37 ^h
S ₁₁	尉犁县	504.53±3.83 ^e
S ₁₂	莎车县	476.48±1.47 ⁱ

2.1.6 不同产地红枣的 VC 含量

不同产地红枣的 VC 含量如表 6 所示。由表 6 可知, VC 含量排名前 3 的红枣产地分别是疏勒县、图木舒克市和阿拉尔市, 其中疏勒县和图木舒克市枣的 VC 含量无显著性差

表 6 不同产地红枣的 VC 含量

Table 6 Content of VC in jujube from different producing areas

序号	产地	含量/(mg/100 g 干基)
S ₁	伊吾县	107.11±6.19 ^a
S ₂	和田县	112.89±4.91 ^a
S ₃	沙雅县	112.00±2.40 ^a
S ₄	轮台县	90.00±4.06 ^b
S ₅	麦盖提县	108.67±7.02 ^a
S ₆	若羌县	77.78±4.29 ^c
S ₇	阿拉尔市	119.56±1.92 ^d
S ₈	图木舒克市	133.78±8.36 ^c
S ₉	疏勒县	137.78±5.59 ^c
S ₁₀	巴楚县	118.22±2.14 ^d
S ₁₁	尉犁县	109.33±7.02 ^a
S ₁₂	莎车县	111.11±4.44 ^a

异($P>0.05$); VC 含量较少的红枣产地分别是若羌县、轮台县和伊吾县, 3 个产地红枣的 VC 含量都有显著性差异($P<0.05$)。枣中 VC 量受土壤 pH 的影响, 邓婉莹等^[35]以和田地区枣园为例, 研究发现, 枣的 VC 含量和土壤 pH 呈正相关。因此, 不同地区红枣的 VC 含量差异可能是和这些地区土壤 pH 不同有关。

2.2 功能成分的主成分分析

对 12 个不同产地红枣的 6 个功能成分指标进行 PCA 分析, 结果如表 7 所示, 提取出 4 个主成分, 累积方差贡献率达到 92.359%, 说明提取的 4 个主成分可以解释其功能成分指标。由表 7 和表 8 可知, PCA₁ 的方差主要综合了多酚和 cAMP, 贡献率分别为 85.2%、68.2%; PCA₂ 主要综合了皂苷, 贡献率占 85.7%; PCA₃ 主要综合了 cAMP, 贡献率占 55.0%; PCA₄ 主要综合了总糖, 占 73.0%。

2.3 功能成分的综合评价

为了消除不同单位和数据量纲的影响, 需对各指标原始数据进行标准化处理, 转化成均值为 0, 标准差为 1 的无量纲数据。根据标准化后的各指标与因子载荷矩阵计算各主成分得分, 公式如式(1)~(4):

$$F_1=0.588X_1-0.405X_2+0.353X_3-0.05X_4+0.471X_5+0.377X_6 \quad (1)$$

$$F_2=0.069X_1+0.228X_2+0.371X_3+0.725X_4+0.272X_5-0.453X_6 \quad (2)$$

$$F_3=-0.314X_1-0.127X_2-0.603X_3+0.391X_4+0.512X_5+0.328X_6 \quad (3)$$

$$F_4=-0.117X_1+0.774X_2+0.264X_3-0.112X_4+0.186X_5+0.52X_6 \quad (4)$$

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重, 计算主成分综合评价模型:

$$F_{\text{综}}=0.379F_1+0.252F_2+0.208F_3+0.160F_4$$

在 PCA 分析的基础上, 根据功能成分的综合得分模型计算不同产地红枣功能成分的综合得分, 结果如表 9 所示, 综合得分越高说明该产地红枣功能成分的综合品质越好。结果表明, 功能成分的综合品质排名前 3 的产地是沙雅县、伊吾县和麦盖提县, 得分较低的 3 个产地分别为阿拉尔市、轮台县和若羌县。

表 7 功能成分的总方差分析

主成分	总计	方差百分比	累积/%
PCA ₁	2.101	35.017	35.017
PCA ₂	1.397	23.277	58.294
PCA ₃	1.155	19.242	77.537
PCA ₄	0.889	14.822	92.359
PCA ₅	0.326	5.433	97.792
PCA ₆	0.132	2.208	100.000

表 8 功能成分的成分矩阵和成分系数矩阵

Table 8 Component matrix and component coefficient matrix of functional components

品质指标	主成分				主成分系数			
	1	2	3	4	1	2	3	4
多酚(X ₁)	0.852	0.081	-0.337	-0.110	0.588	0.069	-0.314	-0.117
总糖(X ₂)	-0.587	0.269	-0.137	0.730	-0.405	0.228	-0.127	0.774
黄酮(X ₃)	0.511	0.439	-0.648	0.249	0.353	0.371	-0.603	0.264
皂苷(X ₄)	-0.072	0.857	0.420	-0.106	-0.050	0.725	0.391	-0.112
cAMP(X ₅)	0.682	0.322	0.550	0.175	0.471	0.272	0.512	0.186
VC(X ₆)	0.547	-0.535	0.353	0.490	0.377	-0.453	0.328	0.520

表 9 不同产地红枣功能成分的品质预测评价结果

Table 9 Results of quality prediction and evaluation of jujube functional components from different producing areas

序号	产地	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F _综	排名
S ₁	伊吾县	1.106	1.611	-1.353	0.921	0.691	2
S ₂	和田县	0.519	-0.099	-0.871	-0.299	-0.057	7
S ₃	沙雅县	2.470	0.843	0.034	-0.585	1.062	1
S ₄	轮台县	-1.297	0.217	-0.380	-1.831	-0.809	11
S ₅	麦盖提县	0.998	0.596	1.766	-1.415	0.669	3
S ₆	若羌县	-2.242	1.271	-1.262	0.004	-0.791	10
S ₇	阿拉尔市	0.057	-2.936	-1.295	-0.457	-1.061	12
S ₈	图木舒克市	0.627	-0.565	0.505	0.932	0.349	5
S ₉	麦盖提县	0.884	-0.855	0.806	0.882	0.428	4
S ₁₀	巴楚县	0.429	0.041	-0.241	0.776	0.247	6
S ₁₁	尉犁县	-1.484	-0.474	1.115	0.296	-0.403	9
S ₁₂	莎车县	-2.066	0.348	1.176	0.776	-0.326	8

2.4 聚类分析

通过不同产地红枣功能成分的 PCA 分析将功能成分指标标准化, 综合不同产地红枣的功能成分品质, 采用 SPSS 对其进行 CA 分析。根据不同产地间不同功能成分指标的差异, 将距离相近的品种聚为一类, 聚类结果如图 1。

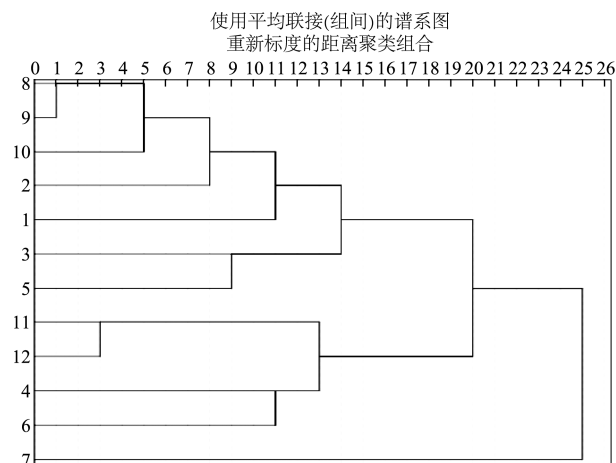


图 1 不同产地红枣功能成分聚类分析

Fig.1 Clustering analysis of functional components of jujube from different habitats

从图 1 可以看出, 当欧氏距离为 15 时, 12 个产地红枣按功能成分可以分为三类。第一类为图木舒克市、麦盖提县、巴楚县、和田县、沙雅县和伊吾县; 第二类为尉犁县、莎车县、轮台县和若羌县; 第三类为阿拉尔市。

3 讨论与结论

在对 12 个不同产地红枣的功能性成分含量进行分析的基础上, 基于 PCA 和 CA 对其品质进行综合评价。PCA 分析提取了 4 个 PCA, 累积方差贡献率达到 92.359%。在 PCA 的基础上, 根据功能成分的综合得分模型计算不同产地红枣功能成分的综合得分, 结果表明, 功能成分的综合品质排名前 3 的产地是沙雅县、伊吾县和麦盖提县, 得分较低的 3 个产地分别为阿拉尔市、轮台县和若羌县。根据 CA, 当欧氏距离为 15 时, 12 个产地红枣按功能成分可以分为三类。第一类为图木舒克市、麦盖提县、巴楚县、和田县、沙雅县和伊吾县; 第二类为尉犁县、莎车县、轮台县和若羌县; 第三类为阿拉尔市。本研究表明, 枣中含有丰富的功能成分, 不同产地枣的功能成分含量受到区域性的土壤、营养等诸多生态因子的影响, 但由于未对不同产地温度、光照、水分、土壤等环境条件和功能成分之间进行数据的相关性统计分析, 后期需要加强该方面的研究。但总体而言, 基于 PCA 和 CA 的不同产地红枣品质的分析方法具有简便、科学、有效的优势, 对指导红枣加工过程中采用适宜的加工原料具有指导意义。

参考文献

- [1] 胡蝶, 熊琳, 薛雅文, 等. 基于传统培养法和高通量测序技术分析新疆红枣中真菌多样性[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(24): 8101-8108.
- [2] HU D, XIONG L, XUE YW, *et al.* Analysis of the fungal diversity in *Ziziphus jujuba* Mill. from Xinjiang using traditional culture method and high-throughput sequencing [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(24): 8101-8108.
- [3] 郭艳茹, 赵磊. 枣果中维生素 C 含量的测定及比较研究[J]. 运城学院学报, 2014, 32(5): 70-71.
- [4] GUO YR, ZHAO L. Determination and comparative study on content of vitamin C in jujube [J]. *J Yuncheng Univ*, 2014, 32(5): 70-71.
- [5] 贾 XL, 郭 J, 丁 D, *et al.* Structural characterization and antioxidant activity of a novel high-molecular-weight polysaccharide from *Ziziphus jujuba* cv. [J]. *Food Meas*, 2022, 16(2): 2191-2200.
- [6] WANG Z, AN X, CHITRAKAR B, *et al.* Spatial and temporal distribution of phenolic and flavonoid compounds in sour jujube (*Ziziphus acidojujuba* Cheng et Liu) and their antioxidant activities [J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2023, 78(10): 46-51.
- [7] BAO T, ZHANG M, ZHOU Y, *et al.* Phenolic profile of jujube fruit subjected to gut microbiota fermentation and its antioxidant potential against ethyl carbamate-induced oxidative damage [J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2021, 22(5): 397-409.
- [8] ARSLAN M, ZAREEF M, TAHIR HE, *et al.* Comparative analyses of phenolic compounds and antioxidant properties of Chinese jujube as affected by geographical region and drying methods (puff-drying and convective hot air-drying systems) [J]. *Food Meas*, 2021, 15(10): 933-943.
- [9] YAN WL, REN SY, YUE XX, *et al.* Rapid detection of cAMP content in red jujube using near-infrared spectroscopy [J]. *Optoelectron Lett*, 2018, 14(11): 380-383.
- [10] WANG R, DING S, ZHAO D, *et al.* Effect of dehydration methods on antioxidant activities, phenolic contents, cyclic nucleotides, and volatiles of jujube fruits [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2016, 25(2): 137-143.
- [11] LU Y, BAO T, MO J, *et al.* Research advances in bioactive components and health benefits of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit [J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2021, 22(6): 431-449.
- [12] NAUSCHUTT BT, CHEN L, HOLSTE K, *et al.* Correction to: Non-invasive assessment of plasma parameters inside an ion thruster combining optical emission spectroscopy and principal component analysis [J]. *EPJ Technol Instrum*, 2021, 8(9): 18-19.
- [13] YAMASHITA N. Correction to: Principal component analysis constrained by layered simple structures [J]. *Adv Data Anal Classif*, 2022, 16(6): 1099-1100.
- [14] KHODASEVICH MA, SINITSYN GV, GRES'KO MA, *et al.* Identification of counterfeit alcoholic beverages using cluster analysis in principal-component space [J]. *J Appl Spectrosc*, 2017, 84(7): 517-520.
- [15] SHAKERI MT, NEZAMI H, NAKHAE S, *et al.* Assessing heavy metal burden among cigarette smokers and non-smoking individuals in Iran: Cluster analysis and principal component analysis [J]. *Biol Trace Elem Res*, 2021, 199(1): 4036-4044.
- [16] MIRJI, AHMED N, SINGH DB, *et al.* Diversity evaluation of fruit quality of apple (*Malus domestica* Borkh.) germplasm through cluster and

- principal component analysis [J]. *Ind J Plant Physiol*, 2017, 22(7): 221–226.
- [15] 张伟清, 林媚, 王天玉, 等. 基于 PCA 分析和聚类分析的柑橘果实品质综合评价[J]. *果树学报*, 2023, 40(5): 902–918.
ZHANG WQ, LIN M, WANG TY, *et al.* Comprehensive evaluation of citrus fruit quality based on principal component and cluster analysis [J]. *J Fruit Sci*, 2023, 40(5): 902–918.
- [16] 李宁, 邵敬雯, 陈雪平, 等. 15 个羊角脆甜瓜品种形态学性状变异性和聚类分析[J]. *现代农业科技*, 2023, 52(4): 69–73.
LI N, SHAO JW, CHEN XP, *et al.* Variability and cluster analysis of morphological traits of 15 varieties of Yangjiao crispy melon [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2023, 52(4): 69–73.
- [17] 陈妹姑, 林兴娥, 李新国, 等. 基于主成分分析和聚类分析的榴莲品质综合评价[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(7): 278–286.
CHEN MG, LIN XE, LI XG, *et al.* Comprehensive evaluation of durian quality based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023, 44(7): 278–286.
- [18] 李英姿, 侯红岩, 张娜, 等. 新疆 3 个品种吊干枣的理化品质及抗氧化能力分析[J]. *现代食品*, 2022, 28(5): 138–141.
LI YZ, HOU HY, ZHANG N, *et al.* Analysis of physic-chemistry qualities and antioxidant activity of Xinjiang Hanging-dried jujube of three jujube cultivars [J]. *Mod Food*, 2022, 28(5): 138–141.
- [19] ZHANG R, SUN X, ZHANG K, *et al.* Fatty acid composition of 21 cultivars of Chinese jujube fruits (*Ziziphus jujuba* Mill.) [J]. *Food Meas*, 2021, 15(10): 1225–1240.
- [20] 耿阳, 赵晓梅, 谭玉鹏, 等. 采收成熟度对‘京沧 1 号’枣贮藏品质及抗氧化活性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(9): 269–275.
GENG Y, ZHAO XM, TAN YP, *et al.* Effects of harvest maturity on storage quality and antioxidative capacity of *Ziziphus jujube* ‘Jingcang 1’ [J]. *Food Ferment Ind*, 2023, 49(9): 269–275.
- [21] 李爽, 谢丹露, 吴继周, 等. 不同炮制方法下若羌灰枣主要功能成分及抗氧化活性的对比[J]. *新疆农业科学*, 2023, 60(4): 935–942.
LI S, XIE DL, WU JZ, *et al.* Comparison of main functional components and antioxidant activity of jujube Ruoqiang by different processing methods [J]. *Xinjiang Agric Sci*, 2023, 60(4): 935–942.
- [22] CHU J, MING Y, CUI Q, *et al.* Efficient extraction and antioxidant activity of polyphenols from *Antrodia cinnamomea* [J]. *BMC Biotechnol*, 2022, 22(3): 9–10.
- [23] MORENO C, RUDNER P, GARCIA J, *et al.* Development of a sequential injection analysis device for the determination of total polyphenol index in wine [J]. *Microchim Acta*, 2004, 148(7): 93–98.
- [24] 李金芳, 张守芳, 李丽丹, 等. $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaOH}$ 比色法测定乳苣不同部位总黄酮含量研究[J]. *食品与营养科学*, 2022, 11(1): 36–43.
LI JF, ZHANG SF, LI LD, *et al.* Study on the $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaOH}$ colorimetric method for the determination of total flavonoids in different parts of *Mulgedium tataricum* L. [J]. *J Food Nutr Sci*, 2022, 11(1): 36–43.
- [25] ZHAO C, ZHAO X, ZHANG J, *et al.* Screening of bacillus strains from sun vinegar for efficient production of flavonoid and phenol [J]. *Indian J Microbiol*, 2016, 56(5): 498–503.
- [26] ZHANG Y, LI Y, LIU Z, *et al.* Dynamic microwave-assisted extraction of total ginsenosides from ginseng fibrous roots [J]. *Wuhan Univ J Nat Sci*, 2015, 20(5): 247–254.
- [27] 刘丹, 姬晓灵, 丁亚亚, 等. 超声波辅助提取茄子皂甙的工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(15): 42–45.
LIU D, JI XL, DING YY, *et al.* Study on ultrasonic-assisted extraction of eggplant saponin [J]. *Food Res Dev*, 2014, 35(15): 42–45.
- [28] 王宁, 周钢, 张珊滋, 等. 新疆 8 种蔷薇果中可溶性糖组分含量的特征分析[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(3): 169–175.
WANG N, ZHOU G, ZHANG SZ, *et al.* Content characteristics of soluble sugar components in eight species of rosa fruits from Xinjiang [J]. *Food Res Dev*, 2023, 44(3): 169–175.
- [29] TAYLOR KACC. A modification of the phenol/sulfuric acid assay for total carbohydrates giving more comparable absorbances [J]. *Appl Biochem Biotechnol*, 1995, 53(6): 207–214.
- [30] ALI MN, SERÇE S. Vitamin C and fruit quality consensus in breeding elite European strawberry under multiple interactions of environment [J]. *Mol Biol Rep*, 2022, 49(9): 11573–11586.
- [31] 万胜, 孙佳, 王磊, 等. 新疆不同产区枣果品质及其对生境因子的响应[J]. *经济林研究*, 2023, 41(1): 97–105.
WAN S, SUN J, WANG L, *et al.* Jujube fruit quality and its response to environment factors in Xinjiang different plantation areas [J]. *Non-wood Forest Res*, 2023, 41(1): 97–105.
- [32] 苏静, 祝令成, 刘茜, 等. 果实糖代谢与含量调控的研究进展[J]. *果树学报*, 2022, 39(2): 266–279.
SU J, ZHU LC, LI X, *et al.* Research progress on sugar metabolism and concentration regulation in fruit [J]. *J Fruit Sci*, 2022, 9(2): 66–279.
- [33] 魏云洁, 王英平, 张连学, 等. 人参皂甙合成与积累的适宜环境条件模型研究[J]. *特产研究*, 1995, 17(4): 27–29.
WEI YJ, WANG YP, ZHANG LX, *et al.* Study on the model of suitable environmental conditions for ginsenoside synthesis and accumulation [J]. *Spec Wild Econ Anim Plant Res*, 1995, 17(4): 27–29.
- [34] 杨根芳, 李建贵, 杨文英, 等. 生物肥对阿克苏骏枣果实和叶片 cAMP 含量影响研究[J]. *新疆农业科学*, 2015, 52(1): 44–50.
YAN GF, LI JG, YANG WY, *et al.* Effects of biofertilizer on cAMP content of *Ziziphus Jujube*'s fruits and leaves in Akesu [J]. *Xinjiang Agric Sci*, 2015, 52(1): 44–50.
- [35] 邓婉莹, 闫浩宇, 曹振兴, 等. 南疆骏枣园土壤养分与果实品质的相关性分析—以和田地区枣园为例[J]. *植物学研究*, 2023, 12(2): 47–55.
DENG WY, YAN HY, CAO ZX, *et al.* Correlation analysis of soil nutrients and fruit quality in Jujube orchards in south Xinjiang-taking date orchards in Hotan area as an example [J]. *Bot Res*, 2023, 12(2): 47–55.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



郝慧敏, 硕士, 副教授, 主要研究方向为功能性食品开发。
E-mail: haohuimin226@126.com



纵 伟, 博士, 教授, 主要研究方向为食品安全检测。
E-mail: zongwei1965@126.com