

新疆不同品种桑葚营养品质分析及综合评价

田琳^{1,2}, 范盈盈², 李洪欣^{1,2}, 张媛媛^{1,2}, 王艳², 雷静³,
刘峰娟², 何伟忠², 焦子伟^{1*}, 王成^{1,2*}

[1. 伊犁师范大学生物科学与技术学院, 伊宁 835000; 2. 新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所/农业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)/农业农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(乌鲁木齐)/新疆农产品质量安全重点实验室, 乌鲁木齐 830091; 3. 新疆农业科学院吐鲁番农业科学研究所, 吐鲁番 838001]

摘要: **目的** 分析评价新疆不同品种桑葚的营养品质。**方法** 以新疆地区11个桑葚品种为研究对象, 测定其还原糖、有机酸、矿物元素、氨基酸、抗氧化活性等15项品质指标, 并运用主成分分析法和聚类分析法进行综合品质评价。**结果** 新疆不同桑葚品种各个品质指标之间大多存在显著性差异($P < 0.05$), 其中富马酸含量差异最大, 变异系数为100.00%, 果糖差异最小, 变异系数为7.46%。黑桑1号中黄酮含量、矿物元素总量较高, 分别为2.86 mg/g、5860.29 mg/kg; 黑桑2号和药桑1号的1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl radical, DPPH)自由基清除能力较强, 均为4.18 mmol/L Trolox; 粉桑和白桑1号的糖酸比分别为12.45%和14.64%, 高于其他品种; 药桑2号中2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]阳离子自由基清除能力较强, 为4.27 mmol/L Trolox; 药桑1号的花青素含量最高, 为2.59 mg/g; 药桑5号氨基酸总含量最高, 为1.349%。通过主成分分析可以将15项品质指标简化为3项主要成分, 累计贡献率达到85.432%, 可以反映品质指标的绝大部分信息。根据综合评价得分高低, 将品种排序为药桑3号>黑桑2号>黑桑1号>药桑1号>药桑2号>药桑6号>药桑5号>药桑4号>白桑2号>白桑1号>粉桑。**结论** 综合评价得出药桑3号综合品质最优, 但其糖酸比在3%左右, 风味品质比较差, 适合作为保健品开发的果桑品种; 粉桑和白桑虽然综合品质较差, 但其口感比较好, 适合鲜食或者制作成桑葚酒、桑葚干。

关键词: 桑葚; 不同品种; 营养品质; 主成分分析; 聚类分析; 综合评价

Analysis and comprehensive evaluation of nutritional quality of different varieties of *Fructus Mori*. in Xinjiang

TIAN Lin^{1,2}, FAN Ying-Ying², LI Hong-Xin^{1,2}, ZHANG Yuan-Yuan^{1,2}, WANG Yan², LEI Jing³,
LIU Feng-Juan², HE Wei-Zhong², JIAO Zi-Wei^{1*}, WANG Cheng^{1,2*}

[1. College of Biological Science and Technology, Yili Normal University, Yining 835000, China; 2. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Functional

基金项目: 新疆农业科学院农业科技创新稳定支持项目(xjnkywdzc-2023003-1)、新疆维吾尔自治区重点研发项目(2022B02026-4)、伊犁师范大学高层次人才项目(YLSDXSDTR001)

Fund: Supported by the Agricultural Science and Technology Innovation and Stability Support Project, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences (xjnkywdzc-2023003-1), the Key Research and Development Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2022B02026-4), and the High-level Talent Program of Yili Normal University (YLSDXSDTR001)

***通信作者:** 焦子伟, 博士, 教授, 主要研究方向为微生物生态及绿色有机农业有害生物防控。E-mail: jiaziwei123@163.com

王成, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与营养品质评价。E-mail: wangchengxj321@sina.com

***Corresponding author:** JIAO Zi-Wei, Ph.D., Professor, Biological Science and Technology, Yili Normal University, Yining 835000, China. E-mail: jiaziwei123@163.com

WANG Cheng, Ph.D., Professor, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Urumqi 830091, China. E-mail: wangchengxj321@sina.com

Nutrition and Health of Characteristic Agricultural Products in Desert Oasis Ecological Region (Co-construction by Ministry and Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-products (Urumqi), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety of Xinjiang, Urumqi 830091, China; 3. Turpan Institute of Agricultural Sciences, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Turpan 838001, China]

ABSTRACT: Objective To analyze and evaluate the nutritional quality of different varieties of *Fructus Mori*. in Xinjiang. **Methods** Taking 11 varieties *Fructus Mori*. in Xinjiang as the research objects, the 15 quality indexes such as reducing sugar, organic acid, mineral element, amino acid and antioxidant activity were determined, and the principal component analysis and cluster analysis were used to evaluate the quality. **Results** There were significant differences among quality indexes of different mulberry varieties in Xinjiang ($P < 0.05$), among which fumaric acid content had the largest difference with a coefficient of variation of 100.00% and fructose had the smallest difference with a coefficient of variation of 7.46%. The flavonoid content and total mineral elements in Black Mulberry No.1 were higher, 2.86 mg/g and 5860.29 mg/kg, respectively. The 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) radical scavenging ability of Black mulberry No.2 and Medicinal Mulberry No.1 were stronger, both were 4.18 mmol/L Trolox. The sugar-acid ratio were 12.45% and 14.64% in Pink Mulberry and White Mulberry No.1, respectively, which were relatively higher than that in other *Fructus Mori*.. The radical scavenging capacity of 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS) was relatively stronger in Medicinal Mulberry No.2, with 4.27 mmol/L Trolox. Anthocyanin content of Medicinal Mulberry No.1 was the highest with 2.59 mg/g. The highest total amino acid content was 1.349% in Medicinal Mulberry No.5. Using principal component analysis, 15 quality indexes could simplified into 3 main components, with a cumulative contribution rate of 85.432%, which could reflect the vast majority of information of quality indexes. Score according to the comprehensive evaluation, the varieties were ranked as Medicine Mulberry No.3>Black Mulberry No.2>Black Mulberry No.1>Medicine Mulberry No.1>Medicine Mulberry No.2>Medicine Mulberry No.6>Medicine Mulberry No.5>Medicine Mulberry No.4>White Mulberry No.2>White Mulberry No.1>Pink Mulberry. **Conclusion** The comprehensive quality of the Medicine Mulberry No.3 is the best via comprehensive evaluation, but its sugar-acid ratio of about 3%, flavor quality is relatively poor, suitable for health care products as the development of mulberry varieties, Pink Mulberry and White Mulberry although the comprehensive quality of the poorer, but its taste is better, suitable for fresh food or made into mulberry wine and dried *Fructus Mori*..

KEY WORDS: *Fructus Mori*.; different varieties; nutritional quality; principal component analysis; cluster analysis; comprehensive evaluation

0 引言

桑葚(*Fructus Mori*.)是桑科桑葚属(*Morus alba* L.)落叶乔木植物的果实,又叫做桑枣、桑果,颜色多为深紫色或黑色,呈椭圆形^[1]。桑葚历史悠久,在世界各地不同的气候和地形下种植^[2],广泛分布在亚洲亚热带区域、北美和非洲。中国是种植桑树大国,目前已有十多个省份广泛引进和栽培桑树,种植面积达 53300 公顷,其中种质资源有 60 多种^[3]。桑葚含有丰富的营养成分,如花青素、抗坏血酸、脂肪酸、有机酸以及钙、铁、锌、磷、铜等矿物质成分^[4-5]。《本草纲目》中记载桑葚具有多种功效和作用,滋阴补血、消肿,用于头晕目眩、耳鸣失眠、阴虚津少、头发早白等疾病的治疗,还有美容养颜、生津润肠等的功效。新疆栽桑养蚕历史悠久,区域气候干燥,昼夜温差大,得天独厚

的自然环境孕育了独特的桑树种质资源^[6]。新疆果桑品种有白桑、黑桑、药桑、粉桑,不同品种桑葚在诸多因素上存在着差异,不同品种的桑葚有各自的特色。

主成分分析是指把多个变量化为少数几个主成分的一种统计分析方法,在不损失或很少损失原有信息的前提下,把多指标转化为少数几个综合指标^[7-8]。聚类分析根据一批样品的多个观测指标,具体找出一些能够度量样品或指标之间相似程度的统计量,并以此为依据将相似度较高的样品聚为一类^[9]。目前主成分分析和聚类分析评价法在猕猴桃^[10]、冬枣^[11]、龙眼^[12]、菜心^[13]等果蔬的品质评价方面均有应用。如高艳娜等^[14]利用对河南省的 19 份番茄进行主成分分析和聚类分析,成功构建了不同品种番茄品质性状的综合评价体系;温锦丽等^[15]为评价不同软枣猕猴桃品种果实品质,建立软枣猕猴桃果实品质

质评价体系,运用主成分分析和聚类分析对软枣猕猴桃果实品质进行综合评价。

目前对桑葚品质评价已有部分研究,李靖等^[16]采用主成分分析法和聚类分析法针对四川地区 5 个不同品种桑葚进行研究,根据评价结果为不同品种桑葚提供其加工生产的方向;黄新球等^[17]对云南省种植的主要果用桑葚的营养品质及理化特性进行分析,发现云桑二号营养成分含量、单果质量、口感评分在 7 种桑葚中整体评价最为优秀;汪荷橙等^[6]以新疆药桑、鞑靼桑和白桑为材料,对其主要的营养品质进行分析,发现药桑总酚含量高于鞑靼桑和白桑,而鞑靼桑的黄酮含量高于其他品种。在桑葚的品质评价中,大多数研究的都是基础的营养品质指标,对桑葚中矿物元素、氨基酸含量、抗氧化活性等综合研究的相对较少,并且研究指标偏重不一,除此之外,药桑是新疆特有的一类药用果桑资源,对其营养品质综合评价的研究也相对较少。因此,本研究主要通过比较新疆 11 种不同品种桑葚的营养品质差异,并结合主成分分析、聚类分析等,对新疆 11 种桑葚进行综合评价,旨在探明其成分及其含量的差异,为桑葚的加工和开发利用提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

黑桑、白桑:2022 年 5 月采摘于新疆吐鲁番、阿克苏地区阿拉尔市;粉桑:2022 年 5 月采自新疆吐鲁番;药桑:2022 年 7 月采摘于新疆吐鲁番、阿克苏地区阿拉尔市、库车市乌尊镇。采摘的桑葚果实均为健康的鲜果,按品种分别装在放有冰袋的泡沫箱里,采摘后 24 h 内运回实验室,一部分待测样品冷冻干燥后,储藏在 -20°C 冷箱备用,用于测定糖、有机酸以及矿物元素指标,另一部分液氮冷冻研磨后于 -80°C 保存,用于测定氨基酸、黄酮、总酚、花青素以及抗氧化活性。

没食子酸(纯度 $\geq 98\%$)、芦丁(纯度 $\geq 99\%$)(上海源叶生物科技有限公司);果糖、葡萄糖、蔗糖、富马酸、柠檬酸、苹果酸等(纯度 $\geq 99\%$,上海山浦化工有限公司);原花青素(纯度 $\geq 98\%$,上海惠城生物科技有限公司);17 种氨基酸标准品(纯度 $\geq 98\%$,美国 Sigma 公司);矿物元素储备液(含、钙、钠、镁、铁、锌、铜、硼、锰、磷、锶)(1000 mg/L,国家有色金属及电子材料分析测试中心);2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid),ABTS],1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl radical, DPPH)(纯度 $\geq 98\%$,上海安宝科学仪器有限公司);酚酞试剂、Folin 酚试剂、乙醇、氢氧化钠、正丁醇、硝酸、磷酸、冰乙酸、乙酸锌、硫酸铜、亚铁氰化钾、酒石酸钾钠、硫酸铁铵等(分析纯,天津市盛奥化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

ST-16gR 型高速冷冻离心机、ICAPQC 型电感耦合等离子体质谱仪(美国赛默飞世尔科技公司);UV-2700 型紫外分光光度计(日本岛津公司);HHH.S11-6 型电热恒温水浴锅(上海博讯实业有限公司医疗设备厂);Waters 2695 型高效液相色谱仪(美国沃特世科技有限公司);BSA223s 型电子天平(精度 0.1 mg,德国赛多利斯公司);Mill-Q 型超纯水机(美国 Millipore 公司);S433D 全自动氨基酸分析仪(德国 Sykam 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 营养成分测定

水分参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法测定;总酸参照 GB/T 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中的方法进行测定(以苹果酸计);葡萄糖、果糖、蔗糖参照蒲公英峰等^[18]的方法进行测定;有机酸参照马倩倩等^[19]的方法进行测定;氨基酸参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》用氨基酸分析仪进行测定;矿物元素参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》方法,采用电感耦合等离子体发射光谱法进行测定。

1.3.2 活性成分测定

(1)原花青素

准确称取 0.1 g 桑葚粉,置于 50 mL 量瓶中,加入 30.0 mL 甲醇,超声处理 20 min,放至室温后,加甲醇至刻度线,摇匀,离心取上清液作为供试品溶液。

参照毛雪等^[20]的方法稍作修改,采用紫外分光法,称取原花青素标准品 10.0 mg,用甲醇进行溶解,将其制备成 0、10.0、25.0、50.0、100.0、150.0、200.0、250.0 $\mu\text{g/mL}$ 的标准系列溶液。甲醇作为参比液,在 546 nm 波长处测其吸光度,以吸光度为纵坐标(Y_1),原花青素质量浓度为横坐标(X_1 , $\mu\text{g/mL}$),制作标准曲线 $Y_1=0.5194X_1+0.0248$ ($r^2=0.994$)。

(2)黄酮

准确称取 1.0 g 桑葚粉于 50 mL 离心管中,加入 20.0 mL 70%乙醇溶液涡旋 1 min,在 60°C 水浴提取 30 min,离心取上清液。

参照王鑫等^[21]的方法稍作修改,采用硝酸铝比色法,称取芦丁 50.0 mg,用乙醇溶液溶解,制成 0、5.0、10.0、20.0、30.0、40.0、50.0、60.0 mg/L 的标准系列工作液。乙醇溶液作为参比液,在波长 508 nm 处测其吸光度,以芦丁质量浓度为横坐标(X_2 , mg/L),吸光度为纵坐标(Y_2),得到标准线 $Y_2=0.0107X_2+0.0095$ ($r^2=0.998$)。

(3)总酚

准确称取 1.0 g 桑葚粉于 50 mL 离心管中,加入 30.0 mL 70%乙醇溶液超声提取 30 min,离心取上清液。

采用 Folin-Ciocalteus^[22]比色法,准确称取没食子酸 12.5 mg,用去离子水定容,制成 0、2.5、5.0、10.0、20.0、30.0、40.0、60.0、80.0、100.0 μg/mL 的标准系列溶液。在波长 765 nm 处测吸光度,以没食子酸质量浓度为横坐标(X_3 , μg/mL),吸光度为纵坐标(Y_3),得到标准曲线 $Y_3=0.2905X_3-0.0098$ ($r^2=0.996$)。

1.3.3 抗氧化活性测定

(1) ABTS 阳离子自由基清除能力测定

参照 LARRAURI 等^[23]的方法并进行适当修改,采用分光光度计法,取 50.0 mg 桑葚粉,加入 1.0 mL 无水乙醇充分混匀,40℃提取 30 min,10000 g 常温离心 10 min,置于冰上待测。

取 ABTS 储备液和过硫酸钾溶液,充分混匀,室温避光反应,制成 ABTS 溶液,取桑葚样品待测液 30 μL,加入 ABTS 溶液 3.0 mL,进行充分混匀后避光反应 6 min,在波长 405 nm 处测其吸光度,蒸馏水作为参比液,按照公式(1)计算 ABTS 阳离子自由基清除率,制作标准曲线,结果用 mmol/L Trolox 表示:

$$\text{ABTS 自由基清除率}/\% = \frac{(A_{\text{空白}} - A_{\text{测定}} + A_{\text{对照}})}{A_{\text{空白}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $A_{\text{空白}}$ 代表空白对照组(等体积的无水乙醇); $A_{\text{测定}}$ 代表待测样品吸光度; $A_{\text{对照}}$ 表示样品阳性对照(用等体积的无水乙醇代替 ABTS 工作液)。

(2) DPPH 自由基清除能力测定

参照 FARAHANI 等^[24]的方法,取 1.0 g 桑葚粉,加入 10.0 mL 80% 甲醇溶液,充分混匀,40℃提取 30 min,10000 g 常温离心 10 min,置于冰上待测。

取 0.2 mL 桑葚样品提取液,加入 5.8 mL 0.04 mg/mL 的 DPPH 溶液,混匀后室温避光反应 30 min,以 2.0 mL 甲醇溶液作为空白对照,在 517 nm 处读取其吸光度,按照公式(2)计算 DPPH 自由基清除率,制作标准曲线,结果用 mmol/L Trolox 表示:

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = \frac{(A_{\text{空白}} - A_{\text{测定}} + A_{\text{对照}})}{A_{\text{空白}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $A_{\text{空白}}$ 代表空白对照组(等体积的甲醇溶液); $A_{\text{测定}}$ 代表待测样品吸光度; $A_{\text{对照}}$ 表示样品阳性对照(用等体积的甲醇溶液代替 DPPH 工作液)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据分析,用 SPSS 26.0 进行显著性分析、主成分分析、聚类分析^[25],用 Origin 2019 进行作图。实验数据以平均值±标准偏差形式表示,检测结果均以鲜样计,每个指标测定 3 次,取其平均值。

2 结果与分析

2.1 不同品种桑葚营养成分分析

2.1.1 不同品种桑葚的糖、有机酸含量

糖含量是形成果品营养品质和风味特色的重要基础物质^[26],在影响果实风味方面起着重要作用。由表 1 可知,新疆不同品种桑葚的营养成分含量存在显著差异 ($P<0.05$)。11 种桑葚的果糖、葡萄糖含量在 3.96%~5.81% 之间,其中果糖含量最高的是黑桑 2 号,葡萄糖含量最高的是药桑 6 号,果糖和葡萄糖含量最低的都是粉桑,11 种桑葚中均没有检测出蔗糖,这与李升峰等^[27]检测的桑葚中游离糖主要是果糖和葡萄糖、没有蔗糖的研究结果一致。11 种桑葚中糖含量都在 10% 左右,其中糖含量最高的是药桑 3 号,糖含量最低的是粉桑。

酸度也是影响桑葚营养品质的重要指标^[27]。本研究桑葚总酸含量在 0.67~3.51 g/100 g,总酸含量最高的是药桑 3 号,显著高于其他 10 个品种 ($P<0.05$)。不同的有机酸种类及含量因品种不同而不同,11 种桑葚中检测到的有机酸主要是酒石酸、苹果酸、柠檬酸、富马酸。柠檬酸含量最高的是药桑 3 号,其次是药桑 1 号,这两种桑葚的柠檬酸含量都在 25.00 g/kg 以上,明显高于其他桑葚 ($P<0.05$); 酒石酸含量在 0.04~0.53 g/kg 之间,含量最高的是药桑 3 号,为 0.53 g/kg,黑桑和白桑 1 号酒石酸含量远远低于其他桑葚; 苹果酸含量最高的是白桑,明显高于其他桑葚 ($P<0.05$),其次是黑桑,粉桑和药桑含量相对较低; 富马酸在这 11 种桑葚中含量相对较低,在 0.01~0.13 g/kg 之间,白桑含量最高,药桑的富马酸含量最低,都为 0.01 g/kg。

水果的甜酸风味并非甜味和酸味的简单叠加,而是糖和酸共同作用的结果,其含量和比值(糖酸比)对果实整体的甜度与酸度起决定性作用,经常被用来评价果实的风味^[28]。从表 1 可以看出,药桑的糖酸比普遍要低于黑桑、白桑、粉桑,其中药桑 3 号糖酸比最低(3.20%),白桑 1 号糖酸比最高(14.64%),表明药桑的甜酸风味不如其他品种的桑葚。

2.1.2 不同品种桑葚氨基酸含量分析

新疆不同品种桑葚中氨基酸含量测定结果(表 2)显示,桑葚中氨基酸种类比较丰富,11 种桑葚中共检测出 16 种氨基酸,其中包括 7 种必需氨基酸(苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸)。从氨基酸组分来看,含量最高的是天门冬氨酸和谷氨酸,研究结果与窦子微等^[29]一致。不同品种桑葚中氨基酸含量存在显著差异 ($P<0.05$),药桑 5 号的苏氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸这 9 种氨基酸含量相对较高; 谷氨酸、脯氨酸含量最高的是药桑 6 号; 天门冬氨酸含量最高的是药桑 1 号; 丝氨酸、酪氨酸含量最高的是白桑 1 号; 各品种桑葚间氨基酸含量最低的是蛋氨酸。

表 1 不同品种桑葚的还原糖、有机酸含量
Table 1 Reducing sugar and organic acid content in different varieties of *Fructus Mori*.

种类/指标	果糖/%	葡萄糖/%	酒石酸/(g/kg)	苹果酸/(g/kg)	柠檬酸/(g/kg)	富马酸/(g/kg)	总酸/(g/100 g)	糖酸比/%
黑桑 1 号	5.74±0.001 ^a	5.04±0.083 ^{cd}	0.04±0.001 ^e	4.42±0.169 ^d	7.61±0.149 ^b	0.05±0.001 ^c	1.18±0.082 ^e	9.14±0.046 ^d
黑桑 2 号	5.81±0.009 ^a	5.24±0.004 ^b	0.04±0.007 ^e	4.95±0.189 ^c	7.74±0.169 ^e	0.02±0.001 ^d	1.25±0.040 ^f	8.84±0.031 ^c
粉桑	4.38±0.030 ^e	3.96±0.041 ^f	0.30±0.054 ^f	2.46±0.069 ^e	3.61±0.111 ⁱ	0.06±0.002 ^c	0.67±0.019 ^j	12.45±0.026 ^b
白桑 1 号	5.75±0.004 ^a	5.08±0.150 ^{cd}	0.05±0.004 ^e	5.03±0.047 ^b	2.09±0.098 ^j	0.11±0.001 ^b	0.74±0.050 ⁱ	14.64±0.017 ^a
白桑 2 号	5.38±0.112 ^b	4.68±0.005 ^c	0.39±0.004 ^d	7.90±0.049 ^a	1.12±0.003 ^k	0.13±0.001 ^a	1.04±0.016 ^h	9.67±0.006 ^c
药桑 1 号	5.27±0.001 ^b	5.18±0.038 ^c	0.45±0.014 ^b	2.73±0.052 ^f	25.21±0.138 ^b	0.01±0.001 ^e	2.93±0.090 ^b	3.57±0.015 ⁱ
药桑 2 号	5.68±0.083 ^a	5.44±0.002 ^a	0.42±0.019 ^c	2.37±0.008 ^h	21.29±0.161 ^c	0.01±0.002 ^e	2.39±0.050 ^c	4.65±0.024 ^h
药桑 3 号	5.79±0.113 ^a	5.43±0.062 ^a	0.53±0.002 ^a	4.21±0.006 ^e	30.35±0.143 ^a	0.01±0.003 ^e	3.51±0.020 ^a	3.20±0.124 ^j
药桑 4 号	5.26±0.056 ^b	5.30±0.013 ^{ab}	0.36±0.025 ^c	1.66±0.013 ^j	15.33±0.089 ^e	0.01±0.002 ^e	1.69±0.026 ^c	6.25±0.119 ^g
药桑 5 号	5.15±0.102 ^b	4.99±0.028 ^d	0.46±0.005 ^b	2.04±0.001 ⁱ	19.22±0.018 ^d	0.01±0.001 ^e	2.17±0.001 ^d	4.67±0.091 ^h
药桑 6 号	5.63±0.073 ^a	5.54±0.063 ^a	0.36±0.004 ^c	2.08±0.025 ⁱ	14.24±0.060 ^f	0.01±0.001 ^e	1.64±0.008 ^c	6.81±0.037 ^f
平均值	5.44	5.08	0.31	3.62	13.44	0.04	1.75	7.63
标准差	0.41	0.42	0.17	1.79	9.38	0.04	0.87	3.52
变异系数/%	7.46	8.31	55.67	49.53	69.78	100.00	49.80	46.21

注: 不同的小写字母表示为不同品种桑葚同一指标差异显著($P < 0.05$), 下同。

必需氨基酸、总氨基酸含量最高的是药桑 5 号, 分别为 0.443%、1.349%, 粉桑中必需氨基酸、总氨基酸含量相对比较低; 16 种氨基酸中脯氨酸变异系数最高, 说明品种之间存在比较大的差异, 其余 15 种氨基酸差异系数大多在 10%~20%左右, 其品种间的差异相对比较小。吕银等^[30]测定了四川省 5 个品种桑葚的氨基酸含量, 5 个品种桑葚含有 17 种氨基酸, 其氨基酸总量在 0.808%~1.433%之间, 与本研究结果无明显差异。

2.1.3 不同品种桑葚矿物元素含量分析

新疆不同品种桑葚中的 11 种主要矿物元素含量测定结果(表 3)表明, 新疆不同品种桑葚的矿物元素含量存在显著差异($P < 0.05$), 桑葚中钾、钙、镁、铁、磷含量较高, 变异系数分别为 15.59%、18.82%、28.53%、40.94%、21.26%, 品种间存在明显差异。钾、钙、锰、锶元素含量最高的都是黑桑 1 号; 钠、镁、磷含量最高的是黑桑 2 号, KOYUNCU 等^[31]发现黑桑中磷、钾、钙和锰含量较高, 与本研究结果一致。铁元素含量最高的是药桑 4 号, 含量为 55.55 mg/kg, 明显高于其他品种; 各品种桑葚中锌、铜、硼元素含量相对较少, 且含量差异不明显。从矿物元素总量来看, 黑桑的矿物元素普遍高于药桑、白桑、粉桑, 总含量最高的是黑桑 1 号, 为 5860.29 mg/kg, 桑葚中矿物元素总量排序为黑桑 1 号>黑桑 2 号>白桑 2 号>药桑 1 号>药桑 3 号>药桑 2 号>药桑 5 号>白桑 1 号>药桑 6 号>药桑 4 号>粉桑。

2.2 不同品种桑葚活性成分分析

2.2.1 不同品种桑葚总酚、黄酮含量比较

由图 1 可知, 药桑和黑桑的总酚和黄酮含量明显高于白桑和粉桑, 各桑葚品种间总酚、黄酮存在较大差异, 变异系数分别为 42.19%、61.70%。桑葚的总酚含量为

1.83~9.17 mg/g 之间, 其中药桑 3 号总酚含量最高(9.17 mg/g), 白桑 1 号含量最低(1.83 mg/g)。黄酮含量黑桑要高于药桑, 黑桑 1 号的含量最高(2.86 mg/g), 其次是黑桑 2 号(2.76 mg/g), 白桑 2 号黄酮含量最低(0.29 mg/g)。各品种间除了药桑 1 号和药桑 5 号总酚差异不显著以外, 其他品种桑葚的总酚含量差异显著($P < 0.05$), 黄酮含量除了白桑 1 号和白桑 2 号差异不显著以外, 其他桑葚的黄酮含量差异显著($P < 0.05$)。有关研究表明, 桑葚中的酚类物质具有明显清除自由基、抗动脉硬化、降血脂、防止衰老和肿瘤等功能^[32]。江岩等^[33]测定了药桑和白桑的总酚含量分别为 4.42 mg/g、0.72 mg/g, 药桑和白桑黄酮含量分别为 2.40 mg/g、1.60 mg/g; 张芳等^[34]的结果表明, 桑葚的黄酮含量在 0.40~2.40 mg/g; 王贺等^[35]测定了新疆药桑总黄酮含量为 5.56 mg/g, 黑桑总黄酮含量为 2.12 mg/g, 均与本研究无明显差异。

2.2.2 不同品种桑葚花青素含量比较

花青素又称为花色苷, 其在桑葚中的含量会随品种、季节、气候等不同有明显的差别。花青素也是桑葚中重要的多酚物质, 具有抗氧化、抗癌、抗炎症、抗过敏等活性, 广泛应用于高血糖、炎症、过敏、高尿酸等多种疾病的治疗中^[36]。由图 2 可知, 相比较其他桑葚而言, 黑桑和药桑的花青素含量相对较高, 药桑 1 号含量最高的为 2.59 mg/g, 白桑花青素含量最低。花青素的变异系数为 55.19%, 品种间存在较大差异。实验结果表明, 深色桑葚中花青素含量要高于浅色桑葚, 这与 SONG 等^[37]的报道一致, 此文献还提出不同品种的桑葚花青素含量差异很大, 不仅受品种的影响, 还受到其生长环境的影响; 刘承阳等^[38]在对新疆桑葚营养品质评价中, 以 7 个桑葚品种为材料, 测定了桑葚的花青素含量为 0.14~3.47 mg/g, 与本研究无明显差异。

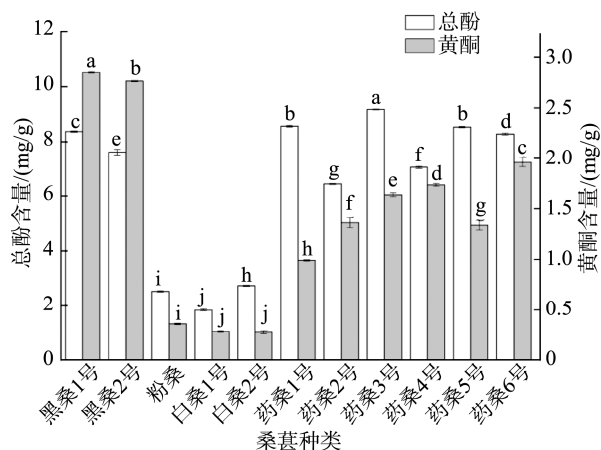
表 2 不同品种桑葚氨基酸含量分析(%)
Table 2 Analysis of the amino acid content of *Fructus Mori*. in different varieties (%)

Table with 13 columns: 氨基酸 (Amino acid), 黑桑 1 号, 黑桑 2 号, 粉桑, 白桑 1 号, 白桑 2 号, 药桑 1 号, 药桑 2 号, 药桑 3 号, 药桑 4 号, 药桑 5 号, 药桑 6 号, 平均值 (Average), 标准差 (Standard deviation), 变异系数 (Coefficient of variation). Rows include 天门冬氨酸, 苏氨酸, 丝氨酸, 谷氨酸, 甘氨酸, 丙氨酸, 缬氨酸, 蛋氨酸, 异亮氨酸, 亮氨酸, 酪氨酸, 苯丙氨酸, 组氨酸, 赖氨酸, 精氨酸, 脯氨酸, 必需氨基酸, 总氨基酸.

注: *代表必需氨基酸。

表 3 不同品种桑葚矿物元素分析
Table 3 Mineral element analysis of different varieties

Table with 13 columns: 元素 (Element), 黑桑 1 号, 黑桑 2 号, 粉桑, 白桑 1 号, 白桑 2 号, 药桑 1 号, 药桑 2 号, 药桑 3 号, 药桑 4 号, 药桑 5 号, 药桑 6 号, 平均值 (Average), 标准差 (Standard deviation), 变异系数 (Coefficient of variation). Rows include 钾, 钙, 钠, 镁, 铁, 锌, 铜, 硼, 锰, 磷, 总, 矿物元素总量.



注:相同小写字母表示组内差异性不显著($P>0.05$),不同小写字母表示组内差异性显著($P<0.05$),下同。

图1 不同品种桑葚总酚、黄酮含量

Fig.1 Total phenols and flavonoid content in different varieties of *Fructus Mori*.

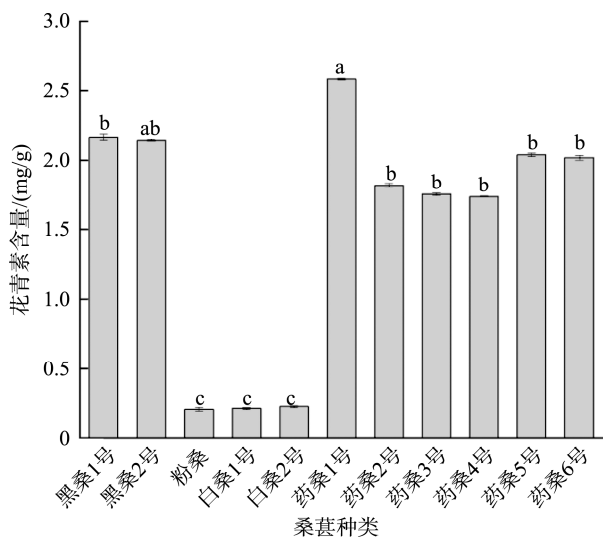


图2 不同品种桑葚花青素含量

Fig.2 Anthocyanin content in different varieties of *Fructus Mori*.

2.3 不同品种桑葚抗氧化能力分析

通过 ABTS 阳离子自由基和 DPPH 自由基清除能力对桑葚果实的抗氧化能力进行评估。如图 3 所示, ABTS 阳离子自由基清除能力除了黑桑 2 号、粉桑之间以及药桑 3 号、药桑 4 号、药桑 6 号之间无明显差异,其他品种桑葚 ABTS 阳离子自由基清除能力差异显著($P<0.05$); DPPH 自由基清除能力除了黑桑 1 号、黑桑 2 号,药桑 2 号、药桑 4 号以及药桑 5 号、药桑 6 号外,其他品种桑葚 DPPH 自由基清除能力差异显著($P<0.05$)。11 种桑葚的 ABTS 阳离子自由基清除能力在 1.64~4.30 mmol/L Trolox,药桑的 ABTS 阳离子自由基清除能力普遍要高于其他品种的桑葚,药桑 2 号 ABTS 阳离子自由基清除能力最强,为 4.27 mmol/L Trolox; DPPH 自由基清除能力最强的是药桑和黑桑,其中药桑 1 号和黑桑 2 号的 DPPH 自由基清除能力最强,均为 4.18 mmol/L Trolox,

白桑的 ABTS 自由基阳离子、DPPH 自由基清除能力相对比较弱。抗氧化能力的测定因其方法不同而有所差异,两种方法所测定的抗氧化能力最高的都是药桑,含量最低的都是白桑,ABTS 方法测得的抗氧化能力粉桑要高于黑桑 1 号,而用 DPPH 法测得的黑桑 1 号要高于粉桑,其他品种桑葚两种方法测得的抗氧化能力差异不明显,因此两种方法测定的抗氧化能力原理不同,且桑葚品种间含有抗氧化物质的差异显著,因此不同方法测得的抗氧化能力有差异性。王坤华等^[39]的研究结果表明,桑葚的 ABTS 阳离子自由基清除能力为 2.70~6.10 mmol/L Trolox;刘晴晴等^[40]比较紫色桑葚和白色桑葚样品中抗氧化能力,发现两种桑葚抗氧化能力存在明显差异,紫色桑葚的抗氧化能力明显高于白色桑葚的抗氧化能力,均与本研究无明显差异。

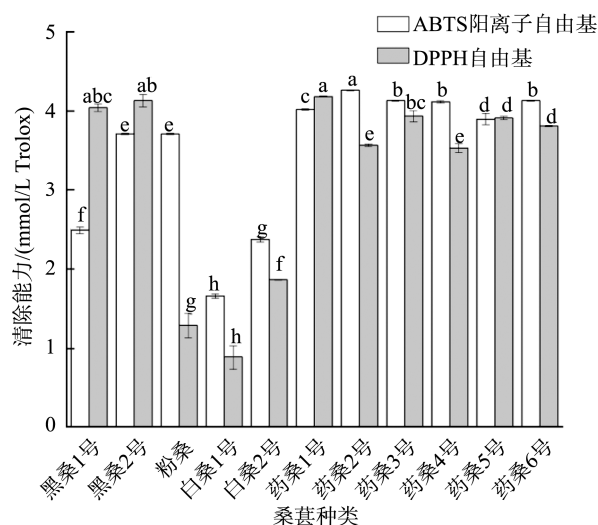


图3 不同品种桑葚抗氧化活性

Fig.3 Antioxidant activities in different varieties of *Fructus Mori*.

2.4 不同品种桑葚主成分分析

2.4.1 桑葚营养品质主成分分析

以 15 项桑葚品质指标为基础,通过主成分分析法对 11 种桑葚进行综合评价。根据主成分分析方法,对其特征值大于 1 的主成分进行提取,从表 4 可以看出,特征值大于 1 的有 3 个,它们的累计方差贡献率达 85.432%,说明这 3 主成分可以代表全部指标的 85.432%,15 项品质指标的大部分信息可以反映出来,可以作为 11 种桑葚评价的综合指标,因此,把前 3 个主成分确定为综合指标的主成分因子。

从表 4、表 5 中可以看出,第 1 主成分的特征值为 7.964,方差贡献率是 53.092%,主要代表的指标是花青素、DPPH 自由基清除能力、黄酮、总酚等,这些指标主要反映了果实的活性成分;第 2 主成分的特征值为 3.501,方差贡献率是 23.338%,主要代表的指标是总酸、柠檬酸、酒石酸、糖酸比等,这些指标主要反映了果实的酸度;第 3 主成分的特征值为 1.350,方差贡献率是 9.001%,主要代表的指标是苹果酸、富马酸、果糖、ABTS 阳离子自由基清除能力等,这些指标主要反映了糖酸风味以及抗氧化能力。

表 4 主成分的特征值、贡献率和累积贡献率
Table 4 Characteristic values, contribution rates and cumulative contribution rates of principal components

主成分	初始特征值			旋转载荷平方和		
	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	7.964	53.092	53.092	5.509	36.728	36.728
2	3.501	23.338	76.431	4.359	29.061	65.789
3	1.350	9.001	85.432	2.946	19.642	85.432
4	0.848	5.655	91.087			
5	0.721	4.804	95.890			
6	0.198	1.322	97.212			
7	0.163	1.085	98.297			
8	0.104	0.691	98.988			
9	0.088	0.590	99.577			
10	0.032	0.213	99.790			
11	0.022	0.145	99.934			
12	0.005	0.034	99.968			
13	0.002	0.016	99.985			
14	0.002	0.014	99.999			
15	0.000	0.001	100.000			

表 5 旋转后的主成分荷载矩阵
Table 5 Principal component load matrix after rotation

品质指标	成分		
	1	2	3
酒石酸	-0.281	0.867	-0.327
苹果酸	-0.148	-0.235	0.890
柠檬酸	0.354	0.868	-0.273
富马酸	-0.272	-0.558	0.678
果糖	0.689	0.124	0.558
葡萄糖	0.751	0.398	0.129
总酸	0.317	0.920	-0.019
糖酸比	-0.452	-0.824	0.269
黄酮	0.913	-0.139	-0.128
总酚	0.806	0.444	-0.308
花青素	0.878	0.279	-0.310
ABTS 阳离子自 由基清除能力	0.246	0.555	-0.714
DPPH 自由基 清除能力	0.851	0.393	-0.271
氨基酸总量	0.487	0.180	-0.172
矿物元素总量	0.769	-0.019	0.541

2.4.2 桑葚营养品质综合分析

各品质指标均采用标准化处理后的数据, 由表 6 可知; 利用表 7 主成分得分系数矩阵得到成分因子得分模型为:

$$F1 = -0.179 \times \text{酒石酸} - 0.039 \times \text{苹果酸} - 0.031 \times \text{柠檬酸} - 0.013 \times \text{富马酸} + 0.121 \times \text{果糖} + 0.115 \times \text{葡萄糖} - 0.058 + 0.001 \times \text{糖酸比} + 0.243 \times \text{总酸} + 0.295 \times \text{黄酮} + 0.140 \times \text{总酚} + 0.181 \times \text{花青素} + 0.008 \times \text{ABTS 阳离子自由基清除能力} + 0.156 \times \text{DPPH 自由基清除能力} + 0.097 \times \text{氨基酸总量} + 0.162 \times \text{矿物元素总量}$$

$$F2 = 0.323 \times \text{酒石酸} + 0.143 \times \text{苹果酸} + 0.244 \times \text{柠檬酸} - 0.026 \times \text{富马酸} + 0.089 \times \text{果糖} + 0.089 \times \text{葡萄糖} + 0.335 \times \text{总酸} - 0.213 \times \text{糖酸比} - 0.223 \times \text{黄酮} - 0.008 \times \text{总酚} - 0.088 \times \text{花青素} + 0.020 \times \text{ABTS 阳离子自由基清除能力} - 0.026 \times \text{DPPH 自由基清除能力} - 0.038 \times \text{氨基酸总量} + 0.014 \times \text{矿物元素总量}$$

$$F3 = 0.064 \times \text{酒石酸} + 0.389 \times \text{苹果酸} + 0.064 \times \text{柠檬酸} + 0.209 \times \text{富马酸} + 0.277 \times \text{果糖} + 0.130 \times \text{葡萄糖} + 0.205 \times \text{总酸} - 0.051 \times \text{糖酸比} - 0.137 \times \text{黄酮} - 0.078 \times \text{总酚} - 0.122 \times \text{花青素} - 0.227 \times \text{ABTS 阳离子自由基清除能力} - 0.073 \times \text{DPPH 自由基清除能力} - 0.061 \times \text{氨基酸总量} + 0.230 \times \text{矿物元素总量}$$

表 6 15 项品质指标的标准化数据

Table 6 Standardized data for the 15 quality indicators

品质指标	黑桑 1 号	黑桑 2 号	粉桑	白桑 1 号	白桑 2 号	药桑 1 号	药桑 2 号	药桑 3 号	药桑 4 号	药桑 5 号	药桑 6 号
酒石酸	-1.483	-1.529	0.304	-1.323	-0.030	0.523	0.459	1.431	0.402	0.899	0.347
苹果酸	0.463	0.703	-0.618	1.134	2.059	-0.706	-0.739	0.282	-1.033	-0.891	-0.786
柠檬酸	-0.594	-0.601	-1.002	-1.167	-1.267	1.191	0.791	1.712	0.285	0.478	0.174
富马酸	1.298	0.871	0.005	1.246	1.436	-0.733	-0.812	-0.810	-0.812	-0.886	-0.803
果糖	0.688	0.870	-2.494	0.732	-0.147	-0.395	0.567	0.825	-0.416	-0.677	0.447
葡萄糖	-0.098	0.351	-2.516	-0.003	-0.907	-0.212	0.842	0.784	0.525	-0.205	1.014
总酸	-0.491	-0.527	-1.365	-1.152	-0.272	1.425	0.783	1.766	-0.358	0.487	-0.297
糖酸比	0.410	0.328	1.305	1.898	0.553	-1.098	-0.805	-1.198	-1.198	-0.800	-0.221
黄酮	1.681	1.438	-1.222	-1.225	-1.234	-0.360	0.035	0.372	0.117	-0.137	0.534
总酚	0.561	0.489	-1.436	-1.660	-1.365	0.683	-0.095	1.043	0.282	0.726	0.772

表 6(续)

品质指标	黑桑 1 号	黑桑 2 号	粉桑	白桑 1 号	白桑 2 号	药桑 1 号	药桑 2 号	药桑 3 号	药桑 4 号	药桑 5 号	药桑 6 号
花青素	0.834	1.015	-1.455	-1.452	-1.558	1.005	0.295	0.190	0.163	0.497	0.467
ABTS 阳离子自由基清除能力	-1.005	0.274	0.274	-2.084	-1.336	0.916	0.537	0.821	0.495	0.398	0.711
DPPH 自由基清除能力	0.689	0.763	-1.556	-1.890	-1.084	0.802	0.306	0.607	0.280	0.582	0.501
氨基酸总量	-0.436	0.241	-1.668	0.047	-0.595	1.394	-0.710	-0.818	-0.033	1.581	0.998
矿物元素总量	1.634	1.197	-2.201	-0.381	0.353	0.461	-0.090	0.212	-0.496	-0.221	-0.468

以各成分对应的方差贡献率作为权重, 根据 3 个主成分的贡献率和主成分得分, 得到主成分的综合得分模型为:

$$F_{\text{综}}=0.531 \times F_1+0.233 \times F_2+0.090 \times F_3$$

从表 8 可以看出, 11 种桑葚综合得分顺序为: 药桑 3 号>黑桑 2 号>黑桑 1 号>药桑 1 号>药桑 2 号>药桑 6 号>药桑 5 号>药桑 4 号>白桑 2 号>白桑 1 号>粉桑。

表 7 主成分得分系数矩阵

Table 7 Principal component score coefficients matrix

品质指标	成分		
	1	2	3
酒石酸	-0.179	0.323	0.064
苹果酸	-0.039	0.143	0.389
柠檬酸	-0.031	0.244	0.064
富马酸	-0.013	-0.026	0.209
果糖	0.121	0.089	0.277
葡萄糖	0.115	0.089	0.130
总酸	-0.058	0.335	0.205
糖酸比	0.001	-0.213	-0.051
黄酮	0.243	-0.223	-0.137
总酚	0.140	-0.008	-0.078
花青素	0.181	-0.088	-0.122
ABTS 阳离子自由基清除能力	0.008	0.020	-0.227
DPPH 自由基清除能力	0.156	-0.026	-0.073
总氨基酸	0.097	-0.038	-0.061
矿物元素	0.162	0.014	0.230

表 8 11 种桑葚品种的综合得分

Table 8 Comprehensive scores in 11 varieties of *Fructus Mori*.

品种	F1	F2	F3	F 综	排名
黑桑 1 号	1.31	-1.24	0.70	0.68	3
粉桑	1.37	-1.12	0.35	0.04	11
白桑 1 号	-2.07	-0.90	-1.47	0.35	10
黑桑 2 号	-0.81	-0.91	1.54	0.69	2
白桑 2 号	-1.14	0.08	1.89	0.39	9
药桑 1 号	0.36	1.01	-0.43	0.66	4
药桑 2 号	0.06	0.83	-0.06	0.62	5
药桑 3 号	0.10	1.89	0.61	0.73	1
药桑 4 号	0.06	0.03	-0.91	0.51	8
药桑 5 号	0.11	0.51	-0.84	0.56	7
药桑 6 号	0.59	-0.04	-0.79	0.61	6

2.5 桑葚营养品质聚类分析

由图 4 可知, 当欧氏距离为 8 时, 11 种桑葚分为 3 类, 第一类为: 黑桑 1 号、黑桑 2 号、粉桑、白桑 1 号、白桑 2 号; 第二类为: 药桑 1 号、药桑 3 号; 第三类为: 药桑 2 号、药桑 4 号、药桑 5 号、药桑 6 号。

当欧氏距离为 5 时, 11 种桑葚分为 4 类, 第一类为: 黑桑 1 号、黑桑 2 号; 第二类为粉桑、白桑 1 号、白桑 2 号; 第三类为: 药桑 1 号、药桑 3 号; 第四类为: 药桑 2 号、药桑 4 号、药桑 5 号、药桑 6 号。其中第一类的 2 种桑葚矿物元素总量高于其他品种, 黄酮含量也相对较高, 糖酸含量适中; 第二类的 3 种桑葚的酸度相对较低, 糖含量相对比较高, 糖酸比显著高于其他品种($P<0.05$), 说明这类桑葚风味品质比较好, 但其活性成分相对较低。第三类的 2 种桑葚总酚、氨基酸、花青素、抗氧化能力相对较高, 但其糖酸比显著低于其他品种的桑葚($P<0.05$), 所以这类桑葚在风味品质上相对比较差。

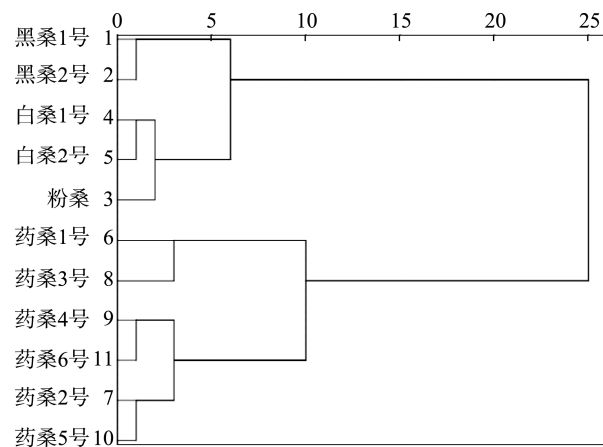


图 4 11 个桑葚品种的聚类分析

Fig 4 Cluster analysis of 11 varieties of *Fructus Mori*.

3 结 论

桑葚品质的好坏直接影响市场竞争力的强弱, 品质评价是桑葚选育的重要依据。本研究主要利用主成分分析和聚类分析对新疆地区 11 种桑葚营养指标进行综合评价, 不同

品种桑葚的营养指标存在明显差异($P<0.05$), 仅根据单一指标很难对不同品种的桑葚进行评价, 通过主成分降维, 对 15 个营养指标简化为 3 个主成分, 并根据方差贡献率, 确保 3 个主成分保留原有信息的 85.432%。根据聚类分析 11 种桑葚可以被分为 4 类, 第一类为: 黑桑 1 号、黑桑 2 号; 第二类为粉桑、白桑 1 号、白桑 2 号; 第三类为: 药桑 1 号、药桑 3 号; 第四类为: 药桑 2 号、药桑 4 号、药桑 5 号、药桑 6 号。第二类的 3 种桑葚综合排名最低, 第一类和第四类的 6 种桑葚综合排名处于中等水平, 第三类的药桑 1 号综合排名最高, 表明聚类分析和主成分分析结果基本一致。

结果表明, 药桑 3 号综合得分最高(0.73), 说明其综合品质最优, 但糖酸比含量较低, 在风味上口感比较差, 比较适合作为保健品开发的果桑品种; 粉桑和白桑综合得分比较低, 营养价值不如黑桑和药桑, 但口感比较好, 比较适合制作桑葚干、桑葚酒或作为鲜食品种; 黑桑在营养品质和风味上都处于中等水平, 这类桑葚营养价值相对较高, 而且口感比较适中, 既可以制作桑葚酒、桑葚干也可以作为保健品开发的果桑品种。

综合来看, 根据对新疆不同品种桑葚营养品质的测定, 发现不同品种的桑葚在大多数指标上存在显著差异($P<0.05$), 通过品种之间营养指标的差异, 可以用来开发研究不同的加工产品, 为一些功能性产品的开发提供了理论基础, 为新疆桑葚的推广和选育也提供了一定的理论依据。

参考文献

- [1] 吴祖芳, 翁佩芳. 桑椹的营养组分与功能特性分析[J]. 中国食品学报, 2005, (3): 109-114.
WU ZF, WENG PF. Analysis of nutritional composition and functional characteristics of mulberry [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2005, (3): 109-114.
- [2] ROHELA GK, MUTTANNA PS, KUMAR R, et al. Mulberry (*Morus* spp.): An ideal plant for sustainable development [J]. Trees Forests People, 2020, (2): 100011.
- [3] LIU L, PAN YL. Current situation and prospect of mulberry resources research and utilization [J]. Plant Genet Resour-C, 2021, (2): 61-65.
- [4] 杜元明, 宋喜云. 玫瑰茄桑椹复合饮料的研制[J]. 中国食物与营养, 2009, (4): 39-41.
DU YM, SONG XY. Development of rose tomato mulberry compound drink [J]. Food Nutr Res, 2009, (4): 39-41.
- [5] 梁贵秋, 吴婧婧, 沈蔚, 等. 桑椹鲜果的营养分析与评价[J]. 现代农业科技, 2011, (16): 320-321, 325.
LIANG GQ, WU JJ, SHEN W, et al. Nutritional analysis and evaluation of mulberry fresh fruit [J]. Mod Agric Sci Technol, 2011, (16): 320-321, 325.
- [6] 汪荷澄, 蒲云峰, 侯旭杰, 等. 新疆不同桑葚品种营养品质分析[J]. 农产品加工, 2021, (4): 54-56.
WANG HC, PU YF, HOU XJ, et al. Nutritional quality analysis of different mulberry cultivars in Xinjiang [J]. Farm Prod Process, 2021, (4): 54-56.
- [7] 石胜友, 武红霞, 王松标, 等. 杧果种质果实品质性状多样性分析[J]. 园艺学报, 2011, 38(5): 840-848.
SHI SY, WU HX, WANG SB, et al. Analysis of diversity of quality traits in the germplasm of *Cymbopogina* [J]. Chin J Hort, 2011, 38(5): 840-848.
- [8] 李林林, 黄敏升, 崔国贤, 等. 苕麻种质资源农艺性状主成分及聚类分析[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(3): 4-41.
LI LL, HUANG MS, CUI GX, et al. Principal components and clustering analysis of agronomic traits of ramie germplasm resources [J]. J Agric Sci Technol, 2019, 21(3): 4-41.
- [9] 王建芳, 高山, 牟德华. 基于主成分分析和聚类分析的不同品种燕麦品质评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 85-91.
WANG JF, GAO S, MOU DH. Quality evaluation of oats of different cultivars based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(13): 85-91.
- [10] 王丹, 梁锦, 黄天姿, 等. 基于主成分和聚类分析的不同品种猕猴桃鲜食品质评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 1-8.
WANG D, LIANG J, HUANG TZ, et al. Quality evaluation of fresh food of different varieties of kiwifruit based on principal component and cluster analysis [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(7): 1-8.
- [11] 武琳霞, 李玲, 张国光, 等. 基于主成分分析及聚类分析的不同产地冬枣品质特性分析[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 334-338.
WU LX, LI L, ZHANG GG, et al. Quality characteristics of winter jujube from different origins based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Food Sci, 2022, 43(8): 334-338.
- [12] 刘佳梦, 林丽静, 刘义军, 等. 基于主成分分析的不同品种龙眼干品质综合评价[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(5): 127-133.
LIU JM, LIN LJ, LIU YJ, et al. Comprehensive evaluation of dry quality of different varieties of longan based on principal component analysis [J]. Storage Process, 2021, 21(5): 127-133.
- [13] 史卫东, 罗海玲, 康红卫, 等. 基于主成分分析与聚类分析的菜心品种评价[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(24): 46-49, 52.
SHI WD, LUO HL, KANG HW, et al. Evaluation of cabbage varieties based on principal component analysis and cluster analysis [J]. J Anhui Agric Sci, 2020, 48(24): 46-49, 52.
- [14] 高艳娜, 牛华琳, 李营, 等. 基于主成分分析和聚类分析对不同番茄品种的综合评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(12): 106-113.
GAO YN, NIU HL, LI Y, et al. Comprehensive evaluation of different tomato varieties based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Jiangsu Agric Sci, 2023, 51(12): 106-113.
- [15] 温锦丽, 曹炜玉, 王月, 等. 基于主成分分析与聚类分析的软枣猕猴桃果实品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2023, 45(1): 247.
WEN JL, CAO WY, WANG Y, et al. Comprehensive evaluation of fruit quality of soft jujube kiwifruit based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Sci Technol Food Ind, 2023, 45(1): 247.
- [16] 李靖, 李晓凤, 刘乙甫, 等. 四川不同品种桑葚品质比较[J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 56-63.
LI J, LI XF, LIU YF, et al. Comparison of the quality of different varieties of mulberry in Sichuan [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(10): 56-63.
- [17] 黄新球, 杨文, 杨娟, 等. 云南省主要果用桑葚的营养品质及理化特性[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(21): 181-187.
HUANG XQ, YANG W, YANG J, et al. Nutritional quality and physicochemical characteristics of major fruiting mulberries in Yunnan Province [J]. Jiangsu Agric Sci, 2021, 49(21): 181-187.
- [18] 蒲云峰, 丁甜, 钟建军, 等. 新疆 12 种干果的营养品质及抗氧化分析[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 287-294.
PU YF, DING T, ZHONG JJ, et al. Nutritional quality and antioxidant analysis of 12 dried fruits in Xinjiang [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2019, 19(5): 287-294.
- [19] 马倩倩, 吴翠云, 蒲小秋, 等. 高效液相色谱法同时测定枣果实中的有机酸和 VC 含量[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 149-153.
MA QQ, WU CY, PU XQ, et al. Simultaneous determination of organic

- acids and VC content in jujube fruit by high performance liquid chromatography [J]. Food Sci, 2016, 37(14): 149–153.
- [20] 毛雪, 刘玉梅. 葡萄枝蔓中原花色素的不同分析方法比较及含量分析[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 169–175.
- MAO X, LIU YM. Comparison of different analysis methods and content analysis of proanthocyanidins in vines [J]. Food Sci, 2016, 37(12): 169–175.
- [21] 王鑫, 姜喜, 于军, 等. ‘绿宝石’梨果实发育期酚类物质的动态变化及其抗氧化活性[J]. 塔里木大学学报, 2021, 33(2): 25–31.
- WANG X, JIANG X, YU J, *et al.* Dynamic changes of phenolic substances and antioxidant activity during the development of ‘emerald’ pear fruit [J]. Acta Agric Univ Tarim, 2021, 33(2): 25–31.
- [22] BONILLA EP, AKOH CC, SELLAPPAN S, *et al.* Pehnolic content and antioxidant capacity of Muscadine grapes [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(18): 5497–5503.
- [23] LARRAURI JA, SANCHEZMORENO AC, SAURACALIXTO F, *et al.* Effect of temperature on the free radical scavenging capacity of extracts from red and white grape pomace peels [J]. J Agric Food Chem, 1998, 46(7): 694–2697.
- [24] FARAHANI M, SALEHI-ARJMAND H, KHADIVI A, *et al.* Chemical characterization and antioxidant activities of *Morus alba* var. *nigra* fruits [Z]. 2019.
- [25] HU ZQ, WANG HC, HU GB, *et al.* Measurement of sugars, organic acids and vitamin C in litchi fruit by high performance liquid chromatography [J]. J Fruit Sci, 2005, 93(4): 89–93.
- [26] HUANG Y, LI W, ZHAO L, *et al.* Melon fruit sugar and amino acid contents are affected by fruit setting method under protected cultivation [J]. Sci Hortic, 2017, 214: 288–294.
- [27] 李升锋, 张友胜, 池建伟, 等. 不同品种桑椹糖酸组分分析[J]. 农产品加工(学刊), 2011, (7): 108–111.
- LI SF, ZHANG YS, CHI JW, *et al.* Analysis of glycolic acid components of different mulberry cultivars [J]. Farm Prod Process, 2011, (7): 108–111.
- [28] 庞纪伟, 帅良, 殷非隼, 等. 32个龙眼品种果实有机酸组分及含量特征分析[J]. 中国果树, 2023, (10): 66–72.
- PANG JW, SHUAI L, YIN FL, *et al.* Characterization of organic acids in fruits of 32 longan varieties [J]. China Fruits, 2023, (10): 66–72.
- [29] 窦子微, 杨璐, 程平, 等. 不同品种桑葚营养品质分析及综合评价[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(1): 127–139.
- DOU ZW, YANG L, CHENG P, *et al.* Nutritional quality analysis and comprehensive evaluation of different varieties of mulberry [J]. Xinjiang Agric Sci, 2023, 60(1): 127–139.
- [30] 吕银, 陈祥平, 范小敏, 等. 几个果桑新品种的桑椹营养组分及含量分析[J]. 蚕业科学, 2015, 41(6): 1132–1136.
- LV Y, CHEN XP, FAN XM, *et al.* Nutritional composition and content analysis of several new cultivars of mulberry [J]. Acta Sericol Sin, 2015, 41(6): 1132–1136.
- [31] KOYUNCU F, ÇETINBAŞ M, İBRAHİM E. Nutritional constituents of wild-grown black mulberry (*Morus nigra* L.) [J]. J Appl Bot Food Qual, 2014, 87(14): 93–96.
- [32] 李巨秀, 王柏玉. 福林—酚比色法测定桑椹中总多酚[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 292–295.
- LI JX, WANG BY. Determination of total polyphenols in mulberry by Fulin-phenol colorimetric method [J]. Food Sci, 2009, 30(18): 292–295.
- [33] 江岩, 聂文静. 新疆药桑椹营养成分分析及其体外抗氧化作用[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 126–129.
- JIANG Y, NIE WJ. Analysis of nutrient composition of Xinjiang medicinal mulberry and its antioxidant effect *in vitro* [J]. Food Sci, 2014, 35(22): 126–129.
- [34] 张芳, 王晓红, 罗泽虎, 等. 贵州省野生桑果实品质指标的主成分和聚类分析[J]. 果树学报, 2022, 39(4): 593–601.
- ZHANG F, WANG XH, LUO ZH, *et al.* Principal components and cluster analysis of wild mulberry fruit quality indicators in Guizhou Province [J]. J Fruit Sci, 2022, 39(4): 593–601.
- [35] 王贺, 韩爱芝, 贾清华, 等. 新疆药桑和黑桑营养成分及活性成分分析[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 91–96.
- WANG H, HAN AIZ, JIA QH, *et al.* Analysis of nutritional components and active ingredients of Xinjiang medicinal mulberry and black mulberry [J]. Food Sci, 2016, 37(8): 91–96.
- [36] 刘鹤, 孙杰, 费晓伟, 等. 原花青素生理功效和分析研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(12): 211–217.
- LIU H, SUN J, FEI XW, *et al.* Research progress on physiological efficacy and analysis of proanthocyanidins [J]. Food Res Dev, 2023, 44(12): 211–217.
- [37] SONG W, WAND HJ, BUCHELI P, *et al.* Phytochemical profiles of different mulberry (*Morus* sp.) species from China [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57: 9133–9140.
- [38] 刘承阳, 王丽玲, 刘燕林, 等. 新疆 7 种桑葚理化品质的比较分析[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(21): 162–169.
- LIU CY, WANG LL, LIU YL, *et al.* Comparative analysis of physical and chemical quality of seven mulberry species in Xinjiang [J]. Food Res Dev, 2022, 43(21): 162–169.
- [39] 王坤华, 徐怀德. 不同成熟度桑葚品质特性及抗氧化能力研究[C]. 中国食品科学技术学会第十七届年会, 中国陕西西安, 2020.
- WANG KH, XU HD. Study on quality characteristics and antioxidant capacity of mulberries with different maturity levels [C]. The 17th Annual Conference of Chinese Society of Food Science and Technology, Xi’an, Shaanxi, China, 2020.
- [40] 刘晴晴, 李勇, 张明霞, 等. 紫色桑葚和白色桑葚总酚含量、抗氧化能力及代谢指纹图谱差异分析[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(3): 813–820.
- LIU QQ, LI Y, ZHANG MX, *et al.* Differential analysis of total phenolic content, antioxidant capacity and metabolic fingerprints of purple and white mulberry [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2022, 38(3): 813–820.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介



田琳, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品质量安全与营养品质评价。
E-mail: 17863979632@163.com

焦子伟, 博士, 教授, 主要研究方向为微生物生态及绿色有机农业有害生物防控。
E-mail: jiaiziwei123@163.com

王成, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品质量安全与营养品质评价。
E-mail: wangchengxj321@sina.com