

不同品种桑葚营养品质分析及综合评价

窦子微¹, 杨璐², 程平², 张志刚², 李宏²

(1. 新疆农业大学林学与风景园林学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆林果树种选育与栽培重点实验室/新疆林木资源与利用
国家林业和草原局重点实验室, 乌鲁木齐 830052)

摘要:【目的】分析不同品种桑葚的营养成分差异、组成特征, 综合评价其品质, 筛选出适合在新疆推广的优势品种, 为果桑资源的品种优化、新品种培育及多元利用提供参考。【方法】以新疆6个农家品种和2个引进品种为材料, 分别测定33个品质指标, 运用相关性分析、聚类分析、主成分分析、正交偏最小二乘-判别分析法判别桑葚营养品质差异性和关键性特征指标, 根据综合评价得分筛选出品质最优的品种。【结果】不同桑葚间的基础营养成分具有一定的差异性和较强相关性, 且存在不同程度的变异; 桑葚中均含有较高的芦丁和绿原酸, 其中药桑和台湾黑桑的总酚酸含量较高; 在8种桑葚中均检出了17个单一氨基酸, Asp、Glu变化最为剧烈且平均含量较高; TAA含量最高为黑桑, NEAAs是桑葚氨基酸的主要组分, 其次是MAAs, 最低为CEAAs。不同品种桑葚分为4个类群, OPLS-DA分析筛选得到11个差异性品质指标。主成分分析提取了前5个主成分, 构建综合评价数学模型: $D_{\text{总}} = 0.4748F_1 + 0.2197F_2 + 0.1426F_3 + 0.0972F_4 + 0.0658F_5$ 。【结论】桑葚最终综合评价得分排名前三分别为黑桑、黑珍珠和台湾黑桑, 可作为适合在新疆推广的优势果桑品种。

关键词: 桑葚; 营养品质; 正交偏最小二乘-判别分析法; 综合评价; 优良品质筛选

中图分类号: S663.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-4330(2023)01-0127-13

0 引言

【研究意义】桑葚为桑科(Moraceae), 桑属(*Morus* L.), 桑种(*Morus alba* L.)的成熟果穗^[1-2]。桑葚果肉中含有VC、蛋白质、花青素、有机酸、氨基酸类成分^[3-5]。桑葚还含有丰富的生物活性物质, 如酚类、生物碱类、黄酮类、白藜芦醇等^[6-7]。不同品种桑葚外观特性与内在成分存在显著的差异性, 进行客观的果实品质评判, 使其能够稳定、高效、高值的生产利用, 需要构建一个全面、准确的桑葚品质评价体系, 筛选出不同用途和适宜推广的品种。桑果营养品质好坏决定了其在实际生产中的价值, 通过多元统计对桑果营养品质进行准确、高效的综合分析, 是评价和筛选树种的重要手段。以新疆不同桑葚品种为研究对

象, 分别测定多个营养品质指标, 围绕不同品种的营养成分差异、组成特征以及建立综合评价体系等方面展开分析, 对筛选出适合在新疆推广的优势品种和果桑资源良种选育及综合利用有重要意义, 对进一步研究贮藏保鲜、生理调控以及全基因组关联分析也具有重要的意义。【前人研究进展】目前在新疆桑树自然分布区内, 桑种质资源分属2个种、1个变种, 分别是白桑(*M. alba* L.)、黑桑(*M. nigra* L.)和鞑靼桑(*M. alba* var. *tatarica* M. A. Bieb.)^[8], 除栽培地方种之外, 引进品种有5801、7681、大十、桂花蜜、日本富士红、嘉陵9号、澳玉、白玉王等^[9-10]。对果实营养品质综合评价方法主要有综合指数选择法、因子分析法、层次分析法、隶属函数法和灰色系统分析法等^[11-14], 除应用于桑葚外, 在苹果^[15]、葡萄^[11]、冬枣^[16]、香

收稿日期(Received): 2022-04-17

基金项目: 自治区林草局林草科技专项“新疆果桑优良品种选育和综合利用研究”(LgXY202108)

作者简介: 窦子微(1995-), 女, 新疆沙湾人, 硕士研究生, 研究方向为森林培育, (E-mail) dou.z.w@qq.com

通信作者: 李宏(1962-), 男, 新疆伊宁人, 研究员, 博士, 博士生导师, 研究方向为森林培育, (E-mail) hong1962@126.com

蕉^[17]也较为普遍。【本研究切入点】关于桑葚营养品质综合评价及优良品种筛选已有较多的报道,但存在样本量较少、种源不够丰富以及只涉及少数指标等问题,使得分析结果具有一定局限性。目前有关桑葚营养品质分析和评价的文献研究相对较多,而对于新疆农家品种桑葚的研究更少,多数集中于基础营养成分分析,并且选择的原始指标也不够全面。需研究新疆不同品种桑葚营养品质分析及综合评价。【拟解决的关键问题】选取新疆 6 个农家品种和 2 个引进品种为材料,测定 7 个基础营养成分、9 种酚酸类化合物和 17 种氨基酸含量,共 33 个指标为基础,利用方差分析、相关性分析以分析果桑品质特性,聚类分析结合正交偏最小二乘-判别分析法筛选具有差异性特征指标,运用主成分分析进行综合评价,通过综合得分排名选出品质最优的果桑品种,构建桑葚营养品质综合评价体系,为桑果的生产加工、新品种选育提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 桑葚品种

供试 8 个品种,分别为新疆农家种黑桑、粉桑、白桑、药桑、仟格俚桑、黑珍珠,引进桑种有山西黑桑和台湾黑桑,采自吐鲁番、阿克苏和田地区。选择树势强、无病害的成年果树,从东、南、西、北 4 个方向,于枝条中段采摘成熟度一致的成熟鲜果,共 1.5 kg,用保鲜盒分装后,装入有冰盒的泡沫箱内带回实验室尽快测定,可放入 -20℃ 冰箱备用。

1.1.2 试剂与仪器

试剂:甲醇和乙腈(质谱级,美国霍尼韦尔公司)、甲酸(色谱级)、无水乙醇(优级纯)、盐酸(优级纯,浓度 $\geq 36\%$)、苯酚(优级纯, C_6H_5OH)、柠檬酸钠(优级纯, $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$)、氢氧化钠(优级纯, $NaOH$)、茚三酮显色液、亚硝酸钠、福林酚、实验用水为实验室自制。

标准品:阿魏酸(L1010025)、芦丁(G165751)、绿原酸(V4390025)、槲皮素(Y4180050)、儿茶素(U7420050)、表儿茶素(V4440050)、芥子酸(1-NSM-168-1)、咖啡酸(16680025)、没食子酸(G145533);混合氨基酸标

准溶液($2.5 \mu L/mol/mL = 2.5 \text{ nmol}/\mu L = 50 \text{ nmol}/20 \mu L$,ESP6332)。

仪器:TQ-MS(Wasters)、ACUQLTY UPLC(Wasters)、Mili-Q 实验制水机(迷立博公司)、KQ-300DE 超声仪(昆山公司)、XJLK-SB-016 涡旋混合仪(IKA 公司)、负压真空抽滤仪(Wasters)、LA8080 氨基酸分析仪(日立公司)、48 孔位多样品平行蒸发仪(步琦公司)、UV2600 紫外分光光度计(岛津公司)、K9860 凯氏定氮仪(海能公司)、LC-125 制冰机(乐创公司)、Multifuge XIR 低温高速离心机(Thenmo Fisher)、F6020C-33-80 马弗炉(Thenmo Fisher)、DHG-9240A 电热鼓风干燥箱(上海恒一)。

1.2 方 法

水分测定参照 GB 5009.3-2016 的直接干燥法,设置桑葚烘干温度为 60°C ^[18];灰分测定按 GB 5009.4-2016 总灰分^[19];总酸测定参照标准 GB/T 12456-2021 食品中总酸的测定方法,以酒石酸表示^[20];总黄酮测定参照硝酸铝比色法,以芦丁为标准物建立标准曲线^[21];总酚含量的测定参照 Folin-Ciocalteus 法,以没食子酸为标准品^[22];蛋白质测定参照标准 GB 5009.5-2016 方法略有改进^[23];原花青素测定参照 DB 12/T 885-2019 标准并加以修改^[24]。9 种酚酸类化合物测定参考马帅^[25]方法并加以改进,以外标法计算各酚酸类化合物的含量。氨基酸测定参照标准 GB 5009.124-2016 食品中氨基酸的酸水解法并加以改进^[26],测定 17 种氨基酸,以外标法计算各氨基酸的含量。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2020 进行数据整理统计,Origin 2021 进行热图聚类分析、相关性分析并绘制图表,SPSS 26.0 进行单因素方差分析、主成分分析,SIMCA 14.1 软件利用有监督模式识别正交偏最小二乘法(Orthogonal Partial Least Squares Discriminant Analysis,OPLS-DA)分析,筛选差异性特征指标以及进行综合评价。结果用均值 $\pm$ 标准差(Mean $\pm$ SD)表示,3 个重复;相关分析、系统聚类 and 主成分分析时,先对所有数据做标准化处理后再分析。

2 结果与分析

2.1 不同桑葚品种基础营养成分组成与相对含量比较

研究表明,不同品种桑葚间基础营养成分差异均较为显著($P < 0.05$)。药桑总酸含量最高 43.13 g/kg,显著高于其他品种($P < 0.05$),白桑总酸含量最低仅为 4.37 g/kg,符合实际食用时的直观口感,而粉桑、仟格佰桑和山西黑桑品种间无明显差异($P > 0.05$);各桑果的水分含量均值 83.79 g/100g、灰分 1.40 g/100g、蛋白质 1.83 g/100g;药桑、台湾黑桑和黑珍珠的总酚含量大于 2.3 mg/100g,显著性高于白桑、黑桑和粉桑($P < 0.05$);总黄酮含量最高为台湾黑桑,达 148.59 mg/g,约是粉桑的 10 倍,显著高于其他品种($P < 0.05$);黑桑、药桑颜色较深,花青素含量均有检出,其中药桑含量最高达 359.74 mg/100g,颜色较浅的白桑、粉桑则未检测到,紫桑检出的含量也极低为 0.30 mg/100g。各品种营养成分之间存在不同程度的变异,总酸和花青素变异系数较大,分别是 138.39%、130.55%,存在较大变异程度;水分变异程度最小,低于 5%,不同品种间水分含量变异较为稳定;总酚含量最低,但品种间也有一

定程度的差异,其他指标的变异系数均较大,选择的品种间差异较大。水分相对含量最高 83.2% ~ 94.9%,其次是总黄酮 1.2% ~ 14.6%、总酸 0.49% ~ 4.5%,而总酚相对含量极低为 0.000 45% ~ 0.002 9%,灰分、花青素和蛋白质相对含量在 0.006% ~ 3.1%。图 1、表 1

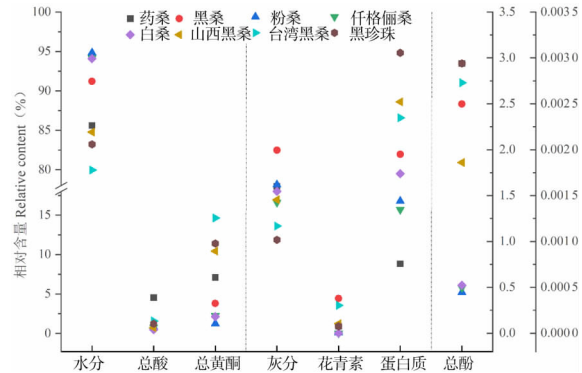


图 1 不同品种桑葚基础营养成分组成与相对含量比较 (g/100g)

Fig. 1 Comparison of basic nutritional composition and relative content of different mulberry varieties (g/100g)

表 1 不同品种桑葚基础营养成分含量变化

Table 1 Analysis on the content of basic nutrients in different varieties of mulberry							
品种 Variety	水分 Moisture content (g/100g)	灰分 Ash content (g/100g)	总酸 Total acid (g/kg)	总酚 Total phenols (mg/100g)	蛋白质 Protein (g/100g)	总黄酮 Total flavonoids (mg/g)	花青素 Anthocyanin (mg/100g)
药桑 Medicinal mulberry	81.29 ± 0.95 ^b	1.52 ± 0.12 ^b	43.13 ± 0.73 ^a	2.37 ± 0.14 ^{ab}	0.72 ± 0.05 ^e	67.52 ± 3.41 ^c	359.74 ± 23.17 ^a
黑桑 Black mulberry	90.34 ± 0.51 ^a	1.98 ± 0.17 ^a	10.23 ± 0.33 ^d	0.44 ± 0.03 ^c	1.93 ± 0.04 ^d	37.62 ± 2.79 ^d	5.67 ± 0.39 ^e
粉桑 Pink mulberry	80.10 ± 2.19 ^b	1.37 ± 0.12 ^{bc}	7.13 ± 0.61 ^e	0.42 ± 0.05 ^c	1.22 ± 0.08 ^f	10.49 ± 1.15 ^f	ND
仟格佰桑 Qiangge Lisang	82.10 ± 2.57 ^b	1.24 ± 0.04 ^{cd}	6.96 ± 0.12 ^e	0.57 ± 0.06 ^c	1.17 ± 0.06 ^f	19.69 ± 2.95 ^e	0.30 ± 0.00 ^e
白桑 White mulberry	83.75 ± 1.32 ^b	1.38 ± 0.06 ^{bc}	4.37 ± 0.27 ^f	0.47 ± 0.04 ^c	1.55 ± 0.14 ^e	18.90 ± 1.79 ^e	ND
山西黑桑 Shanxi black mulberry	90.24 ± 0.47 ^a	1.55 ± 0.11 ^b	7.62 ± 0.75 ^e	1.98 ± 0.43 ^b	2.68 ± 0.13 ^b	111.02 ± 5.39 ^b	111.22 ± 3.25 ^c
台湾黑桑 Taiwan black mulberry	81.18 ± 0.33 ^b	1.19 ± 0.05 ^d	16.03 ± 0.68 ^b	2.78 ± 0.52 ^a	2.38 ± 0.06 ^c	148.59 ± 7.95 ^a	307.61 ± 16.85 ^b
黑珍珠 Black pearl	81.33 ± 0.42 ^b	0.99 ± 0.09 ^e	12.01 ± 1.07 ^c	2.87 ± 0.76 ^a	2.99 ± 0.09 ^a	111.34 ± 2.73 ^b	73.67 ± 4.34 ^d
Mean	83.79 ± 4.12	1.40 ± 0.29	13.43 ± 11.98	1.49 ± 1.11	1.83 ± 0.77	65.68 ± 51.23	107.28 ± 140.05
CV(%)	4.91	20.95	138.39	74.6	42.06	76.32	130.55

注:同列不同小写字母表示不同品种间差异在 $P < 0.05$ 水平显著;ND 表示未检出
Note: Different small letters in the same column indicate significant differences among different cultivars at $P < 0.05$

2.2 不同桑葚品种中酚酸类化合物含量及分布

研究表明,桑葚中均存在且含量较高的酚酸有芦丁和绿原酸,芦丁含量最高均值为 82 250.00 ng/g,绿原酸均值 4 151.21 ng/g,其中白桑只含有这 2 种酚酸,分别为 681.67、1 234.63 ng/g;表儿茶素和儿茶素只在药桑中存在,分别为 417.41、190.59 ng/g;阿魏酸含量最大为黑珍珠 291.14 ng/g,最小为粉桑 57.89 ng/g;槲皮素除粉桑和白桑外其余桑葚中都存在,台湾黑桑含量最大为 1 110.14 ng/g,最小为黑珍珠 137.99 ng/g;而没食子酸只在仞格俚桑和台湾黑桑中存在,分别为 216.75、289.46 ng/g;芥子酸多分布于黑色桑果中,咖啡酸除黑色桑果外还存在于仞格俚桑中。不同桑果中酚酸总量从大到小依次为药桑、台湾黑色、山西黑桑、仞格俚桑、粉桑、白桑、黑桑、黑珍珠。图 2、图 3

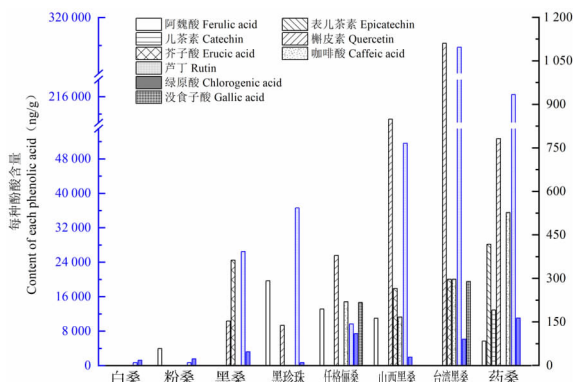


图 2 不同品种桑葚中酚酸类化合物含量及分布

Fig. 2 Content and distribution of phenolic acids in different varieties of mulberry

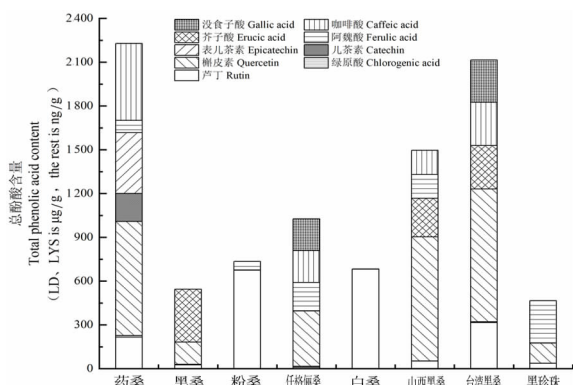
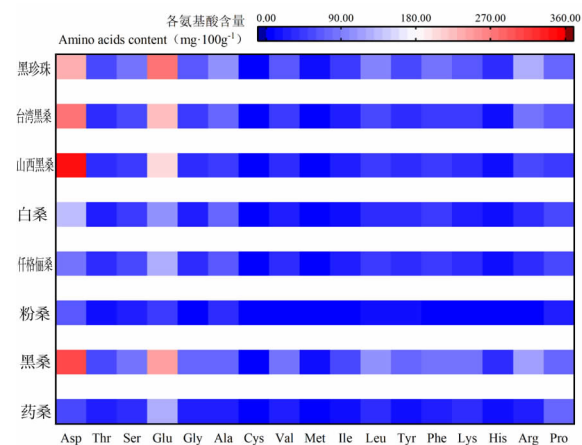


图 3 不同类型酚酸类化合物在各桑葚中含量及分布

Fig. 3 Content and distribution of different types of phenolic acids in mulberry

2.3 氨基酸组成及含量分析

研究表明,各桑葚中均检出 17 种氨基酸,其中 Asp 和 Glu 在不同桑果之间变化最为剧烈且平均含量较高,变幅为 347.82 ~ 54.6 mg/100g、278.04 ~ 42.74 mg/100g; Cys 和 Met 含量最稳定且平均含量较低,变幅为 1.41 ~ 5.07 mg/100g、1.16 ~ 12.10 mg/100g;对 8 种桑葚进行比较,黑珍珠、台湾黑桑、山西黑桑和黑桑中单一氨基酸含量变化大,其余品种变化小,最大为山西黑桑 7.81 ~ 347.82 mg/100g,最小为粉桑 1.44 ~ 67.91 mg/100g;黑珍珠、台湾黑桑和黑桑 3 种桑葚中单一氨基酸含量均大于 70 mg/100g 的有 Asp、Glu、Ala 和 Arg;药桑、粉桑、和白桑均小于 30 mg/100g 的有 Thr、Gly、Cys、Val、Met、Ile 和 His。图 4



注: Asp: 天门冬氨酸; Thr: 苏氨酸; Ser: 丝氨酸; Glu: 谷氨酸; Gly: 甘氨酸; Ala: 丙氨酸; Cys: 半胱氨酸; Val: 缬氨酸; Met: 蛋氨酸; Ile: 异亮氨酸; Leu: 亮氨酸; Tyr: 酪氨酸; Phe: 苯丙氨酸; Lys: 赖氨酸; His: 组氨酸; Arg: 精氨酸; Pro: 脯氨酸; 图上色块越红表示含量越高,反之蓝色越深则越少,下同

Note: Asp: aspartic acid; Thr: threonine; Ser: serine; Glu: glutamic acid; Gly: glycine; Ala: alanine; Cys: cysteine; Val: valine; Met: methionine; Ile: isoleucine; Leu: leucine; Tyr: tyrosine; Phe: phenylalanine; Lys: lysine; His: histidine; Arg: arginine; Pro: proline; The redder the color block, the higher the content, Conversely the darker the blue, the less, the same as below

图 4 不同品种桑葚的 17 种单一氨基酸含量热图

Fig. 4 Heat map of 17 single amino acids in different varieties of mulberry

总氨基酸含量为 289.41 ~ 1567.88 mg/100g, 均值 938.65 mg/100g, 依次为黑桑 > 黑珍珠 > 台湾黑桑 > 山西黑桑 > 白桑 > 仞格俚桑 > 药桑 > 粉桑; NEAAs 均值占 TAAs 的 73.21%, MAAs 则占 66.34%, 黑桑和黑珍珠中这两类氨基酸含量均显著高于其他品种 ($P < 0.05$); CEAA 含量最高为

黑珍珠 158.02 mg/100g, 占该品种 TAA 的 10.54%;BCAAs 和 AAAs 两者相互作用,起到合成与分解蛋白质作用,含量为 32.00 ~ 240.66、17.60 ~ 158.71 mg/100g,药桑和白桑,仟格俚桑、白桑和山西黑桑,两两之间差异不显著 ($P > 0.05$);MAAs 能够维持机体氮平衡,含量在 169.47 ~ 1 100.18 mg/100g,M/T 大于 70% 的有黑桑、山西黑桑和台湾黑桑;FCAAs 与果实香味和着色机制密切相关,均值为 384.76 mg/100g,占 TAA 的 39.78%,最低为粉桑 90.91 mg/100g,次低是白桑 242.09 mg/100g。各品种间各氨基酸组分存在不同程度的变异,CEAAs 变异系数最大为 67.25%,存在较大变异程度;NEAAs 变异系数最小 45.08%,不同品种间 NEAAs 变异较为稳定,其他类别氨基酸在 45.86% ~ 55.21%,选择的品种间存在一定的差异性。表 2

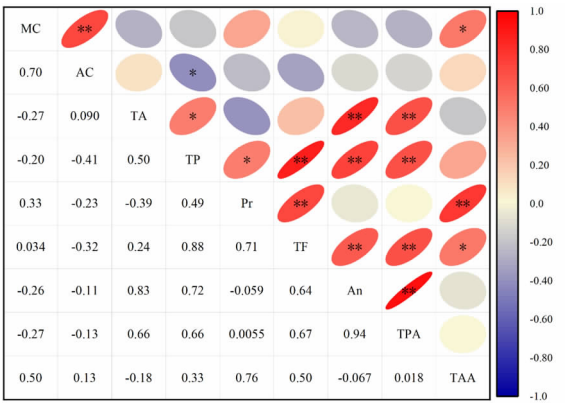
2.4 不同桑葚品种营养品种指标相关性

研究表明,各指标间存在不同程度的相关性,呈显著相关有 16 组,极显著的有 11 组。

水分与灰分、总氨基酸呈显著相关,与其他指标间均无显著相关性;总酸与水分、蛋白质、总氨基酸呈负相关,与花青素和总酚为极显著正相关;除水分和总氨基酸外,总酚与其他指标均显著相关,其中与总黄酮、花青素、总酚酸为极显著强正相关;花青素和总黄酮分别与总酚酸、总酚呈极显著相关性;总酚酸与水分、灰分为负相关,与其他指标均呈强正相关性,其中与总酸、总酚、总黄酮和花青素呈极显著相关;总氨基酸与多数指标间呈现不同程度的弱相关。图 5

2.5 不同桑葚品种单一氨基酸含量变化

研究表明,在类间距 257.63 附近,将 8 个桑葚品种分为 4 类,其中药桑单独为一类,山西黑桑、台湾黑桑为第二类,粉桑、仟格俚桑和白桑为第三类,黑桑、黑珍珠为第四类。第一类主要特征为 KFC、BECS、ECS、TA 含量最高且均高于其他类别;第二类桑葚与大部分单一氨基酸呈弱负相关,与 TP、Pr、TF、HPS、JZS 呈正相关性;第三类又可以分为 2 个亚类,粉桑为一个亚类,仟格俚桑和白桑为另一个亚类,其特点为各项指标表现均较差,营养价值较低;第四类特征在于与其他类别相比单一氨基酸含量较高。图 6

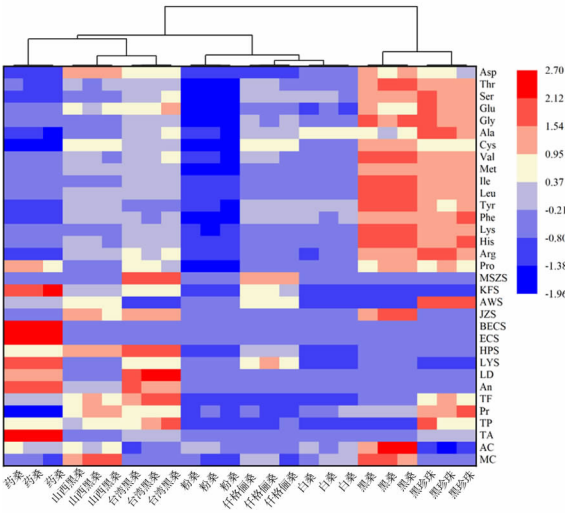


注:“*”: $P < 0.05$;“**”: $P < 0.01$;MC:水分;AC:灰分;TA:总酸;TP:总酚;Pr:蛋白质;TF:总黄酮;An:花青素;TPA:总酚酸;TAA:总氨基酸;图中红色为正相关,蓝色为负相关,椭圆偏圆表示无显著相关性($P > 0.05$),偏窄表示显著相关($0.01 < P < 0.05$),偏细为极显著相关($P < 0.01$),下同

Note: “*”: $P < 0.05$; “**”: $P < 0.01$; MC: moisture content; AC: ash content; TA: total acid; TP: total phenolics; Pr: protein; TF: total flavonoids; An: anthocyanins; TPA: total phenolic acids; TAA: total amino acids; Red is positive correlation, Blue is negative correlation, Elliptical deviation indicates no significant correlation ($P > 0.05$), Narrow indicates significant correlation ($0.01 < P < 0.05$), Relatively fine is extremely significant ($P < 0.01$), the same as below

图 5 不同品种桑葚的 9 个营养品质指标相关性热图

Fig. 5 Correlation heat map of 9 nutritional quality indexes of different mulberry varieties



注:MSZS:没食子酸;KFS:咖啡酸;AWS:阿魏酸;JZS:芥子酸;BECS:表儿茶素;ECS:儿茶素;HPS:槲皮素;LYS:绿原酸;LD:芦丁,下同

Note: MSZS: Gallic acid; KFS: caffeic acid; AWS: ferulic acid; JZS: erucic acid; BECS: epicatechin; ECS: catechin; HPS: quercetin; LYS: chlorogenic acid; LD: rutin, the same as below

图 6 不同品种桑葚的 17 种单一氨基酸含量热图

Fig. 6 Heat map of 17 single amino acids in different varieties of mulberry

表 2 8 种桑葚中各功能氨基酸和总氨基酸的含量
Table 2 Content analysis of functional amino acids and total amino acids in 8 species of mulberry (mg/100g)

项目 Item	药桑 Medicinal mulberry	黑桑 Black mulberry	粉桑 Pink mulberry	仡格仡桑 Qiangge Lisang	白桑 White mulberry	山西黑桑 Shanxi black mulberry	台湾黑桑 Taiwan black mulberry	黑珍珠 Black pearl	Mean	CV(%)
EAAAs	158.98 ± 4.61 ^f	480.58 ± 9.62 ^a	61.34 ± 3.40 ^e	218.60 ± 3.96 ^d	184.26 ± 2.12 ^e	227.80 ± 3.57 ^d	248.77 ± 16.84 ^e	431.03 ± 7.56 ^b	251.42 ± 133.15	52.96
NEAAAs	380.54 ± 12.15 ^d	1087.31 ± 87.77 ^a	228.07 ± 30.77 ^e	494.83 ± 22.20 ^c	535.63 ± 19.97 ^e	838.41 ± 6.19 ^b	865.22 ± 45.89 ^b	1067.85 ± 74.67 ^a	687.23 ± 309.83	45.08
CEAAAs	34.73 ± 0.62 ^d	153.93 ± 4.84 ^a	13.57 ± 1.95 ^e	46.56 ± 1.00 ^d	44.00 ± 11.28 ^d	74.76 ± 1.59 ^e	98.76 ± 12.24 ^b	158.02 ± 14.04 ^a	78.04 ± 52.48	67.25
BCAAAs	77.44 ± 2.85 ^e	240.66 ± 5.27 ^a	32.00 ± 2.14 ^f	101.00 ± 1.54 ^d	80.46 ± 1.43 ^e	108.20 ± 1.28 ^d	123.10 ± 9.20 ^e	211.60 ± 7.07 ^b	121.81 ± 67.25	55.21
AAAAs	38.20 ± 1.07 ^e	158.71 ± 0.75 ^a	17.60 ± 1.97 ^f	83.26 ± 2.39 ^e	82.32 ± 0.62 ^e	84.56 ± 2.79 ^e	73.38 ± 2.47 ^d	144.94 ± 5.28 ^b	85.37 ± 45.60	53.41
MAAAs	330.61 ± 8.78 ^d	1100.18 ± 85.90 ^a	169.47 ± 23.25 ^e	440.92 ± 21.23 ^c	451.10 ± 21.98 ^e	814.36 ± 3.83 ^b	796.72 ± 51.78 ^b	1024.45 ± 66.21 ^a	640.97 ± 326.57	50.95
FCAAAs	247.74 ± 7.25 ^d	676.18 ± 48.75 ^a	90.91 ± 5.62 ^e	287.86 ± 11.54 ^d	242.09 ± 24.94 ^d	400.17 ± 8.60 ^e	464.52 ± 42.86 ^b	668.56 ± 44.35 ^a	384.76 ± 201.62	52.40
ABAAAs	146.65 ± 3.61 ^d	331.44 ± 37.74 ^b	50.28 ± 3.18 ^e	168.67 ± 8.08 ^d	151.41 ± 12.31 ^d	246.06 ± 6.51 ^e	266.17 ± 20.54 ^e	364.94 ± 18.21 ^a	215.70 ± 101.67	47.13
PAAAs	272.30 ± 9.86 ^e	696.45 ± 73.81 ^a	148.17 ± 19.48 ^d	291.59 ± 17.88 ^e	321.88 ± 13.51 ^e	630.55 ± 3.07 ^b	602.60 ± 35.01 ^b	656.12 ± 50.75 ^{ab}	452.46 ± 207.49	45.86
TAAAs	539.52 ± 16.42 ^d	1567.88 ± 95.70 ^a	289.41 ± 33.89 ^e	713.43 ± 24.23 ^c	719.88 ± 21.57 ^e	1066.21 ± 5.45 ^b	1113.99 ± 62.60 ^b	1498.88 ± 81.86 ^a	938.65 ± 452.96	48.26
CE/T	6.44	9.82	4.69	6.53	6.11	7.01	8.87	10.54	7.50	26.93
M/T	61.28	70.17	58.56	61.80	62.66	76.38	71.52	68.35	66.34	9.30
FC/T	45.92	43.13	31.41	40.35	33.63	37.53	41.70	44.60	39.78	13.07
AB/T	27.18	21.14	17.37	23.64	21.03	23.08	23.89	24.35	22.71	12.77
PA/T	50.47	44.42	51.20	40.87	44.71	59.14	54.09	43.77	48.58	12.72

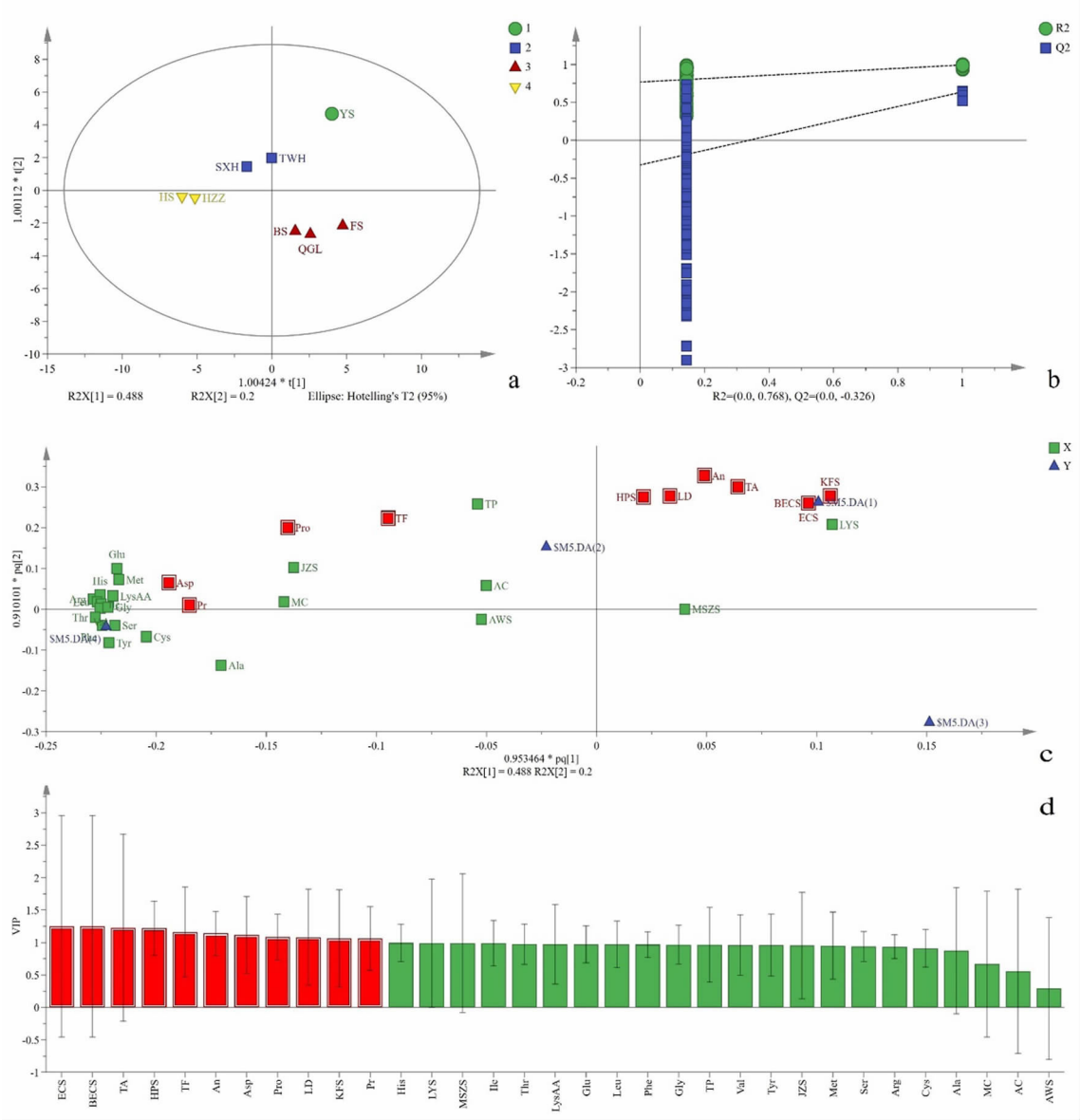
注: 同行不同小写字母表示不同品种间差异在 $P < 0.05$ 水平显著; EAAAs: 必需氨基酸, 包括 Thr, Val, Met, Ile, Leu, Phe, Lys, Trp; NEAAAs: 非必需氨基酸, 包括 Asp, Ser, Glu, Pro, Gly, Ala, Cys, Tyr, His, Arg; CEAAAs: 儿童必需氨基酸, 包括 His, Arg; MAAs: 药用氨基酸, 包括 Asp, Glu, Gly, Met, Leu, Phe, Tyr, Lys, Arg; BCAAAs: 支链氨基酸, 包括 Ile, Leu, Val; AAAs: 芳香族氨基酸, 包括 Phe, Tyr, Trp; FCAAAs: 增香与着色氨基酸, 包括 Glu, Cys, Val, Leu, Lys, His, Arg; ABAAAs: 抗菌氨基酸, 包括 Phe, Trp, Gly, PAAAs: 伯胺氨基酸, 包括 Asp, Glu, Pro, Gly, Ala, Lys, Arg; TAAAs: 总氨基酸, 下同

Note: different lowercase letters in the same line indicate significant differences among different varieties at $P < 0.05$ level. EAAAs: essential amino acid, including Thr, Val, Met, Ile, Leu, Phe, Lys, Trp; NEAAAs: non-essential amino acid, including Asp, Ser, Glu, Pro, Gly, Ala, Cys, Tyr, His, Arg; CEAAAs: essential amino acids for children, including His, Arg; MAAs: medicinal amino acid, including Asp, Glu, Gly, Met, Leu, Phe, Tyr, Lys, Arg; BCAAAs: branched chain amino acid, including Ile, Leu, Val; AAAs: aromatic amino acids, including Phe, Tyr, Trp; FCAAAs: flavoring and coloring amino acids, including Glu, Cys, Val, Leu, Lys, His, Arg; ABAAAs: antibacterial amino acid, including Phe, Trp, Gly; PAAAs: primary amino acid, including Asp, Glu, Pro, Gly, Ala, Lys, Arg; TAAAs: total amino acid, the same as below

2.6 不同桑葚品种营养品质

研究表明,3 组桑果能被明显区分,且各组内点紧密聚集,无离群样本点;其中, $R^2(X) = 0.876$, $R^2(Y) = 0.970$, $Q^2 = 0.716$,置换检验 $Q^2 = -0.326$,模型较稳定可靠,能解释 97.0% 的原始数据,预测能力强,距离原点越远且离密集区较远,则该指标的作用越大;图上方形为每一品质指标 X (33 个),三角形为每一类群 Y (4 组),每一类

群 Y 周围指标 X 表示在该类群的样品中值较高;根据值大于 1 原则(值越大,变量在桑果间差异越显著),筛选得到 11 个差异性品质指标品,依次为 ECS、BECS、TA、HPS、TF、An、Asp、Pro、LD、KFS、Pr;上述指标均位于距密集区较远的位置,其中 ECS、BECS、KFS 在第 1 类中较高,Asp、Pr 在第 4 类中较高。图 7



注:a:得分图;b:置换检验图;c:载荷图;d:变量重要性(VIP 值)得分图;红色为远离密集区的点和 VIP 值大于 1 的指标
Note: a: score chart; b: displacement test chart; c: load chart; d: variable importance (VIP value) score chart; red is the point far away from the dense area and the index of VIP value greater than 1

图 7 不同桑果营养品质的 OPLS-DA
Fig. 7 OPLS-DA analysis of nutritional quality of different mulberry fruits

表3 不同品种桑葚的旋转因子载荷矩阵、特征值及方差贡献率

Table 3 Analysis of rotation factor load matrix, eigenvalue and variance contribution rate of different mulberry varieties

指标 Index	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
MC	0.38	-0.23	0.11	0.76	-0.33
AC	0.15	0.16	-0.28	0.90	-0.26
TA	-0.05	0.98	0.13	-0.05	-0.08
TP	0.22	0.40	0.80	-0.37	-0.01
Pr	0.52	-0.48	0.68	-0.10	-0.13
TF	0.28	0.14	0.93	-0.11	0.13
An	-0.10	0.78	0.57	-0.01	0.20
LD	-0.04	0.61	0.58	0.05	0.47
LYSPA	-0.13	0.85	-0.06	0.06	0.42
HPS	-0.11	0.45	0.75	0.22	0.36
ECS	-0.19	0.96	-0.05	-0.03	-0.21
BECS	-0.19	0.96	-0.05	-0.03	-0.21
JZS	0.40	-0.13	0.44	0.76	0.20
AWS	0.23	-0.09	0.17	-0.66	-0.30
KFS	-0.25	0.85	0.28	0.03	0.27
MSZS	-0.02	-0.01	0.22	-0.09	0.96
Pro	0.79	0.57	0.17	0.00	0.05
Arg	0.92	-0.17	0.29	0.01	-0.01
His	0.98	-0.02	0.09	0.05	-0.15
Lys	0.98	0.00	0.03	0.17	-0.03
Phe	0.97	-0.20	0.04	-0.04	-0.08
Tyr	0.91	-0.32	-0.08	0.18	-0.08
Leu	0.98	-0.07	0.09	0.08	-0.07
Ile	0.98	-0.06	0.04	0.06	-0.11
Met	0.96	0.05	0.24	0.06	0.00
Val	0.98	-0.09	0.05	0.12	0.00
Cys	0.79	-0.40	0.15	0.23	0.12
Ala	0.76	-0.42	0.01	-0.39	0.14
Gly	0.99	-0.07	0.06	0.03	0.00
Glu	0.87	-0.04	0.49	0.02	0.00
Ser	0.96	-0.21	0.07	-0.05	0.09
Thr	0.99	-0.15	0.04	0.05	-0.05
Asp	0.55	-0.35	0.63	0.41	-0.08
Ev	15.08	6.98	4.53	3.09	2.09
CR(%)	45.70	21.15	13.72	9.36	6.33
CCR(%)	45.70	66.85	80.57	89.93	96.26

注:Ev:特征值;CR:贡献率;CCR:累计贡献率

Note: Ev: eigenvalue; CR: contribution rate; CCR: cumulative contribution rate

表4 不同品种桑葚营养品质主成分得分系数矩阵

Table 4 Principal component score coefficient matrix of nutritional quality of different mulberry varieties

性状 Character	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
MC	-0.019	-0.024	0.074	0.240	-0.167
AC	0.005	0.056	-0.062	0.289	-0.092
TA	0.026	0.162	-0.005	-0.019	-0.092
TPh	-0.013	0.031	0.208	-0.125	-0.129
TPr	-0.026	-0.099	0.220	-0.043	-0.137
TF	-0.029	-0.023	0.242	-0.035	-0.056
An	-0.010	0.091	0.109	0.006	0.006
LD	-0.002	0.056	0.078	0.030	0.170
LYSPA	0.045	0.134	-0.121	0.027	0.220
HPS	-0.037	0.017	0.164	0.087	0.086
ECS	0.018	0.165	-0.028	-0.011	-0.146
BECS	0.018	0.165	-0.028	-0.011	-0.146
JZS	-0.014	-0.038	0.093	0.250	0.082
AWS	0.010	-0.007	0.079	-0.231	-0.195
KFS	0.004	0.112	0.015	0.021	0.084
MSZS	0.025	-0.041	-0.067	-0.013	0.511
Pro	0.086	0.119	-0.046	-0.022	0.022
Arg	0.055	-0.008	0.035	-0.020	-0.005
His	0.074	0.036	-0.022	-0.014	-0.053
Lys	0.082	0.040	-0.058	0.029	0.025
Phe	0.075	0.007	-0.038	-0.040	-0.004
Tyr	0.068	-0.010	-0.060	0.035	0.018
Leu	0.075	0.026	-0.031	-0.001	-0.009
Ile	0.078	0.032	-0.042	-0.009	-0.023
Met	0.070	0.034	0.001	-0.006	0.006
Val	0.079	0.022	-0.050	0.013	0.038
Cys	0.044	-0.048	-0.004	0.058	0.094
Ala	0.068	-0.043	-0.053	-0.148	0.116
Gly	0.083	0.027	-0.051	-0.018	0.036
Glu	0.041	0.000	0.090	-0.013	-0.030
Ser	0.080	-0.002	-0.050	-0.042	0.088
Thr	0.078	0.015	-0.045	-0.011	0.012
Asp	-0.026	-0.074	0.190	0.128	-0.094

2.7 主成分分析

研究表明,按照特征值大于 1 标准,提取了前 5 个主成分,分别为 15.08、6.98、4.53、3.09 和 2.09,累计贡献率达 96.26%,上述 5 个主成分可反映全部桑果的绝大数特征信息。第 1 主成分中,His、Lys、Phe、Leu、Ile、Met、Val、Gly、Ser 和 Thr 荷载较大,占总体的 45.70%;第 2 主成分以 ECS、BECS 和 TA 指标为主,占总体的 21.15%;TF、TA、MSZS 分别在第 3、4、5 主成分中起主要作用,占总体的 13.72%、9.36%、6.33%。表 3

2.8 综合评价及模型构建

研究表明,建立不同品种桑葚营养品质的综合评价数学模型: $D_{\text{综}} = 0.474\ 8F_1 + 0.219\ 7F_2 + 0.142\ 6F_3 + 0.097\ 2F_4 + 0.065\ 8F_5$, $D_{\text{综}}$ 值越高得

到综合表现越好,依次进行排名。不同品种桑葚通过主成分分析得到综合评价得分排名前三为黑桑、黑珍珠和台湾黑桑。表 4

不同品种桑葚的综合得分 D 值为因变量,33 个品质指标为自变量,运用逐步线性回归方法构建回归模型: $Y = 0.032\ 4\text{Pro} + 0.001\text{JZS} - 1.970$, $R = 0.989$,调整后 $R^2 = 0.970$,可以解释 97.0% 的总变异, F 值 = 115.896, $VIF = 1.108$,模型 Y 可用于对不同品种桑葚营养品质评价。Pro、JZS 原始数据分别代入模型 Y 计算 $Y_{\text{综}}$, $D_{\text{综}}$ 和 $Y_{\text{综}}$ 均呈极显著的正相关, $R = 0.99^{**}$, $P < 0.01$,综合评价模型 $D_{\text{综}}$ 可靠。表 5

表 5 不同品种桑葚营养品质综合评价得分与排名
Table 5 Comprehensive evaluation score and ranking of nutritional quality of different mulberry varieties

品种 Variety	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	$D_{\text{综}}$	排序 Sorting
药桑 Medicinal mulberry	-0.46	2.37	-0.11	-0.07	-0.52	0.24	4
黑桑 Black mulberry	1.56	-0.06	-0.85	1.59	-0.14	0.75	1
粉桑 Pink mulberry	-1.50	-0.70	-0.57	-0.14	-0.44	-0.99	8
仟格俪桑 Qiange Lisang	-0.09	-0.19	-1.01	-0.53	1.23	-0.20	6
白桑 White mulberry	-0.42	-0.63	-0.77	-0.06	-0.15	-0.46	7
山西黑桑 Shanxi black mulberry	-0.42	-0.60	1.46	0.91	-1.02	-0.10	5
台湾黑桑 Taiwan black mulberry	0.00	0.11	1.40	0.13	1.82	0.36	3
黑珍珠 Black pearl	1.33	-0.30	0.46	-1.82	-0.79	0.40	2

3 讨论

果桑果实营养丰富,直接鲜食口感美味,可加工为制品产生经济效益,也可作为原药材使用^[27]。桑葚品质是由外观特性和内在成分决定的,不同品种桑葚纵横径、果色、总酸、有机酸、花青素、总黄酮以及抗氧化酶活性都存在着显著的差异和较强的相关性^[28-30],对果实的鲜食、二次加工及成品均匀性都会产生一定影响^[31-32]。

贾漫丽等^[33]对 9 个品种桑果营养品质测定,桂花的出汁率(76.75%)和含水率(85.11%)最

高,蒙桑总酸含量(21.365 mg/g)、抗坏血酸(89.488 mg/g)含量最高,PCA 分析得蒙桑、白玉王和安堪综合品质最佳,适宜作为深开发的优良果桑品种。汪荷澄等^[34]利用新疆 3 个不同品种桑葚的理化品质,药桑 pH 值、总酸及总酚含量高于黑桑和白桑,总糖含量白桑>黑桑>药桑,黑桑总黄酮含量显著高于药桑和白桑。邓真华等^[35]选取了阿克陶县引种栽植的 5 个桑葚品种测定了 16 种氨基酸,得出各品种的氨基酸含量显著不同,综合评价筛选出氨基酸营养价值高的品种为 8632 和红果 2 号。对新疆 8 个桑葚品种进行测

定 7 个基础营养成分、9 种酚酸类化合物和 17 种单一氨基酸含量,各桑葚间营养品质有一定的差异性且存在不同程度的变异,桑葚中各营养品质间也具有较强的相关性,与上述研究结果一致。与已有研究相比,略有不同之处,新疆桑葚中含有较高的芦丁和绿原酸,均检测出 17 种单一氨基酸,其中 NEAAs 为氨基酸的主要组分,其次是 MAAs,最低为 CEAAAs;造成以上结果的差异,可能是受到不同种源、栽培地气候地理条件、土壤质地等因素的影响,促使桑葚营养品质有所不同。

不同的评价方法能在一定程度上筛选出优良品种,但仅用某一种方法所得结果存在局限性,且每种方法都有其优缺点,建立高效的综合评价体系,全面科学的分析评价果桑品种特性,仍是种质资源研究中的重要内容。李勋兰等^[36]测定 35 份果桑成熟果的 16 项品质指标,筛选出总酸、VC、花色苷含量为核心评价指标,因子分析法结合灰色关联分析法构建桑果品质综合评价体系,得出 A3、A4 和 A5 的综合表型较好。李长城等^[37]以吐鲁番 12 个地方种的桑果为对象,利用隶属函数法得到最优品种是白桑,粉桑在各类指标中均不占优势。张涛等^[38]运用聚类分析对 14 个不同产地澳洲坚果分组,建立和验证 OPLS-DA 判别模型进行筛选差异指标,能够客观判断果实品质的优劣。而采用聚类分析把不同桑葚分为 4 个类群,OPLS-DA 分析筛选得到 11 个差异性品质指标,主成分分析提取了前 5 个主成分,依据综合评价数学模型: $D_{\text{综}} = 0.474 8F_1 + 0.219 7F_2 + 0.142 6F_3 + 0.097 2F_4 + 0.065 8F_5$,得排名前三品种为黑桑、黑珍珠和台湾黑桑。

试验材料来自新疆三个地区的桑树资源,地理来源、样本数量较少,仅选取了部分基础营养指标和活性成分,一些重要形态指标、经济性状、抗氧化能力和 DPPH 清除能力并未进行测定,结果存在一定局限性,缺乏全面系统的研究。后续需要对全疆果桑资源进行调查收集,弄清种质分布现状;除此之外,还要结合桑葚的耐储性、丰产性、加工性等种质特性,构建科学、高效、全面的桑果综合评价体系。

4 结 论

不同品种桑葚间基础营养成分差异较为显著

($P < 0.05$),药桑总酸、花青素含量最高,台湾黑桑的总黄酮含量最高,均显著高于其他品种($P < 0.05$)。桑葚中均存在且含量较高的酚酸有芦丁和绿原酸,酚酸总量排名前三品种为:药桑、台湾黑色、山西黑桑。在桑葚中均能检出 17 种氨基酸,Asp 和 Glu 含量变化剧烈且平均较高;TAAs 含量排名前三为黑桑、黑珍珠、台湾黑桑;NEAAs 为桑葚氨基酸的主要组分,其次是 MAAs,最低为 CEAAAs,但 CEAAAs 变异系数最大为 67.25%,存在较大变异程度。相关性分析表明,桑葚品质指标间存在不同程度的相关性,呈显著相关有 16 组,极显著有 11 组。聚类分析把不同桑果分为 4 个类群,药桑单独为一类,山西黑桑、台湾黑桑为第二类,粉桑、仟格俪桑和白桑为第三类,黑桑、黑珍珠为第四类。筛选出 11 个差异性品质指标,VIP 值从大到小依次为 ECS、BECS、TA、HPS、TF、An、Asp、Pro、LD、KFS、Pr。主成分分析提取了前 5 个主成分,累计贡献率达 96.26%,可代表原有 33 个品质指标的特征信息。根据综合评价数学模型: $D_{\text{综}} = 0.474 8F_1 + 0.219 7F_2 + 0.142 6F_3 + 0.097 2F_4 + 0.065 8F_5$,综合得分排名前三品种是黑桑、黑珍珠和台湾黑桑。

参考文献 (References)

- [1] 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 Xinqiu, YANG Wen, YANG Juan, et al. Nutritional quality and physicochemical properties of main fruit mulberries in Yunnan Province [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(21): 181-187.
- [2] 刘培刚,朱燕,徐璐珊,等. 浙江主栽果桑品种品质性状评价[J]. 蚕桑通报, 2021, 52(4): 4-10.
LIU Peigang, ZHU Yan, XU Lushan, et al. Evaluation of quality characters of main fruit mulberry varieties in Zhejiang [J]. *Sericulture Bulletin*, 2021, 52(4): 4-10.
- [3] Zhang H, Ma Z F, Luo X, et al. Effects of mulberry fruit (*Morus alba* L.) consumption on health outcomes: A mini-review [J]. *Antioxidants*, 2018, (7): 69.
- [4] Jiang Y, Nie W-J. Chemical properties in fruits of mulberry species from the Xinjiang province of china [J]. *Food Chemistry*, 2015, 174: 460-466.
- [5] Singh R, Bagchi A, Semwal A, et al. Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Morus alba* Linn.: A review [J]. *Journal of Medicinal Plant Research*, 2013, (7): 461-469.
- [6] Wen P, Hu T-G, Linhardt R J, et al. Mulberry: A review of bioactive compounds and advanced processing technology [J].

- Trends in Food Science & Technology*, 2019, 83: 138–158.
- [7] Bhattacharjya D, Sadat A, Dam P, et al. Current concepts and prospects of mulberry fruits for nutraceutical and medicinal benefits [J]. *Current Opinion in Food Science*, 2021, 40.
- [8] 新疆植物志编辑委员会. 新疆植物志 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1992.
- Xinjiang Flora Editorial Committee. *Flora of Xinjiang* [M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Health Publishing House, 1992.
- [9] 刘和洋, 伊萨尔古丽·艾合买提, 左少纯, 等. 新疆地区果桑引种试验研究 [J]. 北方蚕业, 2015, 36(3): 24–27.
- LIU Heyang, Isarguri Ahmat, ZUO Shaochun, et al. Experimental study on introduction of Fruit Mulberry in Xinjiang [J]. *Northern Sericulture*, 2015, 36(3): 24–27.
- [10] 刘和洋, 印玉萍, 龚明, 等. 新疆抗逆性桑品种的筛选试验 [J]. 北方蚕业, 2018, 39(1): 23–26.
- LIU Heyang, YIN Yuping, GONG Ming, et al. Screening experiment of stress-resistant mulberry varieties in Xinjiang [J]. *Northern Sericulture*, 2018, 39(1): 23–26.
- [11] 沈甜, 牛锐敏, 黄小晶, 等. 基于层次-关联度和主成分分析的无核鲜食葡萄品质评价 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 53–60, 67.
- SHEN Tian, NIU Ruimin, HUANG Xiaojing, et al. Quality evaluation of seedless table grape based on hierarchy-correlation degree and principal component analysis [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(3): 53–60, 67.
- [12] 李慧, 魏天军. 基于主成分和灰色关联度分析的鲜食枣果实品质评价 [J]. 经济林研究, 2021, 39(1): 60–67.
- LI Hui, WEI Tianjun. Fruit quality evaluation of fresh jujube based on principal component and grey correlation analysis [J]. *Economic Forest Research*, 2021, 39(1): 60–67.
- [13] 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/OL]. 果树学报. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20210367>
- ZHANG Fang, WANG Xiaohong, LUO Zehu, et al. Principal component and cluster analysis of wild mulberry fruit quality index in Guizhou Province [J/OL]. *Journal of Fruit Trees*. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20210367>
- [14] 赵珮, 黄传书, 唐小平, 等. 桑椹品质评价的主要指标及模型研究 [J]. 蚕业科学, 2020, 46(3): 295–305.
- ZHAO Pei, HUANG Chuanshu, TANG Xiaoping, et al. Study on the main index and model of mulberry quality evaluation [J]. *Sericulture Science*, 2020, 46(3): 295–305.
- [15] 李芳红, 张晓煜, 冯蕊, 等. 陕甘宁地区红富士苹果品质评价 [J]. 北方园艺, 2021, (19): 29–36.
- LI Fanghong, ZHANG Xiaoyu, FENG Rui, et al. Quality Evaluation of Red Fuji Apple in Shaanxi-Gansu-Ningxia area [J]. *Northern Horticulture*, 2021, (19): 29–36.
- [16] 李明玥, 石国朝, 朱家瑞, 等. 冬枣果实品质综合评价 [J]. 经济林研究, 2021, 39(4): 256–263.
- LI Mingyue, SHI Guochao, ZHU Jiarui, et al. Comprehensive evaluation of fruit quality of winter jujube [J]. *Economic Forest Research*, 2021, 39(4): 256–263.
- [17] 王天果, 胡会刚, 孙德权, 等. 5 个新品系香蕉的果实品质分析及模糊综合评判 [J]. 热带作物学报, 2022, 43(2): 271–276.
- WANG Tianguo, HU Huigang, SUN Dequan, et al. Fruit quality analysis and fuzzy comprehensive evaluation of five new banana strains [J]. *Journal of Tropical Crops*, 2022, 43(2): 271–276.
- [18] GB 5009.3–2016. 食品安全国家标准食品中水分的测定 [S].
- GB 5009.3–2016. *determination of moisture in national standard food* [S].
- [19] GB 5009.4–2016. 食品安全国家标准食品中灰分的测定 [S].
- GB 5009.4–2016. *Determination of Ash in National Standard Food* [S].
- [20] GB/T 12456–2021. 食品安全国家标准食品中总酸的测定 [S].
- GB/T 12456–2021. *Determination of Total Acid in Food Safety National Standard Food* [S].
- [21] 李会端, 崔旭, 耿仕香. 昭通金帅苹果中总黄酮提取及抗氧化研究 [J]. 楚雄师范学院学报, 2015, 30(3): 26–33.
- LI Huidan, CUI Xu, GENG Shixiang. Study on extraction and antioxidation of total flavonoids from Zhaotong Jinshuai apple [J]. *Journal of Chuxiong Normal University*, 2015, 30(3): 26–33.
- [22] 吴晓敏, 韩利文, 王希敏, 等. 不同产地新鲜紫色马铃薯中花色苷及总酚的含量测定 [J]. 中国食物与营养, 2014, 20(5): 24–26.
- WU Xiaomin, HAN Liwen, WANG Ximin, et al. Determination of anthocyanins and total phenols in fresh purple potatoes from different areas [J]. *Chinese Food and Nutrition*, 2014, 20(5): 24–26.
- [23] GB 5009.5–2016. 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定 [S].
- GB 5009.5–2016. *State Food and Drug Administration. determination of protein in Food Safety National Standard Food* [S].
- [24] DB12/T 885–2019. 植物提取物中原花青素的测定紫外/可见分光光度法 [S].
- DB12/T 885–2019. *Tianjin Local Standard: Determination of proanthocyanidins in plant extracts by UV/visible spectrophotometry* [S].
- [25] 马帅, 王纪华, 高媛, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定 5 个产地花椰菜和西兰花中的 23 种酚酸类化合物 [J]. 食品科学, 2018, 39(4): 176–187.
- MA Shuai, WANG Jihua, GAO Yuan, et al. Simultaneous deter-

- mination of 23 phenolic acids in cauliflower and broccoli from 5 producing areas by ultra high performance liquid chromatography – tandem mass spectrometry [J]. *Food Science*, 2018, 39(4): 176 – 187.
- [26] GB 5009.124 – 2016. 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定[S].
GB 5009.124 – 2016. *Determination of Amino Acids in Food Safety National Standard Food* [S].
- [27] Wang Z, Lin Y, Li T, et al. Phenolic profiles and antioxidant capacities of mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb.) juices from different cultivars [J]. *International Journal of Food Properties*, 2019, 22: 1340 – 1352.
- [28] Orhan E. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus Rubra*), and black (*Morus nigra*) mulberry fruits [J]. *Food Chemistry*, 2007, 103: 1380 – 1384.
- [29] 彭赛男. 桑葚中主要化学成分的研究[D]. 西安: 西北大学, 2019.
PENG Sainan. *Studies on the main chemical constituents of mulberry* [D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- [30] Makhoul G, Mahfoud H, Baroudi H. Some chemical characteristics of white (*Morus alba* L) and black (*Morus nigra* L) mulberry phenotypes in tartusyria [J]. *International Journal of Agriculture & Environmental Science*, 2017, 4: 54 – 63.
- [31] 宋志姣, 樊金欣, 李德焕, 等. 不同果桑品种加工品质评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(15): 134 – 139.
SONG Zhijiao, FAN Jinxin, LI Dehuan, et al. Evaluation of processing quality of different fruit mulberry varieties [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(15): 134 – 139.
- [32] 王香君, 吴劲轩, 夏川林, 等. 不同品种桑椹加工品质比较研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(3): 139 – 143.
WANG Xiangjun, WU Jinxuan, XIA Chuanlin, et al. Comparative study on processing quality of different mulberry varieties [J]. *Chinese Brewing*, 2019, 38(3): 139 – 143.
- [33] 贾漫丽, 李娜, 王彬彬, 等. 9 个品种桑果营养、香气成分与抗氧化活性评价[J]. 果树学报, 2022, 39(2): 221 – 231.
JIA Manli, LI Na, WANG Binbin, et al. Evaluation of nutrition, aroma components and antioxidant activity of 9 mulberry varieties [J]. *Journal of Fruit Trees*, 2022, 39(2): 221 – 231.
- [34] 汪荷澄, 蒲云峰, 侯旭杰. 新疆不同桑葚品种营养成分分析[J]. 农产品加工, 2021(4): 54 – 56.
WANG Hecheng, PU Yunfeng, HOU Xujie. Analysis of nutritional quality of different mulberry varieties in Xinjiang [J]. *Processing of Agricultural Products*, 2021(4): 54 – 56.
- [35] 邓真华, 郑蜀云, 黄金枝, 等. 阿克陶引种栽培的 5 个果桑品种桑葚氨基酸分析与评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 297 – 301, 307.
DENG Zhenhua, ZHENG Shuyun, HUANG Jinzhi, et al. Analysis and evaluation of amino acids in mulberry of 5 mulberry varieties introduced by Aktao [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(17): 297 – 301, 307.
- [36] 李勋兰, 魏召新, 彭芳芳, 等. 35 份果桑资源果实品质分析与综合评价[J]. 果树学报, 2022, 39(3): 332 – 342.
LI Xunlan, WEI Zhaoxin, PENG Fangfang, et al. Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of 35 mulberry resources [J]. *Journal of fruit trees*, 2022, 39(3): 332 – 342.
- [37] 李长城, 张志刚, 刘玉芳, 等. 吐鲁番地区 12 个桑葚品种的品质分析及评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(9): 1892 – 1897.
LI Changcheng, ZHANG Zhigang, LIU Yufang, et al. Quality analysis and evaluation of 12 mulberry varieties in Turpan [J]. *Southwest Agricultural Journal*, 2020, 33(9): 1892 – 1897.
- [38] 张涛, 宋海云, 贺鹏, 等. 不同澳洲坚果种质果仁氨基酸组成分析与评价[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(1): 119 – 127.
ZHANG Tao, SONG Haiyun, HE Peng, et al. Analysis and evaluation of amino acid composition in kernels of different macadamia nut germplasm [J]. *China Agricultural Science and Technology Guide*, 2022, 24(1): 119 – 127.

Analysis and Comprehensive Evaluation of Nutritional Quality of Different Mulberry Varieties

DOU Ziwei¹, YANG Lu², CHENG Ping², ZHANG Zhigang², LI Hong²

(1. College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Key Laboratory of Fruit Tree Species Breeding and Cultivation in Xinjiang, Key Laboratory of Forest Resources and Utilization in Xinjiang of National Forestry and Grassland Administration, Urumqi 830052, China)

Abstract: **[Objective]** To select the dominant varieties suitable for popularization in Xinjiang by analyzing the differences of nutritional composition, composition characteristics and comprehensive evaluation results based on quality of different varieties of mulberry so as to provide reference for variety optimization, new variety cultivation and multiple utilization of fruit mulberry resources. **[Methods]** 6 farm varieties and 2 introduced varieties in Xinjiang were taken as experimental materials to determine 33 quality indexes, respectively. Correlation analysis, cluster analysis, principal component analysis and orthogonal partial least square – discriminant analysis were used to distinguish the differences of nutritional quality and key characteristic indexes of mulberry. Finally, the varieties with the best quality were selected according to the score of comprehensive evaluation. **[Results]** The basic nutritional components of different mulberries had certain differences and strong correlation, and there were variations in different degrees; all mulberries contained higher rutin and chlorogenic acid, among which the total phenolic acid contents of medicinal mulberry and Taiwan black were higher, 17 single amino acids were detected in 8 kinds of mulberries, and the changes of Asp and Glu were the most drastic and the average content was high. The highest content of TAAs was black mulberry, NEAAs was the main component of mulberry amino acid, followed by MAAs, and the lowest was CEAAAs. Different mulberry varieties were divided into 4 groups by cluster analysis, and 11 different quality indexes were obtained by OPLS – DA analysis. The first five principal components were extracted by principal component analysis, and a comprehensive evaluation mathematical model was constructed: $D_{ensemble} = 0.474,8F_1 + 0.219,7F_2 + 0.142,6F_3 + 0.097,2F_4 + 0.065,8F_5$, and the final comprehensive evaluation score of mulberry could be obtained by calculation. **[Conclusion]** According to the comprehensive evaluation, the top three are black mulberry, black pearl and Taiwan black mulberry, which can be used as the dominant fruit mulberry varieties suitable for popularization in Xinjiang.

Key words: mulberry; nutritional quality; orthogonal partial least square – discriminant analysis; comprehensive evaluation; good quality screening

Fund project: Special Forestry and Grass Science and Technology Project of the Forestry and Grass Bureau of the Autonomous Region" Basic research of forestry and fruit industry of autonomous region" (LgXY202108)

Correspondence author: LI Hong (1962 –), male, native place: Yining, Xinjiang. Researcher, doctor, doctoral supervisor, research field: forest cultivation, (E – mail) hong1962@126.com