

贵州省野生桑果实品质指标的主成分和聚类分析

张 芳, 王晓红, 罗泽虎, 韩世玉*

(贵州省农业科学院蚕业研究所, 贵阳 550025)

摘 要:【目的】评价贵州省15份野生桑种质资源果实品质, 筛选综合品质优良的资源, 为果桑新品种选育提供参考。【方法】以15份贵州野生桑资源为试材, 测定单果质量、硬度、色泽等7个感官和pH值、出汁率、可溶性固形物含量等8个营养品质指标, 并采用主成分分析和聚类分析对其品质指标进行综合评价。【结果】不同野生桑资源果实品质之间存在显著差异, 提取的5个主成分累积贡献率达87.998%, 可以较好地反映桑椹品质的综合信息。聚类分析将15份野生果桑资源分为了两大类, 分类结果与主成分综合得分结果基本一致。【结论】果2、果11、果24、果33等可作为贵州优良果桑种质资源加以利用。

关键词: 果桑; 品质; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S663.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2022)04-0593-09

Principal component and cluster analysis of fruit quality indexes of wild mulberry in Guizhou province

ZHANG Fang, WANG Xiaohong, LUO Zehu, HAN Shiyu*

(Sericultural Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550025, Guizhou, China)

Abstract: 【Objective】Mulberry (*Morus alba* Linn.) fruits has become popular due to its rich nutrition and high medicinal value in recent years. Wild mulberry resources in Guizhou are widely distributed, and have many ecological types. Some of them have good fruit-bearing properties, good taste and strong disease resistance. In this study, the fruit quality of 15 wild mulberry germplasm resources was evaluated comprehensively to provide reference for the selection of high-quality varieties. 【Methods】A total of 15 wild mulberry resources were collected from the mulberry germplasm collection of Guizhou Sericulture Research Institute. Seven indexes of sensory and pH value, juice yield and soluble solids were determined. The fruit quality of different resources was analyzed in the single factor analysis, principal component analysis, cluster analysis and comprehensive grading were conducted using the technology of spss 23 and excel software. 【Results】There were significant differences in fruit quality traits among 15 germplasm resources, indicating great potential for selection. In principal component analysis, 5 principal components were extracted, the cumulative contribution rate was 87.998%, which reflected most of the quality characteristics of mulberry fruits. The contribution rate of the first principal component was 34.706%, including soluble solid, total acid, total sugar and longitudinal diameter. The second principal component was highly correlated with Color L^* and Color b^* , which could explain 20.009% of the character information. The third principal component explained 12.768% of the trait information highly related to juice yield. The fourth principal component was single fruit weight, the contribution rate was 11.169%. The fifth principal component was mainly Color a^* , and the contribution rate

收稿日期: 2021-08-06 接受日期: 2021-12-22

基金项目: 黔农科院青年基金(201914); 国家农业农村部产业体系项目(CARS-18-ZJ/SYZ21)

作者简介: 张芳, 女, 助理研究员, 研究方向为桑树育种与技术推广。Tel: 0851-83817229, E-mail: 493462624@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0851-83817226, E-mail: 3487198295@qq.com

was 9.347%. According to the principal component analysis, the comprehensive scores of each resource were obtained, and the order was as follows: Guo2 > Guo11 > Guo24 > Guo 33 > Guo1 > Guo31 > Guo5 > Guo19 > Guo6 > Guo16 > Guo12 > Guo3 > Guo23 > Guo34 > Guo4. The results of data cluster analysis showed that in the condition of European distance at 10, 15 mulberry germplasm resources could be clustered into 2 categories, Guo12, Guo24, Guo33, Guo23, Guo1, Guo11, Guo19, Guo31, Guo2 and Guo5 were classified as I; Guo34, Guo4, Guo3, Guo6 and Guo16 were classified as class II. The results of classification were highly consistent with the principal component scores. 【Conclusion】It is reliable to use principal component analysis and data clustering to evaluate the quality of mulberry fruits. The comprehensive quality evaluation model established in this experiment can be used to evaluate the fruit quality of wild mulberry germplasm resources in Guizhou. Guo2, Guo11, Guo24, and Guo33 can be used as excellent fruit mulberry germplasm resources in Guizhou.

Key words: Fruit-mulberry; Quality; Principal component analysis; Cluster analysis

果桑是以果实(桑椹, 桑果)为主要收获物的一类桑树(*Morus alba* Linn.)。桑椹具有食用、药用、保健等功能, 享有“民间圣果”“中华果王”“人体血库”等美誉, 是21世纪的最佳保健水果^[1-4]。近年来, 随着桑椹鲜美的口味和丰富的营养保健功能日益为人们所熟知和认可, 消费市场对桑椹的需求越来越大, 而且桑椹在食品加工业上也得到了越来越广泛的开发利用, 以桑椹为原料生产的桑椹汁饮料、桑椹酒、桑椹酱、桑椹色素等系列产品, 颇受市场欢迎, 具有良好的市场前景^[5-7]。

多年来, 贵州省蚕业研究所桑树种质资源及育种工作者收集了全省野生桑资源150余份, 在对野生桑资源的调查研究过程中, 发现部分资源结果性能好, 不易感染桑椹菌核病, 可作为果桑品种选育的基础材料^[8]。但是, 不同种质材料的果实品质存在差异。准确评价现有果桑资源的果实品质, 是多样化优质果桑品种选育的基础工作。因此, 评价贵州野生桑资源果实的综合品质, 可以为果桑育种提供参考。果实品质的评价可用主成分分析、灰色关联度分析、聚类分析、层次分析、模糊综合评判等统计分析方法, 综合性评价分析方法的应用, 使食品品质评价更具科学性和可靠性^[9]。近年来, 主成分分析与聚类分析相结合的综合性评价分析方法在葡萄^[10]、杨梅^[11]、苹果^[12]、猕猴桃^[13]和枸杞^[14]等果实品质评价方面成为热点。王香君等^[15]、宋志娇等^[16]、乔宇等^[17]也对桑椹进行了主成分分析和聚类分析的综合评价, 筛选出了适宜不同用途的优良品种。贵州省蚕业研究所近些年对贵州地区野生桑资源进行了搜集、调查, 但是对其果实品质的评价尚未进行研究。因此, 笔者在本研究中以贵州省蚕业研究所收集的

全省野生资源中结果性能好且抗病性强的15份野生桑资源为材料, 通过检测果实的单果质量、花色苷含量、总酸含量等15项品质指标, 结合主成分分析和聚类分析, 以期筛选出综合品质较好的果桑资源, 为贵州果桑优良品种选育提供参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试材料从贵州省荔波县、平塘县、大方县、施秉县、黄平县、毕节七星关区等省内各县市区收集并保存在贵州省蚕业研究所桑树种质资源圃内。供试材料结果性能好, 不感染果桑菌核病, 分属长果桑种、长穗桑种和华桑种。2013年3月根据选取的材料进行无性繁殖, 2014年1月建立果桑材料鉴定园。2020年5月采摘成熟、无病害的新鲜桑椹, 用保鲜盒分装, 放入冰盒当日运回实验室保存备用。

1.2 试剂与仪器

试剂: 无水乙醇、盐酸、醋酸钠、冰醋酸、氯化钾、碳酸钠、没食子酸、福林酚试剂、芦丁、亚硝酸钠、硝酸铝、3,5-二硝基水杨酸、酒石酸钾钠、结晶酚、硫酸钠、葡萄糖、氢氧化钠、甲醛, 以上试剂均为分析纯。

仪器: 色差仪(北京盈盛恒泰科技有限责任公司), 质构仪(北京盈盛恒泰科技有限责任公司), 紫外-可见分光光度计(珠海科量检测技术有限公司), 酸度计[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司], 数字折射仪(杭州陆恒生物科技有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 单果质量测量 各资源选取长势大致相同的3株, 每株采摘30粒成熟无病害桑椹鲜果, 采摘后立即用电子天平分别测量其质量(精确0.01 g), 计算

平均值。

1.3.2 横径、纵径测量 各资源选取长势大致相同的3株,每株采摘20粒无病害成熟桑椹鲜果,采摘后立即用电子游标卡尺测量桑果最粗处的直径为果横径,果蒂至果顶的长度为纵径(精确0.01 mm)。

1.3.3 硬度测量 各资源选取长势大致相同的3株,每株采摘10粒成熟无病害桑椹鲜果,采用质构仪及直径为250 mm的圆柱形探头对桑果的TPA参数进行测试。测试参数:探头回升到样品表面的高度20 mm,形变百分量50,检测速度1 mm·s⁻¹,2次压缩停顿时间5 s,最小起始力1 N。

1.3.4 pH和出汁率测定 称取50 g左右的成熟无病害桑椹鲜果用搅拌机匀浆3~5 min得到果浆,4500 r·min⁻¹离心15 min,吸取上层汁液,再用纱布滤出剩余部分中的果汁,用分析天平称量果汁质量。出汁率/%=果汁质量/桑椹总质量×100。用pH计测定果汁的pH值,每份桑果样品重复测定3次。

1.3.5 色泽测定 各资源选取长势大致相同的3株,每株采摘10粒成熟无病害桑椹鲜果,用色差仪对其果肉中部进行L^{*}、a^{*}、b^{*}值测定(其中,L^{*}:色泽亮暗程度;a^{*}:色泽红绿程度;b^{*}:色泽黄蓝程度),取其平均值。

1.3.6 可溶性固形物含量的测定 取数滴“1.3.4”得到的桑椹果汁用数字折射仪测定可溶性固形物含

量,每份桑果样品重复测定3次。

1.3.7 花色苷含量测定 参照pH值示差法测定^[18],每份桑果样品重复测定3次。

1.3.8 总酚含量测定 采用Folin-ciocalteau法测定^[18],每份桑果样品重复测定3次。

1.3.9 总黄酮含量测定 参照NaNO₂-Al(NO₃)₃比色法测定^[18],每份桑果样品重复测定3次。

1.3.10 总糖含量测定 采用DNS法(3,5-二硝基水杨酸)测定^[18],每份桑果样品重复测定3次。

1.3.11 总酸含量测定 采用NaOH中和滴定法测定^[19],每份桑果样品重复测定3次。

1.4 数据处理

采用Excel 2019软件对试验测得数据进行分析;用SPSS 23.0进行单因素方差分析、主成分分析及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同野生桑资源桑椹感官品质比较

如表1所示,对15份野生桑资源桑椹的7个感官品质指标检测数据进行分析,结果表明,不同资源的桑椹各项指标值存在显著差异(*p* < 0.05)。单果质量分布在1.35~2.64 g之间,其中果23的单果质量最小,果2的单果质量最大。所有野生桑资源纵径均大于横径,表明果形指数均大于1,果形为长圆

表1 不同野生桑资源感官品质
Table 1 Sensory evaluation of different wild mulberry resources

材料 Material	单果质量 Single fruit mass/g	硬度 Hardness/N	L [*]	a [*]	b [*]	横径 Transverse diameter/mm	纵径 Longitudinal diameter/mm
果1 Guo 1	1.55±0.05 e	16.57±0.35 cd	27.86±0.06 g	4.81±0.19 e	0.76±0.06 i	9.84±0.26 c	36.22±5.37 cde
果2 Guo 2	2.64±0.07 a	12.10±0.62 ef	35.20±0.02 a	3.84±0.01 f	8.07±0.05 a	8.75±0.40 cd	43.36±3.64 bcd
果3 Guo 3	1.31±0.08 g	18.50±0.96 bc	28.33±0.03 f	5.01±0.16 d	0.82±0.03 i	7.71±0.32 de	52.80±2.79 b
果4 Guo 4	1.58±0.05 e	8.43±0.50 g	25.61±0.03 k	0.24±0.03 l	-0.30±0.04 k	13.30±0.29 a	18.87±0.56 f
果5 Guo 5	2.17±0.06 c	18.87±2.30 bc	29.30±0.03 d	5.57±0.03 b	3.38±0.02 d	9.18±0.21 c	44.76±3.41 bc
果6 Guo 6	2.51±0.04 a	15.27±0.83 d	33.71±0.02 b	1.19±0.01 k	4.26±0.04 c	9.04±0.62 c	44.06±2.94 bcd
果11 Guo 11	1.94±0.15 d	10.77±0.76 b	30.92±0.05 l	6.58±0.07 a	3.06±0.03 e	9.39±0.65 c	41.40±4.73 bcd
果12 Guo 12	1.60±0.02 e	17.73±0.65 c	24.91±0.02 n	0.02±0.02 m	-0.46±0.01 l	7.06±0.45 ef	65.92±2.80 a
果16 Guo 16	1.62±0.04 e	23.63±1.16 a	30.84±0.17 lc	2.34±0.07 i	4.75±0.19 b	7.79±0.24 de	68.04±5.58 a
果19 Guo 19	1.47±0.05 ef	24.03±1.55 a	25.08±0.05 m	3.22±0.07 g	0.35±0.02 j	9.10±0.58 c	32.04±0.26 de
果23 Guo 23	1.35±0.10 fg	20.67±1.96 f	25.25±0.01 c	-0.03±0.01 m	-0.49±0.03 l	7.04±0.26 ef	69.29±3.22 a
果24 Guo 24	2.53±0.10 a	12.43±0.87 ef	27.49±0.03 g	2.67±0.04 h	1.21±0.02 g	7.09±0.63 ef	62.89±13.08 a
果31 Guo 31	1.84±0.04 d	14.70±1.66 de	27.35±0.02 i	5.40±0.05 lc	1.03±0.03 h	8.75±0.29 cd	33.65±5.75 cde
果33 Guo 33	2.48±0.09 a	14.70±1.08 de	28.94±0.01 e	1.79±0.04 j	2.29±0.02 f	6.42±0.80 ef	61.72±3.07 a
果34 Guo 34	2.35±0.06 b	11.47±0.32 f	26.40±0.02 j	-0.24±0.03 n	-0.68±0.01 m	11.91±0.67 b	26.11±2.19 ef

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(*p* < 0.05)。下同。
Note: Different small letters indicate significant difference in the same column (*p* < 0.05). The same below.

形。其中,果4的横径最大,为13.30 mm,其纵径最小,为18.87 mm。不同资源硬度在8.43~24.03 N之间,其中果4的硬度最低。色泽 L^* 在24.91~35.20之间,果2亮度最高,果12亮度最低。除果34、果23色泽 a^* 为-0.24、-0.03外,其余资源均为正值,表明桑果基本为红色偏向。果34、果23、果12、果4的色泽 b^* 为负值,是蓝色偏向,其余均为正值,是黄色偏向^[20]。

2.2 不同野生桑资源桑椹营养品质比较

如表2所示,对15份野生桑资源桑椹的8个营养品质指标检测数据进行分析,结果表明不同资源的桑椹各项指标值存在显著差异($p < 0.05$)。桑果

出汁率为35.12%~58.13%。其中果23的出汁率最低(35.12%),果31的出汁率最高(58.13%)。pH值分布在3.69~4.80之间,其中果5的pH值最小,果6的pH值最大。可溶性固形物含量可以反映桑果的内部品质,果24的可溶性固形物含量高于其他资源,达18.37%,果34的可溶性固形物含量最低,为8.07%。果4的花色苷、总酚含量(w ,后同)最高,分别为 $0.76 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $1.04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。果34的黄酮含量最高,为 $2.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。果33总糖含量最高,为 $125.98 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,果4的总糖含量最低,仅为 $24.93 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。果4的总酸含量最低,为 $1.53 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,果24的总酸含量高达 $11.56 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,是果4的7.56倍。

表2 不同野生桑资源营养品质

Table 2 Nutritional qualities of different wild mulberry resources

材料 Material	pH值 pH value	出汁率 Juice yield/%	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(花色苷) Anthocyanin content/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	w(总酚) Total Phenolic content/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	w(总黄酮) Total Flavonoid content/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	w(总糖) Total sugar content/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	w(总酸) Total acid content/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
果1 Guo 1	3.82±0.16 ab	56.02±1.83 ab	15.37±0.70 c	0.03±0.00 d	0.33±0.02 d	1.09±0.24 def	80.96±5.41 d	8.83±0.31 c
果2 Guo 2	3.71±0.24 b	46.76±2.16 cd	13.57±0.76 ef	0.09±0.01 cd	0.41±0.07 d	0.40±0.05 g	104.09±3.90 b	4.71±0.16 f
果3 Guo 3	4.78±0.13 a	59.64±1.16 a	12.70±0.61 f	0.15±0.02 c	0.59±0.09 c	0.96±0.08 def	40.03±7.11 g	5.49±0.49 ef
果4 Guo 4	3.74±0.23 b	42.69±0.36 de	9.07±0.15 g	0.76±0.03 a	1.04±0.02 a	1.24±0.19 de	24.93±2.48 a	1.53±0.06 g
果5 Guo 5	3.69±0.32 b	40.65±3.09 ab	14.90±0.95 cde	0.07±0.00 cd	0.62±0.01 c	0.84±0.09 ef	70.33±1.16 e	7.94±0.26 d
果6 Guo 6	4.80±0.13 a	49.32±0.34 c	8.30±0.35 g	0.06±0.01 cd	0.32±0.01 d	0.75±0.08 fg	41.26±1.74 f	5.02±0.17 f
果11 Guo 11	3.94±0.49 ab	48.69±1.95 c	14.77±0.55 cde	0.07±0.00 cd	0.36±0.06 d	0.86±0.07 ef	89.18±4.50 c	7.63±0.30 d
果12 Guo 12	3.75±0.36 b	40.97±1.23 ef	13.80±1.01 def	0.02±0.00 d	0.59±0.01 c	0.71±0.07 fg	119.72±1.51 a	9.34±0.35 bc
果16 Guo 16	3.85±0.32 ab	38.08±1.15 ef	17.10±0.26 b	0.09±0.01 cd	0.80±0.01 b	1.12±0.19 def	38.25±4.91 f	5.83±0.50 e
果19 Guo 19	3.85±0.31 ab	47.29±1.91 cd	15.27±0.70 c	0.03±0.01 d	0.23±0.03 e	1.77±0.26 c	95.39±4.15 bc	9.88±0.13 b
果23 Guo 23	4.01±0.77 ab	35.12±2.18 f	15.17±0.45 cd	0.03±0.00 d	0.56±0.05 c	1.02±0.15 def	95.66±3.41 bc	6.01±0.87 e
果24 Guo 24	3.80±0.40 ab	35.96±4.10 f	18.37±0.35 a	0.02±0.00 d	0.38±0.04 d	2.07±0.33 b	119.14±9.32 a	11.56±0.14 a
果31 Guo 31	3.92±0.18 ab	58.13±4.59 a	14.90±0.40 cde	0.08±0.01 cd	0.54±0.03 c	1.32±0.20 d	96.01±3.53 bc	9.03±0.14 c
果33 Guo 33	4.34±0.36 ab	51.08±3.98 bc	16.83±0.25 b	0.03±0.00 d	0.32±0.03 d	0.76±0.09 fg	125.98±2.98 a	8.69±0.77 c
果34 Guo 34	4.20±0.39 ab	54.59±3.29 ab	8.07±0.25 g	0.45±0.14 b	0.54±0.05 c	2.40±0.11 a	28.90±0.89 g	2.01±0.07 g

2.3 不同野生桑资源桑椹品质主成分分析

将15份野生桑资源的15个品质指标使用SPSS 23.0软件进行主成分分析,以特征值大于1进行提取,共提取到5个主成分。由表3可知,第1主成分特征值为5.206,贡献率为34.706%;第2主成分特征值为3.001,贡献率为20.009%;第3主成分特征根为1.915,贡献率为12.768%;第4主成分特征值为1.675,贡献率为11.169%;第5主成分特征值为1.402,贡献率为9.347%。5个主成分的贡献率累计值达到87.998%,可以解释绝大部分原始信息^[21-22]。

主成分分析表明,载荷系数数值越大,对该主成分的影响越重要^[23-24]。由表4可看出,对第1主成分贡

献最大的是可溶性固形物含量,负荷量为0.845,其次是总酸含量、总糖含量、纵径,负荷量分别为0.833、0.787、0.725,花色苷含量、横径对其贡献最小,负荷量分别为-0.939、-0.899。对第2主成分贡献最大的分别是色泽 L^* 、色泽 b^* ,负荷量分别为0.934、0.816。第3主成分以桑果出汁率的贡献为主,总黄酮含量的贡献为辅,负荷量分别为0.716、0.421;总酚含量对其贡献最小,负荷量为-0.581。第4主成分以单果质量的贡献为主,负荷量为0.430;pH值、硬度对其贡献最小,负荷量分别为-0.794、-0.510。第5主成分以色泽 a^* 、总酚含量的贡献为主,负荷量为0.663、0.316。

表 3 各个主成分的特征值和贡献率

Table 3 The characteristic roots and contribution rate of main components

主成分 Principal component	初始特征值 Initial eigen value			提取平方和载入 Extract square sum loading		
	特征值 Eigen values	贡献率 Contribution rates/%	累积贡献率 Cumulative contribution rates/%	特征值 Eigen values	贡献率 Contribution rates/%	累积贡献率 Cumulative contribution rates%
1	5.206	34.706	34.706	5.206	34.706	34.706
2	3.001	20.009	54.715	3.001	20.009	54.715
3	1.915	12.768	67.482	1.915	12.768	67.482
4	1.675	11.169	78.651	1.675	11.169	78.651
5	1.402	9.347	87.998	1.402	9.347	87.998
6	0.742	4.944	92.942			
7	0.498	3.321	96.263			
8	0.210	1.402	97.665			
9	0.142	0.947	98.612			
10	0.088	0.586	99.198			
11	0.064	0.427	99.624			
12	0.045	0.301	99.926			
13	0.011	0.073	99.998			
14	0.000	0.002	100.000			
15	0.000	0.000	100.000			

表 4 主成分在各品质指标上的因子载荷矩阵

Table 4 Rotated component matrix of the principle component analysis

指标 Index	第1主成分 Principal component 1	第2主成分 Principal component 2	第3主成分 Principal component 3	第4主成分 Principal component 4	第5主成分 Principal component 5
单果质量 Single fruit mass(X_1)	0.081	0.661	-0.003	0.430	-0.543
硬度 Hardness(X_2)	0.481	-0.383	-0.147	-0.510	0.265
L^* (X_3)	0.166	0.934	-0.247	-0.008	0.074
a^* (X_4)	0.343	0.380	0.439	0.070	0.663
b^* (X_5)	0.288	0.816	-0.364	0.138	0.191
横径 Transverse diameter(X_6)	-0.899	0.063	0.156	0.270	0.202
纵径 Longitudinal diameter(X_7)	0.725	-0.180	-0.496	-0.246	-0.243
pH值 pH value(X_8)	-0.127	0.338	0.159	-0.794	-0.383
出汁率 Juice yield(X_9)	-0.249	0.363	0.716	-0.379	0.127
可溶性固形物含量 Soluble solids content/(X_{10})	0.845	-0.249	0.008	0.225	0.216
花色苷含量 Anthocyanin content(X_{11})	-0.939	-0.111	-0.127	0.180	0.013
总酚含量 Total phenolic content(X_{12})	-0.562	-0.315	-0.581	0.039	0.316
总黄酮含量 Total flavonoid content(X_{13})	-0.324	-0.456	0.421	0.208	-0.327
总糖含量 Total sugar content content(X_{14})	0.787	-0.109	0.178	0.373	-0.196
总酸含量 Total acid content(X_{15})	0.833	-0.242	0.370	0.179	0.020

2.4 不同野生桑资源桑椹品质的综合评价

使用主成分分析目的在于信息浓缩,使用主成分分析法进行权重计算,利用“成分得分系数矩阵”建立主成分和研究项之间的关系等式,如下:

$$Y_1=0.015 X_1+0.092 X_2+0.032 X_3+0.066 X_4+0.055 X_5-0.173 X_6+0.139 X_7-0.024 X_8-0.048 X_9+0.162 X_{10}-0.180 X_{11}-0.108 X_{12}-0.062 X_{13}+0.151 X_{14}+0.160 X_{15};$$

$$Y_2=0.220 X_1-0.128 X_2+0.311 X_3+0.127 X_4+0.272 X_5+0.021 X_6-0.060 X_7+0.113 X_8+0.121 X_9-0.083 X_{10}-0.037 X_{11}-0.105 X_{12}-0.152 X_{13}-0.036 X_{14}-0.081 X_{15};$$

$$Y_3=-0.002 X_1-0.077 X_2-0.129 X_3+0.229 X_4-0.190 X_5+0.082 X_6-0.259 X_7+0.083 X_8+0.374 X_9+0.004 X_{10}-0.066 X_{11}-0.304 X_{12}+0.220 X_{13}+0.093 X_{14}+0.193 X_{15};$$

$$Y_4=0.256 X_1-0.305 X_2-0.005 X_3+0.042 X_4+0.082 X_5+0.161 X_6-0.147 X_7-0.474 X_8-0.226 X_9+0.134 X_{10}+107 X_{11}-0.023 X_{12}+0.124 X_{13}+0.222 X_{14}+0.107 X_{15};$$

$$Y_5=-0.388 X_1+0.189 X_2+0.053 X_3+0.473 X_4+0.136 X_5+0.144 X_6-0.173 X_7-0.273 X_8+0.091 X_9+0.154 X_{10}+0.009 X_{11}+0.225 X_{12}-0.233 X_{13}-0.140 X_{14}+0.015 X_{15}。$$

根据主成分及其贡献率构建出综合评价模型

为： $Y=0.394 Y_1+0.227 Y_2+0.145 Y_3+0.127 Y_4+0.106 Y_5$ 。

利用该函数得到15份资源桑果品质综合得分，将各资源桑果品质按分数高低进行排序，综合评分越高说明该资源在测量的多个指标中综合品质越佳^[16]。

由表5可知，15份果桑资源中果2、果11的桑果品质指标的主成分综合得分最高，分别为0.653、0.553，其次为果24、果33、果1、果31、果5、果19，这几份资源综合得分较高，均为正值，说明桑果综合品质较好；果6、果16、果12、果3、果23、果34、果4，这几份资源综合分值较低，均为负值，说明桑果综合品质较差。

2.5 不同资源桑椹品质聚类分析

将15份野生桑种质资源桑果品质标准化处理后进行系统聚类，以组间联接为聚类方法，以区间平方欧式距离为度量标准进行聚类^[17]。结果如图1所示，在欧式距离为10的情况下，15份果桑种质资源可聚为2类，其中果12、果24、果33、果23、果1、果11、果19、果31、果2、果5为Ⅰ类；果34、果4、果3、果6、果16为Ⅱ类。Ⅰ类又可以分为2个亚类：果12、果24、果33、果23为一个亚类，该类群单果质量大，纵径长，横径较小，可溶性固形物、总糖含量高，花色苷含量低；果1、果11、果19、果31、果2、果5为另一个亚类，此类群色泽大，出汁率高，可溶性固形物及总糖含量较高，果形指数中等，pH值低；Ⅱ类也可分为2个亚类：果34、果4为一个亚类，属于纵径较小，硬度、色泽、可溶性固形物含量、总糖含量、总酸

表5 成分得分及排序

Table 5 Principal component scores and ordering

材料 Material	主成分得分 Principal component score					综合得分 Compre- hensive score, Y	排名 Ranking
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5		
果2 Guo 2	0.331	2.078	-0.854	1.151	0.269	0.653	1
果11 Guo 11	0.251	0.873	0.635	0.621	0.800	0.553	2
果24 Guo 24	1.031	-0.583	0.251	1.594	-1.451	0.359	3
果33 Guo 33	0.975	0.451	0.181	-0.178	-1.305	0.352	4
果1 Guo 1	0.185	-0.112	1.298	0.004	1.014	0.344	5
果31 Guo 31	0.108	-0.041	1.331	0.228	0.765	0.336	6
果5 Guo 5	0.308	0.243	-0.466	0.634	1.138	0.310	7
果19 Guo 19	0.420	-1.065	1.324	-0.115	0.398	0.143	8
果6 Guo 6	-0.391	1.740	-0.315	-1.341	-1.308	-0.114	9
果16 Guo 16	0.391	-0.245	-1.932	-0.556	1.010	-0.145	10
果12 Guo 12	0.660	-1.242	-0.693	-0.028	-0.525	-0.182	11
果3 Guo 3	-0.244	0.148	0.489	-2.380	0.668	-0.223	12
果23 Guo 23	0.512	-1.424	-1.150	-0.711	-0.526	-0.434	13
果34 Guo 34	-1.993	-0.133	0.807	0.095	-1.530	-0.848	14
果4 Guo 4	-2.542	-0.687	-0.904	0.982	0.584	-1.102	15

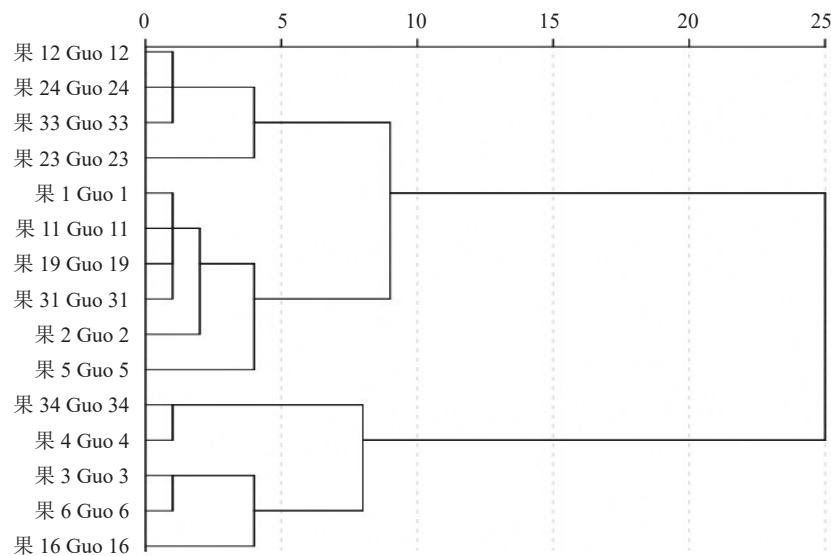


图1 15份野生桑椹品质指标聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis based on fruit quality indexes of 15 wild mulberry

含量较低,而其花色苷、总酚、黄酮含量高的类群;果3、果6、果16为另一个亚类,该类纵径较大,pH值较高,总糖含量、总酸含量较低。

3 讨 论

本研究在主成分分析的基础上,通过聚类分析,将供试的15份野生桑资源分为2大类。类群I聚集的10份资源的品质指标大多处于上游或中上游水平,与主成分分析综合评价得分排名前10的资源一致;类群II聚集的5份资源的品质指标大多处于较低水平,与主成分分析综合评价得分排名后5位的资源一致。聚类分析结果与主成分综合得分排名结果基本一致,表明利用本试验中建立的综合品质评价模型对贵州野生桑种质资源果实品质进行评价是可行且可信的。

色泽 L^* 、 a^* 、 b^* 、单果质量、纵横径代表了外观品质,硬度越高表明其果实运输过程中不易破裂^[25];出汁率是果汁工业化生产中常用的重要衡量指标之一,且果酒、果汁等产品要求含糖量高^[15];可溶性固形物含量可评价桑椹风味,其值越高表明风味越好;总糖、总酸含量与水果的酸甜味密切相关^[26];花色苷、总黄酮、总酚具有消炎、抗氧化、抗衰老、预防各种疾病等功能^[4]。笔者在本研究中对15份野生桑资源的15个品质指标进行主成分分析,提取出5个主成分,根据主成分及其贡献率计算出综合得分。结果表明,最大综合分值为0.653,最小综合分值为-1.102,表明了供试果桑资源果实综合品质差异较大。果2、果11综合得分排名分别为第1和第2,其中果2的单果质量、色泽和果11的感官品质及营养品质指标均处于较高水平,说明两者风味口感好、色泽亮,适宜作为鲜食的备选资源。果24综合排名第3,可溶性固形物含量最高、总糖含量较高,表明风味好、酸甜适中,但其出汁率低,是适宜加工成果干的资源;果33综合得分排名第4,总糖含量最高、可溶性固形物含量较高、出汁率高,满足果汁、果酒的生产需求;果34、果4硬度、色泽、可溶性固形物含量、总糖含量、总酸含量最低或较低,表明其风味口感差、色泽暗淡,易破烂,但其花色苷、总酚、黄酮含量较高,其中果4的花色苷含量高达 $0.76\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,总酚含量为 $1.04\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,果34的黄酮含量最高,为 $2.40\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,宋志娇等^[16]的研究表明栽培种无籽大十花色苷含量为 $0.049\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、总酚含量 $0.187\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,

刘丽等^[27]的研究表明无籽大十的花色苷含量为 $0.03\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、总酚含量为 $0.62\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、黄酮含量为 $1.18\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,由此可见果34、果4的综合得分排名虽为后2位,但其功能活性成分含量高,具有相对优势,今后应进一步深入研究,为其作为药品或保健品的开发利用奠定基础。

4 结 论

笔者利用主成分分析法,根据各主成分的贡献率及特征值,确定了贵州野生桑果实品质的5个主成分,通过主成分分析结合聚类分析,得到4份可作为贵州果桑优良品种选育的优选资源,其中果2、果11适宜作为鲜食的备选资源,果24适宜加工成果干;果33满足果汁、果酒的生产需求。

参考文献 References:

- [1] 刘明鲁,张建平,张雅秋,张蕊,熊晓军. 桑树资源多元化开发与利用[J]. 蚕桑茶叶通讯,2018(3):13-14.
LIU Minglu, ZHANG Jianping, ZHANG Yaqiu, ZHANG Rui, XIONG Xiaojun. Diversified development and utilization of mulberry resources[J]. Newsletter of Sericulture and Tea, 2018 (3):13-14.
- [2] 张文娜,姚清国,俞龙泉,肖宵,谷维娜. 桑椹化学成分及药理作用研究进展[J]. 安徽农业科学,2011,39(14):8371-8373.
ZHANG Wenna, YAO Qingguo, YU Longquan, XIAO Xiao, GU Weina. Research progress of chemical ingredients and pharmacological activities of mulberry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(14):8371-8373.
- [3] 肖更生,徐玉娟,刘学铭,吴继军,陈卫东,姚锡镇. 桑椹的营养、保健功能及其加工利用[J]. 中药材,2001,24(1):70-72.
XIAO Gengsheng, XU Yujuan, LIU Xueming, WU Jijun, CHEN Weidong, YAO Xizhen. Nutrition and health function of mulberry and its processing and utilization[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2001, 24(1):70-72.
- [4] 杜晓童,刘凡,沈维治,胡腾根,邹宇晓,廖森泰. 新疆药桑椹主要营养活性成分分析及体外抗炎作用[J]. 蚕业科学,2020,46(3):306-312.
DU Xiaotong, LIU Fan, SHEN Weizhi, HU Tenggen, ZOU Yuxiao, LIAO Sentai. Main nutritional components in fruit of Xinjiang black mulberry (*Morus nigra* L.) and their *in vitro* anti-inflammatory activity[J]. Acta Sericologica Sinica, 2020, 46(3):306-312.
- [5] 张友干. 果桑的价值分析及管理技术[J]. 现代农业科技,2021(11):80-84.
ZHANG Yougan. Value analysis and management techniques of mulberry[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2021 (11):80-84.

- [6] 佟万红,曾益春,黄盖群.四川省果桑产业的现状与发展建议[J].蚕学通讯,2021,41(6):15-19.
TONG Wanhong, ZENG Yichun, HUANG Gaiqun. Present situation and development suggestion of fruit-mulberry industry in Sichuan province[J]. Newsletter of Sericultural Science, 2021, 41(6):15-19.
- [7] 梁贵秋,吴婧婧,祁广军,李全,陆飞.桑椹酒的营养价值及保健作用[J].现代食品科技,2011,27(4):457-460.
LIANG Guiqiu, WU Jingjing, QI Guangjun, LI Quan, LU Fei. Nutritional value and health function of mulberry wine[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(4):457-460.
- [8] 韩世玉,王晓红,周光萍,杨胜特,张芳,罗泽虎,徐德涛.22份野生桑树材料的物候期及果实主要性状[J].贵州农业科学,2018,46(9):7-10.
HAN Shiyu, WANG Xiaohong, ZHOU Guangping, YANG Shengte, ZHANG Fang, LUO Zehu, XU Detao. Phenological period and main fruit traits of 22 wild mulberry materials[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(9):7-10.
- [9] 姜雪,刘楠,孙永,牟伟丽,周德庆.统计分析方法在食品品质评价中的应用[J].食品安全质量检测学报,2017,8(1):13-19.
JIANG Xue, LIU Nan, SUN Yong, MU Weili, ZHOU Deqing. Application of statistical analysis methods in food quality evaluation[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2017, 8(1):13-19.
- [10] 李伟,郇海燕,陈杭君,吴伟杰,房祥军.基于主成分分析的不同品种杨梅果实综合品质评价[J].中国食品学报,2017,17(6):161-171.
LI Wei, GAO Haiyan, CHEN Hangjun, WU Weijie, FANG Xiangjun. Evaluation of comprehensive quality of different varieties of bayberry based on principal components analysis[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(6):161-171.
- [11] 张淑文,梁森苗,郑锡良,任海英,朱婷婷,戚行江.杨梅优株果实品质的主成分分析及综合评价[J].果树学报,2018,35(8):977-986.
ZHANG Shuwen, LIANG Senmiao, ZHENG Xiliang, REN Haiying, ZHU Tingting, QI Xingjiang. Principal component analysis and comprehensive evaluation of fruit quality in some advanced selections of Chinese bayberry[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(8):977-986.
- [12] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨,毕金峰.基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J].农业工程学报,2014,30(13):276-285.
GONG Liyan, MENG Xianjun, LIU Naiqiao, BI Jinfeng. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(13):276-285.
- [13] 刘磊,李争艳,雷华,高本旺,赵佳,李薇.30个猕猴桃品种(单株)主要果实品质特征的综合评价[J].果树学报,2021,38(4):530-537.
LIU Lei, LI Zhengyan, LEI Hua, GAO Benwang, ZHAO Jia, LI Wei. Comprehensive evaluation of main fruit quality characteristics with 30 kiwifruit cultivars (strains)[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(4):530-537.
- [14] 王益民,张珂,许飞华,王玉,任晓卫,张宝琳.不同品种枸杞子营养成分分析及评价[J].食品科学,2014,35(1):34-38.
WANG Yimin, ZHANG Ke, XU Feihua, WANG Yu, REN Xiaowei, ZHANG Baolin. Chemical analysis and nutritional evaluation of different varieties of goji berries (*Lycium barbarum* L.)[J]. Food Science, 2014, 35(1):34-38.
- [15] 王香君,吴劲轩,夏川林,殷浩,胡古月,冯俊,张浩仁.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, YIN Hao, HU Guyue, FENG Jun, ZHANG Haoren. Comparison of processing quality of different mulberry varieties[J]. China Brewing, 2019, 38(3):139-143.
- [16] 宋志姣,樊金欣,李德焕,周艺垠,郭燕,蒋碧婷,杨丽莎,杨钧林,范国明.不同果桑品种加工品质评价[J].食品与发酵工业,2020,46(15):1-8.
SONG Zhijiao, FAN Jinxin, LI Dehuan, ZHOU Yiyin, GUO Yan, JIANG Biting, YANG Lisha, YANG Junlin, FAN Guoming. Evaluation of processing qualities of different mulberry varieties[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(15):1-8.
- [17] 乔宇,廖李,刘璐,李阳,于翠,吴继军,程薇,陈学玲.桑椹品质评价指标的主成分分析及12个桑品种的桑椹品质综合评价[J].蚕业科学,2014,40(5):851-856.
QIAO Yu, LIAO Li, LIU Lu, LI Yang, YU Cui, WU Jijun, CHENG Wei, CHEN Xueling. Principal component analysis of quality evaluation indexes of mulberry fruit and comprehensive assessment on fruit quality of twelve mulberry varieties[J]. Acta Sericologica Sinica, 2014, 40(5):851-856.
- [18] 冯瀚.桑葚主要活性成分含量测定与抗氧化作用分析[D].镇江:江苏科技大学,2015.
FENG Han. Main active component content and antioxidant effect analysis of mulberry fruit[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2015.
- [19] 叶青雷,李振宇,王立志,李志.黑龙江几种桑果品质的测定分析[J].北方蚕业,2015,36(4):18-20.
YE Qinglei, LI Zhenyu, WANG Lizhi, LI Zhi. Determination and analysis of qualities for several varieties of mulberry fruits in Heilongjiang province[J]. North Sericulture, 2015, 36(4):18-20.
- [20] 杨璐,卢晓丽,程平,波塔·巴合提汗.基于灰色关联度和主成分分析法的桑葚品质综合评价体系构建[J].新疆农业科学,2017,54(5):862-870.
YANG Lu, LU Xiaoli, CHENG Ping, Bota·Bahetihan. Establishing comprehensive evaluation system for mulberry based on grey relational grade analysis and principal component analysis[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(5):862-870.
- [21] 岳冬,鲁博,刘娜,朱为民,郭世荣.基于主成分分析法的番茄内在品质评价指标的选择[J].上海农业学报,2017,33(1):88-

92.
YUE Dong, LU Bo, LIU Na, ZHU Weimin, GUO Shirong. Selection of internal quality evaluation index of tomato based on principal component analysis[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2017, 33(1): 88-92.
- [22] 李笑梅, 邢竺静, 赵廉诚, 石彦国, 陈璐, 闫怡宏, 张娜. 基于主成分与聚类分析法的制备豆浆用大豆的品质指标综合评价[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 64-71.
LI Xiaomei, XING Zhujing, ZHAO Liancheng, SHI Yanguo, CHEN Lu, YAN Yihong, ZHANG Na. Comprehensive quality evaluation of soybean varieties for their suitability for soybean milk production based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Food Science, 2020, 41(15): 64-71.
- [23] 宋江峰, 李大婧, 刘春泉, 刘玉花. 甜糯玉米软罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2122-2131.
SONG Jiangfeng, LI Dajing, LIU Chunquan, LIU Yuhua. Principal components analysis and cluster analysis of flavor compositions in waxy corn soft can[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(10): 2122-2131.
- [24] 张伟龙, 杨静慧, 宋科, 蒋鑫, 郜伟, 张超, 冯国华. 基于主成分分析油用牡丹‘凤丹’主要性状评价及选优[J]. 天津农学院学报, 2021, 28(2): 12-17.
ZHANG Weilong, YANG Jinghui, SONG Ke, JIANG Xin, GAO Wei, ZHANG Chao, FENG Guohua. Evaluation and selection of main characters of oil peony ‘Feng Dan’ based on principal component analysis[J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2021, 28(2): 12-17.
- [25] 黄婷, 糟绍英, 秦垦, 戴国礼, 张益芝. 基于主成分分析的枸杞鲜果品质评价核心指标筛选[J]. 北方园艺, 2019(7): 132-139.
HUANG Ting, ZAO Shaoying, QIN Ken, DAI Guoli, ZHANG Yizhi. Quality evaluation of fresh fruit of *Lycium barbarum* based on principal component[J]. Northern Horticulture, 2019(7): 132-139.
- [26] 李长城, 张志刚, 刘玉芳, 杨璐, 程平. 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, YANG Lu, CHENG Ping. Quality analysis and evaluation of 12 mulberry varieties in Turpan[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(9): 1892-1897.
- [27] 刘丽, 郭俊英, 陈海燕, 李杉杉. 5 个果桑品种(系)的经济性状和果实营养成分的分析与评价[J]. 经济林研究, 2018, 36(3): 151-155.
LIU Li, GUO Junying, CHEN Haiyan, LI Shanshan. Analysis and evaluation on nutritional composition and economic characteristics of five varieties (lines) of mulberry[J]. Non-wood Forest Research, 2018, 36(3): 151-155.

沉痛悼念我国著名果树学家邓明琴教授

我国著名草莓专家、著名果树专家、国务院特殊津贴获得者、中国园艺学会草莓分会终身名誉理事长、沈阳农业大学园艺学院邓明琴教授于 2022 年 4 月 5 日凌晨 4 点 56 分逝世,享年 98 岁。

邓明琴教授,女,生于 1925 年 2 月,汉族,湖北云梦人,侨眷,中共党员。1949 年毕业于复旦大学园艺系,毕业后分配到山东省农林厅从事农业技术工作,1950 年 11 月调到复旦大学园艺系任教。1952 年全国院校调整时到沈阳农业大学任教至离休。1956 年晋升讲师,1981 年晋升副教授,1987 年晋升教授,1991 年离休。主要讲授本科生课程《果树栽培学》、《果树苗圃学》、《高级果树学》、《浆果栽培学》和研究生课程《果树研究进展》、《果树专题讲座》等。1983 年起指导硕士研究生。

邓明琴教授长期从事草莓栽培与育种研究,是我国草莓科学研究的创始人和奠基人。主持培育的“绿色种子”是我国首个正式登录的草莓品种,先后选出 10 余个草莓品种,填补了国内空白。1982 年与北京科教电影制片厂合作,拍摄了我国第一部草莓科教片《草莓》。先后主持国家农业部、国家教委、辽宁省科委等重大课题。

1982 年主编了我国第一部草莓著作《怎样种草莓》,2005 年主编了我国草莓领域的权威著作《中国果树志 草莓卷》,还主编主译了《草莓科研文选》、《草莓、悬钩子、穗醋栗和醋栗育种进展》等重要著作。邓明琴教授曾获省政府科技二、三等奖和省农牧厅科技进步一、二、三等奖多项,多次被评为沈阳市“三八”红旗手、沈阳市优秀教师、校“三八”红旗手。

邓明琴教授一生热爱祖国、爱岗敬业、淡泊名利、钻研学术、德学双馨、教书育人、桃李成林,为我国草莓事业的发展做出了突出贡献,受人敬重与爱戴。

邓明琴教授的逝世,使我们失去了一位德高望重的果树学家,更是我国草莓事业的重大损失,我们深感悲痛!颗颗草莓似灯笼照亮邓明琴教授去天国的路程!朵朵草莓白花寄托我们的哀思!邓明琴教授安息!

我们要化悲痛为力量,努力工作!加快我国由草莓大国走向草莓强国的进程!

中国园艺学会草莓分会

沈阳农业大学园艺学院

2022 年 4 月 6 日