

88份软枣猕猴桃种质资源果实品质分析与综合评价

孙博位¹, 王梦琦¹, 秦红艳¹, 吴曼毓¹, 麻明杰^{1,2}, 刘国梁¹, 原鹏强¹, 路文鹏^{1*}

(¹中国农业科学院特产研究所, 长春 130112; ²延边大学农学院, 吉林延边 133002)

摘要:【目的】采用相关性分析、主成分分析方法对中国农业科学院特产研究所软枣猕猴桃资源圃保存的88份软枣猕猴桃资源品质性状进行综合评价, 建立果实评价体系, 为筛选优质软枣猕猴桃资源提供理论依据。【方法】以88份软枣猕猴桃为试材, 对果实横径、纵径及可溶性固形物、总酚、总糖、维生素C含量等15项果实品质相关指标进行测定, 采用相关性分析与主成分分析进行综合评价。【结果】不同软枣猕猴桃种质资源果实的15项品质指标间存在差异, 且各指标间存在相关性。111002的横径、L060503的纵径和单果质量、S090602的侧径、L080308的可溶性固形物含量、W030101的可滴定酸含量、140301的总糖含量、W110101的总酚和维生素C含量、060203的有机酸含量显著高于其他软枣猕猴桃。通过主成分分析对88份软枣猕猴桃种质资源果实的15项果实品质指标进行简化提取, 共提取到5个主成分, 累计方差贡献率达75.384%。【结论】通过相关性分析、主成分分析筛选出果实横径、纵径、单果质量及可溶性固形物、可滴定酸、总糖、总酚、有机酸、维生素C含量作为软枣猕猴桃果实品质评价的核心指标, 其中L060503、060203、190403、L110203、040103为排名前5的软枣猕猴桃优质资源。

关键词:软枣猕猴桃; 果实品质; 主成分分析; 相关性分析; 综合评价

中图分类号: S663.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2025)04-0765-10

Comprehensive evaluation of fruit quality of 88 accessions of *Actinidia arguta* germplasm resources based on principal component analysis and correlation analysis

SUN Bowei¹, WANG Mengqi¹, QIN Hongyan¹, WU Manyu¹, MA Mingjie^{1,2}, LIU Guoliang¹, YUAN Pengqiang¹, LU Wenpeng^{1*}

(¹Institute of Special Animal and Plant Sciences of CAAS, Changchun 130112, Jilin, China; ²Agricultural College, Yanbian University, Yanbian 133002, Jilin, China)

Abstract: 【Objective】Correlation analysis and principal component analysis were used to comprehensively evaluate the quality traits of 88 accessions of *Actinidia arguta* resources preserved in the *A. arguta* resource nursery of the Institute of Specialty Products, Chinese Academy of Agricultural Sciences, in order to establish a fruit evaluation system and provide theoretical basis for the screening of high-quality *A. arguta* resources. 【Methods】Using 88 accessions of *A. arguta* fruit resources as test material, the transverse, longitudinal and lateral diameters of the fruits were measured with vernier calipers, the mass of the fruits was measured with a balance, the soluble solid content was measured with a portable digital brix meter, the titratable acid content was measured with a titration method using sodium hydroxide solution, the total sugar content was measured with a sulfuric acid-anthracenone colorimetric method, and the total phenol content was measured with a Folin-phenol method. The titric acid, quinic acid, malic acid, lactic acid and vitamin C content were measured using High Performance Liquid Chromatography. Correlation analysis and principal component analysis were used for comprehensive evaluation. 【Results】Differences were found among the 15 quality indexes of the fruits of the different *A. arguta*

收稿日期: 2024-12-11 接受日期: 2025-01-17

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20240303116NC)

作者简介: 孙博位, 男, 硕士, 主要从事果树栽培生理研究。E-mail: 1351518183@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: 182104074@qq.com

germplasm resources, and there were correlations among the indexes. The maximum fruit transverse diameter (33.07 mm) was found in 111002, the maximum fruit longitudinal diameter (44.49 mm) in L060503, and the maximum fruit lateral diameter (30.07 mm) in S090602. The fruit mass ranged from 4.13 to 18.31 g. The maximum fruit mass was found in L060503. The soluble solids content varied in the range of 7.13% to 17.73%, and the highest content was found in L080308, followed by 0600203. The titratable acid content ranged from 2.76 to 15.69 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, and the highest content was found in W030101. The solid-acid ratio of W010401 fruits reached a maximum of 4.93. The total sugar content varied from 14.27 to 88.02 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, the highest content was found in T100503. The total phenol content varied from 0.41 to 1.82 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, and the highest content was found in W110101. The highest organic acid content was found in 060203, and the highest vitamin C content was found in W110101. The results of correlation analysis showed that the transverse and lateral diameters of the fruits were significantly and positively correlated with the fruit mass and significantly and negatively correlated with the fruit shape index. The solid-acid ratio had a highly significant and negative correlation with the titratable acid content and a highly significant and positive correlation with the total sugar content. The total phenolic content showed highly significant and positive correlation with the citric acid content, quinic acid content, malic acid content, and vitamin C content. The 15 quality indexes of the soft date kiwifruit were simplified and extracted, and the components with eigenvalues greater than 1 were extracted, and a total of five principal components were extracted, with a cumulative contribution rate of 75.384%, and the contribution rate of the 1st principal component amounted for 20.819%, and the titratable acid, vitamin C, and citric acid positively affected the 1st principal component, which mainly reflected the nutritive qualities of the fruits. The contribution of the 2nd principal component was 19.790%, which was mainly represented by the transverse and longitudinal diameters of the fruit and the quality of the single fruit, reflecting the appearance quality of the fruit. The contribution of the 3rd principal component was 15.490%. The main representatives were the soluble solids and total sugar, reflecting the sugar content of the fruit. The contribution of the 4th principal component was 11.062%, which showed a highly significant positive correlation with the fruit shape index, and the contribution of the 5th principal component was 8.222%, which showed a significant and positive correlation with the quinic acid and lactic acid. 【Conclusion】 The correlation analysis and principal component analysis screened out fruit transverse and longitudinal diameter, single fruit mass, soluble solid content, titratable acid content, total sugar content, total phenol content, organic acid content and vitamin C content as the core indexes for fruit quality evaluation. L060503, 060203, 190403, L110203, 040103 were the top 5 quality resources of *A. arguta*.

Key words: *Actinidia arguta*; Fruit quality; Principal component analysis; Correlation analysis; Comprehensive evaluation

软枣猕猴桃 [*Actinidia arguta* (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq.] 别名奇异莓、圆枣子、软枣子等,为猕猴桃科猕猴桃属多年生大型落叶藤本植物^[1],果型较小,呈圆球形或柱状长圆形等,表面光滑无毛,无斑点,成熟期表皮为绿黄色或紫红色^[2]。软枣猕猴桃原产于中国,分布在黑龙江、吉林、辽宁、山东、山西、河北等省份,主产于东北地区,在朝鲜、日本及俄罗斯远东地区也有分布^[3]。软枣猕猴桃果实风味

独特,富含多种人体所需要的营养物质,如氨基酸、蛋白质、维生素C等营养成分,此外还具有酚类化合物、多糖类等多种活性物质^[4],起到抗氧化、抗炎、抗肿瘤、降血糖、提高免疫力等功效,有“维生素C之王”的美誉^[5-6]。

收集与鉴定种质资源构成作物品种培育及改良的核心基础,目前有关软枣猕猴桃种质资源鉴定评价工作主要围绕农艺性状开展,是筛选优质资源的

重要依据^[7-8]。李红莉等^[9]对黑龙江省98份野生软枣猕猴桃种质资源的表型性状进行比对分析,共提取3个主成分,累计贡献率达到82.322%,聚类分析共分为7类,其中第1类和第2类可作为遗传改良的优质资源。何艳丽等^[1]对35份软枣猕猴桃种质资源的21项指标进行主成分分析,共提取到5个主成分,基于因子分析法对果实进行综合评价,筛选出5份品质优良的软枣猕猴桃种质资源。仇占南等^[10]为研究北京野生软枣猕猴桃种质资源的栽培价值,对11份资源的8项果实品质指标进行检测分析,研究发现野生果实个体之间品质差异较大,并建立了以总酚、维生素C含量等为主要指标的综合评价体系,有利于优良野生资源的筛选。

笔者在本研究中以中国农业科学院特产研究所软枣猕猴桃资源圃保存的88份软枣猕猴桃种质资源为材料,通过对其果实的外观品质和营养品质等多项生理指标进行检测分析,运用相关性分析和主成分分析方法构建软枣猕猴桃果实品质综合评价模型,明确各软枣猕猴桃种质资源之间的差异,筛选出优质资源,旨在为软枣猕猴桃优异种质资源发掘及

品质改良提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

软枣猕猴桃样本于2024年9月采于中国农业科学院特产研究所软枣猕猴桃资源圃(表1),北纬44°00'~44°07',东经126°01'~126°08',平均海拔279 m, T形架栽培,架高1.8 m,东西行向,行株距2.5 m×2 m,暗棕森林土。

试剂:氢氧化钠、无水碳酸钠(北京化工厂);葱酮、甲醇、无水乙醇(国药集团化学试剂有限公司);硫酸(西陇科学股份有限公司);磷酸(天津市凯信化学工业有限公司);没食子酸(天津市光复精细化工研究所);福林酚(北京索莱宝科技有限公司)。以上试验所用试剂均为分析纯。维生素C、无水柠檬酸、奎尼酸、苹果酸、乳酸标品(上海源叶生物科技有限公司),试验所用标品均为色谱纯。

仪器:万分之一天平(型号BSA 224S-CW,赛多利斯科学仪器有限公司);超声波清洗器(型号KQ-300E,昆山市超声仪器有限公司);雪花制冰机(型

表1 88份软枣猕猴桃种质资源编号及名称

Table 1 Number and name of 88 *Actinidia arguta* germplasm resources

编号 No.	材料名称 Material name	编号 No.	材料名称 Material name	编号 No.	材料名称 Material name	编号 No.	材料名称 Material name
R1	020203	R23	140301	R45	S080603	R67	W060401
R2	020401	R24	151002	R46	S090201	R68	W050801
R3	041002	R25	160701	R47	T050504	R69	W010401
R4	040103	R26	160901	R48	T060301	R70	W010501
R5	060203	R27	170101	R49	T060503	R71	W070601
R6	060403	R28	170301	R50	T070401	R72	W030101
R7	060902	R29	170302	R51	T070301	R73	W030501
R8	100101	R30	180902	R52	T090302	R74	W040401
R9	100703	R31	180102	R53	T100803	R75	W040701
R10	100801	R32	180602	R54	T100801	R76	W100103
R11	101201	R33	180303	R55	T100503	R77	W100501
R12	111002	R34	190403	R56	T100401	R78	W110101
R13	111001	R35	191002	R57	T100202	R79	W110401
R14	110702	R36	S010402	R58	T110601	R80	L050107
R15	110101	R37	S020402	R59	210101	R81	L060503
R16	120101	R38	S040502	R60	170303	R82	L080308
R17	120601	R39	S050802	R61	S090602	R83	L080401
R18	130101	R40	S060502	R62	T100903	R84	L090401
R19	130602	R41	S070101	R63	T060203	R85	L100206
R20	130701	R42	S080701	R64	120102	R86	L110203
R21	130801	R43	S080401	R65	020402	R87	C190101
R22	140602	R44	S080302	R66	W060701	R88	C190201

号FW40,北京长流科学仪器公司);电热恒温水浴锅(型号HWS24,上海一恒科学仪器有限公司);高速冷冻离心机(型号Allegra 64R,贝克曼库尔特有限公司);酶标仪(型号EPOCH,美国伯腾仪器有限公司);数显式游标卡尺(型号DL91150,上海世达工具有限公司);便携式数显糖度计(型号PAL-1,日本ATAGO公司);高效液相色谱仪(型号G1329A,安捷伦科技有限公司)

1.2 方法

1.2.1 样品采收与处理 采样时随机选取资源圃内长势良好的果树,随机选择大小均匀、无病虫害的软枣猕猴桃果实30个,于室温下放置,待果实自然后熟至可食用时测定各项指标。

1.2.2 果实外观品质的测定 参照《果蔬采后生理生化实验指导》^[11]测定软枣猕猴桃果实横径、纵径、侧径及单果质量。横径、纵径、侧径(mm):采用游标卡尺测量,每个品种重复测量3次,果形指数=果实纵径/果实横径;果实质量(g):随机选取10个软枣猕猴桃果实放在电子天平上称量,重复称量3次,计算平均单果质量。

1.2.3 果实营养品质的测定 可溶性固形物含量:将软枣猕猴桃果实榨汁,取果实汁液滴在便携式数显糖度计上读数;可滴定酸含量($\rho, \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$):采用氢氧化钠溶液滴定法^[12];固酸比=可溶性固形物含量/可滴定酸含量;总糖含量($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$):采用硫酸—蒽酮比色法绘制葡萄糖标准曲线^[13];总酚含量($w, \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$):采用福林酚比色法绘制没食子酸标准曲线^[14]。实验中每个样品3次重复取平均值。

1.2.4 有机酸含量的测定 标准品溶液的制备:精准称取标准品柠檬酸14.18 mg、奎尼酸8.71 mg、苹果酸15.88 mg、乳酸14.91 mg,加0.1%磷酸水溶液置于10 mL容量瓶中,涡旋振荡后过0.45 μm 微孔滤膜配成标准品溶液并混合制成储备溶液,将其逐级稀释成不同浓度的标准品溶液,以测定出的标准品溶液浓度为横坐标,峰面积为纵坐标绘制标准曲线(表2)。

测试品溶液的制备:用磷酸水溶液稀释软枣猕猴桃果汁,离心后取上清液过0.45 μm 微孔滤膜。

测量时每个样品重复测量3次取平均值。

色谱条件: Eternal XT-C18 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm, 5 μm),流动相0.1%磷酸水—甲醇,流速0.4 mL \cdot min⁻¹,进样量10 μL ,检测波长210 nm,柱温25 $^{\circ}\text{C}$ 。

表2 5种有机酸的标准曲线

Table 2 Standard curves of 5 organic acids

名称 Name	标准曲线 Standard curve	相关系数 Correlation coefficient
柠檬酸 Citric acid	$Y=1\ 855.70x-139.900$	$R^2=0.999\ 6$
奎尼酸 Quinic acid	$Y=743.72x-28.675$	$R^2=0.999\ 5$
苹果酸 Malic acid	$Y=1\ 262.70x-11.667$	$R^2=0.999\ 3$
乳酸 Lactic acid	$Y=1\ 071.80x-7.871$	$R^2=0.999\ 9$
维生素 C Vitamin C	$Y=13\ 948.00x-89.324$	$R^2=0.999\ 9$

1.3 数据分析

采用Microsoft Excel 2021对试验所得数据进行统计处理,采用SPSS 22.0对所得数据进行差异性分析、相关性分析和主成分分析,综合评价不同软枣猕猴桃资源果实品质。

2 结果与分析

2.1 软枣猕猴桃果实外观品质差异分析

果实横径、果实纵径、果形指数、单果质量是衡量果实外观品质的重要指标。如表3所示,88份软枣猕猴桃种质资源外观性状存在不同程度的差异。果实横径变异系数11.71%,变化范围19.28~33.07 mm,平均25.79 mm;纵径变异系数11.96%,变化范围在22.00~44.49 mm之间,平均值31.87 mm;侧径变异系数11.89%,变化范围16.50~30.07 mm,平均21.78 mm。果实横径最大的软枣猕猴桃种质资源为111002,最小的是130602;果实纵径最大的是L060503,最小的是T100903;果实侧径最大的是S090602,最小的是S060502。果形指数变异系数为18.36%,变化范围在0.80~1.77之间,软枣猕猴桃果实纵径普遍大于横径。单果质量变异系数为27.64%,变化范围在4.13~18.31 g之间,平均值为10.24 g,其中果实质量最大的是L060503,果实质量最小的是T100903。

2.2 软枣猕猴桃果实营养品质差异分析

可溶性固形物含量是评价果蔬成熟度及品质的重要指标之一,其含量的多少直接影响软枣猕猴桃的口感风味。如表4所示,可溶性固形物含量(w ,后同)平均值为11.17%,变化范围7.13%~17.73%,变异系数23.83%。其中可溶性固形物含量最高的是L080308,最低的是130701。

软枣猕猴桃中酸的含量对其风味有很大的影响。88份软枣猕猴桃果实可滴定酸含量(ρ ,后同)平均值为6.92 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,变化范围在2.76~15.69 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,变异系数达到37.01%。可滴定酸含量最高的软

表3 88份软枣猕猴桃种质资源外观品质
Table 3 Appearance quality of 88 *A. arguta* germplasm resources

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
横径 Transverse diameter/mm	33.07	19.28	13.79	25.79	3.02	11.71
纵径 Longitudinal diameter/mm	44.49	22.00	22.49	31.87	5.41	11.96
侧径 Lateral diameter/mm	30.07	16.50	13.57	21.78	2.59	11.89
果形指数 Fruit shape index	1.77	0.80	0.97	1.25	0.23	18.36
单果质量 Single fruit mass/g	18.31	4.13	14.18	10.24	2.83	27.64

枣猕猴桃为W030101,含量最低的是W010501。

固酸比可在一定程度上评估果实的风味和品质,比值越高,果实越甜。软枣猕猴桃果实固酸比平均值为1.83,变异系数43.69%,W010401固酸比最高达到4.93,W030101固酸比最低为0.70。

总糖含量影响软枣猕猴桃果实的口感,总糖含量多则果实更加香甜,是评价软枣猕猴桃果实品质的一项重要指标。软枣猕猴桃果实总糖含量变化范围在14.27~88.02 g·L⁻¹之间,平均值42.48 g·L⁻¹,变异系数38.28%。总糖含量最高的是140301,最低的是T100503。

酚类化合物广泛存在于自然界中,具有较强的清除自由基能力,在临床上有抗氧化、抗炎、提高免疫力等作用^[15]。软枣猕猴桃资源果实总酚含量变化范围为0.41~1.82 mg·g⁻¹,平均值为0.99 mg·g⁻¹,变异系数24.62%,总酚含量最高的是W110101,最低的是W060401。

不同种类的果实因含有不同种类的有机酸,故而在相互作用下呈现其独特的口感。有机酸种类和含量对软枣猕猴桃果实的酸度及风味均有影响。由表4可知,柠檬酸和奎尼酸是88份软枣猕猴桃果实的优

势有机酸,柠檬酸含量为0.90~15.83 g·L⁻¹,奎尼酸含量为1.30~27.77 g·L⁻¹,苹果酸含量为0.35~5.08 g·L⁻¹,乳酸含量为0.28~4.92 g·L⁻¹,酸含量最高的果实是060203,最低的是W060401。

维生素C是人体必需的一种微量营养成分,参与机体复杂的代谢过程,提高抵抗力,人体不能自行合成维生素C,只能靠从外界食物中获取。88份软枣猕猴桃果实维生素C含量平均值为47.71 mg·100 g⁻¹,变异系数68.29%,W110101维生素C含量为206.77 mg·100 g⁻¹,高于其他果实,其次为T100202和W100103,含量分别为133.77 mg·100 g⁻¹和123.80 mg·100 g⁻¹,含量最低的130701仅有5.26 mg·100 g⁻¹。

2.3 软枣猕猴桃果实性状相关性分析

为了进一步研究软枣猕猴桃果实各品质指标之间的关系,对88份软枣猕猴桃种质资源果实15个品质性状进行相关性分析,结果见表5。横径与纵径、侧径、果形指数、单果质量、维生素C含量呈极显著相关;可溶性固形物含量与可滴定酸含量、固酸比互呈极显著相关,与5种有机酸含量呈极显著正相关;可滴定酸含量与总酚、柠檬酸、奎尼酸、苹果酸、维生素C含量呈极显著正相关;固酸比与总糖含量呈极

表4 88份软枣猕猴桃种质资源营养品质
Table 4 Nutritional quality of 88 *A. arguta* germplasm resources

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	17.73	7.13	10.60	11.17	2.66	23.83
ρ(可滴定酸) Titratable acids content/(g·L ⁻¹)	15.69	2.76	12.93	6.92	2.56	37.01
固酸比 Solid to acid ratio	4.93	0.70	4.23	1.83	0.80	43.69
ρ(总糖) Total sugar content/(g·L ⁻¹)	88.02	14.27	73.75	42.48	16.26	38.28
w(总酚) Total phenols content/(mg·g ⁻¹)	1.82	0.41	1.41	0.99	0.24	24.62
ρ(柠檬酸) Citric acid content/(g·L ⁻¹)	15.83	0.90	14.93	5.19	3.00	57.77
ρ(奎尼酸) Quinic acid content/(g·L ⁻¹)	27.77	1.30	26.47	7.67	4.09	53.33
ρ(苹果酸) Malic acid content/(g·L ⁻¹)	5.08	0.35	4.73	1.80	0.98	54.26
ρ(乳酸) Lactic acid content/(g·L ⁻¹)	4.92	0.28	4.64	1.76	1.22	69.11
w(维生素C) Vitamin C content/(mg·100 g ⁻¹)	206.77	5.26	201.51	47.71	32.58	68.29

表5 88份软枣猕猴桃种质资源果实性状相关性分析

Table 5 Correlation analysis of fruit traits in 88 *A. arguta* germplasm resources

指标 Index	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14
H2	0.220**													
H3	0.749**	0.082												
H4	-0.471**	0.745**	-0.426**											
H5	0.615**	0.715**	0.493**	0.219**										
H6	0.131*	0.255**	0.012	0.138*	0.221**									
H7	0.078	-0.108	-0.039	-0.156*	-0.079	0.166**								
H8	0.030	0.167**	0.030	0.135*	0.160**	0.416**	-0.724**							
H9	0.113	0.225**	0.003	0.121	0.190**	0.826**	0.030	0.436**						
H10	0.101	0.027	0.119	-0.055	0.023	0.143*	0.277**	-0.081	0.179**					
H11	0.069	-0.118	0.001	-0.153*	-0.105	0.159**	0.647**	-0.426**	0.062	0.253**				
H12	0.034	-0.013	-0.028	-0.040	-0.008	0.248**	0.346**	-0.132*	0.176**	0.178**	0.280**			
H13	-0.042	-0.050	-0.020	-0.021	-0.082	0.279**	0.337**	-0.147*	0.155*	0.188**	0.245**	0.437**		
H14	-0.059	0.247**	-0.078	0.253**	0.130*	0.235**	0.128*	-0.011	0.179**	0.006	-0.037	0.120	-0.080	
H15	0.171**	0.056	0.178**	-0.066	0.082	0.230**	0.308**	-0.093	0.201**	0.678**	0.365**	0.195**	0.197**	-0.077

注: H1. 横径; H2. 纵径; H3. 侧径; H4. 果形指数; H5. 单果质量; H6. 可溶性固形物含量; H7. 可滴定酸含量; H8. 固酸比; H9. 总糖含量; H10. 总酚含量; H11. 柠檬酸含量; H12. 奎尼酸含量; H13. 苹果酸含量; H14. 乳酸含量; H15. 维生素 C 含量。下同。**表示在 0.01 水平上极显著相关; *表示在 0.05 水平上显著相关。

Note: H1. Transverse diameter; H2. Longitudinal diameter; H3. Lateral diameter; H4. Fruit shape index; H5. Single fruit mass; H6. Soluble solids content; H7. Titratable acids content; H8. Solid to acid ratio; H9. Total sugar content; H10. Total phenols content; H11. Citric acid content; H12. Quinic acid content; H13. Malic acid content; H14. Lactic acid content; H15. Vitamin C content. The same below. **indicates a extremely significant correlation at $p < 0.01$; *indicates a significant correlation at $p < 0.05$.

显著正相关,与柠檬酸含量呈极显著负相关;总糖含量与总酚、奎尼酸、乳酸及维生素 C 含量呈极显著正相关;总酚含量与乳酸以外的4种有机酸含量呈极显著正相关;柠檬酸含量与奎尼酸、苹果酸、维生素 C 含量互呈极显著正相关。

2.4 软枣猕猴桃果实性状主成分分析

主成分分析是一种广泛使用的多元统计分析方法,将样品中鉴定到的所有变量形成一组新的综合变量,从中提取2~3个综合变量来反映原有变量的信息,根据提取到的综合变量贡献率来评估样品之间的差异性,使冗余的数据可视化。由于软枣猕猴桃果实各项品质指标间单位不同,因此对这15项指标的原始数据进行数据标准化处理,将标准化后的数据通过主成分分析,对特征值大于1的主成分进行提取,结果见表6。特征值大于1的主成分有5个,累计方差贡献率达到75.384%,这表明提取到的5个主成分可反映软枣猕猴桃果实品质性状的大部分信息,可作为软枣猕猴桃评价的综合指标。

第1主成分特征值为3.123,方差贡献率20.819%,说明主成分1在分析评价中起主导作用。

其中,可滴定酸、维生素 C、柠檬酸含量等有较高的载荷值,并对主成分1产生了正向影响,主要反映了果实的营养品质性状。第2主成分特征值为2.969,贡献率为19.790%,载荷值较高的有果实纵径和单果质量等,主要反映了果实外观品质性状。第3主成分贡献率为15.490%,与可溶性固形物和总糖含量相关,主要反映了果实的含糖量。第4主成分贡献率为11.062%,与果形指数和纵径相关。第5主成分贡献率为8.222%,与奎尼酸和乳酸含量相关。综上所述,果实横径、纵径、果形指数、单果质量及可溶性固形物、可滴定酸、总糖、总酚含量等是评价软枣猕猴桃果实品质的重要指标。

2.5 综合评价

由于5个主成分的方差贡献率不同,因此在进行综合评价时,利用表6的主成分载荷矩阵中各项数据除以开完根号后的主成分对应特征值,得到5个主成分各种指标对应的特征向量,以特征向量为权重构建5个主成分的函数表达式:

$$F_1 = 0.223H_1 + 0.049H_2 + 0.166H_3 - 0.110H_4 + 0.123H_5 + 0.286H_6 + 0.397H_7 - 0.163H_8 + 0.231H_9 +$$

表6 88份软枣猕猴桃种质资源果实性状主成分分析

Table 6 Principal component analysis of fruit traits of 88 *A. arguta* germplasm resources

指标 Index	主成分1 PC1	主成分2 PC2	主成分3 PC3	主成分4 PC4	主成分5 PC5
H1	0.394	0.344	-0.776	0.041	0.179
H2	0.087	0.758	0.147	0.564	-0.103
H3	0.294	0.260	-0.806	-0.002	0.072
H4	-0.195	0.449	0.653	0.477	-0.216
H5	0.217	0.728	-0.366	0.402	0.060
H6	0.506	0.542	0.351	-0.391	0.214
H7	0.702	-0.436	0.137	0.318	0.207
H8	-0.288	0.660	0.058	-0.595	-0.107
H9	0.409	0.562	0.316	-0.460	0.116
H10	0.599	-0.028	0.020	-0.065	-0.644
H11	0.649	-0.371	0.094	0.136	0.049
H12	0.537	-0.089	0.250	-0.048	0.317
H13	0.506	-0.147	0.262	-0.142	0.188
H14	0.090	0.271	0.322	0.286	0.319
H15	0.677	-0.001	-0.028	-0.066	-0.606
特征值 Eigenvalue	3.123	2.969	2.324	1.359	1.233
贡献率 Contribution rate/%	20.819	19.790	15.490	11.062	8.222
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	20.819	40.640	56.100	67.162	75.384

$0.339H_{10} + 0.367H_{11} + 0.304H_{12} + 0.286H_{13} + 0.051H_{14} + 0.383H_{15}$;

$F_2 = 0.200H_1 + 0.440H_2 + 0.151H_3 + 0.261H_4 + 0.422H_5 + 0.315H_6 - 0.253H_7 + 0.383H_8 + 0.326H_9 - 0.016H_{10} - 0.215H_{11} - 0.052H_{12} - 0.085H_{13} + 0.157H_{14} - 0.001H_{15}$;

$F_3 = -0.509H_1 + 0.096H_2 - 0.529H_3 + 0.428H_4 - 0.240H_5 + 0.230H_6 + 0.090H_7 + 0.038H_8 + 0.207H_9 + 0.013H_{10} + 0.062H_{11} + 0.164H_{12} + 0.172H_{13} + 0.211H_{14} - 0.018H_{15}$;

$F_4 = 0.032H_1 + 0.438H_2 - 0.002H_3 + 0.370H_4 + 0.312H_5 - 0.304H_6 + 0.247H_7 - 0.462H_8 - 0.357H_9 - 0.050H_{10} + 0.106H_{11} - 0.037H_{12} - 0.110H_{13} + 0.222H_{14} - 0.051H_{15}$;

$F_5 = 0.161H_1 - 0.093H_2 + 0.065H_3 - 0.195H_4 + 0.054H_5 + 0.193H_6 + 0.186H_7 - 0.096H_8 + 0.104H_9 - 0.580H_{10} + 0.044H_{11} + 0.285H_{12} + 0.169H_{13} + 0.288H_{14} - 0.546H_{15}$ 。

以5个主成分所对应的方差贡献率为权重,构建软枣猕猴桃果实品质综合评价模型:

$F = 20.819\% F_1 + 19.790\% F_2 + 15.490\% F_3 + 11.062\% F_4 + 8.222\% F_5$ 。

利用该模型计算88份软枣猕猴桃资源果实综

合得分并进行排序,结果如表7所示。排名第一的资源为L060503,说明在这88份软枣猕猴桃种质资源中其各项指标表现优异,其次是060203、190403、L110203、040103。

3 讨论

种质资源是生产的基础,通过不断地改良和更新,可提高软枣猕猴桃的产量和品质。种质资源同时也是软枣猕猴桃资源创新的基础,通过对软枣猕猴桃资源品质指标的综合评价,找出各资源间品质指标的差异性,是选择和培育新品种的重要依据。

本研究结果表明,111002的横径、L060503的纵径和单果质量、S090602的侧径、L080308的可溶性固形物含量、W030101的可滴定酸含量、140301的总糖含量、W110101的总酚和维生素C含量、060203的有机酸含量高于其他软枣猕猴桃果实,这些种质资源可作为果实大小、营养成分的优良育种材料。

安宇宁等^[16]为探究软枣猕猴桃品种间的差异,对26个软枣猕猴桃品种进行综合评价,发现单果质量变化范围为4.43~19.34 g,果实横径变化范围在19.75~35.19 mm之间,果实纵径变化范围在21.64~52.28 mm之间,果形指数变化范围为0.78~1.78,与

表7 88份软枣猕猴桃种质资源综合得分与排名
Table 7 Comprehensive score and ranking of 88 *A. arguta* germplasm resources

编号 No.	综合评价得分 Comprehensive evaluation score	排名 Ranking	编号 No.	综合评价得分 Comprehensive evaluation score	排名 Ranking
R1	-0.425	60	R45	-0.484	67
R2	-0.006	38	R46	-0.646	78
R3	0.438	23	R47	-0.200	43
R4	1.035	5	R48	-0.150	44
R5	1.410	2	R49	-0.571	74
R6	0.465	19	R50	-0.424	59
R7	0.716	10	R51	-0.141	43
R8	-0.466	65	R52	-0.753	80
R9	-0.281	50	R53	-0.392	57
R10	-0.846	82	R54	-0.495	70
R11	-0.434	62	R55	-1.024	84
R12	-0.074	41	R56	-0.488	69
R13	0.967	6	R57	0.066	34
R14	0.224	29	R58	-0.287	51
R15	0.519	18	R59	-0.591	76
R16	0.616	14	R60	0.238	28
R17	-0.466	65	R61	-0.346	55
R18	-0.230	47	R62	-0.645	77
R19	-0.307	52	R63	0.062	35
R20	-0.140	42	R64	0.697	11
R21	-0.035	40	R65	0.195	30
R22	-0.315	54	R66	0.628	13
R23	0.457	20	R67	-0.790	81
R24	-0.487	68	R68	-0.500	71
R25	-0.715	79	R69	0.256	26
R26	-0.349	56	R70	-0.544	73
R27	0.033	36	R71	0.607	15
R28	-0.421	58	R72	0.557	17
R29	-0.447	64	R73	-0.508	72
R30	-0.432	61	R74	-0.246	49
R31	0.759	9	R75	0.109	33
R32	-0.011	39	R76	0.253	27
R33	-0.179	56	R77	-0.445	63
R34	1.342	3	R78	0.031	37
R35	-0.472	66	R79	0.349	24
R36	0.347	25	R80	0.867	7
R37	0.589	16	R81	1.428	1
R38	0.453	22	R82	0.967	6
R39	-0.961	83	R83	0.692	12
R40	-0.309	53	R84	0.456	21
R41	-0.238	48	R85	0.145	31
R42	-0.574	75	R86	1.204	4
R43	0.113	32	R87	0.804	8
R44	-0.574	75	R88	-0.230	47

本研究结果相比有所差异,考虑该结果为选用软枣猕猴桃果实资源及生长环境不同导致。本研究中软枣猕猴桃果实总糖含量变化范围为14.27~88.02 g·L⁻¹,与温锦丽等^[17]的研究结果相似。何艳丽等^[18]测得32份软枣猕猴桃资源果实总酚含量变化范围为0.75~2.26 mg·g⁻¹,总酚含量与本研究结果存在差异,其原因可能与软枣猕猴桃品种不同有关。

不同软枣猕猴桃种质资源果实的品质指标间差异性较大,用单一的指标或者几个指标来评价软枣猕猴桃种质资源过于武断,需要用科学、系统的分析方法对其进行综合评价。赵柏棚等^[19]以149份山楂为试材,利用隶属函数和聚类分析筛选出15份山楂资源为优异种质资源。郭益洋等^[20]对429份玉米自交系的粒长、粒宽、长宽比、粒面积、百粒质量和容重6个数量性状及蛋白质、淀粉、油脂和赖氨酸含量4个品质性状进行评价,主成分分析共提取到4个主成分,累计贡献率达到79.8%;逐步回归分析表明粒面积、百粒质量、容重3个性状可作为玉米籽粒质量综合评价的关键指标。

笔者在本研究中对88份软枣猕猴桃种质资源的15项品质指标进行主成分分析,对特征值大于1的变量进行提取,从15项品质指标中共提取到5个主成分,累计贡献率达到75.384%,最后以特征向量为权重构建函数表达式进行综合得分评价,计算得出L060503、060203、190403、L110203、040103为排名前5的优异种质资源。在评价选育软枣猕猴桃优良资源时,除了对果实品质指标进行考量外,还应对果实氨基酸含量、抗氧化活性以及果实挥发性风味物质等指标进行测定,同时还需要对果实的抗病性、耐贮性、丰产性等进行观察,在今后的工作中应针对这些问题继续深入研究,这样才能全面筛选出产量高、营养丰富、风味好、耐贮运的优良品种,促进软枣猕猴桃产业健康可持续发展。

4 结 论

不同软枣猕猴桃种质资源果实品质指标间差异性较大,采用相关性分析和主成分分析综合评价的结果表明:L060503、060203、190403、L110203、040103为排名前5的优异种质资源;果实横径、纵径、单果质量及可溶性固形物、可滴定酸、总糖、总酚、有机酸、维生素C含量可作为软枣猕猴桃果实品质评价的核心指标。

参考文献 References:

- [1] 何艳丽,秦红艳,温锦丽,范书田,杨义明,张宝香,曹炜玉,路文鹏,李昌禹. 35份软枣猕猴桃资源果实品质分析与综合评价[J]. 果树学报,2023,40(8):1523-1533.
HE Yanli, QIN Hongyan, WEN Jinli, FAN Shutian, YANG Yiming, ZHANG Baoxiang, CAO Weiyu, LU Wenpeng, LI Changyu. Quality analysis and comprehensive evaluation of 35 *Actinidia arguta* accessions[J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40(8):1523-1533.
- [2] 刘青,贾东峰,黄春辉,钟敏,廖光联,徐小彪. 软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)种质资源研究进展[J]. 北方园艺,2020(22):132-137.
LIU Qing, JIA Dongfeng, HUANG Chunhui, ZHONG Min, LIAO Guanglian, XU Xiaobiao. Research progress on germplasm resources of *Actinidia arguta*[J]. Northern Horticulture, 2020(22):132-137.
- [3] 金铭,刘德江,杨成君. 软枣猕猴桃活性成分及功能研究进展[J]. 高师理科学刊,2023,43(12):88-92.
JIN Ming, LIU Dejiang, YANG Chengjun. Research progress on main active constituents and functional effects of *Actinidia arguta* fruits[J]. Journal of Science of Teachers' College and University, 2023, 43(12):88-92.
- [4] 张良英,刘林,于立杰,刘启,齐边斌. 软枣猕猴桃果实发育期品质指标及抗氧化能力的变化[J]. 食品与机械,2023,39(7):157-164.
ZHANG Liangying, LIU Lin, YU Lijie, LIU Qi, QI Bianbin. Changes of quality characteristics and antioxidant capacities during fruit development of hardy kiwifruit[J]. Food & Machinery, 2023, 39(7):157-164.
- [5] 丁玉萍,王梦泽,刘宇欣,斯克里普琴科 N V,刘德江. 软枣猕猴桃产品开发及利用研究进展[J]. 食品与发酵工业,2023,49(6):308-314.
DING Yuping, WANG Mengze, LIU Yuxin, SKRIPCHENKO N V, LIU Dejiang. Research progress on product development and utilization of *Actinidia arguta*[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(6):308-314.
- [6] 牛强,申健,刘悦,聂春颖,斯克里普琴科 N V,刘德江. 软枣猕猴桃主要活性成分及药理活性研究进展[J]. 食品工业科技,2019,40(3):333-338.
NIU Qiang, SHEN Jian, LIU Yue, NIE Chunying, SKRIPCHENKO N V, LIU Dejiang. Research progress on main active constituents and pharmacological activities of *Actinidia arguta*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3):333-338.
- [7] 李文俊,郭延平,杨生华,邵扬. 513份蚕豆种质资源主要农艺性状遗传多样性分析[J/OL]. 作物杂志,2024:1-14. (2024-09-30). <https://link.cnki.net/urlid/11.1808.S.20240930.1130.002>.
LI Wenjun, GUO Yanping, YANG Shenghua, SHAO Yang. Analysis of genetic diversity of main agronomic traits of 513 faba bean germplasm resources[J/OL]. Journal of Crops, 2024: 1-
14. (2024-09-30). <https://link.cnki.net/urlid/11.1808.S.20240930.1130.002>.
- [8] 陶双勇,逢宏扬,王澎,李红莉,李雪,谭放,孙玉娟,夏善智. 黑龙江不同区域软枣猕猴桃种质资源的果实品质多样性评价[J]. 中国果树,2024(10):69-76.
TAO Shuangyong, PANG Hongyang, WANG Peng, LI Hongli, LI Xue, TAN Fang, SUN Yujuan, XIA Shanzhi. Evaluation on fruit quality diversity of *Actinidia arguta* germplasm resources in different regions of Heilongjiang province[J]. China Fruits, 2024(10):69-76.
- [9] 李红莉,逢宏扬,李雪,王澎,孙强,陶双勇. 黑龙江省野生软枣猕猴桃果实表型性状多样性分析[J]. 北方园艺,2021(16):16-23.
LI Hongli, PANG Hongyang, LI Xue, WANG Peng, SUN Qiang, TAO Shuangyong. Analysis on phenotypic diversity of wild *Actinidia arguta* fruit in Heilongjiang province[J]. Northern Horticulture, 2021(16):16-23.
- [10] 仇占南,张茹阳,彭明朗,张文,李天忠,朱元娣. 北京野生软枣猕猴桃果实品质综合评价体系[J]. 中国农业大学学报,2017,22(2):45-53.
QIU Zhannan, ZHANG Ruyang, PENG Minglang, ZHANG Wen, LI Tianzhong, ZHU Yuandi. Comprehensive evaluation system of the fruit quality of wild *Actinidia arguta* in Beijing[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(2):45-53.
- [11] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007.
CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Experiments guidance of postharvest physiological and biochemical of fruits and vegetables[M]. Beijing:China Light Industry Press, 2007.
- [12] 郭静,伏芳,高同雨,姜峰,李天忠,朱元娣. '京白梨'优质果实的评价指标分析[J]. 中国农业大学学报,2022,27(1):79-95.
GUO Jing, FU Fang, GAO Tongyu, JIANG Feng, LI Tianzhong, ZHU Yuandi. Analysis on evaluation index of high quality *Pyrus ussuriensis* 'Jingbaili' fruits[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(1):79-95.
- [13] 张述伟,宗营杰,方春燕,黄赛华,李静,许建华,王亦菲,刘成洪. 蒽酮比色法快速测定大麦叶片中可溶性糖含量的优化[J]. 食品研究与开发,2020,41(7):196-200.
ZHANG Shuwei, ZONG Yingjie, FANG Chunyan, HUANG Saihua, LI Jing, XU Jianhua, WANG Yifei, LIU Chenghong. Optimization of anthrone colorimetric method for rapid determination of soluble sugar in barley leaves[J]. Food Research and Development, 2020, 41(7):196-200.
- [14] 林倩,吴昊,刘芊辰,邵娟娟. 响应面法优化福林酚法测定冬枣中总酚含量[J]. 食品工业,2020,41(4):86-90.
LIN Qian, WU Hao, LIU Qianchen, SHAO Juanjuan. Optimization of folin-ciocalteu method for total phenol content in winter jujube by response surface methodology[J]. The Food Industry, 2020, 41(4):86-90.
- [15] 刘晓海,茹月蓉,张雪春,周旭红,何霞红,王振兴. 103种药食

- 两用植物化学成分分析及功能活性评价[J]. 中国食品学报, 2024, 24(8): 385-402.
- LIU Xiaohai, RU Yuerong, ZHANG Xuechun, ZHOU Xuhong, HE Xiahong, WANG Zhenxing. Analysis of the chemical constituents and evaluation of the functional activities of 103 kinds of medicinal and edible plants[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(8): 385-402.
- [16] 安宇宁, 赵云财, 霍俊伟, 刘德江, 包怡红. 26个软枣猕猴桃品种果实品质分析及综合评价[J/OL]. 食品工业科技, 2024: 1-17. (2024-11-05) [2024-11-13]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024080079>.
- AN Yuning, ZHAO Yuncai, HUO Junwei, LIU Dejiang, BAO Yihong. Quality analysis and comprehensive evaluation of 26 varieties of *Actinidia arguta* fruits[J/OL]. China Industrial Economics, 2024: 1-17. (2024-11-05) [2024-11-13]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024080079>.
- [17] 温锦丽, 曹炜玉, 王月, 何艳丽, 孙怡宁, 原鹏强, 孙博位, 路文鹏. 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, 2024, 45(1): 247-257.
- WEN Jinli, CAO Weiyu, WANG Yue, HE Yanli, SUN Yining, YUAN Pengqiang, SUN BOWEI, LU Wenpeng. Comprehensive evaluation of fruit quality of *Actinidia arguta* based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(1): 247-257.
- [18] 何艳丽, 温锦丽, 秦红艳, 曹炜玉, 王月, 王衍莉, 路文鹏, 李昌禹. 不同软枣猕猴桃资源果实抗氧化活性比较分析[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(12): 35-42.
- HE Yanli, WEN Jinli, QIN Hongyan, CAO Weiyu, WANG Yue, WANG Yanli, LU Wenpeng, LI Changyu. Comparative analysis on antioxidant activity of fruits of *Actinidia arguta* from different resources[J]. Food Research and Development, 2024, 45(12): 35-42.
- [19] 赵柏棚, 崔茗淇, 孙馨宇, 汪宇, 王祥旭, 刘月学, 张泉. 149份山楂种质资源果实总酚、黄酮、花青苷含量差异分析[J/OL]. 果树学报, 2024: 1-16. (2024-12-02) [2024-12-10]. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20240535>.
- ZHAO Baipeng, CUI Mingqi, SUN Xinyu, WANG Yu, WANG Xiangxu, LIU Yuexue, ZHANG Xiao. Difference analysis in the content of the total phenols, flavonoid, and anthocyanin of 149 hawthorn germplasm resources[J/OL]. Journal of Fruit Science, 2024: 1-16. (2024-12-02) [2024-12-10]. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsxb.20240535>.
- [20] 郭益洋, 郭书磊, 张君, 史喜飞, 赵海军, 陈盛, 韩赞平. 429份玉米种质籽粒物理及品质性状综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(5): 25-33.
- GUO Yiyang, GUO Shulei, ZHANG Jun, SHI Xifei, ZHAO Haijun, CHEN Sheng, HAN Zanping. Identification and comprehensive evaluation of seed physical and quality traits of 429 maize germplasms[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2024, 42(5): 25-33.