

基于主成分分析和聚类分析不同品种猕猴桃品质评价

刘肖冰

(三亚航空旅游职业学院旅游管理系, 海南三亚 572000)

摘要: 为科学评价不同品种猕猴桃果实品质, 建立了不同品种猕猴桃品质评价体系。该文以 18 个品种猕猴桃为研究对象, 测定其 16 项外观品质、内在营养品质。分析了猕猴桃品种间各个营养指标的变异性, 通过主成分分析和聚类分析法对猕猴桃的品质做出综合性评价。结果表明, 18 个品种猕猴桃品质指标存在差异性, 其中 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、可溶性固形物、Vc、干物质、总黄酮、总酸、糖酸比等指标变异系数均大于 20%, 表明品种之间存在差异性。经过主成分分析, 提取了 5 个主成分, 其累计方差贡献率为 86.851%, 综合排名前三的猕猴桃品种分别为美味、翠香、农大金猕等。聚类分析将 18 个品种猕猴桃分为 3 类群, 其中美味猕猴桃单独为一类群, 该猕猴桃具有水分含量高, 甜度大, 口感较好的特点。该研究结果可为不同品种猕猴桃的品质评价提供借鉴, 并为猕猴桃的育种及开发提供理论依据。

关键词: 猕猴桃; 主成分分析; 聚类分析; 品质评价

文章编号: 1673-9078(2024)10-284-292

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.10.1242

Quality Evaluation of Different Varieties of Kiwifruit Based on Principal Components Analysis and Cluster Analysis

LIU Xiaobing

(Department of Tourism Management, Sanya Aviation and Tourism College, Sanya 572000, China)

Abstract: To experimentally analyze the fruit quality of various varieties of kiwifruit, we established a system for evaluating different kiwifruit varieties. Here, 18 varieties of kiwifruit were studied by employing 16 indexes corresponding to appearance and internal nutritional quality. The variability of various nutritional indexes among kiwifruit varieties was analyzed, and the quality of kiwifruit was comprehensively evaluated using principal components analysis (PCA) and cluster analysis. Results showed that there were differences in the quality indexes of 18 kiwifruit varieties, and the coefficients of variation of L^* , a^* , b^* , soluble solid, Vc, dry matter, total flavonoids, total acid, and sugar-acid ratio were all greater than 20%, indicating that there were differences among various varieties of kiwifruit. PCA revealed five principal components for extraction; the cumulative explained variance ratio was 86.851% and the top three varieties were *Actinidia deliciosa* 'Bruno', 'Cuixiang', and 'Nongda Jinmi'. Cluster analysis segregated the 18 kiwifruit varieties into three clusters, with *A. deliciosa* 'Bruno' forming a single cluster. *A. deliciosa* 'Bruno' had the following characteristics: high moisture content, high sweetness, and

引文格式:

刘肖冰. 基于主成分分析和聚类分析不同品种猕猴桃品质评价[J]. 现代食品科技, 2024, 40(10): 284-292.

LIU Xiaobing. Quality evaluation of different varieties of kiwifruit based on principal components analysis and cluster analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(10): 284-292.

收稿日期: 2023-10-17

基金项目: 海南省高等学校创新基金项目 (ZDYF2020075); 海南省自然科学基金高层次人才项目 (320RC733)

作者简介: 刘肖冰 (1984-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品营养与加工研究, E-mail: 2976758507@qq.com

good taste. The results of this study can provide a reference for the quality evaluation of different kiwifruit varieties and a theoretical basis for the breeding and development of kiwifruit.

Key words: kiwifruit; principal components analysis; cluster analysis; quality evaluation

猕猴桃 (*Actinidia chinensis* Planch) 又名水果之王、果中之王、维 C 之王、羊桃, 为侧膜胎座目, 猕猴桃科, 猕猴桃属, 猕猴桃种, 落叶藤本植物^[1,2]。果实营养多汁, 酸甜可口, 富含维生素 C、氨基酸、多糖和多种矿物质等营养成分, 是一种药食一体的水果^[3-5]。猕猴桃富含多种功能活性成分因而具有预防癌症、抗衰老、提高人体免疫、治疗肝脏疾病、消化不良、抑制肿瘤等药理功效^[6-8], 对人体健康具有重要作用, 因此深受消费者喜爱。

主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是一种通过降低数据维数, 通过对指标体系内部结构关系的研究, 将多个指标转化为相互独立的综合指标, 用简化的数据反映原始数据的多元统计分析方法^[9,10]。聚类分析 (Cluster Analysis, CA) 是一组将研究对象分为相对同质的群组统计分析技术^[11]。主成分分析法与聚类分析法已被广泛应用于果蔬品质指标筛选和品质综合评价研究中^[12,13], 然而鲜见用于猕猴桃果实品质指标的综合评价。目前关于猕猴桃的大多研究主要集中于对新品种的选育和改良, 但对不同品种猕猴桃果实品质的综合评价鲜见报道。本试验通过对 18 个不同品种猕猴桃中 16 项品质指标进行分析研究, 并运用相关性分析、主成分分析和聚类分析对试验数据进行统计分析, 建立了不同品种猕猴桃果实综合品质评价体系, 其分析结果可为不同品种猕猴桃的品质评价提供借鉴, 并为猕猴桃的育种及开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猕猴桃 (市售), 18 个不同品种猕猴桃分别是“金农 1 号”、“秦美”、“秋明”、“红心”、“泰山 1 号”、“金福”、“农大金猕”、“徐香”、“翠香”、“红阳”、“海沃德”、“瑞玉”、“华优”、“黄金果”、“哑特”、“丰悦”、“楚红”、“美味”。选取硬度为 (1.0 ± 0.1) kg/cm²、无腐烂、无机械损伤的果实进行试验。钨酸钠、钼酸钠、磷酸、偏磷酸、磷酸三钠、磷酸二氢钾、磷酸三钠、L-半胱氨酸、氢氧化钠、酚酞、盐酸、硫酸铜、酒石酸钾钠、冰乙酸、亚铁氰化钾、硝酸铝、

醋酸钾、乙酸锌等化学试剂均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 甲醇、乙腈、丙酮等化学试剂均为色谱纯, 美国 Fisher 公司; 没食子酸标准品 (纯度 > 99%), 南京森贝伽生物科技有限公司; 芦丁标准品 (纯度 > 99%), 上海岚派生物科技有限公司; L(+)-抗坏血酸 (纯度 > 99%)、D(-)-抗坏血酸 (异抗坏血酸, 纯度 > 99%) 等标准品, 北京拜尔迪生物技术有限公司; 葡萄糖、果糖、乳糖、蔗糖等标准品 (纯度 > 99%), 坛墨质检科技股份有限公司。

T700/T600 系列紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司; HGB550 组织捣碎机, 上海书俊仪器设备有限公司; HH-1 数显恒温水浴锅, 常州无有实验仪器有限公司; FA2004 电子分析天平, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; 16K-R 台式冷冻离心机, 长沙市鑫奥仪器仪表有限公司; IR180 专业型折射仪, 上海仪迈仪器科技有限公司; LC-2010HT 液相色谱仪 (配有二极管阵列检测器或紫外检测器), 日本岛津公司; QTR3120 超声波清洗器, 天津市瑞普电子仪器公司; LABOLUTION 均质器, 北京新月中科科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 猕猴桃外观品质分析

从供试样品中随机选取 10 个果实, 用感量为 0.01 g 电子分析天平称其质量; 以测定单果质量的样品用水果刀将果实从果蒂至果顶破开, 用游标卡尺测量果蒂至果顶距离, 即为果实纵径; 选取已破开的果实, 用游标卡尺测量垂直于果蒂至果顶的中部位置, 其距离为果实横径。果实纵径与果实横径的比值即为果形指数。

1.2.2 猕猴桃果肉色差分析

从供试样品中随机选取 10 个果实用刀切片处理, 采用 ZE7700 色差仪对果肉进行颜色测定, 用白板校正。将果实切片进行 L^* 、 a^* 、 b^* 等果实色泽参数测定, 每个品种分别取 10 个果实进行测定, 取其平均值。根据国际照明委员会制定表色系统 L^* 、 a^* 、 b^* 评价猕猴桃果实色泽。 L^* 代表亮度, L^* 越大表明被测样品偏亮偏白, L^* 越小表明被测样品偏暗偏黑; a^* 代表红绿轴色品指数, 其值越大表明

被测样品偏亮偏红, 其值越小表明被测样品偏暗偏绿; b^* 代表黄蓝轴色品指数, 其值越大表明被测样品偏亮偏黄, 其值越小表明被测样品偏暗偏蓝^[14,15]。

1.2.3 猕猴桃内在品质分析

水分含量的测定: 参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(第一法 直接干燥法); 单宁含量的测定: 参照 NY/T 1600-2008《水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定》(分光光度法); 可溶性固形物 (Total Soluble Solid, TSS) 含量的测定: 参照 NY/T 2637-2014《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定》(折射仪法); 维生素 C 含量的测定: 参照 GB 5009.86-2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》(第一法 高效液相色谱法); 总酸的测定: 参照 GB 12456-2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》(第一法 酸碱指示剂滴定法); 总糖的测定: 参照 GB 5009.7-2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》(第一法 直接滴定法); 总黄酮的测定: 参照 SN/T 4592-2016《出口食品中总黄酮的测定》。糖酸比的测定: 总糖与总酸的比值; 干物质含量的测定: 在果实中部位切取 4 mm 带皮的鲜切片放入 80 °C 烘箱中烘干至恒重, 烘干至恒重的干片质量与鲜切片质量比值即为干物质含量。

1.3 数据统计

采用 Excel 2020 对实验数据进行整理, 利用 SPSS 22 软件进行相关性分析、主成分分析、聚类分析。

2 结果与分析

2.1 猕猴桃外观品质分析

单果质量、果实指数是评价猕猴桃外观品质的重要指标。由表 1 可知, 猕猴桃单果质量变化范围是 45.76~93.78 g, 其中楚红品种的猕猴桃单果质量最小, 农大金猕猴桃的单果质量最大, 变异系数为 19.69%, 存在品中间差异。果实指数是猕猴桃果实纵径与横径的比值, 因此猕猴桃果实形状可以由果实纵径与横径转化为果实指数进行分析。果实指数越大表明猕猴桃形状呈修长椭圆形, 果实指数越小表明猕猴桃形状呈圆形。果实指数变化范围是 1.12~1.53, 其中中华优品种的猕猴桃果实指数最小, 金农 1 号品种的猕猴桃果实指数最大, 变异系数为 7.77%。

表 1 不同品种猕猴桃的外观品质

Table 1 Appearance quality of different varieties of kiwi fruit

品种	单果质量/g	纵径/cm	横径/cm	果实指数
金农 1 号	56.98 ± 2.87	5.43 ± 0.23	3.54 ± 0.21	1.53 ± 0.18
秦美	67.56 ± 1.07	5.87 ± 0.08	4.56 ± 0.18	1.29 ± 0.12
秋明	73.45 ± 2.01	5.98 ± 0.12	4.76 ± 0.28	1.26 ± 0.15
红心	89.87 ± 2.67	6.34 ± 0.26	4.87 ± 0.13	1.30 ± 0.11
泰山 1 号	69.76 ± 2.67	5.86 ± 0.07	4.34 ± 0.07	1.35 ± 0.21
金福	56.09 ± 1.23	4.98 ± 0.04	3.67 ± 0.11	1.36 ± 0.18
农大金猕猴桃	93.78 ± 4.32	7.98 ± 0.21	5.87 ± 0.21	1.36 ± 0.19
徐香	67.98 ± 2.33	5.87 ± 0.17	4.87 ± 0.23	1.21 ± 0.16
翠香	82.45 ± 2.54	6.98 ± 0.11	5.43 ± 0.38	1.29 ± 0.22
红阳	91.78 ± 2.23	7.45 ± 0.22	4.87 ± 0.67	1.53 ± 0.16
海沃德	83.67 ± 3.12	6.87 ± 0.31	5.65 ± 0.31	1.22 ± 0.18
瑞玉	67.76 ± 2.65	7.45 ± 0.43	5.54 ± 0.25	1.34 ± 0.28
华优	54.65 ± 2.08	6.44 ± 0.32	5.76 ± 0.17	1.12 ± 0.17
黄金果	72.56 ± 3.21	8.76 ± 0.36	6.67 ± 0.26	1.31 ± 0.27
哑特	54.76 ± 2.11	6.98 ± 0.41	5.76 ± 0.19	1.21 ± 0.19
丰悦	56.87 ± 2.07	6.56 ± 0.26	4.87 ± 0.15	1.35 ± 0.16
楚红	45.76 ± 2.12	5.98 ± 0.41	4.89 ± 0.51	1.22 ± 0.14
美味	74.67 ± 3.19	7.65 ± 0.28	5.67 ± 0.23	1.35 ± 0.11
平均值	70.02	6.64	5.09	1.31
最小值	45.76	4.98	3.54	1.12
最大值	93.78	8.76	6.67	1.53
标准差	13.79	0.94	0.77	0.10
变异系数/%	19.69	14.18	15.06	7.77

2.2 猕猴桃果肉色差分析

色泽是评价猕猴桃果肉品质的重要指标之一, 由表 2 中 L^* 、 a^* 、 b^* 值可知, 所选实验样品猕猴桃果肉色泽变化差异较大。所测猕猴桃 L^* 亮度值范围为 34.87~84.75, 其中中华优品种的猕猴桃果肉 L^* 亮度值最大, 表明该品种猕猴桃果肉明亮有光泽, 其变异系数为 27.11%; a^* 值范围为 -5.87~0.87, 其中 a^* 值最大猕猴桃品种为红心猕猴桃, a^* 值越大表明该品种猕猴桃果肉红色越深, 其变异系数为 56.87%; b^* 值范围为 8.98~23.23, 其中 b^* 值最大猕猴桃品种为泰山 1 号, b^* 值越大表明该品种猕猴桃果肉黄色越深, 其变异系数为 25.49%。

表 2 不同品种猕猴桃果实色泽

Table 2 Fruit color of different varieties of kiwi fruit

品种	L^*	a^*	b^*
金农 1 号	53.45 ± 2.98	0.65 ± 0.09	13.98 ± 1.78
秦美	62.34 ± 3.12	-1.23 ± 0.12	21.34 ± 2.09
秋明	45.87 ± 1.23	-2.34 ± 0.82	13.98 ± 1.02
红心	39.45 ± 2.21	0.87 ± 0.05	8.98 ± 1.01
泰山 1 号	46.89 ± 2.09	-2.78 ± 0.25	23.23 ± 2.02
金福	34.87 ± 1.28	-4.56 ± 0.87	12.92 ± 1.28
农大金猕	68.98 ± 2.12	-4.53 ± 0.71	21.34 ± 2.78
徐香	45.67 ± 3.65	-1.98 ± 0.67	10.26 ± 1.45
翠香	76.45 ± 3.89	-5.87 ± 0.98	20.12 ± 2.43
红阳	43.23 ± 2.65	0.76 ± 0.07	14.87 ± 1.23
海沃德	41.23 ± 1.08	-1.98 ± 0.11	21.87 ± 2.18
瑞玉	68.87 ± 3.82	-0.89 ± 0.03	15.98 ± 2.76
华优	84.75 ± 3.45	-2.31 ± 0.21	13.12 ± 1.29
黄金果	46.01 ± 2.16	-1.56 ± 0.67	15.56 ± 2.98
哑特	38.98 ± 2.12	-2.43 ± 0.27	16.78 ± 1.45
丰悦	50.23 ± 2.76	-5.12 ± 0.71	13.23 ± 1.04
楚红	35.45 ± 2.66	-2.09 ± 0.29	21.08 ± 2.87
美味	54.98 ± 3.23	-1.23 ± 0.64	21.32 ± 1.39
平均值	52.09	-2.15	16.66
最小值	34.87	-5.87	8.98
最大值	84.75	0.87	23.23
标准差	14.12	1.88	4.25
变异系数/%	27.11	56.87	25.49

2.3 猕猴桃内在品质分析

所选实验样品猕猴桃果实各项内在营养指标分析结果见表 3。由表 3 可知, 各猕猴桃内在品质指标之间变异系数不同, 表明存在品中间的差异。其中总黄酮的变异系数最大为 41.75%, 猕猴桃总黄酮平均含量为 1.91%; 水分含量的变异系数最小为 6.07%, 其平均值为 68.74%, 说明各猕猴桃品种均

含有较高的水分含量, 果实水分含量高低对果实口感和风味有一定影响; 糖酸比为总糖与总酸含量的比值, 糖酸比是衡量猕猴桃果实风味的重要参数, 糖酸比越高, 猕猴桃果肉越甜, 糖酸比较高的品种为美味猕猴桃, 其值为 6.32; 维生素 C 能预防坏血病^[16,17], 对各种急慢性传染性疾疾病及紫癜等具有辅助治疗作用^[18-20], 是人体必需从外界食物中获取的物质, 猕猴桃中维生素 C 的含量是其评价品质指标的关键因素, 18 个不同品种猕猴桃中维生素 C 的平均含量为 160.27 mg/100 g, 维生素 C 含量最高的猕猴桃品种为美味猕猴桃, 其值为 216.23 mg/100 g, 维生素 C 含量最低的猕猴桃品种为红心猕猴桃, 其值为 89.98 mg/100 g, 所测不同品种猕猴桃维生素 C 含量变异系数为 24.71%; 可溶性固形物是评价猕猴桃品质的综合指标, 在所测样品猕猴桃中可溶性固形物含量范围为 11.65%~32.78%, 其变异系数为 28.06%, 说明不同品种猕猴桃之间存在差异性。

2.4 不同品种猕猴桃品质指标的统计分析

2.4.1 不同品种猕猴桃品质指标的相关性分析

采用 Pearson 相关系数对猕猴桃各项营养指标的相关性进行分析, 其结果见表 4。由表 4 可知, 猕猴桃水分含量与单果质量存在显著正相关 ($P < 0.05$), 表明猕猴桃水分含量越高, 单果质量越重。猕猴桃果实中单宁含量与可溶性固形物存在显著负相关 ($P < 0.05$), 表明猕猴桃果实中可溶性固形物含量越高, 单宁含量就越低, 猕猴桃果肉口感就越好。可溶性固形物与干物质存在显著正相关 ($P < 0.05$), 与总黄酮存在极显著负相关 ($P < 0.01$)。维生素 C 与总糖存在显著正相关 ($P < 0.05$), 表明猕猴桃果实中总糖含量越高, 维生素 C 含量也越高, 两因素存在显著正相关。猕猴桃单果质量与果实纵径与横径存在显著正相关 ($P < 0.05$), 表明猕猴桃果实纵径与横径所测值越大, 果实形状越大果实单果质量越大。猕猴桃果肉色泽 L^* 亮度值与 a^* 值存在极显著正相关 ($P < 0.01$), 两因素所测值越大表明猕猴桃果肉红亮而有光泽。由上述相关分析结果表明, 猕猴桃各品质指标之间存在一定的相关性。

表 3 不同品种猕猴桃内在品质
Table 3 Internal quality of different varieties of kiwi

品种	水分含量/%	单宁/(mg/kg)	可溶性固形物/%	Vc/(mg/100 g)	干物质/%	总黄酮/%	总糖/%	总酸/%	糖酸比
金农 1 号	70.98 ± 3.23	569.34 ± 54.44	13.98 ± 1.23	109.23 ± 8.98	14.89 ± 1.87	1.12 ± 0.23	8.45 ± 1.88	1.67 ± 0.89	5.06 ± 0.89
秦美	74.67 ± 3.12	623.81 ± 43.44	16.23 ± 2.03	123.67 ± 10.23	15.56 ± 2.01	1.87 ± 0.18	5.07 ± 0.89	1.02 ± 0.14	4.97 ± 1.12
秋明	65.87 ± 4.89	612.87 ± 45.98	11.65 ± 1.76	119.56 ± 14.87	21.87 ± 2.11	1.09 ± 0.22	6.98 ± 1.76	1.67 ± 0.27	4.18 ± 0.91
红心	68.95 ± 3.67	723.66 ± 34.76	17.78 ± 2.13	89.98 ± 9.23	19.98 ± 1.89	0.89 ± 0.09	7.12 ± 0.89	1.98 ± 0.89	3.60 ± 0.89
泰山 1 号	73.98 ± 2.98	876.98 ± 32.89	21.09 ± 1.66	162.87 ± 10.43	11.78 ± 3.11	2.12 ± 0.89	8.98 ± 1.81	1.42 ± 0.14	4.22 ± 1.32
金福	71.13 ± 3.87	698.87 ± 41.89	23.78 ± 2.12	131.22 ± 10.12	14.87 ± 1.56	1.05 ± 0.21	9.87 ± 1.11	2.98 ± 0.28	3.31 ± 0.89
农大金猕	64.87 ± 4.12	812.76 ± 53.87	19.34 ± 2.01	121.78 ± 10.37	22.98 ± 2.01	2.45 ± 0.28	5.98 ± 0.67	1.67 ± 0.62	3.58 ± 0.82
徐香	66.78 ± 3.81	683.87 ± 65.45	22.23 ± 1.67	210.16 ± 18.32	13.76 ± 1.78	2.89 ± 0.78	6.34 ± 0.78	2.11 ± 0.81	3.00 ± 0.11
翠香	67.56 ± 4.56	712.33 ± 53.98	31.78 ± 1.54	154.89 ± 15.98	17.87 ± 1.65	1.34 ± 0.15	7.89 ± 1.01	1.67 ± 0.18	4.72 ± 0.21
红阳	70.98 ± 3.91	742.98 ± 48.67	29.32 ± 2.12	143.23 ± 11.67	15.87 ± 1.29	1.52 ± 0.43	8.23 ± 1.11	1.35 ± 0.43	6.10 ± 0.89
海沃德	63.12 ± 4.33	734.98 ± 51.45	23.78 ± 1.93	212.98 ± 20.12	16.98 ± 1.08	2.98 ± 0.76	7.98 ± 1.67	2.98 ± 0.32	2.68 ± 1.01
瑞玉	64.89 ± 4.58	812.78 ± 63.66	25.12 ± 2.13	142.78 ± 14.56	22.98 ± 1.56	2.17 ± 0.18	5.23 ± 0.89	1.56 ± 0.78	3.35 ± 0.11
华优	61.67 ± 4.23	653.56 ± 63.54	28.46 ± 2.56	201.24 ± 16.98	20.32 ± 1.76	2.87 ± 0.86	9.56 ± 1.68	2.99 ± 0.82	3.20 ± 0.89
黄金果	70.21 ± 3.98	567.87 ± 72.56	24.67 ± 1.33	178.23 ± 13.56	10.22 ± 1.08	1.03 ± 0.14	5.98 ± 0.91	2.12 ± 0.73	2.82 ± 0.67
哑特	63.88 ± 5.34	912.78 ± 53.98	32.78 ± 2.43	211.32 ± 21.09	21.43 ± 1.78	2.79 ± 0.29	7.34 ± 0.67	3.11 ± 0.29	2.36 ± 0.45
丰悦	70.09 ± 4.79	612.67 ± 64.34	28.43 ± 1.25	201.23 ± 15.42	16.78 ± 1.56	3.43 ± 0.21	7.11 ± 0.45	1.18 ± 0.17	6.03 ± 0.53
楚红	69.98 ± 3.41	989.98 ± 61.65	20.09 ± 1.76	154.23 ± 17.87	15.32 ± 1.09	1.23 ± 0.11	8.56 ± 1.81	2.78 ± 0.26	3.08 ± 0.87
美味	77.73 ± 4.23	487.56 ± 32.87	11.78 ± 1.22	216.23 ± 13.98	14.33 ± 2.04	1.54 ± 0.28	7.98 ± 1.45	1.89 ± 0.56	6.32 ± 0.45
平均值	68.74	712.76	22.35	160.27	17.10	1.91	7.48	2.01	4.03
最小值	61.67	487.56	11.65	89.98	10.22	0.89	5.07	1.02	2.36
最大值	77.73	989.98	32.78	216.23	22.98	3.43	9.87	3.11	6.32
标准差	4.17	126.95	6.27	39.60	3.66	0.80	1.35	0.66	1.20
变异系数/%	6.07	17.81	28.06	24.71	21.42	41.75	18.05	32.78	29.87

表 4 猕猴桃品质指标的相关性分析
Table 4 Correlation analysis of quality indexes of kiwi fruit

指标	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆
X ₁	1.000															
X ₂	-0.310	1.000														
X ₃	0.083	-0.044*	1.000													
X ₄	-0.080	0.250	-0.341	1.000												
X ₅	0.550	-0.191	0.042*	-0.065	1.000											
X ₆	0.540	0.161	-0.006**	0.486	0.324	1.000										
X ₇	-0.232	0.162	0.408	0.031*	-0.058	0.116	1.000									
X ₈	-0.327	0.636	-0.077	0.295	-0.064	0.114	0.463	1.000								
X ₉	-0.533	-0.314	-0.312	0.062	-0.409	-0.517	-0.069	0.251	1.000							
X ₁₀	0.038*	-0.176	-0.318	0.270	-0.071	-0.195	-0.848	-0.221	0.385	1.000						
X ₁₁	-0.361	0.354	-0.411	-0.162	-0.686	-0.439	-0.223	-0.081	0.080	0.032*	1.000					

续表 4

指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
X_{12}	-0.543	-0.016	-0.301	-0.191	-0.083	-0.494	0.083	0.525	0.761	0.025*	-0.056	1.000				
X_{13}	-0.408	0.362	-0.351	0.529	-0.166	0.246	0.657	0.636	0.182	-0.482	0.048	0.279	1.000			
X_{14}	0.052	-0.189	0.520	-0.414	0.292	-0.187	0.341	-0.488	-0.542	-0.494	-0.104	-0.377	-0.200	1.000		
X_{15}	-0.607	0.451	0.084	-0.267	-0.280	-0.117	0.597	0.564	0.149	-0.616	0.199	0.504	0.541	0.008**	1.000	
X_{16}	-0.451	0.123	0.487	-0.865	0.123	0.732	0.134	0.834	-0.321	-0.234	0.645	0.313	-0.398	0.844	0.321	1.000

注：“*”表示在0.05水平（双侧）上显著， $P < 0.05$ ；“**”表示在0.01水平（双侧）上极显著， $P < 0.01$ 。 X_1 -水分； X_2 -单宁； X_3 -可溶性固形物； X_4 -Vc； X_5 -干物质； X_6 -总黄酮； X_7 -总糖； X_8 -总酸； X_9 -糖酸比； X_{10} -单果重； X_{11} -纵径； X_{12} -横径； X_{13} -果实指数； X_{14} - L^* ； X_{15} - a^* ； X_{16} - b^* 。

2.4.2 不同品种猕猴桃品质指标主成分分析及综合评价

2.4.2.1 猕猴桃品质指标主成分分析

表 5 猕猴桃品质指标的主成分载荷矩阵、特征值和方差贡献率

Table 5 Principal component load matrix, eigenvalue and variance contribution rate of kiwi fruit quality indexes

指标	主成分				
	1	2	3	4	5
水分	-0.176	0.179	0.321	0.079	0.564
单宁	-0.788	0.271	0.275	-0.520	0.495
可溶性固形物	0.664	0.536	-0.419	0.132	-0.023
Vc	0.170	-0.060	0.827	-0.110	-0.404
干物质	-0.495	0.291	0.237	0.544	0.367
总黄酮	-0.253	0.457	0.760	-0.048	-0.012
总糖	0.857	0.788	-0.116	0.184	-0.303
总酸	-0.759	0.219	0.367	0.194	0.324
糖酸比	0.686	0.642	-0.122	0.432	-0.266
单果质量	-0.249	-0.866	0.236	0.052	0.077
纵径	0.334	-0.338	-0.293	-0.775	0.056
横径	0.664	-0.334	-0.182	0.577	0.248
果实指数	0.740	0.352	0.391	0.019	-0.302
L^*	-0.387	0.554	-0.580	-0.061	-0.158
a^*	0.779	0.398	-0.286	0.013	0.207
b^*	0.125	0.412	0.162	0.541	0.623
特征值	4.240	3.336	2.580	1.804	1.068
贡献率/%	28.270	22.238	17.200	12.025	7.117
累计贡献率/%	28.270	50.508	67.708	79.734	86.851

主成分载荷矩阵反映了各指标在主成分中的作用方向及大小程度^[21,22]。表 5 反映了不同品种猕猴桃品质性状的主成分分析结果。由表 5 可知，前 5 主成分累计贡献率达到 86.851%，其中第 1 主成分、第 2 主成分、第 3 主成分、第 4 主成分和第 5 主成分的方差贡献率分别为 28.270%、22.238%、17.200%、12.025% 和 7.117%，表明前 5 主成分在猕猴桃品质指标评价中起主导作用，且能全面反映猕猴桃品质特性综合评价的主要信息。第 1 主成分特征值为 4.240，主要综合了总糖、果实指数、糖酸比、 a^* 值、总酸、单宁的信息，其中总糖、果实指数、糖酸比、 a^* 值在第 1 主成分上呈正向分布，总酸、单宁呈负向分布，即第 1 主成分取值越大时，总糖、果实指数、糖酸比、 a^* 值越高，总酸、单宁越低；第 2 主成分特征值为 3.336，主要综合了可溶性固形物、总糖、糖酸比、单果质量、 L^* 亮度值的信息，其中总糖、糖酸比对第 2 主成分取值产生重要影响，也能够一定程度上反映出样品的营养品质；第 3 主成分特征值为 2.580；第 4 主成分特征值为 1.804；第 5 主成分特征值为 1.068；由此可知前 5 主成分特征值均大于 1，且特征值累计贡献率为 86.851%。通过主成分分析可以得到综合评价猕猴桃主要的 6 个指标分别是水分含量、可溶性固形物、Vc、糖酸比、果实指数、 L^* 亮度值。

分、第 2 主成分、第 3 主成分、第 4 主成分和第 5 主成分的方差贡献率分别为 28.270%、22.238%、17.200%、12.025% 和 7.117%，表明前 5 主成分在猕猴桃品质指标评价中起主导作用，且能全面反映猕猴桃品质特性综合评价的主要信息。第 1 主成分特征值为 4.240，主要综合了总糖、果实指数、糖酸比、 a^* 值、总酸、单宁的信息，其中总糖、果实指数、糖酸比、 a^* 值在第 1 主成分上呈正向分布，总酸、单宁呈负向分布，即第 1 主成分取值越大时，总糖、果实指数、糖酸比、 a^* 值越高，总酸、单宁越低；第 2 主成分特征值为 3.336，主要综合了可溶性固形物、总糖、糖酸比、单果质量、 L^* 亮度值的信息，其中总糖、糖酸比对第 2 主成分取值产生重要影响，也能够一定程度上反映出样品的营养品质；第 3 主成分特征值为 2.580；第 4 主成分特征值为 1.804；第 5 主成分特征值为 1.068；由此可知前 5 主成分特征值均大于 1，且特征值累计贡献率为 86.851%。通过主成分分析可以得到综合评价猕猴桃主要的 6 个指标分别是水分含量、可溶性固形物、Vc、糖酸比、果实指数、 L^* 亮度值。

2.4.2.2 主成分得分及综合评价

由表 6 可知，根据表 6 的因子得分系数矩阵及其对应的主成分，可以得出猕猴桃主成分得分及综合评分，其中 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 分别表示各主成分得分，式中 $X_1 \sim X_{16}$ 分别表示水分、单宁、可溶性固形物、Vc、干物质、总黄酮、总糖、总酸、糖酸比、单果质量、纵径、横径、果实指数、 L^* 、 a^* 、 b^* 等 16 个品质指标。

$$F_1 = 0.143X_1 - 0.091X_2 - 0.044X_3 - 0.059X_4 + 0.045X_5 - 0.151X_6 + 0.041X_7 - 0.162X_8 + 0.288X_9 + 0.058X_{10} - 0.115X_{11} + 0.346X_{12} + 0.062X_{13} - 0.123X_{14} + 0.122X_{15} + 0.453X_{16}$$

$$F_2 = -0.081X_1 - 0.065X_2 + 0.184X_3 - 0.032X_4 - 0.034X_5 + 0.001X_6 + 0.325X_7 + 0.011X_8 - 0.027X_9 - 0.283X_{10} -$$

$$F_3 = 0.085X_{11} - 0.028X_{12} + 0.159X_{13} + 0.216X_{14} + 0.154X_{15} + 0.312X_{16} - 0.023X_1 - 0.054X_2 - 0.150X_3 + 0.438X_4 - 0.107X_5 + 0.233X_6 + 0.116X_7 + 0.059X_8 + 0.103X_9 + 0.025X_{10} - 0.085X_{11} - 0.102X_{12} + 0.305X_{13} - 0.160X_{14} - 0.106X_{15} + 0.165X_{16}$$

$$F_4 = 0.228X_1 - 0.049X_2 + 0.069X_3 - 0.041X_4 + 0.405X_5 + 0.173X_6 + 0.005X_7 + 0.133X_8 - 0.068X_9 + 0.006X_{10} - 0.376X_{11} + 0.116X_{12} - 0.059X_{13} - 0.037X_{14} - 0.037X_{15} + 0.118X_{16}$$

$$F_5 = 0.029X_1 + 0.499X_2 - 0.075X_3 - 0.087X_4 + 0.096X_5 - 0.105X_6 - 0.083X_7 - 0.315X_8 - 0.232X_9 - 0.052X_{10} + 0.151X_{11} + 0.070X_{12} + 0.008X_{13} - 0.151X_{14} + 0.221X_{15} + 0.545X_{16}$$

结合主成分因子得分公式并以主成分方差贡献率为权重，构建猕猴桃品质综合评价得分函数，公式如下所示：

$$F \text{ 综合得分} = 0.283F_1 + 0.222F_2 + 0.172F_3 + 0.120F_4 + 0.071F_5$$

根据上述综合评价模型计算出不同品种猕猴桃品质的综合得分及其排序^[23-25]，结果见表7。由表7可知，就18个不同品种猕猴桃综合品质排名而言，美味猕猴桃品质得分最高，即综合品质最好；其次是翠香、农大金猕；瑞玉、秦美品种猕猴桃综合品质得分均为负值，且排名靠后，表明这2个品种的猕猴桃综合品质特性较差。

表6 因子得分系数矩阵表

Table 6 Matrix of factor score coefficients

指标	主成分				
	1	2	3	4	5
水分	0.143	-0.081	-0.023	0.228	0.029
单宁	-0.091	-0.065	-0.054	-0.049	0.499
可溶性固形物	-0.044	0.184	-0.150	0.069	-0.075
Vc	-0.059	-0.032	0.438	-0.041	-0.087
干物质	0.045	-0.034	-0.107	0.405	0.096
总黄酮	-0.151	0.001	0.233	0.173	-0.105
总糖	0.041	0.325	0.116	0.005	-0.083
总酸	-0.162	0.011	0.059	0.133	-0.315
糖酸比	0.288	-0.027	0.103	-0.068	-0.232
单果质量	0.058	-0.283	0.025	0.006	-0.052
纵径	-0.115	-0.085	-0.085	-0.376	0.151
横径	0.346	-0.028	-0.102	0.116	0.070
果实指数	0.062	0.159	0.305	-0.059	0.008
L^*	-0.123	0.216	-0.160	-0.037	-0.151
a^*	0.122	0.154	-0.106	-0.037	0.221
b^*	0.453	0.312	0.165	0.118	0.545

表7 因子得分与综合得分

Table 7 Factor scores and comprehensive scores

名称	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	$F_{\text{综合得分}}$	排名
金农1号	0.191	-1.251	-0.415	1.723	-0.581	-0.129	12
秦美	-0.542	-1.173	0.477	-0.493	-1.533	-0.498	17
秋明	1.089	0.815	-0.707	-0.991	-0.129	0.238	9
红心	-1.722	1.595	-0.375	1.318	-0.667	-0.084	11
泰山1号	0.157	-0.012	-1.968	-0.362	0.267	-0.322	14
金福	-1.211	-1.014	0.118	-1.051	0.749	-0.394	15
农大金猕	1.334	0.013	0.871	-0.213	-0.583	0.463	3
徐香	0.348	0.897	0.604	-0.593	0.604	0.372	7
翠香	0.357	0.129	1.395	0.661	1.874	0.580	2
红阳	0.451	-0.387	0.375	0.315	0.378	0.247	8
海沃德	-0.245	-0.647	0.613	0.617	0.145	0.374	6
瑞玉	0.345	0.247	-0.167	-0.154	-0.214	-0.620	18
华优	0.251	0.641	-0.317	-0.174	0.317	-0.457	16
黄金果	-0.198	-0.167	0.612	0.254	-0.241	0.412	4
哑特	-0.167	0.521	-0.341	0.346	0.318	0.378	5
丰悦	0.274	-0.174	0.308	-0.164	-0.415	0.147	10
楚红	0.267	0.341	-0.167	0.741	-0.314	-0.312	13
美味	0.574	-0.451	0.379	0.369	0.514	0.678	1

2.4.3 猕猴桃品质的聚类分析

基于 18 个猕猴桃品种中 16 个品质指标所测数据运用 SPSS 22 软件以欧氏距离平方为准则采用 Between-Groups Linkage 连接聚类^[26,27], 由图 1 可知, 在聚类距离为 10 时, 可将猕猴桃分为 3 类群。类群 I 包含泰山 1 号、哑特、黄金果、楚红等 4 个品种, 这类群猕猴桃可溶性固形物、维生素 C、总黄酮、总糖含量较高; 类群 II 包含金农 1 号、农大金猕、瑞玉、金福、翠香等 13 个品种, 这表明绝大部分猕猴桃其基本特征一致; 类群 III 聚集了一个品种美味猕猴桃, 该猕猴桃水分含量高, 糖酸比适中。

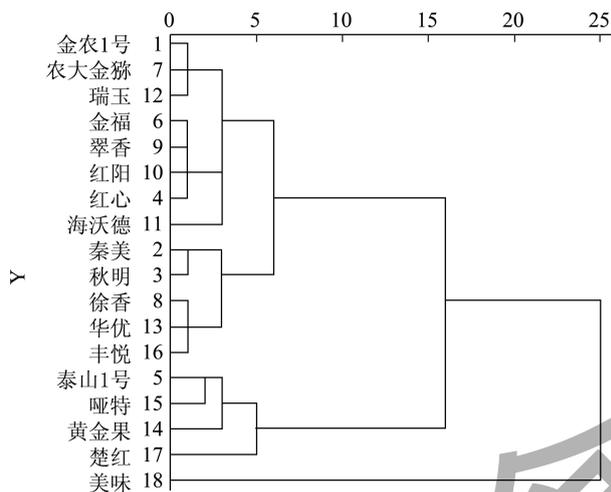


图 1 猕猴桃聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of kiwi fruit

3 结论

本试验通过对 18 个不同品种猕猴桃中 16 项品质指标进行检测分析, 并采用 SPSS 22 软件对实验数据进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明: 18 个品种猕猴桃品质指标存在差异性, 其中 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、可溶性固形物、Vc、干物质、总黄酮、总酸、糖酸比等指标变异系数均大于 20%, 表明品种之间存在差异性。通过主成分分析可以得到综合评价猕猴桃主要的 6 个指标分别是水分含量、可溶性固形物、Vc、糖酸比、果实指数、 L^* 亮度值; 通过其分析提取了 5 个主成分, 其累计方差贡献率为 86.851%。通过聚类分析可知, 猕猴桃中 16 项品质指标在聚类距离为 10 时, 可将 18 个品种的猕猴桃按品质指标分为 3 大类, 与主成分分析判定结果一致。综合评价结果得出美味猕猴桃品质得分最高, 即综合品质最好; 其次是翠香、农大金猕; 瑞玉、秦美品种猕猴桃综合品质得分均为

负值, 且排名靠后, 表明这 2 个品种的猕猴桃综合品质特性较差。本研究结果可为不同品种猕猴桃的品质评价提供借鉴, 并为猕猴桃的育种及开发提供理论依据。

参考文献

- [1] 范传会, 黄文俊, 钟彩虹, 等. 猕猴桃品种对猕猴桃脆片品质影响的评价[J]. 食品与机械, 2022, 38(12): 21-27.
- [2] 毛积鹏, 高柱, 卢玉鹏, 等. 不同品种猕猴桃果实采收后糖酸组分及含量变化分析[J]. 陕西科技大学学报, 2022, 40(6): 43-48.
- [3] MURILO D, CRISTINA C, CARLADE P, et al. Chemical composition and bioactive properties of byproducts from two different kiwi fruit varieties [J]. Food Research International, 2020, 12(17): 1653-1664.
- [4] DAWQVFG X, FWAJHYDE Z, SHDERCD G, et al. 1-Methylcyclopropene maintains the postharvest quality of hardy kiwi fruit (*Actinidia arguta*) [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2022, 16(11): 2132-2141.
- [5] SATPALDE D, KAURCDE J, BHAWVDFE V, et al. *Actinidia deliciosa* (Kiwi fruit): A comprehensive review on the nutritional composition, health benefits, traditional utilization, and commercialization [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(6): 885-896.
- [6] 王连润, 陶磅, 陈霞, 等. 野生猕猴桃优异资源果实形态及营养成分分析[J]. 西南农业学报, 2021, 34(7): 1515-1520.
- [7] 阎永齐, 刘磊, 刘吉祥, 等. 中华猕猴桃叶果营养元素动态及其相关性[J]. 果树学报, 2016, 33(3): 307-313.
- [8] PIECHOWIAK T, GRZELAKYT K, SQAHTFDOW M, et al. One-time ozone treatment improves the postharvest quality and antioxidant activity of *Actinidia arguta* fruit [J]. Phytochemistry, 2022, 20(18): 2845-2856.
- [9] 李跃红, 冉茂乾, 徐孟怀, 等. 不同产地红心猕猴桃品质的主成分及聚类分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 222-228.
- [10] 李跃红, 冉茂乾, 徐孟怀, 等. 不同品种猕猴桃果实品质比较与综合评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(23): 162-168.
- [11] 张维, 付复华, 罗赛男, 等. 湖南红心猕猴桃品种品质评价及综合分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(5): 201-210.
- [12] 冯勇. 基于主成分和聚类分析的不同品种猕猴桃品质指标综合评价[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(22): 180-185.
- [13] 陈璐, 廖光联, 杨聪, 等. 基于主成分分析与聚类分析的黄肉猕猴桃品种(系)主要果实性状的综合评价[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1231-1240.
- [14] CHEWVDF J, GWYFBDCD W, DQOUCDF R, et al. Optical properties of different kiwi fruit cultivars (*Actinidia deliciosa* and *Actinidia chinensis*) and their correlation with internal quality [J]. Infrared Physics and Technology, 2022, 13(16): 1783-1794.

- [15] LUDFERVD Q, LQNGFXSE Y, LKQCDXAR G, et al. Transcriptome and Metabolome reveal AsA regulatory network between metabolites and genes after fruit shading by bagging in kiwi fruit (*Actinidia eriantha*) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 12(18): 2856-2864.
- [16] 陆玲鸿,马媛媛,古咸彬,等.猕猴桃果实软化过程中细胞壁多糖物质含量与果胶降解相关酶活性变化[J].*浙江农业学报*,2022,34(12):2648-2658.
- [17] 黄文俊,冉欣雨,王周倩,等.不同贮藏温度对软枣猕猴桃‘猕枣1号’果实品质和贮藏性的影响[J].*植物科学学报*, 2022,40(5):695-704.
- [18] MOLKOU B, CAWVDF D, HAWCDA P, et al. Changes of the microbial community in kiwi fruit during storage after postharvest application of *Wickerhamomyces anomalus* [J]. *Food Chemistry*, 2022, 21(26): 4532-4542.
- [19] LFERASW Y, ZAGDFXCU, TVEDAQHG H, et al. L-ascorbic acid metabolism in two contrasting hardy kiwi fruit (*Actinidia arguta*) cultivars during fruit development [J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 22(16): 1642-1654.
- [20] FAWVDER W, JWQRTBF L, KWBFGMT Y, et al. Preliminary report on the improved resistance towards *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* of cultivated kiwi fruit (*Actinidia chinensis*) when grafted onto wild *Actinidia guilinesis* rootstock *in vitro* [J]. *Journal of Plant Pathology*, 2020, 18(16): 1687-1698.
- [21] 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.
- [22] 曲雪艳,郎彬彬,钟敏,等.野生毛花猕猴桃果实品质主成分分析及综合评价[J].*中国农学通报*,2016,32(1):92-96.
- [23] 付勋,聂青玉,张艳,等.不同商业酵母发酵猕猴桃血橙果酒风味物质的主成分分析及聚类分析[J].*中国酿造*, 2022,41(5):212-217.
- [24] 江海,陈小华,杜佳宝,等.基于主成分分析评价陕南地区主栽猕猴桃的品质[J].*陕西理工大学学报(自然科学版)*, 2021,37(1):43-49.
- [25] 马云,王笑成,穆易君,等.不同品种软枣猕猴桃品质指标的主成分分析[J].*食品工业科技*,2019,40(5):233-238.
- [26] JWVDFRQW J, JSBFGRAQ M, LAGFDCDS H, et al. Application of melatonin in kiwi fruit (*Actinidia chinensis*) alleviated chilling injury during cold storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 26(18): 2136-2143.
- [27] LQHGRFXS Z, ZDQGFRVS J, XQVDBGR M, et al. Exogenous melatonin treatment affects ascorbic acid metabolism in postharvest ‘Jinyan’ kiwi fruit [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 15(18): 1653-1663.