

百色地区主栽芒果品种品质评价与分析

康 超, 刘凤昕*, 兰 蜜

南宁学院食品与质量工程学院, 广西南宁 530200

摘 要: 以百色主栽的 6 个芒果品种(桂七芒、台农芒、贵妃芒、金煌芒、象牙芒、玉芒)为研究对象, 系统分析其 22 项外观及内在品质指标。研究结果显示: 在外观品质方面, 不同品种的芒果单果质量、果形指数等指标变异系数超 10%; 内在品质中, 桂七芒在甜度相关指标(TSS、总糖、可溶性糖)及风味协调性(固酸比、糖酸比)上表现最优, 其维生素 C(Vc)含量最高, 达 36.6 mg/100 g, 而台农芒的 Vc 含量最低, 达 28.7 mg/100 g; 玉芒的酚类物质(4.33 mg/100 g)和黄酮类物质(1.12 mg/100 g)含量突出; 贵妃芒和玉芒的蛋白质含量相对较高, 均为 1.0 g/100 g。进一步分析结果表明, 芒果的多个品质指标变量间存在相对独立性和密切相关性, 主成分分析提取的 5 个主成分代表了以上指标 100% 的信息, 综合品质排序为: 玉芒>桂七芒>台农芒>象牙芒>贵妃芒>金煌芒。系统聚类分析将 22 项品质指标划分为以下 3 类: 生物活性成分(如维生素、黄酮类物质)、果实风味特征(如糖酸相关指标等)、矿物质元素(如钾、钙等)。研究结果揭示百色地区主栽不同品种芒果果实品质的特征差异, 主成分分析、系统聚类分析可用于简化芒果果实品质评价工作。

关键词: 芒果; 主成分分析; 聚类分析; 品质评价

中图分类号: TS207.5

文献标志码: A

Quality Evaluation and Analysis of Major Mango Cultivars in the Baise Region

KANG Chao, LIU Fengting*, LAN Mi

College of Food and Quality Engineering, Nanning University, Nanning, Guangxi 530200, China

Abstract: Six mango varieties (Guiqi Mang, Tainong Mang, Guifei Mang, Jinhuang Mang, Ivory Mang, and Jade Mang) mainly planted in Baise were selected as the research objects, and 22 quality indicators (including appearance quality, internal quality) were analyzed. The results indicated that the coefficient of variation for indexes such as single fruit weight and fruit shape index exceeded 10% among different varieties in appearance quality. For intrinsic quality, Guiqi mango performed optimally in sweetness-related indexes (TSS, total sugar, soluble sugar) and flavor coordination (solid-acid ratio, sugar-acid ratio), with the highest Vc content reaching 36.6 mg/100 g, while Tainong mango had the lowest Vc content at 28.7 mg/100 g. Yumang mango had the highest contents of phenolic substances (4.33 mg/100 g) and flavonoids (1.12 mg/100 g). Guifei mango and Yumang mango had relatively high protein contents, both at 1.0 g/100 g. Further analysis indicated that there existed both relative independence and close correlation among multiple quality index variables of mango. The 5 principal components extracted by principal component analysis accounted for 100% of the information of the above indexes, and the comprehensive quality ranking was as follows: Yumang mango>Guiqi mango>Tainong mango>Xiangya mango>Guifei mango>Jinhuang mango. Systematic clustering classified the 22 quality indexes into 3 categories: bioactive components (e.g., vitamins, flavonoids), fruit flavor characteristics (e.g., sugar-acid related indexes), and mineral elements (e.g., potassium, calcium). The results revealed the characteristic differences in fruit quality among the main mango varieties in Baise, and suggested that principal component analysis and

收稿日期 2025-06-25; 接受日期 2025-08-06

基金项目 广西重点研发计划项目(桂科 AB25069305); 广西自然科学基金项目(No. 2020GXNSFAA297006); 南宁市科技开发项目(No. 2023001)。

作者简介 康 超(1985—), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品工程; *同等贡献作者: 刘凤昕(1986—), 男, 学士, 实验师, 研究方向: 食品科学。

systematic clustering analysis could be applied to simplify the evaluation of mango fruit quality.

Keywords: mango; principal component analysis; cluster analysis; quality evaluation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.11.004

芒果别名杧果或檬果, 属凉性水果, 表面光滑无毛, 其果实汁多香甜, 具有独特的香气, 也可作为药用或观赏。我国芒果主要产区包括云南、广西、海南、四川、广东、贵州、福建和台湾 8 个省(区)约 100 多个县市, 形成了早、中、晚三大优势产业带^[1]。其中, 广西壮族自治区百色市作为我国重要的芒果产区, 其地理区位与生态环境具有显著优势, 特别是右江河谷地区干湿季明显, 雨热同季, 气候温暖, 无霜期长达 350~357 d, 而且冬春少雨, 春季回暖快^[2-3], 温度波动有利于光合产物的积累与转化, 促进果实糖分积累。该地区土壤以赤红壤为主, pH 5.5~6.5, 土壤有机质含量丰富, 土层深厚且排水性能良好^[4-5]。这些条件有利于作物的健康发育, 为芒果根系发育提供了优越的立地条件。尽管百色芒果产业优势显著, 但目前尚未有针对广西芒果不同品种在营养成分与品质方面进行系统且深入的比较和分析。广西百色芒果作为芒果中的重要类别, 涵盖多个独具特色的品种, 现有文献多聚焦于单一品种的理化特性分析^[6-9]。谢若男等^[10]对海南省不同产区台农和贵妃芒果的研究, 虽揭示了同一品种在部分品质指标上的地域差异, 但未涉及多品种间的综合对比; 柳颢等^[11]发现芒果部分品质性状存在相关性, 却未深入分析不同品种间的共性与差异; 罗香等^[12]强调芒果的营养与药用价值, 陈振威^[13]提出百色右江河谷地区芒果品质与气温的关系, 均未针对多品种开展系统研究。KULDEEP 等^[14]的研究虽关注芒果与其他水果混合后的营养特性, 但与本研究聚焦单一地区多品种的方向不同。

基于此, 本研究以广西百色田东县主栽的 6 个芒果品种为研究对象, 通过系统测定果实的外观品质和内在品质指标, 结合主成分分析和方差分析等统计方法, 旨在建立科学的芒果品质评价体系。研究结果将为当地芒果品种结构优化、育种方向确定和栽培技术改进提供理论依据, 同时为区域特色农产品品质评价提供方法学参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料 于广西百色田东地区采摘七八成熟

以上的 6 个芒果品种(桂七芒、台农芒、贵妃芒、金煌芒、象牙芒、玉芒)果实各 10 个, 选取果实成熟度完全, 表面色泽均匀, 无表面机械损坏的芒果果肉进行后续品质指标测定。

1.1.2 芒果样品的制备 将采摘芒果样品在 26 ℃恒温环境中放置 3~5 d, 自然成熟, 达适宜成熟度后, 每份随机取 10 个形态完整、成熟度均一的果实进行外观品质指标测定。随后去皮去核, 取可食用部分用匀浆器充分打浆, 匀浆分装后立即于-18 ℃保存, 供后续品质指标测定。

1.2 方法

1.2.1 芒果外观品质指标测定 6 个芒果品种每品种随机选取 10 个果实用于外观品质测定。果实质量采用精度为 0.01 g 的电子天平称量, 每个品种重复 3 次, 取平均值; 果实横径及纵径用精度为 0.02 mm 的游标卡尺测定, 果形指数以纵径/横径计算; 可食率测定参考谢若男等^[10]的方法; 利用色差仪测量果实表面色差, 公式为: 色差值 = $100 - \sqrt{[(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]}$ 。式中, L^* 表示明亮度, a^* 表示红绿度, b^* 表示黄蓝度。

1.2.2 芒果内在品质指标测定 参照 NY/T 2637—2014《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定》方法, 用手持式糖量计测定 TSS 质量分数; 参照 GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》方法, 采用酸碱滴定法测定总酸; 参照 GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》方法测定总糖; 参考蒽酮比色方法测定可溶性糖; 采用可溶性固形物(TSS)含量与总酸含量的比值表示固酸比; 采用总酸含量与可溶性糖含量的比值计算糖酸比。

参照 GB/T 6195—1986《水果、蔬菜维生素 C 含量测定法(2,6-二氯酚滴定法)》方法, 采用 2,6-二氯酚滴定法紫外吸收测定 V_c 含量; 参照《GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法测定蛋白质含量; 参照《GB 5009.6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》用索氏抽提法测定脂肪含量。分别参照 GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》、GB 5009.241—2017《食品安全

国家标准 食品中镁的测定》、GB 5009.90—2016《食品安全国家标准 食品中铁的测定》、GB 5009.14—2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》、GB 5009.91—2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》测定钙、镁、铁、锌、钾、钠含量。

1.3 数据处理

采用 Excel 2023 和 SPSS 26.0 软件进行数据处理，采用 SPSS 26.0 软件进行差异显著性、相关性主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同芒果品种外观品质分析

由表 1 可知，6 个芒果品种中，金煌芒的单果质量最大，为 978.7 g；其次为贵妃芒，单果质量为 680.6 g；象牙芒、桂七芒的单果质量分别为 450.5、325.5 g；台农芒、玉芒的单果质量最小，分别为 260.5、248.7 g。金煌芒的纵径和横径最大；象牙芒的纵径次之；而贵妃芒的横径居第二；玉芒的横径最小。6 种芒果的果形指数均在 1.0 以上，表明纵径大于横径；象牙芒和玉芒的果形指数最大，为 1.7 和 1.6，呈长圆形；贵妃芒、桂七芒、金煌芒的果形指数最低且接近，果形指数均为 1.3，为椭圆形。从变异系数（CV）来看，CV 最大的是单果质量，为 58.69%，说明 6 个芒果品种中单果质量数据点较分散，单果质量差异大；CV 最小的是果形指数，仅为 14.29%，说明

不同品种芒果的果形指数差异不大。在全面评估水果外在品质时，需综合考虑所得数值的离散度。CV 作为衡量数据离散程度的标准化指标，在本研究芒果外观品质分析中展现出重要价值。通过对 6 个品种各 10 个果实的测定数据进行标准化转换，有效消除不同外观性状（如单果质量、果形指数、硬度等）间量纲差异的干扰，为跨性状的变异性比较提供统一基准，使得不同品种间外观品质的稳定性评估更具科学性与可比性。

由芒果色度值测定结果可知，金煌芒的 a^* 值最高，为 29；贵妃芒次之；台农芒第三， a^* 值为 13；玉芒和桂七芒最低， a^* 值均不超过 10。象牙芒的 b^* 值最高，为 60；台农芒居中；贵妃芒最小， b^* 值为 32。6 个芒果品种的 L^* 值范围在 65~81 之间，象牙芒最高， L^* 值达到 81；台农芒和金煌芒次之；玉芒、贵妃芒和桂七芒较低。其中，CV 最大的是 a^* 值，为 77.44%，说明 a^* 值的差异较大，数据波动大；桂七芒的 a^* 值仅为 3，颜色为绿色；而金煌芒的 a^* 值为 29， a^* 值越大说明颜色偏红，反之偏绿。6 个品种芒果的 L^* 值平均为 70.8，说明总体颜色偏亮；CV 最小的是 L^* 值，为 7.91%，说明芒果的明亮程度接近。不同品种芒果在颜色参数上差异显著。品种间 a^* 值的 CV 最大， L^* 值相对稳定。这些差异可用于芒果品种鉴别、成熟度判断以及品质评价等方面，为果实品质评估提供参考。

表 1 不同芒果品种果实单果重量、横纵径、果形指数、色差比较
Tab. 1 Single fruit weight, transverse and longitudinal diameters, fruit shape index and color difference of different mango varieties

品种 Variety	单果质量 Single fruit mass/g	横径 Transverse diameter/cm	纵径 Longitudinal diameter/cm	果形指数 Fruit shape index	a^*	b^*	L^*	色差 Color difference
桂七芒	325.3	6.4	8.2	1.3	3	43	65	44.48
台农芒	260.5	5.7	8.1	1.4	13	50	73	41.71
贵妃芒	680.6	8.2	10.4	1.3	22	32	68	49.68
金煌芒	978.7	10.2	13.5	1.3	29	36	70	44.89
象牙芒	450.5	6.8	11.3	1.7	8	60	81	36.56
玉芒	248.7	5.3	8.6	1.6	5	44	68	45.36
最小值	248.7	5.3	8.1	1.3	3	32	65	36.56
最大值	978.7	10.2	13.5	1.7	29	60	81	49.68
平均数	490.7	7.1	10.0	1.4	13.3	44.2	70.8	43.82
标准偏差	288.0	1.8	2.1	0.2	10.3	10.0	5.6	4.43
CV/%	58.69	25.35	21.00	14.29	77.44	22.62	7.91	10.11

2.2 不同芒果品种内在品质分析

由表 2 可知, 桂七芒的 TSS 含量为 21.7%, 比金煌芒高 5.3%, 表明桂七芒果实中的有机物质含量高。其中, 桂七芒的总糖含量最高, 为 17.6%; 贵妃芒总糖含量最低, 为 14.5%。6 个芒果品种中, 总酸含量最高的是贵妃芒, 为 6.5 g/kg; 桂七芒和台农芒的总酸含量最低, 均为 3.6 g/kg。桂七芒的可溶性糖含量最高, 为 166.4 mg/g; 贵妃芒的可溶性糖含量最低。金煌芒的可食率最高, 为 80.5%; 玉芒的可食率最低, 为 70.5%。桂七芒的

固酸比最高, 为 6.03; 而贵妃芒的固酸比只有 2.82。桂七芒的糖酸比为 46.22。桂七芒在甜度相关指标 (TSS、总糖、可溶性糖) 及风味协调性 (固酸比、糖酸比) 上表现最优, 适合偏好高甜度风味的消费群体; 贵妃芒因酸度较高 (6.5 g/kg) 而呈现独特酸甜风味, 可能适合特定市场需求; 金煌芒和贵妃芒的可食率较高 (>80%), 在加工领域具有原料利用率优势; 台农芒则因甜度和软糯质地适中, 在鲜食及果切产品中具有应用潜力。

表 2 不同芒果品种果实 TSS、总糖、总酸、可溶性糖、可食率、固酸比、糖酸比含量
Tab. 2 Contents of TSS, TS, TA, SSC, edibe rate, solids-to-acid ratio and sugar-to-acid ratio of different mango varieties

品种 Variety	TSS/%	含量 Content			可食率 Edibe rate/%	固酸比 Solids-to-acid ratio	糖酸比 Sugar-to-acid ratio
		总糖 TS/[g·(100 g) ⁻¹]	总酸 TA/(g·kg ⁻¹)	可溶性糖 SSC/(mg·g ⁻¹)			
桂七芒	21.7	17.6	3.6	166.4	72.3	6.03	46.22
台农芒	20.6	16.3	3.6	143.6	74.1	5.72	39.89
贵妃芒	18.3	14.5	6.5	141.8	79.8	2.82	21.82
金煌芒	16.4	16.5	5.7	150.5	80.5	2.88	26.40
象牙芒	17.8	14.7	4.6	142.4	76.4	3.87	30.96
玉芒	20.4	17.1	3.8	165.3	70.5	5.37	43.50
最小值	16.4	14.5	3.6	141.8	70.5	2.82	21.82
最大值	21.7	17.6	6.5	166.4	80.5	6.03	46.22
平均数	19.2	16.1	4.6	151.7	75.6	4.4	34.80
标准偏差	2.01	1.26	1.22	11.42	4.04	1.44	9.86
CV/%	10.48	7.83	26.52	7.53	5.34	32.73	28.33

由表 3 可知, 6 个芒果品种的钾量含均超过 100 mg/100 g, 象牙芒的钾含量最高, 为 163.6 mg/100 g; 其次为金煌芒, 钾含量为 158.4 mg/100 g; 而台农芒的钾含量最低, 为 136.5 mg/100 g; 芒果钾含量的不同可能与果实干物质积累量有关。6 个芒果品种的钙含量范围在 10.2~12.3 mg/100 g 之间, 平均值为 11.0 mg/100 g。其中, 台农芒的钙含量最高, 为 12.3 mg/100 g, 可能与台农芒果肉细胞壁结构或栽培土壤钙供应有关, 台农芒果皮较薄, 钙在果肉中分布较多。镁是叶绿素核心元素, 金煌芒的镁含量最高, 可能因光合效率高导致镁向果实转移更多, 贵妃芒的镁含量低可能与其糖酸代谢优先消耗镁有关。6 个芒果品种的铁、锌含量均值偏低, 分别为 0.4 mg/100 g 和 0.16 mg/100 g。象牙芒和金煌芒的钾含量高, 可以作为补钾选择; 而台农芒的钾含量低, 不宜作为补钾参考。桂七芒的 Vc 含量最高, 为 36.6 mg/100 g; 台农芒的 Vc 含量最低, 仅为 28.7 mg/100 g。玉芒则在酚类

和黄酮类物质上表现突出, 分别为 4.33 mg/100 g 和 1.12 mg/100 g, 同时其脂肪含量最高, 为 0.3132 g/100 g; 贵妃芒和玉芒的蛋白质含量相对较高, 为 1.0 g/100 g, 台农芒在多项指标上表现中等。整体来看, 桂七芒适合高抗氧化功能需求, 玉芒在抗炎和风味上更具优势, 而品种间的差异可能与遗传特性、栽培条件和成熟度等因素相关。

2.3 不同芒果品种品质指标主成分分析及综合评价

由表 4 可知, 通过主成分分析 (PCA) 提取的前 5 个主成分 (principal component 1~5, PC1~5) 累计方差解释率 (CPV) 达 100%, 显著高于 Kaiser 准则推荐阈值 (80%), 表明其可充分表征原始变量集的整体得分占比, 第 1 主成分 (PC1) 的特征值达 9.317, 方差贡献率为 42.348%, 意味着它能解释数据总变异的 42.348%, 在所有主成分中对总变异的解释占比最大; 第 2 主成分 (PC2) 的特征值为 5.035, 贡献率为 22.888%; 第 3 主成分

表 3 不同芒果品种果实矿物质成分、Vc、蛋白质、脂肪、酚类物质、黄酮类物质含量
Tab. 3 Contents of mineral, Vc, protein, fat, phenolic compounds and flavonoids in fruits of different mango varieties

品种 Variety	含量 Content									
	K /[mg·(100 g) ⁻¹]	Ca /[mg·(100 g) ⁻¹]	Mg /[mg·(100 g) ⁻¹]	Fe /[mg·(100 g) ⁻¹]	Zn /[mg·(100 g) ⁻¹]	Vc /[mg·(100 g) ⁻¹]	蛋白质 Protein /[g·(100 g) ⁻¹]	脂肪 Fat /[g·(100 g) ⁻¹]	酚类 Phenolic /[mg·(100 g) ⁻¹]	黄酮 Flavonoids /[mg·(100 g) ⁻¹]
桂七芒	150.3	10.2	13.4	0.2	0.18	36.6	0.9	0.1743	3.93	0.91
台农芒	136.5	12.3	12.8	0.4	0.16	28.7	0.7	0.3056	4.12	0.89
贵妃芒	144.2	10.5	11.2	0.5	0.17	32.5	1.0	0.2462	3.81	0.77
金煌芒	158.4	11.2	13.9	0.4	0.15	30.4	0.7	0.2397	4.02	0.93
象牙芒	163.6	10.4	13.3	0.4	0.16	34.2	0.8	0.2678	3.92	0.95
玉芒	154.5	11.6	12.8	0.4	0.14	30.9	1.0	0.3132	4.33	1.12
最小值	136.5	10.2	11.2	0.2	0.14	28.7	0.7	0.1743	3.81	0.77
最大值	163.6	12.3	13.9	0.5	0.18	36.6	1.0	0.3132	4.33	1.12
平均值	151.3	11.0	12.9	0.4	0.16	32.2	0.85	0.2578	4.02	0.93
标准偏差	9.82	0.82	0.93	0.10	0.01	2.85	0.14	0.0500	0.18	0.11
CV/%	6.49	7.45	7.20	25.00	6.25	8.85	46.47	19.3900	4.48	11.83

表 4 芒果品质指标的各主成分载荷矩阵、特征向量、特征值及方差贡献率
Tab. 4 principal component loading matrix, eigenvectors, eigenvalues and variance contribution rates of mango quality indicators

品质指标 Quality indicators	主成分载荷矩阵 Principal component loading matrix					特征向量 Eigenvector				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
X ₁	-0.203	0.110	0.705	0.666	-0.082	-0.07	0.05	0.37	0.43	-0.07
X ₂	0.338	-0.739	0.087	-0.576	-0.009	0.11	-0.33	0.05	-0.37	-0.01
X ₃	0.223	0.203	0.843	-0.097	-0.435	0.07	0.09	0.44	-0.06	-0.35
X ₄	-0.584	-0.738	-0.248	0.073	0.219	-0.19	-0.33	-0.13	0.05	0.18
X ₅	-0.093	0.767	-0.574	-0.068	-0.262	-0.03	0.34	-0.30	-0.04	-0.21
X ₆	0.068	0.825	-0.098	0.544	-0.093	0.02	0.37	-0.05	0.35	-0.07
X ₇	0.175	0.159	-0.390	0.508	0.731	0.06	0.07	-0.20	0.33	0.59
X ₈	0.198	-0.979	-0.036	0.039	0.018	0.06	-0.44	-0.02	0.03	0.01
X ₉	0.671	-0.557	0.399	-0.116	0.259	0.22	-0.25	0.21	-0.07	0.21
X ₁₀	0.623	-0.319	0.615	0.316	0.177	0.20	-0.14	0.32	0.20	0.14
X ₁₁	-0.145	0.729	0.525	-0.302	0.286	-0.05	0.32	0.27	-0.19	0.23
X ₁₂	0.881	0.245	-0.381	-0.123	0.062	0.29	0.11	-0.20	-0.08	0.05
X ₁₃	0.708	0.316	0.449	-0.388	0.216	0.23	0.14	0.23	-0.25	0.17
X ₁₄	-0.944	-0.013	-0.093	0.041	0.314	-0.31	-0.01	-0.05	0.03	0.25
X ₁₅	0.683	0.423	0.378	0.051	0.458	0.22	0.19	0.20	0.03	0.37
X ₁₆	-0.986	0	0.028	-0.156	-0.058	-0.32	0	0.01	-0.10	-0.05
X ₁₇	0.963	0.130	-0.110	-0.143	-0.154	0.32	0.06	-0.06	-0.09	-0.12
X ₁₈	0.977	0.176	0.089	-0.061	-0.058	0.32	0.08	0.05	-0.04	-0.05
X ₁₉	-0.891	0.110	0.367	-0.190	0.154	-0.29	0.05	0.19	-0.12	0.12
X ₂₀	-0.874	0.201	0.362	-0.230	0.105	-0.29	0.09	0.19	-0.15	0.08
X ₂₁	-0.835	-0.049	0.539	0.082	-0.065	-0.27	-0.02	0.28	0.05	-0.05
X ₂₂	0.294	-0.506	0.160	0.744	-0.280	0.10	-0.23	0.08	0.48	-0.23
初始特征值	9.317	5.035	3.681	2.424	1.543	9.317	5.035	3.681	2.424	1.543
贡献率/%	42.348	22.888	16.734	11.018	7.012	42.348	22.888	16.734	11.018	7.012
累计贡献率/%	42.348	65.236	81.970	92.988	100	42.348	65.236	81.970	92.988	100.000

(PC3)的特征值为 3.681, 贡献率为 16.734%; 第 4 主成分(PC4)的特征值为 2.424, 贡献率为 11.018%; 第 5 主成分(PC5)的特征值为 1.543, 贡献率为 7.012%, 在这 5 个主成分中对总变异的解释占比相对较小。其累积方差贡献率为 100%, 表明前 5 个主成分所构成信息占总信息的全部, 这 5 个主成分可以代表原始数据整体结构。通过矩阵代数运算, 得到 5 个主成分得分的特征向量, 计算 5 个主成分得分, 分别记为 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 , 可列出 5 个主成分得分函数表达式。钾(X_1)、钙(X_2)、镁(X_3)、铁(X_4)、锌(X_5)、Vc(X_6)、蛋白质(X_7)、脂肪(X_8)、酚类物质(X_9)、黄酮类物质(X_{10})、硬度(X_{11})、TSS(X_{12})、总糖(X_{13})、总酸(X_{14})、可溶性糖(X_{15})、可食率(X_{16})、固酸比(X_{17})、糖酸比(X_{18})、单果质量(X_{19})、横径(X_{20})、纵径(X_{21})和果形指数(X_{22})分别为对应指标含量数据标准后的数据。根据各主成分分析的方差解释率为标准化权数, 构建综合评价函数: $D_n=42.348\%P_1+22.89\%P_2+16.734\%P_3+7.012\%P_4+7.012\%P_5$; $P_1=-0.07X_1+0.11X_2+0.07X_3-0.19X_4-0.03X_5+0.02X_6+0.06X_7+0.06X_8+0.22X_9+0.20X_{10}-0.05X_{11}+0.29X_{12}+0.23X_{13}-0.31X_{14}+0.22X_{15}-0.32X_{16}+0.32X_{17}+0.32X_{18}-0.29X_{19}-0.29X_{20}-0.27X_{21}+0.1X_{22}$; $P_2=0.05X_1-0.33X_2+0.09X_3-0.33X_4-0.34X_5+0.37X_6+0.07X_7-0.44X_8-0.25X_9-0.14X_{10}+0.32X_{11}+0.11X_{12}+0.14X_{13}-0.01X_{14}-0.19X_{15}+0.05X_{16}+0.06X_{17}+0.08X_{18}+0.05X_{19}+0.09X_{20}-0.02X_{21}-0.23X_{22}$; $P_3=0.37X_1+0.05X_2+0.44X_3-0.13X_4-0.3X_5-0.05X_6-0.2X_7-0.02X_8+0.21X_9+0.32X_{10}+0.27X_{11}-0.20X_{12}+0.23X_{13}-0.05X_{14}+0.20X_{15}+0.01X_{16}-0.06X_{17}+0.05X_{18}+0.19X_{19}+0.09X_{20}-0.28X_{21}-0.08X_{22}$; $P_4=0.43X_1-0.37X_2-0.06X_3+0.05X_4-0.04X_5+0.35X_6+0.33X_7+0.03X_8-0.07X_9+0.20X_{10}-0.19X_{11}-0.08X_{12}-0.25X_{13}+0.03X_{14}+0.03X_{15}-0.01X_{16}-0.09X_{17}-0.04X_{18}+0.12X_{19}-0.15X_{20}+0.05X_{21}+0.48X_{22}$; $P_5=-0.07X_1-0.01X_2-0.35X_3+0.18X_4-0.21X_5-0.07X_6+$

$0.59X_7+0.01X_8+0.21X_9+0.14X_{10}+0.23X_{11}+0.05X_{12}+0.17X_{13}+0.25X_{14}+0.37X_{15}-0.05X_{16}-0.12X_{17}-0.05X_{18}+0.12X_{19}+0.08X_{20}-0.05X_{21}-0.23X_{22}$ 。

运用主成分得分函数表达式及综合评价模型, 测算各品种的主成分得分与综合评价分值。所得分值越高, 说明该芒果品种品质越优。由表 5 可知, 6 个芒果品种中, 玉芒品质表现突出, P_1 得分最高, 其权重显著影响综合评分模型, 主成分得分优势明显, 表明玉芒的综合得分最高, 其果实品质在 6 个芒果品种中最好, 金煌芒多项品质指标结果欠佳, 表现结果靠后, 在主成分的方差解释率较低, 综合得分最低, 品质最差。基于综合评分, 芒果品种的品质排名顺序依次为: 玉芒>桂七芒>台农芒>象牙芒>贵妃芒>金煌芒。

2.4 不同芒果品种品质指标聚类分析

将芒果 22 项数据标准化处理后, 选用内在品质的 17 项数值, 令 17 项品质指标数据被转化为具有可比性的形式。使用系统聚类分析方法进行数据分析, 以平方欧氏距离来衡量数据点之间的差异程度, 以此确定测量区间; 采用组间连接的聚类方法, 将距离较近的数据点逐步合并成不同的类别, 最终生成聚类谱系图(图 1)。由图 1 可知, 当距离约为 10 时, 17 项芒果品质指标可划分为 3 类。第 1 类聚集了 Vc、黄酮类物质, 可解释芒果的生物活性成分特征; 第 2 类聚集了总糖、蛋白质、脂肪、可溶性糖、总酸、固酸比和糖酸比, 为芒果的果实风味特征; 第 3 类聚集了钾、钙、镁和锌, 为矿物质元素。

3 讨论

本研究对百色主栽地区 6 个芒果品种(桂七芒、台农芒、贵妃芒、金煌芒、象牙芒、玉芒)品质指标进行评价与分析, 通过分析不同芒果的外观品质和内在品质指标, 对芒果的果实品质展

表 5 不同芒果品种品质主成分分析综合得分
Tab. 5 Comprehensive scores of principal component analysis for different mango varieties

品种 Variety	得分 Score					综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5		
桂七芒	-28.28	18.94	28.24	2.05	6.18	27.13	2
台农芒	-22.86	14.34	23.53	2.32	4.80	22.13	3
贵妃芒	-80.17	19.68	37.49	-2.69	8.49	-17.21	5
金煌芒	-116.60	24.74	49.50	-6.48	11.33	-37.51	6
象牙芒	-50.07	17.16	31.39	1.48	6.23	6.19	4
玉芒	-19.07	16.09	25.34	3.43	5.29	31.09	1

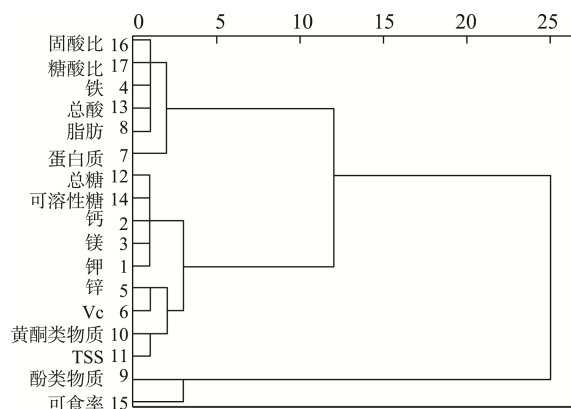


图 1 芒果品质指标聚类结果

Fig. 1 Clustering results of mango quality indicators

开评定。研究表明: 6 个芒果品种在外观品质上存在显著品种差异。单果质重、果形指数、色度值及变异系数的分析结果显示, 金煌芒的单果质量最大 (978.7 g), 玉芒最小 (248.7 g); 象牙芒 (1.7) 和玉芒 (1.6) 的果形指数最高, 呈长圆形, 而金煌芒、贵妃芒等为椭圆形 (1.3); 色度值中, 金煌芒的 a^* 值 (29) 最高 (偏红), 桂七芒的 a^* 值 (3) 最低 (偏绿), a^* 值的变异系数最大, 为 77.5%, 反映品种间颜色差异显著。这与李曦等^[15]研究百色地区 17 份芒果种质果实品质性状的遗传多样性分析的结果一致, 表明果皮色泽是品种鉴别中最具区分度的外观性状之一, 外观品质不仅受遗传控制, 还与成熟度密切相关, 提示在品种评价中, 需结合成熟度动态调整外观品质的判断标准, 尤其是对于转色差异显著的品种 (如台农芒与金煌芒), 成熟度对商品性的影响更为关键。内在品质分析结果显示, 桂七芒的可溶性固形物、总糖、可溶性糖、固酸比和糖酸比含量均为最高, 说明桂七芒在甜度相关指标 (总糖、可溶性糖) 及固酸比、糖酸比上表现突出; 贵妃芒因较高的酸度 (6.5 g/kg) 而呈现独特酸甜风味; 这与邓浩等^[16]研究不同成熟度芒果的研究结果一致, 可能在于成熟过程中蔗糖 (主导糖) 积累与柠檬酸 (主导有机酸) 降解是风味提升的核心机制; 矿物质分析结果表明, 象牙芒的钾含量最高 (163.6 mg/100 g), 台农芒的钙含量最高 (12.3 mg/100 g), 金煌芒的镁含量最高, 且钾含量差异可能与干物质积累相关。这与李曦等^[15]的研究结果一致, 其钙含量均值为 11.0 mg/100 g, 台农芒的高钙特性可能与果肉细胞壁结构或土壤钙供应相关, 而铁元素变异系数最高, 提示其积累可能受遗传与栽培条件的共同调控; 桂

七芒的 Vc 含量最高 (36.6 mg/100 g), 玉芒的酚类 (4.33 mg/100 g) 和黄酮类 (1.12 mg/100 g) 物质突出, 这与任二芳等^[17]报道玉芒果脯/果干能较好保留原果色泽、滋味及烯烴类挥发性物质 (81.09%) 的加工特性一致, 推测其高酚类物质可能增强了抗氧化稳定性, 使其更适合开发原果风味制品; MARTHA 等^[18]分析泰国 6 种品种芒果的品质特性及抗氧化能力的差异性, 表明黄酮和多酚类是芒果果实抗氧化活性的主要贡献者, 不同品种芒果的抗氧化物质含量存在基因型差异; 黄立标等^[19]基于主成分分析和 HS-SPME-GC-MS 技术综合评价 (台农芒、象牙芒和金煌芒) 3 个芒果品种品质特性, 台农芒的 Vc 和总酚含量最高, 台农芒和象牙芒的挥发性化合物以烯烴类为主, 综合分析认为, 台农芒和象牙芒适用于深加工, 金煌芒则更适合于鲜食。任桂霖等^[7]进一步研究发现矿物质与类胡萝卜素存在协同积累趋势, 如台农一号高 β -胡萝卜素与高钙的组合, 可能与类胡萝卜素作为抗氧化剂保护矿质元素吸收有关。这种协同作用为解析品种间营养指标的关联性提供了线索, 例如桂七芒高 Vc 与高糖的组合, 可能通过糖促进 Vc 的稳定性与生物利用率。

目前, 主成分分析法 (PCA) 被广泛应用于果实品质评价因子的筛选和品质的综合评价。谢若男等^[10]通过对海南省四大芒果主产区 (三亚、乐东、东方、昌江) 两大芒果品种 (台农芒、贵妃芒) 果实的品质特性进行成分分析, 将 13 个品质指标综合为 4 个相互独立的因子。石胜友等^[20]对保存于中国热带农业科学院亚热带作物研究所芒果种质圃的 33 份种质进行评价, 将果实 13 个品质性状综合为 6 个主成分; 辛明等^[21]对芒果果实的评价因子进行选择, 将果实 19 个品质指标综合为 7 个主成分。本研究对 6 个品种芒果的果实品质进行评价, 将果实 22 个品质指标综合为 5 个主成分, 通过 PCA 分析得出前 5 个主成分累计方差解释率达 100%, 将 6 个芒果品种的综合品质排序为: 玉芒 > 桂七芒 > 台农芒 > 象牙芒 > 贵妃芒 > 金煌芒; 其中玉芒在第 1 主成分 (权重 42.348%) 得分最高, 凸显其综合优势; 系统聚类分析结果表明, 品质指标可划分为 3 类: 第 1 类为生物活性成分 (维生素、黄酮类物质), 第 2 类为果实风味特征 (总糖、蛋白质、脂肪、可溶性糖、总酸、固酸比、糖酸比), 第 3 类为矿物质元素 (钾、钙、镁、锌)。本研究明确 6 个芒果品种的品质

差异,结合多区域、多维度的研究成果,揭示芒果品质可能是遗传特性、成熟度及栽培条件共同作用的结果。但由于研究仅基于试验数据,未涵盖主观感官评价,受个体主观差异影响,使得综合评价存在一定局限性。与果品市场评价体系相比,本研究缺少对外观、香气等要素考量,评价方式存在差异。在今后的芒果果实品质评价中,在进行差异性、相关性及主成分分析的基础上,重视并纳入主观感官评价,并结合分子标记与离体培养技术,定向改良目标性状,构建更全面、科学、贴合实际的芒果品质评价体系,推动芒果产业的精准化与多元化发展。

参考文献

- [1] 陈业渊,党志国,林电,胡美姣,黄建峰,朱敏,张贺,韩冬银,高爱平,高兆银,黄媛媛. 中国杧果科学研究 70 年[J]. 热带作物学报, 2020, 41(10): 2034-2044.
CHEN Y Y, DANG Z G, LIN D, HU M J, HUANG J F, ZHU M, ZHANG H, HAN D Y, GAO A P, GAO Z Y, HUANG Y Y. Mango scientific research in China in the past 70 years[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(10): 2034-2044. (in Chinese)
- [2] 郭丽梅,黄国弟,李日旺,陈永森,唐莹莹,罗世杏,唐玉娟,张宇,彭鹏,覃昱茗. 广西芒果产业发展现状及策略[J]. 广西科学院学报, 2023, 39(2): 119-127, 213.
GUO L M, HUANG G D, LI R W, CHEN Y S, TANG Y Y, LUO S X, TANG Y J, ZHANG Y, PENG P, QIN Y M. Development status and strategy of mango industry in Guangxi[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2023, 39(2): 119-127, 213. (in Chinese)
- [3] 农军. 百色市芒果产业发展探析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(2): 602-606, 608.
NONG J. Current situation and development strategy of mango industry in Baise city[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2014, 42(2): 602-606, 608. (in Chinese)
- [4] 罗桂梅,黄宁. 开发右江河谷芒果资源[J]. 中国农业资源与区划, 1994(3): 29-32.
LUO G M, HUANG N. Development of mango resources in Youjiang river valley[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 1994(3): 29-32. (in Chinese)
- [5] 石媛媛,邓明军,林北森,高华军,刘春萍,姚文艺. 基于 GIS 和地统计学的百色植烟土壤养分空间分析[J]. 南方农业学报, 2014, 45(8): 1403-1409.
SHI Y Y, DENG M J, LIN B S, GAO H J, LIU C P, YAO W Y. Spatial analysis of soil nutrients in tobacco-growing areas of Baise based on GIS and geostatistics[J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(8): 1403-1409. (in Chinese)
- [6] 苏世伟. 右江河谷芒果生产的问题及措施[J]. 广西热作科技, 1995(4): 12-13.
SU S W. Problems and measures for mango production in Youjiang river valley[J]. Guangxi Tropical Crops Science & Technology, 1995(4): 12-13. (in Chinese)
- [7] 任桂霖,魏靖,陈紫玉,王梓然. 7 个芒果品种果实品质及类胡萝卜素代谢差异分析[J]. 西南农业学报, (2025-05-27)[2025-06-25]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=bugI047JRxi2Eh0RXiCWT9W04qfNTLC-eYBMts12ohwU6E3tRp5Yrbdy9dW9EId-oBHjUWmEZTbWL88XR4p7LxNo9DBZTgeahye32MKhNCqwlNUOHfTTb3jQG0snzKaIzzqkdxSw_vKkWnX2fAD_iDljZ7B0xoFdx4aihDmUVVjpfLbzmft3A==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
REN G L, WEI J, CHEN Z Y, WANG Z R. Analysis of fruit quality and carotenoid metabolism differences in seven mango cultivars[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, (2025-05-27)[2025-06-25]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=bugI047JRxi2Eh0RXiCWT9W04qfNTLC-eYBMts12ohwU6E3tRp5Yrbdy9dW9EId-oBHjUWmEZTbWL88XR4p7LxNo9DBZTgeahye32MKhNCqwlNUOHfTTb3jQG0snzKaIzzqkdxSw_vKkWnX2fAD_iDljZ7B0xoFdx4aihDmUVVjpfLbzmft3A==&uniplatform=NZKPT&language=CHS. (in Chinese)
- [8] 李玖慧,彭云露,陈清勉,袁靖喆,易小平. SPME-GCMS 分析不同芒果品种香气成分差异[J]. 广州化工, 2025, 53(8): 112-114, 130.
LI J H, PENG Y L, CHEN Q M, YUAN J Z, YI X P. Analysis of aroma components differences in different mango cultivars by SPME-GCMS[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2025, 53(8): 112-114, 130. (in Chinese)
- [9] 毛迹洁,李中欣,陈健乐,陈士国,叶兴乾,程焕. 不同品种芒果速冻果块品质差异评价分析[J]. 食品科学, 2025, 46(14): 25-36.
MAO E J, LI Z X, CHEN J L, CHEN S G, YE X Q, CHENG H. Evaluation and analysis of quality differences in quick-frozen mango blocks of different varieties[J]. Food Science, 2025, 46(14): 25-36. (in Chinese)
- [10] 谢若男,马晨,张群,刘春华,阳辛凤. 海南省芒果主产区主栽品种果实品质特性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2511-2517.
XIE R N, MA C, ZHANG Q, LIU C H, YANG X F. Analysis of fruit quality characteristics of main cultivated mango varieties in main producing areas of Hainan province[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(12): 2511-2517. (in Chinese)
- [11] 柳颢,牛迎风,孔广红,李开雄,倪书邦. 云南芒果栽培种质果实品质性状变异分析[J]. 西南农业学报, 2018, 31(3): 582-586.

- LIU J, NIU Y F, KONG G H, LI K X, NI S B. Variation analysis of fruit quality traits in cultivated mango germplasms in Yunnan[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31(3): 582-586. (in Chinese)
- [12] 罗香, 黄颖, 罗科作. 芒果高产优质种植技术要点[J]. *农村实用技术*, 2022(4): 63-64.
- LUO X, HUANG Y, LUO K Z. Key points of high-yield and high-quality mango planting technology[J]. *Rural Practical Technologies*, 2022(4): 63-64. (in Chinese)
- [13] 陈振威. 广西百色市右江区水果产地土壤重金属含量及评价[J]. *中国园艺文摘*, 2013, 29(11): 22-23.
- CHEN Z W. Contents and evaluation of soil heavy metals in fruit producing areas of Youjiang district, Baise city, Guangxi[J]. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2013, 29(11): 22-23. (in Chinese)
- [14] KULDEEP, SINGH A K, RAWAT M, SHIVAM G M, GUTAM R, RAJ R, SHAH I, PANDEY A K, MAURYA D, SINGH S N, KUMAR V. Postharvest physiology of mango crops: understanding ripening, quality, and storage strategies[J]. *Applied Fruit Science*, 2025, 67(60). DOI:10.1007/s10341-025-01273-2.
- [15] 李曦, 王烨熔, 黄慧俐, 钟勇, 杨谨琰, 蒋强, 陈千付. 百色芒果栽培种质果实品质多样性分析[J]. *热带作物学报*, 2022, 43(4): 714-721.
- LI X, WANG Y R, HUANG H L, ZHONG Y, YANG J Y, JIANG Q, CHEN Q F. Diversity analysis of fruit quality in cultivated mango germplasm in Baise[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2022, 43(4): 714-721. (in Chinese)
- [16] 邓浩, 吴广, 陈小妹, 郭莉, 尹青春. 3 种芒果品种不同成熟度的营养指标聚类 and 主成分分析[J]. *现代食品科技*, 2024, 40(6): 198-205.
- DENG H, WU G, CHEN X M, GUO L, YIN Q C. Cluster and principal component analyses of nutritional indicators for three mango varieties at different maturities[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2024, 40(6): 198-205. (in Chinese)
- [17] 任二芳, 罗朝丹, 黄燕婷, 冯春梅, 邓有展, 李建强. 不同品种芒果果脯和果干的品质比较分析[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(7): 282-290, 183.
- REN E F, LUO C D, HUANG Y T, FENG C M, DENG Y Z, LI J Q. Comparative analysis of quality between preserved fruits and dried fruits of different mango varieties[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2022, 38(7): 282-290, 183. (in Chinese)
- [18] MARTHA R I, KANJANA W, VARIT S, KENJI Y. Fruit quality and antioxidant capacity of six Thai mango cultivars[J]. *Agriculture and Natural Resources*, 2018, 52: 208-214.
- [19] 黄立标, 袁艺洋, 陈琳, 杨美艳, 彭志愿, 卢小婷, 高向阳. 基于主成分分析和 HS-SPME-GC-MS 技术综合评价不同品种芒果品质特性[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(3): 297-306.
- HUANG L B, YUAN Y Y, CHEN L, YANG M Y, PENG Z Y, LU X T, GAO X Y. Comprehensive evaluation of quality characteristics of different mango varieties based on principal component analysis and HS-SPME-GC-MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(3): 297-306. (in Chinese)
- [20] 石胜友, 马小卫, 许文天, 周毅刚, 武红霞, 姚全胜, 罗纯, 王松标. 不同芒果种质果实品质性状多样性分析[J]. *热带作物学报*, 2014, 35(11): 2168-2172.
- SHI S Y, MA X W, XU W T, ZHOU Y G, WU H X, YAO Q S, LUO C, WANG S B. Diversity analysis of fruit quality traits in different mango germplasms[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2014, 35(11): 2168-2172. (in Chinese)
- [21] 辛明, 张娥珍, 何全光, 阳仁桂, 罗慧馨, 黄振勇, 苏燕竹, 黄茂康. 芒果果实品质评价因子的选择[J]. *南方农业学报*, 2014, 45(10): 1818-1824.
- XIN M, ZHANG E Z, HE Q G, YANG R G, LUO H X, HUANG Z Y, SU Y Z, HUANG M K. Selection of evaluation factors for mango fruit quality[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45(10): 1818-1824. (in Chinese)