

广西不同区域主栽芒果品种果实品质特性分析

罗义灿¹, 李今朝¹, 邓有展¹, 姚金洁¹, 刘 力¹, 王运儒¹, 林 鹰¹, 韦再行³,
马 晨^{2*}

1. 广西壮族自治区亚热带作物研究所/广西亚热带特色水果质量安全控制重点实验室/广西壮族自治区芒果产业绿色高效发展工程研究中心, 广西南宁 530001; 2. 海南省热带果蔬产品质量安全重点实验室/农业农村部亚热带果品蔬菜质量安全控制重点实验, 海南海口 570311; 3. 田东县现代农业科技创新服务中心, 广西百色 533000

摘 要: 为探究广西不同区域主栽芒果品种果实品质差异, 以广西百色、南宁、玉林、钦州 4 个区域的金煌、贵妃、台农、桂热 82 号(桂七)芒果品种为研究对象, 采用国家标准分析方法测定芒果品质, 并结合相关性分析、聚类分析及主成分分析(PCA)进行系统评价。结果表明: 金煌品种单果质量(748.86 g)、果皮厚度(2.30 mm)、果核质量(98.37 g)、可食率(89.91%)、果形指数(1.92)、硬度(10.53 N)、固酸比(52.73)的平均值均高于其他品种, 桂七品种色差值(19.30)、可溶性固形物含量(22.67%)、维生素 C 含量(52.73 mg/100 g)、总糖含量(52.73 mg/g)、 β -胡萝卜素含量(39.30 mg/g)的平均值均高于其他品种。不同区域同一品种芒果果实果皮厚度、固酸比、维生素 C 含量、总糖含量、 β -胡萝卜素含量差异显著($P<0.05$); 相关性分析表明, 单果质量与果核质量、可食率、果形指数呈强正相关($r=0.78$), 色差值与可溶性固形物呈强正相关($r=0.75$), 可溶性固形物与总糖呈强正相关($r=0.81$), 维生素 C 与 β -胡萝卜素呈强正相关($r=0.87$), 果形指数与维生素 C、 β -胡萝卜素呈强负相关($r=-0.85$), 可滴定酸与固酸比呈强负相关($r=-0.80$); 聚类分析将 13 项指标分为 4 类, 分别为外观形态描述、皮层描述、理化性质描述、营养品质描述。主成分分析结果表明, 提取 4 个主成分(累计方差贡献率为 88.41%), 能够代表原品质性状的绝大部分信息; 综合得分结果显示, 品种品质得分排序为: 桂七>金煌>台农>贵妃, 区域品质得分排序为: 百色>南宁>玉林>钦州。综上, 不同品种之间具有显著的品质特征, 桂七较甜, 贵妃偏酸, 桂七在营养品质及综合表现上具显著优势, 百色桂七、南宁金煌、南宁贵妃、玉林台农果实品质特性较佳。

关键词: 芒果; 不同区域; 品质特性; 主成分分析; 广西

中图分类号: S667.7 文献标志码: A

Analysis of Fruit Quality Characteristics of Main Cultivars of Mango in Different Regions of Guangxi

LUO Yican¹, LI Jinzhao¹, DENG Youzhan¹, YAO Jinjie¹, LIU Li¹, WANG Yunru¹, LIN Ying¹, WEI Zaixing³, MA Chen^{2*}

1. Guangxi Subtropical Crops Research Institute/ Guangxi Key Laboratory of Quality and Safety Control for Subtropical Fruits / Guangxi Zhuang Autonomous Region Engineering Research Center of Green and Efficient Development for Mango Industry, Nanning, Guangxi 530001, China; 2. Hainan Provincial Key Laboratory of Quality and Safety for Tropical Fruits and Vegetables / Key Laboratory of Quality and Safety Control of Subtropical Fruits and Vegetables, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Haikou, Hainan 570311, China; 3. Tiandong Modern Agricultural Science and Technology Innovation Service Center, Baise, Guangxi, 533000, China

收稿日期 2025-03-21; 接受日期 2025-05-07

基金项目 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2023YM124); 海南省热带果蔬产品质量安全重点实验室/农业农村部亚热带果品蔬菜质量安全控制重点实验室联合开放课题项目(No. KFKT2024005); 广西农业科学院院立稳定资助科研团队项目(桂农科 2021YT147)。

作者简介 罗义灿(1992—), 男, 硕士研究生, 助理研究员, 研究方向: 农产品质量安全与品质评价。*通信作者(Corresponding author): 马 晨(MA Chen), E-mail: mc19860112@163.com。

Abstract: The aim of the study was to investigate the differences in fruit quality and conduct a comprehensive evaluation of major mango cultivars across different regions in Guangxi. Four cultivars (Jinhuang, Guifei, Tainong, and Guiqi) from four producing areas (Baise, Nanning, Yulin, and Qinzhou) were selected as the research subjects. The quality of mangoes was assessed using national standard analytical methods. Systematic analyses were performed via correlation analysis, cluster heatmap analysis, and principal component analysis (PCA). Jinhuang exhibited higher average values in single-fruit weight (748.86 g), peel thickness (2.30 mm), stone weight (98.37 g), edible rate (89.91%), fruit shape index (1.92), firmness (10.53 N), and sugar-acid ratio (52.73). Guiqi showed superior performance in color difference (19.30), SSC (22.67%), Vc (52.73 mg/100 g), total sugar (52.73 mg/g), and β -carotene (39.30 mg/g). Significant regional differences ($P<0.05$) were observed in peel thickness, sugar-acid ratio, Vc, total sugar, and β -carotene among the same cultivars from different areas. Correlation analysis revealed strong positive correlations between single-fruit weight and stone weight, edible rate, and fruit shape index ($r=0.78$); color difference and SSC ($r=0.75$); SSC and total sugar ($r=0.81$); and Vc and β -carotene ($r=0.87$). Fruit shape index was negatively correlated with Vc and β -carotene ($r=-0.85$), while titratable acidity showed a strong negative correlation with sugar-acid ratio ($r=-0.80$). Cluster analysis categorized the 13 indices into four groups, morphological traits, peel characteristics, physicochemical properties, and nutritional quality. PCA extracted four principal components (cumulative variance contribution: 88.41%), capturing the majority of original quality information. Comprehensive scores ranked cultivars as Guiqi>Jinhuang>Tainong>Guifei and regions as Baise>Nanning>Yulin>Qinzhou. Significant quality variations existed among cultivars, with Guiqi demonstrating superior sweetness and nutritional quality compared to the more acidic Guifei. Guiqi from Baise, Jinhuang and Guifei from Nanning, and Tainong from Yulin exhibited optimal fruit quality traits, highlighting regional and cultivar-specific advantages.

Keywords: mango; different regions; quality characteristics; principal component analysis; Guangxi

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.08.006

芒果 (*Mangifera indica* L.) 是漆树科 (Anacardiaceae) 芒果属 (*Mangifera*) 常绿果树, 属于典型的呼吸跃变型果实, 素有“热带果王”的美誉^[1]。芒果在中国的种植可以追溯至唐代, 当时从印度引种, 具有 1300 多年的栽培历史^[2]。中国的芒果种植区主要包括广东、广西、海南、云南、四川、福建等省 (区), 目前广西芒果栽培面积和总产量均位于国内首位, 对推动广西地方经济起到重要作用^[3-4]。在广西 14 个市区中, 百色是芒果种植面积和产量最多的市区, 但随着芒果品种及种植技术的不断更新, 目前, 南宁、钦州、玉林市区的芒果种植面积也在扩大, 据不完全统计, 南宁、钦州、玉林芒果种植面积超 6667 hm²。然而, 随着芒果种植面积的扩大以及品种的增多, 果实品质参差不齐问题随之出现。因此, 研究不同区域主栽芒果品种果实品质特性, 并进行综合评价, 对广西不同区域芒果品种推广具有重要意义。

芒果品质特性参数主要包括单果质量、色泽、可溶性固形物、维生素 C、总糖等物理特征参数和生化特征参数^[5]。众多研究通过分析这些品质参数来评价芒果的品质特性, 以挖掘出不同品种的品质特点。石胜友等^[6]对中国热带农业科学院

南亚热带作物研究所芒果种质圃的 33 份种质进行 13 个芒果品质性状分析结果表明, 芒果果实品质性状变异丰富, 品质性状之间存在相关性, 但同时也具有独立性, 以葡萄糖、果糖、总酚等 8 个品质参数为主要性状; 柳甄等^[7]对云南 60 份芒果栽培种质的单果质量、果皮厚度、果核质量、可食率、可溶性固形物含量、总糖含量和可滴定酸含量等 7 个品质性状参数的测定结果表明, 大多数品质性状为独立性状, 果核质量、可食率与单果质量三者之间、可溶性固形物含量与总糖含量间存在极显著正相关; 李曦等^[3]对百色地区栽培的 17 份芒果种质 23 个品质性状的分析结果表明, 芒果果实数量性状变异丰富, 变异系数范围为 12%~96%, 可食率与果实质量呈显著正相关, 与 β -胡萝卜素呈显著负相关, 主成分分析结果表明, 有 9 个性状为果实的主要性状, 通过聚类分析可将芒果种质分成 3 个类群。由于不同产地种植环境所处的积温、降雨、光照、土壤等条件不同, 种植出的果实品质也会存在差异。孙达等^[8]对 11 个脐橙产地收集到的 22 份纽荷尔脐橙果实样品进行可溶性糖、有机酸和主要苦味物质的测定结果表明, 果实糖酸品质在不同产地间有一定差异; 廖秋红^[9]对我国 17 个产地的纽荷尔脐橙常规

营养品质及矿质元素、糖酸组分、部分氨基酸组分含量等营养品质的研究表明,不同产地纽荷尔脐橙单果质量、果形指数和可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 含量,以及果皮、果肉中的矿质元素、糖酸组分、部分氨基酸组分含量等质量因子具有显著的地理差异性。谢若男等^[10]对海南省(三亚、乐东、东方、昌江)两大芒果品种(台农、贵妃)品质特性的研究表明,不同产区同一品种芒果果实的糖类、维生素 C 含量品质性状差异显著,13 个品质指标存在正相关或负相关,得出不同品种之间品质特征鲜明,不同区域品质特性最佳的区域。

目前,尚未见针对广西不同区域主栽芒果果实品质特性分析的研究报道,本研究拟通过对广西百色、玉林、南宁、钦州 4 个区域、4 个芒果品种桂热 82 号、金煌、台农、贵妃的 13 个指标参数进行果实品质性状分析,并通过相关性分析、聚类分析、主成分分析来确定广西不同区域芒果品种的品质差异,为广西芒果品种布局及品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂 试验芒果样品分别采自广西百色、玉林、南宁、钦州 4 个区域,品种为桂热 82 号(桂七)、金煌、台农、贵妃。百色区域每个品种采集样品 8 份,玉林、南宁、钦州区域每个品种采集样品 4 份,样品共计 80 份。采摘时芒果达七八成熟^[11]。样品编号如下:南宁贵妃(NNGF)、玉林贵妃(YLGF)、钦州贵妃(QZGF)、百色贵妃(BSGF)、南宁金煌(NNJH)、玉林金煌(YLJH)、钦州金煌(QZJH)、百色金煌(BSJH)、南宁台农(NNTN)、钦州台农(QZTN)、玉林台农(YLTN)、百色台农(BSTN)、钦州桂七(QZGQ)、南宁桂七(NNGQ)、玉林桂七(YLGQ)、百色桂七(BSGQ)。

主要试剂:氢氧化钠、氢氧化钾、偏磷酸、草酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);2,6-二氯酚、标准抗坏血酸、酚酞(上海泰坦科技股份有限公司);甲醇、乙腈(色谱纯,美国 Fisher 公司);甲基叔丁基醚、正己烷(色谱纯,济南斯贝特化工有限公司);果糖、葡萄糖和蔗糖标准品(上海安谱实验科技股份有限公司); α -淀粉酶、木瓜蛋白酶(山东诺杰生物科技有限公司)。

1.1.2 仪器与设备 主要仪器设备:色差仪 LS173(深圳市林上科技有限公司);超声清洗器(广东洁盟超声实业有限公司);Waters e2695 液相色谱仪(配置 Waters 2414 RID 示差折光检测器,美国 Waters 公司);C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μ m)、氨基色谱柱(4.6 mm×250 mm, 粒径 5 μ m, 氨基硅烷键合硅胶为填充剂)(广州绿百草科学仪器有限公司);Fresco21 高速冷冻离心机(赛默飞世尔科技公司)。

1.2 方法

1.2.1 常规物理品质指标测定 每个品种随机选取大小均一、无机械损伤的果实 10 个,用天平进行称量(精确至 0.01 g)并记录;以果实的纵径和横径的比值作为果形指数;用游标卡尺测量果实厚度;以可食部分与单果质量的比值作为可食率;利用色差仪测定芒果表皮中 L^* 、 a^* 和 b^* 值,其中 L^* 表示亮度, a^* 表示红绿度变化(+ a^* 表示红色, - a^* 表示绿色), b^* 表示黄蓝度变化(+ b^* 表示黄色, - b^* 表示蓝色),根据公式计算色差值 $\Delta E^{[12]}$ 。计算公式为: $\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$, 式中, L^* 、 a^* 和 b^* 表示成熟芒果果肉的测定值, L_0^* 、 a_0^* 和 b_0^* 表示标准色板的值($L^*=82$, $a_0^*=12$, $b_0^*=52$);使用硬度计测定样品果肉硬度,果实沿着赤道轴中心处将果皮削去,将探头沿中心测定上、中、下 3 点位置的硬度,硬度单位以牛顿(N)表示,以上指标平行测定 3 次。

1.2.2 常规化学品质指标测定 (1)可溶性固形物、可滴定酸、固酸比、维生素 C 含量测定。可溶性固形物、可滴定酸含量分别参照标准 GB/T 8210—2011《柑桔鲜果检验方法》中的手持式糖量计法和指示剂法进行测定;固酸比为可溶性固形物含量除以可滴定酸含量;维生素 C 含量参照 GB 5009.86—2016《食品中抗坏血酸的测定》中 2,6-二氯酚滴定法进行测定。

(2)总糖含量测定。总糖含量测定参照 GB 5009.8—2016《食品安全国家标准食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》中高效液相色谱法。取混匀试样 2.0 g,放置 100 mL 比色管中加入 50 mL 水,再缓慢加入 5 mL 乙酸锌溶液和 5 mL 亚铁氰化钾溶液,涡旋混匀,超声 30 min,转移至 100 mL 容量瓶中并用水定容至刻度,混匀,静置,将提取液用滤纸过滤获取上清液后,用 0.45 μ m 水性滤膜过滤至样品瓶,随后

用高效液相色谱仪进行分析,根据样品峰面积和标准曲线来计算糖组分的含量,用高效液相色谱法对每个样品平行测定 3 次。总糖参照穆茜等^[13]的方法计算。总糖 (mg/g) = 葡萄糖 + 果糖 + 蔗糖。

(3) β -胡萝卜素含量测定。参照 GB/T 5009.83—2016 食品中胡萝卜素的测定方法,以色谱条件二(食品中 β -胡萝卜素的测定)计算结果,每个样品平行测定 3 次。

1.3 数据处理

通过 Excel 2021 软件对数据进行收集整理,采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析 (ANOVA),采用 Duncan's 法进行多重比较分析 ($P < 0.05$);品质综合评估方法:首先对初始数据进行标准化预处理以消除量纲差异,运用 Z-Score 法实现数据规范化,然后运用主成分分析技术 (PCA) 从多维指标中筛选核心成分,通过计算各品质参数的特征值及其方差贡献率,并应用最大方差正交旋转法获取旋转后的因子载荷矩阵,继而采用汤姆逊回归模型估算各主成分得分值,根据 Kaiser 准则 (特征值阈值设为 1) 确定有效主成分数量,最终以各主成分方差贡献率占比为加权系数,对各主成分得分实施线性加权运算,由此得出不同区域主栽芒果样本的果实品质综合评价,以因子载荷 ≥ 0.8 为显著贡献指标,主成分得分用于品种综合排名^[14],并用 Origin 软件制作综合得分图;用 Origin 软件通过 Pearson 相关系数分析 13 项指标间的相关性,并进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同区域主栽品种品质比较分析

2.1.1 果实单果质量、果皮厚度、果核质量、可食率分析 由表 1 可知,不同区域单果质量金煌和贵妃之间差异显著,桂七、台农之间差异不显著,桂七的单果质量变化范围为 247.80~322.30 g,变异系数为 5.65%,变异系数最小;钦州区域的 4 个品种单果质量均值最大,金煌的单果质量变化范围为 382.50~1009.90 g,变异系数为 27.50%,变化区间最大;品种单果质量均值表现为:金煌>贵妃>桂七>台农。4 个品种不同区域果皮厚度之间差异显著,桂七、台农之间差异不显著,桂七的果皮厚度变化范围为 0.98~3.41 mm,变异系数为 45.97;钦州区域的桂七、金煌果皮厚度最小,百色区域的台农果皮厚度最小,南宁区域的贵妃

果皮厚度最小;变异系数最小的是金煌,为 25.97%,变化范围为 1.42~3.41 mm;品种果皮厚度均值表现为:金煌>桂七>贵妃>台农。不同区域果核质量金煌之间差异显著,台农之间差异不显著,桂七的果核质量变化范围为 63.43~78.99 g,变异系数为 6.02%,变异系数最小;钦州区域的金煌、台农果核质量最大,玉林区域的桂七、贵妃果核质量最小;品种果核质量均值表现为:金煌>贵妃>桂七>台农。不同区域可食率贵妃之间差异显著,贵妃的可食率变化范围为 68.32%~79.77%,变异系数为 4.04%,桂七、金煌、台农之间差异不显著;不同区域比较,百色区域桂七的可食率最高,南宁区域金煌的可食率最高,玉林区域台农的可食率最高,钦州区域贵妃的可食率最高;品种可食率均值表现为:金煌>台农>桂七>贵妃。

2.1.2 果形指数、色差值、硬度分析 不同区域果形指数金煌和台农之间差异显著,桂七、贵妃之间差异不显著,桂七的果形指数变化范围为 1.21~1.32,变异系数为 2.75%,变异系数最小,金煌的果形指数变化范围为 1.78~2.09,变异系数为 4.70%,变异系数最大;百色、钦州区域的桂七果形指数均值最大,南宁区域的金煌、台农果形指数最大,玉林区域的贵妃果形指数均值最大;品种果形指数均值表现为:金煌>贵妃>台农>桂七。不同区域的色差值贵妃之间差异显著,桂七、金煌、台农之间差异不显著,贵妃的色差值变化范围为 4.24~10.50,变异系数为 28.34%,变异系数最大;南宁区域的桂七色差值均值最大,玉林区域的金煌、台农色差值最大,钦州区域的贵妃色差值均值最大;品种色差值均值表现为:桂七>台农>金煌>贵妃。不同区域硬度金煌、台农之间差异显著,桂七、贵妃之间差异不显著,金煌的硬度变化范围为 8.53~19.89 N,台农的硬度变化范围为 13.33~31.92 N,变异系数分别为 29.37%、31.92%;百色区域的桂七、金煌、台农之间硬度均值最大,玉林区域的贵妃硬度均值最大;品种硬度均值表现为:金煌>贵妃>桂七>台农。

2.1.3 可溶性固形物含量、可滴定酸含量、固酸比分析 不同区域桂七、金煌、贵妃之间可溶性固形物含量差异显著,台农之间差异不显著,桂七的可溶性固形物含量变化范围为 20.50%~25.80%,变异系数为 7.40%,金煌的可溶性固形物含量变化范围为 12.60%~18.90%,变异系数为

表 1 4 个区域芒果果实品质比较

Tab. 1 Comparison of mango fruit quality from four different production areas

项目 Item	单果质量 Fruit weight/g				果皮厚度 Rind thickness/mm			
	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei
百色	292.21±2.59 ^a	537.44±43.41 ^c	187.38±18.73 ^a	324.69±19.78 ^b	2.62±0.30 ^a	2.35±0.21 ^b	0.45±0.08 ^d	2.55±0.28 ^a
南宁	286.71±2.31 ^a	818.38±54.60 ^b	199.33±23.91 ^a	405.25±21.46 ^a	1.24±0.05 ^b	2.09±0.02 ^{bc}	1.92±0.11 ^a	1.38±0.15 ^b
玉林	274.92±16.62 ^a	669.03±4.59 ^c	218.22±5.69 ^a	251.05±5.42 ^c	3.10±0.24 ^a	3.10±0.24 ^a	1.40±0.11 ^b	1.82±0.36 ^{ab}
钦州	292.65±5.43 ^a	970.60±34.58 ^a	246.75±6.64 ^a	410.95±3.46 ^a	1.17±0.09 ^b	1.66±0.04 ^c	0.98±0.05 ^c	1.95±0.02 ^{ab}
平均值	286.62	748.86	212.92	347.98	2.03	2.30	1.19	1.92
变异系数/%	5.65	27.54	21.39	20.96	45.97	25.97	58.61	36.02
最大值	322.30	1009.90	265.70	456.80	3.41	3.41	2.24	3.37
最小值	247.80	382.50	102.10	235.70	0.98	1.42	0.22	0.90
P	0.34	0	0.15	0	0	0	0	0.04

项目 Item	果核质量 Stone weight/g				可食率 Edible portion ratio/%			
	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei
百色	69.02±1.71 ^b	76.39±3.78 ^c	46.98±4.98 ^a	81.50±4.23 ^b	76.37±0.61 ^a	85.17±1.39 ^a	74.76±1.12 ^a	74.72±0.97 ^a
南宁	74.62±1.50 ^a	103.15±8.83 ^b	48.33±5.89 ^a	104.48±0.91 ^a	73.97±0.59 ^a	87.45±0.29 ^a	75.77±0.75 ^a	73.96±1.62 ^a
玉林	67.85±1.18 ^b	88.10±1.24 ^c	48.33±5.89 ^a	75.05±1.49 ^b	75.00±1.78 ^a	86.83±0.17 ^a	77.63±3.15 ^a	70.06±0.88 ^b
钦州	72.02±0.98 ^{ab}	125.82±2.09 ^a	58.99±3.83 ^a	100.61±0.80 ^a	75.38±0.33 ^a	86.96±0.71 ^a	76.15±1.03 ^a	75.51±0.33 ^a
平均值	70.88	98.37	50.66	90.41	75.18	86.6	76.08	73.56
变异系数/%	6.02	22.92	24.38	15.89	2.74	3.08	4.6	4.04
最大值	78.99	131.32	69.99	106.77	79.97	89.91	86.28	79.77
最小值	63.43	64.65	29.99	58.99	72.16	77.02	68.78	68.32
P	0.06	0	0.44	0	0.29	0.48	0.64	0.02

项目 Item	果形指数 Fruit shape index				色差值 Color difference value			
	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei
百色	1.26±0.01 ^a	1.92±0.02 ^b	1.45±0.01 ^b	1.62±0.01 ^b	18.65±1.33 ^a	17.67±0.55 ^a	18.08±0.40 ^b	6.87±0.64 ^a
南宁	1.24±0.01 ^a	2.04±0.02 ^a	1.50±0.03 ^a	1.70±0.01 ^a	20.94±0.63 ^a	17.96±0.56 ^a	19.52±0.40 ^{ab}	4.86±0.10 ^b
玉林	1.22±0.00 ^a	1.86±0.02 ^b	1.43±0.01 ^b	1.71±0.01 ^a	16.82±1.02 ^a	18.71±0.67 ^a	19.85±0.66 ^a	4.96±0.18 ^b
钦州	1.26±0.02 ^a	1.85±0.05 ^b	1.35±0.00 ^c	1.67±0.04 ^{ab}	20.80±1.51 ^a	18.28±1.29 ^a	19.18±0.47 ^{ab}	8.35±0.57 ^a
平均值	1.24	1.92	1.43	1.67	19.30	18.15	19.15	6.26
变异系数/%	2.75	4.70	4.08	3.30	16.54	8.92	6.57	28.34
最大值	1.32	2.09	1.57	1.77	23.48	22.15	20.92	10.50
最小值	1.21	1.78	1.34	1.58	12.57	15.12	15.85	4.24
P	0.19	0	0	0.10	0.19	0.78	0.05	0

项目 Item	硬度 Firmness/N				可溶性固形物 Soluble solids content/%			
	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei
百色	11.88±2.03 ^a	13.44±1.11 ^a	10.46±0.71 ^a	9.85±0.92 ^a	24.78±0.35 ^a	16.48±0.11 ^{bc}	17.45±0.55 ^a	11.69±0.28 ^b
南宁	9.41±0.23 ^a	9.66±0.50 ^{bc}	5.88±0.65 ^b	10.12±0.54 ^a	22.53±0.43 ^b	15.43±0.94 ^c	17.53±0.67 ^a	10.78±0.23 ^b
玉林	6.76±1.09 ^a	12.08±0.47 ^{ab}	6.76±0.61 ^b	7.60±0.91 ^a	21.15±0.35 ^c	16.90±0.07 ^{ab}	18.05±0.28 ^a	11.10±0.39 ^b
钦州	6.42±0.72 ^a	6.96±0.55 ^c	6.25±0.13 ^b	7.10±0.67 ^a	22.25±0.52 ^{bc}	17.98±0.42 ^a	18.40±0.29 ^a	15.03±0.30 ^a
平均值	8.62	10.53	7.34	8.67	22.67	16.69	17.86	12.15
变异系数/%	47.26	29.37	31.92	25.59	7.40	7.18	6.77	14.03
最大值	23.32	19.89	13.33	12.74	25.80	18.90	19.90	15.60
最小值	4.41	8.53	4.41	5.49	20.50	12.60	15.40	10.00
P	0.10	0	0	0.08	0	0.01	0.59	0

续表 1 4 个区域芒果果实品质比较
Tab. 1 Comparison of mango fruit quality from four different production areas (continued)

项目 Item	可滴定酸 Titratable acidity/%				固酸比 Solid-to-acid ratio			
	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei
百色	0.43±0.01 ^c	0.24±0.01 ^c	0.54±0.01 ^b	0.24±0.01 ^a	57.47±0.70 ^a	67.99±1.91 ^a	32.29±0.80 ^a	48.65±1.52 ^b
南宁	0.63±0.03 ^a	0.29±0.02 ^b	0.55±0.01 ^b	0.24±0.01 ^a	36.21±1.36 ^{bc}	54.07±0.92 ^b	32.19±1.45 ^a	45.30±2.61 ^b
玉林	0.63±0.02 ^a	0.32±0.02 ^b	0.55±0.01 ^b	0.25±0.01 ^a	33.59±1.55 ^c	53.67±2.60 ^b	33.14±0.84 ^a	45.29±0.74 ^b
钦州	0.56±0.04 ^b	0.51±0.02 ^a	0.95±0.05 ^a	0.25±0.01 ^a	40.86±3.45 ^b	35.19±1.49 ^c	19.53±0.94 ^b	61.88±3.23 ^a
平均值	0.56	0.34	0.64	0.24	42.03	52.73	29.29	50.28
变异系数/%	19.04	33.03	27.55	8.23	24.71	23.41	19.10	15.23
最大值	0.69	0.55	1.04	0.28	59.53	78.10	36.18	68.10
最小值	0.41	0.21	0.51	0.21	29.71	32.36	18.08	38.89
P	0	0	0	0.97	0	0	0	0

项目 Item	维生素 C Vitamin C/[mg·(100 g) ⁻¹]				总糖 Total sugar/(mg·g ⁻¹)			
	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei
百色	32.23±0.22 ^a	15.73±0.07 ^a	25.62±0.09 ^a	20.53±0.12 ^b	255.60±5.65 ^a	167.90±0.88 ^b	194.75±1.36 ^a	106.19±4.48 ^b
南宁	28.77±0.71 ^c	14.60±0.68 ^b	25.30±0.43 ^a	19.22±0.43 ^c	218.26±1.61 ^b	171.01±0.21 ^b	149.04±0.92 ^c	110.89±1.17 ^b
玉林	30.49±0.66 ^{bc}	10.77±0.35 ^c	20.47±0.31 ^b	18.11±0.26 ^d	157.99±3.36 ^c	109.02±4.17 ^c	145.05±1.50 ^c	98.91±1.69 ^b
钦州	40.26±2.23 ^a	15.72±0.11 ^a	20.60±0.33 ^b	21.52±0.30 ^a	172.41±2.72 ^c	199.81±0.59 ^a	184.97±0.85 ^b	167.09±0.92 ^a
平均值	32.94	14.20	23.00	19.84	201.06	161.94	168.45	120.77
变异系数/%	13.73	14.25	10.87	6.62	20.35	18.75	13.15	22.70
最大值	45.70	16.54	26.33	22.32	275.43	200.68	202.61	169.36
最小值	26.78	10.16	25.89	17.68	148.85	99.28	140.71	79.19
P	0	0	0	0	0	0	0	0

项目 Item	β-胡萝卜素 β-carotene/(mg·g ⁻¹)			
	桂七 Guiqi	金煌 Jinhuang	台农 Tainong	贵妃 Guifei
百色	44.35±0.85 ^a	10.86±0.26 ^a	16.33±0.31 ^a	20.74±0.28 ^{ab}
南宁	34.58±0.86 ^d	9.21±0.26 ^b	15.35±0.31 ^{ab}	19.49±0.77 ^{bc}
玉林	37.35±0.70 ^c	8.38±0.26 ^b	13.91±0.28 ^c	18.38±0.50 ^c
钦州	40.93±0.19 ^b	11.36±0.39 ^a	14.97±0.30 ^b	21.18±0.15 ^a
平均值	39.30	9.95	15.14	19.95
变异系数/%	10.71	13.06	7.45	6.84
最大值	46.78	12.32	16.99	21.87
最小值	32.55	7.89	13.43	17.87
P	0	0	0	0

注：同一品质指标数据后的不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters following the same quality index data indicate significant difference ($P<0.05$).

7.18%，贵妃的可溶性固形物含量变化范围为 10.00%~15.60%，变异系数为 14.03%，变异系数最大。百色区域的桂七可溶性固形物含量均值最大，钦州区域的金煌、台农、贵妃均值最大；品种可溶性固形物含量均值表现为：桂七>台农>金煌>贵妃。不同区域的可滴定酸含量桂七、金煌、台农之间差异显著，贵妃之间差异不显著，桂七的可滴定酸变化范围为 0.41%~0.69%，变异系数为 19.04%，金煌的可滴定酸含量变化范围为 0.21%~0.55%，变异系数为 33.03%，变异系数最大，台农的可滴定酸变化范围为 0.51%~1.04%，变异系数为 27.55%，贵妃的变异系数为 8.23%，

变异系数最小。百色区域 4 个品种的可滴定酸含量均值最小；品种可滴定酸含量均值表现为：台农>桂七>金煌>贵妃。不同区域的固酸比 4 个品种之间差异显著，桂七的固酸比变化范围为 29.71~59.53，变异系数为 24.71%，变异系数最大，金煌的固酸比变化范围为 32.36~78.10，变异系数为 23.41%，台农的固酸比变化范围为 18.08~36.18，变异系数为 19.10%，贵妃的固酸比变化范围为 38.89~68.10，变异系数为 15.23%，变异系数最小；百色区域的桂七、金煌的固酸比均值最大，玉林区域的台农固酸比均值最大，钦州区域的贵妃固酸比均值最大；品种固酸比均值表现为：金煌>贵妃>桂七>台农。

2.1.4 维生素 C、总糖、β-胡萝卜素含量分析 不同区域的维生素 C 含量 4 个品种之间差异显著，桂七的维生素 C 含量变化范围为 26.78~45.70 mg/100 g，变异系数为 13.73%，变异系数最大，金煌的维生素 C 含量变化范围为 10.16~16.54 mg/100 g，变异系数为 14.25%，台农的维生素 C 含量变化范围为 25.89~26.33 mg/100 g，变异系数为 10.87%，贵妃的维生素 C 含量变化范围为 17.68~22.32 mg/100 g，变异系数为 6.62%，变异系数最小；钦州区域的桂七维生素 C 含量均值最大，百色区域的金煌、台农维生素 C 含量均值最大，钦州区域的贵妃维生素 C 含量均值最大；各品种维生素 C 含量均值表现为：桂七>台农>贵妃>金煌。不同区域总糖含量 4 个品种之间差异显著，桂七的总糖含量变化范围为 148.85~275.43 mg/g，变异系数为 20.35%，金煌的总糖含量变化范围为 99.28~200.68 mg/g，变异系数为 18.75，台农的总糖含量变化范围为 140.71~202.61 mg/g，变异系数为 13.15，变异系数最小，贵妃的总糖含量变化范围为 79.19~169.36 mg/g，变异系数为 22.70，变异系数最大；钦州区域的桂七总糖含量均值最大，百色区域的金煌、台农总糖含量均值最大，钦州区域的贵妃总糖含量均值最大；品种总糖含量均值表现为：桂七>台农>贵妃>金煌。不同区域 β-胡萝卜素含量 4 个品种之间差异显著，桂七区域的 β-胡萝卜素含量变化范围为 32.55~46.78 mg/g，变异系数为 10.71%，金煌的 β-胡萝卜素含量变化范围为 7.89~12.32 mg/g，变异系数为 13.06%，台农的 β-胡萝卜素含量变化范围为 13.43~16.99 mg/g，变异系数为 7.45%，贵妃的 β-胡萝卜素含量变化范围为 17.87~21.87 mg/g，变异系数为 6.84%，变异系

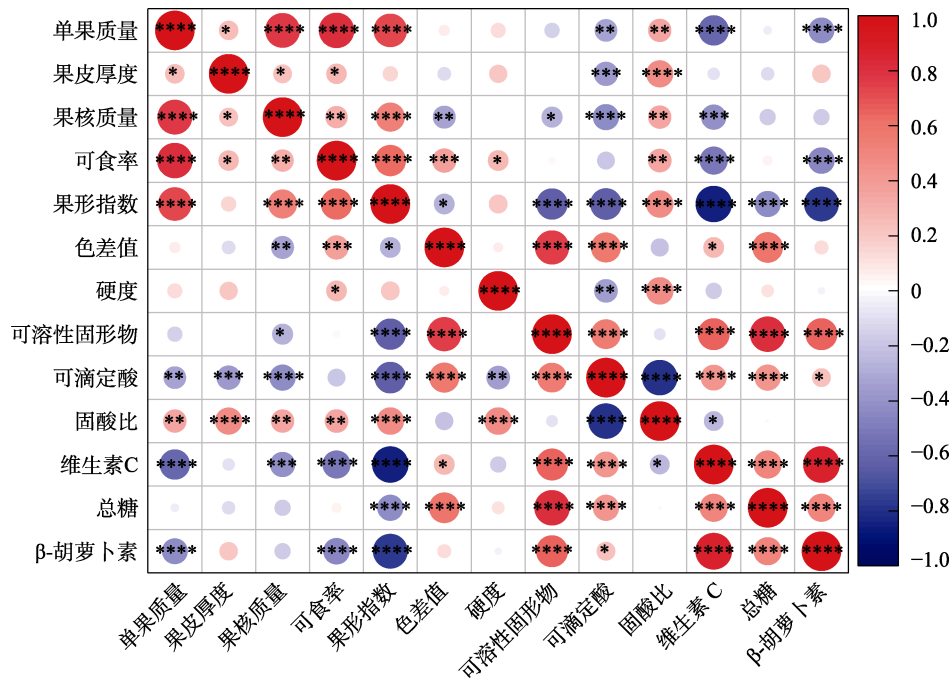
数最小；百色区域的桂七、台农 β-胡萝卜素含量均值最大，钦州区域的金煌、贵妃 β-胡萝卜素含量均值最大；品种 β-胡萝卜素含量均值表现为：桂七>贵妃>台农>金煌。

2.2 不同区域主栽品种品质性状相关性分析

由不同区域主栽芒果品种的相关性分析（图 1）可知，果实 13 个品质指标参数间存在相关性。单果质量与果核质量、可食率、果形指数之间呈强正相关（ $r=0.78$ ， $r=0.80$ ， $r=0.73$ ， $P<0.0001$ ），说明单果质量越大，果核也越重，可食率也越高，果形指数也越大；果皮厚度与固酸比呈中度正相关（ $r=0.46$ ， $P<0.0001$ ），说明果皮厚度越大，固酸比可能越高；果核质量与果形指数呈中度正相关（ $r=0.54$ ， $P<0.0001$ ），说明果核质量越高，芒果果实纵径越大，显得果越肥大；可食率与果形指数呈中度正相关（ $r=0.62$ ， $P<0.0001$ ），说明纵径越大，可能芒果可食率越高；色差值与可溶性固形物呈较强正相关（ $r=0.75$ ， $P<0.0001$ ），说明色差变化大可能是成熟的标志之一，成熟后的芒果可溶性固形物含量也高；可溶性固形物与总糖呈强正相关（ $r=0.81$ ， $P<0.0001$ ），说明总糖含量高时，可溶性固形物含量也高；可溶性固形物与维生素 C、β-胡萝卜素呈中度正相关（ $r=0.65$ ， $r=0.65$ ， $P<0.0001$ ），说明总糖含量高的芒果，维生素 C、β-胡萝卜素含量也可能高；维生素 C 与 β-胡萝卜素呈强正相关（ $r=0.87$ ， $P<0.0001$ ），说明营养元素之间有一定的相关性，维生素 C 含量越高，β-胡萝卜素也越高。果形指数与维生素 C、β-胡萝卜素呈较强负相关（ $r=-0.85$ ， $r=-0.78$ ， $P<0.0001$ ），与可溶性固形物、可滴定酸呈中度负相关（ $r=-0.63$ ， $r=-0.64$ ， $P<0.0001$ ）；可滴定酸与固酸比呈强负相关（ $r=-0.80$ ， $P<0.0001$ ）。

2.3 不同区域主栽品种品质性状聚类分析

聚类分析是一种通过对样本进行分类的方法，能够基于相似性对样本进行分组，从而全面、客观且科学地反映研究对象之间的内在关系^[15]。由图 2 可知，不同区域的贵妃、金煌、台农、桂七 4 个品种能够很好地聚成一类。而 13 个品质参数可以分为 4 类进行描述：单果质量、可食率、果形指数、果核质量归为一类；果皮厚度、硬度、固酸比归为一类；色差值、可溶性固形物、总糖、可滴定酸归为一类；维生素 C、β-胡萝卜素归为一类。不同区域的贵妃色差值、可溶性固形物、总糖、可滴定酸含量较低，果核质量相对最高，



*表示处理间差异显著 ($P<0.05$), **, ***, ****表示处理间差异极显著 ($P<0.01$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.0001$)。红色圆圈代表正相关, 颜色越深相关系数越大; 蓝色圆圈代表负相关, 颜色越深负相关系数越大。 $r>0.7$ 表示强正相关; $0.3\leq r\leq 0.7$ 表示中度正相关; $-0.3< r<0.3$ 表示无相关; $-0.7\leq r\leq -0.3$ 表示中度负相关; $r<-0.7$ 表示强负相关。
* indicates significant difference among treatments ($P<0.05$), **, ***, **** indicates extremely significant difference among treatments ($P<0.01$, $P<0.001$, $P<0.0001$). Red circles represent positive correlation, with darker colors indicating higher correlation coefficients. Blue circles represent negative correlation, with darker colors indicating stronger negative correlation coefficients. $r>0.7$ indicates strong positive correlation; $0.3\leq r\leq 0.7$ indicates moderate positive correlation; $-0.3< r<0.3$ indicates no correlation; $-0.7\leq r\leq -0.3$ indicates moderate negative correlation; $r<-0.7$ indicates strong negative correlation.

图 1 不同区域主栽品种间相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of main cultivars in different regions

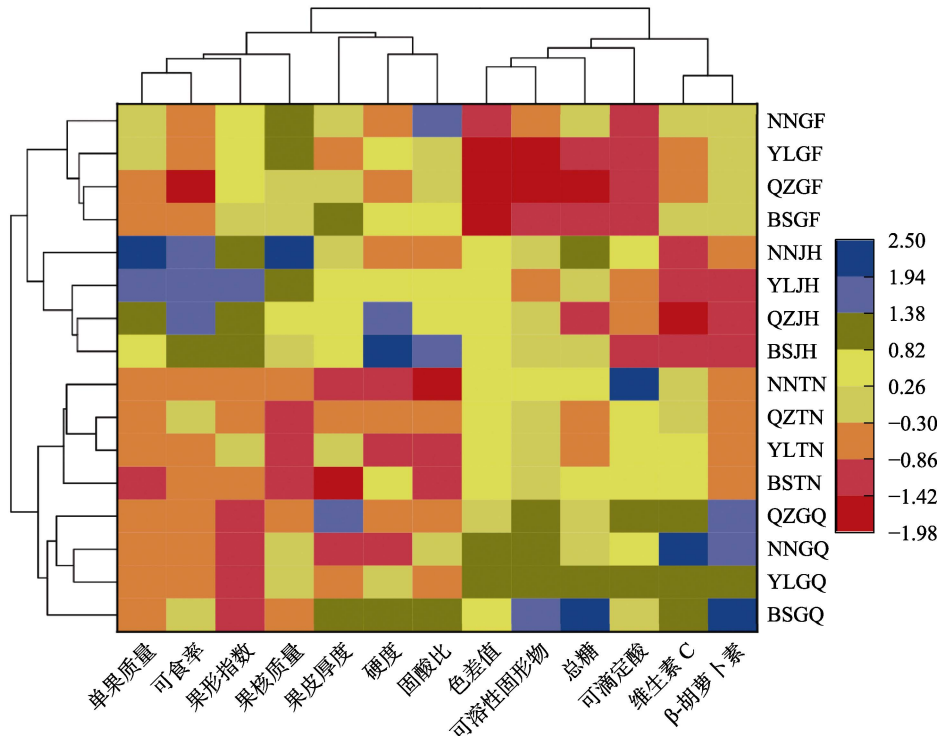


图 2 不同区域主栽品种聚类热图

Fig. 2 Cluster heatmap of main cultivars in different regions

南宁贵妃固酸比含量最高；不同区域金煌芒果单果质量、可食率、果形指数、果核质量含量相对较高，特别是南宁金煌单果质量、果核质量较高，维生素 C、β-胡萝卜素含量较低，百色金煌硬度最大；不同区域的台农果皮厚度、硬度、固酸比含量相对较低，百色台农的果皮厚度最低，南宁台农的可滴定酸含量最高；不同区域桂七的可溶性固形物、总糖、维生素 C、β-胡萝卜素含量相对较高，果形指数较小，百色桂七的总糖、β-胡萝卜素含量最高。

2.4 不同区域主栽品种品质性状主成分分析

由不同区域主栽品种 13 个品质性状的主成分分析（表 2）可知，以特征值大于 1 为标准，提取到 4 个主成分，第一主成分（PC1）的特征值为 3.386，方差贡献率为 20.465%，累计方差贡献率为 26.045%；第二主成分（PC2）的特征值为 3.163%，方差贡献率为 24.322%，累计方差贡献率为 50.377%；第三主成分（PC3）的特征值为 2.700，方差贡献率为 20.733%，累计方差贡献率为 71.150%；第四主成分（PC4）的特征值为 2.244，方差贡献率为 17.625%，4 个主成分的累计方差贡献率为 88.414%，能够代表原品质性状的绝大部分信息（达 85%以上），综合反映不同区域主栽品种的果实品质性状特性，可以作为评价的综合指标。

表 2 相关系数矩阵的特征值、方差贡献率和累计方差贡献率

Tab. 2 Eigenvalues, variance contribution rates, and cumulative variance contribution rates of correlation coefficient matrix

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
PC1	3.386	20.465	26.045
PC2	3.163	24.322	50.377
PC3	2.700	20.733	71.150
PC4	2.244	17.625	88.414

由芒果品质变量因子负荷量（图 3）可知，主成分载荷系数的绝对值越大，主成分对该变量的代表性越大，PC1 特征向量所凝聚的生物学信息主要是 β-胡萝卜素、维生素 C、果形指数、可食率；PC2 特征向量所凝聚的生物学信息主要是色差值、可溶性固形物、总糖；PC3 特征向量所凝聚的生物学信息主要是固酸比、硬度、可滴定

酸；PC4 特征向量所凝聚的生物学信息主要是果核质量、单果质量。综上所述，可将 4 个主成分命名如下：PC1 为 β-胡萝卜素、维生素 C、果形指数、可食率的相关因子；PC2 为色差值、可溶性固形物、总糖的相关因子；PC3 为固酸比、硬度、可滴定酸的相关因子；PC4 为果核质量、单果质量的相关因子。

不同区域主栽品种综合得分计算需要用到每个主成分特征值来计算每个主成分权重^[16]，即： $W(\text{权重}) = PC_{X_1} / (PC_{X_1} + PC_{X_2} + PC_{X_3} + PC_{X_4})$ ， X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 代表各 PC 值的特征值，综合得分 = $W_{X_1} \times PC_{X_1}$ （置换值）+ $W_{X_2} \times PC_{X_2}$ + $W_{X_3} \times PC_{X_3}$ + $W_{X_4} \times PC_{X_4}$ 。由图 4 可知，不同区域主栽品种综合得分排名为：百色桂七>南宁桂七>钦州桂七>玉林桂七>南宁金煌>南宁贵妃>百色金煌>玉林金煌>钦州金煌>百色贵妃>玉林贵妃>玉林台农>百色台农>钦州台农>南宁台农>钦州贵妃。得分分别为 1.2155、

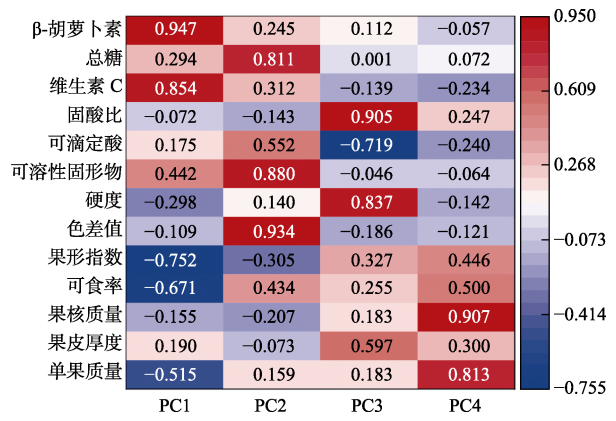


图 3 芒果品质变量因子负荷量 heatmap

Fig. 3 Heatmap of factor loadings for mango quality variables

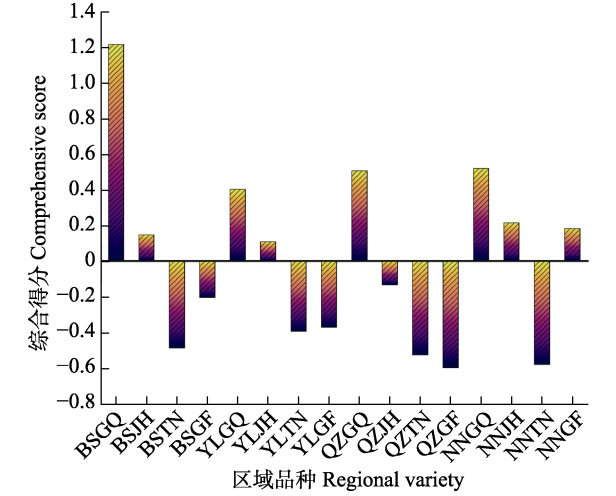


图 4 不同区域主栽品种主成分得分

Fig. 4 Principal component score plot of main cultivars in different regions

0.5195、0.5058、0.402、0.215、0.181、0.1472、0.1082、-0.1331、-0.2049、-0.372、-0.3929、-0.4862、-0.5271、-0.5802、-0.5977。

3 讨论

芒果经济价值的体现由果实品质性状参数来决定,果实的品质包括外观和内在 2 个方面,外部品质特征包括单果质量、硬度、形状等,内部品质特征包括可溶性固形物、糖、酸、可食率等^[17]。本研究主要是从外部(单果质量、果皮厚度、果形指数、色差值、硬度)和内部(果核质量、可食率、可溶性固形物、可滴定酸、固酸比、维生素 C、总糖、 β -胡萝卜素)13 个品质特征进行分析。本研究中固酸比是由可溶性固形物与可滴定酸的比值计算所得,而糖酸比是通过总糖与有机酸的比值计算所得,本研究选择固酸比而不选择糖酸比,有研究通过相关性分析表明糖酸比与固酸比呈显著正相关,可以用可溶性固形物与固酸比代替可溶性糖及糖酸比表示芒果的品质^[10, 16, 18]。而类胡萝卜素中存在很多种类,在本研究中选择 β -胡萝卜素是因为 β -胡萝卜素主要让果实呈现橙色,也有研究表明,芒果中 β -胡萝卜素含量与芒果 Lab 颜色值具有较高的相关性^[19]。单果质量和果形指数是果实商品品质及价值重要体现参数^[20-21]。本研究中,品种单果质量均值表现为:金煌>贵妃>桂七>台农,品种果形指数均值表现为:金煌>贵妃>台农>桂七。表明在果实大小及形状上,金煌与贵妃相对较突出,这与康专苗等^[22]的研究结果基本一致。相关性分析结果也表明,单果质量与果形指数呈强正相关($r=0.80$)。聚类分析结果表明单果质量与果形指数归为一类进行描述。果实风味和口感与可溶性固形物、总糖、总酸含量息息相关^[23]。相关性分析研究结果表明,可溶性固形物与总糖呈强正相关($r=0.81$, $P<0.0001$),说明总糖含量高时可溶性固形物含量也高。芒果果实含糖主要是葡萄糖、果糖、蔗糖,这些糖类统称为可溶性糖^[24]。果实中的可溶性糖不仅对果实的甜度影响很大,而且对果实酸、类胡萝卜素等营养成分的合成也很关键^[25]。本研究相关性分析结果也表明,总糖含量与维生素 C、 β -胡萝卜素呈中度相关,与酸呈中度负相关。有研究表明,果实品质由糖分积累的种类和含量决定,而蔗糖代谢相关酶是重要的影响酶类,主要包括转化酶(invertase, Ivr)、蔗糖

合成酶(sucrose synthase, SS)和蔗糖磷酸合成酶(sucrose phosphate, SPS),蔗糖的积累会随着 SS 基因(CitSUSA)表达的增强而增加^[26-27]。后期可对 SS、SPS 及相关的基因表达进行研究。

同一品种在不同区域的品质表现存在显著差异。赵家桔^[26]通过对不同产区的金煌、贵妃、台农 1 号芒果果实品质的研究结果表明,金煌果实品质以云南保山较佳,福建晋宁较差,贵妃果实品质以海南乐东较好,三亚较差;而台农 1 号果实品质以广西南宁较好,湛江较差,其原因可能是由于受不同产区的纬度、气候、生态环境等气候条件及栽培管理、立地条件措施等影响有关。在本研究中,百色桂七的固酸比、总糖、 β -胡萝卜素及维生素 C 含量均高于其他区域,可能得益于其独特的气候条件(如光照强度与积温)及微酸性土壤环境^[28-29],百色的地理区域靠近云南,地势存在中间低,南北高的态势,年均日照时数为 1869 h,年均气温达 21.9 °C,降雨量少^[30],独特的地理位置可能是芒果品质较高的原因之一。钦州贵妃芒的可溶性固形物与固酸比最高,可能与当地水热资源丰富促进糖分积累有关^[31-32]。黄立标等^[33]通过主成分分析法对台农、象牙、金煌 3 种芒果构建主要品质综合评分模型结果表明,综合得分排序为:台农>金煌>象牙。本研究主成分分析结果表明,百色区域芒果在 4 个主成分的综合得分最高,体现了区域生态因子对品质的协同提升作用^[34]。主成分分析与聚类分析结果表明,13 项指标可归纳为形态、皮层、理化及营养 4 类,与李曦等^[3]的研究结果相一致。维生素 C 与 β -胡萝卜素的强正相关性($r=0.87$)表明二者可能存在共享类异戊二烯代谢通路^[11],这可能为后续研究同步提升营养品质提供调控靶点。在分子机理研究方面,AZAM 等^[35]使用 17 个简单序列重复(SSR)位点,鉴定出与 16 个表型性状(包括果实质量、果实宽度和可溶性固形物含量)相关的标记,PADMAKAR 等^[36]在 48 份芒果核心种质中研究 31 个 SSR 标记对各种果实性状(包括果实质量和果肉含量)的影响,并发现一个标记与果实质量相关。ELTHAR 等^[37]使用高质量的单核苷酸多态性(SNP)标记鉴定出与果实品质性状显著相关的标记,对这些显著标记附近的基因进行注释,揭示参与各种途径的不同蛋白质、酶和转录因子,编码丝裂原活化蛋白激酶(MAPKs)、丝裂原活化蛋白激酶(MAPKs)的

3 个基因 LOC123211358、LOC123220493 和 LOC123200811 在包括果实发育和果实大小性状在内的各种细胞过程中起着关键作用；通过研究与芒果果实品质性状相关的 SNP 标记和候选基因，根据群体结构和主成分分析（PCA）将芒果种质分为两组，一组是东南亚地区品种，另一组是南美洲品种，另外还识别出几个混合品种，这些品种是自然杂交、基因流和遗传漂变的结果。本研究结果表明，同一品种在广西百色、南宁、钦州、玉林的品质性状表现存在显著差异，但果实性状差异的机理还未明确，后期可对这些方面采用相应方法作进一步研究。

4 结论

广西不同区域主栽芒果品种果实品质特性具有显著差异。桂七具有可溶性固形物、总糖及营养成分（维生素 C、 β -胡萝卜素）含量高的特点，是综合最优品种；金煌具有大果形、高可食率特性，商品性优势较高；贵妃具有低酸性的特点，适合鲜食市场需求。区域评价表明，百色产区的桂七、金煌综合得分最高，南宁贵妃与玉林台农次之。

参考文献

- [1] 黄国弟, 赵英, 李日旺, 周俊岸, 陈永森. 广西芒果种质资源与品种选育研究现状及策略探讨[J]. 中国热带农业, 2013, 53(4): 47-49.
HUANG G D, ZHAO Y, LI R W, ZHOU J A, CHEN Y S. A discussion on the current status and strategies of mangifera indica germplasm resources and variety breeding in Guangxi[J]. China Tropical Agriculture, 2013, 53(4): 47-49. (in Chinese)
- [2] 胡伟, 张德生, 刘康德. 中国芒果产业发展变迁及影响因素研究[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(6): 53-59.
HU Y, ZHANG D S, LIU K D. Developing history and influence factors of the mango industry in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2015, 36(6): 53-59. (in Chinese)
- [3] 李曦, 王烨熔, 黄慧俐, 钟勇, 杨谨瑛, 蒋强, 陈千付. 百色芒果栽培种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 germplasm resources of mango in Baise, Guangxi, China[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(4): 714-721. (in Chinese)
- [4] LIU B, XIN Q, ZHANG M, CHEN J H, LU Q C, ZHOU X Q, LI X X, ZHANG W L, FENG W, PEI H S, SUN J. Research progress on mango post-harvest ripening physiology and the regulatory technologies[J]. Foods, 2022, 12(1): 173.
- [5] JHA S N, NARSAIAH K, SHARMA A D, SINGH M, BANSAL S, KUMAR R. Quality parameters of mango and potential of non-destructive techniques for their measurement: a review[J]. Journal of food science and technology, 2010, 47(1): 1-14.
- [6] 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. Fruit quality characters of various mango germplasms[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(11): 2168-2172. (in Chinese)
- [7] 柳颀, 牛迎风, 孔广红, 李开雄, 倪书邦. 云南芒果栽培种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 characters of cultivated mango (*Mangifera indica* L.) germplasm in Yunnan province[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31(3): 582-586. (in Chinese)
- [8] 孙达, 张红艳, 程运江, 徐娟. 11 个产地纽荷尔脐橙果实风味物质含量差异[J]. 植物科学学报, 2015, 33(4): 513-520.
SUN D, ZHANG H Y, CHENG Y J, XU J. Contents of flavor components in Newhall Navel Oranges (*Citrus sinensis*) harvested from eleven production areas of China[J]. Plant Science Journal, 2015, 33(4): 513-520. (in Chinese)
- [9] 廖秋红. 纽荷尔脐橙主产区果实品质特征与产地识别研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
LIAO Q H. Research on the fruit quality characteristics and origin identification of Newhall Navel Orange in main production areas[D]. Chongqing: Southwest University, 2014. (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. Characteristic analysis on fruit quality of major varieties in main mango producing regions of Hainan[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(12): 2511-2517. (in Chinese)
- [11] 冯春梅, 罗朝丹, 李建强, 黎新荣, 温立香, 黄燕婷, 张曦予, 庞春秀. 不同成熟度台农芒果果肉色泽变化和类胡萝卜素代谢差异分析[J/OL]. 食品工业科技, (2024-12-18) [2025-03-21]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=qQX4xeHgc6tdP5JDEuG7tNFt2_-b8GPsGsvVppiHhU4b2N

- NhwK_m0B_iShVhNB6g6fwKDt1NFRgYNyltltxtsL2qoNhIsb5-5EjBd7z9n1EqRUHkUkd2UVni-U2ixwAwLoy_B2XPsdQDtk7EWHoZzDr8tAADLTzvHuv8Zh3s1aXO3kq8ar6w==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- FENG C M, LUO C D, LI J Q, LI X R, WEN L X, HUANG Y T, ZHANG X Y, PANG C X. Study on pulp color change and the differences of carotenoids metabolism in flesh of tainong mango of different ripeness[J/OL]. Science and Technology of Food Industry, (2024-12-18)[2025-03-21]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=qQX4xeHgc6tdP5JDEuG7tNFtl2_-b8GPsGsvVppiHhU4b2NNhwK_m0B_iShVhNB6g6fwKDt1NFRgYNyltltxtsL2qoNhIsb5-5EjBd7z9n1EqRUHkUkd2UVni-U2ixwAwLoy_B2XPsdQDtk7EWHoZzDr8tAADLTzvHuv8Zh3s1aXO3kq8ar6w==&uniplatform=NZKPT&language=CHS. (in Chinese)
- [12] 姚隆洋. 芒果干燥过程品质变化及贮藏稳定性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- YAO L Y. Study on the quality of mango during drying and storage stability of dried mango slices[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020. (in Chinese)
- [13] 穆茜, 张丹丹, 杨伟凡, 张晶, 胡晓璇, 张往祥. 不同海棠品种果实糖酸组分测定和聚类分析[J]. 经济林研究, 2018, 36(4): 135-144.
- MU X, ZHANG D D, YANG Y F, ZHANG J, HU X X, ZHANG W X. Determination and cluster analysis of sugar and acid components in different cultivars of crabapple (*Malus* spp.) fruits[J]. Nonwood Forest Research, 2018, 36(4): 135-144. (in Chinese)
- [14] 朱周俊, 袁德义, 邹锋, 杨华, 范晓明, 肖诗鑫, 邹昕芸, 李欣, 李果. 不同锥栗农家种仁中 9 种矿质元素含量的因子分析与聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 165-170.
- ZHU Z J, YUAN D Y, ZOU F, YANG H, FAN X M, XIAO S X, ZOU X Y, LI X, LI G. Factor analysis and cluster analysis of contents of 9 mineral elements in seed kernels of *castanea henryi* from different varieties[J]. Food Science, 2019, 40(2): 165-170. (in Chinese)
- [15] 李可, 林籽汐, 刘佳, 廖茂雯, 袁怀瑜, 梁钰梅, 潘翠萍, 郭南滨, 朱永清, 张国薇, 李华佳. 基于主成分分析和聚类分析的李子果实品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(8): 293-300.
- LI K, LIN Z X, LIU J, LIAO M W, YUAN H Y, LIANG Y M, PAN C P, GUO N B, ZHU Y Q, ZHNAG G W, LI H J. Comprehensive evaluation of plums quality based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(8): 293-300. (in Chinese)
- [16] 秦玉燕, 罗义灿, 邓有展, 王运儒, 吴凤, 张莉娟, 单彬, 岑舒梦. 不同砧木沃柑果实发育过程中糖酸组分含量变化及品质综合评价[J]. 南方农业学报, 2024, 55(8): 2201-2214.
- QIN Y Y, LUO Y C, DENG Y Z, WANG Y R, WU F, ZHANG L J, SHAN B, CEN S M. Changes in sugar and acid components contents and comprehensive quality evaluation during fruit development of orah with different rootstocks[J]. Journal of Southern Agriculture, 2024, 55(8): 2201-2214. (in Chinese)
- [17] KADER A A. Fresh-cut mangos as a value-added product (literature review and interviews)[J]. Kader Consulting Service, 2008: 1-42.
- [18] 曾凯芳, 姜微波, 李新明. 外源水杨酸对“紫花”芒果贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(5): 134-137.
- ZENG K F, JIANG W B, LI X M. Effect of exogenous salicylic acid (SA) on post-harvest quality of mango[J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30(5): 134-137. (in Chinese)
- [19] RUNGPICHAYAPICHET P, MAHAYOTHEE B, KHUWIJITJARU P, NAGLE M, MÜLLER J. Non-destructive determination of β -carotene content in mango by near-infrared spectroscopy compared with colorimetric measurements[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 38: 32-41.
- [20] WONGMETHA O, KE L S, LIANG Y S. The changes in physical, bio-chemical, physiological characteristics and enzyme activities of mango cv. Jinhwang during fruit growth and development[J]. NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences, 2015, 72(1): 7-12.
- [21] JAHURUL M H A, ZAIDUL I S M, GHAFOR K, AL-JUHAIMI F Y, NYAM K L, NORULAINID N A N, SAHENA F, MOHDOMAR A K. Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: a review[J]. Food chemistry, 2015, 183: 173-180.
- [22] 康专苗, 何凤平, 黄海, 李向勇, 刘清国, 张燕, 龚德勇, 范建新, 黄建峰, 党志国, 王艺蓉, 吴小波, 刘荣. 贵州主栽芒果品种果实品质及香气成分分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(11): 2305-2313.
- KANG Z M, HE F P, HUNAG H, LI X Y, LIU Q G, ZHANG Y, GONG D Y, FAN J X, HUANG J F, DANG Z G, WANG Y R, WU X B, LIU R. Analysis on the quality and aroma components of main mango fruits in Guizhou[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(11): 2305-2313. (in Chinese)
- [23] LIU F X, FU S F, BI X F, CHEN F, LIAO X J, HU X S, WU J H. Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China[J]. Food chemistry, 2013, 138(1): 396-405.
- [24] 刘灵芝, 陈延伟, 廖红梅, 陆弟敏, 黄蔚寒, 覃金兰, 梁珍, 吴启艺. 高效液相色谱法测定广西芒果中糖组分含量[J].

- 食品安全质量检测学报, 2016, 7(9): 3492-3496.
- LIU L Z, CHEN T W, LIAO H M, LU D M, HUANG W H, QIN J L, LIANG Z, WU Q Y. Determination of sugars content in mango from Guangxi by high-performance liquid chromatography[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2016, 7(9): 3492-3496. (in Chinese)
- [25] 王晨, 房经贵, 王涛, 谭洪花. 果树果实中的糖代谢[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(5): 529-534.
- WANG C, FANG J G, WANG T, TAN H H. The sugar metabolism in fruits[J]. Acta Agriculturae Zhejian Gensis, 2009, 21(5): 529-534. (in Chinese)
- [26] 赵家桔. 芒果品质构成及其发育规律的研究[D]. 海口: 海南大学, 2010.
- ZHAO J J. Study on the development of mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality characteristics[D]. Haikou: Hainan University, 2010. (in Chinese)
- [27] KOMATSU A, MORIGUCHI T, KOYAMA K, OMURA M, AKIHAMA T. Analysis of sucrose synthase genes in citrus suggests different roles and phylogenetic relationships[J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 53(366): 61-71.
- [28] 邱文伟, 张光伦, 张嵩. 柑橘等果实糖代谢及其生态调控研究进展[J]. 四川农业大学学报, 2005, 23(1): 114-119.
- QIU W W, ZHANG G L, ZHANG S. Advances in research on sugar metabolism and its ecological control in citrus et al fruit[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2005, 23(1): 114-119. (in Chinese)
- [29] DEY R K, ANSARY R, MANDAL S. Impact of climate variability on mango cultivation: a case study in malda district of west bengal, india[M]. Cham: Springer, 2025.
- [30] 区惠平, 彭嘉宇, 周柳强, 黄金生, 朱晓晖, 曾艳, 谢如林, 谭宏伟, 雷秋良. 百色芒果主产区果园施肥状况及减施潜力分析[J]. 南方农业学报, 2021, 52(12): 3375-3381.
- QU H P, PENG J Y, ZHOU L Q, HUANG J S, ZHU X H, ZENG Y, XIE R L, TAN H W, LEI Q L. Analysis on fertilization status and potential of fertilizer reduction in mango orchard in Baise[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(12): 3375-3381. (in Chinese)
- [31] 郭晓杰, 田海, 马晨, 张群, 王盼, 阳辛凤. 不同芒果品种果实可溶性糖组分含量特征分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11): 125-132.
- GUO X J, TIAN H, MA C, ZHANG Q, WANG P, YANG X F. Analysis of the content characteristics and soluble sugar components of mango fruits from various cultivars[J]. Food Research and Development, 2021, 42(11): 125-132. (in Chinese)
- [32] SILLEIRO-MEDINA J A, GONZÁLEZ-PÉREZ J, HUESO-GONZÁLEZ P, GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ J J, HORMAZA-URROZ J I, RUIZ-SINOJA J D. Effect of different deficit irrigation regimens on soil moisture, production parameters of mango (*Mangifera indica* L.), and spectral vegetation indices in the Mediterranean region of Southern Spain[J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2025, 37: 101415.
- [33] 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 technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 297-306. (in Chinese)
- [34] DATIR S, REGAN S. Advances in physiological, transcriptomic, proteomic, metabolomic, and molecular genetic approaches for enhancing mango fruit quality[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2022, 71(1): 20-34.
- [35] AZAM K, MIR H, PRASAD B D, AHMAD F. Identification of microsatellite markers associated with the horticultural traits in elite mango cultivars[J]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2018, 7(2): 2830-2834.
- [36] PADMAKAR B, DINESH M R, RAVISHANKAR K V. Marker-trait association for fruit characters in mango (*Mangifera indica* L.) cultivars[J]. Journal of Horticultural Sciences, 2016, 11(2): 170-178.
- [37] ELTHAR S, LI J, FREEMAN B, SINGH S, ALI G S. A genome-wide association study identified SNP markers and candidate genes associated with morphometric fruit quality traits in mangoes[J]. BMC Genomics, 2025, 26(1): 1-15.