

## 百色芒果栽培种果实品质多样性分析

李 曦<sup>1,2</sup>, 王烨熔<sup>2</sup>, 黄慧俐<sup>1</sup>, 钟 勇<sup>1</sup>, 杨谨瑛<sup>1</sup>, 蒋 强<sup>1</sup>, 陈千付<sup>1,3\*</sup>

1. 广西百色市现代农业技术推广中心, 广西百色 533000; 2. 广西芒果生物学重点实验室/百色学院亚热带特色农业产业学院/百色学院农业与食品工程学院, 广西百色市 533000; 3. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南海口 571101

**摘 要:** 广西的芒果 (*Mangifera indica* L.) 以百色右江干热河谷为重要栽培地区, 百色地区的芒果栽培品种仍然以传统品种为主, 伴随着新兴芒果产区的崛起, 急需选育适宜百色的芒果新品种, 以提升百色芒果的竞争力。目前, 在广西以外的其他地区已经开展了不同芒果品种性状评价的研究, 而针对广西百色地区芒果栽培种质的多样性分析评价鲜有报道。为了提高百色地区芒果新品种的选育效率, 以百色地区栽培的 17 份芒果种质资源为对象, 对 23 个重要的质量性状和数量性状进行鉴定, 应用相关性分析、主成分分析和聚类分析等方法分析其多样性, 研究芒果果实 16 个重要性状 (果形指数、单果重、可食率、可溶性固形物、总酸、固酸比、多酚、维生素 C、铁、钙、镁、叶黄素、玉米黄素、番茄红素、 $\alpha$ -胡萝卜素、 $\beta$ -胡萝卜素) 的多样性。结果表明: 芒果果实质量性状的遗传多样性指数为 0.65~1.50, 成熟果皮颜色的遗传多样性指数最高为 1.50, 果皮与果肉黏着的遗传多样性指数最低为 0.65; 芒果果实数量性状变异非常丰富, 供试种质数量性状的变异系数为 12%~96%, 变异幅度以可食率最小, 铁元素最大。可食率与果实重呈显著正相关, 与  $\beta$ -胡萝卜素呈显著负相关; 铁元素与果形指数呈显著正相关, 与可食率呈显著负相关; 维生素 C 与叶黄素和番茄红素呈显著正相关; 固酸比与总酸呈显著负相关; 镁元素与果形指数呈显著负相关。主成分分析表明, 果实单果重、可溶性固形物、固酸比、维生素 C、铁、钙、 $\alpha$ -胡萝卜素、番茄红素和叶黄素 9 个性状为果实数量性状的主要性状。通过聚类分析表明, 芒果种质分成 3 个类群, 第 1 类群的果实横切面为椭圆形, 果实有松香味, 可溶性固形物、叶黄素和  $\alpha$ -胡萝卜素含量高; 第 2 类群的果实剖面多为椭圆形, 有松香味, 固酸比相对低, 多酚含量、番茄红素含量相对较低; 第 3 类群果实完熟果皮颜色较深, 无松香味, 固酸比偏小, 多酚、铁元素、番茄红素和  $\alpha$ -胡萝卜素含量较低。本研究通过对百色芒果种质果实品质性状的遗传多样性进行分析, 为百色芒果的遗传改良、种质创新和应用提供理论依据。

**关键词:** 芒果; 种质; 果实品质; 多样性分析; 百色

中图分类号: S667.7 文献标识码: A

## Diversity Analysis of Fruit Quality in Germplasm Resources of Mango in Baise, Guangxi, China

LI Xi<sup>1,2</sup>, WANG Yerong<sup>2</sup>, HUANG Huili<sup>1</sup>, ZHONG Yong<sup>1</sup>, YANG Jinying<sup>1</sup>, JIANG Qiang<sup>1</sup>, CHEN Qianfu<sup>1,3\*</sup>

1. Modern Agricultural Technology Research and Extension Center, Baise, Guangxi 533612, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Biology for Mango / Industrial College of Subtropical Characteristic Agriculture / College of Agriculture and Food Engineering, Baise University, Baise, Guangxi 533000, China; 3. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China

**Abstract:** Mango (*Mangifera indica* L.) is an important fruit crop cultivated along Youjiang River dry-hot valley area in Baise. Now, with the increasing in mango new producing areas, new varieties are widely cultivated. However, traditional varieties are still widely cultivated in Baise. In order to enhance the competitiveness of 'Baise mango', it is urgent to breed new varieties which are suitable for Youjiang River dry-hot valley. At present, many studies have been carried

收稿日期 2021-08-09; 修回日期 2021-12-29

基金项目 广西重点研发计划项目 (桂科 AB18294031)。

作者简介 李 曦 (1987—), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 果树生理学。\*通信作者 (Corresponding author): 陈千付 (CHEN Qianfu), E-mail: 414217952@qq.com。

out on the evaluation of different mango traits outside Guangxi, but there are few reports on the diversity of mango germplasm in Baise. 17 mango germplasm resources cultivated in Baise were used to identify 23 qualitative and quantitative traits. Correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis were used to analyze the diversity. The diversity of 16 mass traits (fruit shape index, fruit weight, edible rate, total soluble solid, total acid, sugar-acid ratio, polyphenols, vitamin C, ferrum, calcium, magnesium, lutein, zeaxanthin, lycopene,  $\alpha$ -carotene,  $\beta$ -carotene) in mango fruits was studied. The results showed that the variation of qualitative and quantitative traits was very rich in different mango varieties. The genetic diversity index ranged from 0.65 to 1.50, which was the smallest genetic diversity index in stickness between peel and pulp and the largest genetic diversity index in peel color. The variation coefficient of quantitative traits ranged from 12% to 96%, which was the smallest variation in edible rate and the largest variation in ferrum. Edible rate was positively correlated with fruit weight, was negatively correlated with  $\beta$ -carotene. Ferrum was positively correlated with fruit shape index, negatively correlated with edible rate. Vitamin C was positively correlated with lutein and lycopene. Sugar-acid ratio was negatively correlated with total acid. Magnesium was negatively correlated with fruit shape index. Principal component analysis showed that fruit weight, soluble solids, vitamin C, sugar-acid ratio, ferrum, calcium,  $\alpha$ -carotene, lutein and lycopene were the main quantitative traits. Cluster analysis showed that the germplasm resources were divided into three groups. In the first group, the shape of fruit cross section was ovate oblique, with pine flavor, high content of soluble solid, lutein and  $\alpha$ -carotene. In the second group, the shape of fruit cross section was ovate oblique, with pine flavor, relatively low content of solid-acid ratio, polyphenol and lycopene. In the third group, peel color was dark, without pine flavor, lower content of sugar-acid ratio and polyphenols, ferrum, lycopene and  $\alpha$ -carotene. This study would provide a theoretical basis for genetic improvement, germplasm innovation and application of mango breeding in Baise.

**Keywords:** *Mangifera indica*; germplasm resources; fruit quality; diversity analysis; Baise

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2022.04.008

芒果 (*Mangifera indica* L.) 属于漆树科 (*Anacardiaceae*) 芒果属 (*Mangifera*), 是常绿乔木, 广泛分布于热带、亚热带国家和地区。芒果在中国的栽培历史超过 1300 a。在中国, 芒果主要分布在海南、云南、四川、广西、广东、福建、贵州等省(区)<sup>[1]</sup>。广西的芒果种植历史悠久, 以百色右江干热河谷为主要栽培地区, 其栽培总面积和总产量均位于国内首位。但是, 近年来随着新兴芒果栽培产区的崛起, 对百色芒果产业带来巨大的冲击<sup>[2]</sup>。百色芒果上市时间主要集中于 6—8 月, 这个阶段是夏季水果上市的主要时期, 给百色芒果带来巨大的市场竞争压力。另一方面, 百色芒果主要以传统品种为主, 如‘台农 1 号’‘贵妃’‘金煌’和‘桂七’, 品种过于单一不能满足市场的需求, 急需通过选育优良性状品种进行产业结构调整<sup>[3]</sup>。因此, 在百色地区选育适宜当地的新品种, 以及选育百色地区的优势品种, 对于推动产业结构调整具有非常重要的意义。

柳颢等<sup>[4]</sup>在云南干热河谷对 60 份引种芒果品种性状进行评价, 为云南地区芒果品种选育和栽培提供了重要的理论依据。秦达逵等<sup>[5]</sup>在四川攀枝花通过引种试种后建议推广‘吉禄’‘爱文’‘台农 1 号’‘吕宋’和‘海顿’等 5 个品种。康专苗等<sup>[6]</sup>以贵州主栽 7 份芒果种质的外观性状指标和

品质进行了观测和分析。周立等<sup>[1]</sup>对在广西芒果种植区收集的实生芒果种质进行了表型性状评价。而以上评价内容仅限于果实性状, 针对百色地区芒果种质的果实品质相关的数量性状的评价鲜有报道。本研究选取栽培于百色国家农业科技园区的 17 份芒果种质资源作为供试材料, 对 16 个重要品质数据进行相关性和变异性分析, 以期对百色地区芒果新品种的选育提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试的 17 份芒果种质材料(表 1)取自百色国家农业科技园区芒果种质资源圃。选择长势均一的植株, 每个品种 3 株, 在每株树冠外围不同方向随机选取 10 个大小一致、无病虫害的果实。果实采后置于实验室常温下密闭纸箱中进行后

表 1 供试芒果品种  
Tab. 1 Tested mango varieties

采收期 Harvest date	品种 Variety
6月下旬	新世纪、贵妃、台农
7月中旬	红杉林、桂七、热农 1 号、澳芒、南逗麦 4 号、四季蜜芒、玉文、金煌、红象牙、金兴、红玉
7月下旬	水瑛达、帕拉瑛达、桂热 10 号

熟, 10 kg 杧果使用 6 g 气体熏蒸型乙烯控制剂 (广西桂林创优保鲜科技有限公司), 每天检查后熟状况, 待后熟完成后将果实进行品质性状指标的测定。

## 1.2 方法

1.2.1 果实性状调查 每个品种随机选取 10 个果实, 参照中华人民共和国农业行业标准 NY/T 2440—2013《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 芒果》, 于 2020 年在各品种成熟期观察描述各种质果实的性状。观察横切面形状、完熟果皮颜色、果肉颜色、松香味、剖面形状、果皮与果肉黏着等性状表现, 并参考其表达状态进行赋值, 分析各性状的频率分布和遗传多样性指数。

1.2.2 果实品质性状的调查 每个品种随机选取 10 个果实进行称重, 以其平均值作为单果重量; 以果实的纵径和横径的比值作为果形指数; 以可食部分与单果质量的比值作为可食率; 可溶性固形物和总酸使用 Pal-Bx/Acid 15 (日本 ATAGO 公司) 进行测定; 以可溶性固形物与总酸的比值作为固酸比。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》; 铁、钙、镁含量的测定参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准食品中多元素的测定》。

总酚含量测定: 取 0.5 g 果肉, 加入 80%乙醇, 超声 30 min, 8000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 重复提取 1 次, 合并上清液混匀, 过 0.22 μm 滤膜, 稀释 4 倍。液相仪器条件: 色谱柱子为 Agilent LC-C18(2) (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相为甲醇和 0.2%磷酸; 流速为 1 min/mL; 柱温为 30℃。根据标准曲线计算含量。

类叶黄素、玉米黄素、番茄红素、α-胡萝卜素和 β-胡萝卜素含量测定: 取 1.0 g 果肉粉末, 加入 3.0 mL 三氯甲烷: 无水乙醇 (V: V=1: 1) 提取液置于 50℃水浴锅避光反应 60 min, 溶液超声提取后, 再用 2 mL 三氯甲烷: 无水乙醇 (V: V=1: 1) 溶液提取 1 次, 合并 2 次上清液。取出 2 mL 氮至吹干, 将提取液复溶, 过 0.22 μm 有机膜滤液待测。液相仪器条件: 色谱柱子为 Agilent LC-C18 (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相为乙腈和异丙醇; 流速为 1.0 mL/min, 柱温为 35℃, 检测波长为 450 nm, 进样量为 10 μL。根据类叶黄素、玉米黄素、番茄红素、α-胡萝卜素和 β-胡萝卜素的标准曲线计算含量。

## 1.3 数据处理

对所得数据进行相关性分析、主成分分析和系统聚类分析。试验数据采用 Excel 2007 软件记录、整理, 采用 SPSS19.0 和 Origin 2021 软件进行数据分析。为了便于数量化和统计分析, 将数量性状进行分级, 质量性状进行赋值。不同品种间性状的差异用变异系数表示, 遗传多样性指数 ( $H'$ ) 的计算采用 Shannon-Weaver 信息指数。通过公式:  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ , 计算各性状的多样性指数 ( $H'$ ), 其中  $P_i$  为某一性状第  $i$  个级别出现的频率。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同杧果种质质量性状的多样性分析

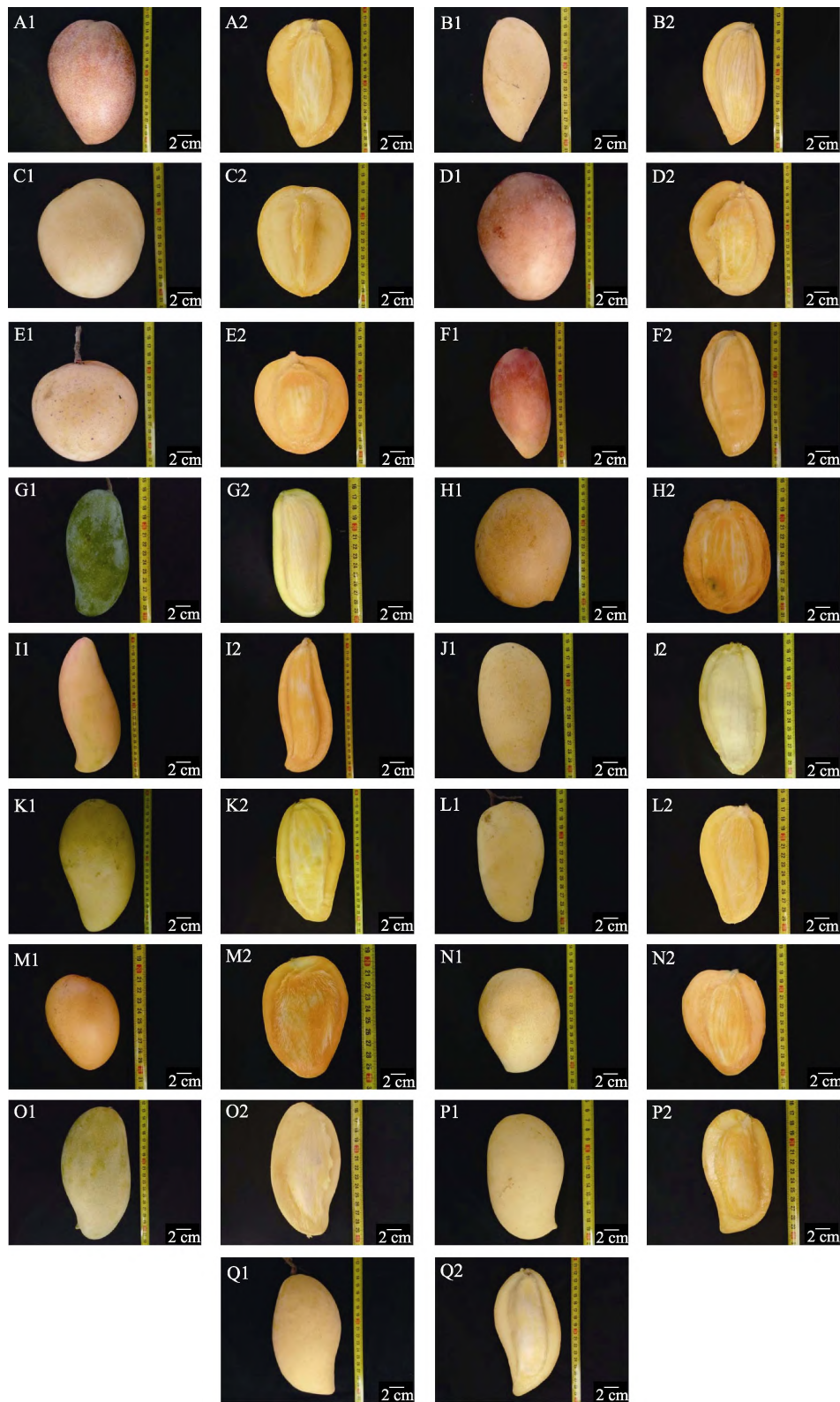
对百色地区 17 个杧果品种 6 个果实质量性状的多样性进行分析, 结果见表 2。横切面形状以椭圆形为主, 成熟果皮颜色以黄色和橙黄色为主, 果肉颜色以浅橙黄色和橙色为主 (图 1), 无松香味和有松香味品质各占 50%, 剖面形状以长椭圆形和肾形为主, 果肉黏度高的品种占 78%。在 6 个果实性状中, 成熟果皮颜色的遗传多样性指数最高为 1.5, 果肉颜色和果汁含量的遗传多样性指数大于 1, 分别为 1.29 和 1.09, 剖面形状、剖面形状、横切面形状、松香味和果肉黏度的遗传多样性指数均小于 1, 分别为 0.85、0.78、0.69、0.65。

表 2 杧果种质果实质量性状多样性分析  
Tab. 2 Diversity analysis of fruit quality characters of mango germplasms

性状 Character	遗传多样 性指数 $H'$	频率分布 Frequency distribution/%					
		1	2	3	4	5	6
横切面形状	0.78	0.72	0.17	0.11			
完熟果皮颜色	1.50	0.06	0.11	0.44	0.22	0.06	0.11
果肉颜色	1.29	0.11	0.06	0.44	0.33	0.06	
松香味	0.69	0.50	0.50				
剖面形状	0.85	0.06	0.39	0.56			
果皮与果肉黏着	0.65	0.06	0.17	0.78			

注: 横切面性状中, 1=椭圆形、2=阔椭圆形、3=卵圆形; 完熟果皮颜色中, 1=绿色、2=黄绿色、3=黄色、4=橙黄色、5=黄带红、6=红带紫; 果肉颜色中, 1=乳白色、2=浅黄色、3=黄色、4=浅橙色、5=橙色; 松香味中, 1=无、2=有; 剖面性状中, 1=椭圆形、2=长椭圆形、3=肾形; 果皮与果肉黏着中 1=弱、2=中、3=强。

Note: Shape of fruit cross section, 1=ovate oblique, 2= oval roundish, 3=ovate; Peel color, 1= green, 2=yellow green, 3=yellow, 4=yellow orange, 5=red with yellow, 6=purple with red; Pulp color, 1=milk white, 2=light yellow, 3=yellow, 4=light orange, 5=orange; Pine fragrance, 1=no fragrance, 2=pine fragrance; Section shape, 1=Ovate oblique, 2=long oval, 3=reniform; Adhesion between pulp and peel, 1=strong, 2=medium, 3=weak.



A1~A2: 金兴; B1~B2: 南逗麦 4 号; C1~C2: 热农 1 号; D1~D2: 玉文; E1~E2: 澳杧; F1~F2: 贵妃; G1~G2: 桂七; H1~H2: 红杉林; I1~I2: 红象牙; J1~J2: 红玉; K1~K2: 金煌; L1~L2: 四季蜜杧; M1~M2: 台农; N1~N2: 新世纪; O1~O2: 桂热 10 号; P1~P2: 帕拉瑛达; Q1~Q2: 水瑛达。

A1~A2: Jinxing; B1~B2: Nam Doc Mai No.4; C1~C2: Renong No.1; D1~D2: Yuwen; E1~E2: R2E2; F1~F2: Guifei; G1~G2: Guiqi; H1~H2: Hongshanlin; I1~I2: Hongxiangya; J1~J2: Hongyu; K1~K2: Jinhuang; L1~L2: Sijimi mango; M1~M2: Tainong; N1~N2: Xinshiji; O1~O2: Guire No. 10; P1~P2: Palayingda; Q1~Q2: Shuiyingda.

图 1 17 个杧果种质完整果实形状和果实剖面形状  
Fig. 1 Whole fruit shape and fruit profile shape of 17 mango germplasms

## 2.2 不同杧果种质数量性状的多样性分析

对供试杧果种质 16 个果实品质性状的统计结果分析表明(表 3),  $\beta$ -胡萝卜素的多样性指数最高为 1.51, 其他依次为可溶性固形物>钙>单果重>可食率=镁>玉米黄素>果形指数>叶黄素>总酸> $\alpha$ -胡萝卜素>多酚>番茄红素>固酸比>铁。不同品种间变异系数存在较大差异: 铁含量、 $\alpha$ -胡萝卜素含量和维生素 C 含量的变异系数较大, 分别为 95.53%、88.56%和 88.21%, 变幅分别为 0.83~25.40、1.84~70.76、1.35~23.29 mg/kg; 其

次为玉米黄素含量、叶黄素含量、番茄红素含量、固酸比、总酸、 $\beta$ -胡萝卜素含量、单果重, 变异系数分别为 77.03%、70.67%、64.85%、63.34%、54.80%、51.91%、51.08%; 镁含量、果形指数、可溶性固形物、可食率的变异系数较低, 分别为 25.39%、22.93%、19.49%、12.44%, 变幅分别为 52.5~208.00 mg/kg、0.93~2.75、8.90~24.20、41.43%~85.39%。16 个果实品质性状的变异系数均大于 10%, 结果表明, 这些性状均具有遗传多样性。

表 3 杧果果实数量性状多样性分析  
Tab.3 Quantity diversity analysis of fruit character in mango resources

性状 Character	遗传多样性 指数 $H'$	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Average	极差 Range	标准差 $SD$	变异系数 CV/%
单果重/g	1.38	1280.00	105.00	496.34	1175.00	253.51	51
可食率/%	1.33	85.39	41.43	66.99	43.96	8.33	12
可溶性固形物/%	1.45	24.20	8.90	17.34	15.30	3.38	19
总酸/%	0.98	1.79	0.16	0.60	1.63	0.33	55
固酸比	0.89	151.25	10.78	37.21	140.47	23.57	63
多酚/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.96	45.33	6.49	14.23	38.84	6.66	47
维生素 C/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.22	23.29	1.35	7.54	21.94	6.65	88
Fe/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.64	25.40	0.83	4.30	24.57	4.11	96
Ca/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.47	96.20	24.40	52.85	71.80	16.72	32
Mg/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.33	208.00	52.50	113.26	155.50	28.75	25
叶黄素/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.05	36.27	2.36	9.59	33.91	6.78	71
玉米黄素/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.25	52.64	3.36	16.31	49.28	12.57	77
番茄红素/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.92	18.94	2.13	5.69	16.81	3.69	65
$\alpha$ -胡萝卜素/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.97	70.76	1.84	15.48	68.92	13.71	89
$\beta$ -胡萝卜素/(mg·kg <sup>-1</sup> )	1.51	996.20	27.07	439.11	969.13	227.96	52

## 2.3 不同杧果种质数量性状相关性分析

不同杧果种质果实品质性状间的相关性分析结果如图 2 所示。结果表明, 可食率与  $\beta$ -胡萝卜素呈显著负相关, 与果实重呈显著正相关。固酸比与总酸呈显著负相关。铁元素与果形指数呈显著正相关, 与可食率呈显著负相关。镁元素与果形指数呈显著负相关。维生素 C 与叶黄素和番茄红素呈显著正相关。

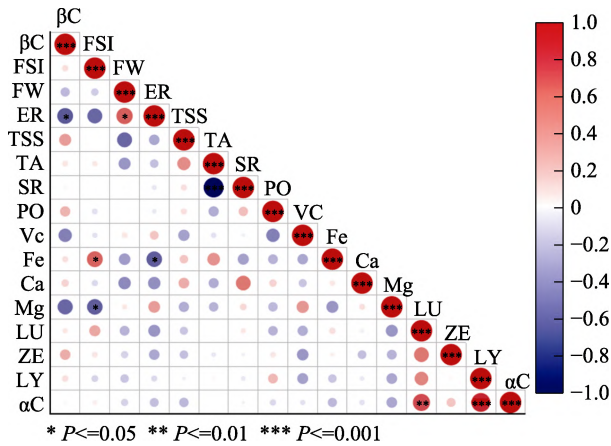
## 2.4 杧果种质综合性状表型的主成分分析

以特征值大于 1 为标准, 提取 PC1、PC2、PC3、PC4、PC5、PC6 共 6 个主成分, 6 个主成分的累积贡献率为 80.908% (表 4)。6 个主成分的特征值分别为 3.442、2.796、2.240、1.985、1.351、1.132; 贡献率分别为 21.514%、17.472%、14.000%、12.406%、8.442%、7.074%。通过分析不同性状

对主成分的贡献度可知(图 3), 主成分 PC1 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是铁含量和叶黄素; 主成分 PC2 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是钙含量与固酸比; 主成分 PC3 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是  $\alpha$ -胡萝卜素与番茄红素; 主成分 PC4 中特征向量所凝聚的生物学信息主要是维生素 C; 主成分 PC5 中特征向量所凝聚

表 4 果实性状主成分的特征值、贡献率和累积贡献率  
Tab. 4 Eigenvalue, contribution rate and accumulation contribution rate of principal components of fruits traits

成分 Component	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
特征值	3.442	2.796	2.240	1.985	1.351	1.132
贡献率/%	21.514	17.472	14.000	12.406	8.442	7.074
累积贡献率/%	21.514	38.986	52.986	65.392	73.834	80.908

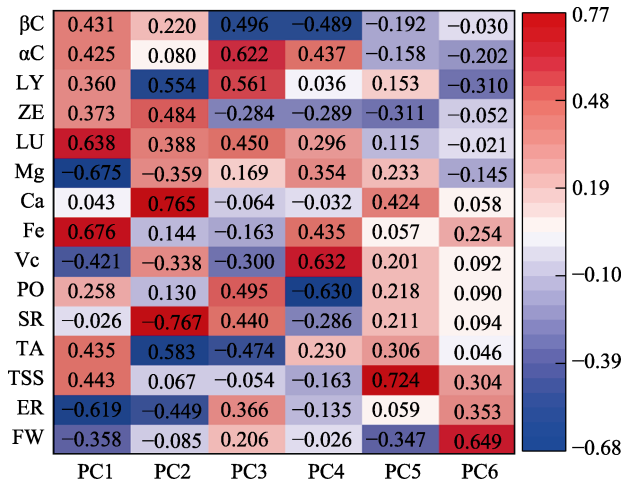


FSI 为果形指数; FW 为单果重; ER 为可食率; TSS 为可溶性固形物; TA 为总酸; SR 为固酸比; PO 为多酚; Vc 为维生素 C; Fe 为铁; Ca 为钙; Mg 为镁; LU 为叶黄素; ZE 为玉米黄素;

LY 为番茄红素; αC 为 α-胡萝卜素; βC 为 β-胡萝卜素。  
FSI is fruit shape index; FW is fruit weight; ER is edible rate; TSS is total soluble solid; TA is total acid; SR is sugar-acid ratio; PO is polyphenols; Vc is vitamin C; Fe is ferrum; Ca is calcium; Mg is magnesium; LU is lutein; ZE is zeaxanthin; LY is lycopene; αC is α-carotene; βC is β-carotene.

图 2 不同芒果种质数量性状相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of quality characters in different mango germplasm



FW 为单果重; ER 为可食率; TSS 为可溶性固形物; TA 为总酸; SR 为固酸比; PO 为多酚; Vc 为维生素 C; Fe 为铁; Ca 为钙; Mg 为镁; LU 为叶黄素; ZE 为玉米黄素; LY 为番茄红素; αC 为 α-胡萝卜素; βC 为 β-胡萝卜素。

FW is fruit weight; ER is edible rate; TSS is total soluble solid; TA is total acid; SR is sugar-acid ratio; PO is polyphenols; Vc is vitamin C; Fe is ferrum; Ca is calcium; Mg is magnesium; LU is lutein; ZE is zeaxanthin; LY is lycopene; αC is α-carotene; βC is β-carotene.

图 3 果实数量性状对各主成分的贡献

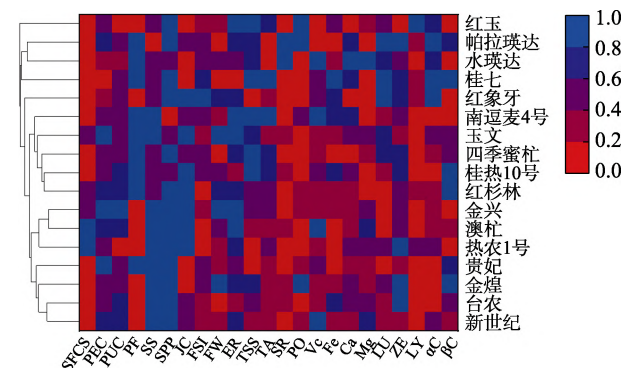
Fig. 3 Contribution of fruit quantitative traits to principal components

的生物学信息可溶性固形物; 主成分 PC6 中特征向量所凝聚的生物学信息是单果重。综上所述, 可将 6 个主成分命名如下: 主成分 1 为铁含量和叶黄素构成的相关因子; 主成分 2 为固酸比和钙

构成的相关因子; 主成分 3 为 α-胡萝卜素与番茄红素构成的相关因子; 主成分 4 为维生素 C 构成的相关因子; 主成分 5 为可溶性固形物构成的相关因子; 主成分 6 为单果重构成的相关因子。

### 2.5 不同芒果种质的聚类分析

根据 Euclidean 法进行聚类分析, 将 17 个芒果种质分成 3 个类群 (图 4), 第 1 类群包括 ‘红玉’ ‘帕拉璞达’ ‘水璞达’ ‘桂七’, 此类果实横切面为椭圆形, 果实有松香味, 果实的剖面形状多为椭圆形, 可溶性固形物、叶黄素和 α-胡萝卜素含量高, 番茄红素含量中等; 第 2 类群包括 ‘红象牙’ ‘南逗麦 4 号’ ‘玉文’ ‘四季蜜’ ‘桂热 10 号’ ‘红杉林’, 果实的剖面多为椭圆形, 果皮颜色多为绿色和黄绿色, 果肉颜色多为黄色, 有松香味, 果实剖面为椭圆形, 固酸比、多酚含量和番茄红素含量相对较低, α-胡萝卜素含量中等; 第 3 类群包括 ‘金兴’ ‘澳芒’ ‘热农 1 号’ ‘贵妃’ ‘金煌’ ‘台农’ ‘新世纪’, 这类果实完熟果皮颜色较深, 有橙黄色、黄色带红色、黄色带紫色, 无松香味, 果实剖面形状多为肾形, 果皮与果肉黏着性强, 果形指数值偏小, 固酸比偏小, 多酚、铁元素、番茄红素和 α-胡萝卜素含量较低, 钙和镁含量中等。



SFCS 为横切面; PEC 为完熟果皮颜色; PUC 为果肉颜色; PF 为松香味; SS 为剖面形状; JC 为果汁含量; FSI 为果形指数; FW 为单果重; ER 为可食率; TSS 为可溶性固形物; TA 为总酸; SR 为固酸比; PO 为多酚; Vc 为维生素 C; Fe 为铁; Ca 为钙; Mg 为镁; LU 为叶黄素; ZE 为玉米黄素; LY 为番茄红素; αC 为 α-胡萝卜素; βC 为 β-胡萝卜素。

SFCA is shape of fruit cross section; PEC is peel color; PUC is pulp color; PF is pine fragrance; SS is section shape; JC is juice content; FSI is fruit shape index; FW is fruit weight; ER is edible rate; TSS is total soluble solid; TA is total acid; SR is sugar-acid ratio; PO is polyphenols; Vc is vitamin C; Fe is ferrum; Ca is calcium; Mg is magnesium; LU is lutein; ZE is zeaxanthin; LY is lycopene; αC is α-carotene; βC is β-carotene.

图 4 不同芒果种质的聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis of different mango germplasm

### 3 讨论

杧果果实的经济价值主要由外观性状和品质性状共同决定的<sup>[6-7]</sup>,果实的外观性状表型易受外界自然环境变化的影响,同一杧果品种在不同地域种植其果实性状存在差异。广西百色地区是全国重要的杧果产区,杧果栽培历史悠久,而针对百色地区栽培杧果的品质多样性评价研究尚不系统。前人对海南、云南、四川等地收集保存的杧果种质资源的果实性状(主要针对果喙、果窝、果顶和果洼)进行了调查<sup>[4, 6-8]</sup>,而针对芒果香气的调查尚不足。本研究对不同品种杧果果实散发的独特松香味性状进行了调查,松香味的多样性指数( $H'$ )为 0.69。研究结果丰富了广西杧果种质资源果实性状研究的内容。杧果受栽培环境的不同,其表现性状也不同,本研究充分考虑百色杧果果实品质性状的表现进行了性状评价和分级,更加适合百色杧果产区品质性状的精确评价。

品质性状与前人报道<sup>[6]</sup>的相比,本研究测定的杧果果实单果重整体较高,但可食率较低,造成这种现象的原因可能与当地的栽培水平有直接的关系,因此需要整体改进百色杧果的栽培水平。另外,本研究中的可溶性固形物较高,其原因可能与当年降水量较少有关,发生于旱后可以适当地提高可溶性固形物含量。单果重、可食率和可溶性固形物是鲜果销售市场最关注的果实性状。本研究测定的‘玉文’果实单果重可达 1280 g。百色是杧果的重要产地,百色杧果产业需要根据当地品种特征进行合理的市场定位。

果树的新品种选育主要包括杂交育种、实生选中、辐射育种、芽变育种等方法。柑橘<sup>[9]</sup>、苹果<sup>[10]</sup>、葡萄<sup>[11]</sup>等果树的育种方法主要有杂交育种、辐射育种和芽变育种。杧果的授粉困难,落花落果严重导致杧果的人工杂交育种进展缓慢,实生选种是运用最为广泛的杧果育种方法,通过该方法已选育出很多杧果优良品种<sup>[12]</sup>。因此,杧果种质资源果实品质的综合评价是杧果新品种选育的最基础的工作。本研究通过对供试杧果种质的 23 项果实性状进行评价发现,铁、维生素 C 和  $\alpha$ -胡萝卜素 3 项性状的变异系数分别为 96%、88%和 89%,可见这 3 项性状的遗传变异较大。可食率的变异系数最小,仅为 12%,遗传相对稳定。而周立等<sup>[1]</sup>的研究中,可食率的变异系数仅为 7.24%。

通过 Euclidean 法进行聚类分析将 17 个杧果种质分成 3 类。其中,‘贵妃’与‘金煌’,‘帕拉璞达’与‘水璞达’的果实品质表现一致性高。周立等<sup>[13]</sup>通过开发 EST-SSR 分子标记对 43 个杧果品种的亲缘关系进行分析,结果显示‘金煌’和‘贵妃’作为‘凯特’的子代,它们共聚在亚组 II-2 组,‘帕拉璞达’和‘水璞达’均来自缅甸,共同属于亚组 II-4。说明‘金煌’和‘贵妃’,‘帕拉璞达’和‘水璞达’有紧密的亲缘关系,因此,它们的果实品质相似性较高。分子标记技术被广泛应用于杧果遗传多样性研究,本研究结果为今后利用分子标记技术研究果实遗传多样性和亲缘关系提供科学参考。

本研究中,果形指数与铁元素、镁元素呈显著相关。RUBIO 等<sup>[14]</sup>研究表明,在辣椒栽培基质中加入不同浓度  $Ca^{2+}$ 后,对果实的形态指数发生了显著变化,说明中量元素的对果形指数有影响。铁元素和镁元素等中量元素与果形指数的相关性研究还需进一步展开。

前人已开展了杧果果实内在品质的评价研究,分别研究了广东、广西、四川、海南等主产区杧果的可溶性固形物、维生素 C、类胡萝卜素和抗氧化能力<sup>[1-4]</sup>。本研究测定了 17 份杧果种质的叶黄素、玉米黄素、番茄红素、 $\alpha$ -胡萝卜素和  $\beta$ -胡萝卜素,从次级代谢产物的多角度进行遗传背景的多样性分析,研究结果为加速选育具有优良营养品质的杧果种质提供数据支持。

### 参考文献

- [1] 周立,罗聪,何堂熹,余海霞,何新华. 杧果种质资源果实性状的多样性分析与评价[J]. 基因组学与应用生物学, 2020, 39(6): 2683-2691.  
ZHOU L, LUO C, HE T X, YU H X, HE X H. Diversity analysis and evaluation of mango germplasm resources based on fruit traits[J]. Genomics and Applied Biology, 2020, 39(6): 2683-2691. (in Chinese)
- [2] 陈业渊,党志国,林电,胡美娇,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)

- [3] 欧阳秋飞, 陈 欣. 百色右江河谷中晚熟芒果品种结构调整探析[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(19): 59-61.  
OUYANG Q F, CHEN X. Study on the adjustment of mango varieties along Youjiang Valley in Baise[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2015, 21(19): 59-61. (in Chinese)
- [4] 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)
- [5] 秦达逵, 李贵利, 补雪梅, 高云清, 李长江. 8个芒果品种在攀西地区的产量及品质表现[J]. 热带农业科学, 2002, 22(5): 1-3, 26.  
QIN D K, LI G L, BU X M, GAO Y Q, LI C J. Yields and qualities of 8 mango varieties in west Panzhihua[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2002, 22(5): 1-3, 26. (in Chinese)
- [6] 康专苗, 黄 海, 李向勇, 何凤平, 范建新, 张 燕, 龚德勇, 刘清国, 李延洋, 黄建峰, 党志国, 王代谷, 吴小波, 刘 荣. 贵州适种芒果品质分析[J]. 经济林研究, 2020, 38(2): 161-168.  
KANG Z M, HUANG H, LI X Y, HE F P, FAN J X, ZHANG Y, GONG D Y, LIU Q G, LI Y Y, HUANG J F, DANG Z G, WANG D G, WU X B, LIU R. Quality analysis of mango suitable for planting in Guizhou[J]. Non-wood Forest Research, 2020, 38(2): 161-168. (in Chinese)
- [7] 杨玉皎, 段元杰, 孟富宣, 郭淑萍, 刘海刚, 方海东. 8个优良芒果品种在元谋果实品质特性分析[J]. 江西农业学报, 2020, 32(3): 70-74.  
YANG Y J, DUAN Y J, MENG F X, GUO S P, LIU H G, FANG H D. Fruit quality characteristics analysis of eight excellent mango varieties in Yuanmou[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(3): 70-74. (in Chinese)
- [8] 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)
- [9] 邓秀新, 王力荣, 李绍华, 张绍铃, 张志宏, 丛佩华, 易干军, 陈学森, 陈厚彬, 钟彩虹. 果树育种40年回顾与展望[J]. 果树学报, 2019, 36(4): 514-520.  
DENG X X, WANG L R, LI S H, ZHANG S L, ZHANG Z H, CONG P H, YI G J, CHEN X S, CHEN H B, ZHONG C H. Retrospection and prospect of fruit breeding for last four decades in China[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(4): 514-520. (in Chinese)
- [10] 丛佩华, 张彩霞, 韩晓蕾, 田 义, 张利义, 李武兴. 我国苹果育种研究现状及展望[J]. 中国果树, 2018(6): 1-5.  
CONG P H, ZHANG C X, HAN X L, TIAN Y, ZHANG L Y, LI W X. Current research situation and prospect of apple breeding in China[J]. China Fruits, 2018(6): 1-5. (in Chinese)
- [11] 崔腾飞, 王 晨, 吴伟民, 纠松涛, 项殿芳, 汤 葳, 房经贵. 近10年来中国葡萄新品种概况及其育种发展趋势分析[J]. 江西农业学报, 2018, 30(3): 41-48.  
CUI T F, WANG C, WU W M, JIU S T, XIANG D F, TANG W, FANG J G. Current status and developmental trend of grape new varieties in China in last decade[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2018, 30(3): 41-48. (in Chinese)
- [12] 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(4): 47-49.  
HUANG G D, ZHAO Y, LI R W, ZHOU J A, CHEN Y S. Discussion on research status and strategies of germplasm resources and breeding of mango in Guangxi[J]. China Tropical Agriculture, 2013(4): 47-49. (in Chinese)
- [13] 周 立, 罗 聪, 何堂熹, 余海霞, 何新华. 基于EST-SSR标记的芒果品种遗传多样性和亲缘关系分析[J]. 分子植物育种, 2020, 18(11): 3797-3806.  
ZHOU L, LUO C, HE T X, YU H X, HE X H. Analysis of genetic diversity and relationship of mango varieties based on EST-SSR markers[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(11): 3797-3806. (in Chinese)
- [14] RUBIO J S, SÁNCHEZ F G, FLORES P, NAVARRO J M, MARTÍNEZ V. Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilization with  $Ca^{2+}$  and  $K^{+}$ [J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2010, 8(1): 170-177.