

陈妹姑, 林兴娥, 李新国, 等. 基于主成分分析和聚类分析的榴莲品质综合评价 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 278-286. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050098

CHEN Meigu, LIN Xing'e, LI Xinguo, et al. Comprehensive Evaluation of Durian Quality Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(7): 278-286. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050098

· 分析检测 ·

基于主成分分析和聚类分析的榴莲 品质综合评价

陈妹姑^{1,2}, 林兴娥², 李新国¹, 刘咲曈², 高宏茂², 明建鸿², 戴敏洁², 周兆禧^{2,*}

(1.海南大学园艺学院, 海南海口 570228;

2.中国热带农业科学院海口实验站, 海南海口 570100)

摘要:为探究海南本土驯化主栽榴莲品种中热 1 号与其他主栽商业品种之间果实品质的差异, 本试验利用差异显著性分析对 11 份榴莲品种的 10 个外观品质、5 个营养品质和 8 个矿物品质指标进行比较, 并采用主成分分析和模糊综合评判法进行综合评价。相关性分析显示, 果肉重和果实纵径是与榴莲内在品质关联最多的果实外观品质指标。通过对测定的 23 项指标进行主成分分析, 提取出 5 个主成分, 其中主成分 1 和主成分 2 的贡献率分别为 33.344% 和 19.889%, 主成分 1 中“果实大小”(单果重, 果实纵径, 果实横径, 果肉重)、K 含量和 Zn 含量以及主成分 2 中 Mg 含量和 Ca 含量为榴莲品种评价中的主要指标。榴莲品种品质指标综合得分由大到小依次为: 中热 1 号、苏丹王、康瑶金、江海、葫芦王、猫山王、黑刺、托曼尼、朱雀、D101、火凤凰。综上所述, 中热 1 号和康瑶金的果实外观品质和 K、Zn 元素含量高, 江海和苏丹王 Mg、Ca 元素含量高, 黑刺和 D101 营养品质优良, 均可作为优良榴莲种质资源进行引种。“果实大小”及 Mg 和 Ca 矿质元素含量是评价榴莲综合品质的关键性指标, 为榴莲品种的品质筛选及鉴定提供参考依据。

关键词:榴莲, 果实品质, 差异性分析, 主成分分析, 综合评价

中图分类号: S667.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)07-0278-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050098



本文网刊:

Comprehensive Evaluation of Durian Quality Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

CHEN Meigu^{1,2}, LIN Xing'e², LI Xinguo¹, LIU Xiaodi², GAO Hongmao², MING Jianhong², DAI Minjie², ZHOU Zhaoxi^{2,*}

(1.School of Horticulture, Hainan University, Haikou 570228, China;

2.Haikou Experimental Station, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 570100, China)

Abstract: In order to explore the difference in fruit quality between Hainan domesticated durian variety Zhongre No. 1 and other main commercial varieties, this experiment used the difference significance analysis to compare 10 appearance quality, 5 nutritional quality and 8 mineral quality indexes of 11 durian varieties, and the principal component analysis and fuzzy comprehensive evaluation method were used for comprehensive evaluation. Correlation analysis showed that pulp weight and fruit longitudinal diameter were the most relevant indicators of fruit appearance quality with durian internal quality. Through the PCA of 23 indexes, five principal components were extracted, of which the contribution rates of principal component 1 and principal component 2 were 33.344% and 19.889%, respectively. The "fruit size" (single fruit weight, fruit longitudinal diameter, fruit transverse diameter, pulp weight), K, Zn content in principal component 1, and Mg, Ca content in principal component 2 were the main indicators in durian variety evaluation. The comprehensive scores

收稿日期: 2022-05-11

基金项目: 海南省重点研发计划项目 (ZDYF2020071)。

作者简介: 陈妹姑 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 优稀水果栽培研究, E-mail: 1337792373@qq.com。

* 通信作者: 周兆禧 (1981-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 优稀水果育种与高效栽培研究, E-mail: zhzx81@163.com。

of durian variety quality indicators were as follows from large to small: Zhongre No. 1, Sultan King, Kang Yaojin, Jianghai, Hulu King, Musang King, Black Thorn, Tomani, Suzaku, D101, and Fire Phoenix. To summarize, Zhongre No.1 and Kang Yaojin had good appearance quality and high contents of K and Zn elements, Jianghai and Sultan King had high contents of Mg and Ca elements, Black Thorn and D101 had good nutritional quality, all of them could be introduced as excellent durian germplasm resources. "Fruit size" and Mg, Ca mineral elements content were the key indexes to evaluate the comprehensive quality of durian, which provided a reference basis for the quality screening and identification of durian varieties.

Key words: durian; fruit quality; difference analysis; principal component analysis; comprehensive evaluation

榴莲 (*Durio zibethinus* Murr.) 为木棉科 (Bombacaceae) 榴莲属 (*Durio*) 的热带常绿乔木, 婆罗洲是其主要的起源中心^[1-2], 现广泛种植于泰国、马来西亚、印度尼西亚、柬埔寨等东南亚国家, 在中国海南也有少量种植^[3]。榴莲果肉富含矿物质、膳食纤维、糖、维生素 C 和磷、钾、钙、镁、钠、铁、锰、铜、锌等微量元素以及黄酮类、多酚类、花青素类成分^[4-7], 具有抗氧化、抗肿瘤和抗菌等多种活性, 在促进人体健康方面发挥着重要作用^[8-10]。除鲜食外, 榴莲还可加工成榴莲糖、榴莲酥、榴莲蛋糕、榴莲月饼等一系列产品, 其果皮、叶子和根的提取物具有多种保健功能和药用价值。

近年来, 榴莲因其保健价值和营养价值很高而备受关注。目前国内有关于榴莲的研究较少, 且较多为研究榴莲壳利用^[11]、榴莲风味物质^[12]以及榴莲食用方式和功能^[13-14]等, 而对不同榴莲品种果实外观品质和品质性状的联合分析较少。为了更加科学、准确和全面地对榴莲品种进行分析、筛选和评价, 本研究采用主成分分析为主, 模糊隶属函数为辅的综合分析方法, 对不同榴莲品种品质进行综合评价。主成分分析 (principal component analysis, PCA) 是利用降维思想把多个变量转化为少数几个综合指标的一种统计方法, 隶属函数分析法可以对种质的不同性状指标进行综合分析, 将不同指标系数转换成 [0,1] 度量值, 在同一平台定量评价、综合比较, 可以对品种的综合能力作出全面合理的评价^[15]。主成分分析和模糊综合评判法被广泛用于蓝莓、黄皮、马铃薯、非洲菊等作物农艺性状、品质性状、抗性等的评估和优异种质资源的筛选中^[16-19], 而在榴莲品种品质评价上这两种综合评价方法尚未有应用报道。

因此, 本研究通过对 11 份榴莲种质资源的 10 个果实外观品质和 13 个内在品质指标进行差异性分析, 利用主成分分析和聚类分析筛选出影响榴莲品质的主要核心评价指标, 为榴莲引种栽培、优良品系筛选等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

本研究以 2021 年 6 月采收的 11 份榴莲品种的果实为试验材料, 其中托曼尼、猫山王 (D197)、苏丹王 (D24)、康瑶金 (kanyao)、黑刺 (D200)、火凤凰、葫芦王、朱雀 (D13)、红肉 (D101)、江海 均购于市

场, 液氮冷冻保存; 海南本地品种中热 1 号 采自保亭苗族黎族自治县榴莲种植园, 树上自然成熟, 液氮冷冻保存。硫酸、硝酸 广东广试试剂科技有限公司; 氢氧化钠、草酸、钼酸铵 西陇科学股份有限公司; 葱酮 国药集团化学试剂有限公司; 考马斯亮蓝 G-250、2,6-二氯酚、牛血清蛋白 上海麦克林生化科技有限公司; 以上试剂均为分析纯。

AL204 电子分析天平 (1/1000) 美国 METTLER TOLEDO 公司; 普通游标卡尺 (量程: 0~150 mm, 精度: ± 0.02 mm)、尺子 (量程: 0~30.5 cm) 上海工具厂有限公司; ACS-10 电子天平秤 上海英衡电子秤有限公司; AP-S90 数显糖度计 衢州艾普计量仪器有限公司; Multiskan FC 酶标仪 美国赛默飞世尔科技公司; DK-S24 恒温水浴锅 上海精宏实验设备有限公司; D-37520 高速离心机 美国赛默飞世尔科技公司; Multiwave 5000 消煮仪 奥地利安东帕 (中国) 有限公司; PinAAcle 500 Flame 原子吸收光谱仪 美国 Perkin Elmer 公司; M410 火焰分光光度仪 英国 SHERWOOD SCIENTIFIC 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 果实外观品质指标 外观品质指标的测定在果实购回时立即测定。每个榴莲品种取 5 个果实, 用电子天平测量单果重、果皮重、种子重等; 采用游标卡尺测量种子纵径、种子横径、果皮厚度; 用直尺测量果实纵径、横径等, 每个指标重复 3 次。其中, 果形指数=果实纵径/果实横径; 可食率 (%)=(单果重-果皮重-种子重)/单果重 $\times 100$ 。

1.2.2 果实内在品质指标 V_C 的测定: 采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定^[20]。称取 5.0 g 榴莲果实, 加 2% 草酸研磨成匀浆, 倒入 50 mL 容量瓶中, 用 2% 草酸冲洗数次, 定容至刻度, 9000 r/min 离心 10 min。取上清液 7 mL, 用 2,6-二氯酚酚标准溶液滴定, 至出现微红色 30 s 内不褪色为终点, 记录所消耗的体积, 计算 V_C 的含量。

可滴定酸的测定: 采用 NaOH 滴定法测定^[21]。取 5.0 g 果实充分研磨后成匀浆, 用 30 mL 蒸馏水转入 50 mL 容量瓶中, 置 80 °C 水浴中浸提 30 min, 期间摇动数次, 取出、冷却、加水至刻度, 摇匀过滤。用移液管吸取 40 mL 样液, 加入酚酞指示剂 3~4 滴, 用 0.1 mol/L 氢氧化钠标准溶液滴定, 至出现微红色 30 s 内不褪色为终点, 记录所消耗的体积, 计算可滴定酸含量。

可溶性糖含量测定根据蒽酮比色法^[21]修改,简单阐述如下:称取 1.0 g 鲜果肉放到研钵里,加入 30 mL 水研磨,转移到 50 mL 试管中,恒温水浴锅 80 °C 煮 40 min,冷却后 4000×g 离心 10 min,残渣加入 10 mL 蒸馏水,重复在 80 °C 水浴中提取 2 次,合并上清液,定容至 50 mL,取 1 mL 定容至 50 mL,再从中取 1 mL 加入蒽酮指示剂 5 mL,100 °C 煮 10 min,冷却后用分光光度计于 625 nm 波长处比色。以不同浓度的葡萄糖溶液绘制标准曲线 $y=0.004x+0.0099$, $R^2=0.999$, 计算可溶性糖含量。

可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 法测定^[21],略有修改,简单阐述如下:称取 2.0 g 鲜果肉放到研钵中,加 8 mL 水研磨,转移到离心管,9000 r/min 离心 10 min,过滤至玻璃管里,定容至 10 mL,取 0.1 mL 加 0.9 mL 水,加 5 mL 考马斯亮蓝指示剂,摇匀放置 5~20 min,置于分光光度计在 595 nm 波长处比色。以不同浓度的牛血清蛋白绘制标准曲线 $y=0.0052x+0.7199$, $R^2=0.999$, 计算可溶性蛋白含量。

可溶性固形物含量测定采用数显糖度计测量^[22]。

矿物质元素含量的测定:精确称取 0.2 g (精确到 0.0001 g) 样品于消解罐中,加入 9 mL 硝酸,将消解罐置于微波消解仪,100 °C 恒温 1 h,后 130 °C 恒温 2 h,取出冷却。将消解好的样品溶液转入 50 mL 玻璃管中,用超纯水定容至 50 mL。其中 P 含量采用钼锑抗比色法^[23],在 700 nm 比色测定;K 含量测定采用火焰光度计法^[23];Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu 含量使用原子吸收光谱仪进行测定^[23]。

制备标准溶液:Ca、Mg 为 0、2、4、6 和 8 μg/mL;Cu 为 0、0.1、0.12、0.14 和 0.16 μg/mL;P、Fe 为 0、0.2、0.4、0.6 和 0.8 μg/mL;Mn、Zn 为 0、0.1、0.2、0.3、0.4 和 0.5 μg/mL。

1.3 数据处理

使用 Excel 2016 进行数据处理,利用 SPSS.23 统计软件对数据进行差异显著性分析、相关性分析、

主成分分析和聚类分析,差异显著性分析里数据均是平均值±标准差,用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。

为消除不同指标量纲和数量级的差异,在进行主成分分析前先依据模糊隶属函数对原始数据进行标准化处理^[24]。23 项指标中除了果皮厚度、种子数和可滴定酸含量依据实际评价定为负相关指标,其余指标为正相关指标。通过以下公式计算出综合得分并进行排序:

$$\text{正相关指标: } U_{ij}=(X_{ij}-X_{j\min})/(X_{j\max}-X_{j\min});$$

$$\text{负相关指标: } U_{ij}=1-(X_{ij}-X_{j\min})/(X_{j\max}-X_{j\min});$$

$$\text{主成分特征向量: } K_{ij} = \frac{\text{主成分载荷值}}{\sqrt{\text{对应主成分特征值}}};$$

$$\text{主成分得分: } Y = \sum_{ij} K_{ij} \times U_{ij};$$

$$\text{综合得分: } Z = \sum Y \times W$$

式中: U_{ij} 表示 i 品系 j 指标的函数值; X_{ij} 表示 i 品系 j 指标的平均值; $X_{j\min}$ 和 $X_{j\max}$ 分别表示样品 j 指标的最小值和最大值; W 为主成分分析中的主成分贡献率。

2 结果与分析

2.1 不同榴莲品种果实外观品质指标的差异

不同榴莲品种果实外观品质指标如表 1 所示,在这 10 个外观品质指标中,果肉重的变异系数最大,为 58.59%,其中康瑶金果肉最重,其次是中热 1 号,两者差异不显著($P>0.05$)。中热 1 号的平均单果重为 3.00 kg,与康瑶金、苏丹王和葫芦王同属于大果型。中热 1 号的果皮厚度最大,显著高于其他品种($P<0.05$)。可食率是评价果实品质的重要指标之一,由于品种、产地、栽培技术差异,各品种的可食率亦不同。供试的 11 个品种中,康瑶金的可食率最高,为 37.19%,显著高于其他品种($P<0.05$);中热 1 号可食率为 22.72%,与葫芦王和托曼尼差异不显著。葫芦王和中热 1 号的果形指数较大,分别为 1.46 和 1.38,为长圆形,而黑刺的果形指数最小,为

表 1 不同榴莲品种外观品质比较分析

Table 1 Comparative analysis of appearance quality of different durian varieties

品种	果实纵径 (cm)	果实横径 (cm)	单果重 (kg)	果肉重 (kg)	果皮厚度 (mm)	种子数 (个)	种子纵径 (mm)	种子横径 (mm)	果形指数	可食率 (%)
托曼尼	15.77±0.74 ^c	14.07±0.65 ^c	0.81±0.09 ^c	0.17±0.03 ^e	9.51±0.43 ^{cd}	7.8±2.75 ^{abc}	48.31±3.61 ^{de}	27.48±1.97 ^{de}	1.12±0.11 ^{cd}	21.58±2.21 ^{bcd}
朱雀	17.33±0.58 ^{de}	14.63±0.95 ^c	1.41±0.02 ^{bcd}	0.27±0.08 ^{cde}	11.99±1.34 ^{bc}	6.3±0.58 ^c	48.14±1.79 ^{de}	28.39±0.91 ^{cd}	1.19±0.08 ^{bc}	19.20±5.81 ^{de}
火凤凰	16.38±0.72 ^{de}	14.77±0.42 ^c	1.33±0.03 ^{cde}	0.27±0.08 ^{cde}	11.70±1.31 ^{bc}	9.3±0.58 ^{abc}	46.58±1.70 ^{de}	28.94±1.11 ^{cd}	1.11±0.04 ^{cd}	20.58±5.73 ^{cd}
D101	18.17±1.10 ^{cde}	16.87±0.85 ^b	1.52±0.36 ^{bcd}	0.25±0.04 ^{de}	12.54±0.58 ^b	13.3±4.93 ^a	44.13±1.87 ^e	25.30±1.20 ^e	1.08±0.03 ^{cd}	16.48±1.53 ^{de}
中热1号	26.43±4.02 ^a	19.10±1.28 ^a	3.00±0.89 ^a	0.69±0.27 ^{ab}	15.38±1.72 ^a	9.0±2.65 ^{abc}	58.16±2.78 ^{ab}	30.43±1.70 ^{bc}	1.38±0.13 ^a	22.72±4.29 ^{bcd}
康瑶金	19.53±0.21 ^{cd}	17.37±0.40 ^b	2.20±0.07 ^b	0.82±0.09 ^a	11.95±2.27 ^{bc}	12.0±3.46 ^{ab}	54.89±2.18 ^{bc}	29.49±1.17 ^{bcd}	1.13±0.04 ^{cd}	37.19±3.45 ^a
猫山王	17.40±0.61 ^{de}	15.13±1.10 ^c	1.74±0.36 ^{bcd}	0.48±0.10 ^{bcd}	11.67±2.06 ^{bc}	12.7±2.08 ^{ab}	50.82±1.17 ^{cd}	31.84±0.94 ^b	1.15±0.05 ^{cd}	27.73±0.72 ^b
苏丹王	21.47±3.26 ^{bc}	17.70±0.46 ^{ab}	2.20±0.57 ^b	0.57±0.22 ^{ab}	7.32±0.73 ^d	10.0±3.61 ^{abc}	48.70±3.96 ^{de}	35.59±2.59 ^a	1.21±0.15 ^{bc}	25.54±3.10 ^{bc}
黑刺	17.20±1.47 ^{de}	16.93±0.45 ^b	1.95±0.07 ^{bc}	0.48±0.05 ^{bcd}	10.39±1.92 ^{bc}	9.7±2.31 ^{abc}	45.99±1.76 ^e	28.83±1.26 ^{cd}	1.01±0.07 ^d	24.53±2.24 ^{bc}
江海	18.90±0.53 ^{cde}	14.37±0.23 ^c	1.08±0.09 ^{de}	0.15±0.03 ^e	11.20±0.41 ^{bc}	7.7±1.53 ^{bc}	34.90±0.53 ^f	16.57±0.16 ^f	1.32±0.02 ^{ab}	13.48±1.98 ^e
葫芦王	24.30±0.53 ^{ab}	16.63±0.15 ^b	2.19±0.54 ^b	0.52±0.26 ^{bc}	10.50±0.24 ^{bc}	7.5±1.53 ^{bc}	62.83±1.94 ^a	28.36±1.10 ^{cd}	1.46±0.02 ^a	23.05±2.88 ^{bcd}
变异系数(%)	18.49	10.48	38.70	58.59	19.90	24.16	15.05	16.56	12.33	24.54

注:表中同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);表2~表3同。

1.01, 接近圆形。中热 1 号的平均种子数为 9 个, 与托曼尼、火凤凰、苏丹王、黑刺差异不显著, D101 的种子数最多, 平均约有 13 个, 朱雀的种子数最少, 与 D101 差异显著 ($P < 0.05$)。种子大小对植物的适应性有较大的影响, 与果形相互影响^[25]。榴莲繁育以嫁接为主, 种子主要用于砧木苗繁育, 种子性状指标和苗期性状指标具有高度相关性, 种子饱满、种子数多的榴莲品种, 其种子发芽率、苗期长势亦较好, 更适合作为榴莲砧木培育。

2.2 不同榴莲品种果实内在品质指标的差异

2.2.1 果实营养品质 不同榴莲品种间营养品质如表 2 所示, 变异系数范围为 8.22%~30.24%, 其中可溶性固形物的变异系数最小, 为 8.22%, V_C 含量的变异系数最大, 为 30.24%。中热 1 号和康瑶金的可溶性固形物和可溶性蛋白含量均较低, 其中中热 1 号分别为 29.43% 和 4.23 mg/g, 除康瑶金外, 均与其他品种差异显著 ($P < 0.05$)。中热 1 号果实可溶性糖含量为 340.48 mg/g, 显著低于黑刺和葫芦王, 显著高于康瑶金、猫山王和苏丹王 ($P < 0.05$)。中热 1 号的 V_C 含量位居第四, 与黑刺、托曼尼和江海差异显著 ($P < 0.05$), 在品种选育时, V_C 含量的遗传变异较大,

可选范围空间较大。而中热 1 号的可滴定酸含量较低, 与康瑶金、猫山王、葫芦王和黑刺差异不显著。

2.2.2 果实矿质元素含量 对不同榴莲品种的 8 个矿质元素含量进行测定, 结果如表 3 所示, 不同榴莲品种间矿质元素含量差异明显, 变异范围为 6.02%~55.63%。在这 8 个矿质指标中, Cu 含量的变异程度最大, 其中以康瑶金 Cu 含量最高, 黑刺的 Cu 含量最低。此外康瑶金的 K 含量和 Ca 含量均较高, 说明康瑶金可作为高 Cu、高 K 和高 Ca 的优良资源。中热 1 号的 P 含量处于中等水平, 在供试品种中位居第四, 其 P 含量显著低于苏丹王 ($P < 0.05$)。而中热 1 号的 K 含量和 Ca 含量在供试品种中排行第四, 其 K 含量与康瑶金和江海差异不显著, 但 Ca 含量显著低于康瑶金和江海 ($P < 0.05$)。此外, 中热 1 号的 Zn 含量最高, 达到 28.92 $\mu\text{g/g}$, 显著高于其他供试品种 ($P < 0.05$)。

这 11 个品种中, 苏丹王表现优良的矿质元素指标较多, P 含量、K 含量和 Fe 含量均较高, 且 Fe 含量显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 说明苏丹王矿质品质优良。此外, 江海的 Ca 含量和 Mg 含量为品种间的最大值, 其品质性状较优。

表 2 不同品种榴莲营养品质的比较分析

Table 2 Comparative analysis of fruit quality of different durian varieties

品种	可溶性糖含量(mg/g)	可滴定酸含量(%)	V_C 含量(mg/100 g)	可溶性固形物(%)	可溶性蛋白含量(mg/g)
托曼尼	366.50±4.24 ^{abc}	0.25±0.00 ^{bc}	42.50±1.17 ^b	30.90±0.10 ^{de}	5.25±0.27 ^d
朱雀	383.40±30.60 ^{ab}	0.27±0.00 ^b	27.62±2.28 ^d	36.87±0.35 ^a	6.75±0.10 ^b
火凤凰	377.98±15.49 ^{ab}	0.24±0.02 ^{bc}	27.59±0.73 ^d	36.97±0.29 ^a	6.62±0.16 ^b
D101	375.90±13.17 ^{ab}	0.32±0.00 ^a	22.01±0.83 ^c	35.20±0.20 ^b	7.87±0.25 ^a
中热1号	340.48±7.56 ^{bc}	0.19±0.01 ^d	30.26±0.78 ^d	29.43±0.15 ^f	4.23±0.28 ^f
康瑶金	274.44±41.48 ^c	0.19±0.01 ^d	25.89±1.68 ^{de}	29.17±0.50 ^f	4.45±0.27 ^{ef}
猫山王	274.65±25.32 ^c	0.20±0.01 ^d	20.60±0.87 ^e	32.80±0.26 ^c	6.42±0.15 ^{bc}
苏丹王	289.02±47.95 ^{de}	0.26±0.03 ^b	24.96±2.91 ^{de}	32.57±0.87 ^c	5.35±0.04 ^d
黑刺	412.74±6.14 ^a	0.18±0.01 ^d	51.60±1.31 ^a	34.33±0.29 ^b	4.85±0.04 ^{de}
江海	324.39±2.56 ^{cd}	0.23±0.00 ^c	36.65±6.50 ^e	31.60±0.72 ^d	3.41±0.22 ^e
葫芦王	394.10±6.42 ^a	0.18±0.01 ^d	28.19±3.26 ^d	30.70±0.36 ^c	5.96±0.67 ^c
变异系数(%)	14.93	19.93	30.24	8.22	23.11

表 3 不同品种榴莲矿质品质的差异分析

Table 3 Analysis of the difference in mineral quality of different durian varieties

品种	P含量(mg/g)	K含量(mg/g)	Ca含量($\mu\text{g/g}$)	Mg含量($\mu\text{g/g}$)	Fe含量($\mu\text{g/g}$)	Mn含量($\mu\text{g/g}$)	Zn含量($\mu\text{g/g}$)	Cu含量($\mu\text{g/g}$)
托曼尼	5.84±0.38 ^{def}	8.42±0.45 ^{de}	104.19±3.41 ^f	554.08±41.40 ^e	63.47±0.90 ^b	11.17±1.25 ^a	15.71±0.49 ^{ef}	4.32±0.81 ^{fg}
朱雀	5.34±0.38 ^f	9.39±0.41 ^{cd}	140.48±2.97 ^e	664.16±6.09 ^c	60.96±1.20 ^{cde}	8.79±1.19 ^{bcd}	14.02±1.21 ^{gh}	6.23±0.77 ^{de}
火凤凰	5.36±0.20 ^f	8.07±0.22 ^e	97.03±1.44 ^{fg}	586.96±10.62 ^{fg}	57.08±1.39 ^e	9.70±1.07 ^{abc}	14.23±0.68 ^{fg}	3.94±0.58 ^e
D101	7.13±0.13 ^{ab}	7.69±0.28 ^c	88.39±0.58 ^e	640.19±16.54 ^{ef}	59.57±1.02 ^{def}	10.29±0.77 ^{ab}	12.48±0.67 ^h	6.46±0.66 ^d
中热1号	6.52±0.40 ^{bc}	10.97±0.95 ^{ab}	172.04±0.90 ^{cd}	664.73±26.12 ^c	58.20±1.14 ^{fg}	7.58±0.51 ^{de}	28.92±1.02 ^a	5.48±0.53 ^{def}
康瑶金	6.47±0.36 ^{bcd}	11.01±1.03 ^{ab}	188.66±7.45 ^b	685.93±45.11 ^{de}	55.02±1.51 ^h	8.37±0.85 ^{cd}	19.92±1.51 ^c	16.07±1.04 ^a
猫山王	5.74±0.26 ^{ef}	9.44±0.77 ^{cd}	134.29±1.79 ^e	883.30±54.15 ^c	62.09±0.93 ^{bc}	6.26±0.69 ^{ef}	13.66±0.83 ^{gh}	4.99±0.86 ^{fg}
苏丹王	7.68±0.70 ^a	11.89±0.41 ^a	162.7±25.9 ^d	1004.93±21.63 ^b	66.81±0.77 ^a	8.21±0.53 ^{cd}	16.05±0.46 ^c	4.89±0.73 ^{fg}
黑刺	4.64±0.19 ^g	9.57±0.34 ^{cd}	183.57±1.43 ^{bc}	735.37±29.57 ^d	58.96±1.51 ^{efg}	5.85±0.64 ^f	16.53±0.73 ^{de}	2.38±0.22 ^h
江海	7.04±0.45 ^{ab}	11.03±1.33 ^{ab}	313.02±4.94 ^a	1432.53±28.18 ^a	61.29±1.10 ^{cd}	9.74±0.87 ^{abc}	22.53±0.81 ^b	10.53±0.53 ^b
葫芦王	6.06±0.44 ^{cde}	10.25±0.72 ^{bc}	146.95±1.48 ^c	660.30±20.03 ^c	54.89±0.56 ^h	6.06±0.85 ^{ef}	18.03±1.21 ^d	8.87±0.77 ^c
变异系数(%)	15.15	14.89	38.21	31.88	6.02	22.58	26.94	55.63

2.3 不同榴莲品种果实外在品质与内在品质的相关性分析

对 11 份榴莲品种的 10 个果实外观品质和 13 个果实内在品质指标进行相关性分析, 结果如表 4 所示, 在所有品质中, 果实纵径和果肉重与果实内在品质指标相关性最强, 其中果实纵径与 K 含量、Zn 含量呈显著正相关($P<0.05$); 果肉重与 K 含量呈显著正相关($P<0.05$), 与 Mn 含量呈显著负相关($P<0.05$)。说明外观品质中的果肉重和果实纵径更容易受到相关果实内在品质指标代谢活动的影响。

在内在品质中, 可溶性蛋白与其他品质相关性较强, 其中与 K 含量呈显著负相关($P<0.05$), 与 Ca 含量和 Zn 含量呈极显著负相关($P<0.01$), 与可溶性固形物呈显著正相关($P<0.05$)。在外观品质指标中, 果肉重与其他外观品质的相关性最强, 与其呈极显著或显著的外观品质指标共有 6 个, 其中与单果重、果实横径和可食率呈极显著正相关($P<0.01$), 相关系数分别为 0.883、0.795 和 0.823, 且与果实纵径、种子横径和种子纵径呈显著正相关($P<0.05$)。这也说明, 果肉重与果实重量、果实大小、种子大小和可食率之间的相关性较强。

2.4 不同榴莲品种品质的主成分分析

以 10 个外观品质和 13 个内在品质指标为依据, 基于主成分分析法对 11 份榴莲品种进行综合评价。通过主成分分析共提取到 5 个主成分, 累计贡献率达到 84.691%, 且特征值均大于 1, 说明所提取的主成分对评价榴莲品种综合品质有一定的准确性,

因此选取这 5 个成分作为供试榴莲品种综合品质的主成分。

由表 5 可知, 主成分 1 的贡献率最大为 33.344%, 特征值为 7.669, 说明主成分 1 在分析评价中起主导作用。在主成分 1 中, 果肉重、单果重、果实纵径、果实横径以及 K、Zn 含量均载荷值较高, 且这 6 个指标对主成分 1 产生正向影响, 说明果实外观相关指标和 K、Zn 含量对于榴莲品种的评价影响显著。第 2 主成分的贡献率为 19.889%, 特征值为 4.574, 其中 Mg 含量和 Ca 含量为主成分 2 中载荷较高的特征向量, 亦产生正向影响, 可认为这 2 个矿质指标是评价榴莲品质的重要评价指标。第 3 主成分贡献率为 13.275%, 特征值为 3.053, 对此主成分产生正向影响的是 P 含量, 载荷值较高, 而产生负向影响的是可溶性糖。第 4 主成分贡献率为 9.953%, 特征值为 2.289, 其中可滴定酸、 V_C 含量、果皮厚度和可食率在此成分上有较高的权重, 为正相关。第 5 主成分贡献率是 8.230%, 特征值为 1.893, 主要指标为 Fe 含量, 对此主成分产生正向影响, 而 Cu 含量呈负相关。

2.5 11 个榴莲品种果实品质的综合评价

以各主成分的贡献率为权重, 由相对应的主成分得分和权重加权求和得到综合评价函数, 即 $Z=0.3937 \times Y_1+0.2348 \times Y_2+0.1567 \times Y_3+0.1175 \times Y_4+0.0972 \times Y_5$ 。通过函数计算出 11 个榴莲品种的果实品质综合得分和排序结果, 综合数值越大, 表明该榴莲综合品质越好(表 6)。通过综合评价结果由大到

表 4 不同榴莲品种果实外观品质及内在品质的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of fruit appearance quality and internal quality of different durian varieties

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
X1	1																						
X2	0.454	1																					
X3	0.255	0.695*	1																				
X4	0.465	0.558	0.833**	1																			
X5	0.325	0.115	0.017	0.399	1																		
X6	0.319	-0.395	-0.145	-0.019	0.271	1																	
X7	0.259	0.632*	0.597	0.257	-0.253	-0.150	1																
X8	0.381	0.424	0.457	0.233	-0.454	0.073	0.319	1															
X9	-0.537	-0.546	-0.288	-0.437	-0.288	0.032	-0.189	-0.458	1														
X10	-0.389	0.456	0.371	0.028	-0.475	-0.719*	0.506	0.228	-0.141	1													
X11	-0.471	-0.034	0.304	0.039	0.042	-0.031	0.183	-0.295	0.500	0.285	1												
X12	-0.384	-0.609*	-0.395	-0.158	0.144	0.173	-0.694*	-0.518	0.467	-0.555	-0.071	1											
X13	-0.153	-0.714*	-0.816**	-0.516	0.004	0.113	-0.788**	-0.348	0.304	-0.574	-0.501	0.683*	1										
X14	0.183	0.580	0.073	-0.138	-0.311	-0.650*	0.562	0.125	-0.220	0.485	-0.222	-0.446	-0.231	1									
X15	0.426	0.631*	0.226	0.050	-0.263	-0.420	0.720*	0.222	-0.125	0.369	-0.231	-0.586	-0.326	0.831**	1								
X16	0.348	0.481	0.021	-0.158	-0.230	-0.440	0.493	0.110	-0.158	0.240	-0.151	-0.414	-0.186	0.923**	0.752**	1							
X17	0.125	0.158	0.005	0.244	0.547	0.032	-0.477	-0.157	-0.075	-0.152	0.206	0.071	-0.088	-0.332	-0.299	-0.257	1						
X18	-0.252	0.141	0.246	0.065	0.038	0.101	0.241	-0.122	0.487	0.099	0.427	0.038	-0.278	-0.212	0.124	-0.346	0.128	1					
X19	-0.108	0.216	-0.351	-0.572	-0.462	-0.522	0.248	0.141	-0.024	0.516	-0.269	-0.454	0.064	0.692*	0.637*	0.528	-0.201	0.010	1				
X20	-0.085	0.150	-0.544	-0.467	0.167	-0.417	-0.188	-0.317	-0.240	0.142	-0.295	-0.008	0.267	0.536	0.206	0.461	0.210	-0.273	0.601	1			
X21	0.346	0.533	0.360	0.259	-0.194	-0.239	0.620*	0.277	-0.057	0.332	-0.209	-0.504	-0.331	0.402	0.808**	0.222	-0.190	0.483	0.449	-0.139	1		
X22	-0.099	0.342	-0.102	-0.286	-0.241	-0.421	0.051	0.376	-0.526	0.543	-0.154	-0.449	-0.177	0.476	0.112	0.393	0.088	-0.434	0.565	0.626*	-0.183	1	
X23	0.119	0.604*	0.075	-0.168	-0.343	-0.612*	0.425	0.361	-0.454	0.596	-0.232	-0.549	-0.294	0.883**	0.603*	0.795**	-0.167	-0.358	0.700*	0.608*	0.187	0.823**	1

注: X1: P含量; X2: K含量; X3: Ca含量; X4: Mg含量; X5: Fe含量; X6: Mn含量; X7: Zn含量; X8: Cu含量; X9: 可溶性糖含量; X10: 可滴定酸含量; X11: V_C 含量; X12: 可溶性固形物含量; X13: 可溶性蛋白含量; X14: 单果重; X15: 果实纵径; X16: 果实横径; X17: 果皮厚度; X18: 种子数; X19: 种子纵径; X20: 种子横径; X21: 果形指数; X22: 可食率; X23: 果肉重; “*”表示在0.05级别(双尾), 相关性显著, “**”表示在0.01级别(双尾), 相关性显著。

表 5 不同品种榴莲各品质因子载荷矩阵和贡献率

Table 5 Loading matrix and contribution rate of each quality factor of different varieties of durian

供试指标	主成分				
	1	2	3	4	5
P含量	0.1054	0.1739	0.3966	-0.2994	0.0996
K含量	0.2874	0.1922	0.1168	0.1163	0.1803
Ca含量	0.1426	0.3937	0.0332	0.1322	-0.0741
Mg含量	0.0426	0.3890	0.1826	0.0919	0.0720
Fe含量	-0.1199	0.1295	0.3039	0.1481	0.4375
Mn含量	-0.2044	0.1473	0.1431	-0.2313	-0.1475
Zn含量	0.2679	0.1987	-0.1648	-0.1289	-0.0102
Cu含量	0.1686	0.1351	0.1202	-0.0859	-0.4753
可溶性糖	-0.1625	-0.0711	-0.4361	-0.1190	0.1439
可滴定酸含量	0.2463	-0.0117	-0.2593	0.3007	-0.1185
V _C 含量	-0.0538	0.1510	-0.3468	0.3503	0.0916
可溶性固形物	-0.2795	-0.1169	-0.0229	-0.0357	0.0916
可溶性蛋白	-0.2055	-0.3077	0.0996	-0.2294	0.0313
单果重	0.3124	-0.1585	-0.0160	-0.0793	0.1461
果实纵径	0.2990	0.0065	-0.0670	-0.2915	0.2268
果实横径	0.2676	-0.1459	0.0549	-0.1170	0.1395
果皮厚度	-0.0863	0.0608	0.1917	0.3463	0.3220
种子数	-0.0412	0.1926	-0.3508	-0.0654	0.2820
种子纵径	0.2318	-0.2815	-0.1265	-0.0919	0.0647
种子横径	0.1069	-0.3488	0.1557	0.1626	0.2980
果形指数	0.2073	0.1548	-0.1368	-0.3206	0.1970
可食率	0.2040	-0.2212	0.1408	0.3318	-0.2122
果肉重	0.3163	-0.1824	0.0773	0.1157	-0.0494
特征值	7.669	4.574	3.053	2.289	1.893
贡献率(%)	33.344	19.889	13.275	9.953	8.230
累计贡献率(%)	33.344	53.233	66.508	76.461	84.691

小可知, 这 11 个品种的排序为中热 1 号>苏丹王>康瑶金>江海>葫芦王>猫山王>黑刺>托曼尼>朱雀>D101>火凤凰。

表 6 不同品种榴莲各品质的主成分得分和综合得分

Table 6 Principal component scores and comprehensive scores of different varieties of durian for each quality

品种	主成分得分					综合得分Z	排名
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5		
托曼尼	-0.04	0.13	-0.19	0.27	0.91	0.11	8
朱雀	0.08	-0.14	-0.30	-0.13	1.02	0.04	9
火凤凰	-0.06	-0.45	-0.26	-0.06	0.69	-0.11	11
D101	-0.08	-0.44	0.46	-0.70	0.66	-0.08	10
中热1号	2.28	-0.07	-0.41	-0.46	1.12	0.87	1
康瑶金	1.98	-0.21	0.41	0.35	0.02	0.84	3
猫山王	0.87	-0.45	0.49	0.43	0.72	0.43	6
苏丹王	1.27	0.08	0.97	0.20	1.64	0.85	2
黑刺	0.72	-0.25	-0.76	0.89	1.02	0.31	7
江海	0.75	1.72	0.00	-0.01	0.72	0.77	4
葫芦王	1.63	-0.26	-0.66	-0.27	1.08	0.55	5
贡献率(%)	33.344	19.889	13.275	9.953	8.230		

2.6 不同榴莲品种聚类分析

通过系统聚类分析法对 23 个品种指标进行 R 型聚类, 对 11 个榴莲品种进行 Q 型聚类, 结果如图 1 和图 2。由图 1 可知, 在欧式距离为 16 时, 可将这 23 项指标分为 5 类: 第 1 类为单果重、果实横径、果肉重、种子纵径、种子横径、可食率等果实外观品质指标和可滴定酸, 此类与主成分 1 中载荷值较高的指标对应。第 2 类包括 Ca、Mg、K、Zn、P、Cu 等矿质元素含量以及果实纵径和果形指数等外观品质, 此类与主成分 2 和主成分 3 中较高载荷值的矿质元素对应。第 3 类为可溶性糖、种子数和 V_C 含量。第 4 类为可溶性固形物、可溶性蛋白, 第 5 类包含 Mn、Fe 含量和果皮厚度, 部分指标在主成分 4 和主成分 5 中载荷值较高。结合图 1 和表 5 可知, 榴莲品质的主要指标有单果重、果实横径、果实纵

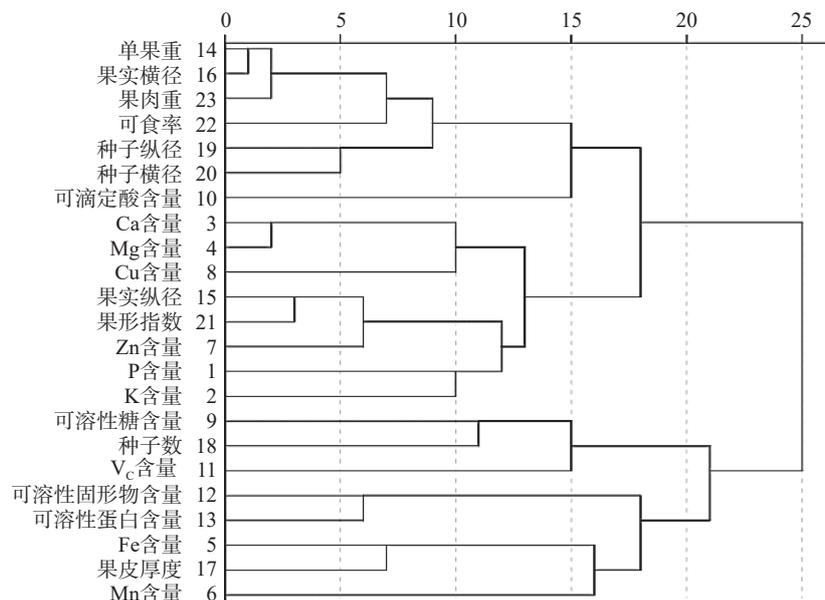


图 1 不同榴莲品种 R 型聚类谱系图

Fig.1 R-type cluster pedigree diagram of different varieties of durian

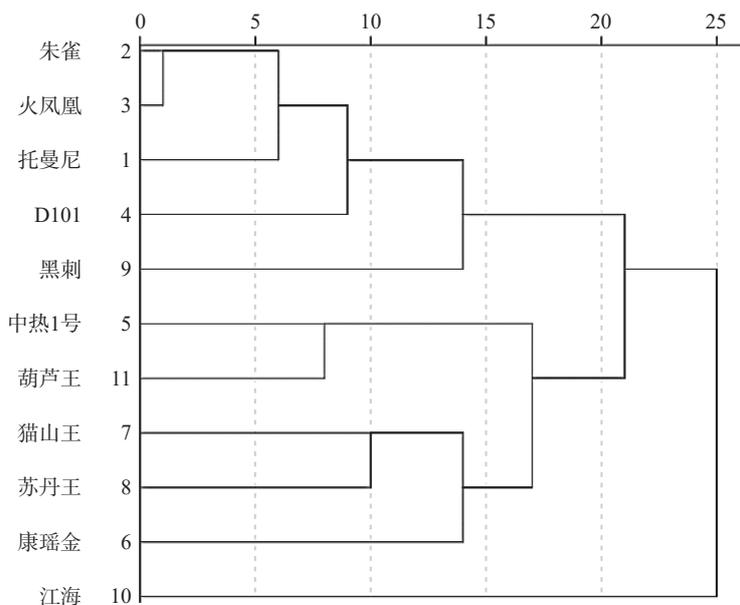


图2 不同榴莲品种Q型聚类谱系图

Fig.2 Q-type cluster pedigree diagram of different varieties of durian

径、果肉重以及Ca、Mg矿质元素等。

由图2可知,在欧式距离为17时,可将11份榴莲品种分为三类。第一类包括朱雀、托曼尼、火凤凰、D101和黑刺。此类果实偏小,可食率不高,可溶性糖含量较高。第二类包括中热1号、葫芦王、康瑶金、猫山王和苏丹王,此类果肉较多,可食率高,可滴定酸含量和V_C含量偏低。第三类为江海,该类果形偏小,可食率低,营养品质不高,但矿质元素含量较为丰富。

3 讨论与结论

榴莲主要以鲜食为主,对其商品性的评价不仅要注重果实外观品质,还要兼顾果实内在品质,包括营养品质和矿质元素含量。根据本试验差异性分析的结果发现,不同榴莲品种的果实外观品质存在明显差异,变异系数越大,差异性越大,具有一定的广泛性和代表性^[26]。其中Cu含量和果肉重的差异较大,变异系数分别为55.63%和58.59%,说明这两个指标均存在较大的遗传差异,在品种选育时,可选择范围空间较大。可溶性固形物含量和Fe含量的变异系数较小,分别为8.22%和6.02%,品种选育时选择范围较小。

实验结果表明,中热1号的平均单果重为3.00 kg,长圆形,果实偏大,种子较大,为圆柱形,果皮较厚,矿质元素含量较丰富,营养品质没有明显优劣性。Jackie等^[27]的研究结果中榴莲果实的可食率为26%,而中热1号的平均可食率为22.72%,可食率低于平均榴莲可食率。Somsri等^[28]认为单果重、可食率和败育率可作为评价榴莲品种商品性的重要指标,本试验中,中热1号的单果重和果形指数最大,商品性较好,可食率在供试品种中处于中等地位,没有明显的优劣势。营养品质方面,中热1号大部分指标含量较低,其中可溶性糖和可滴定酸含量居中,可溶性固形物和

可溶性蛋白含量除康瑶金外均显著低于其他品种($P<0.05$)。杨金姝^[29]表明榴莲果实矿质元素的含量十分丰富,其中以K、Ca和Zn含量特别高,而中热1号在矿质元素方面,除K、Ca和Zn含量外,大部分矿质含量居中,尤其是Zn含量,高达28.92 μg/g,显著高于其他品种($P<0.05$),而Fe含量较低,与前人研究基本一致。综合分析外观和内在品质,中热1号的外观和矿质元素品质质量较优,可作为优良榴莲品种在海南进行推广利用。

可溶性糖、可滴定酸和可溶性固形物含量是消费者评价水果品质的重要指标。郭清云等^[30]通过单苞质量、色差和可滴定酸等13项品质指标评价5份榴莲蜜果实的品质性状,并通过主成分分析揭示不同榴莲蜜种果实品质的优劣。毛海涛等^[31]对不同榴莲品种果实的形态和营养指标进行检测,初步评价了9个榴莲品种的品质差异,与本次试验结果相比,相同供试品种的营养品质对比结果不一致,可能与购买产地、栽培环境和管理方式不同有关。本次试验材料是采购于市场或本地种植园,均是自然成熟。Youryon等^[32]指出树上自然成熟的榴莲可溶性固形物和总糖含量均高于人工催熟的榴莲。中热1号的可溶性糖含量为340.48 mg/g, Voon等^[33]指出,榴莲果肉影响甜度的三种主要糖类是蔗糖、果糖和葡萄糖,为了更好地分析中热1号果实中糖之间的关系,后续可以采用色谱法对榴莲果肉糖类进行详细测定分析。

主成分分析是指将有联系的众多指标运用综合的变量进行概括,以达到降维的多元统计方法^[34]。近些年来,主成分分析已被广泛运用于许多作物,包括砂梨^[35]、蓝莓^[36]、杏^[37]等。本试验通过主成分分析和聚类分析可知,提取出5个特征值大于1的主成分,累计贡献率达到84.691%,主成分分析综合得分

排行前三的品种是中热 1 号、苏丹王和康瑶金, 结合 Q 型聚类分析可知这 3 个品种分属一类, 该类品种在第 1 主成分中占比较多, 其余品种在部分主成分中较优, 但由于不同主成分的占比和排序不同, 综合评价得分不同。结合 R 型聚类分析可知, 单果重、果实横径、果实纵径、果肉重以及 Ca、Mg 矿质元素可作为榴莲品质评价的主要指标。

综上所述, 中热 1 号以最佳的外观品质和较优的矿质元素作为可推广的优良榴莲品种, 苏丹王、江海和 D101 可作为内在品质优良的种质资源进行引种栽培试验。对果实外观品质和内在品质进行科学、合理地评价是对果树品种全面评价的前提和基础, 但本次试验仅从部分营养品质对榴莲进行比较, 观测指标较少, 该试验结果并不能代表所有榴莲品种, 后续应增加观测榴莲品种。此外, 探究品种的抗性和对种植地的适应性等对种质资源的整体评价也非常重要, 因此选育优良品种应在果实品质指标的综合评价基础上, 结合植株耐性和适应性等方面的调查, 才能评选出适宜本地区引种和推广利用的优良品种。

参考文献

- [1] 中国科学院中国药用植物志编辑委员会. 中国植物志: 第 49(2) 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1984. [Editorial Committee of the Chinese Academy of Sciences, Chinese journal of medicinal plants. Flora of China: Vol. 49(2)[M]. Beijing: Science Press, 1984.]
- [2] DEVALARAJA S, JAIN S, YADAV H. Exotic fruits as therapeutic complements for diabetes, obesity and metabolic syndrome[J]. *Food Res Int*, 2011, 44(7): 1856–186.
- [3] 白娟. 全球榴莲贸易现状与前景展望[J]. *中国果业信息*, 2022, 39(5): 26–38. [BAI J. Current situation and outlook of global durian trade[J]. *China Fruit Information*, 2022, 39(5): 26–38.]
- [4] AZIZ N A A, JALIL A M M. Bioactive compounds, nutritional value, and potential health benefits of indige nous durian (*Durio zibethinus* Murr.): A review[J]. *Foods*, 2019, 8(3): 96–114.
- [5] STRIEGEL L, CHEBIB S, DUMLER C. Durian fruits discovered as superior folate sources[J]. *Front Nut*, 2018, 5: 114.
- [6] HUSIN N A, RAHMAN S, KARUNAKARAN R, et al. A review on the nutritional, medicinal, molecular and genome attributes of durian (*Durio zibethinus* L.) the king of fruits in Malaysia[J]. *Bioinformation*, 2018, 14(6): 265–270.
- [7] XIAO Z B, NIU M X, NIU Y W. Comparative study on volatile compounds and taste components of different durian cultivars based on GC-MS, UHPLC, HPAEC-PAD, E-tongue and E-nose[J]. *Molecules*, 2022, 27(4): 1264.
- [8] CHAROENPHUN N, KLANGBUD W K. Antioxidant and anti-inflammatory activities of durian (*Durio zibethinus* Murr.) pulp seed and peel flour[J]. *PeerJ*, 2022, 23(3): 939–947.
- [9] KETSA S. Durian-*Durio zibethinus*[M]. Academic Press, 2018: 169–180.
- [10] HARUENKIT R, POOVARODOM S, LEONTOWICZ H, et al. Comparative study of health properties and nutritional value of durian, mangosteen, and snake fruit: Experiments *in vitro* and *in vivo* [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(14): 5842–5849.
- [11] 赵子科, 陈春亮, 柯盛, 等. 榴莲壳和不同炭材料对低汞溶液的吸附动力学[J]. *岩矿测试*, 2022, 41(1): 90–98. [ZHAO Z K, CHEN C L, KE S, et al. Adsorption kinetics of durum shell and different carbon materials on low mercury solutions[J]. *Rock and Mineral Testing*, 2022, 41(1): 90–98.]
- [12] 王前菊. 干燥方法对榴莲风味物质的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020. [WANG Q J. Effect of drying methods on flavor substances of durian[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020.]
- [13] 佚名. 榴莲炖鸡温中益气补而不燥[J]. *江苏卫生保健*, 2020(11): 45. [Yiming. Stewed chicken with durian warming the middle of the body and benefiting the qi to nourish but not dry[J]. *Jiangsu Health Care*, 2020(11): 45.]
- [14] 王凤, 肖楚翔, 刘淑珍, 等. 榴莲核黄酮的提取及其对秀丽隐杆线虫氧化和衰老的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(9): 123–129. [WANG F, XIAO C X, LIU S Z, et al. Extraction of flavonoids from durian seeds and its antioxidant and anti-aging effects in *Caenorhabditis elegans*[J]. *Food Science*, 2021, 42(9): 123–129.]
- [15] 周福平, 史红梅, 张海燕, 等. 应用模糊隶属函数法对高粱种质资源的农艺性状和品质性状进行综合评价[J]. *种子*, 2022, 41(1): 94–98. [ZHOU F P, SHI H M, ZHANG H Y, et al. Application of fuzzy affiliation function method for comprehensive evaluation of agronomic and quality traits of sorghum germplasm resources[J]. *Seeds*, 2022, 41(1): 94–98.]
- [16] 李守强, 田世龙, 李梅, 等. 主成分分析和隶属函数法综合评价 15 种(系) 马铃薯的营养品质[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(6): 272–276. [LI S Q, TIAN S L, LI M, et al. Comprehensive evaluation of nutritional quality of 15 potato varieties by principal component analysis and membership function method[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(6): 272–276.]
- [17] 石乐娟, 吴青青, 王维泽, 等. 主成分分析及隶属函数法评价非洲菊不同品种对低温弱光的适应性[J]. *种子*, 2020, 39(4): 110–114. [SHI L J, WU Q Q, WANG W Z, et al. Evaluation of adaptability of different varieties of gerbera to low temperature and low light by principal component analysis and membership function method[J]. *Seeds*, 2020, 39(4): 110–114.]
- [18] 李剑, 兰剑, 韩旭彪. 主成分分析和隶属函数对 11 份青贮玉米品种生产性能及营养成分的评价[J]. *南方农机*, 2020, 51(10): 1–2, 20. [LI J, LAN J, HAN X B. Evaluation of production performance and nutrient composition of 11 silage maize varieties by principal component analysis and membership function[J]. *The Southern Farm Machinery*, 2020, 51(10): 1–2, 20.]
- [19] 喻华平, 赵志常, 高爱平, 等. 基于主成分分析和聚类分析的 23 份黄皮种质资源的品质评价[J]. *热带作物学报*, 2022, 43(7): 1357–1364. [YU H P, ZHAO Z C, GAO A P, et al. Quality evaluation of 23 germplasm resources of cortex phellodendron based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Journal of Tropical Crops*, 2022, 43(7): 1357–1364.]
- [20] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版, 2000: 105–106, 246–248. [LI H S, SUN Q, ZHAO S J, et al. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments[M]. Beijing: Higher Educa-

- tion Publishing, 2000: 105-106, 246-248.]
- [21] 郝建军, 刘延吉. 植物生理学试验技术(第二版)[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001: 9-11, 145-148. [HAO J J, LIU Y J. Experimental techniques in plant physiology (Second Edition)[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2001: 9-11, 145-148.]
- [22] 李艳婷, 周铮, 黄冬华, 等. 翠冠梨果不同部位可溶性固形物及硬度测定比较研究[J]. 中国南方果树, 2022, 51(3): 148-152. [LI Y T, ZHOU Z, HUANG D H, et al. Comparative study on the determination of soluble solids and hardness of different parts of Cuiguan pear fruit[J]. China Southern Fruit Tree, 2022, 51(3): 148-152.]
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 中国农业出版社, 2000: 268-282. [BAO S D. Soil agrochemical analysis (Third Edition)[M]. China Agricultural Press, 2000: 268-282.]
- [24] 刘科鹏, 黄春辉, 冷建华, 等. '金魁'猕猴桃果实品质的主成分分析与综合评价[J]. 果报, 2012, 29(5): 867-871. [LIU K P, HUANG C H, LEN J H, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of 'Jinkui' kiwifruit[J]. Fruit Journal, 2012, 29(5): 867-871.]
- [25] 朱世平, 王福生, 陈娇, 等. 柑橘不同类型砧木的种子和苗期性状[J]. 中国农业科学, 2020, 53(3): 585-599. [ZHU S P, WANG F S, CHEN J, et al. Seed and seedling traits of different rootstocks in citrus[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(3): 585-599.]
- [26] KURTANJEK Z, HORVAT D, MAGDIC D, et al. Factor analysis and modelling for rapid quality assessment of croatian wheat cultivars with different gluten characteristics[J]. Food Technology and Biotechnology, 2008, 46(3): 270-277.
- [27] JACKIE L T, SHIGEAKI U, YUMIKO Y. Effect of freezing and thawing on the quality of durian (*Durio zibethinus* Murr) pulp[J]. Transactions of the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2016, 33(3): 267-272.
- [28] SOMSRI S, KHAEGKAD P. Comparisons of durian fruit quality between flhybrid plants and their parents[M]. Acta Hort, 2002, 57: 313-322.
- [29] 杨金姝. 榴莲的香味来源与保健功效及其加工利用分析[J]. 农产品加工, 2014(9): 56-57, 61. [YANG J S. Analysis of durian fragrance source, health care efficacy and processing and utilization[J]. Agricultural Products Processing, 2014(9): 56-57, 61.]
- [30] 郭清云, 陈哲, 吴凤芝, 等. 5份榴莲蜜种质果实品质的主成分分析及综合评价[J]. 中国南方果树, 2022, 51(1): 106-111. [GUO Q Y, CHEN Z, WU F Z, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of fruit quality of five durian honey germplasm[J]. Fruit Trees in South China, 2022, 51(1): 106-111.]
- [31] 毛海涛, 林兴娥, 丁哲利, 等. 9个榴莲品种主要果实性状的比较分析[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(11): 2360-2365. [MAO H T, LIN X E, DING Z L, et al. Comparative analysis of main fruit characters of nine durian varieties[J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2020, 61(11): 2360-2365.]
- [32] YOURYON P, SUPAPVANICH S. Quality comparison of naturally and artificially ripened 'Monthong' durian (*Durio zibethinus*) fruits harvested at various maturity stages[J]. Current Applied Science and Technology, 2022, 22: 6.
- [33] VOON Y Y, HAMID S A, RUSUL G, et al. Characterisation of malaysian durian (*Durio zibethinus* Murr.) cultivars: Relationship of physicochemical and flavour properties with sensory properties[J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1217-1227.
- [34] 李小胜, 陈珍珍. 如何正确应用 SPSS 软件做主成分分析[J]. 统计研究, 2010, 27(8): 105-108. [LI X S, CHEN Z Z. Correctly using SPSS software for principal components analysis[J]. Statistical Research, 2010, 27(8): 105-108.]
- [35] 陈启亮, 杨晓平, 范净, 等. 广西砂梨地方品种果实品质性状分析及综合评价[J]. 南方农业学报, 2021, 52(9): 2524-2533. [CEHN Q L, YANG X P, FAN J, et al. Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality traits of local cultivars of emery pear in Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(9): 2524-2533.]
- [36] 许文静, 陈昌琳, 邓莎, 等. 基于主成分分析和聚类分析的蓝莓品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 311-319. [XU W J, CHEN C L, DENG S, et al. Comprehensive evaluation of blueberry quality based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(13): 311-319.]
- [37] 宋永宏, 杨晓华, 李静江, 等. 不同杏品种果实营养成分分析及综合评价[J]. 中国农学通报, 2018, 34(23): 65-71. [SONG Y H, YANG X H, LI J J, et al. Analysis and comprehensive evaluation of fruit nutrients in different apricot varieties[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(23): 65-71.]