

33 份火龙果种质果实性状主成分分析及综合评价

张亚琦^{1,2,3,4,5}, 何云^{3,4,5}, 李洪立^{3,4,5}, 洪青梅^{3,4,5}, 濮文辉^{3,4,5}, 李琼^{3,4,5*},
胡文斌^{3,4,5*}, 刘平武^{1,2*}

1. 海南大学热带农林学院, 海南海口 570228; 2. 海南大学南繁学院, 海南三亚 572025; 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; 4. 农业农村部华南作物基因资源与种质创制重点实验室, 海南海口 571101; 5. 海南省热带作物资源遗传改良与创新重点实验室, 海南海口 571101

摘要: 为了解不同火龙果果实品质, 筛选品质优良的种质资源。本研究以 33 份火龙果种质资源为材料, 对单果重、果实纵横径、蛋白质、总黄酮、甜菜色素等 15 个植物学特征及品质特性进行测定, 利用相关性分析和主成分分析法对果实品质进行综合评价。结果表明: 33 份火龙果种质资源的单果重为 164.67~556.00 g, 果实横径为 5.86~9.40 cm, 果实纵径为 7.29~11.94 cm, 果形指数为 0.99~1.39, 总糖含量为 78.80~126.05 mg/g, 总酚含量为 0.64~2.46 mg/g, 总黄酮的含量为 0.85~9.67 mg/g, 硬度为 6.62~16.86 N, 蛋白质的含量为 0.29~1.45 mg/g, 甜菜色素的含量为 0.69~37.01 mg/100 g, 淀粉的含量为 14.12~44.60 mg/g, 总酸含量为 0.33~15.23 mg/100 g。采用 Pearson 法对其主要植物学特征及品质特性进行相关性分析。总酸与可溶性固形物呈极显著正相关, 相关系数为 0.478, 与糖酸比呈极显著负相关, 相关系数为 -0.532。纵径、横径与单果重呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.749、0.942。纵径与果形指数呈显著正相关, 相关系数为 0.426。重量与糖酸比、硬度均呈显著正相关, 相关系数分别 0.360、0.351。经主成分分析将 15 个性状综合成 7 个主成分因子, 累积贡献率为 82.55%, 第一主成分贡献率为 22.45%, 以单果重、果实纵横径、糖酸比贡献较大。第二主成分贡献率为 13.87%, 以总糖含量、可溶性固形物含量、淀粉含量贡献较大。第三主成分贡献率为 12.28%。其中糖酸组成、单果重、果实横径、果实纵径、可溶性固形物含量、淀粉含量、氨基酸含量等是评价火龙果果实综合品质的关键性指标。经综合评价筛选 6 个综合得分较高的火龙果种质, 即热研 1 号、苑华粉红、红宝龙、无刺红、临家红韵和红金宝可作为火龙果品质育种的优质亲本。

关键词: 火龙果; 果实品质; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: S667.9 文献标志码: A

Principal Component Analysis and Comprehensive Evaluation of Fruit Traits of 33 Pitaya Germplasms

ZHANG Yaqi^{1,2,3,4,5}, HE Yun^{3,4,5}, LI Hongli^{3,4,5}, HONG Qingmei^{3,4,5}, PU Wenhui^{3,4,5}, LI Qiong^{3,4,5*},
HU Wenbin^{3,4,5*}, LIU Pingwu^{1,2*}

1. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. School of Breeding and Multiplication, Hainan University, Sanya, Hainan 572025, China; 3. Tropical Crop Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 4. Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement in Southern China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Haikou, Hainan 571101, China; 5. Key Laboratory of Tropical Crops Germplasm Resources Genetic Improvement and Innovation of Hainan Province, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: In order to understand the fruit quality of different varieties of pitaya and to screen the germplasm resources with good quality, 33 pitaya germplasm resources were and 15 botanical traits and quality properties such as single fruit

收稿日期 2023-11-02; 修回日期 2023-12-20

基金项目 海南省重大科技计划项目 (No. ZDKJ2021014); 国家科技资源共享服务平台项目 “国家热带植物种质资源库”。

作者简介 张亚琦 (1998—), 女, 硕士, 研究方向: 种质资源学。*通信作者 (Corresponding author): 李琼 (LI Qiong), E-mail: liqiong4416@126.com; 胡文斌 (HU Wenbin), E-mail: huwb@catas.cn; 刘平武 (LIU Pingwu), E-mail: hnulpw@hainanu.edu.cn。

weight, fruit transverse and longitudinal diameters, proteins, total flavonoids, and beet pigments were measured, and fruit quality was comprehensively evaluated by using correlation analysis and principal component analysis. The 33 pitaya germplasm resources had a single fruit mass of 164.67–556.00 g, a transverse fruit diameter of 5.86–9.40 cm, a longitudinal fruit diameter of 7.29–11.94 cm, a fruit shape index of 0.99–1.39, a total sugar content of 78.80–126.05 mg/g, a total phenolic content of 0.64–2.46 mg/g, a total flavonoid content of 0.85–9.67 mg/g, hardness of 6.62–16.86 N, protein content of 0.29–1.45 mg/g, beet pigment content of 0.69–37.01 mg/100 g, and starch content of 14.12–44.60 mg/g. The total acid content ranged from 0.33 to 15.23 mg/100 g. The Pearson's method was used to correlate the main botanical and quality traits of the pitaya germplasm resources, and quality traits were correlated. The correlation coefficients were 0.478 for total acid and soluble solids, and –0.532 for sugar-acid ratio, while the correlation coefficients were 0.749 and 0.942 for longitudinal and transverse diameters. The correlation coefficient between longitudinal diameter and fruit shape index was 0.426, and the correlation coefficient between weight and sugar-acid ratio and hardness was 0.360 and 0.351, respectively. After principal component analysis, the 15 traits were combined into 7 principal component factors, with a cumulative contribution of 82.55%. The first principal component contributed 22.45%, with single fruit weight, fruit longitudinal and transverse diameter, and sugar-acid ratio contributing more. The second principal component contributed 13.87%, with total sugar content, soluble solids content and starch content contributing more. The contribution of the third principal component was 12.28%, with soluble solids content contributing more. Among them, sugar-acid composition, single fruit weight, fruit transverse diameter, fruit longitudinal diameter, soluble solids content, starch content, amino acid content, etc. are the key indexes for evaluating the comprehensive quality of dragon fruit. After comprehensive evaluation, six excellent pitaya singles with high comprehensive scores were screened, i.e., Reyan 1 hao, Wanhuafeihong, Hongbaolong, Wucihong, Linjiahongyun and Hongjinbao, which can be used as high-quality parents for pitaya quality breeding.

Keywords: pitaya; fruit quality; principal component analysis; comprehensive evaluation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.08.005

火龙果 (*Hylocereus undulatus* Britt), 属仙人掌科 (Cactaceae) 多年生攀援植物, 起源于拉丁美洲和西印度群岛等热带亚热带沙漠地区, 是典型的热带果树。目前人工栽培遍及中美洲、越南、泰国、中国及美国南部等地。在我国主要种植于海南、广西、广东、云南、贵州、福建等地, 是一种极具市场潜力的热带水果^[1-2]。火龙果果型新颖独特, 色泽艳丽, 口感细腻, 富含人体所需的多种营养物质。作为近几年新兴的水果, 火龙果的种植面积不断扩大, 并出现多个一定规模的种植企业, 给企业带来了较好的经济价值。火龙果作为一种经济价值与营养价值都较高的果树, 其研究和开发利用越来越被重视, 筛选优良品种对生产优质火龙果及其产业健康发展具有重要意义。

果实品质分析是帮助判断果实好坏的关键, 果实外观品质主要包括单果重和果形指数、果皮色泽等, 内在品质主要包括硬度、糖酸等风味物质及其他营养物质。邓爱妮等^[3]测定海南地区栽培的红肉和白肉火龙果中营养成分含量, 为消费者、种植户、加工企业提供参考依据。王飞跃等^[4]对石漠化治理区火龙果果实品质进行评价, 为建立火龙果品质评价指标体系提供理论依据。陈心源等^[5]

通过研究发现, 中等大小的红心火龙果风味品质最佳, 且果实果心部位的风味品质最好。卓福昌等^[6]通过相关性分析和变异系数法对 27 份火龙果种质资源果实性状进行评价, 有效解决其种质资源评价过程中存在的主观性过强、不充分、不全面等问题。郭静等^[7]采用主成分分析法筛选京白梨优质果实的评价指标, 并为果实采收和分级提供标准。代涛等^[8]进行主成分分析和系统聚类分析, 构建综合评价模型, 为芒果种质资源利用与糖酸品质评价提供参考依据。以上研究均为火龙果品质评价提供科学参考。

本研究以 33 份火龙果种质资源为研究对象, 以可溶性固形物含量、蛋白质含量、总酚含量、氨基酸含量等 15 项指标为供试数据, 应用相关性分析、主成分分析等多种分析方法, 明确各指标间的相互关系, 分析各供试资源果实品质特性, 构建综合评价模型, 对供试资源果实品质进行综合评价, 筛选优异火龙果种质资源, 以期为火龙果资源利用与新品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料采自中国热带农业科学院热带作物

品种资源研究所儋州省级火龙果种质资源圃（19°54'37.21"N，110°73'37.32"E）。供试材料为长势良好的 3~5 年生火龙果植株的果实，全年可正常开花结果。种植株行距为 0.5 m×3 m，各种质管理水平一致。供试火龙果种质采集信息如表 1 所示。

表 1 供试火龙果资源
Tab. 1 Test pitaya resources

序号 No.	种质 Germplasm	来源 Origin	序号 No.	种质 Germplasm	来源 Origin	序号 No.	种质 Germplasm	来源 Origin
1	玉龙一号	中国广西	12	无刺红	中国广西	23	金都一号	中国广西
2	无刺红龙	中国海南	13	双色 1 号	中国广东	24	粤红	中国广东
3	热研 1 号	中国海南	14	热研 2 号	中国海南	26	富贵红	中国福建
4	黄锦	中国海南	15	大红	中国海南	27	粉水晶	中国海南
5	红绣球	中国海南	16	白蜜龙	中国海南	28	蜜宝	中国海南
6	红冠	中国广东	17	苑华粉红	中国广东	29	软枝大红	中国广西
7	版纳双色	中国云南	18	苑华白	中国广东	30	紫龙	中国海南
8	玉馨香	中国海南	19	无刺黄龙	以色列	31	桂红龙	中国广西
9	美龙 1 号	中国广西	20	粉红龙	中国贵州	31	临家红韵	中国海南
10	红水晶	中国广东	21	红金宝	中国广西	32	石火泉	中国台湾
11	香蜜龙	中国广西	22	红宝龙	中国广西	33	燕窝果	中国海南

1.2 方法

选取 15 个性状指标进行果实测定，每个种质随机选取 5 株果树，在同一产果批次果实成熟时进行采样，采摘同批次全部果实，之后随机选取 5 个样品果，切块液氮速冻。用高速万能粉碎机将 33 份火龙果种质的果肉打磨成粉，保存于 50 mL 离心管中，置于-80 ℃超低温冰箱待用；进行测定，每次测定重复 3 次。

指标测定方法如下：（1）单果重、果皮重测定。采用万分之一天平进行测定；（2）可食率测定。可食率=（单果重-果皮重）/单果重×100%；（3）果实大小测定。果实纵径、果实横径采用数显游标卡尺（精确度 0.01 mm）进行测定；（4）果形指数测定。果形指数=果实纵径/果实横径；（5）果实可溶性固形物含量测定。可溶性固形物含量采用数显糖度计（LH-B55）进行测定；（6）硬度测定。参考 NY/T 2009—2011《水果硬度的测定》，采用硬度计（爱德堡 GY-4）进行测定；（7）可溶性蛋白含量测定。采用考马斯亮蓝 G-250 法^[9]；（8）总酚含量测定。参考 JUNG 等^[10]的方法，用 Folin-Ciocalteu 试剂测定总酚含量；（9）甜菜色素含量测定。参照周俊良等^[11]的方法，利用紫外分光光度计测量标准品溶液在波长 535 nm 下的吸光度绘制标准曲线，测定各个样品的甜菜色素总含量；（10）总黄酮含量测定。参

考游新侠等^[12]的方法，用亚硝酸钠-硝酸铝比色法测定总黄酮的含量；（11）总氨基酸含量测定。参照刘长姣等^[13]的方法，用茚三酮比色法测定氨基酸含量；（12）淀粉含量测定。参照文赤夫等^[14]的方法，利用蒽酮比色法测定葡萄糖含量，计算淀粉含量；（13）总酸含量测定。采用 GB 12456—2021《食品中总酸的测定》第二法 pH 计电位滴定法测定；（14）还原糖含量测定。采用 NY/T2742—2015《水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法》测定。

1.3 数据处理

数据采用 Excel 2010 及 SPASS 21.0 软件进行数据主成分分析、相关性分析、方差分析等。

2 结果与分析

2.1 果实植物学性状评价

33 份火龙果种质资源的单果重为 164.67~556.00 g，平均为 357.38 g，其中热研 1 号的单果重最大，无刺红龙、玉龙一号的单果重次之；红水晶和粉水晶的单果重较小。单果纵径为 7.29~11.94 cm，果实平均纵径为 9.80 cm；其中无刺黄龙的纵径最大，无刺红、玉龙一号的纵径次之。粉红龙和粉水晶的果实单果纵径较小，最小为粉水晶。单果横径为 5.86~9.40 cm，果实平均纵径为 7.99 cm。其中热研 1 号的横径最大，苑华粉红

的横径次之。粉水晶横径为最小。果形指数为 0.99~1.39 cm，果实平均纵径为 1.23 cm；其中蜜宝的果形指数最大，红冠的果形指数最小（表 2）。

2.2 果实营养品质评价

33 份火龙果种质资源营养品质比较见表 3，33 份火龙果种质资源中的蛋白质含量为 0.29~1.45 mg/g，平均含量为 0.93 mg/g。其中红冠、苑华白、双色 1 号火龙果的蛋白质含量较少。

红绣球、燕窝果的蛋白质含量均显著高于其余种质，红绣球含量最高，约为双色 1 号的 5 倍。甜菜色素含量为 0.69~37.01 mg/100 g，平均含量为 10.65 mg/100 g。其中白蜜龙、石火泉、无刺黄龙的甜菜色素含量较少。淀粉含量为 14.12~44.60 mg/g，平均含量为 24.46 mg/g；其中无刺红龙、红绣球、软枝大红的淀粉含量较少。红水晶、黄锦的淀粉含量较高，最高为红水晶，约为无刺

表 2 33 份火龙果种质资源植物学性状比较
Tab. 2 Comparison of agronomic traits of 33 pitaya germplasm resources

种质 Germplasm	果实纵径 Fruit diameter/cm	果实横径 Fruit cross-diameter/cm	果形指数 Fruit type index	果实重量 Single fruit weight/g
玉龙一号	11.32±0.69 ^{abc}	8.58±0.34 ^{abcd}	1.32±0.07 ^a	474.07±34.48 ^{ab}
无刺红龙	10.33±0.52 ^{cdefgh}	8.53±0.58 ^{abcde}	1.17±0.07 ^{ab}	475.03±83.19 ^{ab}
热研 1 号	10.87±0.49 ^{abcd}	9.40±0.25 ^a	1.16±0.06 ^{ab}	556.00±17.81 ^a
黄锦	9.36±0.23 ^{ghijk}	7.16±0.35 ⁱ	1.31±0.09 ^{ab}	246.07±13.41 ^{hij}
红绣球	10.50±0.49 ^{bcdefg}	8.38±0.63 ^{bcdef}	1.26±0.05 ^{ab}	364.17±68.38 ^{cdefg}
红冠	8.90±0.54 ^{ijklm}	8.20±0.13 ^{bcdefg}	0.99±0.01 ^b	375.05±37.35 ^{cdef}
版纳双色	8.99±1.09 ^{ijklm}	8.30±0.38 ^{bcdef}	1.14±0.01 ^{ab}	401.73±25.15 ^{bcde}
玉馨香	9.78±0.51 ^{defghijk}	8.14±0.34 ^{bcdefgh}	1.18±0.04 ^{ab}	376.47±12.65 ^{cdef}
美龙 1 号	9.37±0.91 ^{ghijk}	7.09±1.06 ^{cdefghi}	1.34±0.26 ^a	259.60±91.54 ^{hi}
红水晶	8.10±0.67 ^{lmn}	7.15±0.39 ⁱ	1.13±0.04 ^{ab}	231.73±26.67 ^{ij}
香蜜龙	10.19±0.66 ^{cdefgh}	7.63±0.21 ^{efghi}	1.32±0.09 ^{ab}	316.67±17.75 ^{efghi}
无刺红	11.51±0.06 ^{ab}	8.48±0.86 ^{abcdef}	1.26±0.22 ^{ab}	443.80±71.32 ^{bcd}
双色 1 号	8.99±1.03 ^{ijklm}	7.95±1.23 ^{cdefghi}	1.24±0.26 ^{ab}	327.03±105.28 ^{efgh}
热研 2 号	10.24±0.45 ^{cdefgh}	7.95±0.85 ^{cdefghi}	1.30±0.20 ^{ab}	358.20±79.60 ^{defg}
大红	8.97±0.28 ^{ijklm}	7.58±0.77 ^{fghi}	1.19±0.15 ^{ab}	283.10±55.26 ^{ghi}
白蜜龙	10.12±0.06 ^{defghi}	7.29±0.45 ^{ghi}	1.35±0.14 ^a	295.97±41.40 ^{fghi}
苑华粉红	10.73±0.39 ^{bcde}	8.96±0.30 ^{ab}	1.20±0.01 ^{ab}	470.05±61.85 ^{ab}
苑华白	8.71±1.27 ^{klm}	7.66±1.04 ^{defghi}	1.26±0.29 ^{ab}	276.97±100.47 ^{ghi}
无刺黄龙	11.94±0.60 ^a	7.96±0.37 ^{cdefghi}	1.35±0.30 ^a	393.83±39.61 ^{bcde}
粉红龙	7.87±1.26 ^{mn}	7.32±0.88 ^{ghi}	1.07±0.04 ^{ab}	244.80±85.50 ^{hij}
红金宝	10.50±1.34 ^{bcdefg}	8.37±0.59 ^{bcdef}	1.26±0.17 ^{ab}	398.77±82.11 ^{bcde}
红宝龙	9.21±0.49 ^{hijkl}	8.32±0.54 ^{bcdef}	1.09±0.07 ^{ab}	405.27±72.90 ^{bcde}
金都一号	9.70±0.85 ^{efghijk}	8.69±0.33 ^{abc}	1.12±0.10 ^{ab}	387.03±10.16 ^{bcde}
粤红	8.71±0.27 ^{klm}	7.60±0.09 ^{efghi}	1.15±0.02 ^{ab}	265.80±0.70 ^{hi}
富贵红	10.67±0.63 ^{bcdef}	8.71±0.27 ^{abc}	1.23±0.07 ^{ab}	450.43±48.04 ^{cb}
粉水晶	7.29±0.18 ⁿ	5.86±0.30 ^j	1.25±0.07 ^{ab}	164.67±12.97 ^j
蜜宝	10.92±0.13 ^{abcd}	7.90±0.78 ^{cdefghi}	1.39±0.08 ^a	394.33±57.96 ^{bcde}
软枝大红	9.88±0.80 ^{defghij}	8.29±0.27 ^{bcdef}	1.19±0.07 ^{ab}	378.00±49.63 ^{cdef}
紫龙	9.78±1.46 ^{defghijk}	7.20±0.66 ^{hi}	1.35±0.08 ^a	276.03±86.84 ^{ghi}
桂红龙	9.99±0.87 ^{defghij}	8.49±0.33 ^{abcdef}	1.18±0.06 ^{ab}	397.47±63.06 ^{bcde}
临家红韵	10.55±0.74 ^{bcdef}	8.60±0.06 ^{abcd}	1.21±0.10 ^{ab}	442.70±40.33 ^{bcd}
石火泉	9.93±0.30 ^{defghij}	8.57±0.43 ^{abcd}	1.16±0.06 ^{ab}	401.90±26.35 ^{bcde}
燕窝果	9.52±0.17 ^{fghijk}	7.20±0.24 ^{hi}	1.35±0.05 ^a	260.93±9.26 ^{hi}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$).

表 3 33 份火龙果种质资源营养品质比较
Tab. 3 Comparison of nutritional quality of 33 pitaya germplasm resources

种质 Germplasm	蛋白质 Protein/(mg·g ⁻¹)	甜菜色素 Betanin /[mg·(100 g) ⁻¹]	淀粉 Starch/(mg·g ⁻¹)	氨基酸 Amino acid/(mg·g ⁻¹)	总黄酮 Flavone /(mg·g ⁻¹)	总糖 Total sugar/(mg·g ⁻¹)	果实硬度 Hardness/N	可溶性固形物含量 Soluble solids/%	总酚 Total phe- nols/(mg·g ⁻¹)	可滴定酸 Titratable ac- ids/[mg·(100 g) ⁻¹]
玉龙一号	1.12±0.06 ^{fg}	0.87±0.05 ⁿ	22.45±2.32 ^{ihg}	0.23±0.01 ^a	3.19±0.17 ^{kl}	92.08±3.34 ^{op}	14.44±1.67 ^{bc}	14.07±0.76 ^l	0.81±0.07 ^{tu}	1.06±0.01 ^{ghi}
无刺红龙	1.24±0.07 ^{cd}	18.32±0.37 ^b	14.12±0.35 ^k	0.87±0.06 ^e	3.25±0.54 ^{ijk}	100.98±0.74 ^{jk}	10.18±0.94 ^{defghij}	15.73±0.57 ^{ijkl}	1.13±0.07 ^{noop}	0.33±0.02 ^k
热研 1 号	0.66±0.03 ^{lmn}	17.47±0.35 ^{cb}	26.59±0.79 ^{cd}	0.66±0.01 ^e	0.94±0.07 ^{pq}	112.14±1.20 ^{efg}	15.52±2.90 ^{ab}	20.97±0.83 ^{ab}	1.33±0.06 ^{kl}	0.64±0.01 ^{ijk}
黄锦	1.21±0.08 ^{de}	2.10±1.56 ^m	40.99±1.69 ^b	0.55±0.02 ⁱ	3.84±0.17 ^{hijk}	100.54±1.13 ^{kl}	7.98±1.77 ^{hijk}	16.33±1.99 ^{ghijkl}	1.44±0.12 ^{hij}	0.72±0.13 ^{ijk}
红绣球	1.45±0.02 ^a	37.01±2.24 ^a	16.89±1.10 ^{kl}	0.32±0.02 ^{hg}	6.29±1.17 ^b	83.36±5.88 ^q	11.63±0.45 ^{efgh}	15.77±1.62 ^{hijkl}	1.46±0.08 ^{hi}	0.65±0.03 ^{ijk}
红冠	0.43±0.05 ^q	14.82±0.38 ^h	28.00±1.64 ^d	0.83±0.05 ^{hg}	2.58±0.30 ^{lm}	111.79±0.25 ^{efg}	7.60±0.25 ^{ijk}	15.90±1.10 ^{hijkl}	1.09±0.11 ^{op}	0.37±0.02 ^{jk}
版纳双色	1.25±0.02 ^{cd}	1.19±0.04 ^{nm}	27.57±0.86 ^{cd}	0.54±0.04 ^{ji}	2.51±0.28 ^{nm}	90.81±1.41 ^{op}	8.05±1.19 ^{hijk}	14.80±0.90 ^{kl}	0.72±0.10 ^{uv}	0.37±0.06 ^{jk}
玉馨香	0.65±0.01 ^{lmn}	16.29±0.59 ^{fed}	22.64±1.99 ^{ihgf}	0.55±0.04 ^h	9.39±1.06 ^a	96.49±0.56 ^{mn}	7.80±1.44 ^{hijk}	16.03±1.60 ^{hijkl}	1.78±0.07 ^e	0.59±0.03 ^{ijk}
美龙 1 号	0.94±0.01 ^{jk}	15.80±0.45 ^{hgfe}	33.26±1.33 ^e	0.45±0.02 ^{fe}	4.56±0.65 ^{ed}	115.09±0.59 ^{cde}	9.81±2.55 ^{defghijk}	17.03±0.96 ^{efghijk}	1.13±0.06 ^{noop}	0.67±0.03 ^{ijk}
红水晶	0.61±0.04 ^{lmno}	11.05±0.36 ^j	44.60±1.92 ^a	0.32±0.08 ^h	4.77±0.56 ^d	112.70±0.60 ^{def}	10.16±0.97 ^{defghij}	19.27±3.06 ^{bcdef}	1.45±0.01 ^{hi}	0.96±0.07 ^{bij}
香蜜龙	0.69±0.04 ^{lm}	17.65±1.70 ^{cb}	19.71±0.07 ^{ji}	0.52±0.02 ^e	3.75±0.13 ^{ghij}	109.58±0.59 ^{fgh}	11.01±0.24 ^{defgh}	18.63±4.35 ^{bcdefgh}	1.31±0.14 ^{klm}	0.46±0.01 ^{ijk}
无刺红	0.73±0.02 ⁱ	17.24±0.38 ^{de}	20.15±0.19 ^{ji}	1.15±0.07 ^{hg}	4.29±0.30 ^{defg}	96.27±1.87 ^{mn}	10.66±1.15 ^{defghij}	15.27±0.85 ^{kl}	2.29±0.04 ^b	0.92±0.06 ^{ijk}
双色 1 号	0.29±0.08 ^r	1.06±0.16 ^{nm}	27.38±1.14 ^{cd}	0.42±0.01 ⁱ	1.37±0.03 ^{opq}	122.08±0.93 ^b	9.88±2.82 ^{defghijk}	17.73±0.95 ^{cdefghij}	0.94±0.02 ^{rs}	0.75±0.02 ^{ijk}
热研 2 号	0.53±0.01 ^{op}	13.12±0.64 ⁱ	26.11±0.99 ^{cd}	0.66±0.03 ^{lk}	3.72±0.36 ^{ghij}	115.57±1.53 ^{cde}	12.29±1.88 ^{bcdef}	17.77±1.32 ^{cdefghij}	1.21±0.06 ^{mno}	2.38±0.27 ^{ijk}
大红	1.25±0.08 ^{cd}	17.36±0.14 ^{decb}	25.37±0.63 ^{hgfed}	0.64±0.03 ^e	3.35±0.04 ^{hijk}	116.30±0.84 ^{cd}	12.18±1.31 ^{bcdef}	18.47±0.67 ^{bcdefghi}	1.20±0.06 ^{mno}	0.61±0.04 ^{ijk}
白蜜龙	0.95±0.01 ^{ijk}	0.69±0.09 ⁿ	22.67±1.13 ^{ihgf}	1.03±0.05 ^{hg}	3.40±0.36 ^{hijk}	126.05±0.34 ^a	6.62±2.02 ^k	18.93±0.92 ^{bcdef}	1.23±0.01 ^{lmn}	1.60±0.25 ^{fg}

续表 3 33 份火龙果种质资源营养成分比较
Tab. 3 Comparison of nutritional quality of 33 pitaya germplasm resources (continued)

种质 Germplasm	蛋白质 Protein/(mg·g ⁻¹)	甜菜色素 Betanin /[mg·(100 g) ⁻¹]	淀粉 Starch/(mg·g ⁻¹)	氨基酸 Amino acid/(mg·g ⁻¹)	总黄酮 Flavone /(mg·g ⁻¹)	总糖 Total sugar/(mg·g ⁻¹)	果实硬度 Hardness/N	可溶性固形物含量 Soluble solids/%	总酚 Total phe- nols/(mg·g ⁻¹)	可滴定酸 Titratable ac- ids/(mg·(100 g) ⁻¹)
苑华粉红	0.58±0.07 ^{uo}	16.69±0.6 ^{etc}	25.80±0.65 ^{fed}	0.76±0.03 ^{gf}	4.49±0.31 ^{ed}	116.90±3.91 ^c	16.86±1.00 ^a	17.55±0.75 ^{cdefghijk}	1.43±0.07 ^{hij}	0.89±0.03 ^{ijk}
苑华白	0.47±0.02 ^{pq}	1.56±0.06 ^{nm}	21.22±3.12 ⁱ	0.40±0.01 ^m	9.67±1.06 ^a	91.37±0.67 ^{op}	11.67±4.09 ^{cdefg}	16.43±3.18 ^{efghijkl}	1.16±0.11 ^{nop}	0.69±0.22 ^{ijk}
无刺黄龙	0.52±0.01 ^{opq}	0.86±0.09 ^a	22.06±5.22 ^h	0.52±0.04 ^{ji}	1.51±0.47 ^{op}	102.41±0.65 ^{jk}	7.45±1.31 ^{jk}	16.87±1.11 ^{efghijkl}	1.05±0.02 ^{pqr}	1.78±0.24 ^{ef}
粉红龙	1.21±0.03 ^{def}	1.54±0.07 ^{nm}	21.06±1.95 ⁱ	0.37±0.01 ^m	3.27±0.11 ^{ijk}	102.05±1.58 ^{jk}	10.85±3.30 ^{defghi}	19.60±0.57 ^{abcde}	2.10±0.04 ^c	7.26±0.61 ^b
红金宝	1.03±0.02 ^{hi}	15.55±0.41 ^{hgrf}	24.56±2.99 ^{hgrf}	0.58±0.03 ^{bg}	1.90±0.08 ^{no}	104.57±0.51 ^{ij}	12.61±0.45 ^{bcd}	20.20±0.70 ^{bcd}	2.46±0.09 ^a	0.86±0.15 ^{ijk}
红宝龙	1.08±0.01 ^{gh}	16.05±0.35 ^{gfe}	25.5±2.33 ^{gfed}	0.66±0.00 ^e	5.48±0.11 ^c	107.60±0.68 ^{hi}	8.84±0.52 ^{ghijk}	22.37±0.61 ^a	1.35±0.15 ^{ijk}	0.59±0.06 ^a
金都一号	1.15±0.01 ^{efg}	15.41±0.23 ^{hgrf}	25.59±3.94 ^{gfed}	0.41±0.03 ^b	2.85±0.14 ^{klm}	108.32±0.56 ^{ghi}	12.14±4.09 ^{cdefg}	17.80±1.66 ^{cdefghij}	1.66±0.09 ^{ef}	0.66±0.05 ^{ijk}
粤红	1.32±0.04 ^{bc}	8.85±0.35 ^k	26.10±2.80 ^{ed}	0.44±0.02 ^{ji}	3.30±0.18 ^{ijk}	78.80±0.16 ^r	11.14±0.54 ^{cdefgh}	18.10±0.80 ^{bcddefghij}	1.29±0.04 ^{klm}	2.26±0.60 ^{de}
富贵红	0.97±0.09 ^{ijk}	15.09±1.29 ^{hg}	20.02±4.03 ^{ji}	0.55±0.03 ^m	1.87±0.06 ^{no}	96.99±1.35 ^{lmn}	11.89±0.85 ^{cdefg}	19.17±1.42 ^{bcd}	1.08±0.07 ^{pq}	0.35±0.06 ^k
粉水晶	0.90±0.08 ^k	7.56±0.19 ⁱ	20.70±2.74 ⁱ	0.53±0.01 ^l	4.42±0.24 ^{def}	89.90±0.69 ^p	9.55±2.23 ^{defghijk}	16.57±1.80 ^{efghijkl}	1.92±0.01 ^d	1.53±0.25 ^{fgh}
蜜宝	1.40±0.06 ^{ab}	12.58±0.79 ⁱ	22.12±0.63 ^h	0.41±0.02 ⁱ	3.99±0.34 ^{efgh}	101.66±6.43 ^{jk}	9.26±0.74 ^{efghijk}	16.30±1.70 ^{efghijkl}	1.62±0.03 ^{fg}	0.86±0.06 ^{ijk}
软枝大红	0.97±0.10 ^{ijk}	1.44±0.08 ^{nm}	19.41±2.20 ^{ji}	0.22±0.01 ^c	2.25±0.02 ^{mn}	94.44±1.87 ^{no}	12.44±3.55 ^{bcd}	19.60±1.64 ^{abcde}	1.37±0.01 ^{ijk}	0.50±0.03 ^{ijk}
紫龙	0.96±0.13 ^{ijk}	14.98±1.70 ^{hg}	20.48±1.62 ⁱ	0.34±0.01 ^d	4.84±0.52 ^{cd}	99.51±7.86 ^{klm}	12.48±2.19 ^{bcde}	20.43±1.61 ^{abc}	0.96±0.07 ^{pqr}	0.66±0.16 ^{ijk}
桂红龙	0.99±0.13 ^{bij}	1.29±0.08 ^{nm}	25.89±2.77 ^{fed}	0.24±0.01 ^m	1.48±0.52 ^{opq}	116.34±3.57 ^{ed}	11.87±2.46 ^{cdefg}	18.50±1.01 ^{bcd}	1.53±0.04 ^{gh}	0.68±0.10 ^{ijk}
临家红韵	0.91±0.02 ^{jk}	17.53±0.52 ^{cb}	27.55±4.05 ^{ed}	0.62±0.08 ^e	0.85±0.05 ^q	125.47±3.65 ^{ab}	7.48±2.18 ^{gk}	17.47±1.88 ^{defghijk}	0.64±0.10 ^v	0.43±0.24 ^{jk}
石火泉	0.94±0.07 ^{jk}	0.70±0.07 ⁿ	20.02±2.16 ^{ji}	0.86±0.03 ⁱ	3.60±0.47 ^{bij}	92.09±1.20 ^{op}	11.89±1.20 ^{cdefg}	16.43±2.91 ^{efghijkl}	1.61±0.21 ^{fg}	2.55±0.05 ^{cd}
燕窝果	1.40±0.13 ^{ab}	1.63±0.2 ^{nm}	20.40±0.56 ⁱ	0.25±0.01 ^{kj}	1.18±2.05 ^{pq}	99.70±2.11 ^{klm}	9.12±1.96 ^{efghijk}	18.93±1.50 ^{bcd}	0.86±0.04 st	2.87±0.02 ^c

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（*P*<0.05）。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference (*P*<0.05).

红龙的 3 倍。氨基酸含量为 0.22~1.15 mg/g, 平均含量为 0.54 mg/g; 其中软枝大红、玉龙一号、桂红龙、燕窝果的氨基酸含量较少。无刺红、白蜜龙的氨基酸含量较高, 最高为无刺红。总糖含量为 78.80~126.05 mg/g, 平均含量为 103.94 mg/g; 其中粤红、红绣球总糖含量较低。白蜜龙、临家红韵中的总糖含量较高; 可滴定酸的含量为 0.33~15.23 mg/100 g, 平均酸度为 1.61 mg/100 g; 其中无刺红龙、红冠、版纳双色、富贵红酸度较低。红宝龙、粉红龙的酸度较高。糖酸比为 0.72~38.72。可溶性固形物含量为 14.07%~22.37%, 平均含量为 17.73%; 其中玉龙 1 号、版纳双色的可溶性固形物含量较少; 红宝龙、热研 1 号、紫龙的可溶性固形物含量较高。总酚含量为 0.64~2.46 mg/g, 平均值为 1.35 mg/g; 其中临家红韵、版纳双色、玉龙 1 号的总酚含量较低。红金宝、无刺红、粉红龙的总酚含量较高。硬度为 6.62~16.86 N, 平均值为 10.71 N; 其中白蜜龙、无刺黄龙的果肉较疏松硬度较低。苑华粉红、无刺红龙的硬度均显著高于其

余种质。总黄酮的含量为 0.85~9.67 mg/g, 平均总黄酮含量为 3.58 mg/g; 其中, 临家红韵、热研 1 号黄酮含量较低, 苑华白、玉馨香的黄酮含量较高。

2.3 不同品种火龙果果实性状相关性分析

采用 Pearson 法对 33 份火龙果种质资源的主要植物学特征及品质特性进行相关性分析(表 4)。总糖含量与蛋白质含量呈显著负相关 ($P<0.05$), 相关系数为-4.03。总糖含量与淀粉含量呈显著正相关, 相关系数为 0.367。总酸与可溶性固形物含量呈极显著正相关 ($P<0.01$), 相关系数为 0.478; 与糖酸比呈极显著负相关, 相关系数为-0.532。单果重与纵径、横径均呈极显著正相关, 相关系数为 0.749、0.942。果形指数与果实纵径呈显著正相关, 相关系数为 0.426, 果实纵径与果实横径呈极显著正相关, 相关系数为 0.644。单果重与糖酸比、硬度均呈显著正相关, 相关系数分别 0.360、0.351。硬度与横径呈显著正相关, 相关系数为 0.420。火龙果种质资源植物学特征及品质特性间有明显的相关性且相互影响。

表 4 33 份火龙果种质资源性状间的相关性
Tab. 4 Correlation between traits in 33 pitaya germplasm resources

指标 Index	甜菜 色素 Bet- anin	氨基酸 Amino acid	总酚 Total phe- nols	蛋白质 Protein	淀粉 Starch	可滴 定酸 Titrat- able acids	果实 纵径 Fruit diami- ter	总黄 酮 Fla- vone	可溶性 固形物 Solu- bie solids	单果重 Single fruit weight	糖酸比 Sugar-t o-acid ratio	果形 指数 Fruit type index	硬度 Hard- ness	果实 横径 Fruit cross-d iameter	总糖 Total sugar
甜菜色素	1														
氨基酸	0.192	1													
总酚	0.082	0.131	1												
蛋白质	0.101	-0.248	0.006	1											
淀粉	-0.130	-0.112	-0.088	-0.194	1										
可滴定酸	-0.065	0.036	-0.307	0.155	-0.032	1									
果实纵径	0.228	0.233	-0.015	-0.038	-0.321	-0.232	1								
总黄酮	0.231	0.007	0.115	-0.117	-0.053	0.112	-0.234	1							
可溶性固形物	0.053	-0.142	-0.113	-0.019	0.087	0.478**	-0.155	-0.221	1						
单果重	0.259	0.308	-0.124	-0.093	-0.279	-0.071	0.749**	-0.278	-0.091	1					
糖酸比	0.322	0.091	-0.188	-0.067	0.012	-0.532**	0.173	-0.198	-0.207	0.360*	1				
果形指数	-0.095	-0.142	-0.009	0.077	-0.143	-0.286	0.426*	0.038	-0.131	-0.173	-0.138	1			
硬度	0.197	-0.167	0.206	-0.047	-0.167	-0.134	0.222	-0.035	0.197	0.351*	-0.123	-0.052	1		
果实横径	0.270	0.216	-0.094	-0.086	-0.208	-0.060	0.644**	-0.234	-0.029	0.942**	0.332	-0.322	0.420*	1	
总糖	0.030	0.244	-0.185	-0.403*	0.367*	-0.004	0.081	-0.335	0.335	0.098	0.265	0.006	-0.084	0.087	1

注: **表示在 0.01 水平上呈极显著相关(双尾), *表示在 0.05 水平上呈显著相关(双尾)。
Note: ** indicates highly significant correlation at the 0.01 level (two-tailed); * indicates significant correlation at the 0.05 level (two-tailed).

2.4 不同品种火龙果果实性状主成分分析

对 33 份火龙果种质资源果实的 15 个指标进行主成分分析, 结果如表 5、表 6 所示。以特征

值>1.0 为标准, 提取到 7 个主成分, 累计方差贡献率达 82.55%, 即这 7 个成分可以代表大部分筛选信息。第 1 主成分的特征值为 3.37, 其方差贡

献率最高，为 22.46%，其主要决定因子分别为单果重、果实横径、果实纵径、糖酸比，第 2 主成分的特征值为 2.08，其方差贡献率为 13.87%，其主要决定因子分别为总糖、淀粉含量。第 3 主成分的特征值为 1.84，其方差贡献率为 12.28%，其主要决定因子为果实中可溶性固形物的含量，即果实风味。

根据初始因子载荷矩阵和各个主成分的特征值计算得到的不同种质资源各指标的特征向量。用 X_1 表示单果重， X_2 表示果实横径、 X_3 表示果实纵径、 X_4 表示总糖含量， X_5 表示可溶性固形物含量， X_6 表示淀粉含量、 X_7 表示可溶性酸含量、 X_8 表示糖酸比、 X_9 表示果形指数、 X_{10} 表示黄酮含量、 X_{11} 表示硬度、 X_{12} 表示总酚含量， X_{13} 表示蛋白质含量、 X_{14} 表示氨基酸含量、 X_{15} 表示甜菜色素含量。

以 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 、 F_6 、 F_7 表示不同种质资源果实品质分别在第 1、第 2、第 3、第 4、第 5、第 6、第 7 个主成分中的得分，以特征向量为权重，得到的 7 个主成分的函数表达式如下：

$$F_1=0.139X_1+0.133X_2+0.118X_3+0.028X_4-0.020X_5-0.046X_6-0.045X_7+0.076X_8-0.010X_9-0.045X_{10}+0.056X_{11}-0.005X_{12}-0.020X_{13}+0.053X_{14}+0.06X_{15}$$

$$F_2=0.007X_1+0.012X_2-0.025X_3+0.088X_4+0.065X_5+0.061X_6+0.043X_7+0.016X_8-0.048X_9-0.046X_{10}-0.019X_{11}-0.051X_{12}-0.043X_{13}+0.017X_{14}-0.014X_{15}$$

$$F_3=0.021X_1+0.029X_2-0.002X_3-0.036X_4+0.057X_5-0.039X_6+0.080X_7-0.058X_8-0.034X_9+0.005X_{10}+0.047X_{11}-0.007X_{12}+0.039X_{13}-0.016X_{14}+0.012X_{15}$$

$$F_4=-0.002X_1+0.006X_2-0.034X_3-0.009X_4-0.017X_5-0.007X_6+0.007X_7+0.008X_8-0.060X_9-0.057X_{10}-0.003X_{11}+0.031X_{12}-0.029X_{13}+0.046X_{14}+0.043X_{15}$$

$$F_5=-0.008X_1-0.004X_2+0.009X_3+0.022X_4+0.026X_5+0.013X_6-0.020X_7-0.035X_8+0.020X_9-0.002X_{10}+0.053X_{11}+0.053X_{12}-0.044X_{13}-0.001X_{14}-0.007X_{15}$$

$$F_6=0.005X_1-0.009X_2+0.030X_3+0.012X_4-0.007X_5-0.024X_6+0.033X_7-0.035X_8+0.034X_9+0.017X_{10}-0.034X_{11}-0.010X_{12}-0.023X_{13}+0.054X_{14}-0.014X_{15}$$

$$F_7=-0.012X_1-0.015X_2+0.008X_3+0.020X_4+0.028X_5-0.001X_6+0.002X_7+0.015X_8+0.032X_9+0.024X_{10}+0.002X_{11}-0.014X_{12}+0.010X_{13}-0.008X_{14}+0.058X_{15}$$

根据表 6 各个主成分每个指标的特征向量值，确定主成分在各线性组合中的系数，得到 7 个主成分得分线性方程，再根据方差贡献率得到各指标在综合得分模型中的系数，综合方程如下：

$$Y=0.150X_1+0.152X_2+0.104X_3+0.124X_4+0.132X_5-0.029X_6+0.01X_7-0.012X_8-0.066X_9+0.015X_{10}+0.103X_{11}-0.003X_{12}-0.110X_{13}+0.145X_{14}+0.138X_{15}$$

将各指标在综合方程中的系数进行归一化处理，得到方程如下：

$$F=0.1593X_1+0.1616X_2+0.1102X_3+0.1316X_4+0.1399X_5-0.0306X_6+0.1064X_7-0.0130X_8-0.0703X_9+0.0158X_{10}+0.0192X_{11}-0.0028X_{12}-0.1173X_{13}+0.1537X_{14}+0.1464X_{15}$$

根据各指标测定值，得出每份种质材料的综合得分 F 值（表 7）。结果表明，热研 1 号综合得分最高， F 值为 1.53，表明其综合品质较好，而粉水晶综合得分最低， F 值为-1.34，表明其综合品质较差。

表 5 载荷矩阵
Tab. 5 Loading matrix

品质指标 Quality indicator	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4	主成分 5 PC5	主成分 6 PC6	主成分 7 PC7
单果重	0.938	0.060	0.189	-0.017	-0.084	0.056	-0.150
果实横径	0.896	0.104	0.262	0.063	-0.048	-0.094	-0.178
果实纵径	0.794	-0.215	-0.016	-0.343	0.093	0.327	0.101
总糖	0.187	0.755	-0.326	-0.094	0.237	0.128	0.239
可溶性固形物	-0.136	0.562	0.516	-0.172	0.282	-0.077	0.335
淀粉	-0.309	0.520	-0.351	0.067	0.141	-0.259	-0.013
可滴定酸	-0.305	0.368	0.725	0.076	-0.216	0.361	0.030
糖酸比	0.510	0.138	-0.525	0.086	-0.377	-0.387	0.183
果形指数	-0.069	-0.410	-0.309	-0.609	0.215	0.378	0.381
总黄酮	-0.302	-0.392	0.045	0.581	0.017	0.188	0.294
硬度	0.381	-0.160	0.427	-0.032	0.576	-0.377	0.030
总酚	-0.035	-0.434	-0.062	0.319	0.571	-0.112	-0.168
蛋白质	-0.138	-0.373	0.352	-0.291	-0.476	-0.253	0.125
氨基酸	0.360	0.146	-0.150	0.468	-0.009	0.592	-0.101
甜菜色素	0.402	-0.118	0.105	0.434	-0.077	-0.150	0.705

表 6 7 个主成分的方差贡献率

Tab. 6 Variance contribution of 7 principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累积方差贡献率 Cumulative contribution rate/%
主成分 1	3.37	22.46	22.46
主成分 2	2.08	13.87	36.33
主成分 3	1.84	12.28	48.61
主成分 4	1.48	9.88	58.49
主成分 5	1.30	8.67	67.15
主成分 6	1.26	8.38	75.53
主成分 7	1.05	7.01	82.55

3 讨论

通过测定结果可以看出,各品质指标间具有明显的相关性且相互影响。采用 Pearson 法进行相关性分析结果表明。总糖含量与蛋白质显著负相关,相关系数为-0.403;与淀粉含量呈显著正相关,相关系数为 0.367。总糖含量越高,蛋白质含量越低,淀粉含量越高。总酸与可溶性固形物呈极显著正相关,相关系数为 0.478;与糖酸比呈极显著负相关,相关系数为-0.532。总酸越高,糖酸比越低,可溶性固形物含量越高。单果重与纵径、横径均呈极显著正相关,相关系数为 0.749、

表 7 不同火龙果种质资源的主要得分及综合排名

Tab. 7 Major scores and overall ranking of different pitaya germplasm resources

种质 Germplasm	在各个主成分中的得分 Scores in each principal component							综合得分 Comprehensive score	名次 Rank
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇		
热研 1 号	3.61	1.72	1.31	1.61	-0.10	0	-0.88	1.53	1
苑华粉红	2.69	0.49	0.56	2.06	0.97	0.15	0.02	1.24	2
红宝龙	-1.17	3.36	4.56	-2.07	0.80	1.12	2.04	1.11	3
无刺红	2.24	-1.78	-0.43	0.96	1.72	-0.69	2.16	0.72	4
临家红韵	2.36	2.20	-1.93	-1.91	-0.54	0.85	-0.37	0.50	5
富贵红	2.26	-0.01	0.36	-0.57	-0.59	0.35	-0.75	0.49	6
红金宝	1.05	-0.38	0.74	1.96	-0.14	0.22	-0.50	0.49	6
热研 2 号	0.23	0.64	-0.07	1.48	-0.07	0.46	1.25	0.47	8
无刺红龙	2.61	-0.91	-0.27	-2.01	0.81	0.04	0.15	0.42	9
红冠	0.84	2.00	-1.83	-1.33	2.41	-1.04	-0.42	0.31	10
金都一号	0.90	0.16	0.56	0.16	0.42	-0.21	-1.54	0.25	11
石火泉	0.52	-0.84	1.10	0.31	0.68	-2.15	1.05	0.20	12
香蜜龙	0.36	-0.15	-0.80	0.46	-0.22	1.50	0.16	0.12	13
桂红龙	0.60	0.93	0.08	0.63	-1.22	-0.91	-1.32	0.04	14
白蜜龙	-0.95	1.09	-1.29	0.20	-0.75	0.26	2.93	-0.02	15
大红	-0.47	0.59	-0.18	-0.08	0.34	1.11	-0.88	-0.02	15
玉馨香	-0.13	-1.46	-0.73	-0.25	2.50	0.32	0.65	-0.02	15
红绣球	0.92	-3.30	1.21	-1.08	0.90	2.07	-0.88	-0.04	18
无刺黄龙	0.55	-0.12	-0.76	0.17	-2.00	-0.89	2.28	-0.05	19
双色 1 号	-0.45	2.10	-1.48	0.74	-0.79	-0.76	0.08	-0.06	20
软枝大红	0.28	-0.28	0.90	0.27	-1.20	-0.80	-1.37	-0.16	21
玉龙一号	1.44	-1.90	0.60	-0.19	-2.09	-1.25	-0.15	-0.23	22
紫龙	-1.03	-0.63	0.38	0.56	-1.02	1.99	-0.27	-0.25	23
蜜宝	0.52	-1.82	-0.65	-0.67	-1.26	0.84	0.22	-0.39	24
粉红龙	-3.04	0.43	2.42	0.48	0.64	-1.21	-0.52	-0.42	25
红水晶	-2.83	2.14	-1.14	1.23	1.13	0.34	-1.63	-0.45	26
美龙 1 号	-1.50	0.32	-1.69	0.19	-0.28	1.55	-0.10	-0.50	27
苑华白	-1.73	-1.47	-0.47	0.48	1.30	-0.18	0.32	-0.56	28
版纳双色	0.04	-0.10	-0.89	-2.68	-0.10	-1.78	-0.91	-0.68	29
粤红	-2.04	-1.01	1.48	-0.58	0.15	-0.79	-0.97	-0.71	30
燕窝果	-2.19	-0.41	0.80	-0.69	-2.84	0.14	0.29	-0.92	31
黄锦	-2.37	0	-1.88	-0.30	-0.50	-0.33	-0.16	-1.06	32
粉水晶	-4.15	-1.58	-0.58	0.45	0.94	-0.32	0.04	-1.34	33

0.942。果形指数与果实纵径呈显著正相关, 相关系数为 0.426。纵径与横径呈极显著正相关, 相关系数为 0.644。当火龙果纵、横径越大时, 果就越大, 单果重也会随之增加。单果重与糖酸比、硬度均呈显著正相关, 相关系数分别为 0.360、0.351。单果重越重, 糖酸比的比值、果实的硬度也越大。单果重与横径呈极显著正相关, 相关系数为 0.942。硬度与横径呈显著正相关, 相关系数为 0.420。果实硬度越大, 横径就越大。

目前, 多位学者运用多元统计分析对果实品质进行评价, 梁钰梅等^[15]基于主成分分析法对 9 个品种蓝莓进行了品质评价, 温锦丽等^[16]基于主成分分析对软枣猕猴桃果实进行了品质评价, 张东为等^[17]基于主成分分析对沙棘果实进行了品质评价。运用主成分分析筛选优株能够简化程序, 避免性状相关性的影响以及出现大量信息重叠。本研究通过主成分分析法对 33 份火龙果种质资源中植物学特征及品质特性等 15 项指标进行分析评价。将 15 个指标综合为 7 个主成分, 其累计方差贡献率为 82.55%, 综合了火龙果品质的大部分相关信息, 对火龙果品质评价指标进行降维, 最终得到以单果重、果实横径、果实纵径、总糖含量、可滴定酸含量、可溶性固形物含量、淀粉含量作为评价火龙果品质的主要指标。有研究表明, 果实品质主要取决于体现风味与营养成分的指标^[18-19]。卓福昌等^[6]通过相关性分析和变异系数法对 27 份火龙果种质资源进行性状的评价, 发现纵径、横径与单重量呈极显著正相关。周笑犁等^[20]通过研究红肉与白肉火龙果营养成分, 发现火龙果的含糖量较高, 而含酸量较低。这与本研究分析的结果一致。33 份火龙果蛋白质含量均值为 0.93 mg/g, 比其他大部分水果蛋白质含量高^[21-25]。可溶性固形物含量作为评价果品品质的重要指标之一, 在苹果、梨、草莓、芒果、荔枝、葡萄等众多果品中均占有重要地位。通过对火龙果可溶性固形物含量的测定与分析, 可以更全面地了解火龙果的特性, 为深入探究火龙果的营养价值及品质评价提供了有益的启示^[26-27]。经综合评价筛选出 6 个综合得分高的火龙果种质资源, 即热研 1 号、苑华粉红、红宝龙、无刺红、临家红韵、红金宝可作为火龙果品质育种的优质亲本。该研究对促进火龙果品质提升具有重要指导意义。

参考文献

- [1] 李洪立, 胡文斌, 洪青梅, 何云, 濮文辉, 李琼. 30 份火龙果种质资源收集保存与初步鉴定评价[J]. 热带作物学报, 2017, 38(11): 2034-2039.
LI H L, HU W B, HONG Q M, HE Y, PU W H, LI Q. Collection and evaluation of 30 accessions of pitaya germplasm resources[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(11): 2034-2039. (in Chinese)
- [2] 黄凤珠, 陆贵锋, 武志江, 邓海燕, 黄黎芳, 梁桂东, 李祯英. 火龙果种质资源果实品质性状多样性分析[J]. 中国南方果树, 2019, 48(6): 46-52, 58.
HUANG F Z, LU G F, WU Z J, DENG H Y, HUANG L F, LIANG G D, LI Z Y. Diversity analysis of fruit quality traits in pitaya germplasm resources[J]. South China Fruits, 2019, 48(6): 46-52, 58. (in Chinese)
- [3] 邓爱妮, 叶海辉, 何秀芬, 王晓刚, 苏冰霞, 李琼. 海南红肉与白肉火龙果营养成分含量分析[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(3): 177-182.
DENG A N, YE H H, HE X F, WANG X G, SU B X, LI Q. Nutritional components analysis of red pitaya and white pitaya in Hainan[J]. Storage and Process, 2020, 20(3): 177-182. (in Chinese)
- [4] 王飞跃, 刘子琦, 李渊, 程雯. 石漠化治理区火龙果果实品质评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(4): 867-874.
WANG F Y, LIU Z Q, LI Y, CHENG W. Evaluation of pitaya fruit quality in rocky desertification control area[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(4): 867-874. (in Chinese)
- [5] 陈心源, 李海燕, 庞钰洁, 竺啸恒, 陆玫丹, 贾惠娟. 红心火龙果不同大小和部位品质性状比较[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(7): 59-61.
CHEN X Y, LI H Y, PANG Y J, ZHU X H, LU M D, JIA H J. Qualitative character comparisons of different fruit sizes and parts in red pitaya[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(7): 59-61. (in Chinese)
- [6] 卓福昌, 周彩霞, 卢美瑛, 周婧, 唐景美, 韦优. 基于相关性分析和变异系数法对 27 份火龙果种质资源果实性状的评价[J]. 中国热带农业, 2023(2): 21-27.
ZHUO F C, ZHOU C X, LU M Y, ZHOU J, TANG J M, WEI Y. Evaluation of fruit traits of 27 *Hylocereus undatus* germplasm resources based on correlation analysis and coefficient of variation method[J]. China Tropical Agriculture, 2023(2): 21-27. (in Chinese)
- [7] 郭静, 伏芳, 高同雨, 姜峰, 李天忠, 朱元娣. ‘京白梨’优质果实的评价指标分析[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(1): 79-95.
GUO J, FU F, GAO T Y, JIANG F, LI T Z, ZHU Y D. Analysis on evaluation index of high quality pyrus ussuriensis

- sis 'Jing Bai LI' fruits[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(1): 79-95. (in Chinese)
- [8] 代涛, 万嘉欣, 黎洁华, 骆国亮, 李丽, 武红霞, 许文天, 郑斌, 王松标, 罗聪, 梁清志. 基于主成分与聚类分析综合评价杧果种质资源果实糖酸品质[J]. 果树学报, 2022, 39(12): 2253-2263.
- DAI T, WAN J X, LI J H, LUO G L, LI L, WU H X, XU W T, ZHENG B, WANG S B, LUO C, LIANG Q Z. Comprehensive evaluation of fruit sugar and acid quality of mango germplasm based on principal component and cluster analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(12): 2253-2263. (in Chinese)
- [9] 王孝平, 邢树礼. 考马斯亮蓝法测定蛋白含量的研究[J]. 天津化工, 2009, 23(3): 40-42.
- WANG X P, XING S L. Studies on the determination of protein content by the kaumas brilliant blue method[J]. Tianjin Chemical Industry, 2009, 23(3): 40-42. (in Chinese)
- [10] JUNG Y S, KWAK I A, SANG G L, CHO H S, CHO Y S, KIM D O. Influence of production systems on phenolic characteristics and antioxidant capacity of highbush blueberry cultivars[J]. Journal of Food Science, 2021, 86(7): 2949-2961.
- [11] 周俊良, 沈佳奇, 马玉华, 韩秀梅, 张兴无. 火龙果皮甜菜色素提取工艺的优化[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(3): 104-107.
- ZHOU J L, SHEN J Q, MA Y H, HAN X M, ZHANG X W. Optimization of extraction process of sugarbeet pigment from pitaya peel[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2017, 45(3): 104-107. (in Chinese)
- [12] 游新侠, 仇农学. 超声波辅助提取荆芥叶总黄酮的方法研究[J]. 西北农业学报, 2006(1): 152-155.
- YOU X X, QIU N X. Study on extraction of total flavone from fineleaf schizonepeta herb by ultrasonic wave[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2006(1): 152-155. (in Chinese)
- [13] 刘长姣, 杨越越, 王妮, 余平. 茛三酮比色法测定秋葵中氨基酸含量条件的优化[J]. 中国食品添加剂, 2018(1): 187-193.
- LIU C J, YANG Y Y, WANG N, YU P. Optimization of detection conditions of amino acids in okra by ninhydrin colorimetric method[J]. China Food Additives, 2018(1): 187-193. (in Chinese)
- [14] 文赤夫, 董爱文, 李国章, 雷姝, 雷勇. 蒽酮比色法测定紫花地丁中总糖及还原糖含量[J]. 现代食品科技, 2005(3): 122-123, 130.
- WEN C F, DONG A W, LI G Z, LEI S, LEI Y. Determination of total sugar and reducing sugar in viola philippicassp munda W. Becker by anthrone colorimetry[J]. Modern Food Science and Technology, 2005(3): 122-123, 130. (in Chinese)
- [15] 梁钰梅, 李可, 林籽汐, 李晓梅, 周劲松, 廖茂雯, 林昊然, 朱永清, 李华佳, 刘刚. 基于主成分分析法的 9 个品种蓝莓品质评价[J]. 食品工业科技, 2024(9): 235-244.
- LIANG Y M, LI K, LIN Z X, LI X M, ZHOU J S, LIAO M W, LIN H R, ZHU Y Q, LI H J, LIU G. Quality evaluation of nine varieties of blueberry based on principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024(9): 235-244. (in Chinese)
- [16] 温锦丽, 曹炜玉, 王月, 何艳丽, 孙怡宁, 原鹏强, 孙博位, 路文鹏. 基于主成分分析与聚类分析的软枣猕猴桃果实品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2024(1): 247-257.
- WEN J L, CAO W Y, WANG Y, HE Y L, SUN Y N, YUAN P Q, SUN B W, LU W P. Comprehensive evaluation of fruit quality of actinidia arguta based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024(1): 247-257. (in Chinese)
- [17] 张东为, 赵鑫丹, 戈素芬, 阮成江, 张海旺. 沙棘果实品质的主成分分析及综合评价[J]. 经济林研究, 2023, 41(2): 1-10.
- ZHANG D W, ZHAO X D, GE S F, RUAN C J, ZHANG H W. Principal component analysis and comprehensive evaluation of sea buckthorn berry quality[J]. Non-wood Forest Research, 2023, 41(2): 1-10. (in Chinese)
- [18] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 304-312.
- ZHENG L J, NIE J Y, YAN Z. Advances in research on sugars organic acids and their effects on taste of fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(2): 304-312. (in Chinese)
- [19] 聂继云, 毋永龙, 李海飞, 王昆, 徐国锋, 闫震, 吴锡. 苹果鲜榨汁品质评价体系构建[J]. 中国农业科学, 2013, 46(8): 1657-1667.
- NIE J Y, WU Y L, LI H F, WANG K, XU G F, YAN Z, WU X. Evaluation system established for fresh apple juice quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(8): 1657-1667. (in Chinese)
- [20] 周笑犁, 莫瑞, 肖娜, 杜斌, 林栋, 雷娅. 红肉与白肉火龙果常规营养成分及抗氧化活性比较分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 248-251, 319.
- ZHOU X L, MO R, XIAO N, DU B, LIN D, LEI Y. Comparative analysis of nutritional components and antioxidant activity in red pitaya and white pitaya[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 248-251, 319. (in Chinese)
- [21] 姜璐, 包怡红, 贾雨彤, 赖章飞, 徐福成. 18 个品种蓝锭果营养成分分析及综合品质评价[J]. 农业工程学报, 2022, 38(7): 326-335.

- JIANG L, BAO Y H, JIA Y T, LAI Z F, XU F C. Nutritional component analysis and comprehensive quality evaluation of 18 different varieties of *Lonicera caerulea*[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(7): 326-335. (in Chinese)
- [22] 袁辉, 王建玲, 远辉. 基于主成分分析和聚类分析对新疆红枣的品质评价[J]. 食品工业, 2020, 41(9): 305-309.
- YUAN H, WANG J L, YUAN H. Quality evaluation of Xinjiang jujube based on principal component analysis and cluster analysis[J]. The Food Industry, 2020, 41(9): 305-309. (in Chinese)
- [23] WYBRANIEC S, NOWAK-WYDRA B, MITKA K, KOWALSKI P, MIZRAHI Y. Mi-norbetalains in fruits of *Hylocereus specis*[J]. Phytochemistry, 2007, 68(2): 251-259.
- [24] ZHANG L L, CHEN C B, XIE F F, HUA Q Z, ZHANG Z K, ZHANG R, CHEN J Y, ZHAO J T, HU G B, QIN Y H. A novel WRKY transcription factor HmoWRKY40 associated with betalain biosynthesis in pitaya (*Hylocereus monacanthus*) through regulating HmoCYP76AD1[J]. International Journal of Molecular Sciences Volume 2021, 2(31): 2171-2171.
- [25] 陈妹姑, 林兴娥, 李新国, 刘咲頔, 高宏茂, 明建鸿, 戴敏洁, 周兆禧. 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.
- CHEN M G, LIN X E, LI X G, LIU X D, GAO H M, MING J H, DAI M J, ZHOU Z X. 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)
- [26] 孙佩光, 程志号, 孙长君, 吴琼, 郭素霞, 郭刚, 李洪立. 16 份火龙果种质资源果实营养成分分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(19): 6585-6592.
- SUN P G, CHENG Z H, SUN C J, WU Q, GUO S X, GUO G, LI H L. Analysis of fruit nutritional quality of 16 pitaya germplasm resources[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(19): 6585-6592. (in Chinese)
- [27] 许文静, 陈昌琳, 邓莎, 刘怡君, 吕远平. 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, LIU Y J, LYU Y P. 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. (in Chinese)