

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.07.007

# 重庆主栽龙眼品种果实品质研究

马若寒<sup>1</sup>, 谢雪曼<sup>1</sup>, 肖若余<sup>2</sup>, 雷世梅<sup>3</sup>, 韩刚<sup>4</sup>,  
林钧<sup>4</sup>, 杨治友<sup>4</sup>, 宋明华<sup>5</sup>, 蒋猛<sup>6</sup>, 曾维英<sup>7</sup>,  
罗雪峰<sup>2</sup>, 韦洁敏<sup>8</sup>, 白娟<sup>8</sup>, 李纯凡<sup>8</sup>, 杨晓红<sup>1</sup>

1. 南方山地园艺学教育部重点实验室/西南大学园艺园林学院, 重庆 400715;  
2. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 400020; 3. 重庆市农业信息中心, 重庆 401121;  
4. 重庆市永川区经济作物技术推广站, 重庆永川 402160; 5. 重庆市涪陵区果品办公室, 重庆涪陵 400800;  
6. 西南大学工程技术学院, 重庆 400715; 7. 重庆市永川区胜利路街道农业服务中心, 重庆永川 402160;  
8. 重庆市渝北区经济作物技术推广站, 重庆 401120

**摘要:**为进一步理清重庆主栽龙眼品种的品质特征,从而筛选出优质的晚熟品种,本文以 6 个重庆主栽龙眼品种为试验材料,从外观及内在品质 2 个方面测定其表观特征及相关生理特征,对不同品种的果实品质特征进行主成分和隶属函数分析,并对品质进行综合评价。结果表明,6 个龙眼品种综合品质之间有较大差异性,内在品质相对稳定;表观特征中果皮颜色、果皮龟裂纹及风味差异较大,单果质量、肉厚率、皮厚率、果肉鲜质量、干质量等指标变异系数大于 20%,而果形指数、果肉含水量、可食率和可溶性固形物等指标相对较稳定,变异系数等于或小于 10%。果实品质评价指标对评价体系的贡献率差异有统计学意义,利用主成分分析法可将果实品质简化为 3 类主成分,通过旋转后的因子载荷系数并结合相关性分析结果提取出果实品质评价的主要指标为:果形指数、单果质量、果肉鲜质量、可食率、可溶性固形物、维生素 C 及可滴定酸。隶属函数分析认为,“储良”及“油谭本”龙眼果实因大小适中、果肉厚,可食率高、风味浓等特征,可作为优质的鲜食晚熟品种;“黄壳”“青壳”“蜀冠”“大乌圆”等果肉太薄或太厚的品种,可食率低、风味较淡,可作为优良的干果品种。研究结果对重庆龙眼晚熟品种选育及龙眼市场鲜食或加工专用品种选择具有一定的科学价值,对推动重庆市龙眼产业健康发展有一定的意义。

**关键词:** 龙眼;果实品质;评价体系

**中图分类号:** S667.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1673-9868(2021)07-0052-09

龙眼(*Dimocarpus longan* Lour.)是常绿乔木,生长在热带及亚热带地区,是我国南方重要的经济果树之一。龙眼为我国卫生部公布的药食双重功效的植物,果实鲜食清甜浓香,入药后可益心脾、补气血、安神益智,素有“南方人参”的美誉,是久负盛名的果中珍品<sup>[1]</sup>。我国是龙眼的原产地,具有丰富的龙眼品种资源,据不完全统计,全国约有 300 多个品种(系),大多种植在广西、广东、海南、云南、四川等气候温暖湿润的地区<sup>[2-3]</sup>。重庆属我国内陆龙眼经济栽培最北缘区域,因其得天独厚的区位优势 and 特殊的亚热带季风湿润气候,重庆龙眼成熟期可比广西、广东等主产区推迟 1 个月,能错峰向市场推出晚熟的

收稿日期: 2020-08-17  
基金项目: 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项重点研发项目(cstc2017shms-zdyfX0016); 重庆市技术创新与应用发展专项(cstc2019jscx-gksbX0119)。  
作者简介: 马若寒,硕士研究生,主要从事龙眼果实品质分析及种子生物学研究。  
通信作者: 杨晓红,博士,教授。

优质龙眼<sup>[4]</sup>, 延长货架时间, 甚至可弥补南方龙眼小年缺产供应不足的问题. 近年来, 重庆龙眼种植面积增大, 已达 0.82 万 hm<sup>2</sup>, 产量也在逐年提高, 但仍存在产业大而不强、品种混杂、深加工技术欠缺的问题<sup>[5]</sup>. 不同种植环境和不同的龙眼品种, 其果实的颜色、大小、形状、风味及营养成分都有所区别, 这些内外因素是导致果实品质差异表现的重要原因<sup>[6]</sup>. 目前, 对重庆主栽龙眼品种的研究主要集中在抗寒性和病虫害防治上, 而对果实品质的研究报道较少, 对果实品质评价体系也尚未提出新的思考. 因此, 重庆主栽龙眼品种的果实品质重要特征有哪些? 品种间是否有较大差异及如何科学地挑选优质的品种用于不同的生产和消费目标? 这些都是重庆龙眼研究与生产实践中必须回答的重要问题, 对推动重庆龙眼产业的持续发展具有重要意义.

本研究以重庆市主栽龙眼的 6 个品种为研究对象, 分别测定其外观品质及内在品质, 研究不同品种的果实品质差异性及相关性, 并采用主成分分析及模糊隶属函数方法对试验材料的果实品质进行综合评价, 为优质龙眼品种的选育及龙眼果实品质评价体系的科学构建提供理论参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试材为重庆永川朱沱镇张坝村(105°49′45.87″E, 29°4′26.01″N)的 6 个主栽龙眼品种(黄壳、青壳、蜀冠、储良、油潭本和大乌圆). 于 2019 年 10 月 7—8 日采集各个品种的成熟鲜果, 从每个果园中各品种随机选取 3 棵 10 年以上的结果龙眼树, 从树冠的 4 个不同方位分别随机采集 3 个果穗, 共 12 穗果, 低温装箱立即送实验室. 果样采齐后, 各品种分别随机取果形良好、果面洁净、无病虫害和机械损伤的成熟果实 400 粒, 混合均匀后, 各样品再随机取 40 粒用于分析, 3 次重复.

### 1.2 品质指标测定方法

#### 1.2.1 外观品质指标测定

表观特征: 参考《热带作物种质资源数据标准》<sup>[7]</sup>, 对果皮、果肉的颜色、质地等特征通过肉眼观察并结合品尝进行详细描述.

果实纵横径、果形指数: 纵径为果实果基至果顶间的最大距离, 横径为果实最大横切面的最大直径, 使用游标卡尺进行测量, 单位为 mm, 精确到 0.01 mm. 果形指数=横径/纵径, 果形指数为 0.6~0.8 时果实形状为扁圆形, 0.8~0.9 时为圆形或近圆形, 0.9~1.0 时为椭圆形或圆锥形, 大于 1.0 时为长圆形<sup>[2]</sup>.

皮厚率、肉厚率: 使用游标卡尺测量并计算. 将完整果实分离, 得到完整的果皮、果肉, 均取果皮、果肉赤道面 4 个不同方位进行厚度测量, 计算果皮厚度及果肉厚度的平均值.

$$\text{皮厚率}(\%) = \text{皮厚} \times 2 / \text{长横径} \times 100\%, \text{肉厚率}(\%) = \text{肉厚} \times 2 / \text{横径} \times 100\%^{[8]}$$

单果质量: 采用直接称质量法, 利用分析天平称量单个果实质量.

果皮鲜质量、果肉鲜质量、果核鲜质量: 采用电子分析天平称量. 取完整龙眼果实, 分离得到完整果肉及果皮, 分别立即称取质量, 单位为 g, 精确到 0.01 g.

果肉干质量: 将完整果肉称取鲜质量后, 装入已烘干的铝盒内, 放入 105 ℃烘箱内, 烘干后取出称量干质量, 单位为 g, 精确到 0.01 g.

$$\text{果肉含水量}(\%) = (\text{果肉鲜质量} - \text{果肉干质量}) / \text{果肉鲜质量} \times 100\%$$

$$\text{可食率}(\%) = [\text{果实总质量} - (\text{果皮质量} + \text{果核质量})] / \text{果实总质量} \times 100\%$$

#### 1.2.2 内在品质指标测定

可溶性固形物质量分数用 LH-B55 数显糖量计测定(陆恒生物), 维生素 C 质量分数采用 2, 6-二氯酚滴定法测定<sup>[9]</sup>, 可滴定酸(总酸度)采用碱测定法测定<sup>[10]</sup>.

### 1.3 数据统计分析

每个品种试验均测定 40 个果实, 3 次重复, 取所测数据的平均值, 试验数据统一记为平均值±标准差. 采用 Excel 2016 统计数据, 并使用 SPSS 19.0 软件对所测的果实品质特征进行统计学分析、主成分分

析、相关性分析和隶属函数分析.

$$\text{变异系数}(\%) = \text{标准差} / \text{平均值} \times 100\%$$

使用 SPSS 19.0 软件进行变量间 Person 相关性分析,对提取的主成分因子旋转后进行贡献率计算.累计贡献率为各主成分的贡献率之和.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同龙眼品种果实外观品质

通过观察比较 6 个品种龙眼果皮及果肉的表观特征,发现不同品种果皮颜色及果纹有较大差异,果皮颜色大多为黄褐色.其中,青壳除黄褐色外,有些呈青褐色,油潭本中部分果皮呈灰褐色,大乌圆果皮颜色普遍较深,除黄褐色外,有些呈褐色;储良果皮上具有明显的龟裂纹,油潭本和大乌圆果皮上有稍明显的龟裂纹,其他品种则没有.大部分品种果肉颜色为乳白色,青壳部分果实果肉呈浅黄色,而大乌圆果肉为蜡白色;通过观察发现,除黄壳、储良的果肉不透明外,其余品种果肉为半透明;青壳果肉质与其他品种的爽脆不同,为软、韧质地.通过品尝进行风味鉴评,储良、油潭本和蜀冠果肉浓甜,黄壳和青壳果肉风味清甜,而大乌圆果肉味淡(图 1、图 2、表 1).

6 个龙眼品种中,大乌圆的横径、纵径及单果质量均高于其他品种,蜀冠果形指数高于其他品种,油潭本及大乌圆肉厚率高于其他品种,而皮厚率则低于其他品种,差异有统计学意义(图 1,表 2).6 种龙眼果实果形指数范围为 0.88~1.06,变异系数为 7.20%;其中储良和油潭本果形指数相近,为 0.88 左右,形状为圆形或近圆形;黄壳、青壳及大乌圆果形指数为 0.9~1.0,为椭圆形或圆锥形;而蜀冠果形指数大于 1.0,为长圆形.6 种龙眼果实单果质量差距较大,变异系数为 31.22%,大乌圆、油潭本和储良单果质量均大于 13 g,其余 3 个品种单果质量小于 10 g,其中黄壳单果质量最小,为 7.62 g.不同品种间肉厚率差异性较大,变异系数为 21.93%,油潭本及大乌圆肉厚率大于 33.95%,蜀冠肉厚率最低,仅 18.85%;黄壳、青壳、蜀冠皮厚率较高,蜀冠皮厚率高达 8.05%,而油潭本皮厚率最低,为 4.81%.

由表 2 可知,储良和大乌圆果壳鲜质量大于 2.19 g,高于其他品种,且差异有统计学意义;不同品种龙眼果核鲜质量及大小有明显区别(图 3),变异系数为 21.56%,其中大乌圆果核鲜质量最大,为 2.21 g,大于其他品种,黄壳果核鲜质量最小,仅 1.21g;龙眼果肉鲜质量约为 5.03~11.44 g,变异系数为 37.24%,油潭本和大乌圆果肉鲜质量高于 10.71 g,高于其他品种,而黄壳、青壳和蜀冠果肉鲜质量低于油潭本及大乌圆,且差异有统计学意义.果肉烘干后,果肉干质量变异系数高达 49.87%,其中储良果肉干质量最高,为 1.37 g,而黄壳果肉干质量最低,为 0.34 g.果实可食率为 59.59%~75.17%,油潭本可食率最高,为 75.17%;大乌圆果实次之,为 71.32%;储良位居第 3,为 69.07%;其他品种果实可食率在 65%或更低的水平,蜀冠可食率最低,为 59.59%.

比对结果发现,6 种主栽龙眼品种果实外在品质差异较大,表观特征作为最直观的果实外观品质特征,发现不同品种间果皮颜色、果纹、果肉质、透明度及风味均有差异,其中通过肉眼直接观察果实大小、果皮颜色及果纹等外观特征,能够分辨黄壳、青壳、油潭本、大乌圆、储良等品种;通过肉眼观察果肉颜色或品尝果肉风味能够明显区分出大乌圆品种,该品种果大、果肉蜡白色且味淡,与其他品种存在显著差异.



图 1 不同龙眼品种果皮、果肉外观比较



图 2 不同龙眼品种果实外观比较

表 1 不同龙眼品种表观特征

| 品 种 | 果 皮    |     | 果 肉   |     |     | 风味 |
|-----|--------|-----|-------|-----|-----|----|
|     | 颜色     | 龟裂纹 | 颜色    | 透明度 | 质地  |    |
| 黄壳  | 黄褐色    | 不明显 | 乳白色   | 不透明 | 爽脆  | 清甜 |
| 青壳  | 黄褐或青褐色 | 不明显 | 乳白或浅黄 | 半透明 | 软、韧 | 清甜 |
| 蜀冠  | 黄褐色    | 不明显 | 乳白色   | 半透明 | 较脆  | 浓甜 |
| 储良  | 黄褐色    | 明显  | 乳白色   | 不透明 | 爽脆  | 浓甜 |
| 油潭本 | 黄褐或灰褐色 | 稍明显 | 乳白色   | 半透明 | 爽脆  | 浓甜 |
| 大乌圆 | 褐色或黄褐色 | 稍明显 | 蜡白色   | 半透明 | 较脆  | 味淡 |

表 2 不同龙眼品种果实外观品质比较

| 品种         | 果实横径/<br>mm  | 果实纵径/<br>mm | 果形<br>指数    | 单果质量/<br>g  | 肉厚率/<br>%   | 皮厚率/<br>%  | 果壳鲜质量/<br>g | 果肉鲜质量/<br>g | 果核鲜质量/<br>g | 果肉干质量/<br>g | 可食率/<br>%   |
|------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 黄壳         | 24.35±0.76cd | 23.00±0.96d | 0.94±0.02b  | 7.62±0.71d  | 29.46±4.96b | 7.43±1.02a | 1.38±0.18c  | 5.03±0.51c  | 1.21±0.20c  | 0.34±0.11c  | 65.99±2.71c |
| 青壳         | 25.22±1.60c  | 22.84±0.84d | 0.91±0.06cd | 8.03±0.80cd | 23.62±4.52c | 7.50±0.97a | 1.39±0.26c  | 5.29±0.62c  | 1.36±0.21c  | 0.65±0.16b  | 65.79±3.09c |
| 蜀冠         | 23.70±0.79d  | 25.08±0.72c | 1.06±0.03a  | 9.17±1.43c  | 18.85±4.07d | 8.05±1.80a | 1.90±0.25b  | 5.49±1.05c  | 1.79±0.26b  | 0.48±0.38bc | 59.59±2.60d |
| 储良         | 30.66±1.66b  | 27.03±1.33b | 0.88±0.04d  | 13.07±1.64b | 28.10±4.61b | 7.03±1.21a | 2.19±0.30a  | 9.04±1.32b  | 1.84±0.18b  | 1.37±0.34a  | 69.07±2.18b |
| 油潭本        | 30.85±1.02b  | 27.06±1.16b | 0.88±0.02d  | 14.22±1.41b | 35.13±4.48a | 4.81±1.08b | 1.59±0.34c  | 10.71±1.29a | 1.92±0.07b  | 1.14±0.22a  | 75.17±3.04a |
| 大乌圆        | 32.54±1.21a  | 29.90±1.17a | 0.92±0.03bc | 16.04±1.55a | 33.95±4.76a | 5.80±0.98b | 2.40±0.18a  | 11.44±1.13a | 2.21±0.48a  | 1.24±0.32a  | 71.32±1.88b |
| 变异<br>系数/% | 13.91        | 10.54       | 7.2         | 31.22       | 21.93       | 18.04      | 23.6        | 37.24       | 21.56       | 49.87       | 7.89        |

注：同列数据后的不同字母表示差异有统计学意义( $p\leqslant0.05$ )。表 3 同。

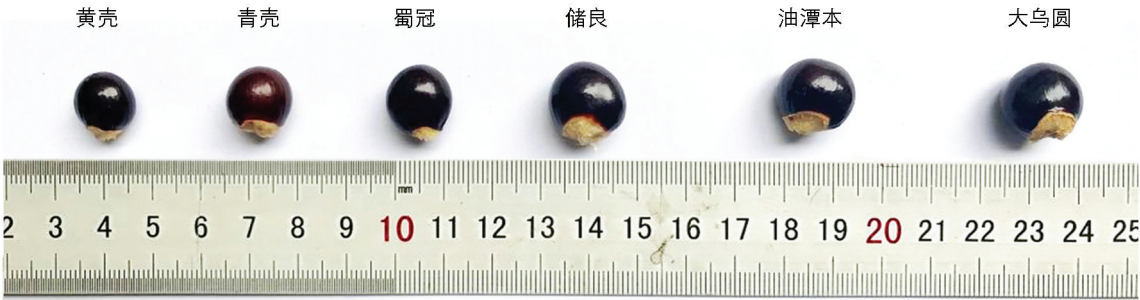


图 3 不同龙眼品种果核大小比较

2.2 不同龙眼品种果实内在品质

试验结果看出，龙眼果实果肉含水量很高，约为 85%~93%，其中黄壳和蜀冠最高，果肉含水量高于 91.73%，而储良果肉含水量显著低于其他组，为 85.04%；果肉的可溶性固形物含量最高为储良，达 22.46%，显著高出其他品种，最低为大乌圆，仅为 17.08%，其余品种含量大约在 18%~20%。从可溶性

固形物与果肉含水量的比值中看出, 储良比值最高, 其果肉含水量低, 但可溶性固形物高, 风味浓甜; 其次是油潭本、黄壳、青壳、蜀冠, 比值约为 0.20~0.22, 果肉含水量高, 可溶性固形物比例中等, 风味清甜; 而大乌圆比值最低, 仅为  $0.19\pm0.02$ , 果肉含水量较高, 可溶性固形物比例低, 风味偏淡. 果实的维生素 C 质量分数范围约为 6.83~10.14 mg/kg, 变异系数为 16.84%; 蜀冠及黄壳的维生素 C 质量分数高于 10.05 mg/kg, 高于其他品种且差异有统计学意义; 油潭本的维生素 C 质量分数为 7.20 mg/kg, 大乌圆的维生素 C 质量分数仅为 6.83 mg/kg, 油潭本与大乌圆的维生素 C 质量分数低于其他品种且差异有统计学意义. 6 个品种可滴定酸范围为 0.04%~0.08%, 变异系数为 25.23%; 其中大乌圆可滴定酸最高, 为 0.08%, 其次是油潭本, 为 0.07%, 储良可滴定酸最低, 为 0.04%(表 3).

表 3 不同龙眼品种果肉含水量、可溶性固形物、维生素 C 质量分数和可滴定酸比较

| 品种     | 果肉含水量/<br>%  | 可溶性固形/<br>% | 比值        | 维生素 C/<br>(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 可滴定酸/<br>%  |
|--------|--------------|-------------|-----------|----------------------------------|-------------|
| 黄壳     | 93.19±1.90a  | 18.34±0.97c | 0.20±0.01 | 10.05±0.33a                      | 0.05±0.02b  |
| 青壳     | 87.72±2.15c  | 18.31±2.28c | 0.21±0.03 | 9.94±0.17a                       | 0.06±0.01ab |
| 蜀冠     | 91.73±5.13ab | 20.08±1.34b | 0.22±0.02 | 10.14±0.96a                      | 0.05±0.01b  |
| 储良     | 85.04±2.04d  | 22.46±1.98a | 0.27±0.03 | 8.96±0.75b                       | 0.04±0.01b  |
| 油潭本    | 89.37±1.23bc | 20.51±0.79b | 0.23±0.01 | 7.20±0.18c                       | 0.07±0.01ab |
| 大乌圆    | 89.25±2.20bc | 17.08±1.64c | 0.19±0.02 | 6.83±0.26c                       | 0.08±0.02a  |
| 变异系数/% | 3.23         | 10.01       | 12.39     | 16.84                            | 25.23       |

注: 比值为可溶性固形物与果肉含水量的比值.

2.3 不同品质指标间相关性分析

将所测 15 个品质特征进行 Person 相关性分析, 挑选出 11 个表现出高度相关性的特征进行归纳. 结果看出, 多项品质特征间存在统计学意义上的相关关系, 单果质量与横径、纵径之间存在正相关关系,  $r\geq 0.963^{**}$  ( $p<0.01$ ), 与果肉鲜质量存在正相关关系,  $r=0.991^{**}$  ( $p<0.01$ ), 但与可食率为中度相关关系,  $r=0.750$ , 这一数据说明果大、果肉重的品种不一定可食率高. 可食率与皮厚率存在负相关关系,  $r=-0.940^{**}$  ( $p<0.01$ ), 与肉厚率之间存在正相关关系,  $r=0.937^{**}$  ( $p<0.01$ ), 与果肉鲜质量呈正相关,  $r=0.831^{*}$  ( $p<0.05$ ), 这说明皮薄肉厚、果肉重的品种可食率较高. 维生素 C 为果实内在品质, 与外观品质也有相关性, 其中与单果质量、果肉鲜质量存在负相关关系,  $r\geq -0.943^{**}$  ( $p<0.01$ ), 与可食率呈负相关,  $r=-0.855^{*}$  ( $p<0.05$ ), 这说明果大、果肉重且可食率高的品种其维生素 C 质量分数较低. 内在品质中可溶性固性物与可滴定酸呈负相关关系,  $r=-0.842^{*}$  ( $p<0.05$ ), 这说明可溶性固形物高的品种其总酸度较低(表 4).

表 4 龙眼果实主要品质指标相关性分析

|        | 横径                   | 纵径                  | 果形<br>指数            | 单果<br>质量             | 肉厚率                 | 皮厚率                  | 果肉<br>鲜质量            | 可食率                 | 可溶性<br>固形物          | 维生<br>素 C | 可滴<br>定酸 |
|--------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------|----------|
| 横径     | 1                    |                     |                     |                      |                     |                      |                      |                     |                     |           |          |
| 纵径     | 0.891 <sup>*</sup>   | 1                   |                     |                      |                     |                      |                      |                     |                     |           |          |
| 果形指数   | -0.661               | -0.250              | 1                   |                      |                     |                      |                      |                     |                     |           |          |
| 单果质量   | 0.963 <sup>**</sup>  | 0.970 <sup>**</sup> | -0.446              | 1                    |                     |                      |                      |                     |                     |           |          |
| 肉厚率    | 0.783                | 0.582               | -0.729              | 0.708                | 1                   |                      |                      |                     |                     |           |          |
| 皮厚率    | -0.812 <sup>*</sup>  | -0.665              | 0.618               | -0.804               | -0.892 <sup>*</sup> | 1                    |                      |                     |                     |           |          |
| 果肉鲜质量  | 0.975 <sup>**</sup>  | 0.931 <sup>**</sup> | -0.534              | 0.991 <sup>**</sup>  | 0.783               | -0.872 <sup>*</sup>  | 1                    |                     |                     |           |          |
| 可食率    | 0.847 <sup>*</sup>   | 0.580               | -0.843 <sup>*</sup> | 0.750                | 0.937 <sup>**</sup> | -0.940 <sup>**</sup> | 0.831 <sup>*</sup>   | 1                   |                     |           |          |
| 可溶性固形物 | -0.051               | -0.056              | 0.047               | -0.082               | -0.411              | 0.399                | -0.137               | -0.276              | 1                   |           |          |
| 维生素 C  | -0.918 <sup>**</sup> | -0.875 <sup>*</sup> | 0.510               | -0.943 <sup>**</sup> | -0.837 <sup>*</sup> | 0.929 <sup>**</sup>  | -0.969 <sup>**</sup> | -0.855 <sup>*</sup> | 0.374               | 1         |          |
| 可滴定酸   | 0.506                | 0.526               | -0.220              | 0.564                | 0.587               | -0.708               | 0.597                | 0.557               | -0.842 <sup>*</sup> | -0.766    | 1        |

注: “\*”表示存在相关性( $p<0.01$ ), “\*\*”表示有相关性( $p<0.05$ ).

2.4 龙眼果实品质指标主成分、评价指数及隶属函数分析

将所测的 15 个龙眼果实品质指标提取主成分后进行因子分析, 并旋转因子使得每个指标的载荷系数能够反映其在各主成分中的重要程度. 分析结果表明, 所测果实品质特征分为 3 个主成分, 累积贡献率超过 95%, 且各因子的载荷系数绝对值大于 0.70, 能够反映 6 个龙眼品种的果实品质特征且可作为龙眼果实评价的综合指标. 第一主成分因子有能够反映果实大小、质量的外观品质及以维生素 C 为主的内在品质, 贡献率为 41.54%; 第二主成分因子有果形指数、肉厚率、皮厚率和可食率, 贡献率为 35.95%; 第三主成分因子有果肉含水量、可溶性固形物及可滴定酸, 贡献率为 17.62%(表 5).

表 5 3 个主成分旋转后的因子、载荷系数、方差贡献率及累积贡献率

| 主成分   | 因子         | 载荷系数  | 贡献率/% | 累积贡献率/% |
|-------|------------|-------|-------|---------|
| 第一主成分 | 横径         | 0.73  | 41.54 | 41.54   |
|       | 纵径         | 0.95  |       |         |
|       | 单果质量       | 0.86  |       |         |
|       | 果壳鲜质量      | 0.94  |       |         |
|       | 果肉鲜质量      | 0.78  |       |         |
|       | 果核鲜质量      | 0.97  |       |         |
|       | 果肉干质量      | 0.72  |       |         |
|       | 维生素 C 质量分数 | -0.70 |       |         |
| 第二主成分 | 果形指数       | -0.97 | 35.95 | 77.49   |
|       | 肉厚率        | 0.82  |       |         |
|       | 皮厚率        | -0.76 |       |         |
|       | 可食率        | 0.93  |       |         |
| 第三主成分 | 果肉含水量      | 0.70  | 17.62 | 95.12   |
|       | 可溶性固形物     | -0.94 |       |         |
|       | 可滴定酸       | 0.78  |       |         |

根据主成分分析, 各因子的载荷系数大小能够反映该指标对综合指标贡献的大小, 挑选出各主成分中具较大的载荷系数的因子, 并结合相关性分析结果, 挑选出果形指数、单果质量、果肉鲜质量、可食率、可溶性固形物、维生素 C 及可滴定酸(载荷系数 $\geq 0.70$ )进行隶属函数分析. 根据主要指标隶属函数值求得综合指数, 并对其进行品质排序, 6 种龙眼品种中品质由高到低为: 储良、油潭本、大乌圆、黄壳、青壳、蜀冠(表 6).

表 6 龙眼果实主要品质特征隶属函数值

|     | 果形指数  | 单果质量  | 果肉鲜质量 | 可食率   | 可溶性固形物 | 维生素 C | 可滴定酸  | 综合指数  | 品质排名 |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|
| 黄壳  | 0.667 | 0.010 | 0.000 | 0.411 | 0.234  | 0.974 | 0.750 | 0.435 | 4    |
| 青壳  | 0.833 | 0.049 | 0.041 | 0.398 | 0.229  | 0.939 | 0.500 | 0.427 | 5    |
| 蜀冠  | 0.000 | 0.184 | 0.072 | 0.010 | 0.558  | 1.000 | 0.750 | 0.368 | 6    |
| 储良  | 1.000 | 0.647 | 0.626 | 0.608 | 1.000  | 0.644 | 1.000 | 0.789 | 1    |
| 油潭本 | 1.000 | 0.784 | 0.886 | 1.000 | 0.638  | 0.113 | 0.250 | 0.667 | 2    |
| 大乌圆 | 0.778 | 1.000 | 1.000 | 0.753 | 0.000  | 0.000 | 0.000 | 0.504 | 3    |

### 3 结论与讨论

#### 3.1 龙眼品种间果实综合品质有显著差异但内在品质相对较稳定

果实品质是一个较为复杂的综合性状,包括以果皮、果肉颜色、质地、风味等为主的表观特征,以果实大小、质量、形状、可食率等为主的外观品质及以糖、维生素 C 和酸度为主的内在品质<sup>[11]</sup>。研究果树种质资源及选育优质新品种需要将果实品种通过内外品质差异进行科学归类<sup>[12]</sup>。通过对果实表观性状进行评测,结合数量性状分析,从主、客观两个方面描述果实品质。选测的 6 个龙眼品种的果实采集地条件一致,管理基本一致,排除地域生态条件和管理水平因素带来的影响,这些龙眼品种表现出来的特征是其固有的遗传特征,测评结果可靠性较强。外观品质差异较明显,可从果实大小、果皮颜色、龟裂纹状、果肉颜色等基本分辨品种;但部分外观数量性状变异较大,如单果质量、果肉鲜质量、果肉干质量等数量性状变异系数高于 30%,内在品质如果肉含水率、可食率和可溶性固形物变异系数等于或小于 10%;该研究结果与黄爱萍等<sup>[13]</sup>认为龙眼种子资源丰富多样、质量性状多样性小、数量性状变异较大的观点基本吻合。

品质指标之间存在较为复杂的关系,表现为既有差异性也有相关性。本研究发现龙眼果实外观品质中同类指标之间有较多相关性,其中单果质量与果肉鲜质量极显著正相关,而与可食率相关性不高,这说明果实质量和果肉质量不能直接反映可食率的高低,如大乌圆品种果型最大,果肉重,但可食率却不是最高的;在龙眼果实的内在品质中,可滴定酸与可溶性固形物显著负相关,可溶性固形物比例较高的品种其总酸度较低;不同类型的指标也有存在极显著正相关性,可能存在遗传上的一致性,如通过感官判断的果肉风味与可溶性固形物具有显著相关性,可溶性固形物比例高的品种,风味为浓甜,如储良和油潭本,可溶性固形物比例低的品种,风味较淡,如大乌圆。这一结果与韩冬梅等<sup>[14]</sup>对品种间品质变异类型的稳定性、丰富性和相关性的观点也基本相同。

#### 3.2 龙眼品种果实品质评价指标对评价体系的贡献率差异显著

分析果实品质的指标多种多样,单一的指标有局限性,不足以概括该果实的综合品质。已有研究报道,针对多个样品及多个指标,采用主成分分析能够更综合、客观地对品质进行分类和简化分析<sup>[7, 15-17]</sup>。本研究中将测定的 15 个品质特征归类成 3 个主成分,不同主成分的贡献率有差异,第一主成分及第二主成分累积贡献率近 80%,能够较全面表达果实品质的信息,而第三主成分都为内在品质特征,因变异系数较小,贡献率相对较低。不同主成分中各因子载荷系数能表现出该特征对果实品质评价的重要性,如第三主成分中果肉含水量的载荷系数仅为 0.70,显著低于可溶性固形物,因此在综合评价时可溶性固形物可作为内在品质的重要特征参选。贡献率差异不是绝对的参考标准,数据经过科学处理而得出的结论仅是客观反映各品质特征之间的本质联系,在实际品质评价时,评价标准具有主观能动性,根据人们实际需求而产生不同的评价结果,如在第一主成分中贡献较小的维生素 C,作为果实营养价值方面的指标,是很重要的品质特征,因此,综合评价及应用时还要考虑到需求目标,这样更符合市场价值评估要求。

#### 3.3 隶属函数值能综合反映龙眼果实的综合品质

隶属函数能够在测定了多指标的基础上,通过模糊理论将测定值转化成普通的清晰量,以便于对植物性状进行综合评价<sup>[15, 18]</sup>。隶属函数使得评价结果不是绝对的肯定或否定,而是以一个模糊集合表示,在品种综合评价和选优工作中应用广泛<sup>[19-20]</sup>。根据隶属度值发现作为外观品质较好、果型最大的大乌圆品种其内在品质不占优势,而储良、油潭本、黄壳等中小型品种其内在品质则各有优势,该研究结果与大果趋于高可食率、中小果趋于可溶性固形物含量高的结论一致<sup>[21]</sup>。储良和油潭本的综合品质最好,其表现为中等果型、肉较厚、可食率较高、中高糖含量,适合鲜食;在测评中其他品种在某些品质特征表现上比较优异,但均存在一定的缺陷,如大乌圆果型最大、肉厚、可食率高,但糖含量较低,作为鲜食口感较次,品质次于油潭本和储良;蜀冠、黄壳和青壳的果型较小、果肉较薄、果皮较厚、可食率较低,但果肉含水量、中高糖

含量、维生素 C 质量分数较高,更适合加工为干果或罐头。果实大、果肉厚、可食率高、含糖量高、维生素 C 质量分数高的果实更符合市场需求,是理想的果实品质。测定的 6 种龙眼品种中未有完全符合这一品质要求的品种,且发现单果质量高、肉厚且可食率高的品种其可溶性固形物比例和维生素 C 质量分数偏低,而可溶性固形物比例高、维生素 C 质量分数高的品种果较小,可食率较低。从市场主要需求出发,综合考虑鲜食或加工特性,可将综合品质排名靠前的储良和油谭本作为重庆龙眼优良晚熟品种育种及品质改良的备用品种。

通过分析比较不同的龙眼品种品质性状指标,结合相关性分析、主成分分析后筛选出的 7 个龙眼果实品质关键指标为:果形指数、单果质量、果肉鲜质量、可食率、可溶性固形物、维生素 C 及可滴定酸。对 7 个关键指标进行隶属函数分析,根据综合指数进行排名,综合品质排名由高到低为:储良、油谭本、大乌圆、黄壳、青壳、蜀冠。

## 参考文献:

- [1] 陆小鸿. “南方人参”桂圆 [J]. 广西林业, 2014(4): 29-31.
- [2] 郑少泉. 龙眼种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [3] 高慧颖, 姜帆, 李韬, 等. 龙眼种质资源分类研究进展 [J]. 福建果树, 2007(2): 27-30.
- [4] 张义刚, 黄治远, 李隆华, 等. 四个龙眼品种在重庆三峡库区的适应性 [J]. 西南园艺, 2006, 34(3): 12-14.
- [5] 郑红裕, 解雪琴, 谢长杉. 2019 年全国龙眼荔枝产业大会在重庆涪陵隆重召开 [J]. 中国热带农业, 2019(5): 2-3.
- [6] 胡志群, 李建光, 王惠聪. 不同龙眼品种果实品质和糖酸组分分析 [J]. 果树学报, 2006, 23(4): 568-571.
- [7] 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]. 果树学报, 2012, 29(5): 867-871.
- [8] 李建光, 韩冬梅, 李荣, 等. 广州地区 19 个引进龙眼品种果实品质的评价与分类 [J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(4): 415-420.
- [9] 陈洁, 陈敏, 刘齐. 三种测定水果中维生素 C 含量方法的比较 [J]. 广东化工, 2017, 44(19): 164-166.
- [10] 龙淑珍, 何永群. 荔枝可滴定酸与维生素 C 的测定及其相关性 [J]. 广西农业科学, 2002, 33(4): 188-189.
- [11] 曾少敏, 陈小明, 黄新忠. 福建地方梨资源果实性状多样性分析及其数量分类研究 [J]. 园艺学报, 2019, 46(2): 237-251.
- [12] 林蝉蝉, 何舟阳, 单文龙, 等. 基于主成分与聚类分析综合评价杨凌地区红色鲜食葡萄果实品质 [J]. 果树学报, 2020, 37(4): 520-532.
- [13] 黄爱萍, 陈秀萍, 胡文舜, 等. 龙眼种质资源果实性状多样性分析及其数量分类研究 [J]. 果树学报, 2010, 27(6): 938-945.
- [14] 韩冬梅, 吴振先, 杨武, 等. 龙眼果实品质评价理化指标体系的构建 [J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(3): 503-511, 519.
- [15] 李婕玲, 胡继伟, 李朝婵. 贵州不同种植地区无籽刺梨果实品质评价 [J]. 果树学报, 2016, 33(10): 1259-1268.
- [16] 仇占南, 张茹阳, 彭明朗, 等. 北京野生软枣猕猴桃果实品质综合评价体系 [J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(2): 45-53.
- [17] MIRHEIDARI F, KHADIVI A, MORADI Y, et al. The Selection of Superior Plum (*Prunus domestica* L.) Accessions Based on Morphological and Pomological Characterizations [J]. Euphytica, 2020, 216(6): 87.
- [18] DING T L, YANG Z, WEI X C, et al. Evaluation of Salt-Tolerant Germplasm and Screening of the Salt-Tolerance Traits of Sweet Sorghum in the Germination Stage [J]. Functional Plant Biology, 2018, 45(10): 1073-1081.
- [19] 王静, 董肖丽. 模糊评价中最大隶属度原则的改进 [J]. 河北水利, 2011(2): 27-28.
- [20] 冀馨宁, 杨静慧, 龚无缺, 等. 日光温室中不同樱桃品种果实外在品质的比较 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(5): 46-52.
- [21] 朱建华, 彭宏祥, 苏伟强, 等. 广西八个荔枝新品种(株系)果实品质分析 [J]. 中国南方果树, 2005, 34(6): 31-32.

## Study of Fruit Quality of Main Longan Cultivars in Chongqing

MA Ruo-han<sup>1</sup>, XIE Xue-man<sup>1</sup>, XIAO Ruo-yu<sup>2</sup>, LEI Shi-mei<sup>3</sup>,  
HAN Gang<sup>4</sup>, LIN Jun<sup>4</sup>, YANG Zhi-you<sup>4</sup>, SONG Ming-hua<sup>5</sup>,  
JIANG Meng<sup>6</sup>, ZENG Wei-ying<sup>7</sup>, LUO Xue-feng<sup>2</sup>, WEI Jie-min<sup>8</sup>,  
BAI Juan<sup>8</sup>, LI Chun-fan<sup>8</sup>, YANG Xiao-hong<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. Chongqing Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 400020, China;
3. The Center of Agricultural Information of Chongqing, Chongqing 401121, China;
4. Cash Crop Technology Promotion Station of Yongchuan District, Yongchuan Chongqing 402160, China;
5. Chongqing Fuling District Fruit Office, Fuling Chongqing 400800, China;
6. School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;
7. Agricultural Service Center of Shengli Road of Yongchuan District, Yongchuan Chongqing 402160, China;
8. Chongqing Yubei District Cash Crop Technology Extension Station, Chongqing 401120, China

**Abstract:** In order to further clarify the quality characteristics of main longan cultivars in Chongqing and select superior late maturing cultivars, longan fruits of 6 widely grown cultivars were used as test materials to measure their apparent characteristics and related physiological characteristics. Principal component analysis (PCA) and subordinate function value analysis were employed to classify and analyze the characteristics of fruit quality of different cultivars and evaluate their comprehensive equality. The results showed that there were significant differences in comprehensive quality among the six longan cultivars, and their internal quality was relatively stable. Of the apparent characteristics, fruit skin color, skin crevasse crack and flavor were considerably different, and the coefficient of variation of single fruit mass, pulp thickness rate, peel thickness rate, fresh and dry weight of pulp was more than 20%, while fruit shape index, pulp water content, edible rate and soluble solids were fairly stable, with a coefficient of variation of less than 10%. The contribution rate of fruit quality characteristics to the evaluation system was significantly different. The characteristics of fruit quality were divided into three principal components by principal component analysis, and the main characteristics of fruit quality evaluation were selected by coefficient of the rotated factors with correlation analysis: fruit shape index, single fruit mass, fresh weight of pulp, edible rate, TSS content, mass fraction of vitamin C and titratable acidity. The membership function value can comprehensively reflect the quality of longan fruit. Membership function analysis showed that Chuliang and Youtanben are high-quality late maturing fresh cultivars because of their moderate size, thick pulp, high edible rate and rich flavor, and HuangKe, QingKe, Shuguan and Dawuyuan with too thin or too thick pulp, low edible rate and light flavor can be used as excellent dry fruit cultivars.

**Key words:** *Dimocarpus longan*; fruit quality; evaluation system