DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250826002
引用格式: 章希娟, 许玲, 魏秀清, 等. 莲雾种质资源果实糖酸组分特征研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(2): 125–133.
ZHANG XJ, XU L, WEI XQ, *et al*. Study on the characteristics of sugar and acid components in the fruits of *Syzygium samarangense* germplasms resources [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 17(2): 125–133. (in Chinese with English abstract).

莲雾种质资源果实糖酸组分特征研究

章希娟, 许　玲, 魏秀清, 许家辉*
(福建省农业科学院果树研究所, 福州　350013)

摘　要: 目的　分析不同莲雾种质资源果实糖酸组分的特征, 筛选适宜莲雾糖酸品质评价的关键指标。**方法**　采用高效液相色谱法测定 18 个莲雾种质资源果实的糖酸组分, 通过主成分分析和聚类分析对糖酸组分特征进行分析。**结果**　莲雾果实中总糖含量介于 35.12~114.29 mg/g, 均值为 59.66 mg/g, 变异系数为 38.88%, 其中紫红和大叶的总糖含量最高, 马来西亚青种最低。果糖和葡萄糖是主要糖组分, 分别占总糖的 51.78%和 46.00%。总酸含量介于 0.403~3.654 mg/g, 均值为 1.396 mg/g, 变异系数为 57.64%, 黑糖芭比总酸含量最高。柠檬酸和苹果酸是主要有机酸, 占总酸含量的 90.26%。相关性分析表明, 总糖与果糖、葡萄糖呈极显著正相关(r=0.9963、0.9961, P<0.01), 而甜酸比与柠檬酸和总酸呈极显著负相关(r=–0.6222、–0.6998, P<0.01)。主成分分析筛选出总糖、总酸和甜酸比作为糖酸品质核心评价指标。**结论**　莲雾糖酸组分差异显著, 果糖和葡萄糖是莲雾果实主要甜味物质, 柠檬酸和苹果酸是主要酸味物质。总糖、总酸和甜酸比可作为莲雾糖酸品质评价的核心指标。

关键词: 莲雾; 种质资源; 糖酸组分; 主成分分析; 品质评价

Study on the characteristics of sugar and acid components in the fruits of *Syzygium samarangense* germplasms resources

ZHANG Xi-Juan, XU Ling, WEI Xiu-Qing, XU Jia-Hui*
(*Fruit Research Institute*, *Fujian Academy of Agricultural Sciences*, *Fuzhou* 350013, *China*)

ABSTRACT: Objective　To analyze the characteristics of sugar and acid components in fruits of different *Syzygium samarangense* germplasms resources, screen key indicators suitable for evaluating the sugar and acid quality of *Syzygium samarangense*. **Methods**　The sugar and acid components of 18 *Syzygium samarangense* germplasms were determined by high performance liquid chromatography, and principal component analysis and cluster analysis were used to analyze the characteristics of sugar and acid components. **Results**　The total sugar content of *Syzygium samarangense* fruits ranged from 35.12 to 114.29 mg/g, with an average of 59.66 mg/g and a coefficient of variation of 38.88%. The germplasms ‘Zihong’ and ‘Daye’ exhibited the highest total sugar contents, whereas ‘Malaysia Green’

收稿日期: 2025-08-26
基金项目: 福建省科技计划公益类专项(2021R10280010)
第一作者: 章希娟(1984—), 女, 副研究员, 主要研究方向为果树育种。E-mail: 709879201@qq.com
***通信作者:** 许家辉(1971—), 男, 研究员, 主要研究方向为果树育种。E-mail: xjhui577@163.com

had the lowest. Fructose and glucose were the main sugar components, accounting for 51.78% and 46.00% of the total sugar respectively. Total acid content ranged from 0.403 to 3.654 mg/g, with an average of 1.396 mg/g and a coefficient of variation of 57.64%. The germplasm ‘Heitang Barbie’ had the highest total acid content. Citric acid and malic acid were the major organic acids, together constituting 90.26% of the total acid content. Correlation analysis revealed that total sugar was highly positively correlated with fructose and glucose (r=0.9963 and 0.9961, P<0.01), whereas the sweetness-acid ratio showed highly significant negative correlations with citric acid and total acid (r=–0.6222 and –0.6998, P<0.01). Principal component analysis selected total sugar, total acid and sweetness-acid ratio as the core evaluation indices for sugar-acid quality. **Conclusion** The sugar and acid components of *Syzygium samarangense* exhibit significant differences. Fructose and glucose are the main sweet substances in the fruit, while citric acid and malic acid are the main acidic substances. Total sugar, total acid and the sweetness-acid ratio can be used as core indicators for evaluating the sugar-acid quality of *Syzygium samarangense*.

KEY WORDS: *Syzygium samarangense*; germplasm resources; sugar and acid components; principal component analysis; quality evaluation

0 引 言

莲雾[*Syzygium samarangense* (Blume) Merr. and Perry]是桃金娘科蒲桃属的热带水果，原产于马来半岛，17 世纪由我国台湾地区率先引种，目前在海南、福建、广东、广西及云南等省区广泛种植[1–2]。莲雾果实色泽鲜艳，外形独特，富含有机酸、可溶性糖、酚类、黄酮类、花青素及维生素等多种营养物质和活性成分，具有清热、润肺、止咳等食疗功效，还可降低胆固醇、提升抗氧化能力，尤其适合糖尿病患者食用[3–4]。近年来，随着消费者对高品质水果需求的增长，莲雾因其独特的风味、药用价值和日益增加的经济价值，在热带水果产业中的地位日益凸显[5]。

糖酸既是水果中的重要营养物质，也是重要风味物质。甜酸风味是消费者感知水果品质优劣的关键性状，影响果品的市场竞争力。糖酸种类、含量及比例共同影响果实甜酸风味形成[5–8]。果实中的糖类物质还为色素、芳香物质等其他营养成分的合成提供基础原料[9]，果实中的有机酸还参与呼吸作用、光合作用以及氨基酸等物质的代谢过程，且具有抗氧化等保健作用[10–11]。因此，糖酸品质是果实品质评价的重要参考，也是育种家们关注的重点性状[12]。在莲雾可溶性糖方面，高贤玉等[13]研究表明，莲雾果实是以果糖和葡萄糖积累为主，同时糖组分种类和含量存在显著的品种差异，如‘黑珍珠’莲雾的果糖含量(3.91%)显著高于‘飞弹’(3.64%)，而‘飞弹’的葡萄糖含量(2.74%)较高；有机酸方面，莲雾总酸含量较低(1.52~5.11 g/kg)，主要包含苹果酸、柠檬酸和富马酸，品种间差异明显：‘飞弹’和‘新世纪’以苹果酸和柠檬酸为主，而‘黑珍珠’则以富马酸为主。此外，糖酸比(可溶性糖/总酸)和固酸比(可溶性固形物/总酸)直接影响果实风味，如‘黑珍珠’因总酸含量最低，风味最甜，而‘新世纪’因糖酸比较低，口感偏淡甜。

目前，关于莲雾糖酸组分的研究多集中于单一品种或贮藏期间的变化规律，而对不同品种糖酸特性的系统性比较分析仍较缺乏。高贤玉等[13]分析了云南 3 个莲雾主栽品种的糖酸差异，但样本量过少。许丹勇等[14]探讨了‘南鹿一号’莲雾冬夏果的糖酸动态变化，表明季节因素对品质形成具有重要影响；段云飞等[15]建立了高效液相色谱法同时测定 7 种有机酸的方法，为莲雾代谢研究提供了技术支持。汪彬慧等[16]对莲雾粗多糖结构和理化性质进行鉴定和表征，为莲雾果实多糖在保健食品领域的应用和开发提供理论依据。现有研究尚未全面解析不同莲雾品种的糖酸特性及其对甜酸风味的影响。

本研究以 18 份莲雾种质资源成熟果实为材料，采用高效液相色谱技术，测定其糖酸组分和含量，系统分析莲雾的糖酸组分特征，探究糖酸组分与风味的关系，利用主成分分析(principal component analysis, PCA)、聚类分析结合相关性分析筛选莲雾糖酸品质主要评价指标，为莲雾果实的糖酸品质评价、糖酸品质改良和品种选育提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

供试的 18 份莲雾种质资源果实采自福建省农业科学院果树研究所莲雾种质资源圃，日常田间管理保持一致(表 1)。以花后 50 d 结合果皮色泽、萼片状态综合判断果实成熟。每份资源采集 10 个无病虫害成熟果实。果实清洁后，先测定可溶性固形物含量和风味，随后样品用榨汁机搅碎混匀，液氮速冻后置于–80 ℃冰箱保存备用。高效液相色谱法测定糖酸组分参照 GB 5009.157—2016《食品安全国家标准 食品中有机酸的测定》、GB 5009.8—2023《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖的测定》的方法。

表 1　18 份莲雾种质资源信息
Table 1　Informations of 18 germplasm resources in *Syzygium samarangense*

种质编号	种质名称	来源
1	大叶	福建
2	福州本地种	福建
3	海南本地种	海南
4	黑糖芭比	福建
5	黑珍珠	福建
6	惠安绿钻	福建
7	马来西亚青种	马来西亚
8	南亚 9 号	广东
9	农科 2 号	福建
10	农科 3 号	福建
11	农科 5 号	福建
12	四季莲雾	福建
13	泰国青种	海南
14	泰国青种	泰国
15	西双版纳 6 号	云南
16	芗城本地	福建
17	香水	福建
18	紫红	福建

超纯水(电阻率≥18.2 MΩ・cm, 本实验室超纯水制备仪制备); 乙腈(色谱纯≥99.9%, 美国 Sigma-Aldrich 公司); 磷酸二氢钾(纯度≥99.0%)、草酸(纯度≥98.0%)、柠檬酸(纯度≥99.5%)、苹果酸(纯度≥98.0%)、乳酸(纯度≥85.0%)、丙酮酸(纯度≥98.0%)、抗坏血酸(纯度≥99.7%)、果糖(纯度≥98.0%)、蔗糖(纯度≥98.0%)、葡萄糖(纯度≥98.0%)、肌醇(纯度≥98.0%)(上海源叶生物科技有限公司)。

ULUPURE 超纯水机(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); ME204E 分析天平(精度 0.1 mg)、FE28 pH 计(瑞士 Mettler Toledo 公司); 5424R 离心机(转速≥15000 r/min, 德国 Eppendorf 公司); 0.22 μm 微孔滤膜[尼龙/聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene, PTFE), 北京兰博利德商贸有限公司]; L12-L125 便携榨汁机(九阳公司); ATAGO PAL-1 便携式数显折光仪(日本 Atago 公司); Milli-Q Advantage A10 超纯水制备机(美国 Millipore 公司); Agilent 1260 Infinity II 高效液相色谱仪、Agilent ZORBAX Carbohydrate 糖专用柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)、ZORBAX SB-Aq 液相色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)(美国 Agilent Technologies 公司); KQ-500DE 超声波提取仪(昆山市超声仪器有限公司)。

1.2　试验方法

1.2.1　待测液制备

准确称取 1.8 g 果肉样品, 经液氮研磨成匀浆后, 加入 5 mL 超纯水稀释混匀, 于 80 ℃水浴条件下超声辅助提取 1.5 h, 超声功率为 300 W。提取液经冰浴快速冷却后, 在 7000 r/min 条件下离心 15 min, 收集上清液经 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 滤液分装后保存于–20 ℃冰箱待测。

1.2.2　糖酸组分测定

糖组分测定: 63%乙腈水溶液, 流速为 0.5 mL/min, 进样量 10 μL, 柱箱温度为 30 ℃, 检测器: 示差折光检测器, 检测器温度 35 ℃, 检测时长为 20 min。

有机酸测定: 使用 10 mmol/L 磷酸二氢钾(pH 2.1), 流速为 0.4 mL/min, 进样量 5 μL, 柱箱温度为 25 ℃, 检测器: 紫外吸收检测器, 检测波长 210 nm, 检测时长为 18 min。

采用外标定量法, 将果糖、蔗糖、葡萄糖、肌醇、柠檬酸、苹果酸、草酸、丙酮酸、抗坏血酸、乳酸等标准品配制为一系列不同浓度的溶液, 制定标准曲线后, 通过峰面积计算样品的糖酸组分含量。

1.2.3　可溶性固形物测定

使用便携式数显折光仪测定可溶性固形物含量, 每个品种测定设置 3 次重复。

1.2.4　风味测定

根据 NY/T 3810—2020《热带作物种质资源描述规范 莲雾》的方法测定, 并按顺序为性状赋值。

1.2.5　可溶性总糖、总酸的计算

可溶性总糖含量为果糖、葡萄糖、蔗糖、肌醇 4 种糖组分含量之和; 总酸含量为草酸、苹果酸、柠檬酸、丙酮酸、乳酸、抗坏血酸 6 种酸组分含量之和。

1.2.6　甜度值、甜酸比和糖酸比的计算

甜度值计算参照李娅楠等[17]对甜度值的计算方式并略做修改, 果糖、蔗糖和葡萄糖的甜度值依次设置为 1.75、1.00 和 0.70, 计算公式为: 甜度值=1.75×果糖+1.00×蔗糖+0.70×葡萄糖。

甜酸比为甜度值和总酸的比值; 糖酸比为可溶性总糖和总酸的比值。

1.3　数据处理

使用 DPS 数据处理系统进行平均值和标准差统计, 以及相关性分析、PCA 和聚类分析。在 Excel 2023 中制作三线表, 利用 DPS 数据处理系统绘制聚类图。所有糖酸组分测定结果均以平均值±标准偏差表示。

2　结果与分析

2.1　糖组分及含量的差异分析

如表 2, 18 份莲雾种质资源果实的可溶性总糖含量为 35.12~114.29 mg/g, 平均为 59.66 mg/g, 变异系数为 38.88%。不同种质之间果实的总糖含量差异较大, 紫红和大叶的总糖含量最高, 分别为 114.29 mg/g 和 113.44 mg/g, 马来西亚青种和泰国青种(海南)的总糖含量较低, 分别为 35.12 mg/g 和 38.25 mg/g。果实甜度值介于 44.39~141.25,

平均值为 74.37, 变异系数为 38.12%, 其变化趋势与总糖含量一致, 紫红和大叶的甜度值最高, 分别为 141.25 和 139.61, 甜度值最低的品种是马来西亚青种, 为 44.39。果糖含量占总糖含量的 51.78%, 含量介于 18.94~58.55 mg/g, 平均为 30.90 mg/g, 变异系数为 36.84%, 其中紫红果糖含量最高, 为 58.55 mg/g, 马来西亚青种和泰国青种(海南)的果糖含量最低, 分别为 18.94 mg/g 和 21.09 mg/g; 葡萄糖含量介于 16.08~55.35 mg/g, 平均值为 27.45 mg/g, 占总糖含量的 46.00%, 变异系数为 39.76%, 其中紫红和大叶的葡萄糖含量较高, 马来西亚青种和泰国青种(海南)的葡萄糖含量较低。蔗糖含量在不同品种间差异较大, 含量介于未检出~4.66 mg/g, 平均值为 1.08 mg/g, 占总糖含量的 1.82%, 变异系数高达 145.99%, 黑珍珠和大叶的蔗糖含量较高, 而马来西亚青种、泰国青种(海南)、泰国青种(泰国)、农科 3 号、西双版纳 6 号和芗城本地种等品种未检测到蔗糖。肌醇含量普遍较低, 介于 0~0.64 mg/g, 平均值为 0.23 mg/g, 占总糖含量的 0.39%, 变异系数为 66.38%, 其中大叶、香水和四季莲雾的肌醇含量较高, 而农科 2 号、泰国青种(海南)和泰国青种(泰国)均未检测到肌醇。

18 份莲雾种质资源果实的可溶性糖组分以果糖含量最高, 其次是葡萄糖, 蔗糖和肌醇含量较低。大部分种质的果糖和葡萄糖占总糖的比例(91.54%)超过 90%, 蔗糖仅在部分品种中检测到, 且含量较低。

感官评价结果显示, 对 18 份莲雾种质资源果实风味的评分介于 2~5 分, 平均值为 4 分, 变异系数为 18.63%; 从风味特征来看, 供试莲雾果实的主要风味表现为甜、清甜与淡甜 3 类。结合评分分布与风味类型可知, 甜味是莲雾果实最主要的风味特征。

2.2 酸组分及含量的差异分析

如表 3, 莲雾果实中总酸含量介于 0.403~3.654 mg/g, 平均值为 1.396 mg/g, 变异系数为 57.64%, 表明不同种质莲雾果实的总酸含量差异较大。其中黑糖芭比的总酸含量最高, 为 3.654 mg/g, 其次是海南本地种, 为 2.985 mg/g, 高于其他种质; 而福州本地种的总酸含量最低, 仅为 0.403 mg/g。有机酸组分分析显示, 柠檬酸是莲雾果实中的主要有机酸, 其含量介于 0.035~3.037 mg/g, 平均值为 0.818 mg/g, 占总酸含量的 58.60%, 且变异系数最大(87.13%), 说明不同种质资源间柠檬酸含量差异显著。苹果酸含量次之, 含量介于 0.155~1.028 mg/g, 平均值为 0.442 mg/g, 占总酸含量的 31.66%, 变异系数为 51.19%。草酸含量相对较低, 平均值为 0.112 mg/g, 占总酸含量的 8.02%。此外, 丙酮酸、乳酸和抗坏血酸的含量均较低, 平均含量均低于 0.02 mg/g, 且部分品种未检出这些有机酸组分。

表 2 不同莲雾种质资源果实中可溶性糖组分、可溶性固形物含量及甜度值

Table 2 Soluble sugar composition, soluble solid content and sweetness value in fruits of different *Syzygium samarangense* germplasm resources

种质名称	果糖/(mg/g)	葡萄糖/(mg/g)	蔗糖/(mg/g)	肌醇/(mg/g)	可溶性固形物/%	可溶性总糖/(mg/g)	甜度值	风味	风味赋值
大叶	56.64±2.80	52.22±0.90	3.93±0.63	0.64±0.06	12.5±1.00	113.44±4.39	139.61	甜	5
福州本地种	25.55±1.80	22.83±1.82	0.55±0.05	0.20±0.03	9.30±0.96	49.14±3.71	61.25	清甜	4
海南本地种	44.31±1.88	39.67±1.64	3.64±2.32	0.29±0.03	9.79±1.80	87.91±5.86	108.95	酸甜	2
黑糖芭比	21.34±0.78	19.20±0.55	0.05±0.06	0.21±0.02	8.87±1.53	40.81±1.41	50.84	清甜	4
黑珍珠	37.14±0.84	33.07±0.49	4.66±0.06	0.29±0.08	10.93±1.64	75.16±1.47	92.81	甜	5
惠安绿钻	22.21±1.52	18.66±1.13	0.06±0.01	0.28±0.03	8.53±1.74	41.21±2.69	51.99	清甜	4
马来西亚青种	18.94±2.00	16.08±0.64	未检出	0.11±0.04	5.43±0.66	35.12±2.67	44.39	淡甜	3
南亚 9 号	25.10±0.33	23.12±0.32	0.45±0.54	0.23±0.00	8.22±1.19	48.91±1.19	60.57	清甜	4
农科 2 号	23.33±2.56	21.16±1.98	0.57±0.07	未检出	8.86±0.87	45.07±4.60	56.22	清甜	4
农科 3 号	27.48±2.52	24.64±2.23	未检出	0.31±0.02	9.62±1.66	52.44±4.77	65.35	清甜	4
农科 5 号	30.33±0.80	28.07±1.56	2.16±0.21	0.21±0.01	11.68±2.48	60.77±2.58	74.89	清甜	4
四季莲雾	29.57±1.43	26.00±0.89	3.17±0.18	0.36±0.07	8.42±2.14	59.10±2.56	73.12	清甜	4
泰国青种(海南)	21.09±2.30	17.17±1.10	未检出	未检出	8.14±0.35	38.25±3.41	48.92	清甜	4
泰国青种(泰国)	35.11±0.97	27.30±0.78	未检出	未检出	9.92±1.18	62.41±1.75	80.56	清甜	4
西双版纳 6 号	24.53±1.50	23.39±1.39	未检出	0.11±0.02	10.75±2.02	48.02±2.90	59.30	清甜	4
芗城本地种	21.79±2.90	18.31±2.54	未检出	0.21±0.08	5.60±0.30	40.32±5.52	50.95	淡甜	3
香水	33.18±2.49	27.81±1.23	0.18±0.04	0.38±0.06	11.35±1.27	61.55±3.82	77.71	甜	5
紫红	58.55±1.78	55.35±0.11	0.05±0.00	0.34±0.06	12.06±1.77	114.29±1.96	141.25	甜	5
平均值	30.90	27.45	1.08	0.23	9.44	59.66	74.37		4
标准差	11.38	10.91	1.58	0.15	1.91	23.20	28.35		0.75
变异系数/%	36.84	39.76	145.99	66.38	20.25	38.88	38.12		18.63

18 份莲雾种质有机酸变异系数较大的包括乳酸(276.41%)、抗坏血酸(维生素 C) (133.11%)、丙酮酸(88.24%)和柠檬酸(87.13%), 表明这些组分在不同品种间的含量差异较为明显。

从种质间差异来看, 海南本地种和黑糖芭比的柠檬酸含量高于其他种质, 分别为 1.807 mg/g 和 3.037 mg/g, 而福州本地种的柠檬酸含量最低, 仅为 0.035 mg/g。苹果酸含量则以海南本地种最高(1.028 mg/g), 大叶最低(0.155 mg/g)。草酸含量在泰国青种(泰国)中最高(0.241 mg/g), 泰国青种(海南)最低(0.036 mg/g)。乳酸仅在惠安绿钻、马来西亚青种和西双版纳 6 号中检出, 且西双版纳 6 号的乳酸含量最高(0.204 mg/g)。综上, 莲雾果实的有机酸组成以柠檬酸和苹果酸为主, 两者占总酸含量的 90%以上, 其他有机酸组分占比相对较低, 种质间差异显著。

2.3　糖酸指标相关性分析

对莲雾果实糖酸指标进行相关性分析, 结果表明各指标之间存在显著相关性(表 4)。可溶性总糖含量与果糖、葡萄糖含量呈极显著正相关(r=0.9963 和 0.9961, P<0.01), 与蔗糖含量显著正相关(r=0.5589, P<0.05); 果糖与葡萄糖含量呈极显著正相关(r=0.9921, P<0.01), 且二者均与肌醇含量极显著正相关(r=0.6343 和 0.6501, P<0.01)。甜度值与总糖、主要可溶性糖组分及可溶性固形物含量均呈极显著正相关。有机酸组分中, 苹果酸与草酸含量显著正相关(r=0.5229), 柠檬酸与丙酮酸含量显著正相关(r=0.4851, P<0.05), 而总酸含量与苹果酸、柠檬酸及丙酮酸含量分别呈显著或极显著正相关(r=0.5088、0.9487 和 0.5674, P<0.05 或 P<0.01)。糖酸比和甜酸比与柠檬酸含量呈极显著负相关(r=–0.6095 和–0.6222, P<0.01), 且二者与总酸含量亦呈极显著负相关(r=–0.6910 和–0.6998, P<0.01)。此外, 抗坏血酸含量与草酸、苹果酸及丙酮酸含量显著正相关(r=0.4758、0.4941 和 0.5457, P<0.05), 表明其代谢可能与部分有机酸积累存在关联。总体来看, 莲雾果实的糖酸组分间存在复杂的相互作用关系, 其中柠檬酸和总酸含量对糖酸风味平衡的调控作用尤为突出。感官风味则只与可溶性固形物含量呈极显著正相关(r=0.6329, P<0.01)。

表 3　不同莲雾种质资源果实中有机酸含量、糖酸比及甜酸比

Table 3　Organic acid content, sugar-acid ratio and sweet-acid ratio in fruits of different *Syzygium samarangense* germplasm resources

种质名称	草酸/(mg/g)	苹果酸/(mg/g)	柠檬酸/(mg/g)	丙酮酸/(mg/g)	乳酸/(mg/g)	抗坏血酸/(mg/g)	总酸/(mg/g)	糖酸比	甜酸比
大叶	0.090±0.013	0.155±0.022	1.103±0.052	0.007±0.002	未检出	未检出	1.355±0.089	83.74	103.07
福州本地种	0.128±0.003	0.240±0.015	0.035±0.013	未检出	未检出	未检出	0.403±0.030	121.84	151.86
海南本地种	0.133±0.002	1.028±0.013	1.807±0.119	0.013±0.005	未检出	0.004±0.000	2.985±0.140	29.45	36.49
黑糖芭比	0.158±0.025	0.451±0.036	3.037±0.583	0.007±0.002	未检出	未检出	3.654±0.646	11.17	13.92
黑珍珠	0.040±0.000	0.172±0.018	0.722±0.005	0.003±0.001	未检出	未检出	0.937±0.025	80.23	99.06
惠安绿钻	0.133±0.032	0.230±0.004	0.553±0.015	0.006±0.001	0.053±0.011	0.004±0.001	0.979±0.063	42.09	53.10
马来西亚青种	0.050±0.004	0.210±0.048	0.209±0.026	0.005±0.001	0.059±0.008	0.002±0.001	0.537±0.087	65.47	82.75
南亚 9 号	0.039±0.007	0.507±0.068	0.723±0.129	0.004±0.001	未检出	未检出	1.272±0.205	38.45	47.61
农科 2 号	0.081±0.000	0.500±0.053	1.532±0.271	0.005±0.001	未检出	未检出	2.118±0.325	21.28	26.54
农科 3 号	0.046±0.003	0.252±0.022	0.505±0.130	未检出	未检出	未检出	0.802±0.154	65.36	81.45
农科 5 号	0.179±0.022	0.738±0.098	0.840±0.137	0.017±0.003	未检出	0.004±0.001	1.778±0.261	34.19	42.13
四季莲雾	0.129±0.023	0.316±0.042	0.852±0.002	0.008±0.006	未检出	未检出	1.306±0.073	45.26	56.00
泰国青种(海南)	0.036±0.003	0.441±0.063	0.262±0.070	0.002±0.001	未检出	未检出	0.741±0.136	51.63	66.02
泰国青种(泰国)	0.241±0.017	0.780±0.049	0.054±0.007	未检出	未检出	0.003±0.000	1.077±0.073	57.97	74.82
西双版纳 6 号	0.062±0.002	0.423±0.004	0.572±0.017	未检出	0.204±0.020	未检出	1.261±0.044	38.09	47.03
芗城本地种	0.164±0.013	0.470±0.008	0.882±0.012	0.006±0.001	未检出	未检出	1.522±0.034	26.48	33.47
香水	0.157±0.026	0.591±0.037	0.105±0.040	0.003±0.002	未检出	0.002±0.000	0.857±0.105	71.80	90.64
紫红	0.142±0.029	0.456±0.027	0.934±0.031	0.007±0.001	未检出	0.004±0.001	1.542±0.089	74.14	91.63
平均值	0.112	0.442	0.818	0.005	0.018	0.001	1.396	53.26	66.53
标准差	0.057	0.226	0.713	0.004	0.048	0.002	0.805	26.40	32.85
变异系数/%	51.14	51.19	87.13	88.24	276.41	133.11	57.64	49.56	49.38

表 4 不同莲雾种质资源果实糖酸指标相关性分析

Table 4 Correlation analysis of sugar and acid indices in fruits of different *Syzygium samarangense* germplasm resources

指标	果糖	葡萄糖	蔗糖	肌醇	可溶性固形物	可溶性总糖	甜度值	草酸	苹果酸	柠檬酸	丙酮酸	乳酸	抗坏血酸	总酸	糖酸比	甜酸比	风味赋值
果糖	1.0000																
葡萄糖	0.9921**	1.0000															
蔗糖	0.5077*	0.5061*	1.0000														
肌醇	0.6343**	0.6501**	0.5326*	1.0000													
可溶性固形物	0.7251**	0.7337**	0.3903	0.4657	1.0000												
可溶性总糖	0.9963**	0.9961**	0.5589*	0.6601**	0.7307**	1.0000											
甜度值	0.9982**	0.9947**	0.5488*	0.6505**	0.7289**	0.9996**	1.0000										
草酸	0.1842	0.1248	–0.1046	0.0052	0.1615	0.1420	0.1572	1.0000									
苹果酸	0.1349	0.0984	–0.0071	–0.2837	0.1371	0.1101	0.1209	0.5229*	1.0000								
柠檬酸	0.0925	0.1366	0.2140	0.1327	0.0400	0.1252	0.1138	0.1109	0.2208	1.0000							
丙酮酸	0.2487	0.2759	0.4541	0.2619	0.1221	0.2845	0.2744	0.3214	0.4397	0.4851*	1.0000						
乳酸	–0.2481	–0.2062	–0.2456	–0.2271	–0.0112	–0.2370	–0.2435	–0.2513	–0.1454	–0.1611	–0.2585	1.0000					
抗坏血酸	0.3006	0.2756	0.0039	0.0373	0.2024	0.2777	0.2857	0.4758*	0.4941*	–0.0527	0.5457*	–0.0278	1.0000				
总酸	0.1201	0.1473	0.1679	0.0259	0.0859	0.1398	0.1334	0.3041	0.5088*	0.9487**	0.5674*	–0.1428	0.1296	1.0000			
糖酸比	0.3558	0.3372	0.1419	0.3282	0.3110	0.3451	0.3487	–0.1303	–0.4673	–0.6095**	–0.4320	–0.1285	–0.0913	–0.6910**	1.0000		
甜酸比	0.3436	0.3224	0.1255	0.3110	0.2989	0.3309	0.3353	–0.1217	–0.4602	–0.6222**	–0.4432	–0.1300	–0.0867	–0.6998**	0.9996**	1.0000	
风味赋值	0.3678	0.3738	0.0722	0.3651	0.6329**	0.3637	0.3632	–0.0681	–0.4485	–0.1926	–0.3182	–0.0909	–0.2283	–0.3093	0.4492	0.4428	1.0000

注: *表示指标间相关性达显著水平(P<0.05); **表示指标间相关性达极显著水平(P<0.01)。

2.4 糖酸评价指标的选择

采用PCA对莲雾果实糖酸评价的16项指标进行分析, 结果共筛选出 4 个主成分, 累计贡献率达 81.8%, 表明前 4 个主成分所构成的信息量涵盖 16 个性状 81.8%的信息量, 可反映样本的大部分信息(表 5)。第一主成分的方差贡献率为 37.46%, 代表性变量为果糖、葡萄糖、总糖和甜度值, 且因子载荷均高于 0.96, 可定义为糖含量因子; 第二主成分的方差贡献率为 26.12%, 代表性变量为总酸, 总酸载荷最高(0.898), 可定义为酸含量因子; 第三主成分和第四主成分的方差贡献率分别为 11.14%和 7.07%, 主要反映抗坏血酸、草酸及乳酸等次要有机酸组分的变异情况。

进一步通过系统聚类分析(图 1), 16 项莲雾糖酸风味指标数据经规格化转换后聚类, 可将指标聚为 3 类: 第 1 类包括甜酸比、糖酸比、甜度值和可溶性总糖, 为风味指标; 第 2 类包括果糖、葡萄糖, 为甜味指标; 第 3 类包括总酸、苹果酸、柠檬酸、草酸等有机酸组分, 为酸味指标。其中蔗糖、可溶性固形物聚类与有机酸组分处于同一分支, 可能与部分品种未检出以及品种间差异有关。结合相关性分析, 甜度值与主要糖组分、可溶性总糖均为极显著正相关; 甜酸比与各糖组分、可溶性总糖含量均呈正相关, 与总酸、苹果酸柠檬酸含量呈极显著负相关, 因此选择总糖、总酸和甜酸比 3 项指标作为莲雾糖酸组分含量的核心评价指标。

表 5 莲雾中糖酸指标 PCA 结果

Table 5 PCA results of sugar and acid indices in *Syzygium samarangense*

指标	主成分			
	PC1	PC2	PC3	PC4
果糖	0.971	–0.030	0.042	0.107
葡萄糖	0.968	–0.019	–0.022	0.149
蔗糖	0.626	0.077	–0.396	–0.193
肌醇	0.724	–0.137	–0.333	–0.145
可溶性固形物	0.766	–0.062	0.073	0.336
可溶性总糖	0.979	–0.020	–0.019	0.108
甜度值	0.978	–0.022	0.002	0.104
草酸	0.207	0.416	0.627	–0.230
苹果酸	0.118	0.680	0.518	0.057
柠檬酸	0.134	0.767	–0.508	–0.010
丙酮酸	0.366	0.710	0.028	–0.218
乳酸	–0.310	–0.123	–0.012	0.858
抗坏血酸	0.322	0.349	0.688	0.058
总酸	0.151	0.898	–0.259	0.041
糖酸比	0.372	–0.858	0.143	–0.169
甜酸比	0.357	–0.861	0.161	–0.173
方差贡献率/%	37.46	26.12	11.14	7.07
累计贡献率/%	37.46	63.58	74.73	81.80

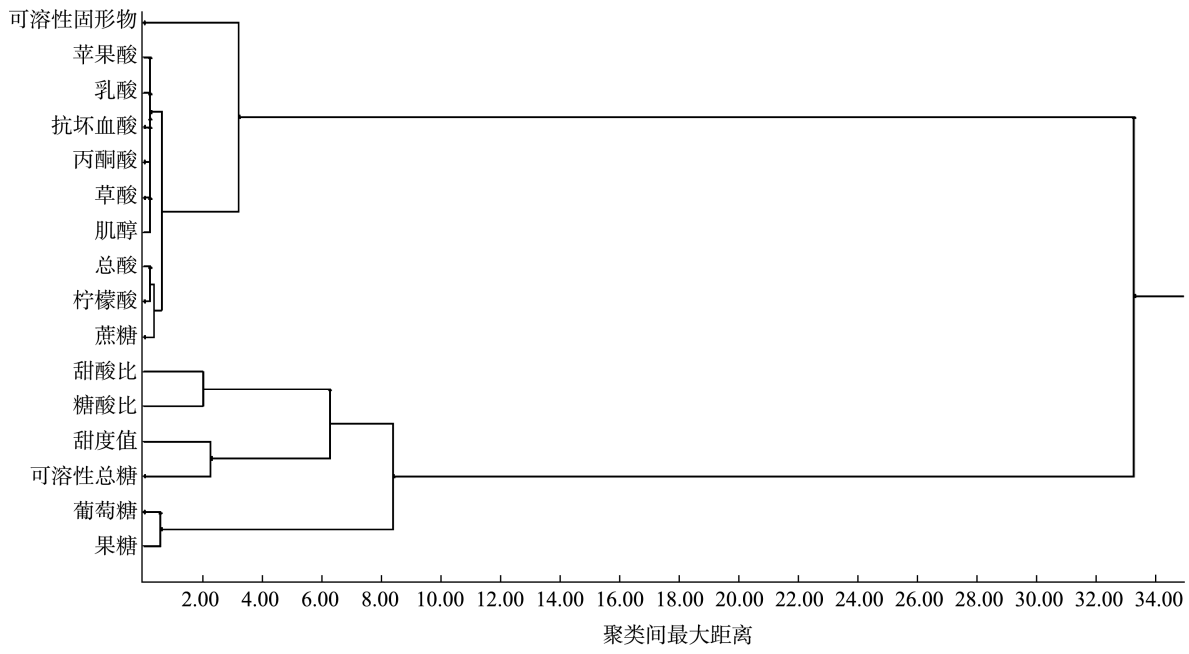


图 1　16 项莲雾糖酸风味指标的系统聚类结果

Fig.1　Systematic clustering results of 16 sugar and acid flavor indices in *Syzygium samarangense*

2.5　品种糖酸评价

利用筛选出的 3 项核心指标(总糖、总酸和甜酸比)作为莲雾糖酸品质最终评价的参数, 采用 K-均值聚类法获得聚类结果如表 6 所示。18 份种质可划分为 4 类, 第一类包括大叶和紫红 2 份种质, 糖酸组分特征表现为总糖含量高、总酸含量中等、甜酸比高; 第二类有海南本地种和黑糖芭比 2 份种质, 糖酸组分特征表现为果实酸含量较高, 甜酸比低; 第三类共 8 份种质, 该类别中种质的果实糖含量中等、酸含量较低、甜酸比较高; 第四类共 6 份种质, 该类别中种质的果实糖含量与酸含量均适中, 甜酸比中等。

表 6　基于核心评价指标的 18 份莲雾种质资源聚类结果

Table 6　Cluster results of 18 *Syzygium samarangense* germplasm resources based on core evaluation indices

类别	可溶性总糖/(mg/g)	总酸/(mg/g)	甜酸比	种质名称
1	113.86	1.45	97.35	大叶、紫红
2	64.36	3.32	25.20	海南本地种、黑糖芭比
3	51.91	0.79	87.46	福州本地种、黑珍珠、惠安绿钻、马来西亚青种、农科 3 号、泰国青种(海南)、泰国青种(泰国)、香水
4	50.36	1.54	42.13	南亚 9 号、农科 2 号、农科 5 号、四季莲雾、西双版纳 6 号、芗城本地

3　讨　论

糖类与有机酸的含量与比例, 构成了莲雾果实风味与品质的核心物质基础[18]。因而, 不同种质间糖酸组成的系统研究, 不仅有助于揭示其内在品质形成的机理, 更为杂交育种中优良性状的定位与新品种的精准选育提供了科学依据。高效液相色谱技术能够精确分离并检测果实中的糖酸组分, 在很多果树(苹果、梨、杏和桃)上得以应用[19–22]。本研究通过高效液相色谱技术系统分析了 18 份莲雾种质资源的糖酸组分特征, 揭示了不同种质间糖酸含量的显著差异。研究结果表明, 莲雾果实糖组分以果糖(51.78%)和葡萄糖(46.00%)为主, 蔗糖(1.82%)和肌醇(0.39%)含量较低, 这与桃、杏、苹果、梨等蔷薇科果实的糖积累模式明显不同。值得注意的是, 蔗糖在部分品种(如黑珍珠、大叶)中可被检出, 但在马来西亚青种等 5 个品种中完全缺失, 其高达 146%的变异系数暗示不同品种可能存在蔗糖代谢关键酶如蔗糖磷酸合酶、蔗糖合酶活性或相关基因表达的显著差异, 在其他水果品种中同样存在类似差异[21–22], 这为后续研究莲雾糖代谢分子机制提供了重要线索。

在有机酸组成方面, 柠檬酸(58.60%)和苹果酸(31.66%)共同构成了莲雾果实的主要酸味物质, 占总酸含量的 90%以上。这与高贤玉等[13]、段云飞等[15]报道的结果类似, 证实了莲雾果实由柠檬酸和苹果酸积累为主, 积累量差异可能与品种特性、栽培措施、环境气候条件等相关。特别值得关注的是黑糖芭比品种, 其柠檬酸含量(3.037 mg/g)是其他种质的 2~80 倍, 这种极端表现可能与其独特的柠

檬酸合成酶或线粒体顺乌头酸酶活性调控有关[23–24]。相比之下, 草酸(8.02%)及其他微量有机酸(丙酮酸、乳酸等)虽然占比不高, 但其在部分种质中的特异性积累(如西双版纳 6 号的乳酸)可能反映了不同种质间的代谢差异或遗传特性。

通过 PCA 发现, 前 4 个主成分累计贡献率达 81.80%, 其中第一主成分(糖含量因子)和第二主成分(酸含量因子)分别解释了 37.46%和 26.12%的主要糖酸组分变异信息, 这一结果与苹果的研究结论相似, 但莲雾的酸含量因子的贡献率(26.12%)显著低于苹果(40.27%)、砂梨(38.39%)[17,25], 表明莲雾果实中糖代谢对风味的调控较酸代谢更为突出。

果实的糖、酸组分的含量及其比例决定其风味特征。果糖、葡萄糖、苹果酸和柠檬酸等化合物的含量虽是影响果实风味和适口性的基础, 但糖酸比作为衡量果实口感风味品质的关键理化指标, 决定了风味的最终表现, 例如偏高的含糖量与相对合适的酸度能带来良好口感, 高酸低糖会导致果实偏酸, 低酸高糖则使味道减淡, 低糖更会造成果实寡淡无味[26–27]。本研究测定的 18 份莲雾种质资源果实, 糖酸比最高为 121.84, 最低为 11.17, 平均为 53.26, 远高于苹果、砂梨、李、余甘子等水果[17,25,28–29], 表明在莲雾果实上, 甜味占主导地位, 酸味呈现极低, 这与从感官上对不同莲雾种质资源果实风味进行评价, 主要风味表现为甜、清甜、淡甜的结果相一致[30]。梨上的研究也显示糖酸比大于 60.1, 风味多为淡甜、甜或甘甜[31]。因此, 尽管在品种聚类结果中, 不同类别的种质糖酸组分特征显示出酸含量高低差异, 本研究认为, 其有机酸含量与其他水果[32–33]相比依然很低, 从指导消费购买决策上, 可弱化酸评价, 将莲雾分为高糖型、中糖型, 低糖型。相关性分析显示感官风味与可溶性固形物含量显著正相关, 可溶性固形物含量可作为风味的指示指标。适合的酸度能增添果实风味, 品种聚类结果呈现出酸含量和甜酸比上明显的分化特征, 可为莲雾今后品种改良和筛选材料提供参考。本研究样本以福建来源种质为主, 海南、云南及境外种质占比较低, 样本的多样性与原产我国的树种相比尚有不足, 结论的地域普适性需后续扩大样本来源进一步验证。

4 结 论

莲雾果实中可溶性糖以果糖和葡萄糖为主, 有机酸以柠檬酸和苹果酸为主。不同种质间糖酸组分含量差异显著, 其中紫红和大叶的总糖含量最高, 黑糖芭比的总酸含量最高, 其次为海南本地种。相关性分析表明, 甜度值与主要糖组分呈极显著正相关, 甜酸比与总酸和柠檬酸含量呈极显著负相关。通过 PCA 和聚类分析, 筛选出总糖、总酸和甜酸比 3 项指标作为莲雾糖酸品质评价的核心指标。基于 K-均值聚类分析, 18 份莲雾种质可分为 4 类。筛选出高糖型莲雾(如紫红、大叶)风味较佳, 适合鲜食; 酸含量较高的种质(如海南本地种、黑糖芭比)可为品种改良提供材料; 低糖型品种风味淡, 可作为加工原料, 或进一步优化栽培技术以提升品质。本研究为莲雾种质资源的糖酸评价和优质品种选育提供了理论依据。

参考文献

[1] 尹青春, 杨穗珊, 潘永波, 等. 复合型涂膜剂对莲雾保鲜效果主成分分析综合评价[J]. 食品科学, 2022, 43(23): 254–260.
YIN QC, YANG SS, PAN YB, *et al*. Use of principal component analysis for the evaluation of the effect of composite coatings in preserving the quality of wax apples (*Syzygium samarangenese*) [J]. Food Science, 2022, 43(23): 254–260.

[2] 孙东宇, 魏冬, 杨胤延, 等. 莲雾开花对喷施氯吡硫磷的生理响应以及转录组分析[J]. 园艺学报, 2025, 52(7): 1718–1732.
SUN DY, WEI D, YANG YY, *et al.* Physiological response and transcriptome analysis of wax apple flowering to foliar application of chlorpyrifos [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2025, 52(7): 1718–1732.

[3] SAKDINA P, NITIRUT N, SIRINAT P, *et al.* Wax apple (*Syzygium samarangense*) fruit extract ameliorates endothelial dysfunction and liver damage in high cholesterol diet-fed rats [J]. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 2022, 12(6): 584–593.

[4] HU Y, XU W, WANG L, *et al.* Anacardic acid derivatives with significant *α*-glucosidase inhibitory activity from *Syzygium samarangense* [J]. Phytochemistry Letters, 2024, 61: 75–77.

[5] WEI X, LI L, XU L, *et al.* Complete chloroplast genome sequence of *Syzygium samarangense* (Myrtaceae) and phylogenetic analysis [J]. Mitochondrial DNA B Resour, 2022, 7(6): 977–979.

[6] 焦晋华, 薛晓芳, 任海燕, 等. 影响枣果实风味品质的指标分析[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(3): 205–208.
JIAO JH, XUE XF, REN HY, *et al.* Analysis on the indices affecting the jujube fruit flavor quality [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(3): 205–208.

[7] 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 LJ, NIE JY, 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.

[8] ZHANG X, WEI X, ALI M M, *et al.* Changes in the content of organic acids and expression analysis of citric acid accumulation-related genes during fruit development of yellow (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) and purple (*Passiflora edulis* f. *edulis*) passion fruits [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(11): 5756.

[9] 韩佳欣, 郑浩, 张琼, 等. 果树中糖类代谢和调控研究[J]. 植物科学学报, 2020, 38(1): 143–149.
HAN JX, ZHENG H, ZHANG Q, *et al.* Research advances in the metabolism and regulation of carbohydrate in fruit trees [J]. Plant Science Journal, 2020, 38(1): 143–149.

[10] 陈发兴, 刘星辉, 陈立松. 果实有机酸代谢研究进展[J]. 果树学报, 2005(5): 526–531.
CHEN FX, LIU XH, CHEN LS. Advances in research on organic acid metabolism in fruits [J]. Journal of Fruit Science, 2005(5): 526–531.

[11] MAZZEI F, BOTRÈ F, FAVERO G. Peroxidase based biosensors for the selective determination of *D*,*L*-lactic acid and *L*-malic acid in wines [J].

Microchemical Journal, 2007, 87(1): 81–86.

[12] WU JG, GAO HY, ZHAO L, *et al.* Chemical compositional characterization of some apple cultivars [J]. Food Chemistry, 2006, 103(1): 88–93.

[13] 高贤玉, 张发明, 柏天琦, 等. 莲雾果实糖酸含量分析[J]. 热带农业科学, 2019, 39(3): 75–79.
GAO XY, ZHANG FM, BO TQ, *et al.* Sugar and organic acid contents in the fruit of wax apple [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2019, 39(3): 75–79.

[14] 许丹勇, 王远铭, 林思鸿, 等. '南鹿一号'莲雾果实生长发育与品质的形成[J]. 热带生物学报(中英文), 2025, 16(4): 580–589.
XU DY, WANG YM, LIN SH, *et al.* Growth and quality formation of the fruit of wax apple'Nanlu No.1' [J]. Journal of Tropical Biology, 2025, 16(4): 580–589.

[15] 段云飞, 吴光斌, 叶洪, 等. HPLC 法同时测定采后莲雾果实 7 种有机酸的含量[J]. 食品科学, 2021, 42(4): 175–180.
DUAN YF, WU GB, YE H, *et al.* Simultaneous determination of seven organic acids in wax apple (*Syzygium samarangenese* [Blume] Merrill & L.M. Perry) fruit during postharvest storage by high performance liquid chromatography [J]. Food Science, 2021, 42(4): 175–180.

[16] 汪彬慧, 陈寒青. 莲雾果多糖的结构及抗氧化活性测定[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2020, 43(6): 849–854.
WANG BH, CHEN HQ. Structure and antioxidant activities of polysaccharides from the fruits of wax apple [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2020, 43(6): 849–854.

[17] 李娅楠, 闫雷玉, 张波, 等. 不同苹果品种果实糖酸组分特征研究[J]. 果树学报, 2021, 38(11): 1877–1889.
LI YN, YAN LY, ZHANG B, *et al.* A study on sugar and organic acid components in different apple cultivars [J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(11): 1877–1889.

[18] GRACIA C, CALLE A, GASIC K, *et al.* Genetic and QTL analyses of sugar and acid content in sweet cherry (*Prunus avium* L.) [J]. Hortic Res, 2025, 12(2): e310.

[19] 丁长伟, 张伟, 赵丹, 等. 不同产地库尔勒香梨生育期果实品质变化规律及综合评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(18): 6032–6041.
DING CW, ZHANG W, ZHAO D, *et al.* Variation law and comprehensive evaluation of fruit quality of Korla fragrant pear from different production areas during growth period [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(18): 6032–6041.

[20] 赵阳, 何炎红, 林涛, 等. 胭脂红杏果实发育过程中内源激素与糖酸代谢的关联研究[J]. 果树学报, 2025, 42(9): 2080–2096.
ZHAO Y, HE YH, LIN T, *et al.* Correlation study of endogenous hormones and sugar-acid metabolism during fruit development in yanzhihong apricot [J]. Journal of Fruit Science, 2025, 42(9): 2080–2096.

[21] 冯建文, 栾北辰, 韩秀梅, 等. 不同苹果种质资源果实糖酸品质特征研究[J]. 中国南方果树, 2024, 53(5): 169–177.
FENG JW, LUAN BC, HAN XM, *et al.* Study on fruit sugar and organic acid characteristics in different apple germplasm resources [J]. South China Fruits, 2024, 53(5): 169–177.

[22] 孟培钰, 杜金华, 马瑞娟, 等. 不同产区和品种的桃果实风味和品质差异分[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(2): 211–219.
MENG PY, DU JH, MA RJ, *et al.* Study on difference of flavor and quality of peach fruits from different regions and varieties [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2025, 53(2): 211–219.

[23] LI Y, REN R, PAN R, *et al.* Comparative transcriptome analysis identifies candidate genes related to sucrose accumulation in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) pulp [J]. Frontiers in Plant Science, 2024, 15: 1379750.

[24] PENG Z, SONG S, FU D, *et al.* Combined transcriptome and metabolome analysis reveals the mechanism of fruit quality formation in different watermelon (*Citrullus lanatus*) Germplasms [J]. Scientia Horticulturae, 2025, 339: 113797.

[25] 段敏杰, 伊洪伟, 杨丽, 等. 不同砂梨品种果实糖酸组分及含量分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(9): 2236–2244.
DUAN MJ, YIN HW, YANG L, *et al.* Sugar and acid compositions and their contents in different *Pyrus pyrifolia* varieties [J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(9): 2236–2244.

[26] ZHENG Y, YANG Z, WEI T, *et al.* Response of tomato sugar and acid metabolism and fruit quality under different high temperature and relative humidity conditions [J]. Phyton-International Journal of Experimental Botany, 2022,91(9): 2033–2054.

[27] JIA D, XU Z, CHEN L, *et al.* Analysis of organic acid metabolism reveals citric acid and malic acid play major roles in determining acid quality during the development of kiwifruit (*Actinidia eriantha*) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2023, 103(12): 6055–6069.

[28] 杨路宽, 李红洲, 王振兴, 等. 6 个品种李果实品质差异性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(8): 267–275.
YANG LK, LI HZ, WANG ZX, *et al*. Analysis of fruit quality differences among 6 kinds of *Prunus salicina* L. varieties [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(8): 267–275.

[29] 王建超, 何银莺, 刘鑫铭, 等. 我国 16 份余甘子种质资源果实的综合品质评价 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(3): 125–135.
WANG JC, HE YY, LIU XM, *et al.* Quality evaluation of 16 germplasm resources of *Phyllanthus emblica* fruit in China [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2022, 50(3): 125–135.

[30] 魏秀清, 许玲, 章希娟. 不同莲雾品种果实品质分析[J]. 东南园艺, 2017, 5(6): 29–31.
WEI XQ, XU L, ZHANG XJ. Analysis of fruit quality of some wax apple varieties [J]. Southeast Horticulture, 2017, 5(6): 29–31.

[31] 李树玲, 黄礼森, 丛佩华, 等. 不同种内梨品种果实糖、酸含量分析比[J]. 中国果树, 1995(3): 9–12.
LI SL, HUANG LS, CONG PH, *et al.* Analysis and comparison of sugar and acid contents in fruits of different intraspecific pear varieties [J]. China Fruits, 1995(3): 9–12.

[32] 林媚, 姚周麟, 王天玉, 等. 8 个杂交柑橘品种的糖酸组分含量及特征研究[J]. 果树学报, 2021, 38(2): 202–211.
LIN M, YAO ZL, WANG TY, *et al.* A study on the components and characteristics of sugars and acids in 8 hybrid citrus cultivars [J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(2): 202–211.

[33] 李怡诺, 王洋, 赵小娜, 等. 7 个产区大五星枇杷果实品质差异研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(12): 29–38.
LI YN, WANG Y, ZHAO XN, *et al.* Differences in fruit quality of Dawuxing loquat from seven production regions [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2023, 51(12): 29–38.

(责任编辑: 韩晓红　于梦娇)