

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250429001

引用格式: 刘鹏, 张少梅, 段玉林, 等. 罗汉果果实组分含量特征分析及其品质评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(14): 195–203.

LIU P, ZHANG SM, DUAN YL, *et al.* Analysis of content characteristics and quality evaluation of *Siraitia grosvenorii* fruit components [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(14): 195–203. (in Chinese with English abstract).

# 罗汉果果实组分含量特征分析及其品质评价

刘鹏<sup>1</sup>, 张少梅<sup>2</sup>, 段玉林<sup>1,3</sup>, 韦莹莹<sup>3\*</sup>, 蒋宇佳<sup>3</sup>, 黄祖林<sup>4</sup>

(1. 广西民族大学化学化工学院, 南宁 530006; 2. 广西壮族自治区生态环境监测中心, 南宁 530028;  
3. 广西壮族自治区食品药品审评查验中心, 南宁 530029; 4. 广西壮族自治区人民医院, 南宁 530022)

**摘要:** **目的** 系统分析罗汉果果实的主要化学组分含量特征, 并进行品质评价。**方法** 采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)等方法对永青1号、伯林3号、农院B6、青皮3号等不同品种罗汉果样本测定罗汉果皂苷V、总糖、维生素C、水分及水浸出物等主要成分的含量, 并补充检测了罗汉果皂苷V含量以完善数据体系。数据经标准化预处理后, 运用相关性分析、主成分分析和聚类分析进行多维度解析, 对罗汉果的品质进行分析与评价。**结果** 罗汉果果实的不同指标存在一定差异, 其变异系数介于5.28%至35.38%之间。其中, 存在几组参数具有统计学上显著( $P<0.05$ )或极显著( $P<0.01$ )的相关性, 在进行主成分分析后, 提取出3个主成分, 累计贡献率为91.13%, 通过进行聚类分析(平方欧氏距离11.5), 将其分成4大类, 第I、II类罗汉果综合表现较好, 第IV类罗汉果综合品质相对较差。**结论** 罗汉果分类对罗汉果种植、加工和应用提供了数据参考, 有助于提升其品质和应用价值。

**关键词:** 罗汉果; 主成分分析; 聚类分析; 品质评价

## Analysis of content characteristics and quality evaluation of *Siraitia grosvenorii* fruit components

LIU Peng<sup>1</sup>, ZHANG Shao-Mei<sup>2</sup>, DUAN Yu-Lin<sup>1,3</sup>, WEI Ying-Ying<sup>3\*</sup>,  
JIANG Yu-Jia<sup>3</sup>, HUANG Zu-Lin<sup>4</sup>

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Minzu University, Nanning 530006, China;  
2. Guangxi Zhuang Autonomous Region Ecological and Environmental Monitoring Centre, Nanning 530028, China;  
3. Guangxi Center for Food and Drug Evaluation & Inspection, Nanning 530029, China; 4. The People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China)

**ABSTRACT: Objective** To systematically analyze the main chemical components and evaluate the quality of *Siraitia grosvenorii* fruits. **Methods** High performance liquid chromatography (HPLC) was employed to determine mogroside V, total sugar, vitamin C, moisture and water-soluble extracts in samples of different cultivars (Yongqing 1, Bolin 3, Nongyuan B6 and Qingpi 3), supplemented with additional tests for mogroside V content to enhance data

收稿日期: 2025-04-29

基金项目: 广西卫健委项目(桂地标食20182006号); 南宁市场局项目(2018-0329)

第一作者: 刘鹏(1999—), 男, 硕士, 主要研究方向为食品化妆品质量安全及检测。E-mail: 574025037@qq.com

\*通信作者: 韦莹莹(1979—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为化妆品药品质量安全。E-mail: 36411528@qq.com

integrity. After the data were standardized, multidimensional analysis including correlation analysis, principal component analysis, and hierarchical cluster analysis was conducted to assess fruit quality. **Results** Certain variations were observed in different indicators of *Siraitia grosvenorii* fruits, with coefficients of variation ranging between 5.28% and 35.38%. Several parameter groups exhibited statistically significant correlations at  $P < 0.05$  (significant) or  $P < 0.01$  (highly significant) levels. The 3 principal components were proposed in principal component analysis, and the contribution rate of cumulative variance was 91.13%. Through hierarchical cluster analysis (squared euclidean distance 11.5), the samples were categorized into 4 distinct groups. The *Siraitia grosvenorii* in groups I and II exhibited superior comprehensive performance, while those in group IV demonstrated relatively poorer overall quality. **Conclusion** The classification of *Siraitia grosvenorii* provides a data-driven reference for its cultivation, processing and application, thereby facilitating the enhancement of its quality and practical value.

**KEY WORDS:** *Siraitia grosvenorii*; principal component analysis; hierarchical cluster analysis; quality evaluation

## 0 引言

根据国家药典委员会中华人民共和国药典的描述: 葫芦科植物罗汉果(*Siraitia grosvenorii*), 可用于肺热燥咳, 咽痛失音, 肠燥便秘<sup>[1]</sup>。在中国, 作为天然甜味剂以及对肺充血、感冒和咽喉痛的治疗药物已经有数百年的历史, 有着悠久的种植历史<sup>[2-3]</sup>。近年来, 随着对罗汉果成分研究的不断深入, 其在健康食品和功能性饮品中的应用越来越广泛<sup>[4]</sup>。广西罗汉果资源丰富, 主要在永福、临桂和龙胜等地出产, 是重要的出口商品之一<sup>[5]</sup>。罗汉果的食用方式有很多, 一般作为饮品食用<sup>[6]</sup>, 而主要甜味成分罗汉果皂苷 V, 作为相对健康的优质甜味剂也逐渐被人们利用<sup>[7-10]</sup>, 对罗汉果成分的分类和评价, 有助于罗汉果饮品产业以及甜味剂产业更好地选择或培育罗汉果。

本研究收集了永青 1 号、伯林 3 号、农院 B6、青皮 3 号等 18 个样本的罗汉果产品, 以罗汉果的不同成分含量为数据依据, 进行系统分析。研究参考相关国家标准, 采用高效液相色谱法 (high performance liquid chromatography, HPLC)、直接干燥法等方法, 测定罗汉果中的罗汉果甜苷 V、糖类、维生素和水分等关键成分。采用相关性分析、主成分分析 (principal component analysis, PCA) 和聚类分析 (hierarchical cluster analysis, HCA) 等应用广泛的食品综合指标评价方法<sup>[11-13]</sup>, 对罗汉果进行多指标特征分析与综合评价。目前, 针对罗汉果的研究大都缺乏多指标综合评价体系, 本研究以 PCA 法的因子分析为分类和评价的基础, 可以减少单一成分评价的局限性, 构建多指标体系。旨在为罗汉果的品质管理和市场分级提供参考<sup>[14]</sup>, 帮助相关产业从传统经验判断向现代标准化管理转型, 为种植资源优化与商品定价提供数据驱动型参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与处理

在广西本地市场、广西药用植物园等途径购买本研究所需的相应品种罗汉果样品, 用无菌纱布包裹, 放入密封袋中, 尽量排出空气后密封, 4 °C 冷藏保存。

### 1.2 仪器与试剂

Agilent1260 高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); AL204 分析天平 [感量 0.1 mg, 梅特勒托利多科技 (中国) 有限公司]; SC100-A28 循环恒温水浴仪 [赛默飞世尔科技 (中国) 有限公司]; 101-1BS 电热鼓风干燥箱 (天津市泰斯特仪器有限公司); XBridge C<sub>18</sub> 色谱柱 (4.6 mm×150 mm, 5 μm) (美国 Waters 公司); M0042 大孔吸附树脂柱 AB-8 (北京索莱宝科技有限公司)。

甲醇、氢氧化钠、硫酸铜、盐酸、冰乙酸、乙醇 (分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 乙腈 (色谱纯, 上海国药集团化学试剂有限公司); 酒石酸钾钠、蔗糖、甲基红指示剂、乙酸锌、亚铁氰化钾、亚甲基蓝 (分析纯, 天津市风船化学试剂科技有限公司); 偏磷酸、草酸、抗坏血酸 (分析纯, 天津市致远化学试剂有限公司); 2,6-二氯吡啶酚钠盐 (纯度 91%, 上海研生实业有限公司); 罗汉果皂苷 V (纯度 98.5%, 中国食品药品检定研究院); 实验用水是实验室自制的一级水。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 罗汉果皂苷 V 含量测定

冲洗罗汉果样品, 烘干, 粉碎, 保存于干燥箱。取样品粉末 [过四号筛 (250±9.9) μm] 约 0.5 g, 精密称定, 加入甲醇 50 mL, 密塞, 称定重量, 加热回流 2 h, 放冷, 称定, 用甲醇补足重量, 摇匀, 滤过。精密量取续滤液 20 mL, 回收溶剂至干, 加水 10 mL 溶解, 通过大孔吸附树脂柱

AB-8(内径为 1 cm, 柱高为 10 cm), 以水 100 mL 洗脱, 弃去水液, 再用 20%乙醇 100 mL 和稀乙醇 100 mL 依次洗脱, 收集洗脱液, 回收溶剂至干, 残渣加流动相溶解, 转移至 10 mL 量瓶中, 加流动相至刻度, 摇匀, 即得, 待测。

对照样品: 精密称取 105 °C 下干燥至恒重的罗汉果皂苷 V 对照品 2 mg(精确至 0.0001 g)于 10 mL 容量瓶中, 用甲醇溶液溶解并稀释至刻度, 混匀制成每 1 mL 含 0.2 mg 的溶液。

分别精密吸取对照品溶液与样品待测溶液各 10  $\mu$ L, 注入液相色谱仪, 测定, 以保留时间定性, 峰面积定量。色谱条件: 测定罗汉果皂苷 V 时使用 C<sub>18</sub> 色谱柱(4.6 mm $\times$ 150 mm, 5  $\mu$ m)十八烷基硅烷键合硅胶为填充剂, 以乙腈-水(23:77, V/V)为流动相, 检测波长为 203 nm, 进样量为 10  $\mu$ L, 柱温为 30 °C, 理论塔板数按罗汉果皂苷 V 计算应不低于 3000。

### 1.3.2 水分含量测定

取玻璃制的扁形称量瓶, 置于 101~105 °C 干燥箱中, 加热 1 h, 取出盖好, 置干燥器内冷却 0.5 h, 称量, 并重复干燥至前后两次质量差不超过 2 mg。将混合均匀的试样切碎, 称取 2~10 g 试样(精确至 0.0001 g), 放入此称量瓶中, 试样厚度不超过 5 mm, 加盖, 精密称量后, 干燥(101~105 °C) 2~4 h 后, 盖好取出, 放入干燥器内冷却 0.5 h 后称量。干燥 1 h 左右, 取出, 放入干燥器内冷却 0.5 h 后再称量。并重复以上操作至前后两次质量差不超过 2 mg, 即为恒重。两次恒重值在最后计算中, 取质量较小的一次称量值。

### 1.3.3 水浸出物含量测定

需要把使用的样品粉碎, 使能通过二号筛[(850 $\pm$ 29)  $\mu$ m], 并混合均匀。取样品 2~4 g, 精密称定, 置于 100~250 mL 的锥形瓶中, 精密加水 50~100 mL, 称定重量, 静置 1 h 后, 连接回流冷凝管, 加热至沸腾, 并保持微沸 1 h。放冷后, 取下锥形瓶, 密塞, 再称定重量, 用水补足减失的重量, 摇匀, 用干燥滤器滤过, 精密量取滤液 25 mL, 置于已干燥至恒重的蒸发皿中, 水浴上蒸干后, 于 105 °C 干燥 3 h, 置于干燥器中冷却 30 min, 迅速精密称定重量。

### 1.3.4 可溶性总糖含量测定

称取硫酸铜(CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) 34.6 g 定容至 500 mL, 为费林试剂甲。称取氢氧化钠 50 g 和酒石酸钾钠(KNaC<sub>4</sub>O<sub>6</sub>H<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O) 138 g 定容至 500 mL, 抽滤为费林试剂乙。称取 9.5 g 蔗糖(分析纯)溶解并加入 6 mol/L 盐酸 10 mL 定容至 100 mL, 25 °C 保温 24 h 定容为酸化的 1% 转化糖液。

测定时, 取 1% 转化糖液 25.00 mL, 加入甲基红指示剂一滴, 用 1 mol/L 氢氧化钠溶液中和后用水定容为 1 mg/mL 转化糖标准溶液。称取 100 g 鲜样加水, 捣成质量比 1:1 的匀浆, 称取 50.0 g, 定容至 200 mL。置(80 $\pm$ 2) °C 水浴保温 30 min, 其间摇动, 加入乙酸锌溶液及亚铁氰化

钾溶液各 2~5 mL, 冷却至室温后, 用水定容, 过滤备用。

亚甲基蓝溶液: 称取 0.5 g 亚甲基蓝溶于 100 mL 水中。

乙酸锌溶液: 称取 21.9 g 乙酸锌[Zn(OAc)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O]溶于水中, 加冰乙酸 3 mL, 稀释至 100 mL。亚铁氰化钾溶液: 称取 10.6 g 亚铁氰化钾[K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>·3H<sub>2</sub>O]溶于水, 稀释至 100 mL。

取待测液 100 mL, 加 6 mol/L 盐酸 10 mL。在(80 $\pm$ 2) °C 水浴加热 10 min, 放入冷水槽中冷却后, 加甲基红指示剂 2 滴用氢氧化钠溶液中和, 用水定容。取费林试剂甲、乙各 5.00 mL 或 10.00 mL 混合液, 加入待测糖液约 15 mL, 在电炉上加热至沸, 约沸 15 s 后迅速滴加待测糖液, 至呈现极轻微的蓝色为止, 此时加入 0.5% 亚甲基蓝指示剂 6 滴, 继续滴加待测糖液, 直至溶液蓝色褪尽为止, 记下待测糖液的用量视为预测实验。同样将费林试剂甲、乙混合液加入少 0.5 mL 的待测糖液, 并补加水与标定费林试剂时的反应体积一致, 按费林试剂标定操作滴至终点。前后沸热时间须在 3 min 左右。待测糖液消耗量应控制在 15~50 mL 范围内, 不能大于标定费林试剂所用标准糖液体积。否则应增减称样量重新制备待测液。

### 1.3.5 维生素 C 含量测定

称取 100 mg(准确至 0.1 mg)抗坏血酸标准溶液, 溶于浸提剂中并稀至 100 mL, 现配现用。称取碳酸氢钠 52 mg 溶解在 200 mL 热蒸馏水中, 然后称取 2,6-二氯酚 50 mg 溶解在上述碳酸氢钠溶液中。冷却定容至 250 mL, 过滤至棕色瓶内, 保存在冰箱中。每次使用前, 用标准抗坏血酸标定其滴定度。同时, 另取 10 mL 浸提剂做空白实验。

称取 100 g 样品, 加 100 mL 浸提剂, 迅速捣成匀浆。称 10~40 g 浆状样品, 用浸提剂将样品移入 100 mL 容量瓶, 并稀释至刻度, 摇匀过滤, 得到样液。吸取 10 mL 滤液放入 50 mL 锥形瓶中, 用已标定过的 2,6-二氯酚溶液滴定, 直至溶液呈粉红色 15 s 不褪色为止。同时做空白实验。

## 1.4 含量计算

### 1.4.1 罗汉果皂苷 V 含量

按公式(1)计算罗汉果皂苷 V 含量:

$$K/\% = \frac{C_1 \times f \times V_2 \times V_0}{m \times (1 - \omega_s) \times V_1 \times 1000} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $K$  为样品中罗汉果皂苷 V 含量, %;  $C_1$  为样品待测溶液中罗汉果皂苷 V 含量, mg/mL;  $f$  为样品溶液稀释倍数;  $V_0$  为样品加入甲醇提取液体积, mL;  $V_1$  为样品续滤液体积, mL;  $V_2$  为样品待测溶液定容体积, mL;  $m$  为样品质量, g;  $\omega_s$  为样品水分含量, %。

精确度: 在重复性条件下获得的两次独立测定结果的绝对差值与算术平均值的比值不大于 5.0%。

### 1.4.2 水分的含量

按公式(2)计算水分含量:

$$X/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $X$  为试样中水分的含量, %;  $m_1$  为称量瓶和试样的质量, g;  $m_2$  为称量瓶和试样干燥后的质量, g;  $m_3$  为称量瓶的质量, g; 100 是单位换算系数。

精确度: 在重复性条件下获得的两次独立测定结果的绝对差值不得超过算术平均值的 10%。

#### 1.4.3 水浸出物的含量

按公式(3)计算水浸出物含量:

$$\omega_1/\% = \frac{m_4 \times V_3}{m_0 \times (1 - \omega_s) \times V_4} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $\omega_1$  为样品中水浸出物含量的数值, %;  $m_4$  为样品中水溶性浸出物质量的数值, g;  $V_3$  为样品加浸提液体积的数值, mL;  $m_0$  为样品质量的数值, g;  $\omega_s$  为样品水分含量的数值, %;  $V_4$  为样品量取滤液体积的数值, mL; 100 是单位换算系数。

#### 1.4.4 总糖的含量

按公式(4)计算总糖含量:

$$\omega_3 = \frac{G \times A \times 250}{V_5 \times W \times 1000} \times 100 \quad (4)$$

式中:  $\omega_3$  为可溶性总糖含量, g/100 g;  $W$  为样品称重, g;  $G$  为 10 mL 费林试剂相当的转换糖, mg;  $V_5$  为准确滴定时所用待测液体积, mL;  $A$  为稀释倍数; 250 为定容体积, mL; 1000 和 100 是单位换算系数。

#### 1.4.5 维生素的含量

按公式(5)计算维生素含量:

$$T = \frac{C \times V}{V_7 - V_6} \quad (5)$$

式中:  $T$  为每毫升 2,6-二氯酚酚溶液相当于抗坏血酸的毫克数, mg/mL;  $C$  为抗坏血酸的质量浓度, mg/mL;  $V$  为吸取抗坏血酸的体积, mL;  $V_6$  为滴定抗坏血酸溶液所用 2,6-二氯酚酚溶液的体积, mL;  $V_7$  为滴定空白所用 2,6-二氯酚酚溶液的体积, mL。

维生素 C 按式(6)计算:

$$\omega_4 = \frac{(V_9 - V_8) \times T \times A}{W} \times 100 \quad (6)$$

式中:  $\omega_4$  为维生素 C, mg/100 g;  $V_9$  为滴定样液时消耗染料溶液的体积, mL;  $V_8$  为滴定空白时消耗染料溶液的体积, mL;  $T$  为 2,6-二氯酚酚染料滴定度, mg/mL;  $A$  为稀释倍数;  $W$  为样品重量, g; 100 是单位换算系数。

平行测定的结果, 用算术平均值表示, 取 3 位有效数字。平行测定结果的相对相差不得超过 2%。

### 1.5 数据处理

本研究采用 WPS 2024 工作表进行数据的归纳与整理, 单个样本进行 3 次平行检测, 且单次检测实验进行两次重复(HPLC、滴定检测), 以确保数据的可靠性。使用 Z-score 标准化处理数据后, 利用 SPSS 27.0 和 Origin 2024 软件通过 Pearson 相关性分析、PCA、HCA 等手段分析数

据并绘图整理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种罗汉果品质指标之间的比较

根据 TANG 等<sup>[15]</sup>和 PENG 等<sup>[16]</sup>的研究结果可知, 野生罗汉果的多样性要高于人工栽培的罗汉果, 但也有例外, 周俊亚等<sup>[17]</sup>的研究证明在人工栽培的罗汉果品种中也存在部分罗汉果种类与其他亲缘差异较大。所以从亲缘关系的角度来说, 罗汉果样品的各项指标可能存在一定的变异性, 但总体来说大部分指标的数值较为集中, 后续的数据也体现了这一点。

通过上述实验可以得到罗汉果的基本品质指标数据, 详见表 1。

表 1 罗汉果的基本品质指标

Table 1 Fundamental quality indicators of *Siraitia grosvenorii*

编号	品种	罗汉果皂苷 V/(g/100 g)	水浸出物 /%	总糖 /(g/100 g)	维生素 C /(mg/100 g)	水分 /%
1	永青 1 号	0.94	37.80	17.70	287.00	77.40
2	伯林 3 号	1.15	40.40	26.20	283.00	77.80
3	农院 B6	1.38	41.70	27.30	272.00	81.60*
4	青皮 3 号	1.07	49.00	30.40	332.00	71.30
5	青皮 4 号	1.06	51.50*	34.00	248.00	71.80
6	大叶青皮	1.83**	45.40	29.10	305.00	76.00
7	农家青皮	0.85	41.30	20.30	278.00	68.10
8	青皮 BP	0.72	34.70	19.40	280.00	75.70
9	青皮 BD	1.16	44.10	27.50	57.90*	67.10
10	青皮 ND	1.05	40.50	21.60	294.00	73.00
11	杂交伯林	1.03	44.70	26.70	330.00	74.20
12	红毛 2 号	0.92	44.50	30.90	310.00	70.30
13	野生红毛	0.73	31.20*	8.60*	121.00	78.80
14	农家红毛	0.96	41.30	18.40	299.00	75.90
15	杂交红毛	1.35	44.40	24.10	324.00	68.50
16	白毛果	0.79	36.80	18.30	35.20*	75.60
17	杂交白毛	0.70	41.60	22.40	317.00	74.60
18	长滩果	0.98	37.60	17.30	222.00	74.40
	平均值	1.04	41.58	23.34	255.28	74.01

注: \*表示温和离群值; \*\*表示显著离群值。

表 1 展示了 18 种罗汉果的 5 个基本品质指标的数据, 运用 SPSS 27.0 进行分析得到表 2, 展示了 18 种罗汉果的 5 个基本品质指标数据的描述性统计结果, 其中罗汉果皂苷 V 的数据还来源于表 3。

如表 1 和表 2 所示, 各指标变异系数的变化区间是 5.28%~35.38%, 差异明显。其中, 变异系数最大的指标是维生素 C, 为 35.38%, 品种间差异性显著: 最大值(青皮 3 号, 332.00 mg/100 g)是最小值(白毛果, 35.20 mg/100 g)的 9

倍多, 极差高达 296.80 mg/100 g。总糖和罗汉果皂苷 V 的变异系数次之, 分别为 26.91%、23.44%, 表明这两项指标在不同品种间存在较大差异。相比之下, 水浸出物变异系数较小(11.83%), 水分变异系数则最小(5.28%), 说明不同品种中这两项指标差异很小。

偏度分析显示, 罗汉果皂苷 V 呈现正偏度(偏度值>1, 中等偏度), 说明罗汉果皂苷 V 的高含量品种偏多。而维生素 C 则呈现负偏度(偏度值<-1, 中等偏度), 这提示维生素 C 低含量品种更普遍。其余指标: 水浸出物、总糖、水分均呈现较低偏度值, 处在-1 到 0 之间, 属于轻微偏斜。

表 2 罗汉果基本指标的描述性统计结果  
Table 2 Descriptive statistical results of fundamental indicators in *Siraitia grosvenorii*

统计参数	罗汉果皂苷V (g/100 g)	水浸出物 /%	总糖 (g/100 g)	维生素 C (mg/100 g)	水分 /%
N	31	18	18	18	18
平均值	1.01	41.58	23.34	255.28	74.01
标准偏差	0.24	4.92	6.28	90.31	3.91
方差	0.06	24.20	39.46	8155.59	15.29
最小值	0.58	31.20	8.60	35.20	67.10
最大值	1.83	51.50	34.00	332.00	81.60
变异系数/%	23.44	11.83	26.91	35.38	5.28
偏度	1.247	-0.080	-0.420	-1.695	-0.131
峰度	3.642	0.399	0.244	1.827	-0.416

## 2.2 罗汉果皂苷 V 含量分析

罗汉果皂苷 V 是罗汉果最重要的甜度成分, 其甜度是葡萄糖的 400 倍以上<sup>[18]</sup>, 可对血糖的调节发挥重要作用。刘灿等<sup>[19]</sup>的研究证明罗汉果皂苷作为甜味剂, 可减少葡萄糖的摄取, MURATA 等<sup>[20]</sup>也指出罗汉果皂苷对降血糖的部分作用机制。根据 SINGH 等<sup>[21]</sup>和 WEERAWATANAKORN 等<sup>[22]</sup>的研究, 罗汉果具有抑制癌症和肿瘤细胞的能力, 其中所含罗汉果皂苷 V 起到重要作用<sup>[23]</sup>。综上可看出罗汉果皂苷 V 具有很大的经济和研究价值<sup>[24]</sup>。

故而对罗汉果皂苷 V 这一重要成分的检测数据进行补充, 以提高数据分析的准确性, 表 3 是补充的来源于不同市场批次产品中罗汉果皂苷 V 含量的结果, 旨在通过增强样本随机性以阐明该成分的普遍分布规律。由此数据可得到关于罗汉果皂苷 V 成分的频率分布直方图(图 1)。

通过表 2、表 3 和图 1 可以对罗汉果皂苷 V 含量进行分析。罗汉果皂苷 V 的分布峰度为 3.642, 属于高峰度, 分布较正态分布要陡峭。根据图 1 进行高斯拟合可得分布曲线方程:

$$y=y_0+(A/(w*\sqrt{\pi/2}))\times\exp(-2\times((x-x_c)/w)^2)$$

其中,  $y_0=0.85553\pm 0.70254$ ,  $x_c=0.97152\pm 0.01169$ ,  $w=0.29105\pm 0.02645$ ,  $A=8.5456\pm 0.80577$ 。该拟合曲线近似

正态分布,  $x_c$  表示罗汉果皂苷含量分布的中心位置, 较大的  $A$  值意味着在中心位置附近有较高的含量频率, 即大多数罗汉果样本的罗汉果皂苷 V 含量集中在  $x_c$  这个值附近, 可能代表了罗汉果在生长过程中对皂苷合成的某种最常见的条件。较小的  $w$  值表明罗汉果皂苷含量在样本中的分布较为集中, 误差范围较小, 说明中心位置较为确定, 生长环境基因等对数值影响可能较小。根据变异系数和该拟合可知, 罗汉果皂苷 V 在不同种类罗汉果中, 虽然分布存在一定差异, 但是较为集中, 极端值较少, 这说明市面上的罗汉果产品中, 大部分罗汉果皂苷 V 的含量水平差距不大, 存在小部分罗汉果的皂苷 V 含量偏大或者偏小, 有待进一步研究分析其原因。

表 3 不同品种罗汉果的皂苷 V 的含量  
Table 3 Content of mogroside V in different varieties of *Siraitia grosvenorii*

品类	产品编号	罗汉果皂苷 V/(g/100 g)
罗汉果	LHG-01	1.17
罗汉果	LHG-02	0.98
罗汉果	LHG-03	0.92
罗汉果	LHG-04	1.00
罗汉果	LHG-05	1.23
罗汉果	LHG-06	0.99
罗汉果	LHG-07	1.07
罗汉果	LHG-08	0.97
罗汉果	LHG-09	0.58
罗汉果	LHG-10	0.79
罗汉果	LHG-11	1.18
罗汉果	LHG-12	1.09
罗汉果	LHG-13	0.87

注: 本表格中无离群数据。

在本研究的样本中, 大叶青皮的罗汉果皂苷 V 含量最高, 达到 1.83 g/100 g, LHG-09 的含量最低, 只有 0.58 g/100 g, 前者是后者含量的 3 倍多, 由于罗汉果皂苷 V 是衡量罗汉果品质、经济等价值的核心指标, 这种巨大的差异会导致罗汉果的价值相差巨大。但是根据上述分析, 绝大多数罗汉果的皂苷 V 含量处于 0.8~1.2 g/100 g 之间, 有 21 个样本, 占总样本量的 67.74%。而处于 0.9~1.1 g/100 g 之间的样本有 15 个, 占总样本数的 48.39%。即在那些样本中, 接近半数的罗汉果皂苷 V 含量接近 1 g/100 g。可以看出虽然绝大多数的罗汉果品种罗汉果皂苷 V 的含量差异不明显, 符合上述拟合展示分布规律, 推测罗汉果皂苷 V 合成路径中依赖的关键酶在不同种类的罗汉果中活性较为稳定, 且该合成受环境因素影响较小。但部分品种的含量值有明显偏离, 例如大叶青皮、农院 B6、杂交红毛以及编号 LHG-05 的品种含量超过 1.2 g/100 g, LHG-09、杂交白毛、青皮 BP、野

生红毛等罗汉果品种, 罗汉果皂苷 V 含量低, 不足 0.8 g/100 g, 这可能是由于部分品种的皂苷合成通路关键酶基因表达上有差异, 或可能存在购买的罗汉果生长阶段经历特殊环境, 如昼夜温差大、病虫害危害等。

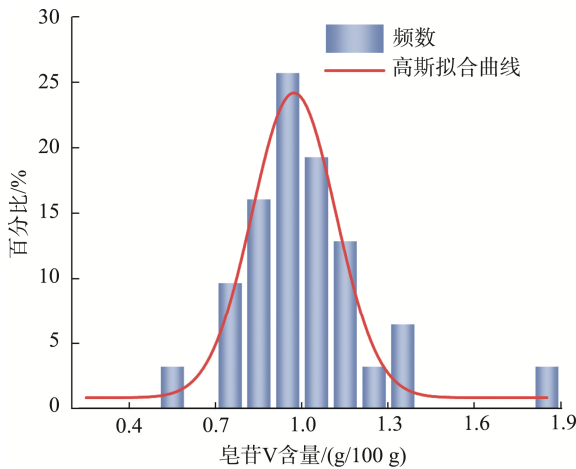
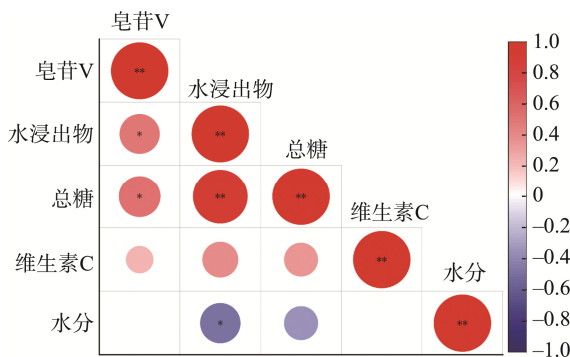


图 1 罗汉果皂苷 V 含量的频率分布直方图

Fig.1 Frequency distribution histogram of mogroside V content

### 2.3 相关性分析

罗汉果中的成分含量与其食用和药用的应用品质密切相关。本研究对检验结果进行相关性的分析, 图 2 所展示的是使用 Origin 2024 分析制作的基于表 1 提供数据的 Pearson 相关性热图。



注: \* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ 。

图 2 Pearson 相关性热图

Fig.2 Pearson correlation heatmap

从图 2 中可以看出, 多个参数之间存在一定的相关性, 图中参数存在统计学上显著( $P < 0.05$ ), 或者极显著( $P < 0.01$ )的相关性。

在测试的组分含量中, 通过 Pearson 相关性系数分析, 总糖与水浸出物呈现出极显著的正相关( $P < 0.01$ ), 这可能意味着水浸出物中含有大量的糖类成分, 与植物水溶性成分的理化特性一致, 揭示总糖可能是水浸出物的主要构成物质, 可以指导品种选育, 即通过提高果实总糖含量可能

有效提升其浸出物得率。

罗汉果皂苷 V 与水浸出物的含量呈现出显著正相关( $P < 0.05$ ), 这可能意味着罗汉果皂苷 V 的含量在水浸出物中占据较大的部分<sup>[25]</sup>。水分和水浸出物的含量呈现出显著负相关( $P < 0.05$ ), 可能表明水分较多的果实不利于可溶性组分传递出去。

维生素 C 和水浸出物含量呈现出一定的正相关趋势, 说明维生素 C 的含量可能与某些浸出物的含量在果实中的形成有一定的正相关性, 但是并没有呈现出统计学的显著或者极显著, 可能是维生素含量变化在水浸出物含量变化中占比不大导致的, 这与理化指标的结果相符合。

罗汉果皂苷 V 和总糖同样呈现出统计学上显著相关性, 考虑到罗汉果皂苷的生物合成需要糖基供体, 可以推测罗汉果体内皂苷的生物合成途径可能与生物体内糖的合成代谢存在关联<sup>[26]</sup>。

水分含量除却与水浸出物含量存在负相关外, 与其他组分的含量无明显相关性, 说明水分含量与其他成分关联性不大。故而在罗汉果种植中可通过灌溉调控等农艺措施优化含水量, 而不显著影响其他有效成分的积累。

### 2.4 PCA

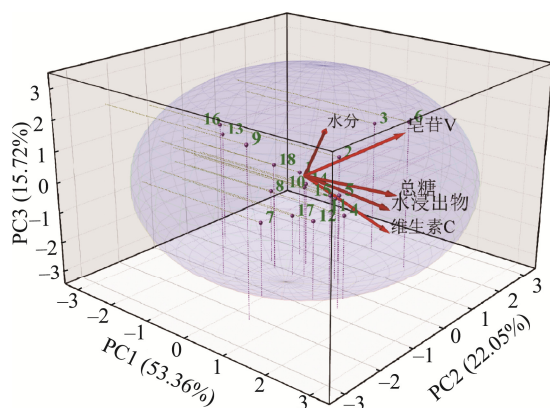
PCA 可用来对多维度指标降维, 获得具有一些复杂关系的因子, 以因子描述样品的差异<sup>[27]</sup>。对 18 种不同种类的罗汉果的罗汉果皂苷 V、水浸出物、总糖、维生素 C、水分这 5 个指标, 进行 PCA, 依据方差贡献率的权重, 得到 3 个权重不同的主成分 PC1、PC2、PC3, 载荷系数展示了不同指标对主成分的影响程度。表 4 和图 3 是 PCA 的结果<sup>[28]</sup>。

表 4 主成分载荷矩阵  
Table 4 Principal component loadings matrix

指标	载荷系数		
	PC1	PC2	PC3
罗汉果皂苷 V (g/100 g)	0.392	0.432	0.580
水浸出物/%	0.584	-0.126	-0.00183
总糖/(g/100 g)	0.569	-0.019	0.107
维生素 C/(mg/100 g)	0.311	0.446	-0.796
水分/%	-0.289	0.773	0.137
特征值	2.668	1.102	0.786
贡献率/%	53.36%	22.05%	15.72%
累计贡献率/%	53.36%	75.40%	91.13%

这 3 个主成分的累计贡献率达到 91.13%, 如图 3 所标注, PC1 的贡献率最大, 达到 53.4%, 结合表 4 的数据可以看出, 主要是水浸出物、总糖、罗汉果皂苷 V 这 3 个成分的含量, 载荷值分别为 0.584、0.569、0.392, 说明主成分 1 对罗汉果品质的影响最大, 主要由水浸出物、总糖、罗汉

果皂苷 V 的含量决定。由相关性分析(图 2)可知, 总糖和水浸出物的含量显现出极显著的正相关, 所以可以称主成分 1 为浸出因子。



注: 球面表示 95%置信区间, 点表示所分析的 18 个不同种类的罗汉果样品, 数字表示样品编号(同表 1), 箭头可以直观地展示载荷, 能够表示 5 个原始指标在 3 个主成分中的重要性。

图 3 不同品种罗汉果的 PCA

Fig.3 PCA of different varieties of *Siraitia grosvenorii*

观察主成分 2 的载荷可以看出, 其主要由水分、维生素、罗汉果皂苷 V 的含量组成, 载荷值依次为 0.773、0.446、0.432, 其中水分含量载荷远超其他两个指标, 故而可以称其为水分因子。主成分 3 的罗汉果皂苷 V 载荷为 0.580, 其数值较大, 且主成分 3 的维生素 C 载荷为 -0.796, 对这个因子影响最大, 因此同理可称其为维生素因子。

纵观 3 个主成分, 均受罗汉果皂苷 V 的含量影响较大, 说明罗汉果皂苷 V 是影响罗汉果品质最重要的因素之一。计算 5 个指标的主成分得分得出 3 个主成分的表达式如下:

$$F_1=0.240X_1+0.358X_2+0.348X_3+0.191X_4-0.177X_5$$

$$F_2=0.412X_1-0.120X_2-0.018X_3+0.425X_4+0.736X_5$$

$$F_3=0.655X_1-0.002X_2+0.120X_3-0.897X_4+0.154X_5$$

式中:  $F_1$  为浸出因子,  $F_2$  为水分因子,  $F_3$  为维生素因子。  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$  为罗汉果皂苷 V、水浸出物、总糖、维生素 C、水分。

在 PCA 的基础上, 以 3 个主成分以方差贡献率作为权重依据, 与各组分的得分相乘并求和, 得到关于罗汉果的综合得分函数:

$$F=0.586F_1+0.242F_2+0.173F_3$$

$F$  越大则说明该罗汉果的综合品质越高, 可以根据这个公式得到表 5, 反映出 18 种罗汉果的得分水平。通过表 5 可知, 综合得分排名较高的依次是: 大叶青皮、农院 B6、青皮 4 号、青皮 3 号、杂交红毛, 这几个品种的罗汉果的综合质量更高, 综合得分排名较低的依次是: 野生红毛、白毛果、青皮 BP、农家青皮、长滩果, 这几个品种的罗汉果的综合质量更差。结合 PCA 和 2.1 中的罗汉果基本参数描述性分析可知, 罗汉果皂苷 V、总糖的含量对该排名影响较大, 这两个指标高的罗汉果往往拥有更高的综合评分,

反之评分更低。罗汉果皂苷 V 在 PC3 载荷最高(0.580), 且 PC1、PC2 载荷均为正(见表 4), 表明其显著影响 3 个主成分, 由于 PC1(浸出因子)和 PC3(维生素因子)的累计贡献率超 69%, 罗汉果皂苷 V 通过高载荷主导了这些主成分, 进而显著提升综合得分。

表 5 18 种罗汉果的 PCA 得分与排名  
Table 5 PCA scores and rankings of 18 kinds of *Siraitia grosvenorii*

排名	样本	得分			
		综合	PC1	PC2	PC3
1	大叶青皮	1.435	1.298	1.676	1.564
2	农院 B6	0.786	0.216	2.003	1.017
3	青皮 4 号	0.703	1.416	-0.690	0.238
4	青皮 3 号	0.541	1.243	-0.303	-0.661
5	杂交红毛	0.430	0.912	-0.321	-0.149
6	伯林 3 号	0.316	0.056	1.032	0.194
7	杂交伯林	0.276	0.555	0.291	-0.690
8	红毛 2 号	0.162	0.813	-0.709	-0.825
9	青皮 BD	0.085	0.416	-2.121	2.056
10	青皮 ND	-0.086	-0.038	0.042	-0.428
11	农家红毛	-0.205	-0.356	0.468	-0.638
12	永青 1 号	-0.352	-0.760	0.752	-0.519
13	杂交白毛	-0.407	-0.241	-0.097	-1.406
14	长滩果	-0.443	-0.763	-0.053	0.096
15	农家青皮	-0.494	-0.037	-1.269	-0.960
16	青皮 BP	-0.735	-1.019	0.143	-1.002
17	白毛果	-0.759	-1.370	-0.956	1.594
18	野生红毛	-1.254	-2.340	0.111	0.519

观察图 3 可以发现, 不同品种的罗汉果样品分布趋势明显, 同时也能描绘出不同样品与各个理化指标之间的关联性。各样本在图中展现一定的区分度, 散点分布在不同的空间中, 且均处于 95%的置信区间内。从图 3 中可以看出总糖、水浸出物、维生素 C 之间含有一定的相关性, 而罗汉果皂苷 V 和水分则相对独立, 其中总糖和水浸出物的关系最为密切, 这也对应着 3 个主成分的选择和不同原始指标的关系。可以看出 16、13、9 号样品距离各项指标距离远, 对应的白毛果、野生红毛、青皮 BD 综合得分低, 各项因子也都较差。而 5、11、15 号样品在图中较为集中, 且分布在主成分因子的正方向, 对应的青皮 4 号、杂交伯林、杂交红毛得分也较为靠前且排名差距不大。

### 2.5 HCA

在表 5 的基础上, 进行 HCA, 使用 Q 型聚类对 18 个不同种类的罗汉果样本进行聚类, 方法是瓦尔德法, 类型是系统聚类, 采用平方欧式距离进行度量, 聚类结果如图 4 所示<sup>[29-32]</sup>。

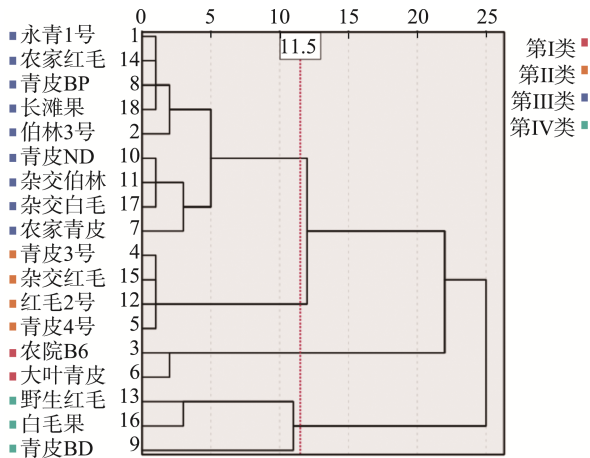


图 4 不同种类罗汉果的 HCA

Fig.4 HCA of different species of *Siraitia grosvenorii*

由图 4 可知, 在平方欧氏距离等于 11.5 时, 为类间差异的临界跳跃点, 符合 PCA 得分结果, 可将不同种类的罗汉果按照品质差异分成 4 大类: 第 I 类包括 2 种罗汉果, 分别为农院 B6、大叶青皮, 得分分别为 0.786、1.435, 平均得分为 1.111, 品质最好; 第 II 类包括 4 种罗汉果, 分别为青皮 3 号、青皮 4 号、红毛 2 号、杂交红毛, 得分最大值为 0.703, 最小值为 0.162, 平均得分为 0.459, 品质良好; 第 III 类包括 8 种罗汉果, 分别为永青 1 号、农家红毛、青皮 BP、长滩果、伯林 3 号、青皮 ND、杂交伯林、杂交白毛、农家青皮。该类罗汉果的得分最大值为 0.316, 最小值为 -0.735, 得分大部分都为负值, 平均得分 -0.237, 品质一般; 第 IV 类包括 3 种罗汉果, 分别为青皮 BD、野生红毛、白毛果, 得分分别为 0.085、-1.254、-0.759, 平均得分为 -0.643, 品质最差。

### 3 讨论与结论

本研究采用 HPLC 等方法, 对罗汉果中的罗汉果皂苷 V、总糖、水浸出物、维生素 C 和水分等成分含量进行了测定, 并运用多元统计方法对不同品种罗汉果的组分含量特征进行了深入分析。

研究结果显示, 不同品种罗汉果的罗汉果皂苷 V、水浸出物、总糖、维生素 C 和水分等成分含量存在一定差异且具有相关性, 其变异系数介于 5.28% 至 35.38% 之间。通过对罗汉果皂苷 V 含量的分析发现, 不同品种间其含量变化较大。依据所测得的数据, 绘制了 31 个样本的罗汉果皂苷 V 频率分布直方图, 并对其非线性回归关系进行了分析。分析结果表明, 罗汉果皂苷 V 在不同种类罗汉果中的分布存在显著差异, 但整体数据较为集中, 极端值较少。

在进行 PCA 后, 提取出 3 个主成分, 分别为浸出因子、水分因子和维生素因子。这 3 个因子能够全面代表原始的 5 种指标。其载荷结果也进一步证实了罗汉果皂苷 V

在罗汉果分类中的重要意义, 罗汉果皂苷 V 的含量可以作为评价罗汉果品质的一个重要指标。

此外, 本研究结合 PCA 的得分结果, 对 18 种罗汉果进行了 HCA, 将其分成了 4 大类。聚类结果与 PCA 综合得分排名结果相似, 这说明得分函数和分类结果可以比较准确地对罗汉果这 5 个重要维度的理化指标进行客观的分析评价。第 I 类罗汉果主要表现为罗汉果皂苷 V 含量极高, 这类罗汉果甜度高且主要成分罗汉果皂苷 V 含量高, 无论是食用、泡用还是提取罗汉果皂苷 V, 都是较好的选择; 第 II 类罗汉果主要表现为总糖和水浸出物含量高, 浸出因子较大, 这些罗汉果总糖含量高, 口感上甜味层次可能更加丰富, 但在控制血糖的健康因素方面相对较差; 第 III 类罗汉果数量最多, 其各项指标比较均衡, 但罗汉果皂苷 V 含量并不突出, 是市面上占比最大的罗汉果类型; 第 IV 类罗汉果各项指标均存在严重偏低的情况, 属于品质较差的罗汉果, 其口感和营养价值较差, 可能有以下原因: 野生品种未经过人工选育存在遗传背景缺陷, 相关成分合成通路受阻; 抗逆基因缺失无法抵御复杂的环境; 染色体倍型异常, 存在三倍体杂交紊乱现象。

本研究为罗汉果的分类和品质评价提供了新的视角, 相较于相关研究, 本研究构建了相关性参考-PCA 降维评价-HCA 的链式分析框架, 使聚类距离更可靠地反映本质差异, 对于罗汉果的育种、种植管理和产品开发具有一定的参考意义, 并且为相关领域<sup>[12,29,32]</sup>的进一步研究奠定了基础。

### 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.  
China Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: One [M]. Beijing: China Pharmaceutical Science and Technology Press, 2020.
- [2] 李皓翔, 范卫锋, 郑依玲, 等. 罗汉果的本草考证[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(6): 1376-1379.  
LI HX, FAN WF, ZHENG YL, et al. Herbal textual research on *Siraitia grosvenorii* [J]. Journal of Li-shizhen Traditional Chinese Medicine, 2020, 31(6): 1376-1379.
- [3] 毛振文. 广西永福县罗汉果优质高产栽培技术[J]. 农村科学实验, 2024(10): 58-60.  
MAO ZW. High-quality and high-yield cultivation techniques of *Siraitia grosvenorii* in Yongfu County, Guangxi [J]. Rural Scientific Experiment, 2024(10): 58-60.
- [4] 孙泽敏, 吕波, 冯永君. 罗汉果甜苷 V 的合成生物学研究进展[J]. 生物工程学报, 2020, 36(10): 2017-2028.  
SUN ZM, LYU B, FENG YJ. Advances in synthetic biology research of mogrosin V [J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2020, 36(10): 2017-2028.
- [5] 李典鹏, 张厚瑞. 广西特产植物罗汉果的研究与应用[J]. 广西植物, 2000(3): 269-275.  
LI DP, ZHANG HR. Research and application of *Siraitia grosvenorii*, a characteristic plant of Guangxi [J]. Guihaia, 2000(3): 269-275.

- [6] GONG X, CHEN N, REN K, *et al.* The fruits of *Siraitia grosvenorii*: A review of a Chinese food-medicine [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2019, 10: 1627.
- [7] CHUN L, LI ML, FENG S, *et al.* Chemistry and pharmacology of *Siraitia grosvenorii*: A review [J]. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2014, 12(2): 89–102.
- [8] SURI S, KATHURIA D, MISHRA A, *et al.* Phytochemical composition and pharmacological impact of natural non-calorie sweetener-monk fruit (*Siraitia grosvenorii*): A review [J]. *Nutrition & Food Science*, 2021, 51(6): 897–910.
- [9] SHARIFIFAR F, ASHRAFZADEH A, KAVIRIMANESH KM. A review of natural peptide sweeteners [J]. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 2022, 28(6): 158.
- [10] XU F, LI DP, HUANG ZC, *et al.* Exploring *in vitro*, *in vivo* metabolism of mogroside V and distribution of its metabolites in rats by HPLC-ESI-IT-TOF-MSn [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2015, 115: 418–430.
- [11] YOUNAS Z, NASEER S, KAZMI A, *et al.* Assessment of diversity among important Brinjal (*Solanum melongena*) cultivars using morphological markers [J]. *Journal of Food Quality*, 2022, 2022(1): 4255554.
- [12] 马朝喜, 肖兴中, 闫妞, 等. 基于主成分分析和聚类分析的草莓品种综合评价[J]. *种子*, 2023, 42(10): 77–82.  
MA CX, XIAO XZ, YAN N, *et al.* Comprehensive evaluation of strawberry varieties based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Seed*, 2023, 42(10): 77–82.
- [13] 马文霞, 倪玉洁, 谢倩, 等. 鲜食百香果果实品质综合评价模型的建立及应用[J]. *食品科学*, 2020, 41(13): 53–60.  
MA WX, NI YJ, XIE Q, *et al.* Establishment and application of comprehensive evaluation model for quality of fresh passion fruit [J]. *Food Science*, 2020, 41(13): 53–60.
- [14] MIN Z, ZHENG LG. Modeling for aroma quality evaluation of Yunnan Pu-erh raw tea made from ancient trees based on principal component analysis [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017(15): 264–269.
- [15] TANG SQ, BIN XY, PENG YT, *et al.* Assessment of genetic diversity in cultivars and wild accessions of Luohanguo (*Siraitia grosvenorii* [Swingle] AM Lu et ZY Zhang), a species with edible and medicinal sweet fruits endemic to southern China, using RAPD and AFLP markers [J]. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2007, 54: 1053–1061.
- [16] PENG Y, TANG S, LI B, *et al.* Genetic diversity of *Siraitia grosvenorii* detected by ISSR markers [J]. *Biodiversity Science*, 2005, 13(1): 36.
- [17] 周俊亚, 唐绍清, 向悟生, 等. 栽培罗汉果遗传多样性的 ISSR 分析[J]. *广西植物*, 2005(5): 431–436, 503.  
ZHOU JY, TANG SQ, XIANG WS, *et al.* Genetic diversity of cultivated *Siraitia grosvenorii* (Luohanguo) based on ISSR markers [J]. *Guihaia*, 2005, 25(5): 431–436, 503.
- [18] BIN C, FANGMING Y, ZHI J. Mogroside V-producing endophytic fungi isolated from *Siraitia grosvenorii* [J]. *Planta Medica*, 2020, 86(13/14): 983–987.
- [19] 刘灿, 马兰青, 孙媛霞. 罗汉果甜苷降糖机制及生物合成研究进展[J]. *天然产物研究与开发*, 2018, 30(11): 2023–2031.  
LIU C, MA LQ, SUN YX, *et al.* Hypoglycemic mechanisms and biosynthesis of mogrosides from *Siraitia grosvenorii* fruit: A review [J]. *Natural Product Research and Development*, 2018, 30(11): 2023–2031.
- [20] MURATA Y, OGAWA T, SUZUKI YA, *et al.* Digestion and absorption of *Siraitia grosvenori* triterpenoids in the rat [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2010, 74(3): 673–676.
- [21] SINGH DP, KUMARI M, PRAKASH HG, *et al.* Phytochemical and pharmacological importance of stevia: A calorie-free natural sweetener [J]. *Sugar Tech*, 2019, 21: 227–234.
- [22] WEERAWATANAKORN M, YANG JR, TSAI ML, *et al.* Inhibitory effects of *Momordica grosvenori* Swingle extracts on 12-O-tetradecanoylphorbol 13-acetate-induced skin inflammation and tumor promotion in mouse skin [J]. *Food & Function*, 2014, 5(2): 257–264.
- [23] 王苗苗, 姜华勇, 张妮, 等. 罗汉果化学成分及药理研究进展[J]. *贵州中医药大学学报*, 2021, 43(5): 80–84.  
WANG MM, LOU HY, ZHANG N, *et al.* Research progress on chemical constituents and pharmacology of *Siraitia grosvenorii* [J]. *Journal of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine*, 2021, 43(5): 80–84.
- [24] XU Q, SU XJ, LIANG RG. Subchronic 90-days oral (gavage) toxicity study of a Luo Han Guo mogroside extract in dogs [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2006, 44(12): 2106–2109.
- [25] 马少妹, 袁爱群, 邓光辉. 罗汉果水提取物的高效液相色谱分离研究[J]. *分析科学学报*, 2007(3): 340–342.  
MA SM, YUAN AIQ, DENG GH. Study on the separation of water extract from *Siraitia grosvenorii* by high performance liquid chromatography [J]. *Journal of Analytical Science*, 2007, 23(3): 340–342.
- [26] 周宸, 巩婷, 陈晶晶, 等. 三萜皂苷生物合成相关糖基转移酶研究进展[J]. *生物工程学报*, 2022, 38(3): 1004–1024.  
ZHOU C, GONG T, CHEN JJ, *et al.* The glycosyltransferases involved in triterpenoid saponin biosynthesis: A review [J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2022, 38(3): 1004–1024.
- [27] AVANZA M, ACEVEDO B, CHAVES M, *et al.* Nutritional and anti-nutritional components of four cowpea varieties under thermal treatments: Principal component analysis [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 51(1): 148–157.
- [28] LUO Z, ZHANG J, XIANG M, *et al.* Exogenous melatonin treatment affects ascorbic acid metabolism in postharvest ‘Jinyan’ kiwifruit [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 1081476.
- [29] 李可, 林籽汐, 刘佳, 等. 基于主成分分析和聚类分析的李子果实品质综合评价[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(8): 293–300.  
LI K, LIN ZX, LIU J, *et al.* Comprehensive evaluation of plums quality based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(8): 293–300.
- [30] ZHANG N, WU W, LI S, *et al.* Comprehensive evaluation of paddy quality by different drying methods, based on gray relational analysis [J]. *Agriculture*, 2022, 12(11): 1857.
- [31] TAŞAN M, DEMİR Y, TAŞAN S. Groundwater quality assessment using principal component analysis and hierarchical cluster analysis in Alaçam, Turkey [J]. *Water Supply*, 2022, 22(3): 3431–3447.
- [32] 李月, 朱俊焯, 刘子涵, 等. 基于主成分分析与聚类分析评价茯砖茶滋味品质[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(21): 283–291.  
LI Y, ZHU JY, LIU ZH, *et al.* Evaluation of taste quality of Fuzhuan tea based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *J Food Safety & Quality*, 2023, 14(21): 283–291.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)