基于双进样液相色谱法结合化学模式识别的不同产地龙眼肉质量差异分析

王文晖[1]，江 娜[1]，韩红亮[1]，申玲玲[2]，何 新[1*]，纪瑞锋[1*]

1．广东药科大学 中药学院，广东 广州 510006

2．岛津企业管理（中国）有限公司广州分公司 分析中心，广东 广州 510640

摘 要：目的 基于双进样液相色谱技术分析不同产地龙眼肉药材中 3 种可溶性糖和 7 种有机酸含量差异，为龙眼肉的质量控制及风味评价提供科学依据。**方法** 收集 5 个产地共 51 批次龙眼肉样本，利用双进样液相色谱仪同步运行检测，可溶性糖（果糖、葡萄糖、蔗糖）以乙腈-水（87∶13）为流动相等度洗脱，采用蒸发光散射检测器（ELSD）检测；有机酸（酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸）以甲醇-水（0.1%磷酸）梯度洗脱，采用光电二极管阵列检测器（PDA）检测。含量测定结果结合主成分分析（PCA）、偏最小二乘法-判别分析（PLS-DA）、聚类分析（HCA）和灰色关联度分析（GRA），综合评价不同产地龙眼肉的质量及风味。**结果** 3 种可溶性糖的含量上存在显著差异，其中蔗糖平均含量（47.38 mg·g^{-1}）显著高于葡萄糖（10.49 mg·g^{-1}）和果糖（14.88 mg·g^{-1}），是区分不同批次龙眼肉的差异性成分，可作为龙眼肉质量控制指标，建议将其含量限度设定为不低于 31.73 mg·g^{-1}；7 种有机酸中，琥珀酸（45.78 mg·g^{-1}）和乳酸（44.18 mg·g^{-1}）平均含量显著高于其他有机酸，是区分不同批次龙眼肉的差异性成分，建议将琥珀酸和乳酸总含量限度设定为不低于 56.15 mg·g^{-1}。GRA 表明，中国广西、中国广东、中国福建 3 个地区来源的龙眼肉相对关联度（R_i）较大，质量较优；基于糖酸特征，将不同批次的龙眼肉分为 6 种风味，来自中国广西、中国广东和中国福建，呈现较好的甜酸平衡性，具有广泛的适应性。**结论** 蔗糖、琥珀酸和乳酸是影响龙眼肉品质的关键成分。中国广西、中国广东、中国福建样本品质优于泰国、越南样本：中国广西样本甜味突出，中国广东与中国福建样本甜酸更平衡，综合各项指标，中国广西龙眼肉综合品质更优。

关键词：龙眼肉；双进样液相色谱仪；可溶性糖；有机酸；含量测定；化学模式识别；灰色关联度分析；蔗糖；琥珀酸；乳酸

中图分类号：R286.02 **文献标志码：**A **文章编号：**1674 - 6376(2025)07 - 1906 - 014

DOI: 10.7501/j.issn.1674-6376.2025.07.019

Analysis of quality differences in *Longan Arillus* from different regions based on dual injection liquid chromatography combined with chemical pattern recognition

WANG Wenhui[1], JIANG Na[1], HAN Hongliang[1], SHEN Lingling[2], HE Xin[1], JI Ruifeng[1]

1. School of Chinese Materia Medica, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China

2. Guangzhou Analytical Applications Center, Shimadzu (China) co., Ltd., Guangzhou 510640, China

Abstract: Objective To analyze the differences in the contents of three soluble sugars and seven organic acids in *Longan Arillus* (*Dimocarpus longan* Lour.) from different origins by using dual-injection liquid chromatography technology, and to provide a scientific basis for the quality control and flavor evaluation of *Longan Arillus*. **Methods** A total of 51 batches of *Longan Arillus* samples from five origins were collected. The dual-injection liquid chromatography system was used for simultaneous detection. The three soluble sugars (fructose, glucose, and sucrose) were eluted isostatically with acetonitrile-water (87∶13) and detected by evaporative light scattering detector (ELSD). The seven organic acids (tartaric acid, malic acid, ascorbic acid, lactic acid, citric acid, succinic acid, and fumaric acid) were eluted with a gradient of methanol-water (0.1% phosphoric acid) and detected by photodiode array detector (PDA). The content determination results were combined with principal component analysis (PCA), partial least squares-discriminant analysis

收稿日期：2024-11-18

基金项目：国家自然科学基金资助项目（82174209）

作者简介：王文晖（1999—），女，硕士研究生，研究方向为中药制剂研究与开发。E-mail: 18876886869@163.com

***通信作者：**纪瑞锋（1990—），男，讲师，研究方向为中药物质基础与质量控制。E-mail: jiruifeng@gdpu.edu.cn

何 新（1966—），女，博士生导师，教授，研究方向为中药药理与中药药动学。E-mail: hexintn@163.com

(PLS-DA), hierarchical cluster analysis (HCA), and grey relational analysis (GRA) to comprehensively evaluate the quality and flavor of *Longan Arillu*s from different origins. **Results**　There were significant differences in the contents of the three soluble sugars. The average content of sucrose (47.38 mg·g^{-1}) was significantly higher than that of glucose (10.49 mg·g^{-1}) and fructose (14.88 mg·g^{-1}), and it was a differential component for distinguishing different batches of *Longan Arillus*, which could be used as a quality control index. It is recommended that the content limit be set at no less than 31.73 mg·g^{-1}. Among the seven organic acids, the average contents of succinic acid (45.78 mg·g^{-1}) and lactic acid (44.18 mg·g^{-1}) were significantly higher than those of other organic acids, and they were differential components for distinguishing different batches of *Longan Arillus*. It is recommended that the total content limit of succinic acid and lactic acid be set at no less than 56.15 mg·g^{-1}. GRA indicated that the *Longan Arillus* from Guangxi, Guangdong and Fujian in China had larger relative correlation degree (R_i) values and better quality. Based on the sugar-acid characteristics, the *Longan Arillus* samples were classified into six flavors. The samples from Guangxi, Guangdong and Fujian in China showed a better balance of sweetness and acidity and had wide adaptability. **Conclusion**　Sucrose, succinic acid and lactic acid are the key components that affect the quality of *Longan Arillus*. The samples from Guangxi, Guangdong and Fujian in China have better quality than those from Thailand and Vietnam. The samples from Guangxi in China, have a prominent sweetness, while the samples from Guangdong and Fujian in China, have a more balanced sweetness and acidity. Based on all the indicators, the comprehensive quality of *Longan Arillu*s from Guangxi in China is better.

Key words: *Longan Arillus*; dual injection liquid chromatography; soluble sugar; organic acids; content determination; grey relational analysis (GRA); sucrose; succinic acid; lactic acid

龙眼 *Dimocarpus longan* Lour. 是无患子科龙眼属植物，其假种皮被历代《中国药典》[1]收录为药食同源药材，即龙眼肉，具有滋补气血[2]、缓解失眠[3]、改善记忆[4]以及治疗血虚萎黄和心悸[5]等多种功效。2023 年全球龙眼种植面积约 52.7 万公顷，产量达 420 万吨，其中中国、泰国和越南为主要产地，占总产量的 90%以上；中国的龙眼总产量和栽培总面积均居全球首位，主要产地为中国广西、中国福建和中国广东等省份[6-7]。

《中国药典》2020 年版规定了龙眼肉的性状、鉴别、检查、浸出物等项目，但对龙眼肉的含量测定未作规定，2024 年 9 月国家药品监督管理局发布的龙眼肉配方颗粒国家药品标准中含量测定以尿苷为指标[8]，中国广西、中国广东等地方省份中药配方颗粒质量标准中规定了果糖、葡萄糖为含量测定指标[9-10]。龙眼肉含有的化学成分类型主要有糖类、有机酸、黄酮类等[11]，其中可溶性糖主要以蔗糖、葡萄糖、果糖的形式存在[12-13]，而有机酸主要为琥珀酸、苹果酸、醋酸等[14-15]。由于龙眼肉黄酮含量极低[16]，因此，本研究对龙眼肉中含量较高的可溶性糖和有机酸进行同步测定，并对其作为含量测定指标的可行性进行研究。此外，由两者计算得到的甜酸比（*SSR*）也是评价龙眼肉风味的关键指标。

常规的高效液相色谱法对于可溶性糖和有机酸的含量测定需要分 2 次先后进行，工作量较大、耗时较长。双进样色谱仪采用双流路、双进样口设计，可实现 2 组方法同时运行或 2 组待测样品同步分析。其优势在于拥有 2 套独立流路的输液泵（二元泵或四元泵），可选择性适配双检测器（紫外吸收、蒸发光散射、质谱等不同类型检测器），自动进样器定制为双进样端口功能，可以同时将同一待测样品或不同待测样品分别注入 2 套色谱流路中，之后同时触发 2 条色谱流路并同时进行不同条件下的样本数据采集；色谱工作站将 2 组测定结果及谱图合二为一，从而实现 2 种色谱条件同时运行、同步分析[17]。针对大批量样本，可以大幅降低分析时间，简化操作、提高效率、减小误差。

为考察龙眼肉中的可溶性糖和有机酸能否作为质量控制指标，本研究收集了 5 个产地 51 批次的龙眼肉药材，采用双进样液相色谱法测定其可溶性糖和有机酸含量，并结合化学模式识别方法联合灰色关联度分析（GRA）对数据进行综合评价，全面评估不同产地龙眼肉质量差异，旨在为龙眼肉药食两用的质量控制和品质评价提供参考。

1　仪器与材料

1.1　仪器

QUINTIX125-1CN 型十万分之一电子分析天平，北京赛多利斯仪器系统有限公司；Eppendorf centrifuge5804 R 型离心机，上海心亮实业有限公司；SB-5200DTD 型超声波清洁仪，南京以马内利仪器设备有限公司；Nexera LC-40 型双进样液相色谱仪［配有 LC-40B XR 和 LC-40D XR（LPGE）输

液泵、CBM-40A 系统控制器、DGU-405×2 脱气机、SPD-M40 检测器、ELSD-III 蒸发光散射检测器、SIL-40C XR 自动进样器、CTO-40C 柱温箱、LabSolutions Version 5.118 色谱工作站］，Shimadzu AY120 万分之一天平，日本岛津公司。

1.2 材料

1.2.1 试剂 对照品果糖、蔗糖（批号分别为 DSTDG007101、DSTDZ003801，质量分数均≥98%），成都曼斯特生物科技有限公司；葡萄糖（批号为 001901-202104，质量分数≥98%），江西佰草源生物科技股份有限公司；柠檬酸、琥珀酸、富马酸、酒石酸、苹果酸（批号分别为 2358744、2351185、2350825、2255370、2357729，质量分数均为 99.9%），上海安谱璀氏标准技术服务有限公司；抗坏血酸（批号为 C13995301，质量分数≥98%），上海麦克林生化科技有限公司；乳酸（批号为 202203-220315，质量分数为 90.0%），中原植提标准品经销中心。甲醇、乙腈（色谱级），德国 Merck 公司；磷酸（色谱级），上海安谱实验科技股份有限公司；水为屈臣氏蒸馏水。

1.2.2 药材 5 个产地共 51 批次龙眼肉分别购于广州市清平药材市场和中国亳州中药材专业市场，产地信息由商家提供，样本经天津药物研究院张铁军研究员鉴定为无患子科龙眼 *Dimocarpus longan* Lour. 的假种皮，具体信息见表 1。

表 1 龙眼肉样品信息

Table 1 Sample information of *Longan Arillus*

序号	产地	购买时间
S1～S5	中国福建南安	2023-07-05
S6～S7	中国福建莆田	2023-07-05
S8～S11	中国广东高州	2023-05-18
S12～S13	中国广东揭阳	2023-05-18
S14～S16	中国广东茂名	2023-05-18
S17	中国广东肇庆	2023-05-10
S18～S37	中国广西贵港	2023-07-05
S38～S42	中国广西玉林	2023-05-18
S43～S45	泰国	2023-05-22
S46～S51	越南	2023-05-22

2 方法与结果

2.1 供试品溶液制备

2.1.1 可溶性糖溶液的制备 参照文献方法[18]，取龙眼肉约 0.1 g，置于具塞锥形瓶中，精密加入乙腈-水（1∶1）混合溶液 50 mL，密塞，称定质量，超声处理 30 min，放冷，再称定质量，用乙腈-水（1∶1）混合溶液补足减失的质量，摇匀，经 0.22 μm 微孔滤膜滤过，取续滤液，即得。

2.1.2 有机酸溶液的制备 基于文献方法[19]并进行优化，取龙眼肉约 1.0 g，精密称定，置于具塞锥形瓶中，精密加入 0.1%磷酸水溶液 10 mL，密塞，称定质量，超声处理 30 min，放冷，再称定质量，用 0.1%磷酸水溶液补足减失的质量，摇匀，以 8 600 r·min^{-1} 离心 10 min，经 0.22 μm 微孔滤膜滤过，取续滤液，即得。将 51 批次龙眼肉各取一颗研磨均匀混合成质控（QC）样本，按照“2.1”项下方法制备供试品溶液用于方法学中专属性、稳定性、重复性及加样回收率试验。

2.2 对照品溶液制备

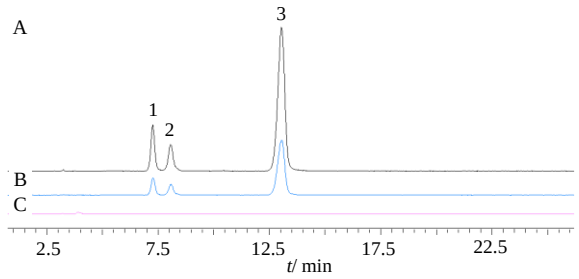
2.2.1 可溶性糖对照品的制备 精密称取果糖、葡萄糖、蔗糖对照品适量，加乙腈-水（1∶1）溶液配制成每毫升含 5.040 mg 果糖、5.010 mg 葡萄糖、6.050 mg 蔗糖的混合对照品储备液备用。

2.2.2 有机酸对照品的制备 精密称取酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸对照品适量，加 0.1%磷酸水溶液配制成每毫升含 2.050 mg 酒石酸、1.980 mg 苹果酸、0.800 mg 抗坏血酸、9.865 mg 乳酸、2.070 mg 柠檬酸、10.030 mg 琥珀酸、0.204 mg 富马酸的混合对照品储备液备用。

2.3 色谱条件

2.3.1 可溶性糖测定色谱条件 采用 InertSustain NH_2 色谱柱（250 mm×4.6 mm，5 μm），柱温 40 ℃；蒸发光散射检测器检测，漂移管温度为 45 ℃，增益设置为 Wide，过滤时间为 4 s，气体压力为 364 kPa。以乙腈-水（87∶13）为流动相等度洗脱，体积流量 1.0 mL·min^{-1}，进样体积 10 μL。在此色谱条件下，各成分色谱峰分离较好，混合对照品溶液及供试品溶液的 HPLC 图见图 1。

2.3.2 有机酸测定色谱条件 采用 Shim-pack GIST C_{18}-AQ（HSS）色谱柱（250 mm×4.6 mm，5 μm），柱温 40 ℃，检测波长为 210 nm；以 0.1%磷酸（A）-甲醇（B）为流动相梯度洗脱，0～10 min，0%B；10.00～10.10 min，0%→2.5%B；10.10～15.00 min，2.5%B；15.00～15.10 min，2.5%→80%B；15.10～18.00 min，80%B；18.00～18.10 min，80%→0%B；18.10～28.00 min，0%B；体积流量 1.0 mL·min^{-1}，进样体积 10 μL。在此色谱条件下，各成分色谱峰分离较好，混合对照品溶液及供试品溶液的 HPLC 图见图 2。

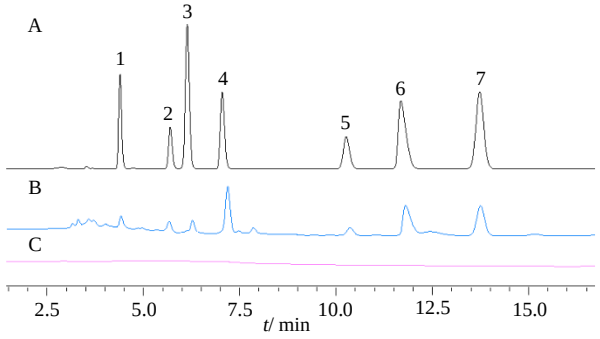


1-果糖；2-葡萄糖；3-蔗糖。

1-fructose; 2-glucose; 3-sucrose.

图 1　混合对照品溶液（A）、龙眼肉样品溶液（B）和空白溶剂（C）色谱图

Fig. 1　Chromatograms of mixed standard solution (A), *Longan Arillus* sample solution (B), and blank solvent (C)



1-酒石酸；2-苹果酸；3-抗坏血酸；4-乳酸；5-柠檬酸；6-琥珀酸；7-富马酸。

1-tartaric acid; 2-malic acid; 3-ascorbic acid; 4-lactic acid; 5-citric acid; 6-succinic acid; 7-fumaric acid.

图 2　混合对照品溶液（A）、龙眼肉样品溶液（B）和空白溶剂（C）色谱图

Fig. 2　Chromatograms of mixed standard solution (A), *Longan Arillus* sample solution (B), and blank solvent (C)

2.4　线性关系考察

精密吸取“2.2.1”项下制备的可溶性糖混合储备液适量，用乙腈-水（1∶1）溶液逐级稀释 2.5、5.0、10.0、25.0、50.0、100.0、200.0 倍，按“2.3.1”项下方法进样分析，以测得的峰面积的常用对数为纵坐标，以对照品浓度的常用对数为横坐标，拟合得线性方程和相关系数（r），结果见表 2。

精密吸取“2.2.2”项下制备的有机酸混合储备液适量，用 0.1%磷酸水溶液逐级稀释 2、5、10、20、50、100 倍，分别精密吸取 6 个混合液各 10 μL 进样，以质量浓度对峰面积做标准曲线，拟合线性方程和 r，结果见表 2。

2.5　精密度考察

取可溶性糖混合对照品溶液，果糖、葡萄糖、蔗糖的质量浓度分别为 201.60、200.40、242.00 mg·L^{-1}。按“2.3.1”项下色谱条件连续进样测定 6 次，计算得各成分峰面积的 RSD 分别为 0.88%、1.05%、0.64%；取有机酸混合对照品溶液，酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸的质量浓度分别为 102.50、99.00、40.00、986.58、103.50、1003.00、10.20 mg·L^{-1}。按“2.3.2”项下色谱条件连续进样测定 6 次，计算得各成分峰面积的 RSD 分别为 0.05%、0.14%、1.96%、0.78%、0.14%、0.09%、0.18%，表明仪器精密度能满足检测要求。

2.6　稳定性考察

取“2.1”项下 QC 样品 2 份，按“2.1”项下方法分别制成供试品溶液，在放置 0、4、8、12、24、36 h 后按“2.3”项下条件进样分析，计算果糖、葡萄糖、蔗糖、酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸峰面积的 RSD，分别为 1.80%、

表 2　回归方程及线性范围

Table 2　Regression equations and linear range

对照品	回归方程	r	线性范围/(mg·mL^{-1})	定量限/(mg·mL^{-1})	检测限/(mg·mL^{-1})
果糖	$Y=X^{1.540\ 72}\times e^{8.195\ 91}$	0.999 3	25.20～2 016.00	4.96	1.64
葡萄糖	$Y=X^{1.492\ 35}\times e^{8.652\ 26}$	0.999 0	25.05～2 004.00	4.73	1.56
蔗糖	$Y=X^{1.395\ 83}\times e^{8.875\ 59}$	0.999 0	30.25～2 420.00	7.37	2.43
酒石酸	$Y=1\ 124.99\ X\ +1\ 057.15$	0.999 9	20.50～1 025.00	0.26	0.09
苹果酸	$Y=624.613\ X+820.763$	0.999 9	19.80～990.00	0.22	0.07
抗坏血酸	$Y=6\ 121.12\ X-13\ 977.7$	0.999 8	8.00～400.00	1.36	0.45
乳酸	$Y=286.204\ X-7\ 342.57$	0.999 8	197.32～9 865.80	5.88	1.94
柠檬酸	$Y=845.078\ X-1\ 986.21$	0.999 9	20.70～1 035.00	2.99	0.99
琥珀酸	$Y=444.092\ X+2\ 865.24$	0.999 7	200.60～10 030.00	34.70	0.32
富马酸	$Y=93\ 373.2\ X+27\ 962.9$	0.999 9	2.04～204.00	0.15	0.12

1.78%、1.73%、1.02%、0.14%、1.08%、1.33%、1.46%、0.20%、0.17%，表明供试品溶液在 36 h 内较稳定。

2.7 重复性考察

取“2.1”项下 QC 样品各 6 份，按“2.1”项下方法分别制成供试品溶液，按“2.3”项下色谱条件进样，计算果糖、葡萄糖、蔗糖、酒石酸、苹果酸、抗坏血酸、乳酸、柠檬酸、琥珀酸、富马酸平均含量的 RSD 分别为 1.56%、1.38%、0.59%、1.66%、0.47%、0.19%、0.12%、0.16%、0.15%、0.10%。表明该方法重复性良好。

2.8 加样回收率考察

各取已知含量的龙眼肉样本（QC）6 份，分别加入相同体积的混合对照品溶液（可溶性糖混合对照品溶液每毫升含 0.120 mg 果糖、0.097 mg 葡萄糖、0.231 mg 蔗糖；有机酸混合对照品溶液每毫升含 0.051 mg 酒石酸、0.088 mg 苹果酸、0.033 mg 抗坏血酸、1.205 mg 乳酸、0.073 mg 柠檬酸、1.285 mg 琥珀酸、0.018 mg 富马酸），按“2.1”项下方法分别制成供试品溶液，按“2.3”项下色谱条件进样测定各成分含量，计算回收率，结果显示，各成分平均加样回收率分别为 94.97%、95.24%、95.62%、92.13%、92.28%、95.66%、94.55%、92.80%、92.83%、99.71%，RSD 分别为 0.63%、1.10%、0.74%、1.20%、0.35%、1.13%、1.29%、1.17%、1.20%、1.18%。表明建立方法的准确度良好。

2.9 样品含量测定

2.9.1 可溶性糖含量测定 取 51 批龙眼肉药材，精密称定，按“2.1.1”项下方法各制备 3 份供试品溶液，按照“2.3.1”项下方法测定各峰面积，计算果糖、葡萄糖、蔗糖的含量。51 批龙眼肉药材果糖、葡萄糖、蔗糖的平均质量分数分别为 14.88、10.49、47.38 mg·g^{-1}，其中果糖质量分数为 4.24～24.91 mg·g^{-1}，葡萄糖质量分数为 1.49～20.63 mg·g^{-1}，蔗糖质量分数为 21.89～89.22 mg·g^{-1}。如图 3-A 所示，51 批次龙眼肉汇总分析结果表明，总糖质量分数为 44.18～113.15 mg·g^{-1}，平均值为 73.46 mg·g^{-1}，变异系数（CV）为 21.53%（表 3），相同产地之间差异较大，例如：S22（中国广西贵港）总糖质量分数为 113.15 mg·g^{-1} 远高于其他批次，而 S20（中国广西贵港）总糖质量分数仅为 44.18 mg·g^{-1} 最低。不同产地之间龙眼肉可溶性糖组分均表现为蔗糖质量分数最高，为 47.38 mg·g^{-1}，CV 在 3 种可溶性糖中最低为 30.01%，含量差异较小，占总糖质量分数的 65.13%，其次是果糖质量分数、葡萄糖质量分数；葡萄糖质量分数最低，为 10.49 mg·g^{-1}，CV 为 39.15%，说明葡萄糖的含量差异在 3 种可溶性糖中最大。果糖、葡萄糖、蔗糖含量按产地统计分析结果见图 3-B，平均总糖质量分数由高到低依次是：中国广西＞中国广东＞中国福建＞泰国＞越南，但不同产地之间未表现出显著的产地差异性。

总糖质量分数＝果糖质量分数＋葡萄糖质量分数＋蔗糖质量分数

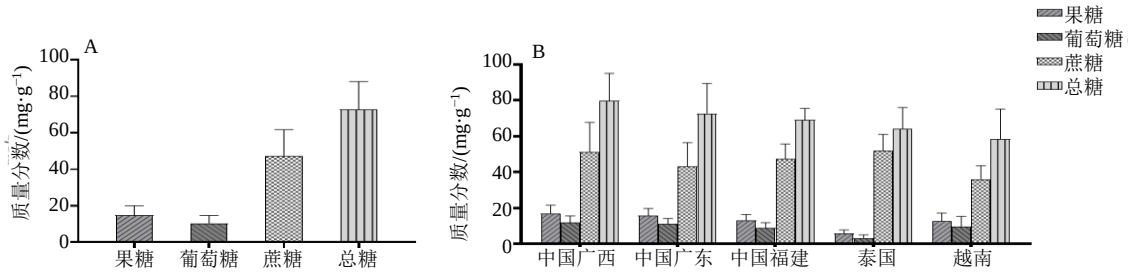


图 3 51 批龙眼肉药材可溶性糖含量汇总（A）及按产地（B）分析结果（$\bar{x}\pm s$, n=51）

Fig. 3 Summary of soluble sugar content of 51 batches of *Longan Arillus* (A) and analysis results by origin (B) ($\bar{x}\pm s$, n = 51)

表 3 可溶性糖含量变化

Table 3 Changes in soluble sugar content

统计指标	质量分数/(mg·g^{-1})			
	果糖	葡萄糖	蔗糖	总糖
均值	14.88	10.49	47.38	73.46
SD	5.01	4.11	14.22	15.82
CV/%	33.65	39.15	30.01	21.53
占总糖比例/%	20.26	14.29	64.50	100.00

2.9.2 有机酸含量测定 如图 4-A 所示，51 批龙眼肉中总酸质量分数为 36.11～218.15 mg·g^{-1}，平均值为 96.66 mg·g^{-1}，CV 为 36.98%（表 4），其中 S1、S2（中国福建南安）总酸质量分数远高于其他批次，分别为 218.15、181.49 mg·g^{-1}。S44（泰国）、S26（中国广西贵港）总酸质量分数最低，分别为 36.11、36.33 mg·g^{-1}。不同产地之间龙眼肉中有机酸均为琥珀酸质量分数及乳酸质量

分数较高，在有机酸总量中占比分别为 47.36%、45.71%，平均值分别为 45.78、44.18 mg·g^{-1}。有机酸质量分数由高到低分别为琥珀酸＞乳酸＞苹果酸＞抗坏血酸＞酒石酸＞柠檬酸＞富马酸。琥珀酸和乳酸是龙眼肉中最主要的有机酸。如图 4-B 所示，总酸质量分数平均值由高到低依次是：中国福建＞越南＞中国广西＞中国广东＞泰国，不同产地之间表现出较小的产地差异性。

总酸质量分数＝琥珀酸质量分数＋乳酸质量分数＋苹果酸质量分数＋抗坏血酸质量分数＋酒石酸质量分数＋柠檬酸质量分数＋富马酸质量分数

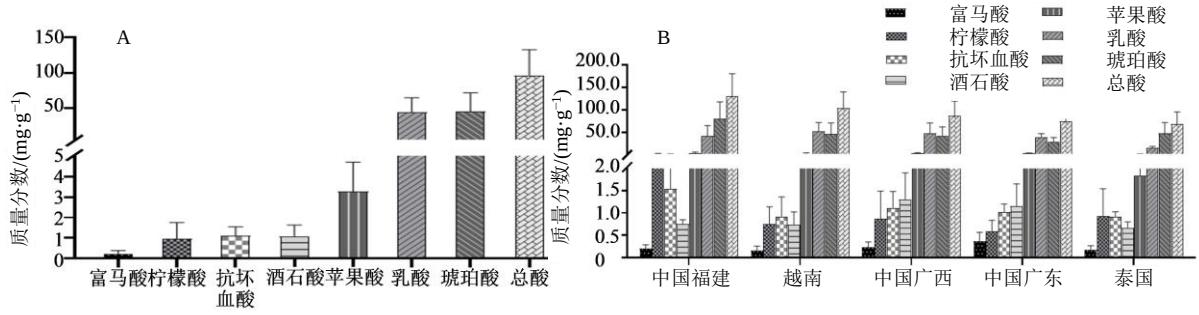


图 4　51 批龙眼肉药材有机酸含量汇总（A）及按产地（B）分析结果（$\bar{x}$ ±s, n=51)

Fig. 4　Summary of organic acids content of 51 batches of *Longan Arillus* (A) and analysis results by origin (B) ($\bar{x}$ ±s, n = 51)

表 4　有机酸含量变化

Table 4　Changes in organic acid content

统计指标	质量分数/(mg·g^{-1})							
	酒石酸	苹果酸	抗坏血酸	乳酸	柠檬酸	琥珀酸	富马酸	总酸
均值	1.09	3.29	1.12	44.18	0.96	45.78	0.24	96.66
SD	0.53	1.42	0.43	20.71	0.79	25.98	0.14	35.74
CV/%	48.74	43.11	38.82	46.88	82.69	56.75	59.21	36.98
占总酸比例/%	1.13	3.40	1.16	45.71	0.99	47.36	0.25	100.00

2.10　数据处理

应用 WPS 2019 软件对数据进行处理分析，使用 Origin 2022 软件进行相关性分析、系统聚类分析，使用 SPSS 27.0，SIMCA 14.1 进行主成分分析（PCA）、偏最小二乘法-判别分析（PLS-DA）和聚类分析（HCA）。

2.11　HCA

2.11.1　可溶性糖 HCA　应用 SPSS 27.0 软件，以 3 个可溶性糖峰面积为变量，进行系统聚类（图 5）。采用平方欧氏距离为区间，组间联接进行聚类，当类间距离为 15 时，51 批次药材可分为 4 大类。其中，第 I 类主要来自中国福建、中国广东、中国广西及越南，第 II 类主要来自泰国，第 III 类主要来自中国广东、中国广西，第 IV 类来自中国广西贵港。结果表明 51 批次药材虽产地不同，但来自于同一地区批次聚类较集中。然而，个别产地的药材未能聚为同一类，例如 S22 和 S26 单独聚为一类，表明即使同一产地的不同批次药材之间也存在一定的差异性。

2.11.2　有机酸 HCA　同上可溶性糖 HCA 分析步骤，结果见图 6。当类间距离为 10～15 时，51 批次药材可聚为 2 大类，S1、S2 聚为一类均来自中国福建南安，其余 49 批次聚为一类。结果表明，尽管这些药材的产地不同，但来自于同一地区批次聚类较集中，51 批次龙眼肉药材中有机酸含量与产地未表现出显著的相关性。

2.12　PCA

2.12.1　可溶性糖 PCA　为进一步探究不同产地批次间龙眼肉药材的质量差异性，将 51 批次药材可溶性糖峰面积作为变量分别导入至 SPSS 27.0 软件和 SIMCA 14.1 软件中进行 PCA。通过旋转得到 KMO 值 0.508，巴特利特检验显著性为（P＜0.001），表明适合做因子分析且变量间高度相关。采用 Par 进行数据归一化处理后，自动拟合 PCA 模型。以主成分特征值＞1 为提取标准，共得到 2 个主成分，

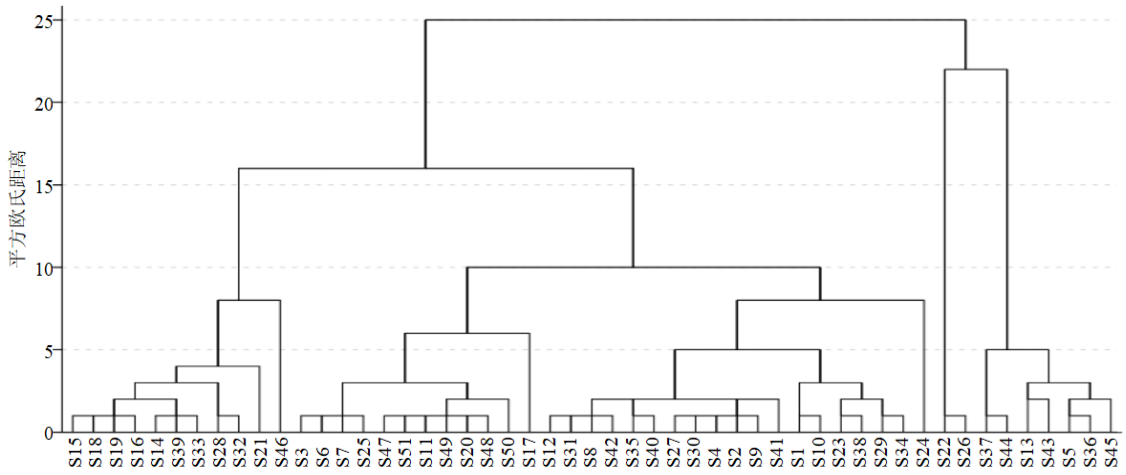


图 5　可溶性糖 HCA 图

Fig. 5　HCA diagram of soluble sugars

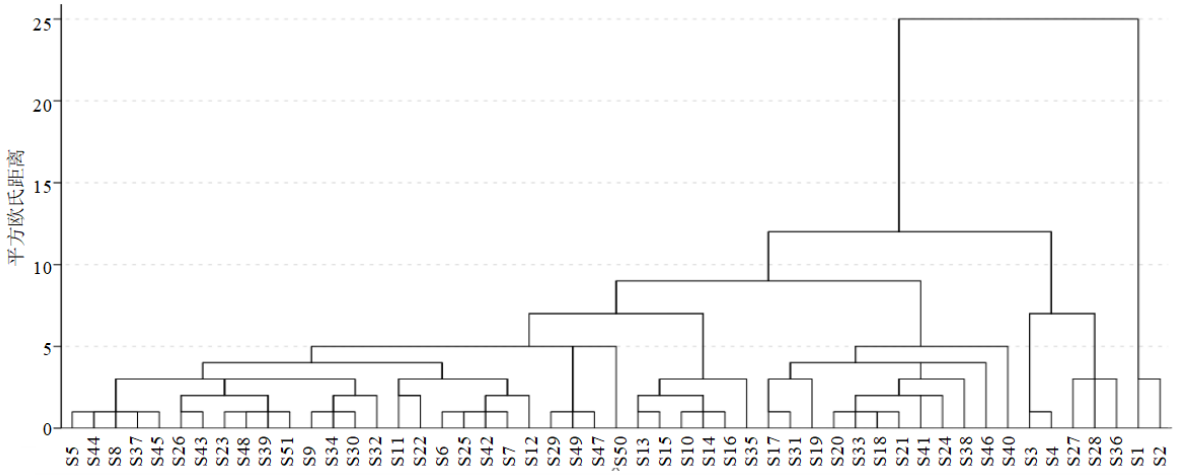


图 6　有机酸 HCA 图

Fig. 6　HCA diagram of organic acids

方差贡献率分别为 64.40%、33.67%，累积方差贡献率为 98.07%，说明这 2 个主成分可反映龙眼肉药材的整体质量，可作为质量标志物的候选。以 PC1，PC2 建立坐标系，得到 51 批次龙眼肉药材的 PCA 得分（图 7）。样品根据这 2 个主成分可划分为 3 类（表 5）。

主成分载荷矩阵客观反映了各变量对主成分的贡献大小和作用方向，根据表 6 可知，第 1 主成分与果糖、葡萄糖呈正相关，第 2 主成分与果糖、葡萄糖呈负相关，说明第 2 主成分越高则果糖、葡萄糖含量越低，推测果糖、葡萄糖可能与药材质量呈负相关。根据各主成分值及贡献率计算综合得分（F），综合得分的排名越高说明药材质量越好，51 批龙眼肉药材的前 15 名 F 结果见表 7。S22、S24、S46 药材质量较优。

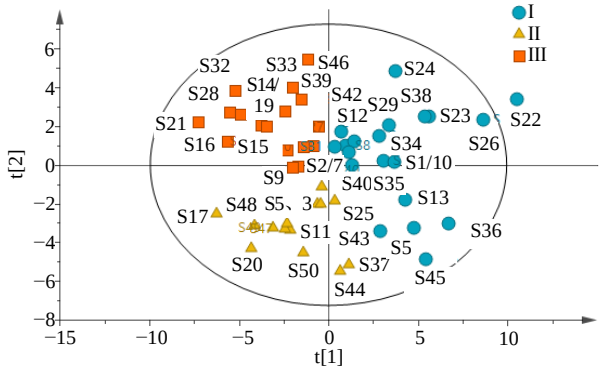


图 7　可溶性糖 PCA 得分图

Fig. 7　PCA score plot of soluble sugars

F=64.353/98.069×F_1+33.715/98.069×F_2

表 5　可溶性糖 PCA 分类

Table 5　PCA classification table of soluble sugars

类别	数量	样品编号
I	20	S1、S5、S8、S10、S12、S13、S22、S23、S24、S26、S29、S31、S34、S35、S36、S38、S40、S42、S43、S45
II	14	S3、S6、S7、S11、S17、S20、S25、S37、S44、S47、S48、S49、S50、S51
III	17	S2、S4、S9、S14、S15、S16、S18、S19、S21、S27、S28、S30、S32、S33、S39、S41、S46

表 6　可溶性糖因子载荷矩阵

Table 6　Soluble sugar factor load matrix table

化合物	主成分 1	主成分 2
果糖	0.977	−0.071
葡萄糖	0.983	−0.129
蔗糖	−0.101	0.995

2.12.2　有机酸 PCA　将 51 批龙眼肉药材有机酸峰面积作为变量进行 PCA，KMO 值为 0.563，巴特利特检验显著性 $P<0.001$，表明适合做因子分析且变量间高度相关。以主成分特征值＞1 为提取标准，共得到 3 个主成分，方差贡献率分别为 34.84%、29.38%、18.95%，累积方差贡献率达 83.18%，说明这 3 个主成分可反映龙眼肉药材的整体质量，可作为质量标志物候选。PCA 得分图见图 8，51 批龙眼肉药材大致分为 3 类（表 8）。

根据因子载荷矩阵（表 9）可知，第 1 主成分与琥珀酸、柠檬酸、抗坏血酸、乳酸、苹果酸呈正相关，第 2 主成分与琥珀酸、柠檬酸、富马酸呈负相关，第 3 主成分与富马酸、苹果酸、抗坏血酸、乳酸呈正相关，与琥珀酸、柠檬酸、酒石酸呈负相关。根据各主成分值及贡献率计算综合得分（F），综合得分的排名越高质量越好，51 批龙眼肉药材的前 15 名 F 结果见表 10。S1 和 S2 药材质量较优。

表 7　可溶性糖主成分值及综合主成分值

Table 7　Soluble sugar principal component values and comprehensive principal component values

编号	F_1	F_2	F	排名	编号	F_1	F_2	F	排名
S46	1.961 9	0.427 2	1.434 3	1	S38	0.319 9	1.600 1	0.760 0	9
S24	1.231 8	1.490 0	1.320 6	2	S14	1.129 6	−0.238 7	0.659 2	10
S22	0.158 7	2.950 1	1.118 4	3	S29	0.379 5	1.077 4	0.619 4	11
S33	1.494 4	0.009 1	0.983 7	4	S28	1.414 2	−0.967 0	0.595 6	12
S32	1.730 5	−0.775 8	0.868 9	5	S19	1.271 8	−0.874 6	0.533 9	13
S39	1.257 4	0.052 6	0.843 2	6	S41	0.675 3	0.103 0	0.478 6	14
S26	−0.017 1	2.368 4	0.803 0	7	S42	0.514 4	0.397 8	0.474 3	15
S23	0.307 1	1.664 5	0.773 8	8					

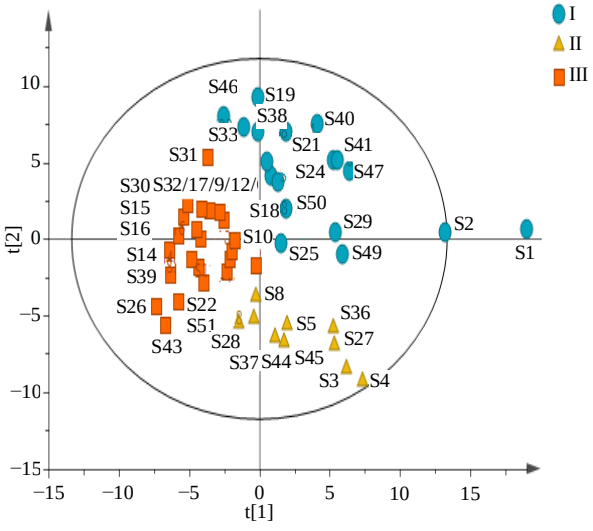


图 8　有机酸 PCA 得分图

Fig. 8　PCA score plot of organic acids

表 8　有机酸 PCA 分类

Table 8　PCA classification of organic acids

类别	样本数	样品编号
I	18	S1、S2、S7、S18、S19、S20、S21、S24、S25、S29、S33、S38、S40、S41、S46、S47、S49、S50
II	10	S3、S4、S5、S8、S27、S28、S36、S37、S44、S45
III	23	S6、S9、S10、S11、S12、S13、S14、S15、S16、S17、S22、S23、S26、S30、S31、S32、S34、S35、S39、S42、S43、S48、S51

$$F = 34.844/83.175 \times F_1 + 29.382/83.175 \times F_2 + 18.949/83.175 \times F_3$$

表 9　有机酸因子载荷矩阵

Table 9　Organic acid factor load matrix table

化合物	主成分 1	主成分 2	主成分 3	化合物	主成分 1	主成分 2	主成分 3
琥珀酸	0.934	−0.027	−0.145	乳酸	0.037	0.884	0.045
柠檬酸	0.885	−0.089	−0.183	酒石酸	−0.115	0.825	−0.122
抗坏血酸	0.822	0.237	0.351	苹果酸	0.272	0.729	0.490

表 10　有机酸主成分值及综合主成分值表

Table 10　Organic acid principal component values and comprehensive principal component values

编号	F_1	F_2	F_3	F	排名	编号	F_1	F_2	F_3	F	排名
S1	3.480 1	1.028 5	1.207 7	2.096 4	1	S24	0.495 0	1.040 4	−0.411 6	0.481 1	9
S2	3.098 2	0.481 7	1.010 8	1.698 4	2	S20	−0.074 2	1.056 0	0.362 3	0.424 5	10
S41	0.377 9	1.681 0	0.444 6	0.853 4	3	S35	−0.178 1	−0.436 8	2.649 7	0.374 8	11
S40	0.760 2	1.955 5	−0.955 0	0.791 7	4	S18	−0.256 2	1.345 6	0.024 9	0.373 7	12
S38	−0.043 3	2.012 1	0.150 6	0.727 0	5	S28	0.986 8	−0.812 2	1.038 5	0.363 1	13
S46	−0.180 1	1.068 7	1.131 8	0.559 9	6	S33	−0.417 3	1.166 9	0.435 9	0.336 7	14
S21	−0.046 1	1.624 3	−0.229 2	0.502 2	7	S31	−0.708 3	2.089 6	−0.556 3	0.314 7	15
S27	1.988 6	−1.048 2	0.118 8	0.489 9	8						

2.13　PLS-DA

为了进一步筛选对龙眼肉质量影响较大的成分，在 PCA 的基础上，利用 PLS-DA，得到的变量重要性投影图（VIP），见图 9，以 VIP＞1.0 为标准，确定蔗糖、乳酸、琥珀酸可作为区分不同批次龙眼肉药材的差异性成分。

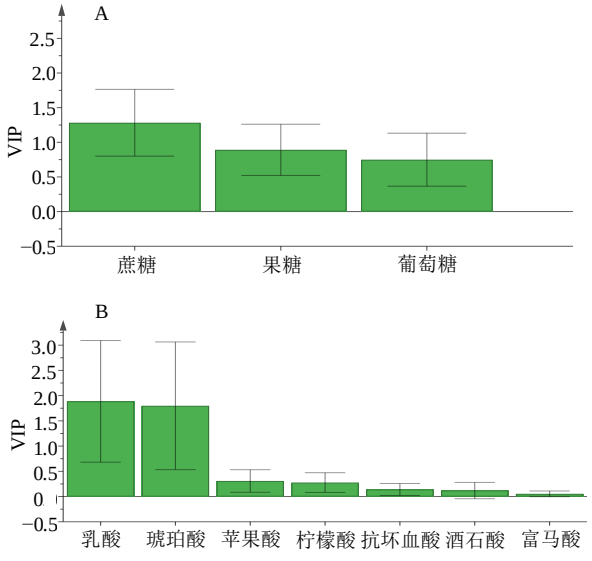


图 9　可溶性糖（A）和有机酸（B）的 VIP 图

Fig. 9　VIP chart of soluble sugars (A) and organic acids (B)

2.14　GRA

由于 51 批次龙眼肉可溶性糖和有机酸 2 类成分之间含量差异较大，基于 GRA 法[20]计算各因素间的相互关联度对比，综合评价哪些因素在龙眼肉药材中起到主导作用。将 51 批次龙眼肉药材依据所得相对关联度（R_i）大小进行降序排序，R_i 越大则质量较优。

根据表 11 整体排名趋势，排名前 15 大多来自中国广西、中国广东、中国福建 3 个地区，表明这几个地区龙眼肉药材质量相对较优，与之相比，泰国及越南批次大多排名靠后，表现不佳。此外，同一产地的药材批次间表现出明显差异，例如中国福建南安的质量优于莆田，中国广西玉林的质量优于贵港，中国广东茂名的质量优于揭阳、肇庆、高州。

2.15　糖酸品质分析

参考文献报道[21]，将蔗糖、果糖、葡萄糖甜度分别设定为 1.00、1.75、0.70，根据“2.9”项下测得的 51 批龙眼肉中各成分质量分数，计算甜度值（*SV*）和 *SSR*。

SV＝1.75×果糖质量分数＋1.00×葡萄糖质量分数＋0.70×蔗糖质量分数

SSR＝*SV*/总酸质量分数

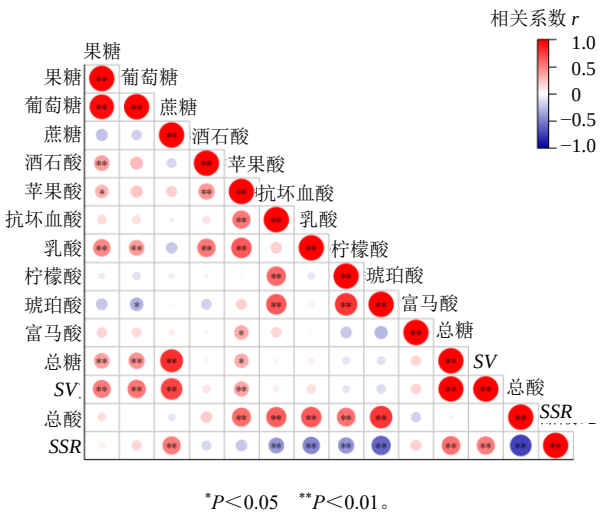
2.15.1　糖酸相关性分析　将 51 批次龙眼肉糖酸组分含量导入至 Origin 2022 软件，应用 Pearson 相关性分析方法，计算相关系数 *r* 并设置显著性阈值 *P* 设为 0.05，热图中红色越红（r≈1）正相关越强；蓝色越蓝（r≈−1）负相关越强；白色（r≈0）无显

表 11　51 批次龙眼肉质量排序

Table 11　Quality ranking of 51 batches of *Longan Arillus*

编号	R_i	排名	编号	R_i	排名	编号	R_i	排名	编号	R_i	排名
S1	0.530 5	1	S27	0.439 9	14	S17	0.404 5	27	S9	0.382 3	40
S2	0.507 4	2	S4	0.434 3	15	S42	0.401 8	28	S26	0.379 5	41
S41	0.478 3	3	S15	0.434 2	16	S47	0.399 1	29	S34	0.377 2	42
S40	0.477 6	4	S13	0.430 7	17	S10	0.398 8	30	S5	0.367 6	43
S38	0.475 5	5	S35	0.426 3	18	S8	0.397 8	31	S39	0.366 6	44
S46	0.471 0	6	S20	0.420 3	19	S7	0.396 3	32	S50	0.364 3	45
S24	0.470 3	7	S32	0.419 4	20	S3	0.394 0	33	S45	0.356 5	46
S23	0.465 5	8	S22	0.416 5	21	S25	0.391 8	34	S37	0.349 7	47
S21	0.462 7	9	S14	0.414 5	22	S11	0.388 7	35	S48	0.348 1	48
S18	0.450 7	10	S12	0.410 7	23	S6	0.387 9	36	S44	0.347 1	49
S28	0.447 6	11	S16	0.408 9	24	S49	0.386 3	37	S43	0.340 4	50
S31	0.447 0	12	S29	0.407 8	25	S23	0.386 1	38	S51	0.339 4	51
S19	0.443 1	13	S36	0.406 3	26	S30	0.383 1	39			

著关联。通过色阶梯度，结合显著性（$P \leqslant 0.05$，$P \leqslant 0.01$），直观呈现糖酸组分间的关联强度。结果表明各项指标存在一定相关性（见图 10）。



$^{*}P<0.05$　$^{**}P<0.01$。

图 10　相关性分析图

Fig. 10　Correlation analysis chart

总糖质量分数和 *SV* 均与果糖质量分数、葡萄糖质量分数、蔗糖质量分数呈正相关（$P<0.01$），与总糖质量分数和 *SV* 相关性最强的均为蔗糖质量分数，*r* 分别为 0.816、0.723。葡萄糖质量分数与果糖质量分数表现出极显著正相关（$r=0.940$）。总酸质量分数与苹果酸质量分数、抗坏血酸质量分数、乳酸质量分数、柠檬酸质量分数、琥珀酸质量分数均呈现正相关（$P<0.01$），琥珀酸质量分数与总酸质量分数相关性最强（$r=0.790$）。有机酸之间也表现出正相关，例如：柠檬酸质量分数与琥珀酸质量分数（$r=0.783$）、苹果酸质量分数与乳酸质量分数（$r=0.647$）。

SSR 与总糖质量分数、*SV* 均呈现正相关，与总酸质量分数成极显著负相关（$r=-0.724$）。*SSR* 与单个指标也表现出相关性，例如：与蔗糖质量分数（$r=0.513$）呈正相关，与琥珀酸质量分数（$r=-0.586$）、乳酸质量分数（$r=-0.473$）、柠檬酸质量分数（$r=-0.419$）、抗坏血酸质量分数（$r=-0.389$）呈负相关。

2.15.2　糖酸 CA　结合“2.15.1”结果，*SSR* 与总糖质量分数表现出显著正相关，与总酸质量分数和多种有机酸表现出显著负相关，选择总糖质量分数、总酸质量分数、*SSR* 这 3 项指标作为 51 批次龙眼肉糖酸组分含量聚类指标，导入至 origin 2021 软件，采用组间连接法，以平方欧氏距离作为样品的测度进行 CA，应用 Heat mapper 生成聚类热图（图 11）。其中横坐标代表各指标含量，纵坐标代表 51 批次龙眼肉，各色块的颜色特征参数反映了相应指标含量的相对变化情况。

所有样本被聚成 6 类（表 12）。参考文献报道[20, 22]糖酸特征分类，依据各指标均值分为高、中、低 3 个等级。第 1 类样本共 2 个，糖酸组分特征为中糖高酸，总糖含量中等，总酸含量最高，SSR 最小，偏酸，分别为 S1、S2，均来自中国福建南安。第 2 类样本中共 28 个，糖酸组分特征为中糖中酸，SSR 中等，主要来自中国广西、中国广东、中国

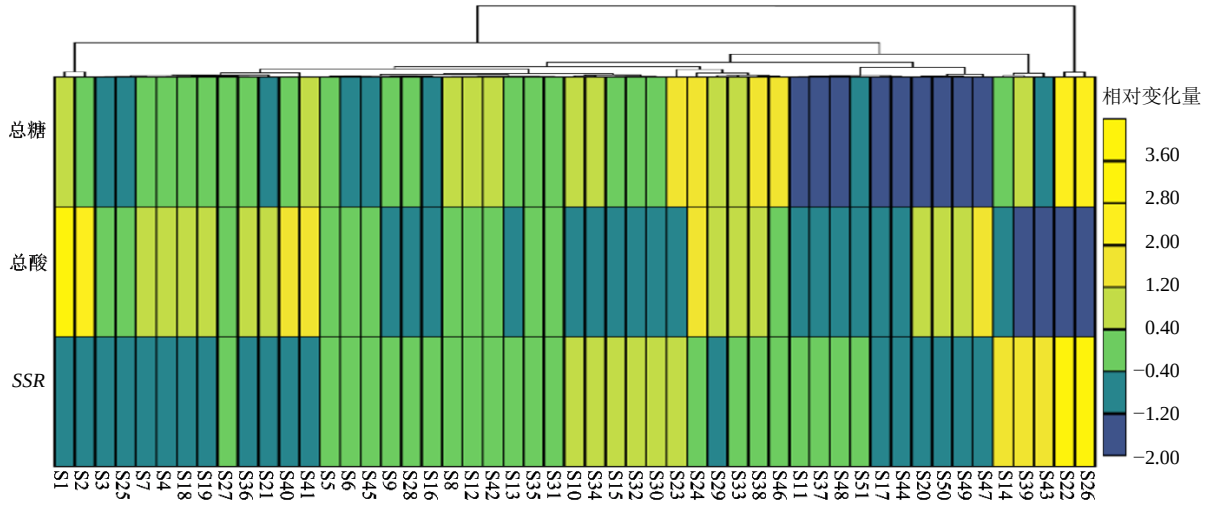


图 11　51 批龙眼肉 CA 聚类结果

Fig. 11　CA clustering results of 51 batches of *Longan Arillus*

表 12　51 批次龙眼肉聚类分类

Table 12　Cluster classification table of 51 batches of *Longan Arillus*

类别	类型	总糖均值/(mg·g^{-1})	总酸均值/(mg·g^{-1})	*SSR* 均值	样品编号
1	中糖高酸	74.79	199.82	0.42	S1、S2
2	中糖中酸	73.06	95.33	0.91	S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10、S12、S13、S15、S16、S18、S19、S21、S25、S27、S28、S30、S31、S32、S34、S35、S36、S40、S41、S42、S45
3	高糖中酸	93.72	116.43	0.92	S23、S24、S29、S33、S38、S46
4	低糖中酸	50.88	93.86	0.66	S11、S17、S20、S37、S44、S47、S48、S49、S50、S51
5	中糖低酸	75.65	46.34	1.84	S14、S39、S43
6	高糖低酸	108.58	42.21	2.77	S22、S26

福建 3 个地区。第 3 类样本共 6 个，糖酸组分特征为高糖中酸，总糖含量、总酸含量均偏高，*SSR* 中等，其中 5 个均来自中国广西，1 个来自越南。第 4 类样本中共 10 个，糖酸组分特征低糖中酸，总糖含量最低，*SSR* 偏低，以越南、中国广东、中国广西产地为主。第 5 类样本中共 3 个，为中糖低酸，*SSR* 偏高，中国广东、中国广西、泰国各 1 批次。第 6 类样本中共 2 个（S22、S26），主要表现为高糖低酸，总糖含量偏高，总酸含量最低，*SSR* 最大，均来自中国广西贵港。

3　讨论

3.1　双进样液相色谱法适用性分析

本研究基于文献报道[18-19]的提取方法，采用双进样液相色谱技术对 51 批次不同产地龙眼肉进行检测。可溶性糖和有机酸组分在相应标准曲线范围内，相关系数均大于 0.999 0，线性关系良好。精密度、稳定性、重复性的峰面积相对偏差在 0.05%～1.96%，加样回收率在 92.13%～99.71%。近些年，出现的双进样液相色谱法较常规液相色谱方法分别测定可溶性糖和有机酸方面具有一定的创新与优势，不仅缩短了检测时间，还可保障数据的可比性、精密度和重复性。

3.2　可溶性糖与有机酸成分差异分析

本研究基于双进样液相色谱技术对龙眼肉可溶性糖果糖、蔗糖、葡萄糖指标进行测定。结果表明，3 种可溶性糖的含量上存在显著差异，其中蔗糖平均质量分数（47.38 mg·g^{-1}）显著高于果糖（14.88 mg·g^{-1}）和葡萄糖（10.49 mg·g^{-1}），它是龙眼肉中可溶性糖主要成分和代表性成分[23-25]，可作为龙眼肉质量控制指标。

本研究基于双进样液相色谱技术对龙眼肉中苹果酸、乳酸等 7 个有机酸进行测定。结果表明，琥珀酸（45.78 mg·g^{-1}）和乳酸（44.18 mg·g^{-1}）的平均质量分数显著高于苹果酸（3.29 mg·g^{-1}），与已有文献中苹果酸质量分数较高的结果不一致[19,24]，可能是提取条件不同导致的，也可能是由于已有研究中[19,24]使用鲜龙眼样品，而本研究采用的是干样品所致；琥珀酸、乳酸是龙眼肉中有机酸的主要成分和代表性成分，可作为龙眼肉质量控制指标。

综上所述，建议龙眼肉的质量标准中增加蔗糖作为含量测定指标，其质量分数应不低于 31.73 mg·g^{-1}（中位数下浮 30%），同时琥珀酸与乳酸的总质量分数不低于 56.15 mg·g^{-1}（中位数下浮 30%），见表 13。

表 13　限度划分比较

Table 13　Comparison of Limit Division

指标	限度/（mg·g^{-1}）	合格批数	合格率/%
蔗糖	31.73	45	88.24
琥珀酸	30.93	32	62.75
乳酸	29.65	36	70.59
琥珀酸和乳酸总量	56.15	46	90.20

3.3　不同产地龙眼肉药材质量多维度分析与评价

基于“3.2”结论，结合多种化学识别模式方法，深入分析了不同产地 51 批次龙眼肉药材的质量差异。首先，PCA 结果显示，可溶性糖和有机酸组分主成分累积贡献率分别达到 98.07%和 83.18%，表明其能较好地反映药材整体质量；此外，果糖、葡萄糖与质量呈负相关，可能是由于蔗糖被酶解成葡萄糖和果糖[26]引起的，因此果糖、葡萄糖成分含量较高的批次，其药材质量相对较低。PLS-DA，确认了蔗糖、乳酸和琥珀酸等成分作为关键成分，与龙眼肉药材的优质性呈正相关，进一步佐证了“3.2”中建议增设蔗糖、琥珀酸、乳酸指标的合理性。

HCA 结果表明，各个省份之间的药材批次呈现出较为集中的聚类结果，然而同一省份的不同批次间仍存在较大的差异，如中国广西贵港的 S22 与 S26。采用 GRA 分析对可溶性糖和有机酸进行关联度评价，排名前列的批次主要集中于中国广西、中国广东、中国福建 3 个地区，其质量较优，泰国和越南的药材质量相对较差。由 HCA 及 GRA 推测，龙眼肉的产地差异可能与品种、产地的气候、土壤条件以及种植和加工储存环境等因素有关[27-28]。

3.4　基于糖酸特征的龙眼肉品质与风味综合分析与探讨

龙眼肉作为药食同源药材，品质和风味亦受可溶性糖和有机酸含量影响。总糖、*SV* 均与可溶性糖显著正相关，蔗糖在龙眼肉甜味构成中占据主导地位（r=0.816）；葡萄糖与果糖呈显著正相关，且均与蔗糖呈负相关（图 10）。总酸与琥珀酸、乳酸等多种有机酸呈显著正相关，琥珀酸在酸味表现中起主要作用（r=0.790）。*SSR* 与总糖、甜度值显著正相关，与总酸和各类有机酸显著负相关。聚类结果表明龙眼肉的糖酸特征有高糖低酸到中糖高酸 6 种类型。其中，高糖低酸类样本（如中国广西贵港的 S22 和 S26）甜度突出，适宜市场偏好甜味的需求[29]。中糖中酸类样本数量最多，主要来自中国广西、中国广东和中国福建，呈现较好的甜酸平衡性，具有广泛的适应性。中糖高酸类和低糖中酸类则主要分布在越南、中国广东、中国广西等地，表现出较强的酸味，可能适合特定的市场需求[30]。中国广西产地的龙眼肉风味偏甜；中国广东、中国福建、泰国产地风味偏酸甜；越南产地风味偏淡薄。龙眼肉甜酸特征也可作为口味不佳的复方汤剂的矫味剂。

本研究所采用的双进样液相色谱技术同时测定 51 批次不同产地龙眼肉的可溶性糖和有机酸含量，简便高效、精密稳定、重复性高，在龙眼肉乃至中药材检测领域有较好的应用前景。建议以龙眼肉的代表性成分蔗糖、琥珀酸与乳酸总含量为质量控制指标，设定限度分别为不低于 31.73 mg·g^{-1}、56.15 mg·g^{-1}。不同产地龙眼肉药材质量差异较大，其中中国广西、中国广东和中国福建地区龙眼肉质量较泰国和越南好。中国广西产地的龙眼肉风味偏甜，综合考虑，中国广西龙眼肉药材质量和风味品质较佳。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 中国药典 [S]. 一部. 2020.
Pharmacopoeia of the People’s Republic of China [S]. Volume I. 2020.

[2] 郝娟, 董丽红, 池建伟, 等. 龙眼的健康功效及其健康食品开发的进展 [J]. 现代食品科技, 2021, 37(8): 340-349.
Hao J, Dong L H, chi J W, et al. Health effect of *Longan*

and its present situation and prospect of healthy food development [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(8): 340-349.

[3] 李少为, 杨宁, 杨耀峰. 基于中药整合药理学平台探讨酸枣仁-龙眼肉治疗失眠的分子机制 [J]. 临床医学研究与实践, 2022, 7(20): 5-10.
Li S W, Yang N, Yang Y F. Exploration of molecular mechanism of ziziphi spinosae Semen-*Dimocarpus longan* lour. in the treatment of insomnia based on integrative pharmacology platform of traditional chinese medicine [J]. Clin Res Pract, 2022, 7(20): 5-10.

[4] 雷天荣. 龙眼肉防治小鼠脾虚型痴呆的物质基础与机制研究 [D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2021.
Lei T R. Study on the material basis and mechanism of Longan pulp in preventing and treating spleen deficiency dementia in mice [D]. Shenyang: Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2021.

[5] 祝之友. 现代中医对龙眼肉补益心脾, 养血安神的认识 [J]. 中国中医药现代远程教育, 2018, 16(18): 129.
Zhu Z Y. Modern Chinese medicine understanding of *Longan* meat for nourishing the heart and spleen, nourishing blood and tranquilizing the mind [J]. Chin Med Mod Distance Educ China, 2018, 16(18): 129.

[6] 农业农村部南亚热带作物中心.中国荔枝、龙眼产业发展报告 [J]. 中国热带农业, 2024(3): 5-7.
South Subtropical crops center, Agriculture M O, Affairs R. Report on the development of China's Litchi and *Longan* industries [J]. China Trop Agric, 2024(3): 5-7.

[7] 祖爽. 《中国荔枝龙眼产业发展报告》发布 [N]. 农民日报, 2024-05-29(007).
Zu S. China litchi and *Longan* industry development report released [N]. Farmers' daily, 2024-05-29(007).

[8] 国家药品监督管理局. 龙眼肉配方颗粒 [EB/OL]. (2024-09-03) [2024-11-02]. https://db2.ouryao.com/pfkl/view.php?part=biaozhun&id=9907.
National Medical Products Administration. Longan Aril Formula Granules [EB/OL]. (2024-09-03) [2024-11-02]. https://db2.ouryao.com/pfkl/view.php?part=biaozhun&id=9907.

[9] 中国广东省药品监督管理局. 广东省中药配方颗粒质量标准 [M]. 广东: 广东科技出版社, 2022: 112-113.
Guangdong Provincial Medical Products Administration. *Quality Standards for Traditional Chinese Medicine Formula Granules in Guangdong Province* [M]. Guangdong: Guangdong Science and Technology Press, 2022: 112-113.

[10] 中国广西壮族自治区食品药品监督管理局. 中国广西壮族自治区中药配方颗粒质量标准 [M]. 南宁: 中国广西科学技术出版社, 2023: 89-90.
Guangxi Zhuang Autonomous Region Food and Drug Administration. *Quality Standards for Traditional Chinese Medicine Formula Granules in Guangxi Zhuang Autonomous Region* [M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2023: 89-90.

[11] 谢晶晶, 马玉明, 彭嘉文, 等. 龙眼肉的质量控制现状及质量标志物预测分析 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(3): 70-74.
Xie J J, Ma Y M, Peng J W, et al. Quality control statusand predictive analysis of quality markers of *Longan Arillus* [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2025, 43(3): 70-74.

[12] 帅良, 钱盼红, 刘文浩, 等. 不同龙眼品种果实成熟时糖含量及其特征研究 [J]. 热带作物学报, 2016, 37(5): 915-921.
Shuai L, Qian P H, Liu W H, et al. Sugar contents and composition in the mature fruit of different *Longan* cultivars [J]. Chin J Trop crops, 2016, 37(5): 915-921.

[13] 马健锦. 基于糖类组分差异鉴别龙眼肉产地的研究 [J]. 黑龙江粮食, 2023(12): 50-52.
Ma J J. Study on identification of arillus *Longan* origin based on the difference of sugar components [J]. Heilongjiang Grain, 2023(12): 50-52.

[14] Wang J H, Liu L Q, Dong J H, et al. Inheritance of fruit weight, size and organic acid content in a distant hybrid population of *Longan* 'Huanongzao' and lychee 'ziniangxi' [J]. Horticulturae, 2022, 8(11): 999.

[15] 高贤玉, 张惠云, 张发明, 等. '裂叶龙眼' 引种试验初报及有机酸含量测定 [J]. 中国热带农业, 2019(4): 55-59.
Gao X Y, Zhang H Y, Zhang F M, et al. Preliminary report on introduction experiment and determination of organic acid content of' Split-leaf Longan' [J]. china Trop Agric, 2019(4): 55-59.

[16] 黄爱萍, 郑少泉. 龙眼果肉黄酮乙醇法提取优化工艺研究 [J]. 中国福建农业学报, 2009, 24(6): 535-539.
Huang A P, Zheng S Q. Optimization of flavonoid ethanol extraction from *Dimocarpus longan* Lour. aril [J]. Fujian J Agric Sci, 2009, 24(6): 535-539.

[17] 沈灿杰, 马阳, 陈夏霖, 等. 多中心切割二维液相色谱法同时测定九味熄风颗粒中 10 种成分 [J]. 中草药, 2022, 53(14): 4333-4339.
Shen C J, Ma Y, Chen X L, et al. Simultaneous quantitation of 10 components in Jiuwei Xifeng Granules by multiple heart-cutting two dimensional liquid chromatography [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2022, 53(14): 4333-4339.

[18] 钟名诚, 饶伟文, 肖聪. HPLC-ELSD 法测定龙眼肉中果糖、葡萄糖、蔗糖的含量 [J]. 中国药品标准, 2011,

12(1): 44-48.
Zhong M c, Rao W W, Xiao c. Determination of fructose, glucose and sucrose in *Arillus Longan* by HPLC-ELSD [J]. Drug Stand China, 2011, 12(1): 44-48.

[19] 庞纪伟, 帅良, 殷菲胧, 等. 32 个龙眼品种果实有机酸组分及含量特征分析 [J]. 中国果树, 2023(10): 66-72.
Pang J W, Shuai L, Yin F L, et al. characterization of organic acid fractions and content in fruits of 32 *Longan* varieties [J]. china Fruits, 2023(10): 66-72.

[20] 武琴园, 王琴, 董梅, 等. 基于 HPLC 多成分定量结合化学模式识别分析不同产地蒺藜质量差异 [J]. 药物评价研究, 2024, 47(4): 792-799.
Wu Q Y, Wang Q, Dong M, et al. Quality difference analysis of *Tribuli Fructus* from different producing areas based on HPLC multi-component quantitative combined with chemical pattern recognition [J]. Drug Eval Res, 2024, 47(4): 792-799.

[21] 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 Y N, Yan L Y, Zhang B, et al. A study on sugar and organic acid components in different apple cultivars [J]. J Fruit Sci, 2021, 38(11): 1877-1889.

[22] 石健泉, 沈丽娟, 卢美玲, 等. 甜橙品种果实糖、酸含量的分级标准与风味的关系 [J]. 中国广西柑桔, 1995, 6(3): 3-7.
Shi J Q, Shen L J, Lu M L, et al. Relationship between grading standard of sugar and acid content and flavor of sweet orange varieties [J]. South Hortic, 1995, 6(3): 3-7.

[23] 陈秀萍, 许奇志, 蒋际谋, 等. 龙眼鲜果与干果的糖组分分析 [J]. 中国南方果树, 2019, 48(4): 69-72.
Chen X P, Xu Q Z, Jiang J M, et al. Analysis of sugar components in fresh and dried *Longan* fruit [J]. South china Fruits, 2019, 48(4): 69-72.

[24] 高敏. 龙眼种质资源果实糖组分及含量特征分析 [J]. 中国果业信息, 2015, 32(7): 54.
Gao M. Analysis on the characteristics of sugar composition and content in *Longan* germplasm resources fruit [J]. China Fruit News, 2015, 32(7): 54.

[25] 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.
Hu Z Q, Li J G, Wang H c. Analysis of fruit sugar and acid compositions in the aril of different *Longan* cultivars [J]. J Fruit Sci, 2006, 23(4): 568-571.

[26] 贾东峰, 钱基权, 高欢, 等. 毛花猕猴桃成熟期果实品质和蔗糖代谢特征分析 [J]. 果树学报, 2024, 41(11): 2261-2271.
Jia D F, Qian J Q, Gao H, et al. Analysis of the fruit quality and the metabolic characteristics of sucrose in fruit of *Actinidia eriantha* at ripening stage [J]. J Fruit Sci, 2024, 41(11): 2261-2271.

[27] 吴光亮. 龙眼干加工过程功效营养成分的变化 [D]. 福州: 中国福建农林大学, 2013.
Wu G L. Influence of efficacy and nutrients in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) aril during drying processing [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013.

[28] 冯凯卿. 龙眼优质高效栽培技术研究 [J]. 种子科技, 2023, 41(16): 99-101.
Feng K Q. Study on high-quality and efficient cultivation techniques of *Longan* [J]. Seed Sci Technol, 2023, 41(16): 99-101.

[29] 郭可欣, 孙志娟, 李庆余, 等. 不同西洋梨品种果实糖酸组分及含量分析 [J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2024, 41(2): 79-86, 115.
Guo K X, Sun Z J, Li Q Y, et al. Analysis of components and content of sugar and acid in fruits of different *Pyrus communis* L.Varieties [J]. J Qingdao Agric Univ Nat Sci, 2024, 41(2): 79-86, 115.

[30] 吴紫洁, 阮成江, 李贺, 等. 12 个沙棘品种的果实可溶性糖和有机酸组分研究 [J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4): 106-112.
Wu Z J, Ruan c J, Li H, et al. compositions of soluble sugars and organic acids in berries of 12 sea-buckthorn cultivars [J]. J Northwest For Univ, 2016, 31(4): 106-112.

[责任编辑　孙英杰]