

## 基于非靶向代谢组学的广陈皮及其加工饼代谢产物差异分析

魏洁书, 欧晓华, 王甜甜, 陈静雯, 张素中\*  
(广州新华学院药学院, 广东 广州 510520)

**摘要:** **目的** 探究不同年份广陈皮及其加工饼的差异代谢物。**方法** 运用气相色谱-飞行时间质谱(GC-TOF-MS)非靶向代谢组学分析化学成分, 采用主成分分析、正交偏最小二乘判别分析进行数据处理, 鉴定差异代谢物。**结果** 共筛选出74种差异代谢物, 主要有糖苷类(16个)、有机酸及其衍生物(14个)、氨基酸及其衍生物(11个)和黄酮类(4个), 其中新鲜广陈皮与3年、5年广陈皮比较发现分别有40、30个差异代谢物, 3年、5年广陈皮与加工饼比较发现分别有27、34个差异代谢物。新鲜广陈皮、陈化广陈皮与加工饼的差异代谢物主要分布在植物次生代谢产物生物合成等6条通路, 3年陈化广陈皮与其加工饼的差异代谢物主要分布在ABC转运器等4条通路, 5年陈化广陈皮与其加工饼的差异代谢物主要分布在碳代谢等5条通路。**结论** 采用非靶向代谢组学技术可阐明新鲜及陈化广陈皮与其加工饼化学成分差异, 为广陈皮陈化加工技术研究及加工产品开发奠定基础。

**关键词:** 广陈皮; 加工饼; 代谢组学; 差异代谢物; GC-TOF-MS

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2025)09-2957-07

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2025.09.020

## Analysis of metabolite differences of *Citrus reticulata* 'Chachi' and processed cake based on non-targeted metabolomics

WEI Jie-shu, OU Xiao-hua, WANG Tian-tian, CHEN Jing-wen, ZHANG Su-zhong\*  
(School of Pharmacy, Guangzhou Xinhua University, Guangzhou 510520, China)

**ABSTRACT: AIM** To explore the differential metabolites of different aged *Citrus reticulata* 'Chachi' and their processed cakes. **METHODS** Non-targeted metabolomics technology of GC-TOF-MS was used to analyze the chemical constituents. The data was processed by principal component analysis and orthogonal partial least squares discriminant analysis, and the differential metabolites were identified. **RESULTS** A total of 74 differential metabolites were identified, including 16 glycosides, 14 organic acids and their derivatives, 11 amino acids and their derivatives, and 4 flavonoids. Comparative analysis revealed 40 and 30 differential metabolites between fresh *C. reticulata* 'Chachi' and 3-year or 5-year aged samples, respectively. Furthermore, 27 and 34 differential metabolites were identified between the 3-year or 5-year aged samples and their corresponding processed cakes, respectively. Differential metabolites among fresh, aged *C. reticulata* 'Chachi', and processed cakes were predominantly enriched in 6 metabolic pathways, including the biosynthesis of secondary metabolites. Specifically, differential metabolites between 3-year aged *C. reticulata* 'Chachi' and its processed cake were significantly enriched in 4 pathways, such as ABC transporters. Differential metabolites between 5-year aged *C. reticulata* 'Chachi' and its processed cake were mainly enriched in 5 pathways, including carbon metabolism. **CONCLUSION** Non-targeted metabolomics technology can elucidate the chemical compositional differences among fresh/aged and processed cakes of *C. reticulata* 'Chachi', laying a foundation for the research into *C.*

收稿日期: 2025-05-07

**基金项目:** 2023年度省级一流本科课程(粤教高函[2023]33号); 2021年度省级一流本科专业建设点(教高厅函[2022]14号); 广州新华学院产教融合实践教学基地项目(2022KCJ002); 中山大学新华学院校级重点学科(2020XZD03); 中山大学新华学院科研项目(2020YQYJ01)

**作者简介:** 魏洁书(1987—), 女, 硕士, 副教授, 从事中药代谢与中药质量评价研究。E-mail: pdwjs@xhsysu.edu.cn

\* **通信作者:** 张素中(1969—), 女, 硕士, 教授, 从事中药新剂型及中药质量评价研究。E-mail: 1074825800@qq.com

*reticulate* ‘Chachi’ aging processing techniques and the development of processed products.

**KEY WORDS:** *Citrus reticulate* ‘Chachi’; processed cake; metabolomics; differential metabolite; GC-TOF-MS

茶枝柑 *Citrus reticulate* ‘Chachi’ 为芸香科柑橘属植物, 源于橘的栽培变种, 其中主产于广东新会的茶枝柑质量较佳, 其成熟果皮入药, 习称“广陈皮”。广陈皮是具有岭南特色的道地药材, 为“广东三宝”之首, 具有理气健脾、燥湿化痰功效<sup>[1]</sup>, 还具有抗氧化、清除自由基、抗肿瘤、抗炎、抗病毒、降血脂、促进消化等药理作用<sup>[2]</sup>, 其应用范围广泛, 开发前景广阔, 其加工品涉及药品、调味品、药膳、保健食品等。但针对广陈皮及其加工品的代谢物研究较少, 本研究拟对新鲜广陈皮、陈化广陈皮及其加工品“陈皮饼”进行差异代谢物分析, 以为广陈皮加工技术的研究及加工产品的开发提供参考。

## 1 材料

1.1 仪器 7890A 气相色谱仪 (美国 Agilent 公司); Pegasus HT 质谱仪 (美国 LECO 公司); Heraeus Fresco17 离心机 (美国 Thermo Fisher Scientific 公司); LNG-T98 真空干燥仪 (太仓市华美生化仪器厂)。

1.2 试剂 甲醇 (色谱纯, 德国 CNW Technologies GmbH 公司); 氯仿、吡啶 (色谱纯, 上海阿达玛斯试剂有限公司); 甲氧胺盐 (分析纯)、核糖醇 (美国 Sigma 公司); 双 (三甲基硅烷基) 三氟乙酰胺 (BSTFA, 含 1% 三甲基氯硅烷, 美国 Regis 公司); 饱和脂肪酸甲酯 (德国 Dr. Ehrenstorfe 公司)。

1.3 药材 30 份广陈皮及其加工饼样品由江门社德陈皮茶业有限公司提供, 原料均采自广东省江门市新会区核心产区, 经广州新华学院张素中教授鉴定为芸香科植物茶枝柑 *Citrus reticulate* ‘Chachi’ 的干燥成熟果皮, 其陈化年份分别是 2023 年 (新鲜, 编号 CK)、2020 年 (3 年, 编号 T) 和 2018 年 (5 年, 编号 F), 加工饼为广陈皮切丝、高温蒸、压饼后制成, 分别为 2020 年 (3 年) 和 2018 年 (5 年) 广陈皮加工而成 (编号 TC、FC)。样品分为 5 组, 每组 6 份。

## 2 方法

2.1 代谢物提取 代谢物的提取参考文献 [3] 报道。取样品 (50±1) mg, 加入 500 μL 预冷的提取液 (甲醇:水=3:1, 含核糖醇), 涡旋 30 s 后加入钢珠研磨, 低温超声处理 5 min, 4 ℃、12 000

r/min 离心 15 min, 取 50 μL 上清液, 置于 1.5 mL EP 管中, 每个样品移取 30 μL 上清液混合制成 QC 样品, 于真空干燥仪干燥后加入 40 μL 甲氧胺盐试剂, 混匀后 80 ℃ 孵育 30 min, 各加入 60 μL BSTFA, 70 ℃ 继续孵育 1.5 h, 冷却后加入 5 μL 饱和脂肪酸甲酯, 备用。

2.2 分析条件 DB-5MS 毛细管柱 (30 m×250 μm, 0.25 μm); 体积流量 1 mL/min; 柱箱升温程序为 50 ℃ 保持 1 min, 以 10 ℃/min 升至 310 ℃, 保持 8 min; 进样量 1 μL; 进样口、传输线和离子源温度分别为 280、280、250 ℃; 质谱全扫描范围  $m/z$  50~500; 电离电压 -70 eV; 采集速率 12.5 谱图/s; 溶剂延迟 6.4 min。

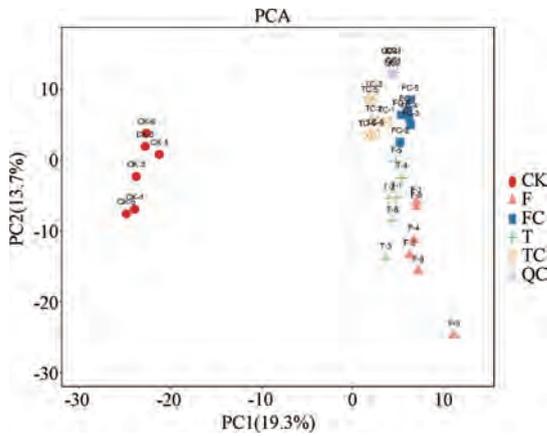
2.3 数据处理 采用 Chroma TOF 软件 (V 4.3x, 美国 LECO 公司) 对质谱数据进行分析<sup>[4]</sup>, 确定广陈皮及其加工饼中的化学成分, 将 QC 样品中检出率小于 50% 或 RSD 大于 30% 的峰去除<sup>[5]</sup>。通过主成分分析法 (PCA)、正交偏最小二乘判别法 (OPLS-DA)、置换试验筛选差异代谢物, 当代代谢物同时满足  $P < 0.05$  和 VIP 值  $> 1$  时, 即视为差异代谢物。通过 KEGG 数据库对比较组差异代谢物进行通路富集分析。

## 3 结果

3.1 不同年份广陈皮及加工饼 PCA 分析 为初步探究各组样品间的总体代谢差异及组内变异程度, 采用 R 语言 gmodels (v2.18.1) 进行 PCA 分析以进行评估, 见图 1。由此可知, 除个别样品外, 新鲜广陈皮、3 年广陈皮、3 年广陈皮加工饼、5 年广陈皮、5 年广陈皮加工饼组内大部分样品均呈现较好的聚集性, 重复性较高, 同时不同组别样品呈现出明显的分离态势, 说明其代谢物种类存在差异。考虑到 PCA 对低相关性变量敏感度不高, 故采用 OPLS-DA 做深入分析。

3.2 不同年份广陈皮及加工饼 OPLS-DA 分析 由图 2 可知, 比较组样品分别处于左右不同象限, 且所有样品点相互独立, 组内样品则表现出高度的聚合性, 表明 5 组样品间的代谢物存在明显差异。各组间  $R^2X$ 、 $R^2Y$ 、 $Q^2Y$  值见表 1。

为评价 OPLS-DA 模型的准确性, 采用置换检验法, 对各数据组随机排序后构建 OPLS-DA 模型, 见图 3。由此可知, 不同年份的广陈皮及其加工饼



注：CK为新鲜广陈皮，T为3年广陈皮，TC为3年广陈皮加工饼，F为5年广陈皮，FC为5年广陈皮加工饼。

图1 不同年份广陈皮及加工饼代谢组学PCA分析

Fig.1 PCA analysis of metabolomics from different aged *C. reticulata* 'Chachi' and processed cakes

各组间  $Q^2$  回归线的斜率均为正值， $Q^2$  点的回归线在纵坐标的交叉点小于0，表明模型可靠。

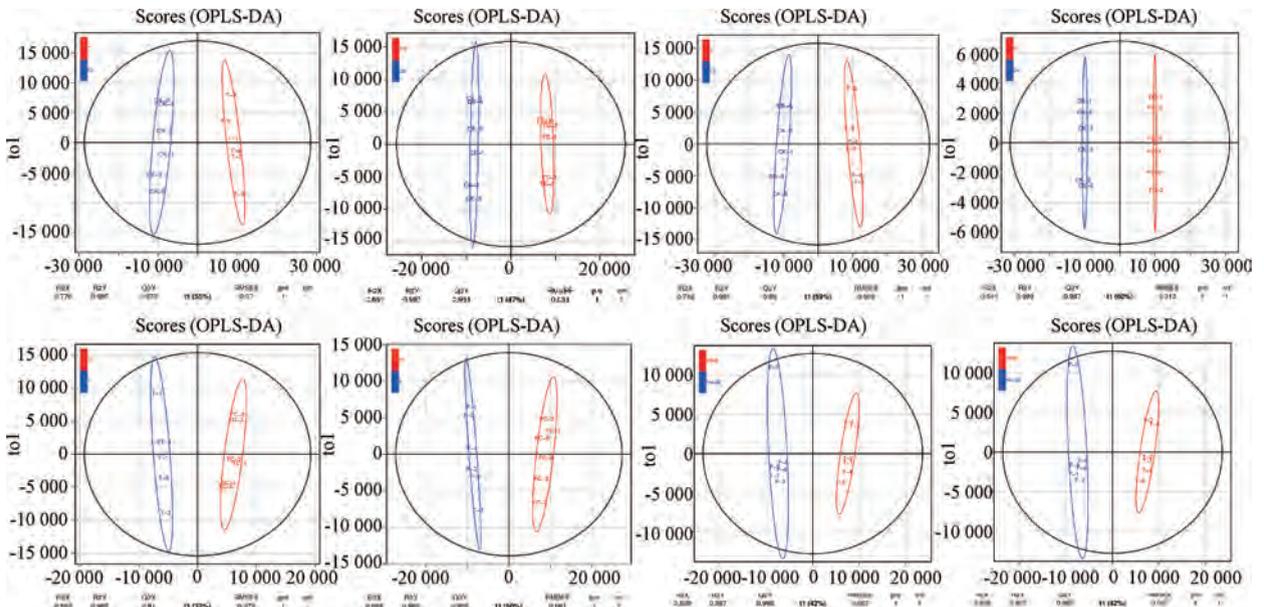
表1 OPLS-DA 模型参数

Tab.1 OPLS-DA model parameters

比较组	$R^2X$ (cum)	$R^2Y$ (cum)	$Q^2Y$ (cum)
CK vs. T	0.776	0.985	0.973
CK vs. TC	0.661	0.997	0.984
CK vs. F	0.752	0.991	0.98
CK vs. FC	0.641	0.999	0.987
T vs. TC	0.552	0.985	0.91
F vs. FC	0.665	0.989	0.955
U vs. F	0.609	0.987	0.965
TC vs. FC	0.556	0.986	0.939

注：CK为新鲜广陈皮，T为3年广陈皮，TC为3年广陈皮加工饼，F为5年广陈皮，FC为5年广陈皮加工饼。

3.3 不同年份广陈皮及加工饼差异代谢物筛选分析 当代谢物同时满足  $P < 0.05$  和  $VIP > 1$  时，即



注：CK为新鲜广陈皮，T为3年广陈皮，TC为3年广陈皮加工饼，F为5年广陈皮，FC为5年广陈皮加工饼。

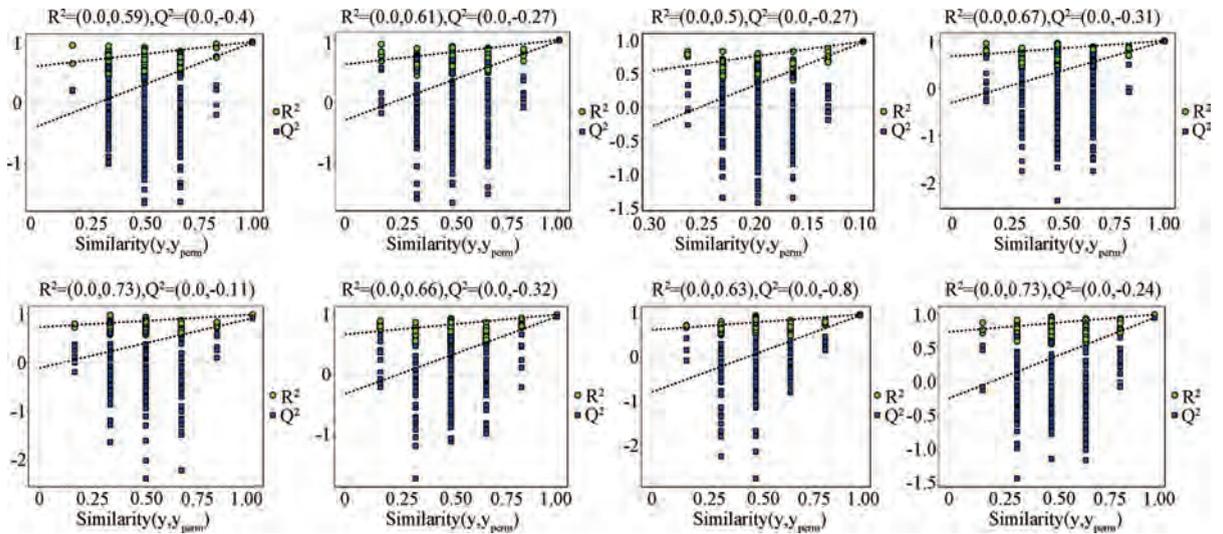
图2 不同年份广陈皮及加工饼代谢物 OPLS-DA 评分图

Fig.2 OPLS-DA scores of metabolites from different aged *C. reticulata* 'Chachi' and processed cakes

视为存在差异<sup>[6-7]</sup>。不同年份广陈皮及加工饼中共检测到632个化学成分，筛选出74种差异代谢物，主要有糖苷类化合物(16个)、有机酸及其衍生物(14个)、氨基酸及其衍生物(11个)和黄酮类(4个)。为深入分析差异代谢物的丰度变化，比较组内差异代谢物的差异倍数(fold change)，并绘制了火山图(图4)，以直观展示变化。

不同年份广陈皮及加工饼的差异代谢物上调、下调数量见图5。由此可知，与新鲜广陈皮比较，陈化广陈皮大部分差异代谢物含量上升，5年广陈皮差异代谢物含量上升的主要为糖苷类化合物(6

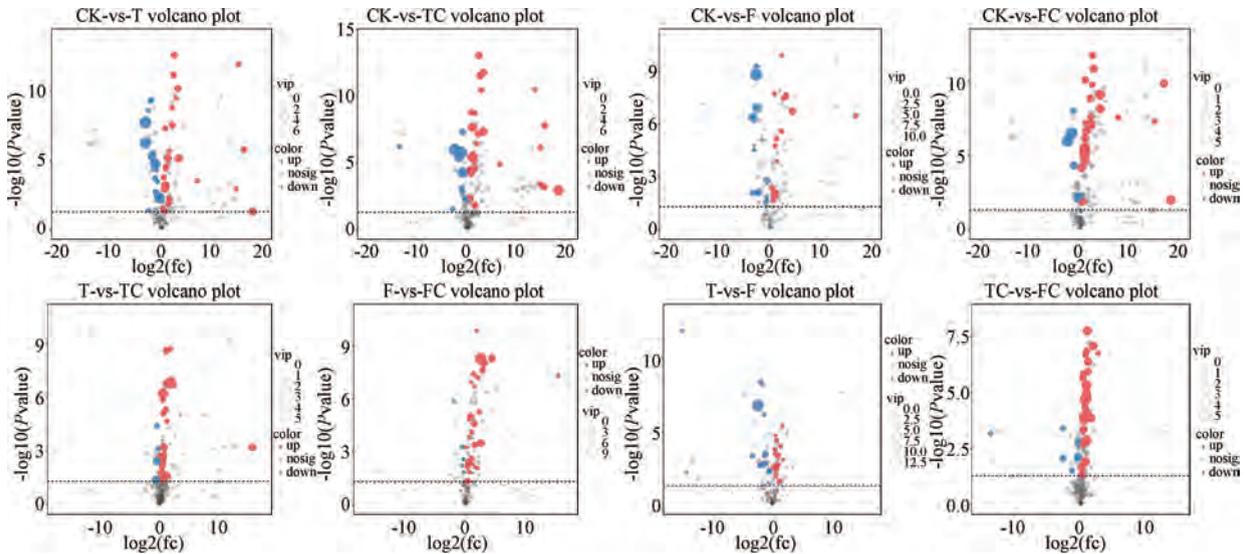
个)、有机酸及其衍生物(5个)，3年广陈皮差异代谢物含量上升的主要为糖苷类化合物(7个)、有机酸及其衍生物(5个)；与同年份广陈皮比较，广陈皮加工饼绝大部分差异代谢物含量上调，差异代谢物的聚类热图见图6。由此可知，TC(3年加工饼) vs. T(3年广陈皮)筛选到27种差异代谢物，其中23个代谢物上调，4个代谢物下调，上调的类别包括有机酸及其衍生物(6个)、氨基酸及其衍生物(3个)、糖苷类成分(1个)，上调的成分主要有5-羟基吡啶-3-乙酸(Log<sub>2</sub> FC: 1.88)、D-葡萄糖二酸(Log<sub>2</sub> FC: 1.03)、O-乙酰基-L-丝氨



注：CK 为新鲜广陈皮，T 为 3 年广陈皮，TC 为 3 年广陈皮加工饼，F 为 5 年广陈皮，FC 为 5 年广陈皮加工饼。

图 3 不同年份广陈皮及加工饼代谢物 OPLS-DA 置换检验

Fig. 3 OPLS-DA permutation test of metabolites from different aged *C. reticulata* 'Chachi' and processed cakes



注：CK 为新鲜广陈皮，T 为 3 年广陈皮，TC 为 3 年广陈皮加工饼，F 为 5 年广陈皮，FC 为 5 年广陈皮加工饼。

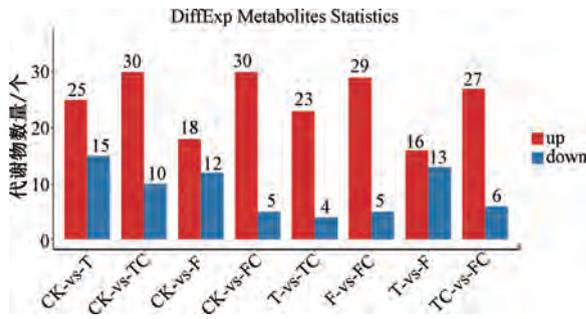
图 4 不同年份广陈皮及加工饼差异代谢物火山图

Fig. 4 Volcanic maps of differential metabolites of different aged *C. reticulata* 'Chachi' and processed cakes

酸 (Log<sub>2</sub> FC: 1.04)、1-甲基-L-色氨酸 (Log<sub>2</sub> FC: 1.81)、6-羟基己酸 (Log<sub>2</sub> FC: 1.50)、绿原酸 (Log<sub>2</sub> FC: 1.07)、二氢尿嘧啶 (Log<sub>2</sub> FC: 1.23) 等；FC (5 年加工饼) vs. F (5 年广陈皮) 筛选到 34 种差异代谢物，其中 29 个代谢物上调，5 个代谢物下调，上调的类别包括有机酸及其衍生物 (7 个)、氨基酸及其衍生物 (6 个)、糖苷类成分 (4 个)，上调的成分主要有脯氨酸 (Log<sub>2</sub> FC: 2.50)、辛弗林 (Log<sub>2</sub> FC: 2.53)、丙二酸 (Log<sub>2</sub> FC: 1.43)、L-丙氨酸 (Log<sub>2</sub> FC: 1.52)、天冬氨酸 (Log<sub>2</sub> FC: 4.30)、新橙皮苷 (Log<sub>2</sub> FC:

2.79)、苏糖醇 (Log<sub>2</sub> FC: 1.33)、5-羟基吡啶-3-乙酸 (Log<sub>2</sub> FC: 1.02)、L-丝氨酸 (Log<sub>2</sub> FC: 4.39)、α-酮基戊二酸 (Log<sub>2</sub> FC: 2.25)、4-氨基丁酸 (Log<sub>2</sub> FC: 2.07)、尿苷 (Log<sub>2</sub> FC: 2.98)、富马酸 (Log<sub>2</sub> FC: 1.84)、天冬酰胺 (Log<sub>2</sub> FC: 15.14)、阿洛糖 (Log<sub>2</sub> FC: 1.13)、葡萄糖-1-磷酸 (Log<sub>2</sub> FC: 1.97)、O-乙酰基-L-丝氨酸 (Log<sub>2</sub> FC: 3.40)、D-葡萄糖二酸 (Log<sub>2</sub> FC: 0.96) 等。

3.4 不同年份广陈皮及加工饼差异代谢物通路富集 通过 KEGG 数据库对 CK vs. T、CK vs. TC、CK vs. F、CK vs. FC、T vs. TC、F vs. FC、T vs. F、TC

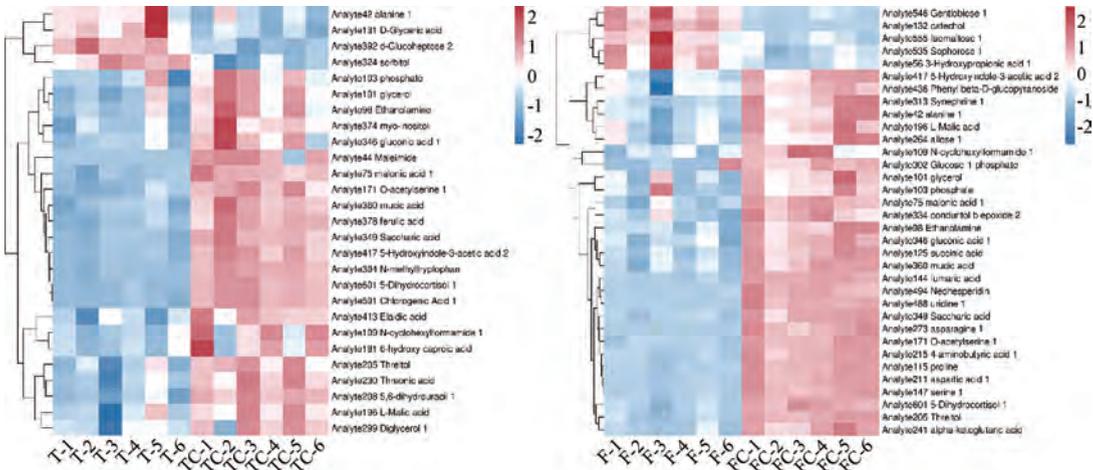


注：CK 为新鲜广陈皮，T 为 3 年广陈皮，TC 为 3 年广陈皮加工饼，F 为 5 年广陈皮，FC 为 5 年广陈皮加工饼。

图 5 不同年份广陈皮及加工饼差异代谢物数量统计图  
Fig. 5 Statistical chart of different metabolites in different aged *C. reticulata* 'Chachi' and processed cakes

vs. FC 比较组差异代谢物数量前 20 的进行通路富集，见图 7，纵坐标为代谢通路，横坐标为富集基因

子（差异代谢物数量除以总数）。由此可知，新鲜广陈皮与陈化广陈皮及加工饼显著的差异代谢物主要分布在 6 条通路，分别为植物次生代谢产物的生物合成，碳代谢，鸟氨酸、赖氨酸和烟酸衍生物碱的生物合成，丙氨酸、天冬氨酸和谷氨酸代谢，丁酸甲酯代谢，甘油酯代谢；3 年陈化广陈皮与其加工饼显著的差异代谢物主要分布在 4 条通路，分别为 ABC 转运器、抗坏血酸和醛酸盐代谢、苯丙烷类物质生物合成、碳代谢；5 年陈化广陈皮与其加工饼显著的差异代谢物主要分布在 5 条通路，分别为碳代谢，丙氨酸、天冬氨酸和谷氨酸代谢，植物激素的生物合成，三羧酸循环，鸟氨酸、赖氨酸和烟酸衍生物碱的生物合成。差异代谢物分布的这些代谢途径可能与广陈皮的陈化及加工过程有关。



注：CK 为新鲜广陈皮，T 为 3 年广陈皮，TC 为 3 年广陈皮加工饼，F 为 5 年广陈皮，FC 为 5 年广陈皮加工饼。

图 6 3 年和 5 年广陈皮及加工饼差异代谢物热图

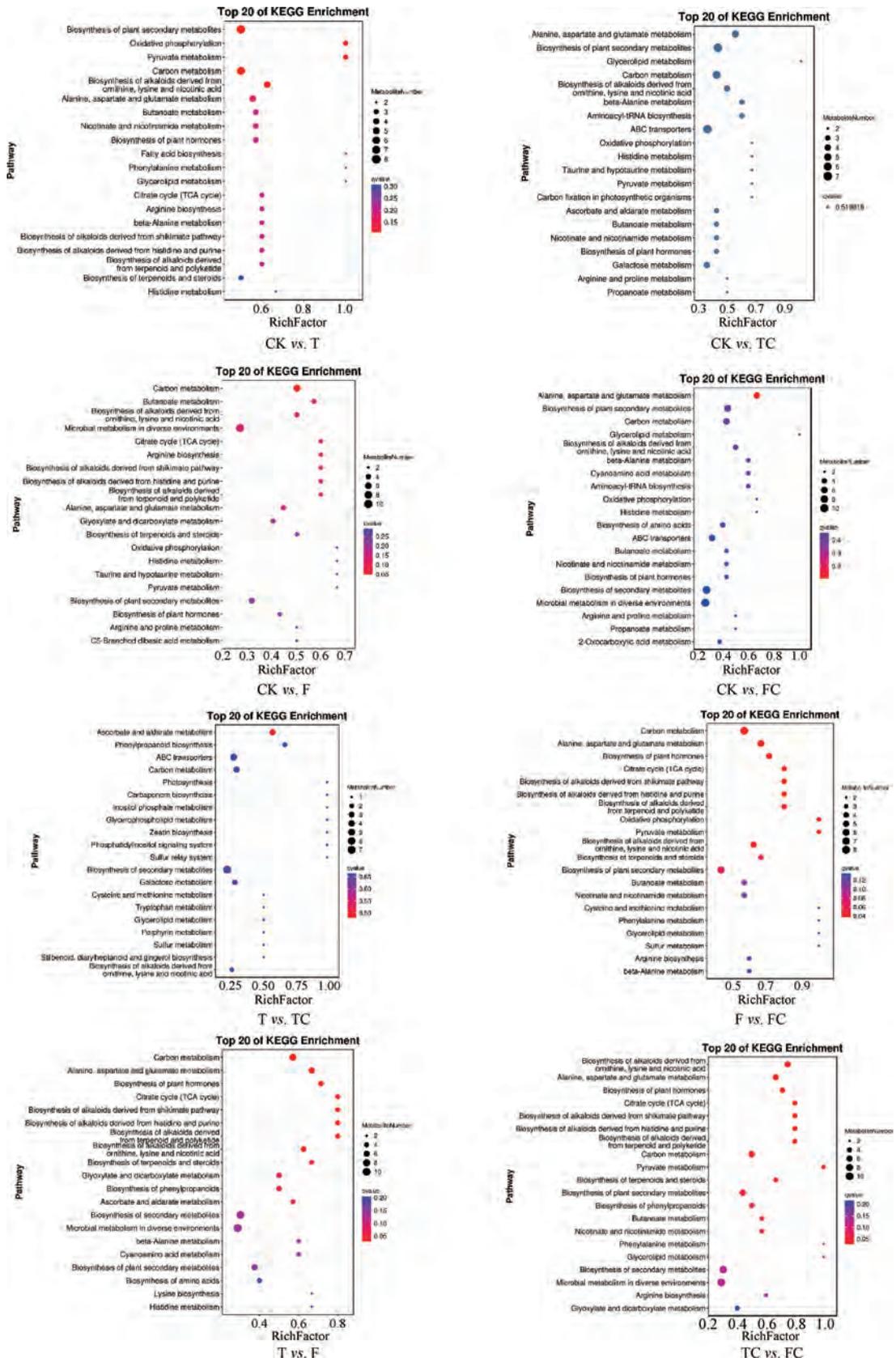
Fig. 6 Heatmaps of differential metabolites in 3-year and 5-year aged *C. reticulata* 'Chachi' and their processed cakes

#### 4 讨论

非靶向代谢组学技术具有高分辨率与高灵敏度的特点，广泛应用于差异代谢物的发现和质量控制研究<sup>[8-12]</sup>。本研究采用 GC-TOF-MS 技术分析广陈皮及其加工饼化学成分，发现 1~5 年广陈皮在陈化和加工过程中，约 88.3% 的成分保持稳定，约 11.7% 是差异代谢物，可能与多糖降解或苷元转化有关。与颜仁梁课题组<sup>[13-14]</sup> 研究结果相比，本研究差异代谢物比例较低，这是由于 GC-TOF-MS 更适合挥发性或衍生化小分子，而 UPLC-MS/MS 对中高极性化合物更敏感。

差异代谢物中，糖苷类化合物具有抗氧化、抗炎等活性，其中陈皮多糖具有抗病毒、免疫调节等

作用<sup>[15-17]</sup>；有机酸和氨基酸参与能量代谢和信号传递，其含量变化可反映广陈皮陈化与加工过程中的生理状态变化；黄酮类作为广陈皮的主要活性成分，其含量在陈化过程中显著增加，如新橙皮苷、龙胆二糖等，具有抗氧化、抗肿瘤等作用<sup>[18-23]</sup>。蒸制可改变中药代谢物含量，如商陆蒸制后毒性成分商陆皂苷甲减少，而多糖和水溶性浸出物增加<sup>[24]</sup>。本研究加工过程中，高温蒸制使广陈皮部分活性成分含量显著提升，如 3 年陈皮饼中绿原酸和黏酸含量分别增加 2.11、1.51 倍，5 年陈皮饼中新橙皮苷和辛弗林含量分别增加 6.95、5.77 倍。其中辛弗林作为一种生物碱，具有收缩血管、促进肠胃蠕动等生理功能<sup>[25]</sup>。



注：CK 为新鲜广陈皮，T 为 3 年广陈皮，TC 为 3 年广陈皮加工饼，F 为 5 年广陈皮，FC 为 5 年广陈皮加工饼。

图 7 不同年份广陈皮及加工饼差异代谢物通路气泡图

Fig. 7 Bubble maps of differential metabolites of different aged *C. reticulata* 'Chachi' and processed cakes

代谢通路分析显示,与广陈皮相比,加工饼差异关键通路涉及ABC转运器、苯丙烷类生物合成、三羧酸循环、氨基酸代谢等,表明加工过程可能通过激活或抑制特定代谢途径改变产物的化学组成,这些变化可能与物质转运和能量代谢密切相关。

本研究通过GC-TOF-MS技术揭示了广陈皮陈化及加工过程中的代谢物变化规律,阐明了关键活性成分与代谢通路的关联,为广陈皮的产品开发及加工品的深入研究提供了新思路。

#### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2020年版一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [2] 李荃, 郑鹏, 黎攀, 等. 广陈皮药理作用与临床应用研究进展[J]. 吉林中医药, 2022, 42(9): 1092-1095.
- [3] Lin F K, Cai F, Luo B S, et al. Variation of microbiological and biochemical profiles of Laowo dry-cured ham, an indigenous fermented food, during ripening by GC-TOF-MS and UPLC-QTOF-MS [J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68(33): 8925-8935.
- [4] Kind T, Wohlgemuth G, Lee D Y, et al. FiehnLib: mass spectral and retention index libraries for metabolomics based on quadrupole and time-of-flight gas chromatography/mass spectrometry[J]. *Anal Chem*, 2009, 81(24): 10038-10048.
- [5] Dunn W B, Broadhurst D, Begley P, et al. Procedures for large-scale metabolic profiling of serum and plasma using gas chromatography and liquid chromatography coupled to mass spectrometry[J]. *Nat Protoc*, 2011, 6(7): 1060-1083.
- [6] Huang A, Jiang Z D, Tao M, et al. Targeted and nontargeted metabolomics analysis for determining the effect of storage time on the metabolites and taste quality of Keemun black tea[J]. *Food Chem*, 2021, 359: 129950.
- [7] Wu S M, Yu Q Y, Shen S, et al. Non-targeted metabolomics and electronic tongue analysis reveal the effect of rolling time on the sensory quality and nonvolatile metabolites of congou black tea[J]. *LWT*, 2022, 169: 113971.
- [8] 邢天天. 基于UPLC-QToF-MS的宽皮柑橘和橙果皮化学成分及代谢组学研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [9] Zhao S Y, Liu Z L, Shu Y S, et al. Chemotaxonomic classification applied to the identification of two closely-related citrus TCMS using UPLC-Q-TOF-MS-based metabolomics[J]. *Molecules*, 2017, 22(10): 1721.
- [10] 曾丽珊, 尤健开, 王艳鸽, 等. 基于UPLC-Q-TOF-MS的凉粉草不同栽培品系代谢物分析[J]. 中药新药与临床药理, 2023, 34(11): 1592-1599.
- [11] Fan G, Tao L H, Yue Q H, et al. Metabolic discrimination of rhizoma coptidis from different species using H-1 NMR spectroscopy and principal component analysis[J]. *Planta Medica*, 2012, 78(6): 641-648.
- [12] Liu Y, Yang X X, Zhou C, et al. Unveiling dynamic changes of chemical constituents in raw and processed Fuzi with different steaming time points using desorption electrospray ionization mass spectrometry imaging combined with metabolomics[J]. *Front Pharmacol*, 2022, 13: 842890.
- [13] 陈云丽, 颜仁梁, 卢雪花, 等. 基于广泛靶向代谢组学技术分析陈化7至11年广陈皮化学成分的差异[J]. 食品工业科技, 2023, 44(21): 1-9.
- [14] 颜仁梁, 梁永枢, 沈小钟. 基于UPLC-MS/MS广靶代谢组学技术分析不同陈化年限广陈皮化学成分的差异[J]. 广东药科大学学报, 2022, 38(6): 106-114.
- [15] Chen R Z, Jin C G, Tong Z G, et al. Optimization extraction, characterization and antioxidant activities of pectic polysaccharide from tangerine peels[J]. *Carbohydr Polym*, 2016, 136: 187-197.
- [16] Zhao Y N, Sun H Y, Ma L, et al. Polysaccharides from the peels of *Citrus aurantifolia* induce apoptosis in transplanted H22 cells in mice[J]. *Int J Biol Macromol*, 2017, 101: 680-689.
- [17] 康玉凡, 张淑杰. 天然活性多糖研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 379-382; 389.
- [18] Liang S J, Wen Z J, Tang T X, et al. Study on flavonoid and bioactivity features of the pericarp of *Citri reticulatae* 'Chachi' during storage[J]. *Arab J Chem*, 2022, 15(3): 103653.
- [19] Fu M Q, Xu Y J, Chen Y L, et al. Evaluation of bioactive flavonoids and antioxidant activity in *Pericarpium Citri Reticulatae* (*Citrus reticulata* 'Chachi') during storage[J]. *Food Chem*, 2017, 230: 649-656.
- [20] 郭畅. 不同产地广陈皮特征性化学成分及其活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.
- [21] Xu J, Wu X, Li M, et al. Antiviral activity of polymethoxylated flavones from "Guangchenpi", the edible and medicinal pericarps of *Citrus reticulata* 'Chachi' [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(10): 2182-2189.
- [22] 杨巍巍. 川陈皮素调节大鼠血压的功能性研究及分子机制[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- [23] 王宏. 广陈皮植物化学物生物活性及橙皮素抑制乳腺癌细胞活性机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [24] 杜洪志, 王先菊, 王小波, 等. 不同蒸制方法对商陆中内在质控指标的动态影响[J]. 时珍国医国药, 2023, 34(1): 118-121.
- [25] 李红芳, 李丹明, 瞿颂义, 等. 枳实和陈皮对兔离体主动脉平滑肌条作用机理探讨[J]. 中成药, 2001, 23(9): 36-38.