

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2026.06.002

罗洋洋, 王计瑞, 秦伟瀚, 等. 采后放置时间对橘红加工品营养成分、化学成分及抗氧化活性的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2026, 48(6): 13-26.

# 采后放置时间对橘红加工品营养成分、化学成分及抗氧化活性的影响

罗洋洋<sup>1,2</sup>, 王计瑞<sup>1,3</sup>, 秦伟瀚<sup>1,3</sup>, 于静<sup>1,2</sup>,  
张小梅<sup>1,3</sup>, 丁载宇<sup>4</sup>, 王云红<sup>1</sup>, 阳勇<sup>1,3</sup>

- 重庆市中药研究院 中药新药创制川渝重点实验室/国家中医药管理局中药化学三级实验室, 重庆 400065;
- 遵义医科大学 药学院, 贵州 遵义 563000; 3. 中国中医科学院 中药资源中心重庆分中心 重庆 400065;
- 重庆三峡云海药业股份有限公司, 重庆 400065

**摘要:** 采用紫外—可见分光光度法、高效液相色谱法、主成分分析法、相关性分析法、聚类分析法、权重分析法等系统考察了不同放置时间剥皮对橘红营养成分、化学成分和抗氧化活性的影响。结果显示: 第 11 d 橘红样品油室饱满透亮, 总多糖、必需氨基酸和总氨基酸含量均达最高值, 总多酚、总黄酮、川陈皮素和橘皮素含量次之; 第 5 d 橘红样品中含有最高的总多酚、总黄酮, DPPH 抗氧化活性最高。相关性分析表明: 样品中总多糖含量与总黄酮( $p < 0.01$ )和总多酚( $p < 0.05$ )呈显著负相关; DPPH 抗氧化活性与总黄酮、总多酚和橙皮苷含量呈极显著正相关( $p < 0.01$ ), 提示多甲氧基黄酮在抗氧化过程中发挥着关键作用; 川陈皮素与橘皮素呈极显著正相关( $p < 0.01$ ), 与苦味氨基酸、鲜味和酸味氨基酸呈显著负相关( $p < 0.05$ ); 总氨基酸与各类风味氨基酸均呈极显著正相关( $p < 0.01$ )。多元统计分析模型可以有效区分不同时间处理的橘红样品, 且具有良好的稳定性。权重分析结果显示: 第 11 d 橘红样品综合得分最高, 其次是第 5 d。综上表明: 橘红具有丰富的营养和药效成分, 具有良好的抗氧化活性。

**关键词:** 橘红; 营养成分; 化学成分; 抗氧化活性

中图分类号: TS209

文献标识码: A

文章编号: 1673-9868(2026)06-0013-14

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Effects of Postharvest Storage on Nutrients, Chemistry, and Antioxidant Properties of Processed Citri Exocarpium Rubrum (Juhong)

收稿日期: 2025-08-23

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项(CSTB2024TIAD-GPX0021); 重庆市技术创新与应用发展重点项目(CSTB2025TIAD-QQZDQXXCZXBFFX0007); 重庆市科研机构绩效奖励引导专项(cstc2023jxjl-zzkjjh2023019); 重庆市科技计划项目(cstc2023jxjl-jbky130008, cstc2023jxjl-jbky10001); 重庆中药新药与安全性研究传承创新团队项目。

作者简介: 罗洋洋, 硕士研究生, 主要从事中药质量分析及药物制剂研发与转化研究。

通信作者: 阳勇, 研究员。

LUO Yangyang<sup>1,2</sup>, WANG Jirui<sup>1,3</sup>, QIN Weihai<sup>1,3</sup>,  
YU Jing<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaomei<sup>1,3</sup>, DING Zaiyu<sup>4</sup>,  
WANG Yunhong<sup>1</sup>, YANG Yong<sup>1,3</sup>

1. Sichuan-Chongqing Joint Key Laboratory of Innovation of New Drugs of Traditional Chinese Medicine, Chongqing Academy of Chinese Materia Medica/Third-Level Laboratory of Chinese Medicine Chemistry Accredited by the National Administration of Traditional Chinese Medicine, Chongqing 400065, China;
2. School of Pharmacy, Zunyi Medical University, Zunyi Guizhou 563000, China;
3. Chongqing Sub-Center of National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Chongqing 400065, China;
4. Chongqing Sanxia Yunhai Pharmaceutical Co., Ltd., Chongqing 400065, China

**Abstract:** This research utilized a combination of analytical techniques, including ultraviolet-visible spectrophotometry, high-performance liquid chromatography, principal component analysis, correlation analysis, cluster analysis, and entropy weight-technique for order of preference by similarity to an ideal solution (EW-TOPSIS), to comprehensively evaluate the impact of different peeling durations on the nutritional composition, chemical profile, and antioxidant activity of Citri Exocarpium Rubrum(CER). The results showed that on day 11 of storage, the oil chambers of the CER samples were full and translucent, with the highest levels of total polysaccharides, essential amino acids, and total amino acids, while total polyphenols, total flavonoids, nobiletin, and tangeretin were at their secondary peaks. On day 5 of storage, the samples exhibited the highest levels of total polyphenols and total flavonoids, along with the strongest DPPH antioxidant activity. Correlation analysis (CA) showed that total polysaccharides content was negatively correlated with total flavonoids ( $p < 0.01$ ) and total polyphenols ( $p < 0.05$ ). DPPH antioxidant activity showed a highly significant positive correlation with total flavonoids, total polyphenols, and hesperidin content ( $p < 0.01$ ), suggesting that polymethoxylated flavonoids play a key role in the antioxidant process. Nobiletin was positively correlated with tangeretin ( $p < 0.01$ ) and negatively correlated with bitter, umami, and sour amino acids ( $p < 0.05$ ). Total amino acids content was positively correlated with all types of flavor amino acids ( $p < 0.01$ ). Multivariate statistical analysis models effectively distinguished samples processed at different storage durations, demonstrating good stability. The EW-TOPSIS results showed that samples stored for 11 days achieved the highest comprehensive score, followed by those stored for 5 days. In summary, CER was rich in nutrients and medicinal components and exhibited potent antioxidant activity.

**Key words:** Citri Exocarpium Rubrum; nutritional components; chemical components; antioxidant activity

橘红为芸香科植物橘(*Citrus reticulata* Blanco)及其栽培变种的干燥外层果皮,具有理气宽中、燥湿化痰之功效,常用于咳嗽痰多、食积伤酒及呕恶痞闷等症<sup>[1]</sup>。橘红的化学成分包括挥发油、黄酮、多酚、多糖和香豆素类化合物<sup>[2-4]</sup>。现代药理研究表明,橘红具有止咳平喘、降血糖血脂、抗癌、抗病毒、抗氧化和抑制肝损伤等药理活性,且安全性良好<sup>[5-7]</sup>。川橘红主要来源于古红橘(又名丹橘),丹橘作为世界栽培历史最悠久的古农作物之一,不仅是传统川陈皮的重要原料,又因其汁多味美,且具生津止渴、清胃利肠等功效,成为最先走出国门的中国柑橘品种<sup>[8]</sup>。川橘红作为川渝地区的特色道地药材,其产业化应用不仅延长了川渝两地柑橘产业的生产链,而且提高了柑橘产业的市场竞争力,同时也提高了柑橘产品的市场需求<sup>[9]</sup>。

目前,橘红的生产仍以手工剥皮为主,存在效率低、劳动强度大、产品质量不稳定等问题。尽管部分研

究已引入自动化设备,如李维一<sup>[9]</sup>发明了一些自动化橘皮橘白刮离装置,但在橘红加工过程中,橘皮待剥皮的放置时间对最终产品质量的影响尚未得到系统研究。鲜果采摘后,随着放置时间的延长,果皮水分流失、细胞结构软化及酶促反应,均可能对橘红品质和化学成分产生较大影响<sup>[10-11]</sup>,因此本研究以营养成分、化学成分和抗氧化活性为评价指标,采用多元统计学和权重分析等方法,系统考察不同放置时间剥皮对橘红质量的影响,旨在为橘红加工工艺的规范化制定与产业化生产提供科学依据,也为其在中药饮片、健康食品原料及天然提取物等领域的应用奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜大红袍(古红橘)于2024年1月在重庆市云阳县采摘,经重庆市中药研究院中药生药研究所瞿显友研究员鉴定为新鲜橘(大红袍)。

对照品橙皮苷(纯度>98%,批号:PS011588)、维采宁-2(纯度>98%,批号:PS012054)、橘皮素(纯度>98%,批号:PS012027)、6-去甲氧基橘皮素(纯度>98%,批号:PS011274)、川陈皮素(纯度>98%,批号:PS012026)、异橙黄酮(纯度>98%,批号:PS011270)、甜橙黄酮(纯度>98%,批号:PS011273)、圣草次苷(纯度>98%,批号:PS010198)、芦丁(纯度>98%,批号:DF20D267),成都普思生物科技股份有限公司;焦性没食子酸(批号:TS0905CA14)、福林酚(批号:S29851),上海源叶生物科技有限公司;1,1-二苯基-2-2-苦基肼(DPPH,批号:1C1895644)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS,批号:SLBZ8095),西格玛奥德里奇贸易有限公司;无水D-(+)-葡萄糖(批号:G61055A),上海泰坦科技股份有限公司;维生素E(批号:F1624018),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;甲醇(色谱纯,批号:40Y2207LC),美国ACS公司;茚三酮显色液、H型氨基酸混合标准液,日本和光纯药工业株式会社;无水乙醇(分析纯,批号:20220901)、甲醇(分析纯,批号:20240601),重庆川东化工(集团)有限公司;磷酸(色谱纯,批号:20240701),天津市科密欧化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Waters高效液相色谱仪,美国沃特世科技有限公司;紫外分光光度计,上海嘉鹏科技有限公司;氨基酸自动分析仪,日本日立公司;台式高速离心机,湖南可成仪器设备有限公司;鼓风干燥机,上海博讯医疗生物仪器股份有限公司;电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;光吸收全波长酶标仪,上海闪谱生物科技有限公司;超声波清洗仪,昆山市超声仪器有限公司;恒温水浴锅,巩义市予华仪器有限责任公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 不同处理时间橘红样品的制备

橘红的处理方法参照《中华人民共和国药典》<sup>[1]</sup>和孙振刚等<sup>[12]</sup>的研究,将新鲜的大红袍剥皮,放置1、3、5、7、9、11、13 d,用美工刀将橘白刮离,留透亮的外表皮,切条,60℃烘干。取部分烘干样品打粉后过4号药典筛,于阴凉干燥处备用。

#### 1.3.2 总多糖含量的测定

##### 1.3.2.1 样品制备

精密称取样品粉末0.5 g,加入45 mL去离子水中,回流提取2 h,冷却后转移并定容至50 mL,精密量取1 mL提取液于50 mL离心管中,加入乙醇5 mL,震荡2 min,4℃醇沉2 h,取出,11 000 r/min离心处理15 min,弃去上清液,加去离子水溶解沉淀,转移至10 mL容量瓶中,加去离子水定容至刻度,摇匀,即得。

##### 1.3.2.2 样品显色

通过紫外-可见分光光度法测定橘红样品的总多糖含量,参照Yue等<sup>[13]</sup>和Xu等<sup>[14]</sup>测定陈皮总多糖含量的方法(对苯酚-硫酸法)略有改动。取样品0.5 mL,加入0.5 mL 5%苯酚溶液,加入1 mL去离子

水,迅速加入 3 mL 浓  $H_2SO_4$ ,在沸水浴条件下反应 20 min,取出冷却至室温,以无水葡萄糖为对照,去离子水为溶剂空白,于 490 nm 波长处测定吸光度值,每个样品平行测定 3 次。

### 1.3.3 总黄酮和总多酚含量的测定

#### 1.3.3.1 样品的提取

取橘红粉末 0.5 g,加入 25 mL 60%乙醇溶液,称质量,超声处理(功率 400 W,频率 40 kHz)45 min,待自然冷却至室温后,用 60%乙醇补足失质量,充分振摇混合。取适量提取液 12 000 r/min 离心 10 min,精密吸取 2 mL 上清液定容至 10 mL,即得待测溶液。

#### 1.3.3.2 待测液显色

通过紫外—可见分光光度法测定橘红总黄酮含量, $AlCl_3$  比色法参照邓海丹等<sup>[15]</sup>的方法略有改动。移取待测液 0.5 mL 于 10 mL 比色管中,先加入 0.5 mL 5%  $NaNO_2$  溶液,振摇均匀后静置 6 min,再加入 0.5 mL 10%  $Al(NO_3)_3$  溶液,振摇均匀后静置 6 min,最后加入 4.0 mL 4%  $NaOH$  溶液,充分混匀后于暗处静置 15 min 进行显色反应。在 505 nm 波长处测定吸光度值,以 60%乙醇为空白,芦丁为对照品测定并计算其含量,每个样品平行测定 3 次。

通过紫外—可见分光光度法测定橘红总多酚含量,福林酚比色法参照盛钊君等<sup>[16]</sup>的方法略有改动。移取待测样品溶液 1 mL 到 10 mL 比色管中,依次加入 0.5 mL 福林酚试液,充分混匀后反应 6 min,再加入 7.5%碳酸钠溶液 1.5 mL,纯水定容至 10 mL,50 °C 水浴避光反应 60 min。在 760 nm 波长处测定吸光度值,以 60%乙醇为空白,没食子酸为对照计算其含量,每个样品平行测定 3 次。

#### 1.3.4 氨基酸含量的测定

16 种氨基酸含量测定参照胡前梅等<sup>[17]</sup>的方法,称取 0.2 g 橘红粉末置于 25 mL 水解管中,随后加入 10 mL 6.0 mol/L 的盐酸溶液,摇匀,称定质量,抽真空,封口。将水解管放入恒温干燥箱中,在 110 °C 下水解 24 h,冷却,称定质量,以 6 mol/mL 盐酸补足失质量,摇匀,12 000 r/min 离心 10 min,精密量取上清液 0.4 mL 挥干,用 0.02 mol/L 盐酸溶解并定容至 10 mL,用 0.22  $\mu m$  无机滤膜过滤,取滤液上机测定。

#### 1.3.5 橙皮苷、川陈皮素和橘皮素含量的测定

橙皮苷、川陈皮素和橘皮素含量通过高效液相色谱法进行测定,参照《中华人民共和国药典》<sup>[1]</sup>陈皮含量测定项通则 0512。

#### 1.3.6 HPLC 指纹图谱建立

##### 1.3.6.1 样品溶液的制备

称取 0.5 g 橘红样品于具塞锥形瓶中,精密加入 70%甲醇溶液 50 mL,盖上塞子后超声提取 1 h,0.22  $\mu m$  滤膜(有机系)滤过后分装于进样小瓶中,即得。

##### 1.3.6.2 色谱条件

Waters 2998 PDA Deleclor 型半自动高效液相色谱仪,色谱柱:月旭 AQ-C18 柱(250 mm $\times$ 4.6 mm,5  $\mu m$ ),A 相:甲醇;B 相:0.1%磷酸;流速:1 mL/min;柱温:30 °C;梯度洗脱程序:0~2 min,18%A;2~8 min,18%~23%A;8~40 min,23%~60%A;40~45 min,60%~65%A;45~55 min,65%~70%A;55~60 min,70%~73%A;60~65 min,73%~85%A;65~66 min,85%~15%A;进样量:10  $\mu L$ ;检测波长:300 nm。

#### 1.3.7 抗氧化活性评价

取 1.3.3.1 项下样品溶液,按照文献<sup>[18]</sup>的方法加入适量 DPPH $\cdot$  工作液和 ABTS+ $\cdot$  工作液,避光反应 30 min,于对应波长下测定吸光度。以无水 60%乙醇为空白,维生素 E 为阳性对照,每个样品平行测定 3 次,根据公式计算样品自由基清除率( $R$ )。

$$R = \frac{1 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $A_0$  为乙醇溶液总吸光度; $A_i$  为样品溶液吸光度; $A_j$  为 DPPH $\cdot$  或 ABTS+ $\cdot$  与提取溶剂混合后

的吸光度。

#### 1.4 数据处理

对于单因素方差分析, 使用 SPSS 20 进行统计, Origin 2021 绘图, 多元统计学分析采用 <https://www.biodeep.cn/home> 完成,  $p < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同加工处理后的橘红外观性状

图 1 显示, 随着放置时间的延长, 橘红的外观特征并无明显区别, 但其油室的透光率明显增加, 白光透射后油室更加明亮。这可能是在放置过程中, 由于橘皮堆叠的腐烂过程导致, 橘皮中橘白相较于橘红, 挥发油含量少, 更容易通过空气中的孢子产生霉变<sup>[19-20]</sup>。由于腐烂首先出现在橘白部分, 因此在使用美工刀刮离橘白时, 更容易将其刮离彻底, 因此放置越久, 其油室透光度越高。

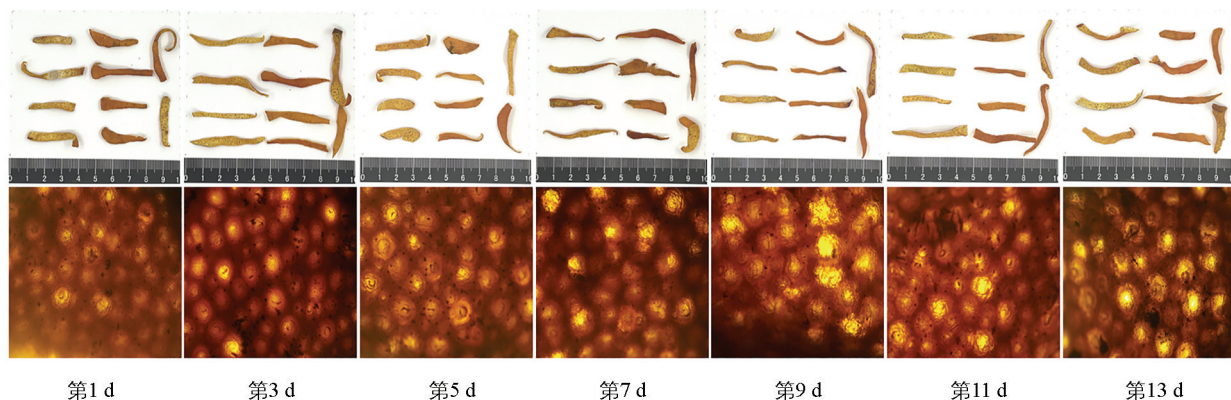


图 1 不同处理橘红样品外观特征及油室透光情况

### 2.2 总多糖含量的测定

多糖类成分具有广泛的生物活性, 其作用机制涉及增强机体免疫应答、抗肿瘤、调节血脂代谢、清除自由基及调节肠道菌群等<sup>[21]</sup>。不同刮皮时间橘红样品中总多糖含量结果见图 2, 随着放置时间的增加, 橘红总多糖含量呈现出先降低后升高最后再降低的趋势。

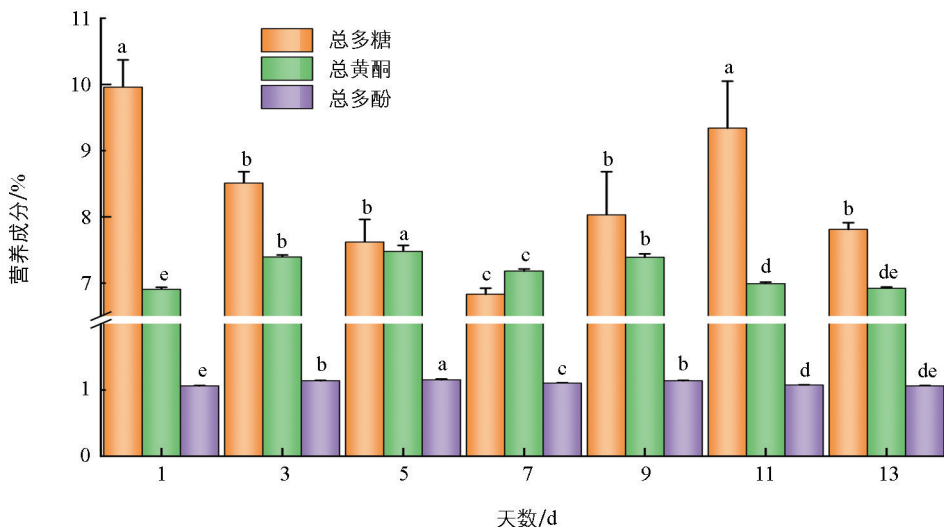


图 2 不同处理橘红样品中总多糖、总黄酮和总多酚含量

### 2.3 总黄酮和总多酚的含量测定

由图 2 可知, 各种处理后橘红样品中的总黄酮和总多酚含量的变化趋势基本一致, 均为先上升后下降再持平。橘红样品的总黄酮和总多酚含量分别在 6.90%~7.47% 和 1.05%~1.16%, 其中第 5 d 样品中总黄酮

和总多酚含量最高,分别为 7.47%和 1.16%;第 1 d 样品中两者含量均最低,分别为 6.90%和 1.05%。

## 2.4 氨基酸含量测定结果

氨基酸的分类按照文献[22]的分类方法进行整理,分为必需氨基酸、非必需氨基酸或赋有不同风味的氨基酸。共分离出 20 个氨基酸色谱峰,标定出 16 个氨基酸,并对其进行了定量分析,含量测定结果见表 1。橘红样品中总氨基酸质量分数为 22.99~29.59 mg/g,最高为第 11 d 的样品,其次是第 3 d,而含量最低的是第 9 d 的样品。各组样品中必需氨基酸共有 7 种,其含量趋势大致相同,由高到低依次为赖氨酸>异亮氨酸>缬氨酸>苏氨酸>精氨酸>苯丙氨酸>亮氨酸,其中赖氨酸含量最高;非必需氨基酸共 9 种,依次为脯氨酸>谷氨酸>天冬氨酸>络氨酸>丝氨酸>甘氨酸>丙氨酸>组氨酸>半胱氨酸,其中脯氨酸含量最高。

人体必需氨基酸是合成蛋白质的主要来源,根据 FAO/WHO 氨基酸理想模式标准,必需氨基酸(EAA)/非必需氨基酸(NEAA)大于 0.6 为较好蛋白<sup>[23]</sup>。EAA 在 NEAA 和总氨基酸(TAA)中的占比随着放置时间的增加,其比值逐渐下降,而后略有回升(图 3a),结合表 1 中 EAA 含量的变化,发现第 1 d、第 11 d 和第 13 d 样品 EAA/NEAA 占比较高,EAA/NEAA>50%,EAA/TAA>30%,与 FAO/WHO 氨基酸理想模式标准较为接近<sup>[24]</sup>,提示橘红作为药食两用中药其营养基础具有科学性。

果皮作为果实的外层保护组织,不仅是抵御外界环境胁迫的屏障,更是多种营养成分的富集部位<sup>[25]</sup>。橘皮中的氨基酸含量比果肉含量高,赋予陈皮或者橘红特殊的风味和颜色<sup>[26-27]</sup>。丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸、苏氨酸和脯氨酸等为甜味氨基酸,赋予橘红甜味;谷氨酸、天冬氨酸和缬氨酸则赋予鲜味和酸味;亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸和精氨酸则与苦味相关。结果表明,第 3 d 样品中表现出更多的甜味,第 11 d 样品除在甜味和其他风味上占比更高外,在苦味上也具有较高的占比(图 3b)。因此,从营养成分含量角度来说,放置 11 d 后刮皮的橘红样品中各类氨基酸含量均较高,但其风味也会偏苦。

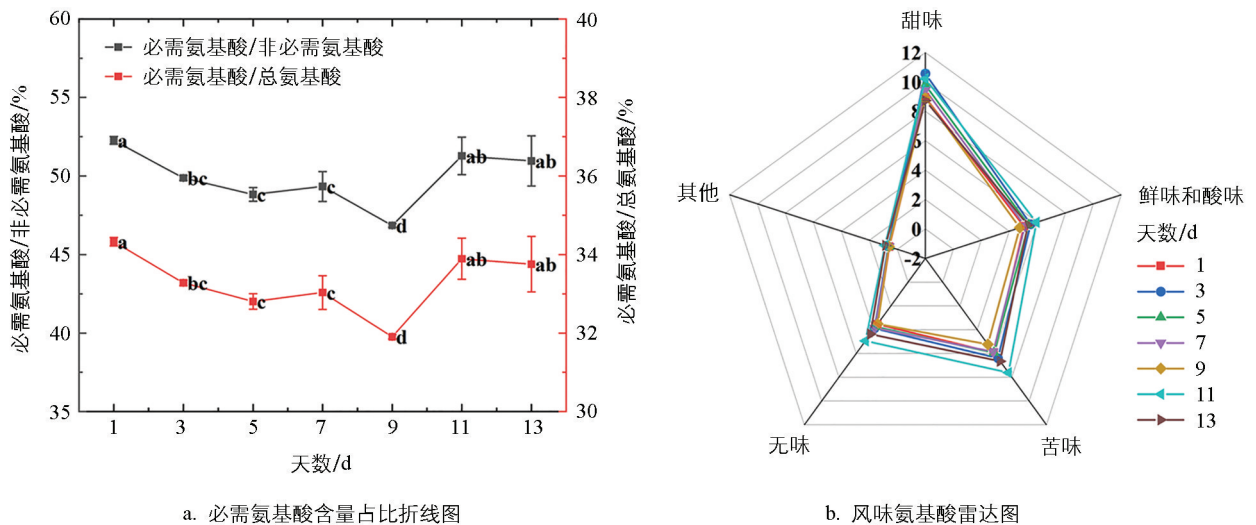


图 3 不同处理橘红样品氨基酸含量占比

表 1 不同刮皮时间橘红样品中各氨基酸含量

mg · g<sup>-1</sup>

| 氨基酸种类     | 氨基酸质量分数 (n=3) |             |             |             |             |              |             |
|-----------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
|           | 第 1 d         | 第 3 d       | 第 5 d       | 第 7 d       | 第 9 d       | 第 11 d       | 第 13 d      |
| 甜味        |               |             |             |             |             |              |             |
| 丙氨酸(Ala)  | 1.08±0.01d    | 1.24±0.02b  | 1.18±0.01c  | 1.20±0.01c  | 1.08±0.04d  | 1.31±0.03a   | 1.16±0.03c  |
| 氨基酸       |               |             |             |             |             |              |             |
| 甘氨酸(Gly)  | 1.14±0.02d    | 1.23±0.02c  | 1.18±0.01d  | 1.18±0.01d  | 1.08±0.02e  | 1.46±0.02a   | 1.30±0.04b  |
| 丝氨酸(Ser)  | 1.32±0.07d    | 1.47±0.03b  | 1.46±0.03bc | 1.40±0.01c  | 1.30±0.01d  | 1.55±0.02a   | 1.48±0.03b  |
| 苏氨酸(Thr*) | 1.10±0.05cd   | 1.20±0.02b  | 1.17±0.02b  | 1.14±0.01bc | 1.05±0.01d  | 1.27±0.02a   | 1.13±0.07bc |
| 脯氨酸(Pro)  | 4.29±0.03c    | 5.42±0.09a  | 4.80±0.11b  | 4.54±0.15bc | 4.40±0.17bc | 4.64±0.55bc  | 3.66±0.25d  |
| 总计        | 8.93±0.11d    | 10.56±0.16a | 9.78±0.12bc | 9.46±0.17c  | 8.90±0.24d  | 10.23±0.58ab | 8.73±0.15d  |

续表 1

| 氨基酸种类                | 氨基酸质量分数 ( $n=3$ ) |             |              |             |             |             |             |
|----------------------|-------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                      | 第 1 d             | 第 3 d       | 第 5 d        | 第 7 d       | 第 9 d       | 第 11 d      | 第 13 d      |
| 鲜味和 谷氨酸(Glu)         | 2.59±0.03c        | 2.77±0.05b  | 2.70±0.02b   | 2.58±0.03c  | 2.35±0.03d  | 2.95±0.06a  | 2.71±0.04b  |
| 酸味氨基酸 天冬氨酸(Asp)      | 2.47±0.07ef       | 2.75±0.05b  | 2.68±0.03bc  | 2.54±0.02de | 2.39±0.07f  | 2.99±0.03a  | 2.62±0.07cd |
| 缬氨酸(Val*)            | 1.18±0.02d        | 1.23±0.01c  | 1.16±0.00d   | 1.14±0.03d  | 1.00±0.03e  | 1.48±0.02a  | 1.29±0.03b  |
| 总计                   | 5.05±0.10d        | 5.52±0.10b  | 5.38±0.05bc  | 5.12±0.05d  | 4.74±0.10f  | 5.94±0.09a  | 5.33±0.08c  |
| 苦味氨基酸 亮氨酸(Leu*)      | 0.83±0.03de       | 0.95±0.03c  | 0.88±0.01d   | 0.85±0.02de | 0.80±0.03e  | 1.33±0.05a  | 1.21±0.04b  |
| 异亮氨酸(Ile*)           | 1.46±0.04b        | 1.56±0.05a  | 1.34±0.03d   | 1.40±0.04bc | 1.07±0.01f  | 1.39±0.03cd | 1.16±0.03e  |
| 苯丙氨酸(Phe*)           | 0.95±0.07d        | 1.05±0.06c  | 0.92±0.04de  | 0.96±0.04d  | 0.85±0.02e  | 1.56±0.02a  | 1.37±0.02b  |
| 组氨酸(His)             | 0.46±0.01e        | 0.46±0.01e  | 0.55±0.03c   | 0.51±0.01d  | 0.58±0.02b  | 0.74±0.00a  | 0.60±0.02b  |
| 精氨酸(Arg*)            | 1.04±0.03cd       | 1.15±0.01a  | 1.08±0.02bc  | 0.99±0.03e  | 0.93±0.04f  | 1.11±0.04ab | 1.02±0.02de |
| 总计                   | 5.92±0.06d        | 6.39±0.10c  | 5.93±0.07d   | 5.85±0.14d  | 5.23±0.13f  | 7.61±0.08a  | 6.65±0.10b  |
| 无味氨基酸 赖氨酸(Lys*)      | 1.69±0.04de       | 1.85±0.03ab | 1.79±0.03bc  | 1.73±0.06cd | 1.63±0.09ef | 1.88±0.02a  | 1.56±0.05f  |
| 酪氨酸(Tyr)             | 1.85±0.02e        | 2.04±0.06cd | 1.97±0.02d   | 2.12±0.08c  | 1.88±0.06e  | 3.05±0.02a  | 2.80±0.06b  |
| 总计                   | 3.54±0.06d        | 3.89±0.08c  | 3.76±0.02c   | 3.85±0.14c  | 3.51±0.15d  | 4.93±0.02a  | 4.36±0.10b  |
| 其他氨基酸 半胱氨酸(Cys)      | 0.07±0.00bc       | 0.08±0.02bc | 0.08±0.01bc  | 0.07±0.01c  | 0.08±0.01bc | 0.10±0.03ab | 0.12±0.01a  |
| 氨气(NH <sub>3</sub> ) | 0.50±0.01d        | 0.56±0.01c  | 0.52±0.01cd  | 0.52±0.01cd | 0.53±0.02cd | 0.79±0.06a  | 0.73±0.03b  |
| 总计                   | 0.58±0.00b        | 0.64±0.01b  | 0.60±0.00b   | 0.59±0.01b  | 0.60±0.03b  | 0.88±0.09a  | 0.84±0.02a  |
| 必需氨基酸(EAA)           | 8.25±0.10c        | 8.99±0.12b  | 8.35±0.06c   | 8.22±0.21c  | 7.34±0.21d  | 10.03±0.09a | 8.74±0.22b  |
| 非必需氨基酸(NEAA)         | 15.77±0.16d       | 18.01±0.29b | 17.10±0.19c  | 16.66±0.27c | 15.65±0.42d | 19.56±0.54a | 17.17±0.17c |
| 总氨基酸(TAA)            | 24.02±0.26e       | 27.00±0.41b | 25.45±0.24cd | 24.88±0.45d | 22.99±0.64f | 29.59±0.60a | 25.91±0.19c |

注: \* 表示人体必需氨基酸, 小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义。

## 2.5 橙皮苷、川陈皮素和橘皮素含量测定结果

各样品液相含量测定结果见图 4, 其中橙皮苷的质量分数为 3.98%~6.68%, 随着放置时间延长呈先升高后降低, 其中第 5 d 最高, 为 6.68%; 川陈皮素和橘皮素含量变化幅度较小, 其中川陈皮素质量分数为 0.75%~0.89%, 橘皮素质量分数为 0.25%~0.36%; 两种成分含量变化趋势为先增加后降低, 在第 7 d 和第 9 d 时最高, 差异无统计学意义( $p < 0.05$ )。

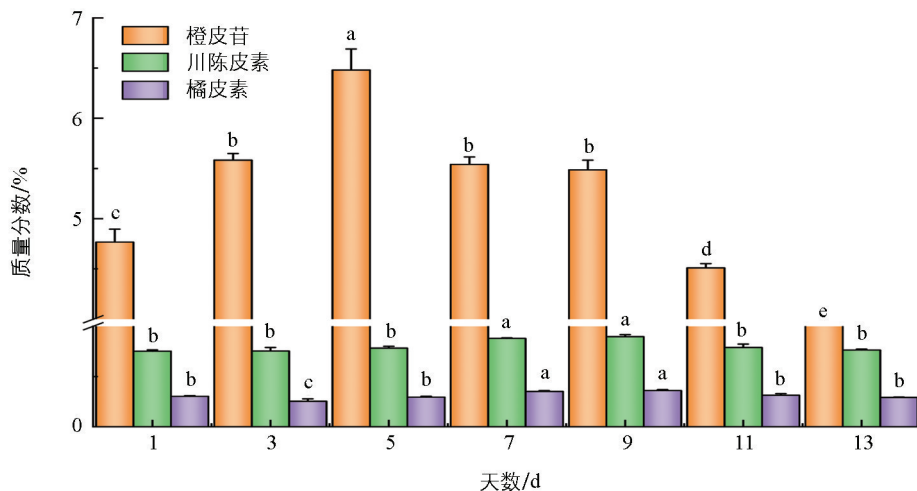


图 4 不同处理橘红样品橙皮苷、川陈皮素和橘皮素含量测定结果

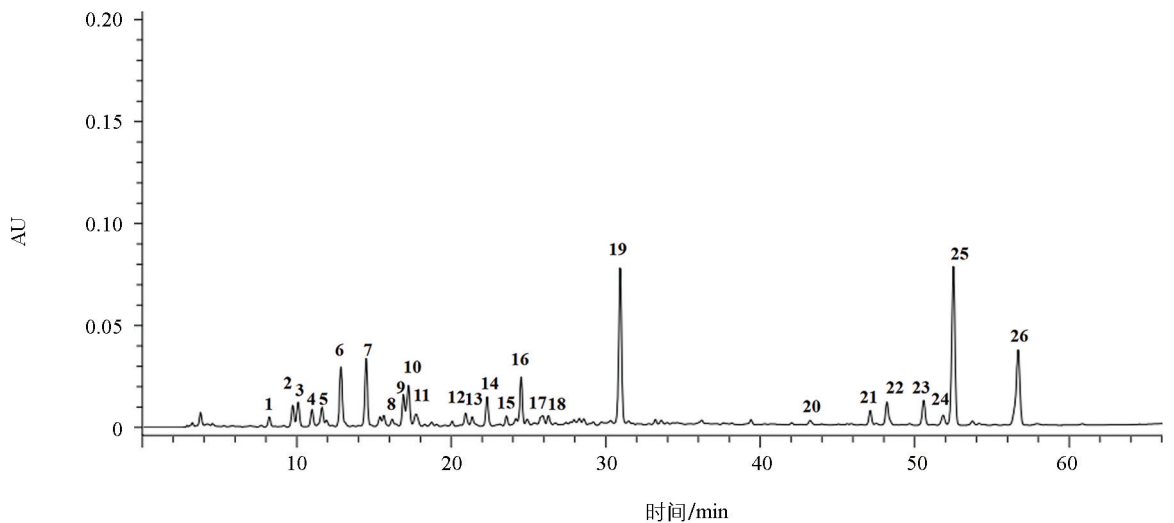
## 2.6 橘红指纹图谱结果

### 2.6.1 指纹图谱精密度、稳定性和重复性结果

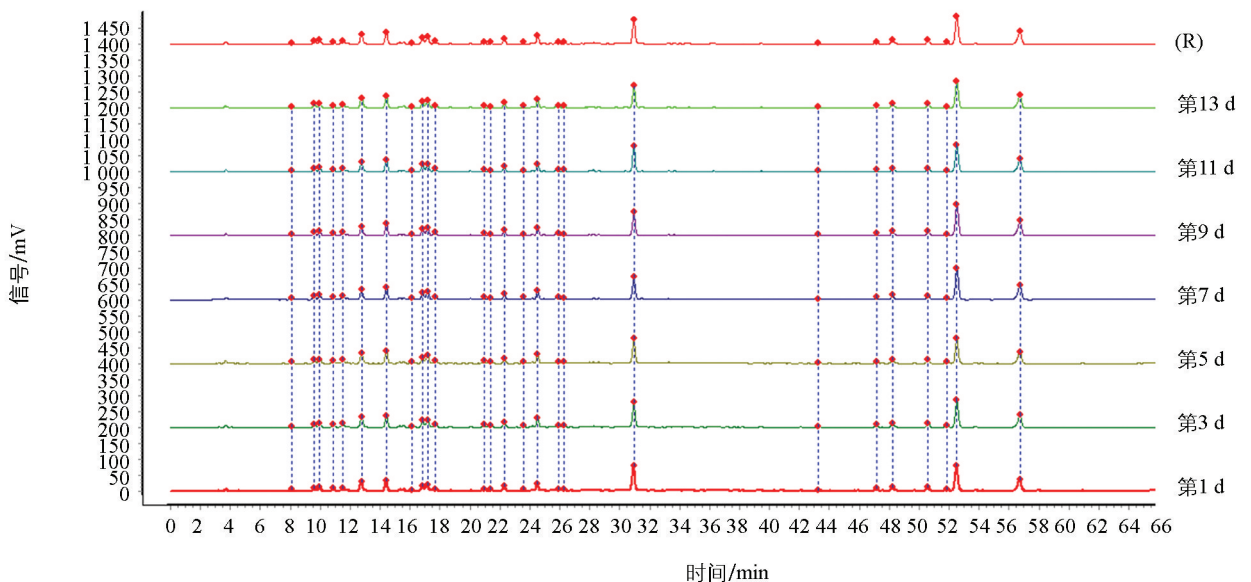
取橘红样品按 1.3.6.1 项下方法制备供试液, 1.3.6.2 项下色谱条件连续进样 6 次, 以峰形对称, 分离度和响应强度高的 19 号峰为参照, 计算出共有峰保留时间的相对标准偏差  $RSD < 0.05\%$ , 峰面积的  $RSD < 1.25\%$ , 表明仪器精密度良好。取橘红样品按 1.3.6.1 项下方法平行制备 6 份供试液, 分别测定。以 19 号峰为参照, 计算出共有峰保留时间的  $RSD < 0.06\%$ , 峰面积的  $RSD < 0.8\%$ , 表明该方法重复性良好。取橘红样品按 1.3.6.1 项下方法制备供试液, 分别于 0、2、4、8、12、24 h 依照 1.3.6.2 色谱条件上机测定。以 19 号峰为参照, 计算出共有峰保留时间的  $RSD < 0.18\%$ , 峰面积的  $RSD < 2.65\%$ , 表明该样品在 24 h 内稳定。

### 2.6.2 橘红指纹图谱共有识别模式的建立

由图 5a 可知, 有 26 个橘红指纹图共有峰, 对其中 8 个色谱峰进行了指认, 分别是维采宁-2(14), 圣草次苷(16), 橙皮苷(19), 异橙黄酮(21), 甜橙黄酮(22), 6-去甲氧基橘皮素(23), 川陈皮素(25), 橘皮素(26)。图 5b 显示, 各橘红样品指纹图谱及共有模式图谱中, 7 批不同处理橘红样品的相似度为 0.98~0.99, 说明各样品之间共有峰差异较小。



a. 橘红HPLC色谱峰定位



b. 橘红HPLC指纹图谱

图 5 不同处理橘红样品 HPLC 指纹图谱

## 2.7 抗氧化活性评价

ABTS 和 DPPH 自由基清除率是评价样本体外抗氧化活性的指标之一<sup>[28]</sup>。不同刮皮时间橘红样品的抗氧化活性结果如图 6, ABTS 和 DPPH 自由基清除率以维生素 E 当量换算后为 39.35~42.32 mg/g 和 47.38~58.66 mg/g。ABTS 和 DPPH 总体变化趋势较为一致, 均呈现出先升高后降低的趋势, ABTS 自由基清除率在第 11 d 出现拐点, 而 DPPH 在第 5 d 时出现转折。第 5 d 样品的 DPPH 抗氧化活性最高, 第 1 d 最低, 这可能与橘红样品中总黄酮、多酚和其他成分含量的改变有关。

## 2.8 多元统计学分析

### 2.8.1 皮尔逊相关性分析

采用皮尔逊相关性分析法, 评估了样品中总多糖、总黄酮、总多酚、7 类氨基酸以及橙皮苷、川陈皮素和橘皮素的含量与 ABTS 和 DPPH 抗氧化活性之间的相关性。由图 7 可知, 总多糖含量与总黄酮( $p < 0.01$ )和总多酚( $p < 0.05$ )呈显著负相关; 总黄酮、总多酚和橙皮苷与 DPPH 抗氧化活性呈极显著正相关( $p < 0.01$ ), 总多糖与 ABTS 抗氧化活性呈显著负相关( $p < 0.05$ ); 川陈皮素与橘皮素呈极显著正相关( $p < 0.01$ ), 与苦味氨基酸、鲜味和酸味氨基酸呈显著负相关( $p < 0.05$ ); 苦味氨基酸含量与总黄酮、总多酚、橙皮苷以及橘皮素含量呈显著负相关( $p < 0.05$ ); 总氨基酸与各类风味氨基酸均呈极显著正相关( $p < 0.01$ )。

### 2.8.2 主成分分析

为了综合评价不同刮皮时间对橘红质量的影响, 本研究通过样品总成分(多糖、多酚和黄酮)含量、各种氨基酸含量、化学成分(橙皮苷、川陈皮素和橘皮素)含量和抗氧化活性为指标进行了主成分分析, 由图 8a 可知, PC1 和 PC2 的贡献率总和为 72.7%, 说明模型拟合良好。第 11 d 样品与其他样品间距离较远, 说明其质量差异较其余组别大。质量相似组通常较为接近, 如第 3 d 和第 5 d、第 7 d 和第 9 d、第 1 d 和第 13 d。此外, 为了进一步分析差异化合物, 我们进行了 OPLS-DA 筛选, 由表 2 可知, 共有 11 个  $VIP > 1$  的化合物, 分别是橙皮苷、无味氨基酸、组氨酸、络氨酸、脯氨酸等。

表 2 各成分 OPLS-DA 得分

| 化合物                   | VIP 值 | 化合物        | VIP 值 |
|-----------------------|-------|------------|-------|
| 组氨酸 (His)             | 1.96  | 苯丙氨 (Phe*) | 1.42  |
| 络氨酸 (Tyr)             | 1.76  | 半胱氨酸 (Cys) | 1.29  |
| 氨气 (NH <sub>3</sub> ) | 1.74  | 脯氨酸 (Pro)  | 1.24  |
| 异亮氨酸 (Ile*)           | 1.51  | 甘氨酸 (Gly)  | 1.15  |
| 无味氨基酸                 | 1.49  | 橙皮苷        | 1.13  |
| 亮氨酸 (Leu*)            | 1.47  |            |       |

注:  $VIP > 1$  被认为是差异性成分, \* 表示人体必需氨基酸。

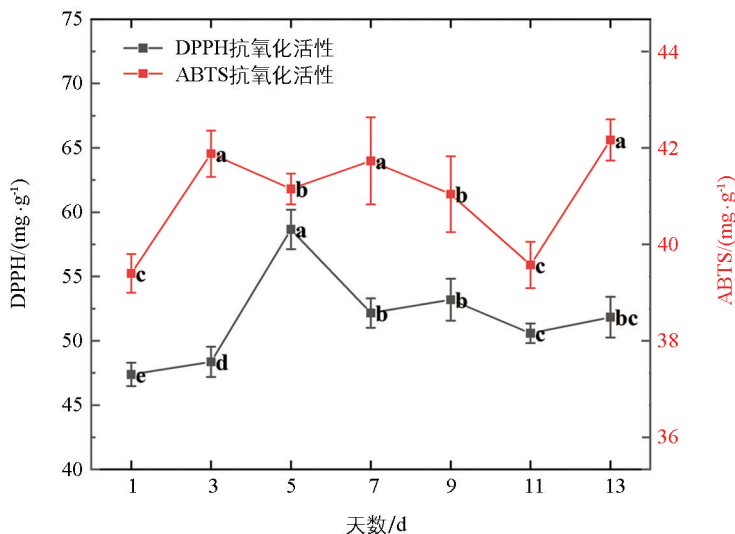
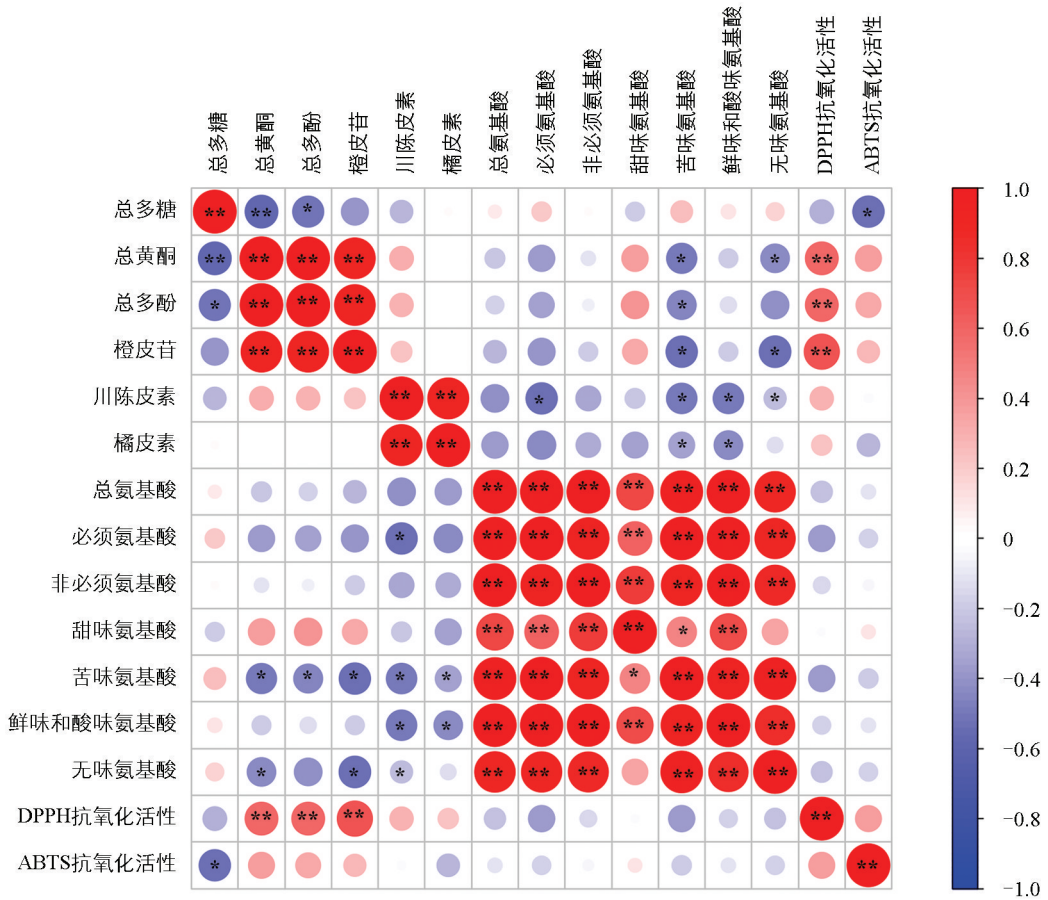


图 6 不同处理橘红样品抗氧化活性评价



\* 表示  $p < 0.05$ , \*\* 表示  $p < 0.01$ ; 圆圈越大, 相关性越高; 红色呈正相关, 蓝色呈负相关。

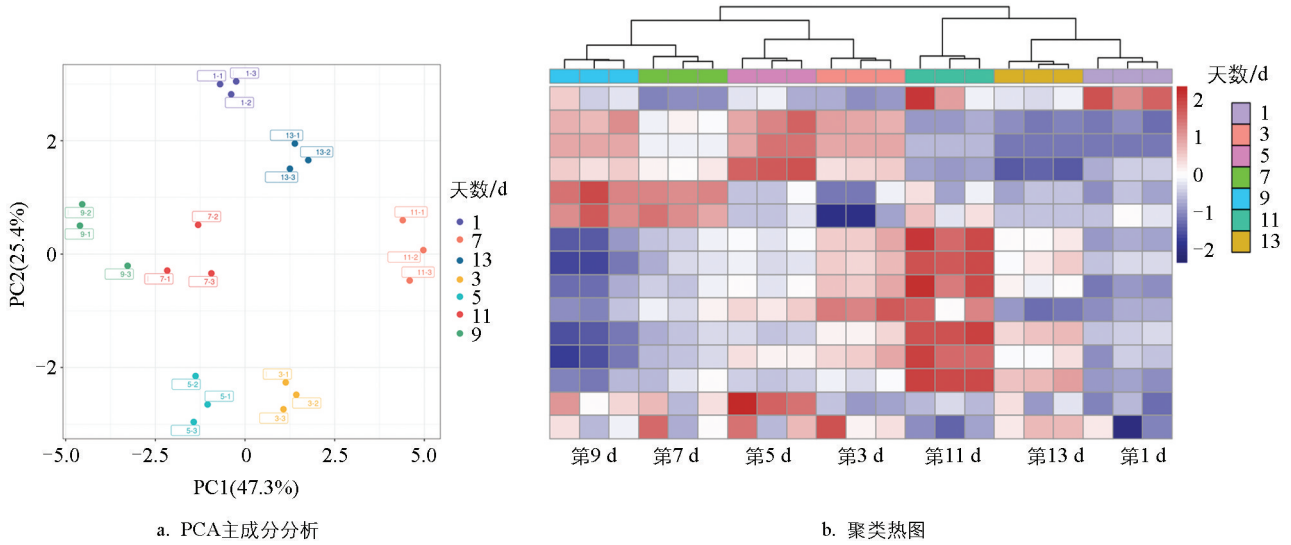
图 7 不同处理橘红样品皮尔逊相关性分析图

### 2.8.3 聚类分析

以不同刮皮时间橘红样品的总成分(多糖、黄酮和多酚)、化学成分(橙皮苷、川陈皮素和橘皮素)、各类氨基酸含量和抗氧化活性为指标对各样品进行聚类分析, 结果见图 8b, 红色表示相对含量较高, 蓝色表示相对含量较低。其中第 11 d 单独聚为一类, 第 1 d 和第 13 d 橘红样品被聚为一类, 第 3 d 和第 5 d、第 7 d 和第 9 d 橘红样品分别聚为一类, 这个聚类结果与 PCA 分析结果一致。二级聚类结果显示, 各种样品被分为两类, 说明各样品间质量存在差异, 而第 11 d 橘红样品中各成分的相对含量均较高, 因此被单独聚为一类。

### 2.9 权重分析

以不同刮皮时间橘红样品的总成分(多糖、黄酮和多酚)、化学成分(橙皮苷、川陈皮素和橘皮素)、各类氨基酸含量和抗氧化活性为变量, 进行权重分析。以促进其质量的指标作为正向指标, 参照文献[29]对各成分权重进行计算, 结果见表 3。川陈皮素和无味氨基酸的权重系数较其余指标大, 说明二者对权重评分的影响较大。熵权法得分和排序结果见表 4, 根据各指标的综合评价, 第 11 d 样品的得分最高, 其次是第 5 d, 第 1 d 得分最低。熵权法分析结果显示, 橘皮于放置 11 d 后刮皮, 加工处理为橘红时, 该样品的综合质量最佳, 其次是放置后第 5 d 刮皮的橘红样品。



红色表示相对含量高, 蓝色表示相对含量低。

图 8 不同处理橘红样品多元统计学分析

表 3 信息熵、信息效应数和权重系数计算结果

| 成分         | 信息熵值    | 信息效用值   | 权重系数/% |
|------------|---------|---------|--------|
| 橙皮苷        | 0.869 6 | 0.130 4 | 4.94   |
| 川陈皮素       | 0.703 5 | 0.296 5 | 11.22  |
| 橘皮素        | 0.886 2 | 0.113 8 | 4.31   |
| 总多糖        | 0.805 9 | 0.194 1 | 7.35   |
| 总黄酮        | 0.788 9 | 0.211 1 | 7.99   |
| 总多酚        | 0.788 9 | 0.211 1 | 7.99   |
| 总氨基酸       | 0.855 2 | 0.144 8 | 5.48   |
| 必需氨基酸      | 0.885 6 | 0.114 4 | 4.33   |
| 非必需氨基酸     | 0.807 8 | 0.192 2 | 7.28   |
| 甜味氨基酸      | 0.802 6 | 0.197 4 | 7.47   |
| 苦味氨基酸      | 0.866 1 | 0.133 9 | 5.07   |
| 鲜味和酸味      | 0.881 2 | 0.118 8 | 4.50   |
| 无味氨基酸      | 0.757 3 | 0.242 7 | 9.19   |
| DPPH 抗氧化活性 | 0.810 8 | 0.189 2 | 7.16   |
| ABTS 抗氧化活性 | 0.849 0 | 0.151 0 | 5.72   |

表 4 熵权法得分、排序

| 样品     | 正理想解距离 | 负理想解距离 | 相对接近度 | 排序结果 |
|--------|--------|--------|-------|------|
| 第 1 d  | 0.241  | 0.082  | 0.254 | 7    |
| 第 3 d  | 0.176  | 0.157  | 0.472 | 4    |
| 第 5 d  | 0.155  | 0.168  | 0.519 | 2    |
| 第 7 d  | 0.162  | 0.142  | 0.467 | 5    |
| 第 9 d  | 0.180  | 0.166  | 0.479 | 3    |
| 第 11 d | 0.159  | 0.180  | 0.531 | 1    |
| 第 13 d | 0.207  | 0.100  | 0.327 | 6    |

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

古红橘作为三峡地区的主要水果产物,在重庆万州、云阳等地广泛种植,经济效益良好,而橘红作为柑橘产业的后端支持之一,对产业链的延长、市场竞争力及柑橘产品市场需求的提升具有积极的促进作用<sup>[9]</sup>。目前,橘红的加工仍以传统手工作业为主,尚未实现规模化生产,这种加工模式导致原料常需经历较长的储存周期,对柑橘皮品质造成一定影响<sup>[10]</sup>。现阶段关于橘红的研究主要集中在化学成分和药理活性等方面,针对其加工方面的研究较少。本研究以放置时间为因素,探究不同放置时间后刮离橘白对橘红品质(包括营养成分、化学成分和抗氧化活性)的影响,为橘红产业化生产提供理论支撑和基础。

研究中发现,尽管各样品橘红的油室在放置期间均保持饱满,但其透光度随时间延长而显著增加,这可能是由于微生物优先侵染并降解了质地疏松的橘白(中果皮),导致其结构破坏、透光性增强;而富含挥发油的外表皮则因具有抗菌性,结构保持相对稳定,不易腐烂<sup>[19-20]</sup>。本研究还对不同放置时间加工的橘红样品中的营养成分(总多糖、总黄酮、总多酚以及氨基酸)进行了定量分析。总多糖含量随着放置时间呈先降低后升高最后再降低的趋势,推测在放置早期(第 1~9 d),橘皮中的微生物菌落如初级降解菌拟杆菌属、假单胞菌和次级降解菌如乳酸杆菌、双歧杆菌会分泌果胶酶、纤维素酶等物质,将橘红中的多糖分解为各种形式的单糖<sup>[30]</sup>;放置中期(第 11 d),各种菌属分泌的分解酶活性降低,被分解成各种单糖的多糖作为碳源促进了其他合成多糖的菌属生长,如蓝藻等<sup>[31]</sup>,导致中期总多糖含量的上升。橘红样品的总黄酮和总多酚含量分别在 6.90%~7.47%和 1.05%~1.16%,略高于刘瑞婷<sup>[32]</sup>对陈皮的研究,这可能与去除橘白部分存在较大关系。相比成雯<sup>[33]</sup>测定市面上橘红中的总黄酮含量,本研究制备的样品含量较低,这可能是化橘红与古红橘橘红基原上的差异所致。随着放置时间的增加,必需氨基酸与总氨基酸和非必需氨基酸含量占比呈先降低后增高的趋势,这可能是细胞代谢、酶促反应以及蛋白质水解等多种途径共同作用的结果。放置前期(第 1~9 d),采摘后的橘皮依然进行呼吸作用,为细胞代谢提供能量,天冬氨酸、谷氨酸等氨基酸作为碳源参与三羧酸循环,被转化成 $\alpha$ -酮戊二酸<sup>[34]</sup>。放置后期(第 11~13 d),随着橘皮中细胞失水,其结构破坏后释放液泡中的蛋白酶(半胱氨酸水解酶),催化蛋白质降解为氨基酸;同时微生物(如酵母菌和乳酸菌等)大量繁殖导致橘皮的降解也会分泌蛋白酶对底物进行水解<sup>[35]</sup>。因此,随着放置时间的增加,其氨基酸含量呈先降低后增加的趋势。

橙皮苷、川陈皮素和橘皮素作为橘红成分中的活性特征成分,具有抗炎、抗肿瘤以及抗氧化等药理作用<sup>[36]</sup>。在各橘红样品中橙皮苷的含量随放置时间先上升后下降,相比川陈皮素和橘皮素受影响的程度更大。橙皮苷属于二氢黄酮醇苷类化合物,由橙皮素和芸香糖通过 $\beta$ -糖苷键连接而成,而川陈皮素和橘皮素属于多甲氧基黄酮类化合物,相比之下带有糖苷键的橙皮苷更容易受到外界环境的影响从而导致橙皮苷的降解。橘皮表面微生物具有次生代谢物的合成和分解功能,这也是橘皮物质基础累积的主要原因<sup>[37-38]</sup>。黑曲霉菌作为橘皮物质基础累积的重要优势菌群,其代谢产生的 $\alpha$ -L-鼠李糖苷酶与 $\beta$ -D-葡萄糖苷酶对橙皮苷底物转化率高达 90%<sup>[39]</sup>,因此,我们推测存在环境微生物对橘红中橙皮苷进行转化与合成,导致其含量变化较川陈皮素和橘皮素变化幅度更大。

橘红样品的体外抗氧化活性(ABTS 及 DPPH 法)评价结果显示,其自由基清除能力变化趋势高度一致。相关性分析表明,样品中 DPPH 抗氧化活性主要与总黄酮、总多酚和橙皮苷的含量呈极显著正相关( $p < 0.01$ ),其原因有以下两点:1) 总黄酮和总多酚类成分结构主要由多羟基化合物构成,多羟基化合物中酚羟基具有较强的还原性,因此赋予其强大的自由基清除能力<sup>[40-41]</sup>;2) 以橙皮苷为代表的黄酮苷类单体,其含量变化也与抗氧化活性趋势高度同步,证实了黄酮苷类物质在抗氧化过程中的重要贡献,这与文献<sup>[42]</sup>报道的一致。

### 3.2 结论

本研究评价了不同刮皮时间对橘红营养成分、化学成分以及抗氧化活性的影响。结果表明,橘皮自果肉分离后放置不同时间再进行刮皮处理,所获得的橘红样品各项指标间存在明显差异。放置不同时间刮皮橘红样品外观特征并无明显差异,随着放置时间增加,在体视显微镜下观察到其油室变得透亮。第11 d样品中总多糖和总氨基酸含量最高,总多酚、总黄酮、川陈皮素和橘皮素含量次之,DPPH 抗氧化活性较低;相比之下,第5 d样品中含有最高的总多酚、总黄酮,DPPH 抗氧化活性最高,但其总氨基酸含量较低。根据皮尔逊相关性分析,发现橘红样品中总多糖与总黄酮( $p < 0.01$ )和总多酚( $p < 0.05$ )呈显著负相关,总黄酮与总多酚和橙皮苷呈极显著正相关( $p < 0.01$ );橘红样品中橙皮苷、总黄酮和总多酚含量与 DPPH 抗氧化活性呈极显著正相关( $p < 0.01$ ),表明橙皮苷等多甲氧基化合物在抗氧化方面有重要作用;川陈皮素与橘皮素呈极显著正相关( $p < 0.01$ ),与苦味氨基酸、鲜味和酸味氨基酸呈显著负相关( $p < 0.05$ );总氨基酸含量与甜味、苦味、无味、鲜味和酸味氨基酸呈极显著正相关( $p < 0.01$ )。此外,根据 PCA 和聚类热图分析,总多糖、总黄酮、总多酚、橙皮苷、川陈皮素、橘皮素、氨基酸含量、指纹图谱共有峰面积和抗氧化活性(DPPH 和 ABTS)可以很好地区分不同刮皮时间的橘红样品,OPLS-DA 分析发现 11 个差异性成分( $VIP > 1$ ),模型较稳定且具有一定的预测能力。根据权重分析,发现第 11 d 橘红样品得分最高,其次是第 5 d,因此认为放置 11 d 后刮皮橘红样品的品质最佳。综上所述,本研究明确了橘皮不同放置时间后对刮皮橘红品质的影响,为其规范化加工工艺的制定和产业化生产提供了科学依据,并为橘红在中药饮片、健康食品原料及天然提取物等方向的应用奠定了基础。

### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [2] 邹慕菡, 吴灏, 胡双飞, 等. 化橘红化学成分、药理作用及毒理学研究进展 [J]. 世界中医药, 2024, 19(24): 3889-3897.
- [3] 展月, 张美琪, 李双, 等. 橘红标准汤剂中黄酮类成分量值传递规律研究 [J]. 人参研究, 2025, 37(3): 34-37.
- [4] 王宏, 王丽阳, 周杰伦, 等. 化橘红活性成分及功效研究进展 [J]. 农产品加工, 2024(23): 85-91.
- [5] 梁文琳, 林泳仪, 吴彩霞, 等. 化橘红有效成分提取、检测及药理作用的研究进展 [J]. 广州化工, 2022, 50(4): 18-19, 29.
- [6] 杨建宇, 李杨彦知, 范竹雯, 等. 道地药材化橘红的研究近况 [J]. 光明中医, 2020, 35(4): 626-628.
- [7] 余婧婧, 高泽林, 梁芳瑜, 等. 化橘红均一多糖的制备及其抑制 HepG2 细胞增殖的研究 [J]. 中药新药与临床药理, 2025, 36(7): 1157-1162.
- [8] 刘崇锦. 关于万州以古红桔为主题发展休闲农业的思考 [J]. 中国乡镇企业, 2013(1): 62-63.
- [9] 李维一. 古红桔橘红制备装置设计与研究 [D]. 重庆: 重庆三峡学院, 2024.
- [10] WANG L M, LI M T, JIN W W, et al. Variations in the Components of Osmanthus Fragrans Lour. Essential Oil at Different Stages of Flowering [J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 233-236.
- [11] ZHANG M F, WANG J Q, LIU R L, et al. CsMYB96 Confers Resistance to Water Loss in Citrus Fruit by Simultaneous Regulation of Water Transport and Wax Biosynthesis [J]. Journal of Experimental Botany, 2022, 73(3): 953-966.
- [12] 孙振刚, 陈健, 屈佳蕾, 等. 化橘红干燥技术与设备研究现状及对策 [J]. 中国农机化学报, 2023, 44(8): 110-117.
- [13] YUE F F, ZHANG F, QU Q W, et al. Effects of Ageing Time on the Properties of Polysaccharide in Tangerine Peel and Its Bacterial Community [J]. Food Chemistry, 2023, 417: 135812.
- [14] XU G, ZHAO J Y, YAO J Q, et al. Effects of Aging on the Fine Structure, Chain Conformation, and Morphology of Chenpi Polysaccharides [J]. Carbohydrate Polymers, 2025, 349: 122970.
- [15] 邓海丹, 单保军, 黄家瑛, 等. 不同陈化时间陈皮茶的品质比较分析 [J]. 现代食品科技, 2023, 39(10): 263-270.
- [16] 盛钊君, 谭永权, 葛思媛, 等. 新会柑胎仔和青皮、陈皮提取物的多酚含量及抗氧化活性比较研究 [J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(1): 78-82.

- [17] 胡前梅, 罗洋洋, 朱可欣, 等. 不同来源天冬中氨基酸组成与含量分析 [J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(1): 284-293.
- [18] 王娜, 高恩光, 李娜, 等. 白藜芦醇与维生素 E 协同抗氧化效应研究 [J]. 河南农业大学学报, 2022, 56(6): 1007-1014.
- [19] 夏文斌, 周瑞芳, 欧桂香. 橘白、橘络、橘叶、化橘红、青皮与陈皮的挥发油成分比较分析 [J]. 亚太传统医药, 2011, 7(10): 33-36.
- [20] 詹鑫婕, 陈乾平, 蒋妮, 等. 化橘红挥发油对罗汉果斑枯病菌的抑制作用及机理 [J]. 湖北农业科学, 2024, 63(6): 94-98, 120.
- [21] 赵芑钰, 任虹, 徐李缘, 等. 姜黄属中药多糖的药理活性及其作用机制研究进展 [J]. 中草药, 2025, 56(14): 5276-5287.
- [22] CHENG L K, QU S, YUN Y Y, et al. Effects of Different Thermal Processing Methods on Amino Acid, Fatty Acid, and Volatile Flavor Substance Contents of Aohan Millet (Golden Seedling Millet) [J]. Food Science & Nutrition, 2024, 12(11): 9007-9024.
- [23] 金平, 顾中盛. 桃胶氨基酸组成分析及营养评价 [J]. 特种经济动植物, 2023, 26(7): 30-33.
- [24] 赵方杰, 廉喜红, 胡小平, 等. 不同产地西洋参氨基酸种类及含量分析 [J]. 西北农业学报, 2020, 29(7): 1051-1058.
- [25] 李莹杰, 张贞伟, 脱佳琪, 等. 2 种厚皮甜瓜果实不同部位氨基酸组成分析 [J]. 中国瓜菜, 2024, 37(11): 48-56.
- [26] 陈源, 余亚白, 钱爱萍, 等. 柑橘果实不同部位氨基酸的测定与分析 [J]. 山地农业生物学报, 2012, 31(5): 389-392.
- [27] SUN N, ZHAO L L, LIU A G, et al. Role of Amino Acids in Flavor Profiles and Foam Characteristics of Sparkling Wines during Aging [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 126: 105903.
- [28] 郑立友, 韩国, 杨丽, 等. 过热蒸汽预处理对玉米胚芽储藏品质的影响 [J]. 食品科学, 2025, 46(19): 248-256.
- [29] 张智, 党思荣, 李曼宁, 等. 基于 GRA-TOPSIS 耦合的草莓品质综合评价 [J]. 东北农业大学学报, 2021, 52(10): 47-56.
- [30] ZHU Z P, CHEN J, CHEN Y, et al. Extraction, Structural Characterization and Antioxidant Activity of Turmeric Polysaccharides [J]. LWT, 2022, 154: 112805.
- [31] EHIRA S, KIMURA S, MIYAZAKI S, et al. Sucrose Synthesis in the Nitrogen-Fixing Cyanobacterium *Anabaena* Sp. Strain PCC 7120 is Controlled by the Two-Component Response Regulator OrrA [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2014, 80(18): 5672-5679.
- [32] 刘瑞婷. 广陈皮陈化过程真菌变化和黄酮类物质变化及相关性研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [33] 成雯. 市售化橘红总黄酮含量测定研究 [J]. 云南化工, 2024, 51(6): 88-91.
- [34] 杨旭. 不同加工和储藏方法对食品原材料营养素的影响 [J]. 现代食品, 2022, 28(19): 73-75, 92.
- [35] 郭颖, 曾智静, 吴建松, 等. 不同固水比果皮发酵对氨基酸产生量的影响 [J]. 大众标准化, 2021(2): 255-256.
- [36] 伍国斌, 陈梅斯, 陈卓豪, 等. 超高效液相-三重四极杆质谱联用仪测定新会陈皮中柚皮苷、川陈皮素、橙皮苷、橘皮素、辛弗林的检测方法研究 [J]. 现代食品, 2024, 30(5): 140-145.
- [37] 张莎. 柑橘皮陈化过程中的微生物功能及剩余皮渣资源化研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2022.
- [38] HE J, CHEN C C, HE Q X, et al. The Central Bacterial Community in Pericarpium Citri Reticulatae 'Chachiensis' [J]. Food Research International, 2019, 125: 108624.
- [39] 邹宇聪. 全细胞催化柑橘属黄酮糖苷水解反应及其机理的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2023.
- [40] 董保平. 多羟基黄酮的微波辅助合成及其抗氧化活性研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [41] 杨枝中, 张文平, 张磊, 等. 超声辅助低共熔溶剂提取肾茶黄酮和多酚的工艺及其抗氧化活性 [J]. 云南农业大学学报, 2024, 39(5): 99-106.
- [42] 冉佩灵, 李蓉, 黄业传, 等. 福白菊总黄酮抗氧化活性及谱效关系分析 [J]. 现代食品科技, 2025, 41(8): 112-121.