

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.80363

# 贡柑浊汁的蛋白组学及起云蛋白特性分析

王 锋<sup>1,2,3</sup> 刘 祯<sup>1,2,3</sup> 马路凯<sup>1,2,3</sup> 王 琴<sup>1,2,3</sup> 肖更生<sup>1,2,3</sup> 刘东杰<sup>1,2,3</sup>

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东 广州 510225; 2. 农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室, 广东 广州 510225; 3. 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广东 广州 510225)

**摘要:** [目的] 探究贡柑浊汁中蛋白组分的特性及起云蛋白的种类。 [方法] 利用蛋白组学分析贡柑浊汁中上清蛋白和沉淀蛋白的蛋白组学特征。 [结果] 贡柑浊汁中上清蛋白和沉淀蛋白组分的电泳条带显示出明显的差异。沉淀蛋白与上清蛋白相比有 2 897 种差异蛋白, 包含 2 487 种上调差异蛋白和 410 种下调差异蛋白。贡柑浊汁上调差异蛋白主要富集在酪氨酸代谢、脂肪酸降解、吞噬体等代谢通路, 主要来自叶绿体、细胞质和细胞核等细胞组分。从上调差异蛋白中筛选得到 6 种贡柑浊汁起云蛋白, 包括 1 种病程相关蛋白和 5 种糖蛋白。 [结论] 蛋白组学可用于探究贡柑浊汁的蛋白差异。

**关键词:** 贡柑; 浊汁; 蛋白组学; 差异蛋白; 起云蛋白

## Proteomics of *Tribute citrus turbid juice* and characteristic analysis of cloudy proteins

WANG Feng<sup>1,2,3</sup> LIU Zhen<sup>1,2,3</sup> MA Lukai<sup>1,2,3</sup> WANG Qin<sup>1,2,3</sup> XIAO Gengsheng<sup>1,2,3</sup> LIU Dongjie<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 2. Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 3. Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, Guangzhou, Guangdong 510225, China)

**Abstract:** [Objective] This study aims to investigate the characteristics of protein components and the types of cloudy proteins in *Tribute citrus turbid juice*. [Methods] Proteomics was used to analyze the proteomic features of the supernatant proteins and precipitated proteins in *Tribute citrus turbid juice*. [Results] There were significant differences in the electrophoresis bands of the supernatant proteins and precipitated proteins in *Tribute citrus turbid juice*. Compared with the supernatant proteins, precipitated proteins contained 2 897 differential proteins, including 2 487 up-regulated differential proteins and 410 down-regulated differential proteins. The up-regulated differential proteins in *Tribute citrus turbid juice* were mainly enriched in metabolic pathways including tyrosine metabolism, fatty acid degradation, and phagosome, mainly from cellular components such as chloroplasts, cytoplasm, and nucleus. Six types of cloudy proteins were screened from up-regulated differential proteins in *Tribute citrus turbid juice*, including one pathogenesis-related protein and five glycoproteins. [Conclusion] Proteomics can be used to explore the protein differences in *Tribute citrus turbid juice*.

**Keywords:** *Tribute citrus*; turbid juice; proteomics; differential protein; cloudy protein

贡柑 (*Tribute citrus*) 作为岭南特色柑橘类水果之一, 性<sup>[1-2]</sup>。目前, 以鲜食为主的贡柑在果汁浊汁开发方面富含多糖、多酚、膳食纤维等营养成分, 具有多种生物活 着很高的市场需求。Lin 等<sup>[3-4]</sup>开发了胡柚、猕猴桃等独

**基金项目:** 国家自然科学基金 (编号: U22A20543); “十四五”广东省农业科技创新十大主攻方向“揭榜挂帅”项目 (编号: 2024KJ15); 广东省重点建设学科科研能力提升项目 (编号: 2022ZDJS021, 2024ZDJS006)

**通信作者:** 刘东杰 (1987—), 女, 仲恺农业工程学院副教授, 博士。E-mail: djliu412@163.com

**收稿日期:** 2025-04-17 **改回日期:** 2025-08-19

**引用格式:** 王锋, 刘祯, 马路凯, 等. 贡柑浊汁的蛋白组学及起云蛋白特性分析[J]. 食品与机械, 2026, 42(2): 45-50.

**Citation:** WANG Feng, LIU Zhen, MA Lukai, et al. Proteomics of *Tribute citrus turbid juice* and characteristic analysis of cloudy proteins [J]. Food & Machinery, 2026, 42(2): 45-50.

特风味和营养的果汁浊汁。果汁浊汁的生产对工艺有着较高的要求,均质化工艺是浊汁生产中必要关键环节之一,不同均质化工艺极大影响果汁浊汁的外观和品质<sup>[5]</sup>。

果汁浊汁是一个富含纤维素、淀粉、果胶、多酚、蛋白质等多物质的复杂体系,多种物质存在相互作用促使浊汁的稳定化<sup>[6-8]</sup>。果汁浊汁的形成主要源于其内源化学组分的复杂相互作用,不同品种水果的营养组分对果汁浊汁的稳定性有较大影响<sup>[9-11]</sup>。云状颗粒物是果汁浊汁的重要组分,其中能够与多酚等形成云状颗粒物的蛋白质称为起云蛋白,浊汁起云蛋白是影响果汁浊汁特性的重要因素之一<sup>[12-13]</sup>。苹果浊汁中悬浮 0.25~5.00  $\mu\text{m}$  粒径的不规则颗粒,且果汁黏度受到可溶性果胶的影响<sup>[14]</sup>。贡柑等柑橘类水果中含有大量的果胶酯酶,果胶酶可以水解果胶,降低浊汁黏度,导致悬浮颗粒沉淀<sup>[15-16]</sup>。因此,果胶酯酶常被用于果汁的高效出汁处理和澄清<sup>[17-18]</sup>。浊汁中多酚含量显著高于清汁果汁,酚类物质可与蛋白质相互作用形成沉淀,也可与浊汁中果胶、膳食纤维等成分产生相互作用<sup>[19-21]</sup>。果汁浊汁的形成也与病程相关蛋白、糖蛋白等蛋白质有较大的相关性,果汁中蛋白质受到加工环境的酸碱性和温度、压力等因素的影响,自身结构发生聚集、絮凝等从而形成浑浊沉淀<sup>[22-24]</sup>。

目前,关于贡柑浊汁起云蛋白的研究尚未见报道。试验拟以贡柑为原料制备贡柑浊汁,利用蛋白质组学深入探究贡柑浊汁中不同蛋白质的差异性,分析差异蛋白的生物学特性,并依据差异蛋白种类从中筛选贡柑浊汁起云蛋白,进一步阐述贡柑果汁浊汁中蛋白组分及起云蛋白特性,以期对贡柑浊汁的加工工艺和品质调控研究提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

贡柑:九成熟,广东省肇庆市当地贡柑果园;  
 苯甲基磺酰氟:分析纯,成都西亚化工股份有限公司;  
 二硫苏糖醇:分析纯,北京索莱宝科技有限公司;  
 碘乙酰胺:分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;  
 胰蛋白酶:分析纯,普洛麦格(北京)生物技术有限公司;  
 BCA 蛋白定量试剂盒:上海碧云天生物技术有限公司;  
 其他化学试剂:分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;  
 布朗榨汁机:4161 型,美国 Brown 公司;

胶体磨:JML-50 型,温州强忠机械科技有限公司;  
 实验室高压均质机:HomoLab 型,意大利 FBF 公司;  
 光吸收酶标仪:CMAX Plus 型,美谷分子仪器(上海)有限公司;

超高效液相色谱系统:Vanquish Neo UHPLC 型,赛默飞世尔科技有限公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 贡柑浊汁的制备 选取大小均一、无损伤的九成成熟贡柑进行打浆处理制备果浆,按照  $m_{\text{果浆}}:m_{\text{水}}$  为 1:4 加水混匀,并利用胶体磨对混合果浆进行处理得到果浆溶液。利用 100 目滤网过滤,并经 20 MPa 高压均质处理后得到均匀分散的贡柑浊汁。

1.2.2 贡柑浊汁处理 取 20.0 mL 贡柑浊汁于 4  $^{\circ}\text{C}$ 、5 000 r/min 离心 20 min,将上清液和沉淀分别进行不同处理。按照 1 L 上清液中添加 561 g 硫酸铵进行沉淀,离心,沉淀用 1.0 mL 磷酸盐缓冲液溶解,测定贡柑浊汁上清蛋白(TS)的蛋白浓度。贡柑浊汁离心后的沉淀用 1.0 mL 8 mol/L 尿素溶解,收集上清液,测定贡柑浊汁沉淀蛋白(TP)的蛋白浓度。利用十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)对 TS 和 TP 进行分析。

1.2.3 贡柑浊汁蛋白组学分析 根据文献[25]的方法并修改。分别取 100  $\mu\text{g}$  TS 和 TP,加入 120  $\mu\text{L}$  8 mol/L 尿素,加入 10.5  $\mu\text{L}$  100 mmol/L 二硫苏糖醇溶液,37  $^{\circ}\text{C}$  水浴 45 min,加入 26.0  $\mu\text{L}$  100 mmol/L 碘乙酰胺溶液,室温静置 15 min。向反应溶液中加入 800  $\mu\text{L}$  25 mmol/L 碳酸氢铵溶液和 2  $\mu\text{L}$  胰蛋白酶,37  $^{\circ}\text{C}$  酶解过夜。将酶解蛋白溶液进行脱盐、浓缩处理,测定其酶解肽段浓度用于蛋白质组学分析。

1.2.4 贡柑浊汁起云蛋白筛选 利用 UniProt 数据库(<https://www.uniprot.org/>)对贡柑浊汁中上调差异蛋白进行蛋白种类和功能注释,以果汁起云蛋白种类为依据进行贡柑浊汁起云蛋白筛选。

### 1.3 数据处理

利用迈维分析云平台绘制蛋白质组学的主成分分析图、火山图和聚类分析热图。通过京都基因与基因组百科全书(KEGG)数据库(<https://www.kegg.jp/kegg/pathway.html>)对蛋白质组学差异蛋白进行代谢通路注释。利用 GraphPad Prism 9.0 进行图表绘制,并进行显著性分析, $P < 0.05$  为显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 贡柑浊汁上清蛋白和沉淀蛋白的电泳分析

通过盐析法对贡柑浊汁溶液中蛋白质组分进行分离,制备得到 TS 和 TP。由图 1(a)可知,TS 和 TP 的电泳条带具有显著差异。TS 的电泳条带主要位于  $1.0 \times 10^4 \sim$

$1.5 \times 10^4$ ,  $2.6 \times 10^4 \sim 4.3 \times 10^4$ ,  $5.5 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^4$ ,  $1.4 \times 10^5 \sim 1.9 \times 10^5$  处, 而 TP 的电泳条带主要位于  $1.5 \times 10^4 \sim 3.3 \times 10^4$ ,  $1.4 \times 10^5 \sim 1.9 \times 10^5$  处。葡萄汁中蛋白电泳条带主要位于  $1.0 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^4$ ,  $2.0 \times 10^4 \sim 3.7 \times 10^4$ ,  $5.0 \times 10^4 \sim 7.5 \times 10^4$  处, 包括病程相关蛋白、几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶和脂质转移蛋白等, 与葡萄酒不稳定性有关的蛋白主要为病程相关蛋白和几丁质酶<sup>[23]</sup>。而苹果汁中与混浊有关的蛋白为  $3.6 \times 10^4$  活性蛋白<sup>[15]</sup>。由图 1(b) 可知, 等体积浊汁蛋白溶液中沉淀蛋白含量约为上清蛋白含量的 2 倍, 说明在贡柑橘汁中存在较多的蛋白成分可能导致果汁呈现浑浊状态。

### 2.2 贡柑橘汁的蛋白组学分析

由图 2(a) 可知, 第一主成分 PC1 的贡献率为 81.57%, 第二主成分 PC2 的贡献率为 6.54%, TS 和 TP 在蛋白组学分析上存在显著差异。由图 2(b) 可知, 与 TS 相比, TP 中有 2 897 种差异蛋白, 其中分别有 2 487 种上调差异蛋白和 410 种下调差异蛋白。现有研究表明, 浊汁稳定性与蛋白质含量相关, 果汁组分的氧化对果汁浊汁的形成和稳定性也有一定的影响。果汁清汁中酚类发生聚合并与蛋白质产生相互作用, 也会形成较多的浊汁颗粒物<sup>[12,26-28]</sup>。

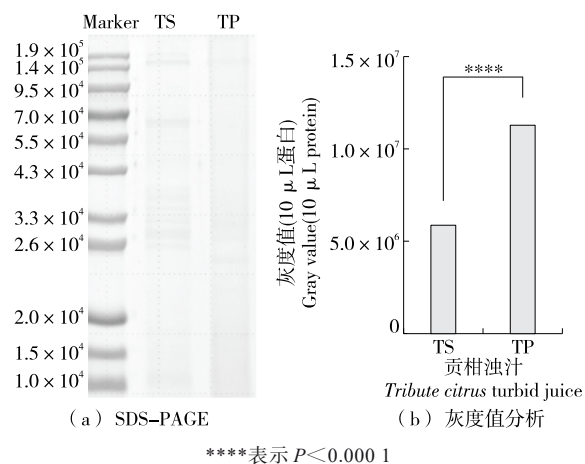


图 1 贡柑橘汁 TS、TP 的 SDS-PAGE 和灰度值分析  
Figure 1 SDS-PAGE and grayscale analysis of supernatant protein and precipitate protein of *Tribute citrus turbid juice*

而苹果浊汁与沉淀中有 703 个总差异蛋白, 其中有 423 个上调差异蛋白, 主要包括细胞成分蛋白和生物进程相关蛋白<sup>[24]</sup>。根据 TS 和 TP 的差异蛋白, 构建总差异蛋白聚

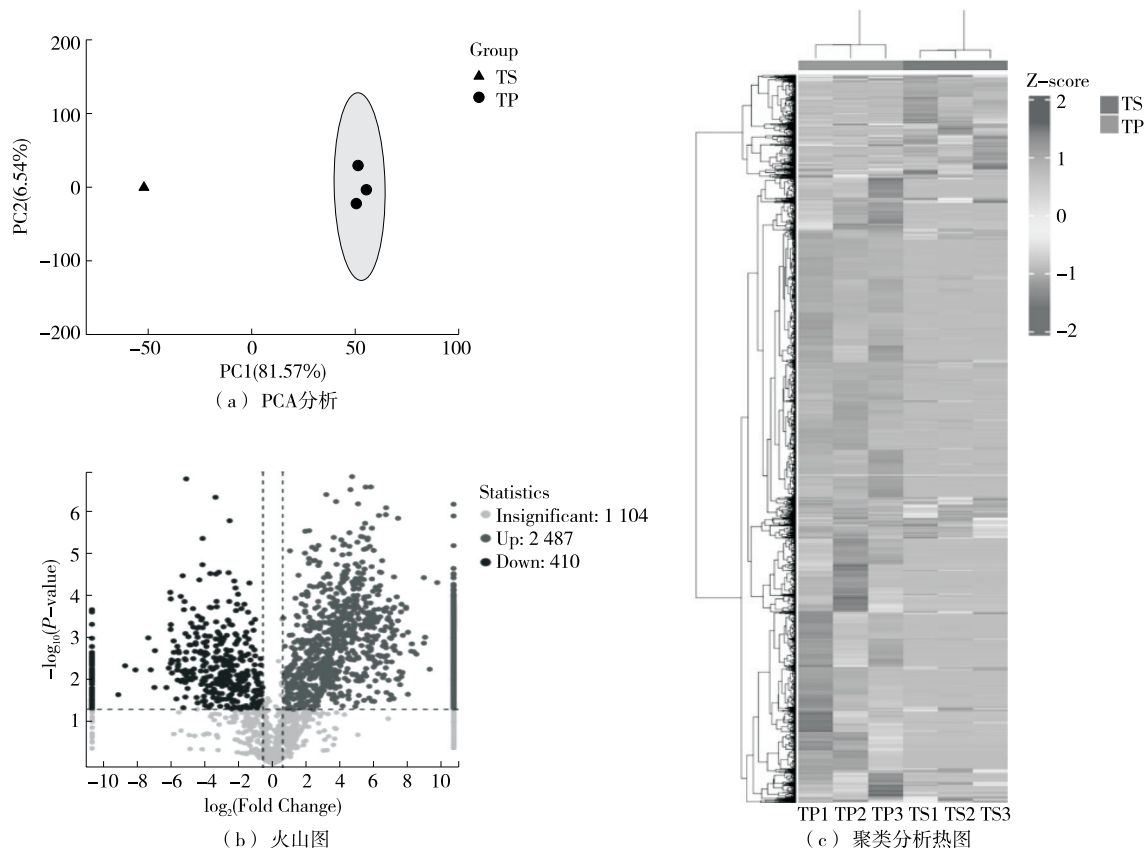


图 2 贡柑橘汁蛋白组学的 PCA 分析、火山图和聚类分析热图

Figure 2 PCA analysis, volcanic plot, and cluster heatmap for proteomics of *Tribute citrus turbid juice*

类分析热图[图 2(c)],结果表明有较多蛋白组分参与了贡柑浊汁的形成,上调差异蛋白与贡柑果汁多酚等固有成成分发生反应并形成复杂的浑浊颗粒物。

2.3 贡柑浊汁中上调差异蛋白的KEGG富集和亚细胞定位

利用KEGG数据库对贡柑浊汁的上调差异蛋白进行代谢通路注释,并对上调差异蛋白进行代谢通路富集分析<sup>[25]</sup>。由图 3(a)可知,贡柑浊汁中上调差异蛋白富集在酪氨酸代谢、脂肪酸降解、吞噬体、氧化磷酸化、泛素介导的蛋白水解、β-丙氨酸代谢、蛋白酶体、核糖体、核苷酸糖的生物合成和氨基酸的生物合成等代谢通路。由图 3(b)可知,上调差异蛋白主要定位于叶绿体、细胞质和细胞核等。苹果浊汁的差异蛋白主要来源叶绿体和细胞核<sup>[24]</sup>,而柑橘采收冷藏过程中汁囊的差异蛋白主要来源细胞质和细胞核<sup>[29]</sup>。因此,贡柑浊汁中上调差异蛋白主要通过酪氨酸代谢和脂肪酸降解等代谢途径引起贡柑果汁浑浊,主要归属于贡柑水果细胞的叶绿体、细胞质和细胞核等细胞成分蛋白。

2.4 贡柑浊汁起云蛋白的筛选

引起果汁浑浊的起云蛋白种类主要有病程相关蛋白和糖蛋白等<sup>[30-33]</sup>。由表 1 可知,经筛选得到 V4SGR7、V4S JL5、V4SP13、V4TF80、V4UHY1 和 V4V9I3 6 种贡柑浊汁起云蛋白,包括 1 种病程相关蛋白和 5 种糖蛋白。苹果浊汁中起云蛋白可能为线粒体磷酸盐载体蛋白<sup>[24]</sup>。贡柑浊汁起云蛋白的相对分子质量为  $2.6 \times 10^3 \sim 5.3 \times 10^3$ ,总平均亲水性为  $-0.595 \sim 0.281$ ,呈弱亲水性或强疏水性。

由图 4 可知,6 种起云蛋白在贡柑浊汁 TS 和 TP 中具有显著差异,且在 TP 中含量较高,差异倍数为 3.66~11.55。经过筛选得到 6 种起云蛋白,其可能通过病程相关蛋白、糖蛋白与多酚等相互作用等途径促使贡柑果汁发生浑浊。不同种类多酚与糖蛋白的相互作用力显著不同,多酚-糖蛋白复合物种类会极大影响浊汁果汁的浊度,且糖蛋白的糖链结构也会影响果汁浊汁状态<sup>[22, 27]</sup>。水果病程相关蛋白能够与原花青素、单宁等形成复合物,参与并影响浊汁颗粒物的形成<sup>[30, 34]</sup>。

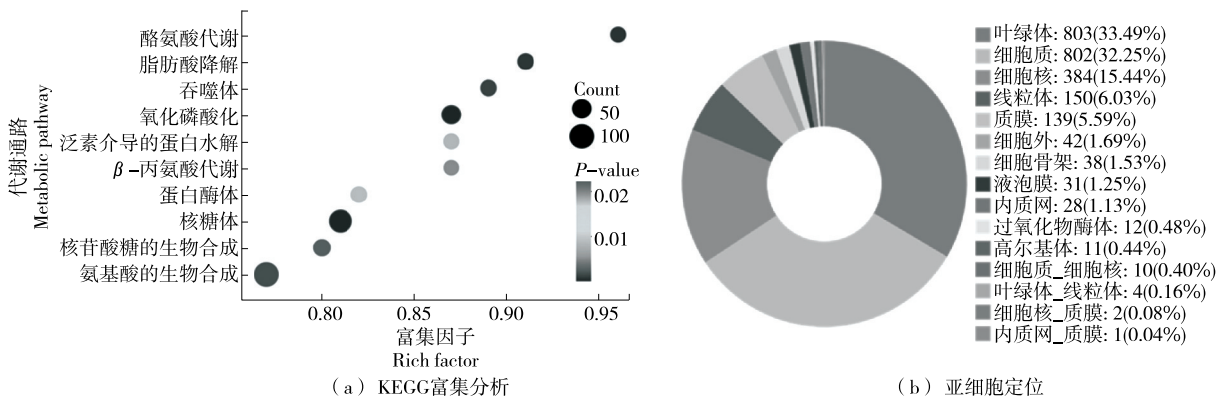


图 3 贡柑浊汁中上调差异蛋白的KEGG富集分析和亚细胞定位

Figure 3 KEGG enrichment analysis and subcellular localization of up-regulated differential proteins in *Tribute citrus* turbid juice

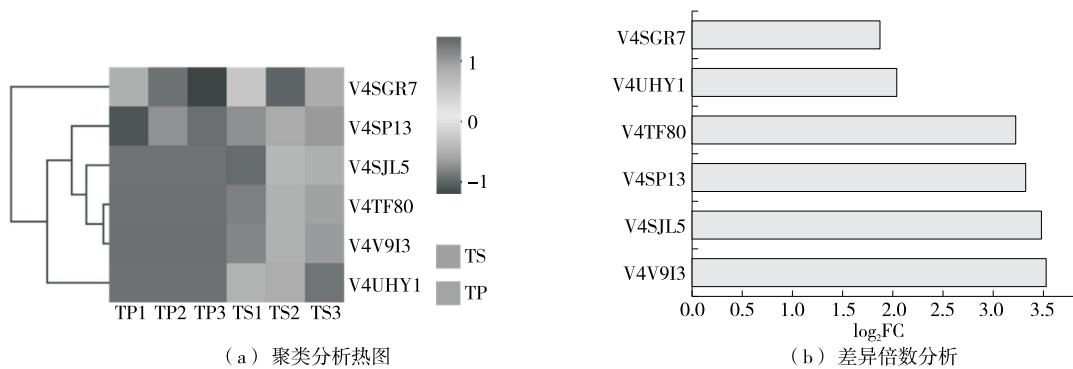


图 4 贡柑浊汁起云蛋白的聚类分析热图和差异倍数分析

Figure 4 Cluster heatmap and fold change of cloudy proteins in *Tribute citrus* turbid juice

表1 贡柑浊汁起云蛋白的特性

Table 1 Characteristics of cloudy proteins in *Tribute citrus* turbid juice

UniProt 登陆号	蛋白种类	氨基酸 个数	蛋白相对 分子质量	总平均亲水性 (GRAVY)
V4SGR7	病程相关蛋白	248	$2.7 \times 10^3$	-0.037
V4S JL5	糖蛋白	237	$2.7 \times 10^3$	-0.595
V4SP13	糖蛋白	273	$3.1 \times 10^3$	-0.569
V4TF80	糖蛋白	228	$2.6 \times 10^3$	-0.339
V4UHY1	糖蛋白	489	$5.3 \times 10^3$	0.281
V4V9I3	糖蛋白	254	$2.9 \times 10^3$	-0.473

### 3 结论

研究借助蛋白组学分析了贡柑浊汁上清蛋白和沉淀蛋白的蛋白组成差异,聚焦贡柑浊汁中上调差异蛋白分析了其KEGG富集代谢途径和亚细胞定位,并从中筛选得到6种贡柑浊汁起云蛋白(1种病程相关蛋白和5种糖蛋白)。后续可探究贡柑浊汁体系中起云蛋白的浊汁特性。此外,贡柑浊汁体系复杂,浊汁中存在多糖、多酚、蛋白等多种固有组分,贡柑浊汁起云蛋白与其他内源组分的相互作用特性也是未来研究的重点。

#### 参考文献

- [1] 胡益波, 毛国兴, 陈霖红, 等. 德庆贡柑共产物的营养组成研究[J]. 农产品加工, 2022(24): 47-50, 54.  
HU Y B, MAO G X, CHEN L H, et al. Study on the nutrient composition of the co-products of Deqing tangerine[J]. Farm Products Processing, 2022(24): 47-50, 54.
- [2] 刘丹, 郭欢, 吴笛, 等. 柑橘黄酮类化合物的提取新技术及生物活性研究进展[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 217-224.  
LIU D, GUO H, WU D, et al. Research progress on new extraction technologies and bioactivities of flavonoids from orange[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 217-224.
- [3] LIN Y, LIU C S, WANG L X, et al. Revealing the dominant role of pectin in regulating the stability of Huyou turbid juice: insights from hydrodynamic cavitation[J]. Food Hydrocolloids, 2025, 161: 110864.
- [4] LIU Z R, ZHAO W Q, ZHANG Q G, et al. Effect of cold plasma treatment on sterilizing rate and quality of kiwi turbid juice[J]. Journal of Food Process Engineering, 2021, 44(6): e13711.
- [5] 王丽娜, 马荣山, 孙志健, 等. 均质工艺对苹果浊汁品质的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(4): 79-81.  
WANG L N, MA R S, SUN Z J, et al. The effect of homogenization on the quality of cloudy apple juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(4): 79-81.

- [6] ZHU D S, SHEN Y S, WEI L W, et al. Effect of particle size on the stability and flavor of cloudy apple juice[J]. Food Chemistry, 2020, 328: 126967.
- [7] PAN X, ZHAO W T, WANG Y X, et al. Physicochemical and structural properties of three pectin fractions from muskmelon (*Cucumis melo*) and their correlation with juice cloud stability [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 124: 107313.
- [8] WIBOWO S, ESSEL E A, MAN S D, et al. Comparing the impact of high pressure, pulsed electric field and thermal pasteurization on quality attributes of cloudy apple juice using targeted and untargeted analyses[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019, 54: 64-77.
- [9] 张静, 朱丽莎, 张耀海, 等. 不同晚熟柑橘中酚类物质的含量检测及分析[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 27-33, 69.  
ZHANG J, ZHU L S, ZHANG Y H, et al. Determination and content analysis of phenolic compounds in different late-maturing citrus of China[J]. Food & Machinery, 2018, 34(12): 27-33, 69.
- [10] 吴治海, 蒲彪. 果蔬汁悬浮稳定性研究进展[J]. 食品工业科技, 2006, 27(4): 188-191.  
WU Z H, PU B. Review on cloud stability of fruit and vegetable juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(4): 188-191.
- [11] 贺增洋, 李玉秀, 朱庆生, 等. 多酚类物质与果汁口味关系 [J]. 食品与机械, 2022, 38(9): 7-12, 17.  
HE Z Y, LI Y X, ZHU Q S, et al. Study on the relationship between polyphenolic compounds and the taste of fruit juice samples[J]. Food & Machinery, 2022, 38(9): 7-12, 17.
- [12] BEVERIDGE T. Opalescent and cloudy fruit juices: formation and particle stability[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2002, 42(4): 317-337.
- [13] 沈雨思. 苹果浊汁云状颗粒果胶组分与特征风味化合物相互作用研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2021: 2.  
SHEN S Y. Study on interaction between pectin components of cloudy particles and characteristic flavor compounds in cloudy apple juice[D]. Jinzhou: Bohai University, 2021: 2.
- [14] GENOVESE D B, LOZANO J E. Effect of cloud particle characteristics on the viscosity of cloudy apple juice[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(4): 641-645.
- [15] 李娜, 李全宏, 石欢, 等. 苹果汁中与混浊有关的活性蛋白质的分离纯化[J]. 食品工业科技, 2006, 27(1): 95-96, 100.  
LI N, LI Q H, SHI H, et al. Isolation and purification of haze-active proteins in apple juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(1): 95-96, 100.
- [16] GALANT A L, WIDMER W W, LUZIO G A, et al. Characterization of molecular structural changes in pectin during juice cloud destabilization in frozen concentrated orange juice[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 41: 10-18.
- [17] PATRÍCIO T, DE ARAÚJO-SANTOS L, DIONÍZIO R, et al. Pectinases production using an exotic coating passion fruit

- waste and wheat bran as a substrate for clarification of grape juice[J]. *Food Bioscience*, 2024, 61: 104163.
- [18] DAL MAGRO L, DE MOURA K S, BACKES B E, et al. Immobilization of pectinase on chitosan-magnetic particles: influence of particle preparation protocol on enzyme properties for fruit juice clarification[J]. *Biotechnology Reports*, 2019, 24: e00373.
- [19] OSZMIANSKI J, WOLNIAK M, WOJDYLO A, et al. Comparative study of polyphenolic content and antiradical activity of cloudy and clear apple juices[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, 87(4): 573-579.
- [20] BARTH S W, FAEHNDRICH C, BUB A, et al. Cloudy apple juice is more effective than apple polyphenols and an apple juice derived cloud fraction in a rat model of colon carcinogenesis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(4): 1 181-1 187.
- [21] TELESZKO M, NOWICKA P, WOJDYŁO A. Effect of cultivar and storage temperature on identification and stability of polyphenols in strawberry cloudy juices[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2016, 54: 10-19.
- [22] 薛思宇. 苹果糖蛋白与多酚相互作用引起果汁后浑浊机制研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2020: 9-38.
- XUE S Y. The mechanism of post-haze caused by the interaction of apple glycoprotein with polyphenols in apple juice[D]. Jinzhou: Bohai University, 2020: 9-38.
- [23] LIU Z L, XU L, WANG J, et al. Research progress of protein haze in white wines[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2023, 12(5): 1 427-1 438.
- [24] 袁浦舜. 苹果浊汁中起云蛋白的鉴定及其与颗粒组分相互作用研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2021: 13-46.
- XI P S. Study on identification and interaction between cloudy protein and particle composition in cloudy apple juice[D]. Jinzhou: Bohai University, 2021: 13-46.
- [25] WANG F, MA L K, WANG Q, et al. Evaluation of the immune response of patulin by proteomics[J]. *Biosensors*, 2024, 14 (7): 322.
- [26] SIEBERT K J, LYNN P Y. Haze-active protein and polyphenols in apple juice assessed by turbidimetry[J]. *Journal of Food Science*, 1997, 62(1): 79-84.
- [27] BEVERIDGE T. Haze and cloud in apple juices[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1997, 37(1): 75-91.
- [28] STAHL-HAMATSCHEK S. Cloud composition and its effect on cloud stability in natural cloudy apple juices[J]. *Flussiges Obst*, 1989, 56(9): 543-548.
- [29] YUN Z, LI W Y, PAN Z Y, et al. Comparative proteomics analysis of differentially accumulated proteins in juice sacs of ponkan (*Citrus reticulata*) fruit during postharvest cold storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 56(3): 189-201.
- [30] CROAK S, CORREDIG M. The role of pectin in orange juice stabilization: effect of pectin methylesterase and pectinase activity on the size of cloud particles[J]. *Food Hydrocolloids*, 2006, 20(7): 961-965.
- [31] 高彦祥, 方政. 柑橘类果汁混浊稳定化研究进展[J]. *饮料工业*, 2004, 7(5): 11-16.
- GAO Y X, FANG Z. Progress in research on cloud stabilization of citrus juices[J]. *The Beverage Industry*, 2004, 7(5): 11-16.
- [32] 刘佳, 王岸娜, 吴立根, 等. 糖蛋白与多酚聚集态研究方法[J]. *粮食与油脂*, 2014, 27(1): 8-12.
- LIU J, WANG A N, WU L G, et al. Research methods of the glycoprotein and polyphenol aggregation[J]. *Cereals & Oils*, 2014, 27(1): 8-12.
- [33] MILLET M, POUPARD P, GUILOIS-DUBOIS S, et al. Heat-unstable apple pathogenesis-related proteins alone or interacting with polyphenols contribute to haze formation in clear apple juice[J]. *Food Chemistry*, 2020, 309: 125636.
- [34] ROMANINI E, MCRAE J M, BILOGREVIC E, et al. Use of grape seeds to reduce haze formation in white wines[J]. *Food Chemistry*, 2021, 341: 128250.