

# 刺梨果渣膳食纤维提取改性及生物活性研究进展

朱仁威<sup>1,2</sup>, 谭沙<sup>1</sup>, 黄亮<sup>2\*</sup>

(1. 铜仁学院材料与化学工程学院, 铜仁 554300; 2. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 长沙 410004)

**摘要:** 刺梨主要分布于我国西南山区和丘陵地带, 因刺梨富含多种氨基酸、碳水化合物、维生素、黄酮、多酚和膳食纤维, 具有解毒、健胃消食和降低血糖血脂等生物活性, 成为贵州省推动“精准扶贫”、实施“乡村振兴战略”的重要支柱产业之一。目前, 刺梨主要以开发饮料为主。刺梨果渣是刺梨榨汁后的副产物, 含有丰富的膳食纤维, 是一种优质膳食纤维原料。膳食纤维素有“第七大营养素”之称, 分为可溶性膳食纤维和不可溶性膳食纤维, 两者均具有重要的生理功能。本文综述了国内外刺梨果渣膳食纤维的提取、改性及生物活性的研究进展, 并对刺梨果渣膳食纤维提取改性研究中存在的问题及发展趋势进行总结展望, 以为刺梨果渣膳食纤维的利用提供理论依据。

**关键词:** 刺梨果渣; 膳食纤维; 提取改性; 生物活性

## Research progress of dietary fiber extraction modification and bioactivity of *Rosa roxburghii* Tratt pomace

ZHU Ren-Wei<sup>1,2</sup>, TAN Sha<sup>1</sup>, HUANG Liang<sup>2\*</sup>

(1. School of Materials and Chemical Engineering, Tongren College, Tongren 554300, China; 2. School of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

**ABSTRACT:** *Rosa roxburghii* Tratt is mainly distributed in the mountainous and hilly areas of southwest China, because the *Rosa roxburghii* Tratt is rich in a variety of amino acids, carbohydrates, vitamins, flavonoids, polyphenols and dietary fiber, with detoxification, stomach strengthening and digestion, blood glucose and lipids reduction, and other biological activities, has become one of the important pillar industries in Guizhou Province to promote “targeted poverty alleviation” and implement the “rural revitalization strategy”. At present, the *Rosa roxburghii* Tratt is mainly to develop beverage. *Rosa roxburghii* Tratt pomace is the by-product of *Rosa roxburghii* Tratt juice extraction, rich in dietary fiber, is a high-quality dietary fiber raw materials. Dietary fiber has the name of “seventh major nutrient”, and is divided into soluble dietary fiber and insoluble dietary fiber, both of which have important physiological functions. This paper reviewed the progress of extraction, modification and bioactivity of *Rosa roxburghii* Tratt pomace dietary fiber at home and abroad, and summarized the problems and development trend of *Rosa roxburghii* Tratt pomace dietary fiber extraction and modification research, in order to provide theoretical basis for the utilization of *Rosa roxburghii* Tratt pomace dietary fiber.

**KEY WORDS:** *Rosa roxburghii* Tratt pomace; dietary fiber; extraction modification; bioactivity

基金项目: 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2022]063 号)

**Fund:** Supported by the Young Scientific and Technological Talents Growth Project of Guizhou Provincial Department of Education (Qinjiaohu KY[2022]063)

\*通信作者: 黄亮, 硕士, 教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: t20031470@csuft.edu.cn

\*Corresponding author: HUANG Liang, Master, Professor, School of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China. E-mail: t20031470@csuft.edu.cn

## 0 引言

刺梨(*Rosa roxburghii* Tratt), 又名送春归、缣丝花, 是蔷薇科蔷薇属植物。主要分布于我国贵州、云南、湖南等省份, 其中以贵州资源最为丰富<sup>[1]</sup>。刺梨是一种食药同源的特色植物资源, 因其营养保健和药用价值高, 贵州省委省政府高度重视并大力支持刺梨产业发展。目前, 贵州省刺梨产业已初具规模, 成为精准扶贫、乡村振兴和经济发展的重要手段之一<sup>[2]</sup>。截至 2022 年, 贵州刺梨的种植面积已达 210 万亩, 目前进入产果期的有 126.3 万亩, 其中 72.6 万亩进入盛果期, 贵州刺梨综合产值达 150.8 亿元, 小小刺梨渐成气候, 逐渐成为当地人的“致富果”<sup>[3]</sup>。刺梨果实中含有膳食纤维<sup>[4]</sup>、黄酮<sup>[5]</sup>、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、多酚、三萜类化合物、维生素 C (vitamin C, VC) 等多种活性成分, 刘玉倩等<sup>[6]</sup>研究发现刺梨榨汁后残余的果渣中膳食纤维的含量高达 70%以上; ZHAO<sup>[7]</sup>从刺梨果渣中提取不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF)的得率为 59.56%; 周禹佳等<sup>[8]</sup>测定了刺梨果渣中的总膳食纤维含量达到了 60.40 g/100 g DW, 其中可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)含量为 5.21 g/100 g DW, IDF 含量为 56.08 g/100 g DW, IDF 为主要成分, 含量占总膳食纤维的 92.85%。膳食纤维指不易被消化酶消化的多糖类食物成分(以植物细胞壁为主要来源), 具体包含纤维素、半纤维素、树脂、果胶及木质素等<sup>[9]</sup>。根据其水溶性可分为 IDF 和 SDF 两类, 二者均不可被人体消化吸收, 但可发挥重要的生理功能<sup>[10]</sup>。膳食纤维自身产生热量低, 具有较强持水力、持油力、膨胀力和阳离子交换能力, 不易被消化, 能够增强饱腹感, 加速肠道蠕动并增加肠道粘液, 改善肠道健康<sup>[11]</sup>, 还能抑制淀粉酶的酶解反应、抑制葡萄糖吸收并促进葡萄糖的代谢<sup>[12]</sup>。采用 SDF 干预可以降低高血脂仓鼠的总胆固醇和甘油三酯含量并防止其肝脏脂肪变性<sup>[13]</sup>。

目前, 刺梨鲜果的加工以果汁为主, 刺梨果渣是刺梨鲜果榨汁后的副产品, 占鲜果质量 50%左右, 含有较为丰富膳食纤维<sup>[14]</sup>。近年来, 国内外学者们对刺梨果渣膳食纤维的提取、改性及功能性质进行了大量的研究, 然而未见对刺梨果渣膳食纤维不同提取和改性方法以及生物活性进行系统比较。本文综述了刺梨果渣膳食纤维的提取、改性和生物活性的研究进展, 旨在为刺梨果渣膳食纤维的利用和开发提供参考, 进一步提高刺梨果渣的综合利用价值, 实现废弃物资源再利用, 促进可持续发展。

## 1 刺梨果渣膳食纤维的提取

膳食纤维的提取方法是影响膳食纤维结构、理化性质和功能性质的重要因素之一, 且不同的提取方法对 SDF 与

IDF 的比例、膳食纤维的提取率、结构和理化性质影响各不相同。张瑜等<sup>[15]</sup>探究发酵法、酶法和化学法 3 种提取方法对刺梨果渣 SDF 品质的影响, 结果显示, 3 种提取方法均能提升总膳食纤维的理化性质, 同时 3 种膳食纤维结构发生不同变化, 并形成不同的官能团组成, 酶法和发酵法制备的 SDF 含有半乳糖, 化学法制备的 SDF 不含半乳糖。目前刺梨果渣膳食纤维的提取方法主要有物理方法辅助提取、化学方法提取、生物方法提取。

### 1.1 物理方法辅助提取

目前用到最多的物理方法辅助提取主要有超声辅助和微波辅助。超声产生快速移动的微小气泡流和气泡破裂, 导致物料的物理、化学升值理化特性发生变化, 物料的破坏程度受超声功率和时间的影 响, 提取时控制超声参数变得尤为重要<sup>[16]</sup>。微波可以使溶剂发生偶极旋转, 使溶剂温度迅速升高且受热均匀<sup>[17]</sup>, 增加物料组织的胞内压力从而破坏细胞壁<sup>[18]</sup>。夏洁等<sup>[19]</sup>采用超声波辅助提取刺梨果渣 IDF 的得率达到 76.00%; 卢忠英等<sup>[20]</sup>采用微波辅助提取刺梨 IDF 的得率可达 80.02%。虽然物理方法辅助提取有着操作简单、快捷方便、无污染等优点, 但是局限于对刺梨果渣 IDF 的提取。

### 1.2 化学方法提取

化学提取是利用酸、碱等化学试剂作为溶剂将膳食纤维原料里的淀粉、蛋白质和脂肪除去, 并破坏细胞壁来获取膳食纤维。ZHAO 等<sup>[21]</sup>采用化学法制备刺梨果渣 IDF, 通过单因素实验和正交实验, 得出最佳提取工艺条件为: 提取温度为 60°C、料液比为 1:6 g/mL、NaOH 浓度为 1.0 mol/L、提取时间为 180 min, 此时 IDF 提取率为 83.5%。ZHOU 等<sup>[22]</sup>通过单因素实验和正交实验, 优选出碱法脱蛋白、酸法脱淀粉、果胶等工艺条件。洗涤、离心、干燥后, IDF 得率为 86.3%±1.0%。王丽等<sup>[23]</sup>研究了碱法提取刺梨果渣 SDF, 在料液比 1:25 g/mL、NaOH 质量浓度 10 g/L、提取温度 70°C、提取时间 70 min 条件下刺梨果渣 SDF 得率为 17.36%±0.74%, 且膳食纤维的理化性质得到显著改善。化学方法的优点是操作简单、提取成本低和提取率高, 同时也存在化学试剂残留和污染环境等缺点。

### 1.3 生物方法提取

生物方法是利用生物手段除去原料中的淀粉、蛋白质等其他成分, 比如酶法和发酵法, 是一种新兴的提取方法。ZHOU 等<sup>[24]</sup>采用淀粉酶、葡萄糖淀粉酶和蛋白酶提取刺梨 IDF, 通过单因素实验和正交实验得到刺梨果渣中 IDF 的最佳酶解工艺, 在最佳工艺条件下刺梨果渣 IDF 的平均提取率达到 92.41%±1.99%。覃引等<sup>[25]</sup>采用嗜热链球菌与保加利亚乳酸杆菌复配发酵刺梨-红枣果渣制备 SDF, 通过单因素实验及响应面法优化得到最佳提取工

艺为: 料液比 1:22 g/mL、菌株接种量 10%、发酵温度 40°C、发酵时间 65 h、原料粒度 0.16 mm。在此优化条件下, SDF 得率为 11.47%, 且 SDF 的理化性质相比于发酵前显著提升。周笑犁等<sup>[26]</sup>以保加利亚乳酸杆菌与嗜热链球菌混合菌种为发酵剂, 通过单因素实验和正交实验对刺梨果渣 SDF 的制备工艺进行优化, 得到最佳工艺条件为: 接种量 12%、pH 6.0、发酵时间 48 h、料液比 1:25 g/mL、发酵温度 40°C。在此条件下, 刺梨果渣 SDF 得率显著提高至 16.81%, 且刺梨果渣 SDF 的持水力和膨胀力均高于刺梨果渣。丁小娟等<sup>[27]</sup>以混合菌种发酵制备刺梨果渣膳食纤维, 以响应面实验设计进行优化得到最佳提取工艺, 在最佳工艺条件下 SDF 得率达 11.59%, 较原果渣提高 76.53%, 且发酵法得到的总膳食纤维理化性质得到改善。生物方法优点是反应温和、操作简单、提取率较高且环保, 但也存在成本高的缺点, 这也是阻止其工业化生产的最大阻力。

由表 1 可知, 目前对于刺梨果渣膳食纤维的提取方法的研究很多, 且不同的方法有各自的优缺点, 研究者们均以更高的膳食纤维得率为目的, 但是很多提取方法会改变膳食纤维的结构和理化性质, 同时膳食纤维是一种成分非常复杂的多糖类化合物, 具体发挥功能的成分并未得到确切证实, 因此, 确定特定成分功效并根据特定成分进行提取方法的选择将成为未来研究方向。

## 2 刺梨果渣膳食纤维的改性

刺梨果渣中 IDF 含量远远高于 SDF 的含量, 然而, 与 IDF 相比 SDF 具有更好的理化性质和生物活性, 为了改善刺梨渣膳食纤维的理化特性, 通过改性提升 SDF 含量成为研究热点。刺梨果渣膳食纤维有物理方法、化学方法和生物方法。改性均是通过提升刺梨果渣膳食纤维中 SDF 的含量、改变膳食纤维结构特征和官能团, 从而对刺梨果渣膳食纤维的理化性质和功能特性产生影响, 然而不同的改性方法对膳食纤维的影响却不一样。WANG 等<sup>[28]</sup>比较了动态

高压微流化、羧甲基化和复合酶改性对刺梨果实膳食纤维的影响。发现 3 种改性方法均显著提升了 SDF 的含量, 改性改变了刺梨 IDF 的结晶度和热稳定性; 理化特性方面: 复合酶改性显著提高刺梨果实 IDF 的持水能力、水溶胀能力、油结合能力、阳离子交换能力、葡萄糖吸收能力、亚硝酸盐离子吸收能力和胆固醇吸收能力。动态高压微流化则显著提高了总酚含量和抗氧化能力; 羧甲基化使高刺梨果实 IDF 的持油力、葡萄糖吸收能力和阳离子交换能力显著增加。

### 2.1 物理方法

物理改性方法的是通过高温高压、剪切力、瞬间爆破和声空化产生的冲击波等物理手段破坏刺梨果渣膳食纤维中木质素、纤维素、半纤维素、共价键和非共价键, 从而提升 SDF 的含量、减小膳食纤维的粒径、改变膳食纤维的微观结构<sup>[29]</sup>。孟满等<sup>[30]</sup>采用双螺杆挤压、超微粉碎和挤压-超微粉碎联用改性刺梨果渣膳食纤维, 挤压处理对果渣 SDF 含量达 24.39%, 是原果渣 SDF 含量的 3.11 倍。研究表明蒸汽爆破改性破坏了刺梨果渣膳食纤维的天然结构, 减小其粒度同时还增加表面的皱褶和孔隙, 增加了刺梨果渣 IDF 和 SDF 的比表面积, 从而显著提升了刺梨果渣膳食纤维的持水力、膨胀力、持油力、胆固醇吸附能力、亚硝酸盐吸附能力、葡萄糖吸附能力、 $\alpha$ -淀粉酶抑制能力和阳离子交换能力, 提升了刺梨果渣 SDF 和 IDF 的·OH 清除能力, 但是降低了刺梨果渣 SDF 和 IDF 的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 和 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸) 二铵盐 [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS] 阳离子自由基清除能力<sup>[31]</sup>。WANG 等<sup>[32]</sup>采用超高压(90 MPa)改性刺梨果渣 IDF, 发现相比于刺梨果渣和未改性的刺梨果渣 IDF, 超高压改性显著提高了刺梨果渣水 IDF 的理化性质和体外发酵性能。物理方法改性主要是通过提高 SDF 含量、改变刺梨果渣膳食纤维的粒径和比表面积, 但是该方法的设备成本高。

表 1 刺梨果渣膳食纤维不同提取方法的优缺点

Table 1 Advantages and disadvantages of different extraction methods of dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt pomace

提取方法	作用方式	作用机制	优点	缺点
物理法	超声	产生快速移动的微气泡流和气泡破裂, 导致物料的物理、化学升值理化特性发生变化 <sup>[16]</sup>	操作简单、快捷方便、无污染	局限于对刺梨果渣 IDF 的提取
	微波	使溶剂发生偶极旋转, 增加物料胞内压力破碎细胞壁 <sup>[17-18]</sup>		
化学法	酸或碱	酸、碱化学试剂作为溶剂将膳食纤维原料里的淀粉、蛋白质和脂肪除去, 并破坏细胞壁来获取膳食纤维 <sup>[21-22]</sup>	操作简单、提取成本低和提取率高	化学试剂残留和污染环境
生物法	酶 微生物	生物手段除去原料中的淀粉、蛋白质等其他成分	反应温和、操作简单、提取率较高且环保	成本高

## 2.2 化学方法

化学方法是指通过添加的化学试剂与刺梨果渣膳食纤维发生化学反应来改变膳食纤维的微观结构、理化特性和功能性质<sup>[33]</sup>。比如酸、碱、羧甲基化和硫酸酯化等。苏靖程等<sup>[34]</sup>采用羧甲基化改性刺梨果渣膳食纤维, 改性后的刺梨果渣 IDF 和刺梨果渣 SDF 的膨胀力、持水力、持油力、溶解性、黏度、吸湿性均显著提高( $P<0.05$ ); 其阳离子交换力也分别提高了 1.25 倍和 1.98 倍; 对  $\text{NO}_2^-$  和葡萄糖的吸附能力也显著提高( $P<0.05$ )。苏靖程等<sup>[35]</sup>采用氨基磺酸-N,N-二甲基甲酰胺法对刺梨果渣 SDF 进行硫酸酯化改性, 得到最佳酯化条件为: 料液比 1:80 g/mL、氨基磺酸比 1:4 g/g、反应时间 195 min 和反应温度 80°C, 此条件下验证了改性 SDF 取代度为 1.84±0.19。化学方法不仅可以提高 SDF 含量, 还能改善刺梨果渣膳食纤维的性能, 但是也存在化学污染和残留等缺点。

## 2.3 生物方法

生物方法是利用酶或微生物发酵改变膳食纤维的微观结构及组成成分进而改善其生物活性。由于纤维素酶、半纤维素酶及木聚糖酶能够破坏 IDF 糖苷键, 暴露更多的亲水性官能团, 提高 SDF 的含量和溶解性, 它们在酶法改性中是最为常见的几种酶<sup>[36]</sup>。LI 等<sup>[37]</sup>研究发现从经过木聚糖酶和纤维素酶处理后的刺梨果渣中提取的刺梨果渣 SDF 不仅具有更高的结晶度、更高的热稳定性和更多的多孔结构, 还具有较高的持水性、持油性、水溶性、亚硝酸根离子吸附能力、抗氧化活性和  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性。微生物发酵法也可以提高膳食纤维的 SDF 含量, 改善膳食纤维的持水性、吸水膨胀性、持油性和抗糖尿病等理化和功能

特性<sup>[38]</sup>。WANG 等<sup>[39]</sup>采用纳豆芽孢杆菌对刺梨果渣进行发酵改性, 在最佳发酵工艺条件下, 降解了纤维素和半纤维素, 使刺梨果渣 SDF 形成疏松多孔的结构, 刺梨果渣中 SDF 浸出率由 7.68% 提高到 10.68%, 同时显著增强了刺梨果渣 SDF 的持水、持油、物质吸附和阳离子交换能力。生物方法改性既能提升 SDF 含量, 也能改善刺梨果渣膳食纤维的理化特性, 同时还不存在环境污染问题, 但是高成本和复杂的操作阻碍了其工业化生产。

由表 2 可知, 目前针对刺梨果渣膳食纤维的改性主要集中在提升刺梨果渣 SDF 含量和改善膳食纤维的理化性质方面, 大部分改性工艺都是以刺梨果渣 SDF 含量越高越好, 事实上, 在促进人体健康方面, 刺梨果渣 IDF 和 SDF 各有各的优势, 单独的刺梨果渣 IDF 或者 SDF 并不能发挥出最佳功效, 而刺梨果渣 IDF/SDF 比值对刺梨果渣膳食纤维功能活性影响显著, 因此, 探究刺梨果渣 IDF/SDF 最佳比值的改性工艺将成为后续研究的主要内容。

## 3 刺梨果渣膳食纤维的生物活性

### 3.1 降血糖

随着人们生活水平提高和对多元化饮食习惯的追求, 在过去几十年中, 2 型糖尿病患者呈指数级增长。据国际糖尿病联合会报告的统计数据, 全球有 4.49 亿人患有 2 型糖尿病, 并且预计这一数字到 2045 年将达到 7.02 亿<sup>[40]</sup>。研究表明膳食纤维在结肠中通过厌氧发酵产生短链脂肪酸的成分对 2 型糖尿病患者的健康有促进作用<sup>[41]</sup>。官印珑等<sup>[42]</sup>研究发现刺梨果渣 SDF、IDF、总膳食纤维(total dietary fiber, TDF)都具有一定的降血糖活性, 只是 SDF 具有更强的胰

表 2 刺梨果渣膳食纤维的不同改性方法

Table 2 Different modification methods of dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt pomace

改性方法	作用方式	作用机制	改性效果	缺点
物理法	双螺旋杆挤压		提高刺梨果渣可溶性膳食纤维含量 <sup>[30]</sup>	
	蒸汽爆破	破坏刺梨果渣膳食纤维中木质素、纤维素、半纤维素、共价键和非共价键	提高了刺梨果渣膳食纤维的持水力、持水力、膨胀力、持油力、胆固醇吸附能力、亚硝酸盐吸附能力、葡萄糖吸附能力、 $\alpha$ -淀粉酶抑制能力和阳离子交换能力及 SDF 的抗氧化能力 <sup>[31]</sup>	设备成本高
化学法	超高压		提高了刺梨果渣水IDF的理化性质和体外发酵性能 <sup>[32]</sup>	
	羧甲基化 硫酸酯化	与刺梨果渣膳食纤维发生化学反应来改变膳食纤维的微观结构、理化特性和功能性质	改性后刺梨果渣IDF和SDF的膨胀力、持水力、持油力、溶解性、黏度、吸湿性均显著提高 <sup>[34]</sup> 提高SDF含量, 改善结构 <sup>[35]</sup>	化学污染及残留
生物法	木聚糖酶和纤维素酶处理	降解刺梨果渣膳食纤维中木质素、纤维素、半纤维素	提高刺梨果渣SDF结晶度、热稳定性、多孔结构, 并提高的持水性、持油性、水溶性、亚硝酸根离子吸附能力、抗氧化活性和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性 <sup>[37]</sup>	成本高、操作复杂
	纳豆芽孢杆菌		提高刺梨果渣中SDF的多孔结构、浸出率, SDF持水、持油、物质吸附和阳离子交换能力显著增强 <sup>[39]</sup>	

淀粉酶活性抑制能力, 而 IDF 和 TDF 则是通过更强的葡萄糖吸附能力、抑制葡萄糖扩散的能力和抑制淀粉酶活性能力来发挥降血糖作用。梁欣妍等<sup>[43]</sup>通过刺梨果渣干预糖尿病模型小鼠的研究结果表明, 刺梨果渣具有较好降血糖及改善氧化应激作用, 有助于缓解糖尿病症状。伍勇等<sup>[44]</sup>采用刺梨 IDF 和刺梨多糖进行体外实验与体内小鼠 2 型糖尿病的干预实验, 发现刺梨 IDF 不仅能抑制  $\alpha$ -淀粉酶活性, 还能增加 2 型糖尿病小鼠的肠道醋酸杆菌等有益菌群的丰度, 影响体内葡萄糖的吸收代谢, 表现出良好的降血糖活性。综上, 刺梨果渣 SDF、IDF 和 TDF 均具有降血糖活性, 且它们各自的降血糖途径和效果不尽相同; SDF 主要通过抑制胰淀粉酶活性来降血糖, IDF 和 TDF 通过吸附阻止葡萄糖扩散达到降血糖目的, 这可能是由它们不同的溶解性和表面结构决定的。

### 3.2 降血脂

高血脂会导致动脉粥样硬化进而引发心脑血管疾病, 最后引发血栓和心肌梗塞导致死亡<sup>[45]</sup>。人们摄入的食物随着生活水平的提高越来越精细, 导致肥胖、高血脂、高血糖和心血管疾病等“文明病”的发生率增加<sup>[46]</sup>。周笑犁等<sup>[47]</sup>通过模拟人体胃和肠道环境探究刺梨果渣膳食纤维的体外降血脂活性, 结果表明刺梨果渣膳食纤维不仅具有较强的胆固醇吸附能力、同时还能抑制机体对膳食中脂肪的吸收和利用, 影响脂质代谢。张瑜<sup>[48]</sup>采用改性刺梨果渣膳食纤维对高血脂小鼠干预, 发现刺梨果渣膳食纤维能显著降低高血脂小鼠的甘油三酯、总胆固醇、和低密度脂蛋白胆固醇水平, 具有很好的降血脂活性。以上研究表明, 刺梨果渣膳食纤维具有良好的体外和体内降血脂功能, 这可能是由于其具有较强的脂肪和胆固醇吸附能力, 同时还能通过其他途径影响脂质代谢。

### 3.3 调节肠道菌群

肠道菌群是指一群数量庞大且种类繁多寄居在肠道内的微生物的总称。在健康状态下, 各类微生物在肠道内保持共生或拮抗关系, 共同形成一个动态平衡的微生态系统<sup>[49]</sup>。膳食纤维在肠道内发酵产生一些酸性物质, 可以调节肠道整体菌群结构, 使肠道环境利于有益好气性微生物的延续性生长, 制约有害厌氧型微生物的生长, 增加肠道有益菌群的丰度<sup>[50]</sup>。张想等<sup>[51]</sup>研究了平菇发酵的刺梨果渣膳食纤维对便秘模型小鼠的润肠通便作用, 结果表明平菇发酵显著提升了刺梨果渣膳食纤维的持水力、持油力和膨胀力, 且发现刺梨果渣膳食纤维具有良好的润肠通便作用。张想等<sup>[52]</sup>采用茶树菇发酵刺梨果渣膳食纤维, 不仅显著提升了刺梨果渣 SDF 的得率, 同时发现刺梨果渣 SDF 具备良好的润肠通便功能。夏洁<sup>[53]</sup>通过研究刺梨果渣 IDF 的体外发酵特性, 结果表明刺梨果渣 IDF 明显降低了厚壁菌门与拟杆菌门的比值, 同时促进了拟杆菌属以及粪球菌

属的生长繁殖。综上, 刺梨果渣膳食纤维良好的理化性质赋予其润肠通便的功能, 同时刺梨果渣膳食纤维不能被小肠消化吸收却可以在大肠内部分或全部发酵的特点可以改善肠道菌群。

### 3.4 抗氧化活性

自由基是人体内新陈代谢的中间产物, 过多的自由基会攻击体内的蛋白质、酶等大分子, 引发疾病危害人体健康<sup>[54]</sup>。膳食纤维单糖残基上的游离羧基、羟基、氨基等侧链基团可以与  $\cdot\text{OH}$ 、 $\cdot\text{O}_2^-$ 、 $\text{DPPH}\cdot$  和  $\text{ABTS}^+$  反应从而清除自由基<sup>[55]</sup>。郑佳欣<sup>[56]</sup>研究发现  $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{DPPH}\cdot$  和  $\text{ABTS}^+$  清除率随着刺梨果渣 IDF 和 SDF 的浓度升高先增加后趋于平稳, 刺梨果渣 IDF 和 SDF 对  $\text{DPPH}\cdot$ 、 $\text{ABTS}^+$  和  $\cdot\text{OH}$  自由基清除率最高分别达到 88.40% 和 80.72%、99.67% 和 96.49%、81.55% 和 89.59%。张灿等<sup>[57]</sup>研究发现刺梨果渣膳食纤维使面条的抗氧化能力提升 5 倍。综上, 刺梨果渣膳食纤维体外可有效清除  $\text{DPPH}\cdot$ 、 $\text{ABTS}^+$  和  $\cdot\text{OH}$  自由基, 并且加入到食品当中去也能显著提升食品的抗氧化能力。

目前我们对于刺梨果渣膳食纤维生物活性的研究还处于起步阶段。研究者们仅限于对刺梨果渣膳食纤维本身生物活性的研究, 然而刺梨除了含有丰富的膳食纤维之外, 还含有各种多酚和黄酮类化合物, 这些化合物也具有较强的生物活性, 有研究表明, 膳食纤维与多酚结合具有良好的协同作用<sup>[58]</sup>; 但是膳食纤维与黄酮结合却具有明显的拮抗现象<sup>[59]</sup>。然而刺梨果渣膳食纤维与多酚类和黄酮类物质之间存在协同还是拮抗作用尚不明确, 因此, 后续可以进一步探究刺梨果渣膳食纤维与多酚黄酮的相互作用。

## 4 结束语

在刺梨加工产业中, 刺梨果渣被当作废弃物扔掉, 不仅带来环境污染还浪费资源。刺梨果渣含有丰富的膳食纤维, 是一种优质的膳食纤维原料。刺梨果渣膳食纤维的降血糖降血脂活性可以缓解高糖高盐高脂饮食习惯对人们身体健康的损伤, 因此从刺梨果渣中提取并进行适当的改性, 对刺梨果渣高附加值利用具有积极作用。但是对于刺梨果渣膳食纤维的提取改性、结构特性、理化性质和功能特性的研究尚处于基础研究阶段, 因此研发高效的提取方法和选择合适的改性方法将成为研究热点。根据刺梨果渣膳食纤维国内外的研究现状, 可以从以下几个方面深入研究: (1) 以提高刺梨果渣膳食纤维提取率为目的, 创新提取方法, 降低提取成本, 提高膳食纤维的纯度; (2) 利用多种方法进行复合改性, 探究刺梨果渣 IDF 与 SDF 比例对刺梨果渣膳食纤维理化性质和功能特性的影响; (3) 深入研究刺梨果渣膳食纤维的生物活性, 同时探究刺梨果渣膳食纤维与刺梨果渣其他生物活性物质相互作用, 进一步提升刺梨果渣的生物利用率; (4) 研发更多的富含刺梨果渣膳食纤维功能产品, 延长刺梨产业链。

## 参考文献

- [1] 夏仕青, 张爱华. 刺梨的营养保健功能及其开发利用研究进展[J]. 贵州医科大学学报, 2018, 43(10): 1129–1132, 1153.  
XIA SQ, ZHANG AIH. Research progress of nutritional health functions of *Rosa roxburghii* Tratt and its development and utilization [J]. J Guizhou Med Univ, 2018, 43(10): 1129–1132, 1153.
- [2] 查钦, 张翔宇, 阮陪均, 等. 贵州省刺梨产业现状梳理及思考[J]. 中国现代中药, 2020, 22(1): 128–133.  
ZHA Q, ZHANG XY, RUAN PJ, et al. Present status and thoughts of *Rosa roxburghii* industry in Guizhou Province [J]. China Mod Tradit Chin Med, 2020, 22(1): 128–133.
- [3] 吴秉泽. 野果子走上产业化之路-贵州刺梨产业调查[N]. 经济日报, 2023–2–24(9).  
WU BZ. Wild fruit on the road of industrialization-Guizhou *Rosa roxburghii* Tratt industry survey [N]. Econ Daily, 2023–2–24(9).
- [4] 李春飞, 赵运, 张晓娟. 金刺梨渣中膳食纤维的提取及其性质研究[J]. 现代食品, 2022, 28(15): 89–93.  
LI CF, ZHAO Y, ZHANG XJ. Study on extraction and properties of dietary fiber from *Rosa roxburghii* residue [J]. Mod Food, 2022, 28(15): 89–93.
- [5] HE J, ZHANG Y, MA N, et al. Comparative analysis of multiple ingredients in *Rosa roxburghii* and *R. sterilis* fruits and their antioxidant activities [J]. J Funct Foods, 2016, 27: 29–41.
- [6] 刘玉倩, 孙雅蕾, 鲁敏, 等. 刺梨果实中膳食纤维的组分与含量[J]. 营养学报, 2015, 37(3): 303–305.  
LIU YQ, SUN YL, LU M, et al. Components and content of dietary fiber in *Rosa roxburghii* Tratt fruits [J]. J Nutr, 2015, 37(3): 303–305.
- [7] ZHAO GY. Preparation of granular insoluble dietary fiber from *Roxburgh rose dregs* [C]. Northeastern University. Proceedings of the 8th International Conference on Measurement and Control of Granular Materials. Northeastern University, 2009.
- [8] 周禹佳, 樊卫国. 刺梨果渣的营养、保健成分及利用价值评价[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(7): 217–224.  
ZHOU YJ, FAN WG. Nutrition and health-care composition of *Rosa roxburghii* Tratt pomace and its utilization potential [J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(7): 217–224.
- [9] 扈晓杰, 韩冬, 李铎. 膳食纤维的定义、分析方法和摄入现状[J]. 中国食品学报, 2011, 11(3): 133–137.  
HU XJ, HAN D, LI D. The definition, analytic methods and intake status of dietary fiber [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2011, 11(3): 133–137.
- [10] XIE F, LI M, LAN X, et al. Modification of dietary fibers from purple-fleshed potatoes (Heimeiren) with high hydrostatic pressure and high pressure homogenization processing: A comparative study [J]. Innov Food Sci Emerg, 2017, 42: 157–164.
- [11] 刘成梅, 李资玲, 梁瑞红, 等. 膳食纤维的生理功能与应用现状[J]. 食品研究与开发, 2006, (1): 122–125.  
LIU CM, LI ZL, LIANG RH, et al. The application actuality and physiological function of dietary fiber [J]. Food Res Dev, 2006, (1): 122–125.
- [12] ISMAIEL M, YANG H, MIN C. Dietary fiber role in type 2 diabetes prevention [J]. Brit Food J, 2016, 118(4): 961–975.
- [13] VILLANUEVA-SUAREZ MJ, MATEOS-APARICIO I, PEREZ-COZAR ML, et al. Hypolipidemic effects of dietary fibre from an artichoke by-product in syrian hamsters [J]. J Funct Foods, 2019, 56: 156–162.
- [14] 李达, 姜楠. 刺梨果渣成分分析及发酵前后不同成分含量的变化[J]. 农产品加工, 2016, 400(2): 35–36, 39.  
LI D, JIANG N. The content changes of different components fermentation and analysis of *Rosa roxburghii* Tratt juice composition of *Rosa roxburghii* Tratt juice [J]. Agric Prod Proc, 2016, 400(2): 35–36, 39.
- [15] 张瑜, 李鑫, 刘芳舒, 等. 不同工艺制备刺梨果渣膳食纤维及品质分析[J]. 中国酿造, 2015, 34(2): 82–86.  
ZHANG Y, LI XX, LIU FS, et al. Dietary fiber of *Rosa roxburghii* Tratt pomace prepared by different processes and quality indexes analysis [J]. Chin Brew, 2015, 34(2): 82–86.
- [16] FU X, BELWAL T, CRAVOTTO G, et al. Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components [J]. Ultrason Sonochem, 2020, 60: 104726.
- [17] GAN J, HUANG Z, YU Q, et al. Microwave assisted extraction with three modifications on structural and functional properties of soluble dietary fibers from grapefruit peel [J]. Food Hydrocolloid, 2020, 101: 105549.
- [18] WEI E, YANG R, ZHAO H, et al. Microwave-assisted extraction releases the antioxidant polysaccharides from seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 123: 280–290.
- [19] 夏洁, 薛浩岩, 贾祥泽, 等. 刺梨果渣水不溶性膳食纤维提取工艺优化[J]. 现代食品科技, 2020, 36(7): 227–234.  
XIA J, XUE HY, JIA XZ, et al. Extraction optimization of water insoluble dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt pomace [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(7): 227–234.
- [20] 卢忠英, 鲁道旺, 陈仕学, 等. 响应面优化微波辅助法提取刺梨水不溶性膳食纤维工艺[J]. 食品工业科技, 2016, 37(17): 195–199.  
LU ZY, LU DW, CHEN SX, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of insoluble dietary fiber (IDF) from *Rosa roxburghii* by response surface method [J]. Food Ind Sci Technol, 2016, 37(17): 195–199.
- [21] ZHAO GY, JING LQ. Extraction of granular insoluble dietary fiber from apple-*Roxburgh rose* dregs [J]. Adv Mater Res, 2011, 1: 396–398.
- [22] ZHOU XL, YANG YS, YANG QM, et al. Optimization of insoluble dietary fiber preparation technology from *Rosa roxburghii* pomace by chemical method [J]. E3S Web Conf, 2020, 145: 1027.
- [23] 王丽, 张想, 李全力, 等. 碱法提取刺梨果渣可溶性膳食纤维工艺研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(6): 125–128.  
WANG L, ZHANG X, LI QL, et al. Study on the extraction process of soluble dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt pomace by alkali method [J]. Chin Season, 2021, 46(6): 125–128.
- [24] ZHOU X, ZHU G, LU Y, et al. Optimization of insoluble dietary fiber preparation technology from *Rosa roxburghii* Tratt pomace by enzyme

- method [J]. IOP Conf Series Earth Environ Sci, 2019, 330(4): 42052.
- [25] 覃引, 龙凤媛, 张才贵, 等. 刺梨-红果渣可溶性膳食纤维的制备工艺优化及特性分析[J]. 中国酿造, 2021, 40(12): 81–86.
- QIN Y, LONG FY, ZHANG CG, *et al.* Preparation process optimization and characteristic of soluble dietary fiber from *Rosa roxburghii*-jubbe pomace [J]. Chin Brew, 2021, 40(12): 81–86.
- [26] 周笑犁, 谢国芳, 何劲, 等. 发酵法制备刺梨果渣可溶膳食纤维的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(1): 102–106.
- ZHOU XL, XIE GF, HE J, *et al.* Optimization of soluble dietary fiber preparation technology from *Roxburgh rose* pomace by fermentation [J]. Food Ind Sci Technol, 2018, 39(1): 102–106.
- [27] 丁小娟, 孟满, 赵泽伟, 等. 发酵法制取刺梨果渣膳食纤维工艺优化及其特性分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 97–103.
- DING XJ, MENG M, ZHAO ZW, *et al.* Optimization of fermentation of *Roxburgh rose* pomace for dietary fiber preparation and quality indexes analysis [J]. Food Ind Sci Technol, 2018, 39(7): 97–103.
- [28] WANG L, SHEN C, LI C, *et al.* Physicochemical, functional, and antioxidant properties of dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt fruit modified by physical, chemical, and biological enzyme treatments [J]. J Food Process Pres, 2020, 44(11): e14858.
- [29] GAN JP, XIE L, PENG GY, *et al.* Systematic review on modification methods of dietary fiber [J]. Food Hydrocolloid, 2021, 119: 106872.
- [30] 孟满, 张瑜, 林梓, 等. 不同物理方法处理刺梨果渣理化性质分析[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 171–177.
- MENG M, ZHANG Y, LIN Z, *et al.* Effect of different physical treatments on physicochemical properties of *Rosa roxburghii* Tratt pomace [J]. Food Sci, 2017, 38(15): 171–177.
- [31] LIU Y, AO HP, ZHENG JX, *et al.* Improved functional properties of dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt residue by steam explosion [J]. J Food Process Pres, 2022. DOI: 10.1111/JFPP.16119
- [32] WANG SK, XIA J, DE PK, *et al.* Ultra-high pressure treatment controls *in vitro* fecal fermentation rate of insoluble dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt pomace and induces butyrogenic shifts in microbiota composition [J]. J Agric Food Chem, 2021. DOI: 10.1021/ACS.JAFC.1C03453
- [33] IQBAL S, TIRPANALAN-STABEN Ö, FRANKE K. Modification of dietary fibers to valorize the by-products of cereal, fruit and vegetable industry—A review on treatment methods [J]. Plants, 2022, 11(24): 3466.
- [34] 苏靖程, 李晗, 范方宇. 无籽刺梨渣膳食纤维的羧甲基化改性及性质[J]. 食品工业科技, 2022, 43(14): 34–42.
- SU JC, LI H, FAN FY. Carboxymethylation modification and properties of dietary fiber from seedless *Rosa roxburghii* Tratt pomace [J]. Food Ind Sci Technol, 2022, 43(14): 34–42.
- [35] 苏靖程, 张传单, 范方宇. 无籽刺梨渣可溶性膳食纤维硫酸酯化改性及性质分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 255–261.
- SU JC, ZHANG CD, FAN FY. Sulfate modification and property analysis of soluble dietary fiber from *Rosa sterilis* pomace [J]. Food Ind Sci Technol, 2023, 44(3): 255–261.
- [36] 张帅, 郭晓雪, 任丽琨, 等. 酶法改性影响膳食纤维的构成及生物作用效果的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1089–1098.
- ZHANG S, GUO XX, REN LK, *et al.* Research progress of enzymatic modification on the composition and biological effects of dietary fiber [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(4): 1089–1098.
- [37] LI P, LI C, FU X, *et al.* Physicochemical, functional and biological properties of soluble dietary fibers obtained from *Rosa roxburghii* Tratt pomace using different extraction methods [J]. Process Biochem, 2023, 128: 40–48.
- [38] CHU J, ZHAO H, LU Z, *et al.* Improved physicochemical and functional properties of dietary fiber from millet bran fermented by *Bacillus natto* [J]. Food Chem, 2019, 294: 79–86.
- [39] WANG Y, WANG J, CAI Z, *et al.* Improved physicochemical and functional properties of dietary fiber from *Rosa roxburghii* pomace fermented by *Bacillus natto* [J]. Food Biosci, 2022, 50: 102030.
- [40] JIN FB, ZHANG JH, SHU L, *et al.* Association of dietary fiber intake with newly-diagnosed type 2 diabetes mellitus in middle-aged Chinese population [J]. Nutr J, 2021. DOI: 10.1186/S12937-021-00740-2
- [41] MAZHAR M, ZHU Y, QIN L. The interplay of dietary fibers and intestinal microbiota affects type 2 diabetes by generating short-chain fatty acids [J]. Foods, 2023, 12(5): 1023.
- [42] 官印珑, 周丽妍, 王辉, 等. 动态高压微射流对刺梨果渣膳食纤维及其抑制淀粉消化和葡萄糖扩散的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(9): 79–86.
- GUAN YL, ZHOU LY, WANG H, *et al.* The effect of dynamic high pressure microfluidization on dietary fiber of *Rosa roxburghii* Tratt pomace and its inhibiting ability against starch digestion and glucose diffusion [J]. Food Sci, 2022, 43(9): 79–86.
- [43] 梁欣妍, 张瑜, 丁筑红. 挤压超微粉碎刺梨果渣对糖尿病小鼠血糖及组织抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(10): 97–101.
- LIANG XY, ZHANG Y, DING ZH. Effects of the extrusion-and-superfine rinding *Rosa roxburghii* pomace on glycemia and antioxidant activity in diabetic mice [J]. Food Sci Technol, 2017, 42(10): 97–101.
- [44] 伍勇, 韦艾曩, 杨莹, 等. 刺梨多糖提取物对小鼠II型糖尿病的干预研究[J/OL]. 广西植物: 1–15. [2023-04-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.q.20221130.0955.001.html>
- WU Y, WEI AIJ, YANG K, *et al.* Intervention study of *Rosa roxburghii* Tratt polysaccharide extract on type II diabetes in mice [J/OL]. Guangxi Plant: 1–15. [2023-04-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.q.20221130.0955.001.html>
- [45] 李瑜. 大蒜素大蒜粉的制备及其生物活性功能的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- LI Y. Preparation of garlic powder with high allicin and its biological activities [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.
- [46] CASSIDY YM, MCSORLEY EM, ALLSOPP PJ. Effect of soluble dietary fibre on postprandial blood glucose response and its potential as a functional food ingredient [J]. J Funct Foods, 2018, 46: 423–439.
- [47] 周笑犁, 王瑞, 高蓬明, 等. 刺梨果渣膳食纤维的体外吸附性能[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(2): 187–191.
- ZHOU XL, WANG R, GAO PM, *et al.* *In vitro* adsorption properties of dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt pomace [J]. Food Res Dev, 2018,

- 39(2): 187–191.
- [48] 张瑜. 刺梨果渣高纤粉加工及品质特性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
- ZHANG Y. Study of process and quality properties of *Rosa roxburghii* Tratt pomace high fiber powder [D]. Guiyang: Guizhou University, 2016.
- [49] 李佳帅, 唐强, 朱路文, 等. 肠道菌群功能及其与运动的相关性研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2018, 24(12): 1422–1425.
- LI JS, TANG Q, ZHU LW, *et al.* Advance in gut microbiota function and its correlation with exercise (review) [J]. Chin Rehab Theory Pract, 2018, 24(12): 1422–1425.
- [50] 曲鹏宇, 李丹, 李志江, 等. 膳食纤维功能、提取工艺及应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(19): 218–224.
- QU PY, LI D, LI ZJ, *et al.* Research progress on function, extraction process and application of dietary fiber [J]. Food Res Dev, 2018, 39(19): 218–224.
- [51] 张想, 李立郎, 杨娟, 等. 发酵刺梨果渣膳食纤维润肠通便功能研究[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(2): 30–34.
- ZHANG X, LI LL, YANG J, *et al.* Study on the moistening and laxative function of dietary fiber from fermented *Roxburgh rose* pomace [J]. Food Ferment Sci Technol, 2021, 57(2): 30–34.
- [52] 张想, 李立郎, 杨娟, 等. 茶树菇发酵刺梨果渣制备可溶性膳食纤维工艺优化及其对小鼠润肠通便功能的评价[J]. 现代食品科技, 2021, 37(3): 171–180.
- ZHANG X, LI LL, YANG J, *et al.* Process optimization of soluble dietary fiber from *Roxburgh rose* pomace fermented by *Agrocybe aegerita* and its evaluation on the moistening and laxative function of mice [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(3): 171–180.
- [53] 夏洁. 刺梨果渣水不溶性膳食纤维的制备、结构表征及其体外发酵特性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- XIA J. Study on extraction, structural characterization and *in vitro* fermentation of insoluble dietary fiber from *Rosa roxburghii* Tratt fruit [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.
- [54] 丁小艳. 贵州不同基地刺梨果及叶质量对比分析及抗氧化活性研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2015.
- DING XY. Study on quality analysis and antioxidant activities of *Rosa roxburghii* Tratt fruits and leaves from different planting bases in Guizhou province [D]. Guiyang: Guizhou Norm Univ, 2015.
- [55] 徐雪萍. 茶叶膳食纤维的组成与抗氧化活性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- XU XP. Study on the composition and antioxidant activity of tea dietary fiber [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [56] 郑佳欣. 刺梨渣膳食纤维蒸汽爆破改性及结构、功能性质研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- ZHENG JX. Structural and functional properties of dietary fiber from chestnut rose residue modified by steam explosion [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
- [57] 张灿, 郭依萍, 田艾, 等. 刺梨果渣及其膳食纤维提取物对面条品质的影响[J/OL]. 食品与发酵工业: 1–10. [2023-04-19]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.030753
- ZHANG C, GUO YP, TIAN AI, *et al.* Effect of *Rosa roxburghii* Tratt pomace and the dietary fiber extract on noodle quality [J/OL]. Food Ferment Ind: 1–10. [2023-04-19]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.030753
- [58] 陈晓敏. 红菊苣膳食纤维对红菊苣多酚消化吸收过程中的生物可及性及肠道炎症的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2022.
- CHEN XM. Effect of red chicory dietary fiber on bioaccessibility and intestinal inflammation during digestion and absorption of red chicory polyphenols [D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.
- [59] 王辉. 羽衣甘蓝和西芹中膳食纤维与黄酮联合使用对结肠炎的影响与潜在机制探究[D]. 南昌: 南昌大学, 2022.
- WANG H. Effects and underlying mechanisms of dietary fiber combined with flavonoids in kale and celery on colitis [D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

## 作者简介



朱仁威, 硕士, 实验师, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。  
E-mail: zhurenwei@126.com



黄 亮, 硕士, 教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。  
E-mail: t20031470@csuft.edu.cn