

不同处理方法对洋蓟膳食纤维结构及理化性质的影响

王雅怡, 付晓康, 贺 便, 黄 亮, 朱仁威, 张林威

Effects of Different Treatments on the Structure and Physicochemical Properties of Artichoke Dietary Fiber

WANG Yayi, FU Xiaokang, HE Bian, HUANG Liang, ZHU Renwei, and ZHANG Linwei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022010281>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

茶树菇膳食纤维改性及理化性质研究

Modification and Physicochemical Properties of *Agrocybe aegerita* Dietary Fiber

食品工业科技. 2021, 42(4): 142-148

蒜黄根膳食纤维提取工艺优化及其理化性质分析

Optimization of Extraction Conditions of Dietary Fiber from the Root of Blanched Garlic Leaves and Its Physicochemical Properties Analysis

食品工业科技. 2020, 41(23): 189-194,222

竹笋膳食纤维理化特性及改性技术研究进展

Research Advance on Physicochemical Properties and Modification of Bamboo Shoot Dietary Fiber

食品工业科技. 2020, 41(12): 353-357

超微粉碎对竹粉膳食纤维功能特性的影响

Effect of superfine pulverizing on properties of bamboo powder dietary fiber

食品工业科技. 2017(17): 50-55

超微粉碎对竹笋壳粉理化性质的影响

Effect of Ultrafine Grinding on Physical and Chemical Properties of Bamboo Shell Powder

食品工业科技. 2019, 40(1): 34-39

四种热带水果中膳食纤维的结构表征及单糖组成和理化性质分析

Structure Characterization, Monosaccharide Composition and Physicochemical Properties of Dietary Fiber in Four Tropical Fruits

食品工业科技. 2021, 42(5): 60-65,71



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王雅怡, 付晓康, 贺便, 等. 不同处理方法对洋蓟膳食纤维结构及理化性质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 83–89. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010281

WANG Yayi, FU Xiaokang, HE Bian, et al. Effects of Different Treatments on the Structure and Physicochemical Properties of Artichoke Dietary Fiber[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(22): 83–89. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010281

· 研究与探讨 ·

不同处理方法对洋蓟膳食纤维结构及理化性质的影响

王雅怡^{1,2}, 付晓康^{1,2}, 贺 便^{1,2}, 黄 亮^{1,2,*}, 朱仁威^{1,2}, 张林威^{1,2}

(1. 特医食品加工湖南省重点实验室, 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南长沙 410004;

2. 稻谷及副产物深加工国家工程研究中心, 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南长沙 410004)

摘 要: 本实验以洋蓟膳食纤维 (ADF) 为原料, 探究超微粉碎和低温冷冻-超微粉碎两种处理方法对洋蓟膳食纤维的结构及理化性质的影响。结果表明, 通过结构表征发现低温冷冻-超微粉碎使洋蓟膳食纤维结构更加疏松, 颗粒大小均匀、集中。结合相关计算证实, 与普通粉碎相比, 超微粉碎和低温冷冻-超微粉碎的 D50 分别减小了 84.63% 和 86.72%, 膨胀力、持水力和持油力分别提升了 1.22、1.20、1.06 倍和 1.44、1.25、1.97 倍, 葡萄糖吸收能力分别提升了 135.09% 和 271.09%, 普通粉碎、超微粉碎和低温冷冻-超微粉碎的结晶度分别为 26.73%、30.57%、38.10%。超微粉碎和低温冷冻-超微粉碎均可改善洋蓟膳食纤维的理化性质, 并且低温冷冻-超微粉碎处理后的提升更显著, 为未来洋蓟膳食纤维的综合利用提供了一些新思路。

关键词: 洋蓟, 膳食纤维, 低温冷冻, 超微粉碎, 理化性质

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)22-0083-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010281



本文网刊:

Effects of Different Treatments on the Structure and Physicochemical Properties of Artichoke Dietary Fiber

WANG Yayi^{1,2}, FU Xiaokang^{1,2}, HE Bian^{1,2}, HUANG Liang^{1,2,*}, ZHU Renwei^{1,2}, ZHANG Linwei^{1,2}

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Special Medical Food Processing, College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China;

2. National Engineering Research Center of Rice and Byproduct Deep Processing, College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: The effects of two treatments—ultrafine grinding (UG) and freeze-ultrafine-grinding (FUG) on the structure and physicochemical properties of artichoke dietary fiber as dietary fiber (ADF) were investigated. The results showed that the structure of the freeze-ultrafine-grinding artichoke dietary fiber was looser and the particle size was more uniform and concentrated. Compared with non-treated ADF, the D50 values were reduced by 84.63% and 86.72% respectively for the two treatments. In addition, the swelling power, the water holding capacity and the oil holding capacity of the two treatments were increased by 1.22, 1.20, 1.06 times and 1.44, 1.25, 1.97 times, respectively. Moreover, the glucose absorption capacity were increased by 135.09% and 271.09%. And beyond that, the crystallinity of non-treated ADF, UG and FUG were 26.73%, 30.57% and 38.10%. Both UG and FUG improved the physicochemical properties of artichoke dietary fiber, with the latter one being more effective. This study would provide new ideas for the comprehensive utilization

收稿日期: 2022-02-10

基金项目: 湖南省自然科学基金 (2019JJ60020); 湖南省科技创新平台与人才计划项目 (2017TP1021); 长沙市科技计划项目 (kc1704007); 湖南省教育厅“十二五”重点学科资助项目 (2011-76)。

作者简介: 王雅怡 (1997-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工技术与品质控制, E-mail: yywang97@126.com。

* 通信作者: 黄亮 (1964-), 男, 教授, 硕士, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: 798507440@qq.com。

of artichoke dietary fiber in the future.

Key words: artichokes; dietary fiber; freezing; ultrafine grinding; physicochemical properties

洋蓟,别名朝鲜蓟、法国洋蓟、球洋蓟、法国百合等,是一种菊科菜蓟属植物,在我国云南、浙江、湖南等地相继引种并形成规模化种植^[1]。洋蓟的主要食用部位是绿色叶状苞片包围的花蕾,具有很高的营养价值,同时叶柄软化后也可水煮食用^[2]。食用新鲜洋蓟的花蕾可保护肝肾、增强肝脏排毒、促进氨基酸代谢、降低胆固醇以及治疗消化不良、改善胃肠功能、防止动脉硬化、保护心血管^[3-4]。宋曙辉等^[5]研究发现,洋蓟花托、茎和叶片纤维含量较高,粗纤维含量以鲜样计,不可食用部分占 4.41%,花托为 0.73%,苞片可食部为 2.65%,具有很高的营养保健功能。

洋蓟中的膳食纤维为可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)和不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF)^[6]。SDF 具有更广泛和重要的生理功能,不仅可以显著影响碳水化合物和脂质的代谢,还可以吸附重金属离子和胆固醇,是影响膳食纤维生理功能的重要因素^[7-9]。董吉林等^[10]研究发现燕麦膳食纤维对食源性肥胖小鼠有显著降脂减肥的作用,其中 SDF 的效果更佳。美国流行病学研究显示,增加膳食纤维,尤其是 SDF 的摄入可降低冠心病发生风险^[11]。洋蓟中膳食纤维的含量丰富但大多数是 IDF, IDF 口感粗糙且人体不易吸收,主要促进肠道蠕动等等发挥作用,这限制了洋蓟膳食纤维更好地发挥其功能^[12-13]。因此,如何提高洋蓟膳食纤维的 SDF 含量已成为当下研究的热点。

低温冷冻是将物料冷却至玻璃化转变温度或低于脆化温度。作为预处理方法,低温冷冻与粉碎相结合,除了广泛应用于粉碎橡胶、塑料外,还可应用于粉碎食品,香料等。Liu 等^[14]研究发现低温粉碎使胡椒粉品质更佳、味道浓厚细腻。李杨等^[15]在 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下将生物酶法制油豆渣膳食纤维经低温超微粉碎处理后,豆渣膳食纤维粒径分布稳定,其持水性、膨胀性显著提高。

超微粉碎是一种具有高速、污染少、原料利用率高等特点的新型加工方法^[16],经超微粉碎后的食品颗粒粒径细小、均匀、易于发酵、酶解^[17-18]。施建斌等^[19]比较麦麸及麦麸膳食纤维分别在常规粉碎和超微粉碎后的物化特性,发现超微粉碎处理可进一步提升麦麸膳食纤维的持水性和持油性,超微粉碎麦麸及麦麸膳食纤维胆酸钠吸附量和葡萄糖吸附量明显上升等等,可以说明超微粉碎将有助于改变麦麸及麦麸膳食纤维的原始特性。Yan 等^[20]用高静水压(HHP)和超微粉碎处理(SFGT)对梨果渣的理化和功能特性的影响,结果表明,HHP 和 SFGT 均可增加 SDF 含量。

湖南常德西洞庭管理区自 2005 年从国外引进洋蓟种植并加工成罐头出口外销,2015 年,种植面积

达到 2000 hm^2 ,单产 7500 kg/hm^2 ,然而目前西洞庭洋蓟加工罐头仅利用其合格鲜果的约 1/3,洋蓟的综合利用率只有 5%~10%,导致资源浪费和环境污染^[21]。目前国内外对于超微粉碎在食品中的应用以及洋蓟的抗氧化成分、洋蓟粉等相关加工工艺等的研究较多,低温冷冻-超微粉碎和洋蓟膳食纤维鲜有研究,而洋蓟中膳食纤维的含量丰富且为优质纤维。为了更好地探究低温冷冻及超微粉碎两种方法相结合所产生的协同作用、提高洋蓟的资源利用率,本实验以洋蓟膳食纤维为原料,对比研究普通粉碎、超微粉碎和低温冷冻-超微粉碎三种处理方式对洋蓟膳食纤维结构及理化性质的影响,为提高洋蓟膳食纤维的综合利用提供新思路 and 理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

洋蓟 惠美农业科技有限公司;二水合磷酸二氢钠、十二水合磷酸氢二钠、无水乙醇、石油醚、氢氧化钠、盐酸、溴化钾、葡萄糖、氯化氢、硝酸银、氯化钠等试剂 均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

JL-1178 型激光粒度分析仪 成都精新粉体仪器有限公司;FA1104 分析天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;FW-400A 万能粉碎机 北京中兴伟业仪器有限公司;SHA-C 恒温震荡水浴锅 常州国华电器有限公司;SU8000 冷场发射扫描电镜 日本日立公司;CJM-SY-B1 型高能纳米冲击磨 秦皇岛市太极环纳米制品有限公司;DW-HL388 超低温冰箱 中科美菱低温科技有限公司;smarlab ragiku 2019 衍射仪 日本理学电机公司;MS400 加热型磁力搅拌器 上海般特仪器制造有限公司;UV-1800 紫外可见分析光度计 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 洋蓟预处理 取一定量干洋蓟花苞于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 干燥 12 h,取出冷却至室温后用万能粉碎机粉碎。粉碎后将样品用 85% 乙醇溶液按每克试样 10 mL 的比例冲洗后弃乙醇溶液,连续冲洗 3 次,再将试样置 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱内干燥 12 h。干样粉碎过 60 目筛后得到脱糖洋蓟粉,置于玻璃干燥器中备用。

1.2.2 洋蓟膳食纤维的提取 准确称取脱糖洋蓟粉试样 5 g(精确至 0.01 g),加入水 200 mL,用磁力搅拌直至试样完全分散在水中。调节 pH6.0,向试样中先添加 0.9% 热稳定 α -淀粉酶在温度 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、pH6 下水解 50 min。再添加 0.9% 蛋白酶,在温度 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、pH6 下水解 40 min。水解完成后向每份试样酶解液中按乙醇与试样液体积比 4:1 的比例加入预热至 $(60\pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 95% 乙醇,加盖铝箔于室温条件下沉

淀 1 h 后抽滤,在 105 ℃ 烘干 12 h 后室温冷却 1 h,得到洋蓟膳食纤维。

1.2.3 普通粉碎处理 将洋蓟膳食纤维放入万能粉碎机粉碎,过 60 目筛后收集。

1.2.4 超微粉碎处理 将洋蓟膳食纤维加入纳米冲击磨中,样品与铅球质量比 2:1 的条件下粉碎 8 h,过 300 目筛后收集。

1.2.5 低温冷冻-超微粉碎处理 将洋蓟膳食纤维在 -80 ℃ 下冷冻 48 h,再加入纳米冲击磨中,样品与铅球质量比 2:1 的条件下粉碎 8 h,过 300 目筛后收集。

1.2.6 粒径测定 采用激光粒度分析仪对洋蓟膳食纤维粉末粒径进行测定^[22]。用空气作为分散剂,取适量的洋蓟膳食纤维,超声辅助使其分散均匀,设定折射率 1.510,介质折射率 1.33,粒径测定范围 0.01~2000 μm。粒径分布的参数例如 D10、D50、D90 和粒度分布宽度等等,以 Zhao 等^[23]的方法为参考,粒度分布宽度的换算如下:

$$\text{span} = \frac{(D90 - D10)}{D50}$$

式中: D10 指样品的累计粒度分布百分数达到 10 % 时所对应的粒径; D50 指样品的累计粒度分布百分数达到 50% 时所对应的粒径; D90 指样品的累计粒度分布百分数达到 90% 时所对应的粒径。

1.2.7 傅里叶红外光谱(FTIR) 在充分干燥的环境中,取 2 mg 干燥的样品,加入 200 mg 充分干燥的溴化钾粉末于玛瑙研钵中,研磨直至完全研细混匀,将研磨好的粉末均匀加入压膜器内,压片 5 min,然后迅速取出放入仪器中进行扫描,扫描波数 400~4000 cm⁻¹,扫描次数 32 次,扫描分辨率 4 cm⁻¹。

1.2.8 扫描电镜观察微观结构 取少量导电胶将适量干燥样品固定在样品台上,喷金 100 s,将电镜的加速电压逐步从低到高升到 5 kV,工作距离 10 mm,分别放大 2000、10000 和 20000 倍观察样品颗粒的形貌,拍照分析样品形态变化。

1.2.9 理化性质分析 参考徐驱雾^[22]的方法加以修改,测定样品的膨胀力、持水力、持油力、结合水力。

1.2.9.1 膨胀力(SWC)测定 精确称取洋蓟膳食纤维干样 0.1 g(精确至 0.001 g)于盛有一定蒸馏水的量筒中,混合均匀后于室温下放置 24 h,观察样品在量筒中的自由膨胀体积(mL),计算其膨胀性。膨胀性换算成每克干物质的膨胀体积:

$$\text{SWC}(\text{mL/g}) = \frac{L_1 - L_2}{m}$$

式中: L₁ 为膨胀后体积; L₂ 为干样体积; m 为样品干重。

1.2.9.2 持水力(WHC)测定 精确称取洋蓟膳食纤维干样 0.5 g(精确至 0.001 g)于 50 mL 离心管中,加 30 mL 蒸馏水浸泡摇匀,室温下静止 1 h,在 3000 r/min

下离心 20 min,弃上清液,称剩余沉淀物的重量。持水力换算成每克干物质中的水分含量:

$$\text{WHC}(\text{g/g}) = \frac{m_2 - m_1}{m_1}$$

式中: m₁ 为样品干重; m₂ 为样品湿重。

1.2.9.3 持油力(OHC)测定 称取洋蓟膳食纤维干样 0.1 g(精确至 0.001 g)于试管中,加入一定量市售饱和色拉油混匀静置 30 min 后,倒置试管沥干多余油脂,然后称重,持油力换算成每克干物质所带带的色拉油的重量:

$$\text{OCH}(\text{g/g}) = \frac{m_2 - m_1}{m_1}$$

式中: m₁ 为样品干重; m₂ 为样品湿重。

1.2.9.4 结合水力(WBC)测定 精确称取洋蓟膳食纤维样品 0.1 g(精确至 0.001 g),浸泡于 25 mL 25 ℃ 的蒸馏水中,伴随适当搅拌保持 2 h。在 14000 r/min 条件下离心 1 h 后去除上清液,沉淀物静置于 G-2 多孔玻璃上 1 h 后称重。随后在 120 ℃ 下干燥 2 h 再次称重,两者差值为所结合水的重量,结合水力换算成每克干物质的结合水克数:

$$\text{WBC}(\text{g/g}) = \frac{m_2 - m_3}{m_1}$$

式中: m₁ 为样品干重; m₂ 为离心后样品湿重; m₃ 为干燥后样品干重。

1.2.10 葡萄糖吸附能力测定 参考阮传英等^[24]的方法,准确称取 1.00 g 样品(精确至 0.001 g)放入 100 mL 100 mmol/L 的葡萄糖溶液(pH7.0)中。在 38 ℃ 下磁力搅拌 7 h。然后 3000 r/min 下离心 25 min,利用可见分光光度法在 505 nm 下测定上清液中葡萄糖含量,同时做空白对照:

$$\text{吸附量}(\text{mg/g}) = \frac{\text{溶液中葡萄糖总量} - \text{上清液中葡萄糖含量}}{\text{样品质量}}$$

1.2.11 XRD 分析 将样品在 45 ℃ 下干燥 4 h,然后使用衍射仪在 25 ℃ 下以 0.2 s/步扫描并记录 XRD 图谱(其中管电流: 150 mA,管电压: 40 kV,DS 狭缝 0.5°,SS 狭缝 0.5°,RS 狭缝 0.1 mm, CuKα 辐射, λ=0.1540 nm, 2θ=3.2°至 80°的范围内)。洋蓟膳食纤维的相对结晶度(CI)计算方式如下:

$$\text{CI}(\%) = \frac{A_{\text{结晶}}}{A_{\text{非晶态}} + A_{\text{结晶}}} \times 100$$

式中: A_{非晶态} 为非晶态曲线下的面积; A_{结晶} 为采样曲线下的区域。

使用 Scherrer 方程确定纤维素尺寸:

$$L = k\lambda/\beta\cos\theta$$

式中: λ=0.1540 nm; k 为校正因子且 k=0.91; 弧度 θ 为衍射角; β 为全宽。

纤维素的 d 间距用布拉格定律确定:

$$d = n\lambda/(2\sin\theta)$$

式中: d 为晶格平面之间的面间距离; θ 为以度为单位的散射角; n 为正整数; λ 为 x 射线的波长。

1.3 数据处理

所有实验平行 3 次, 采用 Microsoft excel 2016 处理数据, Origin 2018 作图, 结果均采用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)的形式表示, 通过 SPSS 22.0 进行分析数据, 采用方差分析和 T 检验, $P<0.05$ 有显著差异, $P<0.01$ 有极显著差异。

2 结果与分析

2.1 不同处理方法对洋蓟膳食纤维粒径的影响

如表 1 所示, 与普通粉碎相比, 超微粉碎和低温冷冻-超微粉碎处理后的洋蓟膳食纤维的粒度显著减小, 其中低温冷冻-超微粉碎膳食纤维不仅 D50 最小, 而且粒度分布宽度小于其他两种, 说明其粒径大小分布从杂乱逐渐变得集中, 这可能与 DF 颗粒受到剪切力, 纤维素结构受到一定程度的破坏有关, 从而影响 DF 的功能特性, 这与 Zhao 等^[23]得到的结论一致。

表 1 不同处理方式对洋蓟膳食纤维粒度和分布的影响

Table 1 Effects of different treatments on grain size and distribution of artichoke dietary fiber

样品	D10(μm)	D50(μm)	D90(μm)	粒度分布宽度
普通粉碎	24.63 $\pm$ 0.45 ^a	184.06 $\pm$ 5.47 ^a	713.97 $\pm$ 2.81 ^a	3.75 $\pm$ 0.10 ^b
超微粉碎	7.59 $\pm$ 0.85 ^b	28.29 $\pm$ 1.26 ^b	138.11 $\pm$ 6.16 ^b	4.61 $\pm$ 0.02 ^a
低温冷冻-超微粉碎	6.54 $\pm$ 0.16 ^c	24.45 $\pm$ 0.75 ^c	91.84 $\pm$ 9.21 ^c	3.49 $\pm$ 0.39 ^c

注: 同一列不同字母表示不同样品间差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同处理方法的洋蓟膳食纤维傅里叶红外光谱分析

如图 1 所示, 红外光谱图中波数 3367 cm^{-1} 附近的吸收峰为分子内羟基(-OH)伸缩振动峰, 这是由于分子间氢键发生缔合, 低温冷冻-超微粉碎后的洋蓟膳食纤维的峰明显比其他两组宽且峰强度有所上升, 主要是由样品中果胶和半纤维素引起的。波数为 2943 cm^{-1} 的峰为 C-H 伸缩振动峰, 是多糖类物质典型结构特征, 其中低温冷冻-超微粉碎的洋蓟膳食纤维的峰强度最大, 说明亚甲基含量最多。1732 cm^{-1} 的峰归属于羰基(C=O)的伸缩振动峰, 波数为 1058 cm^{-1} 的峰为 C-O 的伸缩振动峰, 这主要是由半纤维素引起的, 同时也说明了样品可能含有酯基, 1639 cm^{-1} 为吸附水的 H-O-H 弯曲振动峰, 在低温冷冻-超微粉碎后的洋蓟膳食纤维中强度最大, 说明此样品吸水性最大, 1325 cm^{-1} 峰归属于脂肪族不对称的 C-H 键弯曲振动峰, 1247 cm^{-1} 峰为纤维素中 C-O 伸缩振动峰, 在 1527 cm^{-1} 附近没有木质素的特征吸收峰出现, 说明三组样品都不含木质素^[25]。从图 1 中各官能团的峰可以看出, 低温冷冻-超微粉碎>超微粉碎>普通粉碎, 整体分析可知, 低温冷冻-超微粉碎处理前后洋蓟膳食纤维具有-OH、C-H、C=O、C-O 键等果胶、多糖类、纤维素及半纤维素的特征吸收峰, 没有出现新吸

收峰, 其特征吸收峰峰型、位置及峰数量均未有明显变化, 说明与普通粉碎相比, 经过超微粉碎和低温冷冻-超微粉碎后的洋蓟膳食纤维的理化性质提升但化学成分均未发生明显变化, 其中低温冷冻-超微粉碎使洋蓟膳食纤维的理化性质提升更明显。

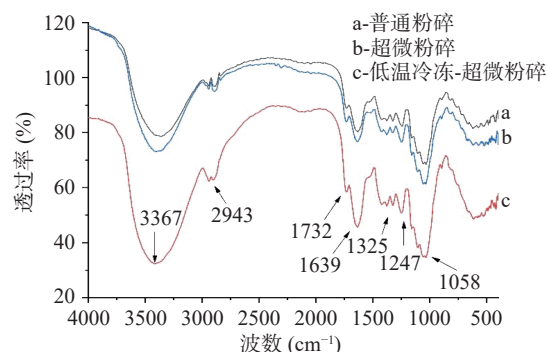


图 1 不同处理方法的洋蓟膳食纤维傅里叶红外光谱图
Fig.1 FTIR spectra of dietary fiber of artichoke with different treatment methods

如图 2 所示, 与其他方法相比, 低温冷冻-超微粉碎使洋蓟膳食纤维表面结构发生了较大的变化。在 2000 倍数下, 横向对比可以看出超微粉碎的颗粒多为不规则片状结构, 普通粉碎和低温冷冻超微粉碎呈块状排列。再通过观察 10000 和 20000 倍, 三种方法对比后发现超微粉碎和冷冻低温-超微粉碎的组织结构变得疏松, 其中低温冷冻-超微粉碎的膳食纤维受到更强烈的机械剪切作用, 比表面积明显增大, 纤维内部结构受到破坏使更多亲水基团外露, 持水力、持油力、膨胀力提高, 这与李天等^[26]得到的结论一致。

2.3 不同处理方法对洋蓟膳食纤维理化性质的影响

洋蓟膳食纤维具有良好的持水性、持油性、膨胀力和结合水力等, 这与其结构组成密切相关, 能进一步反映其功能特性。表 2 为不同处理方法的洋蓟膳食纤维的理化性质及持油力的变化。分析表 2 可知, 经过超微粉碎的洋蓟膳食纤维的膨胀力、持水力和持油力有明显提高, 但低温冷冻-超微粉碎的提高更显著, 与普通粉碎的洋蓟膳食纤维相比分别提升了 1.44、1.25、1.97 倍。由于粉碎后颗粒数量增加, 膳食纤维颗粒溶于水后容积增大, 膳食纤维的膨胀力增大, 而粉碎使物料粒度减小, 孔隙率相对增加, 更多的亲水性基团暴露, 从而膨胀力上升^[27-29]。超微粉碎和低温冷冻-超微粉碎均使可溶性膳食纤维占比增加, 导致膨胀力大幅提高^[28]。因为膳食纤维大分子结构被破坏, 影响了其整体的理化性质, 反而使其对小分子的吸附性变强; 粉碎对膳食纤维产生空穴效应和剪切力, 颗粒的增多会使得比表面积增大, 更易结合油脂, 所以低温冷冻-超微粉碎条件下的持油力更大, 这与李菁等^[29]得到的结论一致。但随着进一步细化, 尤其在低温冷冻-超微粉碎处理后, 洋蓟膳食纤维的结合水力更显著下降, 可能是粉碎过程中, 机械作

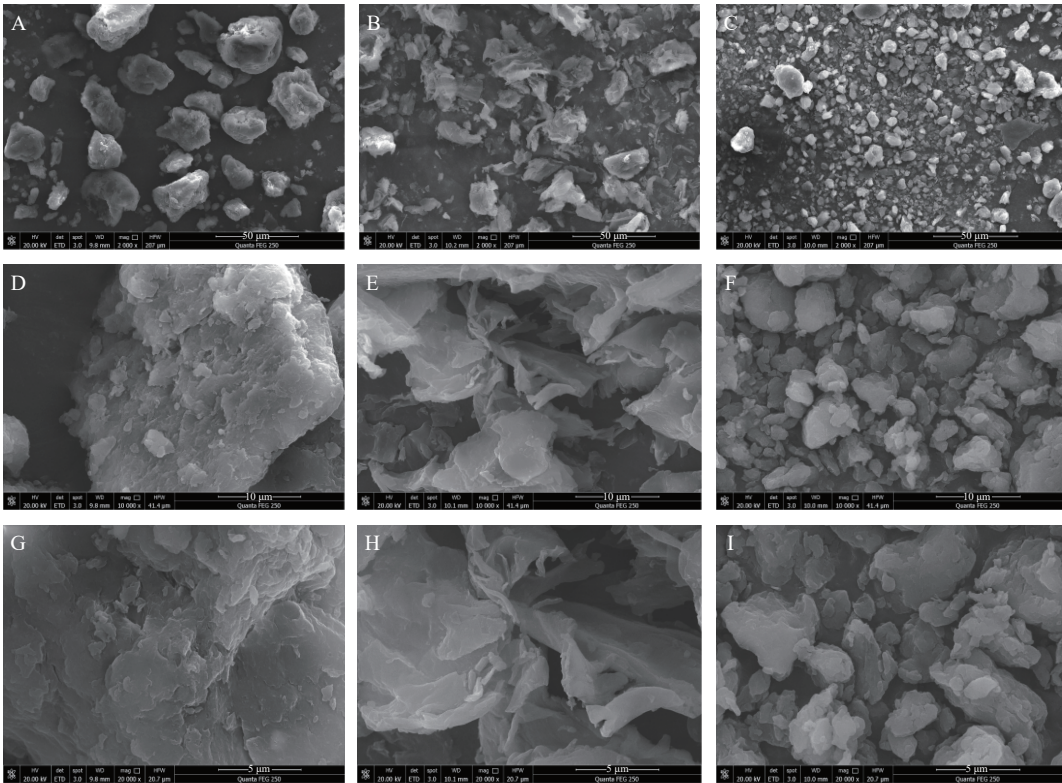


图 2 不同放大倍数下不同处理方法的洋蓟膳食纤维的扫描电镜图

Fig.2 Scanning electron micrographs of dietary fibers of artichoke with different treatments at different magnifications

注: A、D、G 代表普通粉碎洋蓟膳食纤维; B、E、H 代表超微粉碎洋蓟膳食纤维; C、F、I 代表低温冷冻-超微粉碎洋蓟膳食纤维; 其中 A~C 为 2000 倍数、D~F 为×10000 倍数、G~I 为×20000 倍数。

表 2 不同处理方法的洋蓟膳食纤维的理化性质

Table 2 Physicochemical properties of dietary fiber from artichoke with different treatment methods

样品	膨胀力 (mL/g)	持水力 (g/g)	结合水力 (g/g)	持油力 (g/g)
普通粉碎	4.82±0.03 ^c	4.98±0.03 ^c	4.07±0.02 ^b	2.58±0.05 ^c
超微粉碎	5.88±0.05 ^b	5.96±0.05 ^b	4.33±0.03 ^a	4.25±0.05 ^b
低温冷冻-超微粉碎	6.95±0.03 ^a	6.23±0.03 ^a	3.89±0.04 ^c	5.07±0.03 ^a

注: 同一列不同字母表示不同样品间差异显著($P<0.05$)。

用破坏颗粒毛细结构部分、纤维基质以及致密的多孔网状结构, 原本通过氢键存留在多孔网状结构内部空隙间的水分被释放, 对水的束缚减小, 低温冷冻使得网状结构破坏强度更大, 对水的束缚更小, 最终导致结合水力下降^[30-31]。

2.4 不同处理方法对洋蓟膳食纤维葡萄糖吸附能力的影响

在 100 mmol/L 的葡萄糖溶液浓度条件下, 洋蓟膳食纤维对葡萄糖的等温吸附结果为普通粉碎 0.57±0.03 mg/g、超微粉碎 1.34±0.04 mg/g、低温冷冻-超微粉碎 2.12±0.04 mg/g。由图 3 可见, 经过低温冷冻-超微粉碎的洋蓟膳食纤维对葡萄糖吸附能力是普通粉碎的 3.7 倍。超微粉碎使洋蓟膳食纤维的内部结构变疏松, 颗粒之间的间隙使内部溶质进入纤维内部更加容易, 同时网状结构被打开, 变成片层状结构, 其中的功能基团暴露, 使葡萄糖吸附能力增强, 而经

过低温冷冻-超微粉碎后的洋蓟膳食纤维因低温冷冻使功能基团暴露更加彻底, 比起超微粉碎处理吸附能力更强。微观结构不是影响吸附作用的唯一因素, 洋蓟膳食纤维本身的性质也会影响其吸附能力^[32]。而普通粉碎后的洋蓟膳食纤维结构比其他两种方法处理后更致密一些, 包裹在内部的许多功能基团很难发挥吸附作用, 这与扫描电镜的分析结果一致。

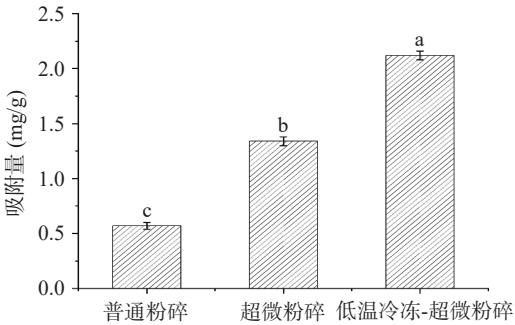


图 3 不同处理方法的洋蓟膳食纤维的葡萄糖吸附量

Fig.3 Glucose adsorption of dietary fiber from artichoke with different treatments

注: 不同字母表示不同样品间差异显著($P<0.05$)。

2.5 不同处理方法对洋蓟膳食纤维结晶度的影响

结晶度是衡量洋蓟膳食纤维物理特性的重要指标, 随着结晶度的增加, 材料的尺寸稳定性、抗拉强度、弹性模量、耐热性等特性随之增强。如图 4 所示, 三种方法的 XRD 图谱都显示出相似的形状。

X 射线衍射图样记录在 $2\theta=14.98^\circ$, 22.8° 和 34.49° 处, 图谱中峰表示这三种方法处理后的洋蓟膳食纤维均具有纤维素 I 型的 X 射线衍射曲线特征, 说明晶体类型为纤维素 I 型, 为结晶区与非结晶区两相共存的状态^[33]。纤维素是一种重要的不可溶性膳食纤维, 主晶峰在 22.8° 处观察到强度为 100%, 证实了其中结晶纤维素的存在。经过计算, 三个不同处理方法样品的结晶度, 分别为 1# = 26.73%, 2# = 38.10%, 3# = 30.5%, 可以看出低温冷冻-超微粉碎破坏了纤维素 I 型晶体中的无定形结构, 并使得纤维素结构被破坏^[34-35], 从而导致持水力、膨胀力、持油力等理化性质的变化。

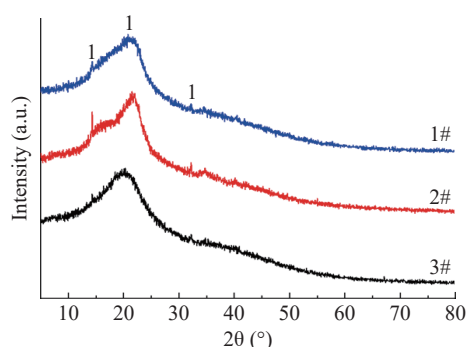


图 4 不同处理方法的洋蓟膳食纤维的 XRD 图谱
Fig.4 XRD patterns of dietary fiber from artichoke with different treatments

注: 标号 1# 为普通粉碎洋蓟膳食纤维; 2# 为低温冷冻-粉碎洋蓟膳食纤维; 3# 为超微粉碎洋蓟膳食纤维。

3 结论

利用三种不同的处理方式处理洋蓟膳食纤维, 通过电镜观察, 结合粒径的相关分析对比发现, 低温冷冻-超微粉碎处理的洋蓟膳食纤维粒径分布更加集中和均匀, 通过 FTIR 证实了低温冷冻-超微粉碎使洋蓟膳食纤维的理化性质更显著提升, 通过观察 XRD 图谱发现低温冷冻-超微粉碎处理的洋蓟膳食纤维中的纤维素结构受到破坏, 亲水基团暴露, 使结晶能力和葡萄糖吸附能力显著提高, 并且改善了持水力、膨胀力、持油力等理化性质, 说明低温冷冻-超微粉碎可以很好地优化洋蓟膳食纤维的结构和物理特性。本研究仅仅在洋蓟膳食纤维层面对低温冷冻-超微粉碎的处理效果进行分析, 有助于为未来洋蓟膳食纤维的综合利用和与超微粉碎相关的协同作用提供一些新思路。

参考文献

- [1] 张俊, 程绍南. 朝鲜蓟 (洋蓟) 营养价值及其综合利用研究进展 [C]//浙江省“营养、食品与健康”研讨会资料汇编, 2007: 80-83. [ZHANG J, CHENG S N. Research progress on nutritional value and comprehensive utilization of *Artichoke*[C]//Compilation of the Seminar on Nutrition, Food and Health in Zhejiang Province, 2007: 80-83.]
- [2] 刘昆言, 禹双双, 段惠, 等. 朝鲜蓟研究进展[J]. *中国野生植物资源*, 2021, 40(8): 48-52. [LIU K Y, YU S S, DUAN H, et al.

Progress in research on *Artichoke*[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2021, 40(8): 48-52.]

- [3] 班龄尹, 王笑园, 庞思成, 等. 朝鲜蓟茎叶中脂溶性提取物对神经细胞的保护作用[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(5): 31-40. [BAN L Y, WANG X Y, PANG S C, et al. Protective effect of lipophilic extracts from the stems and leaves of global *Artichoke* on nerve cells[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(5): 31-40.]
- [4] PANDINO, G, LOMBARDO S, MAUROMICALE G. Globe artichoke leaves and floral stems as a source of bioactive compounds[J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 44: 44-49.
- [5] 宋曙辉, 何洪巨, 武兴德, 等. 朝鲜蓟的营养成分分析[J]. *营养学报*, 2006, 28(3): 273-274. [SONG S H, HE H J, WU X D, et al. Analysis of the nutritional composition of *Artichoke*[J]. *ACTA Nutrimenta SINICA*, 2006, 28(3): 273-274.]
- [6] 贾立冬. 膳食纤维在食品中的应用进展[J]. *农产品加工*, 2019(13): 89-90, 93. [JIA L D. Application progress of dietary fiber in food[J]. *Farm Products Processing*, 2019(13): 89-90, 93.]
- [7] 陶建明, 颜才植, 赵国华. 膳食纤维与水的相互作用与其组分和颗粒结构的相关性研究[J]. *食品与机械*, 2019, 35(8): 1-9. [TAO J M, YAN C Z, ZHAO G H. Correlation of the water-interacting properly of dietary fiber powder with its composition and particle structure[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(8): 1-9.]
- [8] 冯军, 杜斌, 邓江勇, 等. 果蔬加工副产品中可溶性膳食纤维制备的研究进展[J]. *内江科技*, 2020, 41(7): 107-109, 139. [FENG J, DU B, DENG J Y, et al. Research progress on the preparation of soluble dietary fiber in fruit and vegetable processing by-products[J]. *Neijiang Technology*, 2020, 41(7): 107-109, 139.]
- [9] HUA M, FAN M, LI Z M, et al. Ginseng soluble dietary fiber can regulate the intestinal flora structure, promote colon health, affect appetite and glucolipid metabolism in rats[J]. *Journal of Functional Foods*, 2021, 83: 104534.
- [10] 董吉林, 朱莹莹, 李林, 等. 燕麦膳食纤维对食源性肥胖小鼠降脂减肥作用研究[J]. *中国粮油学报*, 2015(9): 24-29. [TONG J L, ZHU Y Y, LI L, et al. Anti-obesity effect of oat dietary fiber on high-fat diet-induced obese mice[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2015(9): 24-29.]
- [11] 周新, 唐世英, 杨贺祺, 等. 不溶性膳食纤维的提取、表征及改性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(3): 359-366, 372. [ZHOU X, TANG S Y, YANG H Q, et al. Research progress on isolation, characterization and modification of insoluble dietary fiber[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(3): 359-366, 372.]
- [12] 陈致印, 刘伟鹏, 王盈希, 等. 三种不同改性方法对甘薯渣不溶性膳食纤维改性效果的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(2): 57-62, 69. [CHEN Z Y, LIU W P, WANG Y X, et al. Study of three different modification methods on insoluble dietary fiber in sweet potato residue[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(2): 57-62, 69.]
- [13] LEE S, PARK H, CHO S, et al. The supplementary effects of high dietary fiber rice (suwon 464) on blood pressure and lipid metabolism in spontaneously hypertensive rats[J]. *Cardiovasc Pathol*, 2004, 13(3, Supplement 1): 87-87.

- [14] LIU H, ZENG F K, WANG Q H, et al. The effect of cryogenic grinding and hammer milling on the flavor quality of ground pepper (*Piper nigrum* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(4): 3402–3408.
- [15] 李杨, 吴长玲, 马春芳, 等. 低温超微粉碎对豆渣膳食纤维结构及功能特性影响[J]. *食品工业*, 2019, 40(2): 160–164. [LI Y, WU C L, MA C F, et al. Effects of ultrafine grinding of low temperature on the structure and functional properties of soy dregs protein[J]. *The Food Industry*, 2019, 40(2): 160–164.]
- [16] 周维维, 刘帆, 谢曦, 等. 超微粉碎技术在农产品加工中的应用[J]. *农产品加工*, 2021(23): 67–71, 75. [ZHOU W W, LIU F, XIE X, et al. Application of ultrafine grinding technology in agricultural products processing[J]. *Farm Products Processing*, 2021(23): 67–71, 75.]
- [17] KONG F, WANG L, GAO H F, et al. Process of steam explosion assisted superfine grinding on particle size, chemical composition and physico-chemical properties of wheat bran powder[J]. *Powder Technology*, 2020, 371: 154–160.
- [18] ZHU F M, DU B, XU B J. Superfine grinding improves functional properties and antioxidant capacities of bran dietary fiber from Qingke (hull-less barley) grown in Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 65: 43–47.
- [19] 施建斌, 隋勇, 蔡沙, 等. 麦麸及麦麸膳食纤维常规粉碎和超微粉碎物化特性比较[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(1): 150–156, 149. [SHI J B, SUI Y, CAI S, et al. Fiber subjected to conventional crushing and superfine grinding[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(1): 150–156, 149.]
- [20] YAN L, LI T, LIU C H, et al. Effects of high hydrostatic pressure and superfine grinding treatment on physicochemical/functional properties of pear pomace and chemical composition of its soluble dietary fiber[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 107: 171–177.
- [21] 尤龙威, 夏继国, 郑仕科, 等. 西洞庭朝鲜蓟产业发展现状及对策[J]. *作物研究*, 2015(7): 721–722. [YOU L W, XIA J G, ZHENG S K, et al. Current situation and countermeasures for the development of artichoke industry in West Dongting[J]. *Crop Research*, 2015(7): 721–722.]
- [22] 徐驱雾. 米糠膳食纤维性质的测定[J]. *广东科技*, 2011, 20(18): 87–88. [XU Q W. Determination of the properties of rice bran dietary fiber[J]. *Guangdong Science and Technology*, 2011, 20(18): 87–88.]
- [23] ZHAO G H, ZHANG R F, DONG L H, et al. Particle size of insoluble dietary fiber from rice bran affects its phenolic profile, bioaccessibility and functional properties[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018: 87.
- [24] 阮传英, 涂宗财, 王辉, 等. 豆渣膳食纤维的体外吸附性能[J]. *食品科学*, 2014, 35(15): 110–111. [RUAN C Y, TU Z C, WANG H, et al. *In vitro* Adsorption capacity of dietary fibers from soybean dregs[J]. *Food Science*, 2014, 35(15): 110–111.]
- [25] CHEN H, ZHAO C, LI J, et al. Effects of extrusion on structural and physicochemical properties of soluble dietary fiber from nodes of lots not[J]. *LWT*, 2018: 204–211.
- [26] 李天, 颜玲, 李沛军, 等. 超高压和超微粉碎改性对梨渣膳食纤维的影响[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(23): 18–23. [LI T, YAN L, LI P J, et al. Effects of high hydrostatic pressure and superfine grinding on the physicochemical and functional properties of pear pomace[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(23): 18–23.]
- [27] 郑慧, 王敏, 吴丹. 超微处理对苦荞麸理化及功能性影响的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 32(8): 5–9. [ZHENG H, WANG M, WU D. Study on the effect of ultramicro treatment on the physicochemical and functional properties of tartary buckwheat bran[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2006, 32(8): 5–9.]
- [28] 陈存社, 刘玉峰. 超微粉碎对小麦胚芽膳食纤维物化性质的影响[J]. *食品科技*, 2004(9): 88–90, 94. [CHEN C S, LIU Y F. The effect of superfine grinding on the physicochemical properties of wheat germ dietary fiber[J]. *Food Technology*, 2004(9): 88–90, 94.]
- [29] 李菁, 吴聪聪, 叶沁, 等. 不同处理方法对豆渣膳食纤维结构和降血糖性质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(15): 178–184. [LI J, WU C C, YE Q, et al. Effect of different treatments on structure and hypoglycemic properties of okara dietary fibers[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(15): 178–184.]
- [30] KETHIREDDIPALLI P, HUNG Y C, PHILLIPS R D, et al. Evaluating the role of cell material and soluble protein in the functionality of cowpea (*Vigna unguiculata*) pastes[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67: 53–59.
- [31] AUFFRET A, RALET M C, GUILLON F, et al. Effect of grinding and experimental conditions on the measurement of hydration properties of dietary fibres[J]. *Lebensm-Wiss. u. -Technol.*, 1994, 27: 166–172.
- [32] 王艳丽, 刘凌, 孙慧, 等. 膳食纤维的微观结构及功能特性研究[J]. *中国食品添加剂*, 2014(2): 98–103. [WANG Y L, LIU L, SUN H, et al. The study on microstructure and functional property of diet fiber[J]. *China Food Additives*, 2014(2): 98–103.]
- [33] ELIF K, EMIN Y, BARUS N T. Physicochemical, microstructural and functional characterization of dietary fibers extracted from lemon, orange and grapefruit seeds press meals[J]. *Bioactive Carbonhydrates and Dietary Fiber*, 2017, 11: 9–17.
- [34] CHEN B F, CAI Y J, LIU T X, et al. Improvements in physicochemical and emulsifying properties of insoluble soybean fiber by physical-chemical treatments[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 93: 167–175.
- [35] 牛希, 史乾坤, 赵城彬, 等. 超声改性对燕麦膳食纤维理化性质及结构的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(23): 130–136. [NIU X, SHI Q K, ZHAO C B, et al. Effect of ultrasonic modification on physicochemical properties and structure of oat dietary fiber[J]. *Food Science*, 2020, 41(23): 130–136.]