

超微粉碎对竹笋壳粉理化性质的影响

杨 茉,王素雅*,曹崇江,张冬梅,朱绮思

(南京财经大学食品科学与工程学院,江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心,
江苏高校粮油质量安全控制及深加工重点实验室,江苏南京 210023)

摘 要:本文研究了超微粉碎技术对竹笋壳粉的基本组成、物理性质以及对亚硝酸根和胆固醇的吸附能力的影响。结果显示:超微粉碎处理后竹笋壳粉的水分、灰分、蛋白质和膳食纤维含量保持稳定的同时其平均粒径由 383.90 μm 降至 12.69 μm 。另外粉体亮度显著提升($p < 0.05$),红色度和黄色度均显著降低($p < 0.05$)。竹笋壳超微粉的持水性和持油性无显著变化,溶胀性显著降低(由 7.48 mL/g 降至 5.50 mL/g)($p < 0.05$)。竹笋壳超微粉对亚硝酸根离子和胆固醇吸附量分别为 558.26 $\mu\text{g/g}$ (pH2.0)、346.19 $\mu\text{g/g}$ (pH7.0),吸附能力分别提升了 24.6% 和 9.1% ($p < 0.05$)。傅立叶红外光谱显示超微粉碎对竹笋壳粉中羟基、糖类亚甲基以及木质素中芳香族化合物没有影响。同时扫描电镜观察发现超微粉碎造成粉体颗粒表面呈蜂窝状。故超微粉碎处理能够较好的维持竹笋壳粉的基本组成成分,并改善其理化性质。

关键词:竹笋壳,超微粉碎,粒度,理化特性

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

YANG Mo, WANG Su-ya*, CAO Chong-jiang, ZHANG Dong-mei, ZHU Qi-si

(Key Laboratory of Grains and Oils Quality Control and Processing, Collaborative Innovation Center
for Modern Grain Circulation and Safety, College of Food Science and Engineering,
Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China)

Abstract: The effect of ultrafine grinding on the structure and properties of bamboo shoot shell powder was studied in the work. The basic composition, physical properties and adsorption capacity for nitrite, glucose and cholesterol of bamboo shoot powders were determined after ultrafine grinding treatment. Results showed that ultrafine grinding had no significantly influences on the basic composition of powder with a decrease of particle size of the powder (from 383.90 to 12.69 μm). The brightness of the bamboo shell powder was significantly increased ($p < 0.05$), redness and yellowness were reduced significantly ($p < 0.05$). Water holding capacity and oil absorption capacity of the powder did not change significantly, and water swelling capacity significantly reduced from 7.48 to 5.50 mL/g ($p < 0.05$). The nitrite adsorption capacity and cholesterol adsorption capacity of bamboo shoot shell powder increased significantly ($p < 0.05$). The NO_2^- adsorption capacity of the ultrafine powder was 558.26 $\mu\text{g/g}$ at pH2.0, which was increased by 24.6%. The cholesterol adsorption capacity of the powder was 346.19 $\mu\text{g/g}$, and increased by 9.1% at pH7.0. Fourier infrared spectroscopy showed that ultrafine grinding had no significant effect on the main groups such as hydroxyl groups, sugar methylene, and benzene rings of aromatic compounds in lignin. Honeycomb-like structure and smaller particle size was observed by scanning electron microscopy. Therefore, ultrafine grinding could be better maintain the composition of bamboo shoot shell powder and improve its physical and chemical properties.

Key words: bamboo shoot shell; ultrafine grinding; particle size; physical and chemical properties

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)01-0034-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.01.007

引文格式: 杨茉, 王素雅, 曹崇江, 等. 超微粉碎对竹笋壳粉理化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 34-39.

我国每年竹笋产量巨大, 供应时间集中, 常被加工成各种方便产品如干笋、腌笋、笋罐头等^[1]。然而, 约占竹笋质量 60% 以上的笋头、笋壳、笋根、笋衣等被作为废弃物丢弃, 不仅造成物料浪费还会污染环

境。目前笋壳已被广泛应用于动物饲料的制作, 但竹笋壳的浪费情况仍然很严重且经济效益不高^[2]。作为生产废弃物的竹笋壳含有丰富的膳食纤维, 可作为种膳食纤维补充剂用于预防糖尿病、肥胖症、心

收稿日期: 2018-04-25

作者简介: 杨茉(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品大分子, E-mail: yang1994mo@163.com。

* 通讯作者: 王素雅(1969-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品大分子, E-mail: sywang@nufe.edu.cn。

基金项目: “十三五”国家重大研发计划(2016YFD060090304); 江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX17-1222); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

血管疾病和癌症等疾病^[3]。提高竹笋壳的利用率,不仅可以变废为宝,同时也能提升企业生产效益。

竹笋壳质地坚硬、口感差、限制了其在食品中的应用。将超微粉碎技术应用于笋壳粉粉碎,不仅可以提高其感官性能,也可改善其品质。超微粉碎是一种新兴加工技术,利用高速气流产生的动能使物料颗粒发生剧烈的相互碰撞、反复摩擦、高速剪切,从而达到被粉碎的目的。物料经超微粉碎后,粉体粒径降低且分布均匀,具有巨大的表面积和孔隙率,粉体的分散性、吸附性、化学反应性和流畅性等得到提高,在高品质保健食品和功能食品生产领域具有显著优势^[4-5]。程姣姣等^[6]发现超微粉碎后的豆渣微粉色泽亮白,颗粒均匀,比表面积增大,结构变化较小。闫丹等^[7]发现经过超微粉碎的血竭三七接骨膏粒度分布均匀,有效成分溶出率提升,故该技术被广泛应用在食品工业和中药业中。目前的研究中,多集中于超微粉碎对粉体物理性质的影响,对于化学性质的研究较少。

故本文拟采用气流粉碎机对竹笋壳进行处理,研究其理化性质。分析比较竹笋壳超微粉的基本组成、粒径、色度、物理性质和吸附能力(亚硝酸根离子和胆固醇),并采用扫描电镜、傅立叶红外光谱对其结构进行表征。通过开发竹笋壳,减少环境污染,解决资源浪费,为实现不可食资源在食品工业上的再利用,提供一定的参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜毛竹笋 安徽宣城;中性蛋白酶(100 U/mg) 上海源叶生物科技有限公司;溴化钾 光谱纯,国药集团化学试剂有限公司;亚硝酸钠 分析纯,西陇科学股份有限公司;对氨基苯磺酸 分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;邻苯二甲醛 分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;其余药品为分析纯 均购自国药集团化学试剂有限公司。

SHA-B 水浴恒温振荡器 江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;GL-21M 型离心机 上海市离心机机械研究所有限公司;PHS-3E 型 pH 计 上海精密科学仪器有限公司;FW-100 高速万能粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;气流粉碎机 J-50 意大利 TenologiaMeccanica 公司;S3500 激光粒度分析仪 美国 Microtrac 公司;TM3000 扫描电镜 日本 Hitachi 公司;TENSOR27 傅立叶红外光谱仪 德国 Bruker 公司;CM-5 色差仪 日本 KonicaMinolta 公司;FreeZone 4.5Plus 冷冻干燥仪 美国 Labconco 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的制备 将组织捣碎机粗粉碎后的竹笋壳置于烘箱中 60 ℃ 烘干 24 h,采用普通磨粉机粉碎得到竹笋壳粉,并过 80 目筛。其中部分竹笋壳粉再采用气流粉碎机进行超微粉碎(最低转速 143 r/min),得到竹笋壳超微粉。将竹笋壳粉和竹笋壳超微粉置于室温干燥器中待用。

1.2.2 竹笋壳粉基本组成的测定 水分含量:采用

GB/T 5009.3-2016《食品中水分的测定》中的直接干燥法测定;灰分含量:采用 GB/T5009.4-2016《食品中灰分的测定》中的高温灼烧法测定;蛋白质含量:采用 GB/T5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法测定;膳食纤维含量:根据 AOAC 991.43 用膳食纤维试剂盒测定膳食纤维含量;以上所有指标均测定三次。

1.2.3 竹笋壳超微粉物理性质的测定

1.2.3.1 竹笋壳粉粒度的测定 用蒸馏水将竹笋壳粉和超微粉配制成适宜浓度(可通过机器自检)的悬浊液,由激光粒度分析仪分析两种粉体的粒度。

1.2.3.2 竹笋壳粉色度的测定 以白板作为标准,采用色差仪测量样品的反射光,记录 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值和 ΔE 。其中 L^* 表示明度差; a^* 为正时偏红、为负时偏绿; b^* 为正时偏黄、为负时偏蓝; ΔE 表示总色差。每个样品重复测量 3 次。

$$\Delta E = \sqrt{a^{*2} + b^{*2} + L^{*2}} \quad \text{式(1)}$$

1.2.3.3 持水性的测定 持水性(Water retention capacity, WRC)根据 Sowbhagya 等^[8]的方法进行测定并稍作改动,准确称取竹笋壳粉 0.5 g(记为 W_1)于 50 mL 离心管内与 20 mL 蒸馏水振荡混合均匀。室温放置 24 h 后将混合物 4000 r/min 离心 10 min,弃去上清液,用滤纸吸干管壁残留水分后称重(记为 W_2)。105 ℃ 烘至恒重(记为 W_3),按公式(1)计算竹笋壳粉的持水力:

$$WRC(g/g) = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \quad \text{式(2)}$$

1.2.3.4 溶胀性 溶胀性(Water swelling capacity, WSC)根据 Sowbhagya 等^[8]的方法进行测定并稍作改动,准确称取 0.5 g 的样品(记为 W_4)置于 25 mL 量筒内,其体积记为 V_1 ,然后加入 10.0 mL 蒸馏水。充分振荡后室温静置 24 h,读取液体中样品的体积 V_2 ,溶胀力的计算公式:

$$WSC(mL/g) = \frac{V_2 - V_1}{W_4} \quad \text{式(3)}$$

1.2.3.5 持油性 持油性(Oil absorption capacity, OAC)根据 Abdul-hamid 等^[9]的方法进行测定并稍作改动,准确称取 0.5 g 竹笋壳粉(计为 W_5)置于 50 mL 离心管中,并加 20 mL 食用玉米油,37 ℃ 下浸泡 1 h(每 10 min 搅拌一次)。然后 4000 r/min 离心 15 min,弃上层油后用滤纸吸去管壁残留油,称重并记作 W_6 ,持油力的计算公式如下:

$$OAC(g/g) = \frac{W_6 - W_5}{W_5} \quad \text{式(4)}$$

1.2.4 竹笋壳超微粉吸附性能的测定

1.2.4.1 亚硝酸根离子吸附能力 亚硝酸根离子吸附能力(Nitrite ion adsorption capacity, NIAC)根据 Zhu 等^[10]的方法进行测定并稍作改动。将 0.5 g 笋壳粉与 30 mL NaNO_2 (100 $\mu\text{mol/L}$) 溶液在 50 mL 离心管中混合,一组用 6 mol/L 盐酸将混合物调至 pH2.0,模拟人体胃酸环境;另一组相同的样品则将体系用 6 mol/L 的氢氧化钠溶液调节至 pH7.0,模拟肠道环境。然后将混合物在 37 ℃ 水浴内振荡 75 min。测量亚硝酸根离子的残留量。NIAC 表示如下:

表1 竹笋壳粉及超微粉的基本成分分析(g/100 g)

Table 1 The composition of powder and ultrafine powder from bamboo shell(g/100 g)

	水分	灰分	蛋白质	膳食纤维
竹笋壳粉	7.67 ± 0.08 ^a	8.79 ± 0.27 ^a	12.25 ± 0.16 ^a	58.98 ± 1.07 ^a
竹笋壳超微粉	7.42 ± 0.04 ^a	8.81 ± 0.34 ^a	12.19 ± 0.21 ^a	59.34 ± 0.44 ^a

注:同一列的相同字母表示两组数据间没有显著性差异($p > 0.05$)。

$$NIAC(\mu g/g) = \frac{(C_3 - C_4) \times V_3}{W_7} \quad \text{式(5)}$$

其中: C_1 是原始溶液的亚硝酸根离子浓度($\mu g/mL$), C_2 是当吸附达到平衡时的上清液的亚硝酸根离子含量($\mu g/mL$), W_7 是竹笋壳粉的重量(g), V_3 是 $NaNO_2$ 溶液的体积(mL)。

1.2.4.2 胆固醇吸附能力 胆固醇吸附能力(Cholesterol adsorption capacity, CAC)根据 Luo 等^[3]的方法测定,并稍作改动。取新鲜鸡蛋蛋黄,每克蛋黄中加入 9 mL 的蒸馏水进行稀释然后搅拌均匀形成乳化液。将 0.5 g 竹笋壳粉样品与 30 mL 稀释的蛋黄乳化液在离心管中混合,一组用 6 mol/L 盐酸将混合物调至 pH2.0,模拟人体胃酸环境;另一组相同的样品则将体系用 6 mol/L 的氢氧化钠溶液调节至 pH7.0,模拟肠道环境。将混合物在 37 ℃ 水浴内振荡 2 h 后冷却到室温,5000 r/min 离心 15 min。收集上清液,在波长 550 nm 下测量吸光度。胆固醇结合能力表示为每克竹笋壳粉样品吸收的胆固醇量。

$$CAC(\mu g/g) = \frac{V_3 \times C_1 - C_2 \times V_4}{W_6} \quad \text{式(6)}$$

其中: C_3 是原始蛋黄溶液的胆固醇浓度($\mu g/mL$), C_4 是吸附达到平衡时上清液的胆固醇含量($\mu g/mL$), W_6 是样品(g)的重量, V_3 是原蛋黄溶液的体积(mL), V_4 是上清液的体积。

1.2.5 竹笋壳超微粉的结构表征

1.2.5.1 超微粉碎对竹笋壳粉基团的影响 根据 Chen 等^[11]的方法,将样品与干燥的 KBr (1:200, w/w) 置于玛瑙研钵中混合研磨,然后用压片机压成片状。采用傅立叶红外光谱仪在扫描波长为 400~4000 cm^{-1} 之间测定样品的红外吸收光谱。

1.2.5.2 超微粉碎对竹笋壳粉微观结构的影响 参考 Wang 等^[12]的方法,取少量过 80 目筛的竹笋壳粉和超微粉,将样品平铺在双面粘有导电胶的载物台上,置于真空镀膜机中,镀膜喷金 10 nm,然后置于扫描电镜下观察样品的微观结构。

1.3 数据分析

每个实验进行三次($n = 3$),数据显示为平均值 ± 标准偏差。数据的统计分析包括方差分析和 SPSS 20.0 版的 Duncan's 检验。不同组之间的差异显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 竹笋壳超微粉的基本成分分析

由表 1 可知,超微粉碎与常规粉碎对竹笋壳粉的基本组成没有发生显著影响($p > 0.05$)。竹笋壳超微粉的水分含量为 7.42 g/100 g,竹笋壳粉的水分含量为 7.67 g/100 g,这可能是超微粉碎过程中的摩擦升温促使水分蒸发的结果。超微竹笋壳粉含膳食纤维

59.34 g/100 g,高膳食纤维含量是超微竹笋壳粉具有较好吸附力的基础。竹笋壳粉含蛋白质 12.25 g/100 g,说明竹笋壳中蛋白质含量也较为丰富。超微粉碎是物理加工工艺,因此超微粉碎后竹笋壳粉基本组成和含量基本保持稳定。

2.2 超微粉碎对竹笋壳粉粒度的影响

气流超微粉碎利用高压气流反复碰撞、磨擦以及剪切等作用使物料粉碎,使物料的颗粒尺寸显著减小。由图 1 可知,超微粉碎降低了竹笋壳粉的颗粒大小。经超微粉碎后竹笋壳粉的粒径在 5.17~135.09 μm 之间,平均粒径为 12.69 μm 。而竹笋壳粉的平均粒径为 383.90 μm ,且颗粒粒度分布宽,有 25% 以上颗粒直径大于 500 μm 。由此可见,超微粉碎不仅有效降低了竹笋壳粉粒度,还使竹笋壳粉更为均匀,说明超微粉碎提高了粉碎程度,达到了预期的目的。

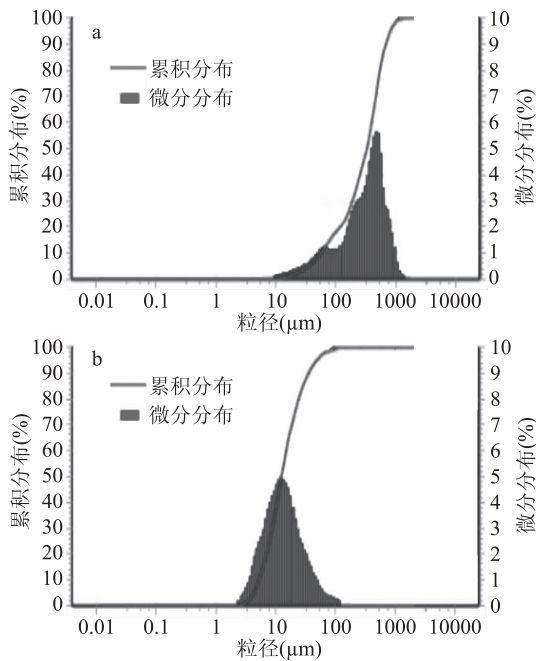


图1 超微粉碎对竹笋壳粉粒度分布的影响

Fig.1 Effect of ultrafine grinding on particle size distribution of bamboo shell powder

注:a:竹笋壳粉;b:竹笋壳超微粉。

2.3 超微粉碎对竹笋壳粉色度的影响

色度是衡量食物感官品质的重要因素,竹笋壳粉呈现黄棕色,限制其在食品加工中的应用。本实验考察了超微粉碎对竹笋壳粉色度的影响。根据色差仪检测结果可以得出(见表 2),超微粉碎可以显著改变竹笋壳粉的色度($p < 0.05$),其中总色差 ΔE 提高了 4.42,具体来说,超微粉碎后,竹笋壳粉的亮度从 71.70 提高至 80.47,提高了 12.23%。而表征红色

表2 超微粉碎对竹笋壳粉色度的影响
Table 2 Effect of ultrafine grinding on the color of bamboo shell

	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	ΔE
竹笋壳粉	71.70 ± 0.30 ^b	2.87 ± 0.12 ^a	20.48 ± 0.14 ^a	74.62 ± 0.26 ^b
竹笋壳超微粉	80.47 ± 0.14 ^a	1.80 ± 0.02 ^b	14.79 ± 0.12 ^b	81.84 ± 0.12 ^a

注:同一列的不同字母表示两组数据间有显著性差异($p < 0.05$)。

度和黄色度的 a^* 值和 b^* 值均出现了显著的下降 ($p < 0.05$)。由此可见,超微粉碎能显著改善竹笋壳粉的色泽,经过超微粉碎后,竹笋壳粉由黄棕色变成浅黄白色。

2.4 超微粉碎对竹笋壳粉持水性、溶胀性与持油性的影响

从竹笋壳粉和竹笋壳超微粉的主要成分来看,其主要成分为膳食纤维(表1)。研究表明,纤维具有较好的持水性、溶胀性和持油性^[9]。本实验考察了超微粉碎对竹笋壳粉上述性质的影响。由表3可知,超微粉碎后竹笋壳粉的持水性、持油性没有显著性变化($p > 0.05$),溶胀性显著降低($p < 0.05$)。本文认为机械摩擦力和剪切力改变竹笋壳粉体的物理结构构型导致溶胀性有所下降。超微粉碎后,一方面,超微粉碎造成多糖分子部分化学键断裂,降低了纤维的保水能力;另一方面,颗粒粒径越小则相互聚集力越强,阻碍了水分子的进入,竹笋粉的吸水膨胀能力降低^[13]。另外,原料的持水性、溶胀性和持油性还与其总体电荷密度、表面特性等有关^[14]。与 Kethireddipalli 等^[13]研究结果相似,认为精细研磨纤维材料可能会对其持水性产生不利影响,这种效应不仅因颗粒尺寸减小,还与纤维的结构改变有关。陈如等^[15]则研究发现超微粉碎能够提高苹果全粉的持水性和溶胀性,认为超微粉碎使苹果粉粉体粒径减小,与水的接触面积和接触点增多,吸水性提高。由于实验材料差异较大,可溶性膳食纤维与不溶性膳食纤维组成比例不同,其受超微粉碎的影响也不相同。

表3 超微粉碎对竹笋壳粉物理性质的影响
Table 3 Effect of ultrafine grinding on physicochemical properties of bamboo shell powder

	持水性 (g/g)	溶胀性 (mL/g)	持油性 (g/g)
竹笋壳粉	3.89 ± 0.18 ^a	7.48 ± 0.20 ^a	2.47 ± 0.19 ^a
竹笋壳超微粉	3.4 ± 0.10 ^a	5.50 ± 0.53 ^b	2.18 ± 0.19 ^a

注:同一列的不同字母表示两组数据间有显著性差异($p < 0.05$);同一列的相同字母表示两组数据间没有显著性差异($p > 0.05$)。

常见的加工副产物如果蔬皮、果蔬渣已经被广泛利用,竹笋壳作为加工副产物,超微粉碎处理较好的保持了竹笋壳粉的持水性、溶胀性和持油性。其持水性(3.4 g/g)高于其他加工副产物,如芒果皮超微粉(2.11 g/g)^[16],溶胀性高于野刺梨果渣超微粉(3.22 mL/g)^[17],持油性优于芒果皮超微粉(0.98 g/g)^[16]和菠萝皮超微粉(1.7 g/g)^[18]。由此可见,竹笋壳超微粉拥有良好的吸水性、溶胀性和吸油性,具有较高的利用价值。

2.5 超微粉碎对竹笋壳粉吸附能力的影响

2.5.1 超微粉碎竹笋壳粉的亚硝酸根离子吸附能力
亚硝酸盐在肠道微生物作用下会转化为致癌物质 N-亚硝基化合物,竹笋壳中的膳食纤维有助于吸附 NO₂⁻,从而达到预防癌症的作用。竹笋壳粉具有吸附 NO₂⁻ 的作用,消化吸收过程主要发生在胃肠当中,在 pH2.0(模拟胃酸环境)和 pH7.0(模拟肠道环境)时,竹笋壳粉吸附 NO₂⁻ 的量分别为 447.98 和 424.14 μg/g;超微粉碎处理后,对 NO₂⁻ 的吸附量分别达到 558.26 和 547.97 μg/g,吸附能力分别提高了 24.6% 和 29.2%,因此超微粉碎显著提升了竹笋壳粉对 NO₂⁻ 的吸附力($p < 0.05$)。尤其在胃酸模拟的条件下,吸附能力强。该结果与 Du 等^[19]研究超微粉碎青稞麸皮纤维的结果一致。膳食纤维对 NO₂⁻ 的吸附包括物理吸附和化学吸附^[20]。超微粉碎后,竹笋壳粉体粒径减小,比表面积增大,对 NO₂⁻ 吸附能力增强。红外光谱分析显示,竹笋壳粉含有纤维素和木质素的特征峰,这些基团吸附 NO₂⁻ 的能力强,因此超微竹笋壳粉吸附 NO₂⁻ 能力增加。实验数据还显示,pH2.0 时竹笋壳粉对 NO₂⁻ 的吸附能力更佳,可能因为 pH7.0 时羧基解离增加了膳食纤维表面上的负电荷密度,同种电荷间排斥力增大,最终导致竹笋壳粉吸附 NO₂⁻ 能力下降^[20]。

2.5.2 超微粉碎竹笋壳粉的胆固醇吸附能力
由表4可知,超微粉碎提高了竹笋壳粉吸附胆固醇的能力。若人体摄入竹笋壳超微粉,可以间接降低餐后血液中胆固醇水平,从而预防肥胖症。pH2.0(模拟胃酸环境)时竹笋壳粉吸附胆固醇量由 291.62 μg/g 升至 324.81 μg/g,吸附能力提高了 11.4%;pH7.0(模拟肠道环境)时对胆固醇的吸附量由 317.34 μg/g 增加到 346.19 μg/g,吸附能力提高 9.1%。超微粉碎后,竹笋壳粉粒径减小,均匀度提高,使其聚合力增加,有利于竹笋壳粉与胆固醇接触^[21]。pH7.0 时竹笋壳粉吸附胆固醇能力更高,利于膳食纤维在肠道内吸附更多的胆固醇,减少肠道对胆固醇的吸收量。

2.6 超微粉碎对竹笋壳粉基团的影响

在波长 400~4000 cm⁻¹ 之间竹笋壳粉的红外光谱见图2。由图2可知,在波长 3300~3400 cm⁻¹ 处,超微竹笋壳粉与竹笋壳粉均出现强烈的吸收峰,这是 O-H 的拉伸峰,来自于纤维素或半纤维素^[22],但超微竹笋壳粉的吸收峰较宽;在 1040 cm⁻¹ 左右是表征纤维素的特征吸收峰^[23],2923.02 和 2926.47 cm⁻¹ 的吸收峰源于糖类亚甲基上 C-H 的收缩振动。1510~1520 cm⁻¹ 处的峰代表木质素芳族化合物中苯环的特征弯曲或拉伸,表明两种样品中均存在木质素^[24]。由图2还可看出,超微粉的红外色谱中与纤维素和

表4 超微粉碎对竹笋壳粉亚硝酸根离子和胆固醇吸附能力的影响($\mu\text{g/g}$)

Table 4 Effect of ultrafine grinding on nitrite ions adsorption and cholesterol capacity of bamboo shell powder($\mu\text{g/g}$)

	pH2.0		pH7.0	
	亚硝酸根离子	胆固醇	亚硝酸根离子	胆固醇
竹笋壳粉	447.98 ± 0.44 ^b	291.62 ± 1.12 ^b	424.14 ± 2.50 ^b	317.34 ± 1.63 ^b
竹笋壳超微粉	558.26 ± 1.37 ^a	324.81 ± 0.89 ^a	547.97 ± 3.15 ^a	346.19 ± 1.17 ^a

注:同一列的不同字母表示两组数据间有显著性差异($p < 0.05$)。

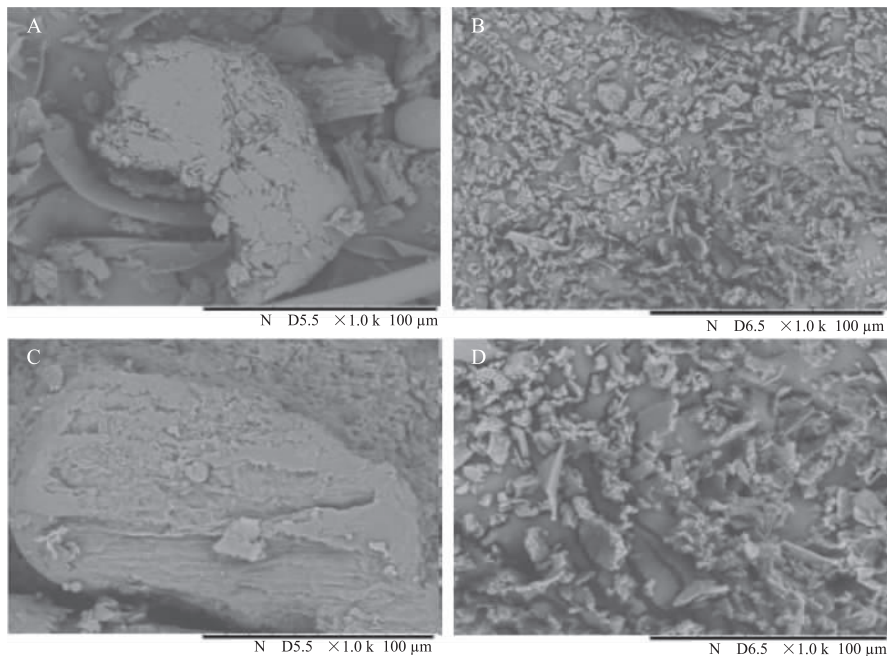


图3 竹笋壳粉和超微粉的扫描电子显微镜图

Fig.3 SEM images of bamboo shell and ultrafine powder

注:A.竹笋壳粉(500×);B.竹笋壳超微粉(500×);C.竹笋壳粉(1000×);D.竹笋壳超微粉(1000×)。

木质素相关的吸收峰强度均高于竹笋壳粉,这是由于超微粉碎产生的压力和剪切应力使长链断裂,粉体粒径变小,更多基团暴露的结果。由图 2 可知,超微粉碎前后样品的峰值相似,均出现了纤维素、半纤维素中的羟基峰,糖类亚甲基峰以及木质素中芳香族化合物的苯环峰,说明超微粉碎对竹笋壳粉中官能团的种类没有明显影响。

较光滑;超微竹笋壳粉(图 3B)则由细小的片状物构成,颗粒大小均匀,该结果与粒度分布测定结果一致。将样品放大 1000 倍观察发现,超微粉(图 3D)颗粒表面分布着众多不规则突起,并存在蜂窝状孔隙。而竹笋壳粉(图 3C)表面凸凹不平,但比超微粉颗粒平滑,说明高压气流对样品颗粒产生强大的冲击作用。大颗粒物料被高压气流反复冲击,最终粉体颗粒变小,表面凹凸不平。超微竹笋壳粉显微结构表明,超微粉碎产生的均质压力、剪切应力、冲击和温度变化等使笋壳超微粉结构显著变化^[25],进一步影响竹笋壳粉的功能特性^[26]。

3 结论

超微粉碎后竹笋壳粉的基本组成如水分、灰分、蛋白质和膳食纤维含量保持稳定; 粉体粒径显著降低; 竹笋壳粉亮度提高, 红色度降低, 黄色度降低。超微粉碎的竹笋壳粉持水性和持油性没有发生显著性变化 ($p > 0.05$), 而溶胀性降低。但其亚硝酸根离子吸附能力和胆固醇吸附能力显著提升 ($p < 0.05$)。傅立叶红外光谱显示, 超微粉碎对竹笋壳的主要基团没有显著影响; 扫描电镜观察发现, 竹笋壳超微粉粒度降低, 颗粒表面存在蜂窝状孔隙。由此可见, 超微粉碎生产的竹笋壳粉, 粒度降低, 粉体细腻均匀, 色度得到改善, NO_2^- 和胆固醇吸附能力提高, 有利于其在食品工业中的应用。

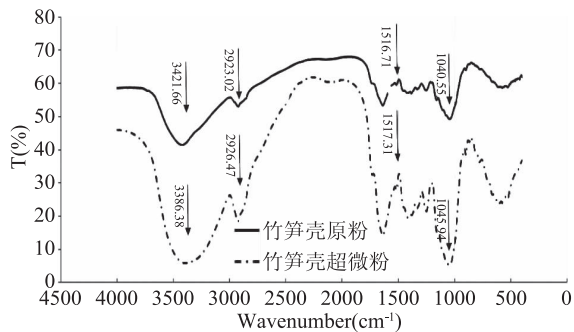


图2 竹笋壳粉和超微粉的傅立叶红外光谱图

Fig.2 FTIR images of bamboo shell and ultrafine powder

2.7 超微粉碎对竹笋壳粉微观结构的影响

采用扫描电镜观察超微竹笋壳粉的微观结构,结果见图3。观察图3发现,超微粉碎大幅度降低了竹笋壳粉的粒度。放大500倍观察发现,竹笋壳粉(图3A)颗粒较大且均匀度差,多呈细长片状,表面

参考文献

- [1] Satya S, Bal L M, Singhal P, et al. Bamboo shoot processing: food quality and safety aspect (a review) [J]. Trends in Food Science and Technology, 2010, 21(4): 181-189.
- [2] 赵丽萍, 周振明, 任丽萍, 等. 笋壳作为动物饲料利用研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(13): 77-80.
- [3] Luo X, Wang Q, Zheng B, et al. Hydration properties and binding capacities of dietary fibers from bamboo shoot shell and its hypolipidemic effects in mice [J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 109(Pt 2): 1003-1009.
- [4] Wu G C, Zhang M, Wang Y Q, et al. Production of silver carp bone powder using superfine grinding technology: Suitable production parameters and its properties [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(4): 730-735.
- [5] Chen H, Weiss J, Shahidi F. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods [J]. Food Technology, 2006, 60(3): 277-308.
- [6] 程姣姣, 罗仓学, 刘剑, 等. 豆渣超微粉碎制备工艺优化及其特性分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 202-206.
- [7] 闫丹, 江敏瑜, 王云红, 等. 血竭三七接骨膏超微粉碎工艺的优化及其粉体学性质[J]. 中成药, 2018, 40(5): 1193-1197.
- [8] Sowbhagya H B, Suma P F, Mahadevamma S, et al. Spent residue from cumin—a potential source of dietary fiber[J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1220-1225.
- [9] Abdul-Hamid A, Yu S L. Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran [J]. Food Chemistry, 2000, 68(1): 15-19.
- [10] Zhu F, Du B, Xu B. Superfine grinding improves functional properties and antioxidant capacities of bran dietary fibre from Qingke (hull-less barley) grown in Qinghai-Tibet Plateau, China [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 65: 43-47.
- [11] Chen Y, Ye R, Liu J. Effects of different concentrations of ethanol and isopropanol on physicochemical properties of zein-based films [J]. Industrial Crops and Products, 2014, 53: 140-147.
- [12] Wang L, Xu H, Yuan F, et al. Preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking[J]. Food Chemistry, 2015, 185: 90-98.
- [13] Kethireddipalli P, Hung Y C, Phillips R D, et al. Evaluating the role of cell wall material and soluble protein in the functionality of Cowpea (Vigna unguiculata) Pastes [J]. Journal of Food Science, 2002, 67(1): 53-59.
- [14] Meng M M, Tai H M. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin [J]. Food Chemistry, 2016, 194: 237-246.
- [15] 陈如, 何玲. 超微粉碎对苹果全粉物化性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 150-154.
- [16] 林丽静, 黄晓兵, 龚霄, 等. 超微粉碎对芒果皮理化特性的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 152-154.
- [17] 任亚梅, 袁春龙, 叶淑瑶, 等. 野刺梨果渣超微粉加工技术研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2017, 45(4): 134-139.
- [18] 林丽静, 黄晓兵, 龚霄, 等. 超微粉碎对菠萝皮渣理化特性的影响[J]. 农产品加工, 2016, 11: 19-21.
- [19] Du B, Zhu F, Xu B. Physicochemical and antioxidant properties of dietary fibers from Qingke (hull-less barley) flour as affected by ultrafine grinding [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2014, 4(2): 170-175.
- [20] 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): 109-112.
- [21] 郑慧. 苦荞麸皮超微粉碎及其粉体特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [22] Yan X, Ye R, Chen Y. Blasting extrusion processing: The increase of soluble dietary fiber content and extraction of soluble-fiber polysaccharides from wheat bran [J]. Food Chemistry, 2015, 180: 106-115.
- [23] 向琴. 小麦膳食纤维构效关系研究及化学成分选择性重组[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [24] Chang S C, Hsu B Y, Chen B H. Structural characterization of polysaccharides from Zizyphus jujuba and evaluation of antioxidant activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 47(4): 445-453.
- [25] Pääkkö M, Ankerfors M, Kosonen H, et al. Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels [J]. Biomacromolecules, 2007, 8(6): 1934-1941.
- [26] Ubando-Rivera J, Navarro-Ocaña A, Valdivia-López M A. Mexican lime peel: Comparative study on contents of dietary fibre and associated antioxidant activity [J]. Food Chemistry, 2005, 89(1): 57-61.

权威 · 核心 · 领先 · 实用 · 全面