

超微粉碎后粒径对大麦全粉品质特性的影响

任晓婵, 常婧瑶, 马晓丽, 孔保华, 辛 莹, 胡公社, 刘 骞

Effects of Different Particle Sizes on the Quality of Barley Flour after Superfine Grinding

REN Xiaochan, CHANG Jingyao, MA Xiaoli, KONG Baohua, XIN Ying, HU Gongshe, and LIU Qian

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021080063>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

超微粉碎对木薯淀粉老化特性的影响

Effects of superfine grinding on retrogradation properties of tapioca starch

食品工业科技. 2017(24): 44-47

超微粉碎对方竹笋全粉理化特性及微观结构的影响

Effect of Superfine Grinding on Physicochemical Properties and Microstructure of *Chimonobambusa quadrangularis* Shoot Powder

食品工业科技. 2021, 42(24): 40-47

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

超微粉碎与超声波组合辅助胃蛋白酶水解乳清蛋白效果研究

Research of the superfine grinding and ultrasonic assisted hydrolysis on the whey protein by pepsin

食品工业科技. 2017(11): 235-239

物料超微粉碎时间及浸泡时间对露酒干浸出物的影响

Effect of Grinding Materials Time and Soaking Time on Dry Extract of Integrated Alcoholic Beverages

食品工业科技. 2018, 39(16): 72-74

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



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

任晓婵, 常婧瑶, 马晓丽, 等. 超微粉碎后粒径对大麦全粉品质特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 80–86. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080063

REN Xiaochan, CHANG Jingyao, MA Xiaoli, et al. Effects of Different Particle Sizes on the Quality of Barley Flour after Superfine Grinding[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(10): 80–86. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080063

· 研究与探讨 ·

超微粉碎后粒径对大麦全粉品质特性的影响

任晓婵¹, 常婧瑶¹, 马晓丽¹, 孔保华¹, 辛 莹¹, 胡公社², 刘 骞^{1,3,*}

(1. 东北农业大学食品学院, 黑龙江哈尔滨 150030;

2. 美国农业部-农业研究局 国家杂粮和马铃薯种质资源研究中心, 爱达荷亚伯丁 83210;

3. 黑龙江省绿色食品科学研究院, 黑龙江哈尔滨 150028)

摘 要: 本研究主要以大麦为主要原料, 探究不同粒径对超微粉碎大麦粉品质特性的影响。研究表明, 随着粒径的降低, 大麦全粉水分、淀粉含量、溶解性、亮度值及白度值显著增加 ($P<0.05$), 而膨润力、吸油性、持水性、峰值黏度和回生值则显著降低 ($P<0.05$)。微观结构结果表明, 随着粒径的降低, 大麦全粉粉体的颗粒形状由圆形或椭圆形转为不规则形状, 表面由光滑转为粗糙。与此同时, 与常规粉碎的大麦全粉相比, 超微粉碎大麦全粉的品质明显提升, 扩大了大麦全粉在食品加工中的应用范围。综上所述, 超微粉碎后不同粒径大麦全粉的品质特性不同, 并且粒径小于 $54\ \mu\text{m}$ 的大麦全粉品质特性最佳。

关键词: 超微粉碎, 大麦全粉, 粒径, 品质特性

中图分类号: TS210.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)10-0080-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080063



本文网刊:

Effects of Different Particle Sizes on the Quality of Barley Flour after Superfine Grinding

REN Xiaochan¹, CHANG Jingyao¹, MA Xiaoli¹, KONG Baohua¹, XIN Ying¹, HU Gongshe², LIU Qian^{1,3,*}

(1. College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

2. National Small Grains and Potato Germplasm Research Unit, United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Aberdeen 83210, United States;

3. Heilongjiang Green Food Science & Research Institute, Harbin 150028, China)

Abstract: In this research, Barley was used as the main material to investigate the quality characteristics of disparate sizes of barley flour after superfine grinding. The results showed that moisture content, starch content, solubility, brightness value and whiteness value all increased remarkably with the decline of the particle size of the whole powders ($P<0.05$). However, the swelling power, peak viscosity, oil absorption, setback value, and the water holding capacity declined obviously with the declined of the size of the barley powder ($P<0.05$). The results of scanning electron microscopy showed that the particle size declined, the powders shape changed from round or ellipse to irregular shape, and the surface changed from smooth to rough. Meanwhile, compared with the barley powders from regular grinding technology, the quality of the barley powders from superfine grinding was significantly improved, which expanded the application scope of the barley powders in food processing. In conclusion, the quality characteristics of barley flour with different particle sizes were different after superfine grinding, and the barley flour with the size less than $54\ \mu\text{m}$ had the best quality characteristics.

Key words: superfine grinding; barley flour; partical size; quality characteristic

收稿日期: 2021-08-06

基金项目: 黑龙江省杰出青年基金项目 (JQ2021C003); 黑龙江省省属本科高校中央支持地方高校改革发展资金 (优秀青年人才项目) (2020YQ15); 黑龙江省“百千万”工程科技重大专项课题 (2020ZX07B02)。

作者简介: 任晓婵 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: 16639807112@163.com。

* 通信作者: 刘骞 (1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: liuqian@neau.edu.cn。

大麦是一种草本植物,在全球范围内的谷物中,大麦的产量仅次于小麦、大米和玉米,至 2019 年全球大麦的产量达到 15679.9 万吨^[1]。其中,大麦产量的 3/4 用作动物饲料,1/5 用作啤酒酿造,仅有 1/20 的大麦用于食用谷物和面包等食品的制作中^[2]。大麦中不仅含有丰富的淀粉、蛋白和膳食纤维(比如 β -葡聚糖)等物质,同时也含有酚类化合物、黄酮、甾醇等生物活性物质^[3-5]。以此同时,根据大麦品种的不同,其含有的淀粉性质会随之发生改变^[6]。另外,与有壳大麦相比,无壳大麦含有较高含量的蛋白、 β -葡聚糖和抗性淀粉^[7-8]。在前期的研究中,从无壳大麦(商品名 Transit,品种注册号 CV-348,PI 660128)中提取大麦淀粉并研究其理化和功能特性,发现 Transit 大麦淀粉是一种蜡质淀粉,其不仅具有很好的膨胀性、吸油性和冻融稳定性,还具有较低的回生值^[9]。然而,由于从大麦中单一提取淀粉的过程复杂、耗时且提取成本高,加之提取淀粉后的剩余残渣中还有大量蛋白质、 β -葡聚糖、膳食纤维、酚类化合物等物质,无法对其进行全组分高效利用。因此,需要找到一种合适的加工方式,将大麦以全粉的方式在食品加工中进行应用。

超微粉碎是一种新型食品加工技术,其主要将原材料粉碎至微米或纳米级,已广泛应用于食品加工中^[10-12]。采用超微粉碎技术可以减小原料颗粒并提高食品原料的功能性和理化性,如持水性、膨胀性、溶解度和吸油性等。Wu 等^[13]探究超微粉碎鲢鱼骨后不同粒度骨粉的理化性质,结果表明,粉体粒径越小,其流动性、溶解度、蛋白质、溶解度、电导率和持水性均越好。Zhao 等^[14]研究超微粉碎技术在生姜中的应用,并对不同粒度生姜颗粒的比表面积、持水性、溶解性、容重和蛋白质溶解度进行了研究。结果表明,随着粒径的减小,其比表面积、容重和蛋白质的溶解度均增大,溶解性和持水性也明显改善。此外,超微粉碎技术还能够提高淀粉的糊化稳定性和消化特性^[15-17]。Niu 等^[18]研究超微粉碎后小麦淀粉的多尺度结构和糊化性能;结果显示,超微粉碎降低了淀粉的粒度和结晶度。随着这些结构变化,糊化特性发生改变,表观粘度降低,糊化稳定性提高。然而,关于超微粉碎后不同粒径大麦粉的品质特性鲜有报道,且超微粉碎后不仅可以改善物料的理化功能特性,而且可以通过减小物料的粒径从而提高其膳食纤维、 β -葡聚糖、蛋白质和酚类化合物等物质的利用率,达到全粉全组分的高效利用。目前,还未发现将超微粉碎技术应用用于 Transit 大麦中,且超微粉碎后不同粒径对 Transit 大麦全粉品质特性的影响也未可知。

本文利用超微粉碎技术处理 Transit 大麦,通过基本组成(水分含量、蛋白含量、淀粉含量)、色差、溶解性、膨润力、持水性、吸油性、粘度和回生值等指标的测定对粉碎后不同粒径大麦粉的品质特性进行研究,旨在通过超微粉碎技术提高大麦的应用价

值,充分利用大麦中的功能性物质,同时为大麦粉在食品加工中的应用提供数据支持和理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

无壳大麦(商品名 Transit,品种注册号 CV-348,PI 660128) 美国农业部-农业研究局国家杂粮和马铃薯种子资源中心;实验用水 均为去离子水;其它试剂 均为国产分析纯。

HMB-400 B 实验型超微粉碎机 北京环亚天元机械技术有限公司;DFT 50 手提式粉碎机 温岭市林大机械有限公司;JD 500-2 电子天平 郑州南北仪器设备有限公司;RVA-4 型快速黏度分析仪 澳大利亚 Newport 科学仪器公司;DK-8B 水浴锅 余姚市东方电工仪器厂;SU 8010 扫描电子显微镜 日本日立集团;ZE-6000 型色差仪 日本登宿株式会社;TG 16-WS 台式高速离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 大麦粉制备 参照 Ahmed 等^[19]的方法并稍有修改,将大麦经普通粉碎机进行粗磨,并过 50 目的筛子得到常规粉碎全粉;而后将常规粉碎全粉经超微粉碎机器超微粉碎 30 min 后,并称量 5 份 150 g/份的大麦粉分别过 120、160、200、240 和 280 目的筛子,得到<120、<96、<75、<61 和<54 μm 的大麦粉,并根据公式(1)计算得率:

$$\text{得率}(\%) = \frac{\text{筛下物质量}}{150 \text{ g}} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

1.2.2 扫描电子显微镜分析 将处理好的样品置于离子溅射仪中,而后蒸镀铂金膜,扫描电镜在 2000 $\times$ 放大倍数下进行观察与拍照。

1.2.3 基本成分测定

1.2.3.1 水分含量 按照 GB 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的方法测定。

1.2.3.2 蛋白质含量 按照 GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的方法测定。

1.2.3.3 淀粉含量 淀粉含量测量参照 Liu 等^[20]的方法。取 25 mg 样品加入 5 mL 0.5 mol/L NaOH,磁力搅拌 60 min,结束后向其中加入 30 mL 乙酸钠缓冲液,再加入 5 mL 0.5 mol/L 盐酸中和并涡旋。取 2 mL 上述溶液加入到 15 mL 玻璃管中,相同程序制作样品空白,再加入 10 μL 淀粉葡萄糖苷酶原液并涡旋,后置于 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅中温育 45 min。每隔 15 min 取出涡旋并放回。温育结束后,加入 8 mL 50 mmol/L 磷酸盐缓冲液(pH7.40)并涡旋。将 0.4 mL 上述悬浮液转移到比色皿中,再加入 1 mL GOPOD 溶液,然后将比色皿涡旋并放在 37 $^{\circ}\text{C}$ 的水浴锅中 30 min,510 nm 处通过分光光度计测量吸光度。根据上述整个程序制备试剂空白,试剂空白不添加任何样品。

$$\text{淀粉含量}(\%) = \frac{(A_0 - A_1 - A_2) \times K}{100 - W_s} \times 1801.8 \quad \text{式 (2)}$$

式(2)中, A_0 =样品的吸光值, A_1 =样品空白相对于试剂空白的吸光值, A_2 =试剂空白的吸光值, K =葡萄糖溶液标准曲线的斜率, W_s =样品的水分含量。

1.2.4 水化特性测定

1.2.4.1 溶解性与膨润力 溶解性与膨润力参照赵神彳等^[9]方法测定并稍有改动。精确称取 0.25 g 样品粉末于 50 mL 离心管中, 加入 24.75 mL 水, 沸水中搅拌加热 20 min。待其冷却至室温后, 以 6000 r/min 离心 20 min 后, 分别将上清液和沉淀在 105 ℃ 烘箱中烘干至恒重。计算公式:

$$\text{溶解性} = \frac{\text{烘干后上清液的质量(g)}}{\text{样品的质量(g)}} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

$$\text{膨润力} = \frac{\text{烘干后沉淀的质量(g)}}{\text{样品的质量(g)}} \times 100 \quad \text{式 (4)}$$

1.2.4.2 持水性 持水性参照赵神彳等^[9]的方法并稍有改动。精确称取 0.25 g 样品粉末于 10 mL 离心管中, 加入 4.75 mL 水, 沸水中加热 20 min。待其冷却至室温后, 以 6000 r/min 离心 20 min, 除去上清液体并称其质量。持水性计算公式:

$$\text{持水性(g/g)} = \frac{\text{沉淀的质量(g)}}{\text{样品的质量(g)}} \quad \text{式 (5)}$$

1.2.4.3 吸油性 吸油性参照赵神彳等^[9]的方法并稍有改动。将 1.00 g 样品和 10 mL 花生油置于离心管中, 涡旋混匀后磁力搅拌 30 min。结束后在室温(25 ℃)下将混合物以 5000 r/min 离心 20 min, 保留沉淀。吸油性计算公式:

$$\text{吸油性}(\%) = \frac{m_2 - m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad \text{式 (6)}$$

式中: m_0 是样品的重量, g; m_1 为离心管的重量, g; m_2 为离心后沉淀和离心管的重量, g。

1.2.5 颜色分析 利用 ZE-6000 型色差仪进行颜色指标测定。取适量样品粉末铺于色差仪的样品杯内, 样品要没过样品杯的底面但不高于样品杯的高度, 用勺子按压紧实后置于色差仪上进行测定。设置参数: 使用 D65 光源和一个直径 8 mm 测量区和直径 50 mm 照明区的 10° 观察角。通过测定得到 L^* 、 a^* 和 b^* 值。采用白色标准板($L_0^*=95.26$, $a_0^*=-0.89$, $b_0^*=1.18$)进行校准。白度值的计算公式为:

$$\text{白度值} = \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

1.2.6 糊化特性测定 糊化特性参照赵神彳等^[9]的方法。称取 3.00 g 大麦全粉样品于快速粘度分析仪的专用铝盒内, 并加入 25 mL 水, 而后将铝盒置于快速粘度分析仪上进行机械搅拌, 测定完成后并记录数值。

1.3 数据处理

所有实验均重复 3 次, 结果表示为平均值±标准

差。数据分析使用 SPSS Statistix 22 软件, 绘图工具使用 Sigmaplot 14 软件。

2 结果与分析

2.1 不同粒径大麦全粉的得率

不同目数大麦粉的得率如表 1 所示。随着粒径的减小, 大麦粉的得率不断减小。其中, 得率最大的是 <120 μm 的大麦粉, 达到 69.82%($P<0.05$); 得率最小的是 <54 μm 的大麦粉, 为 49.09%($P<0.05$)。这是由于 120、160、200、240 和 280 目筛子的孔径分别为 120、96、75、61 和 54 μm, 随着孔径的减小, 导致通过筛子的大麦粉数量也在减小, 得率逐渐降低。

表 1 不同粒径大麦粉的得率
Table 1 Yield of barley flour of different particle size

组分(μm)	得率(%)
<120	69.82±0.45 ^a
<96	64.18±0.20 ^b
<75	59.81±0.86 ^c
<61	53.18±0.94 ^d
<54	49.09±0.60 ^e

注: 每一列中不同字母代表差异显著($P<0.05$); 表2~表5同。

2.2 不同粒径大麦全粉的微观形态

大麦粉的微观形态可通过扫描电子显微镜观察, 常规粉碎全粉(图 1a)表面光滑圆润, 与其他不同粒径大麦粉相比, 颗粒完整, 碎片较少; 经超微粉碎后(图 1b~图 1f), 大麦粉粒径减小, 碎片化明显, 表面粗糙程度增加, 由于其粒径减小, 比表面积增加, 可能会影响大麦粉粉体的表面活性^[21]。此外, 当大麦粉颗粒过小时, 颗粒之间将会出现聚集团簇现象, 牛潇潇等^[22]发现由于粒径减小, 受超微粉碎和筛子筛分的摩擦影响, 增强了颗粒间的静电力, 导致其颗粒间团簇聚集。许青莲等^[23]也发现了相同的结果, 经超微粉碎后, 小颗粒容易团簇成大团块。

2.3 不同粒径大麦全粉的基本成分

不同粒径大麦粉的基本成分(水分、蛋白质、淀粉)含量如表 2 所示。常规粉碎全粉的水分含量显著大于其它粒径大麦粉的水分含量($P<0.05$), 可达到 8.39%。造成这一现象的原因可能有两个, 一个是在超微粉碎过程中, 机械的摩擦力和剪切力造成粉体的水分损失, 另一个可能是超微粉碎后粉体结构被破坏, 维持水分的能力降低^[24], 使得超微粉碎后大麦粉的水分含量比常规粉碎全粉的大麦粉的水分含量低。除常规粉碎全粉外, 随着粒径的减小, 大麦粉的水分含量呈现显著增加的趋势($P<0.05$), 其中最大的是 <54 μm 的大麦粉, 水分含量可达到 7.90%, 最小的是 <120 μm 的大麦粉, 水分含量为 6.52%。这主要由于超微粉碎后, 随着粒径减小, 颗粒间相互聚集, 造成吸潮现象, 使得水分含量随着粒径的减小而增大^[25]。此外, 超微粉碎后大麦粉中的蛋白质含量随着粒径的减小而增大, 但差异性不显著($P>0.05$)。其中, 蛋白

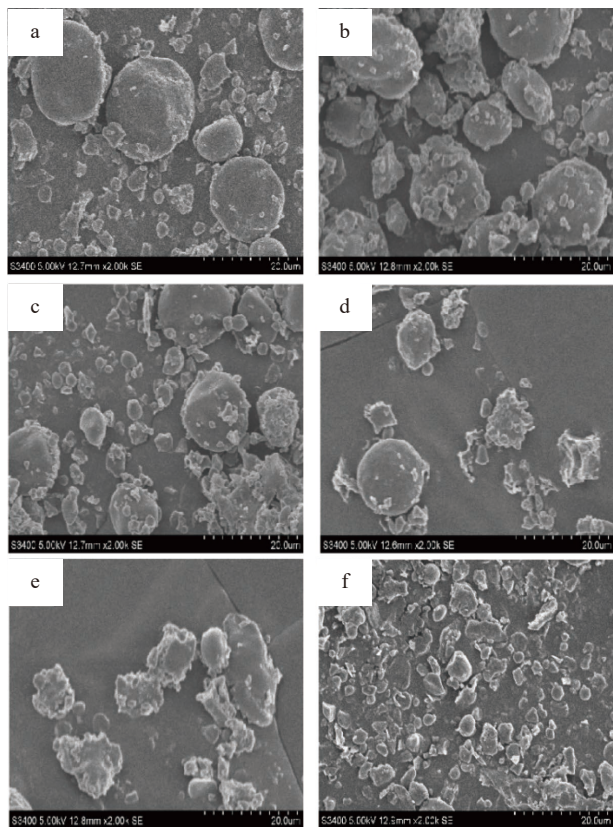


图 1 不同粒径大麦粉的微观结构

Fig.1 Microstructure of barley meal with different particle sizes

注: a 表示常规粉碎全粉; b 表示<120 μm 的大麦全粉; c 表示<96 μm 的大麦全粉; d 表示<75 μm 的大麦全粉; e 表示<61 μm 的大麦全粉; f 表示<54 μm 的大麦全粉。

表 2 不同粒径大麦粉的基本成分

Table 2 Basic components of barley flour of different particle sizes

组分(μm)	水分(%)	蛋白质(%)	淀粉含量(%)
常规粉碎全粉	8.39±0.03 ^a	15.05±0.95 ^a	42.16±0.65 ^b
<120	6.52±0.05 ^f	15.26±0.65 ^a	42.80±0.99 ^b
<96	6.85±0.02 ^c	15.58±0.57 ^a	43.21±0.43 ^b
<75	7.46±0.01 ^d	15.99±0.77 ^a	44.10±0.85 ^b
<61	7.64±0.05 ^c	16.03±0.91 ^a	44.24±1.19 ^b
<54	7.90±0.03 ^b	16.79±0.68 ^a	47.49±0.39 ^a

质含量最小的是常规粉碎全粉, 为 15.05%; 蛋白质含量最大的为<54 μm 的大麦粉, 有 16.79%。最后, 超微粉碎后大麦粉中的淀粉含量随着粒径的减小而增大, 最小的是常规粉碎全粉(42.16%), 含量最大的是<54 μm 的大麦粉(47.49%)。这可能是因为超微粉碎后随着粒径的减小, 大麦粉的比表面积增大, 蛋白质及淀粉能够更好地溶出细胞, 从而导致二者的含量增加^[14-15,26]。此外, 杨璐^[27] 发现超微粉碎后, 淀粉与蛋白质结合的大颗粒物质被破坏, 淀粉含量增加。

2.4 不同粒径大麦全粉的水化特性

2.4.1 溶解性与膨润力 不同粒径大麦粉的溶解性及膨润力如图 2 所示, 大麦粉的溶解性随着粒径的增大而显著增大($P<0.05$), 其中, 常规粉碎全粉的溶

解性最小, 最大的是<54 μm 和<61 μm 的大麦粉。相同的结果也出现在邓凯波等^[28] 的研究结果中。造成这一现象原因可能是经超微粉碎后, 大麦粉颗粒被破坏, 粒径减小, 比表面积增大, 使得大麦粉中可溶性物质暴露出来^[12]; 此外, 超微粉碎后大麦粉中的膳食纤维会发生改变, 不溶性膳食纤维会转换成可溶性膳食纤维, 这是由于不溶性膳食纤维中的半纤维素、纤维素和木质素的机械分解导致的, 这些产物会进一步转化为一些小分子化合物, 且随着粒径的减小, 不溶性膳食纤维的含量转化为可溶性膳食纤维的含量增大, 增加其在水中的溶解性^[10]。Du 等^[29] 研究发现, 青稞膳食纤维经超微粉碎后, 不溶性膳食纤维含量下降, 可溶性膳食纤维含量提高, 总膳食纤维含量提高, 表明膳食纤维中的成分发生转化。膨润力也是影响大麦粉水化性能的重要因素之一。其中, 膨润力最小的是<54 μm 的大麦粉, 膨润力最大的是常规粉碎全粉。同时经超微粉碎后, 随着粒径的减小, 大麦粉的膨润力显著降低($P<0.05$)。主要原因是超微粉碎后, 粒径减小, 使得粉体中纤维等长链减小、短链增加, 致使粉体对水束缚力相对减弱, 膨润力降低^[29]。

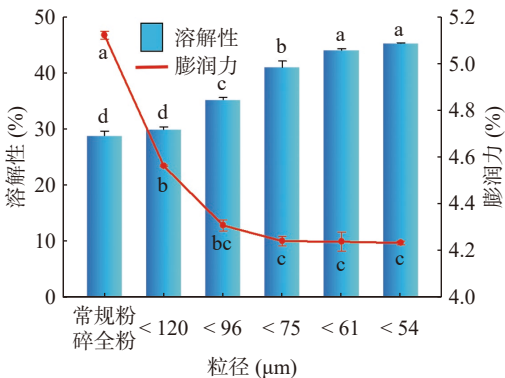


图 2 不同粒径大麦粉的溶解性和膨润力

Fig.2 Solubility and swelling power of barley flour with different particle sizes

2.4.2 持水性 不同粒径大麦粉的持水性如图 3 所示, 经超微粉碎处理的大麦粉的持水性较常规粉碎全粉的持水性大, 其中, 持水性最大的是<120 μm 和<96 μm 大麦粉, 且差异性不显著($P>0.05$); 除此之外, 其它粒径大麦粉的持水性随着粒径的减小依次减小, 这与邓凯波等^[28] 的研究结果是一致的。出现上述情况的原因可能是水化作用受颗粒大小和几何结构(如孔隙度和形状)的影响^[30-31]。超微粉碎后, 随着大麦粉粒径的不断减小, 颗粒间会发生团聚行为, 使得大麦粉颗粒间相互作用力增大, 影响大麦粉与水分子之间的相互作用, 导致大麦粉持水性下降^[28]。也可能是超微粉碎破坏了不溶性膳食纤维的多糖链, 且粒径越小, 破坏程度越大, 而这些多糖链可以通过氢键保持一定量的水分, 从而使超微粉碎后大麦粉的持水性逐渐减小^[11]。

2.4.3 吸油性 粉体的油脂结合能力是评价其亲脂

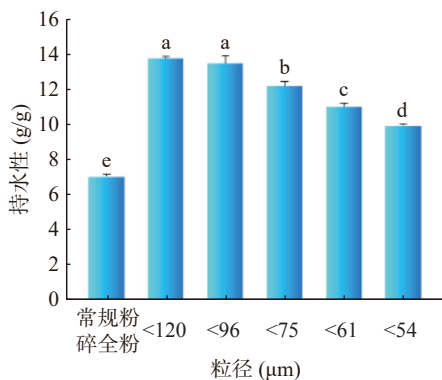


图3 不同粒径大麦粉的持水性

Fig.3 Water holding capacity of barley flour of different particle sizes

能力的重要参数^[32]。如表3所示,不同粒径大麦粉的吸油性差异显著($P<0.05$),其中,吸油性最大的是常规粉碎全粉,其次是<120 μm的大麦粉,而吸油性最小的是<54 μm的大麦粉,且随着粒径的减小,大麦粉的吸油性显著降低($P<0.05$),说明超微粉碎大大降低了大麦粉的吸油性。这可能有两种原因:一方面,粉碎增加了亲水基团的暴露,导致粉体的吸油性降低;另一方面,粒径减小,使得大麦粉对油脂的吸附性能降低^[31]。这与Huang等^[33]的研究结果一致。

表3 不同粒径大麦粉的吸油性

Table 3 Oil absorbency of barley flour with different particle sizes

组分(μm)	吸油性(%)
常规粉碎全粉	251.69±1.33 ^a
<120	203.59±1.35 ^d
<96	200.91±1.05 ^e
<75	198.66±1.37 ^d
<61	184.38±1.15 ^e
<54	161.40±1.39 ^f

2.5 不同粒径大麦全粉的颜色变化

原材料的颜色是其加工中重要的品质之一。不同粒径大麦粉的颜色结果如表4所示,与常规粉碎全粉相比,不同粒径大麦粉的亮度值和白度值均显著增大($P<0.05$)。亮度值最大的是<54 μm的大麦粉,其次是<61 μm的大麦粉;白度值亮最大的是<54 μm的大麦粉,其次是<61 μm的大麦粉。Huang等^[33]研究发现,色差主要受颗粒大小所影响,粒径减小使纤

维素和半纤维素的表面积增加,纤维素和半纤维素的内部结构暴露出来,从而影响粉体的颜色。Hu等^[34]发现粒径对绿茶粉的颜色同样具有显著影响。

表4 不同粒径大麦粉的颜色变化

Table 4 Color difference of barley flour with different particle sizes

组分(μm)	亮度值	白度值
常规粉碎全粉	84.80±0.04 ^e	80.65±0.05 ^e
<120	85.34±0.08 ^d	82.35±0.08 ^d
<96	85.80±0.14 ^c	82.50±0.14 ^d
<75	86.26±0.04 ^b	82.71±0.14 ^e
<61	86.45±0.04 ^a	82.98±0.02 ^b
<54	86.53±0.07 ^a	83.20±0.08 ^a

2.6 不同粒径大麦全粉的糊化特性

超微粉碎处理会减小大麦粉的粒径,从而影响淀粉的溶胀性和胶凝性,进而影响RVA曲线^[35]。不同粒径大麦粉的糊化特性和糊化曲线如表5和图4所示,随着粒径的减小,大麦粉的起糊温度从68.15℃(<120 μm)增加至71.50℃(<54 μm),<120 μm的大麦粉的糊化温度最低(68.15℃)。糊化温度升高可能是由于随着粒径的减小,小颗粒淀粉含量增加,以及大麦粉的颗粒破损程度增大,一些抑制淀粉膨胀的内容物被释放出来,导致糊化温度升高^[9]。峰值黏度随着粒径的减小而减小,其中<54 μm的大麦粉的峰值黏度最小,可能是由于随着粒径的减小,膨润力(持水性)降低,导致了较小的峰值黏度^[9]。可能是超微粉碎后,大麦粉颗粒受到破损,分子量减小,进而影响其黏度;此外,糊化中高温使得多糖的糖苷键被破坏,大麦粉不耐剪切,使得黏度较低^[36];由持水性结果可知,随着粒径的减小,持水力降低,也会使大麦粉粘度降低^[37]。最小黏度、最终黏度和衰减度也随着粒径的减小而减小,与Niu等^[38]结果相似,回生值也随着粒径的减小而减小。最终粘黏度与大麦粉粉体的膨胀稳定性有着密切的关系,随着粒径的减小,溶胀性的降低,大麦粉的终值下降^[28]。衰减度与大麦粉的耐热性有关^[35],衰减度降低,表明大麦粉的耐热性也提高,这也与糊化温度升高相联系。Niu等^[18]同样研究超微粉碎后全麦面粉的糊化特性,发现糊化后大麦粉中的淀粉颗粒分解,直链淀粉渗出使糊化黏度降低。此外,蛋白和膳食纤维也会影响糊化特性,其通过抑制淀粉颗粒溶胀,从而降低糊化黏度^[39]。

表5 不同粒径大麦粉的糊化特性

Table 5 Gelatinization characteristics of barley flour with different particle sizes

组分(μm)	糊化温度(℃)	峰值黏度(cp)	最小黏度(cp)	最终黏度(cp)	衰减度(cp)	回生值(cp)
常规粉碎全粉	69.65±0.35 ^b	801.50±12.02 ^c	775.00±8.49 ^b	1611.50±20.51 ^a	26.50±3.54 ^d	836.50±12.02 ^a
<120	68.15±0.50 ^c	1784.50±26.77 ^a	828.50±29.00 ^a	1396.50±84.15 ^b	934.50±36.06 ^a	568.00±55.15 ^b
<96	69.30±0.71 ^{bc}	1062.00±22.63 ^b	634.50±13.44 ^c	1287.00±93.34 ^{bc}	461.00±11.31 ^b	512.00±35.36 ^{bc}
<75	69.80±0.57 ^b	1009.00±28.72 ^b	611.50±19.09 ^{cd}	1169.00±7.78 ^c	449.50±53.03 ^b	446.50±14.85 ^c
<61	70.35±0.21 ^{ab}	975.50±17.78 ^b	574.00±8.49 ^d	941.50±33.23 ^d	401.50±0.71 ^b	358.50±19.09 ^d
<54	71.50±0.71 ^a	762.00±12.83 ^c	468.00±7.07 ^e	710.00±8.49 ^e	324.50±13.44 ^c	242.00±1.41 ^e

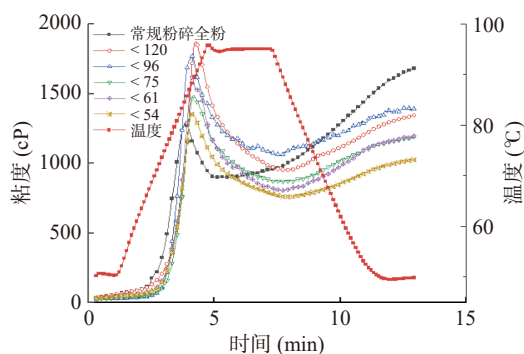


图 4 不同粒径大麦粉的糊化曲线图

Fig.4 Pasting curves of barley flour with different particle sizes

3 结论

本文对经超微粉碎处理和常规粉碎处理的大麦的品质特性进行研究,发现通过超微粉碎设备内部产生的压缩、冲击、摩擦和剪切作用,大麦粉内聚力受到高剪切和破坏,食品基质结构破裂,粒径减小,从而改善大麦粉的结构及品质特性。随着大麦粉结构的破坏,粒径的减小,可溶性物质和功能性物质的溶出增强,使得蛋白和淀粉含量分别由 15.05%、42.16% 增加至 16.79%、47.49%。相比于常规粉碎处理的大麦粉,超微粉碎处理使得可溶性膳食纤维含量增加,导致大麦粉的溶解性增强。同时由于颗粒减小,分子量降低,使得大麦粉的膨润力和持水性降低,进一步导致黏度降低,回生值由 836.5 cp 减小至 242.00 cp,能够延缓大麦粉的老化,提高大麦粉的稳定性。综上所述,超微粉碎技术可以改善大麦的品质特性,为基于大麦的功能性食品开发提供了理论参考。

参考文献

- [1] GHOLIZADEL H, NASERIAN A, YARI M, et al. Crude protein fractionation, in situ ruminal degradability and FTIR protein molecular structures of different cultivars within barley, corn and sorghum cereal grains[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2021, 275: 114855.
- [2] DEVI R, SIT N. Effect of single and dual steps annealing in combination with hydroxypropylation on physicochemical, functional and rheological properties of barley starch[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 129: 1006–1014.
- [3] NIROULA A, AMGAIN N, KC R, et al. Pigments, ascorbic acid, total polyphenols and antioxidant capacities in deetiolated barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum aestivum*) microgreens[J]. *Food Chemistry*, 2021, 354(2): 129491.
- [4] LEE J H, LEE S Y, KIM B, et al. Barley sprout extract containing policosanols and polyphenols regulate AMPK, SREBP2 and ACAT2 activity and cholesterol and glucose metabolism *in vitro* and *in vivo*[J]. *Food Research International*, 2015, 72: 174–183.
- [5] BECK E J, TOSH S M, BATTERHAM M J, et al. Oat beta-glucan increases postprandial cholecystokinin levels, decreases insulin response and extends subjective satiety in overweight subjects[J]. *Molecular Nutrition and Food Research*, 2010, 53(10): 1343–1351.

- [6] FRANCKOWIACK J D, KONISHI T. Naked caryopsis[J]. *Barley Genetics Newsletter*, 1997, 26: 51–52.
- [7] BHATTY R S. Hull-less barley bran: A potential new product from an old grain[J]. *Cereal Foods World*, 1995, 40(11): 819–824.
- [8] DU B, ZHU F M, XU B J. 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.
- [9] 赵神才, 李鑫, 刘露, 等. 高水分环境条件下普通和蜡质大麦淀粉不同比例复配体系的功能性质[J]. *食品科学*, 2020, 41(16): 8–14. [ZHAO S C, LI X, LIU Q, et al. Functional properties of normal and waxy barley starch blends with various mass ratios in excess water[J]. *Food Science*, 2020, 41(16): 8–14.]
- [10] DHIMAN A, PRABHAKAR K. Micronization in food processing: A comprehensive review of mechanistic approach, physicochemical, functional properties and self-stability of micronized food materials[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 292: 110248.
- [11] ZHAO X Y, DU F L, ZHU Q J, et al. Effect of superfine pulverization on properties of *Astragalus membranaceus* powder[J]. *Powder Technology*, 2010, 203(3): 620–625.
- [12] CHENG M, LIU B G, CAO X Z. Discussion on the application of LS-DYNA in superfine grinding of wheat bran[J]. *Grain and Oil Science and Technology*, 2018, 1(3): 138–144.
- [13] 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.
- [14] ZHAO X Y, YANG Z B, GAI G S, et al. Effect of superfine grinding on properties of ginger powder[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 91(2): 217–222.
- [15] 曹英, 夏文, 李积华, 等. 超微粉碎处理对木薯淀粉结构及消化特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(7): 30–34, 40. [CAO Y, XIA W, LI J H, et al. Effect of micronization on the structure and digestibility of tapioca starch[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(7): 30–34, 40.]
- [16] 余清清, 张美霞, 陈光静, 等. 藕淀粉和超微全藕粉的糊化特性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(11): 130–137. [YU Q Q, ZHANG M X, CHEN G J, et al. Pasting properties of lotus root starch and super-fine whole lotus root starch[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(11): 130–137.]
- [17] 王立东, 侯越, 刘诗琳, 等. 气流超微粉碎对玉米淀粉微观结构及老化特性影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(1): 86–93. [WANG L D, HOU Y, LIU S L, et al. Effect of jet milling on microstructure and aging characteristics of maize starch[J]. *Food Science*, 2020, 41(1): 86–93.]
- [18] NIU M, ZHANG B J, JIA C H, et al. Multi-scale structures and pasting characteristics of starch in whole-wheat flour treated by superfine grinding[J]. *International journal of Biological Macromolecules*, 2017, 104: 837–845.
- [19] AHMED J, THOMAS L, ARFAT Y A. Functional, rheological, microstructural and antioxidant properties of quinoa flour in dispersions as influenced by particle size[J]. *Food research international*, 2019, 116: 302–311.

- [20] LIU K S, HAN J. Enzymatic method for measuring starch gelatinization in dry products *in situ*[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(17): 4212–4221.
- [21] HE S D, LI J, HE Q, et al. Physicochemical and antioxidant properties of hard white winter wheat (*Triticum aestivum* L.) bran superfine powder produced by eccentric vibratory milling[J]. *Powder Technology*, 2017, 325: 126–133.
- [22] 牛潇潇, 梁亮, 王宁, 等. 超微粉碎及不同粒度对马铃薯渣功能特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(1): 37–45. [NIU X X, LIANG L, WANG N, et al. Effect of superfine grinding and different particle sizes on functional characteristics of potato residuess[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(1): 37–45.]
- [23] 许青莲, 岳天义, 张萍, 等. 超微粉碎对苦荞物化性质的影响[J]. *包装工程*, 2020, 41(11): 25–32. [XU Q L, YUE T Y, ZAHNG P, et al. Effects of superfine grinding on physicochemical properties of tartary buckwheat[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(11): 25–32.]
- [24] 刘月如, 王海林, 杨茂, 等. 超微化膳食纤维功能特性的研究进展[J]. *食品科技*, 2020, 45(3): 64–68. [LIU Y R, WANG H L, YANG M, et al. Research progress of functional properties of superfine dietary fiber[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(3): 64–68.]
- [25] 杨莱, 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. [YANG M, WANG S Y, CAO C J, et al. Effect of ultrafine grinding on physical and chemical properties of bamboo shell powder[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(1): 34–39.]
- [26] 谭力铭, 裴海生, 赵丹丹, 等. 超微冷冻粉碎处理下酸枣仁蛋白提取工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(23): 122–128. [TAN L M, PEI H S, ZHAO D D, et al. Optimization of extracting jujube kernel protein by ultramicro freezing grinding[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(23): 122–128.]
- [27] 杨璐. 超微粉碎对燕麦粉品质影响及体外模拟消化研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019. [YANG L. Effects of ultrafine pulverization on quality and *in vitro* simulated digestion of oat flour[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019.]
- [28] 邓凯波, 黄雅萍, 代亚萍, 等. 超微粉碎对南瓜粉物化及其粉糊流变性质的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2018, 49(11): 42–49. [DENG K B, HUANG Y P, DAI Y P, et al. Effect of ultrafine grinding on physicochemical and paste rheological properties of pumpkin powder[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2018, 49(11): 42–49.]
- [29] DU B, ZHU F M, XU B J. 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.
- [30] 时东杰, 房一明, 朱红英, 等. 不同粒径鹌鹑茶粉体表征与理化特性的比较研究[J]. *热带作物学报*, 2020, 41(5): 1030–1040. [SHI D J, FANG Y M, ZHU H Y, et al. Comparative study on characterization and physical and chemical properties of *Mallostus peltatus* powder with different particle sizes[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2020, 41(5): 1030–1040.]
- [31] HUANG X, LIANG K H, LIU Q, et al. Superfine grinding affects physicochemical, thermal and structural properties of *Moringa oleifera* leaf powders[J]. *Industrial Crops and Products*, 2020, 151: 112472.
- [32] 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.
- [33] HUANG X, DOU J Y, LI D, et al. Effects of superfine grinding on properties of sugar beet pulp powders[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 87: 203–209.
- [34] HU J H, CHEN Y C, NI D J. Effect of superfine grinding on quality and antioxidant property of fine green tea powders[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 45(1): 8–12.
- [35] RYU G H, NEUMANN P E, WALKER, C E. Pasting of wheat flour extrudates containing conventional baking ingredients[J]. *Food Science*, 1993, 58(3): 567–573.
- [36] KUMAR L, BRENNAN M, ZHENG H T, et al. The effects of dairy ingredients on the pasting, textural, rheological, freeze thaw properties and swelling behaviour of oat starch[J]. *Food Chemistry*, 2018, 245: 518–524.
- [37] ROSANA C, PINTO V Z, HALAL S L M E, et al. Structural, morphological, and physicochemical properties of acetylated high-, medium-, and low-amylose rice starches[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 103: 405–413.
- [38] NIU M, HOU G G, WANG L, et al. Effects of superfine grinding on the quality characteristics of whole-wheat flour and its raw noodle product[J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 60(2): 382–388.
- [39] LI L, YUAN T Z, SETIA R, et al. Characteristics of pea, lentil and faba bean starches isolated from air-classified flours in comparison with commercial starches[J]. *Food Chemistry*, 2019, 276: 599–607.