

气流超微粉碎对苦荞粉物化特性的影响

Effect of jet milling on the physical and chemical properties of tartary buckwheat powder

张 雪¹张东杰^{1,2}张爱武¹ZHANG Xue¹ ZHANG Dong-jie^{1,2} ZHANG Ai-wu¹

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319;

2. 黑龙江八一农垦大学国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319)

(1. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 2. National Coarse Cereals Engineering Research Center, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:目的:探究超微粉碎对不同部位苦荞粉物化特性的影响。方法:以苦荞皮粉、芯粉和全粉为原料,利用流化床气流粉碎机制备苦荞超微粉,通过测定粒径、比表面积、粉体综合特性、溶胀性、水溶性等指标研究气流超微粉碎处理对不同部位苦荞粉物化特性的影响。结果:3 种部位苦荞粉经微粉化处理后,粒径分别减小至 8.15、8.43、8.04 μm ,比表面积增大;微粉化处理降低了粉体的流动性和填充性;水溶性增加;溶胀性、持水力、持油性呈先升高后降低的趋势。结论:经气流超微粉碎处理后苦荞粉具有较为优良的物化特性,适用于苦荞产品的精深加工。

关键词:超微粉碎;苦荞;物化特性

Abstract: Objective: The effect of superfine grinding on the physicochemical properties of tartary buckwheat powder in different parts was studied, aiming to provide a certain theoretical reference for the food industry to use superfine grinding to prepare tartary buckwheat food. **Methods:** Tartary buckwheat skin powder, core powder and whole powder were used as materials to prepare tartary buckwheat ultrafine powder by superfine grinding combined with a fluidized bed jet mill. The superfine powder was studied by measuring the particle size, specific surface area, comprehensive powder characteristics, swelling property, water solubility and other indicators. **Results:** The particle size of the three kinds of tartary buckwheat powder was re-

duced to 8.15, 8.43 and 8.04 μm , respectively, after micronization treatment, with the specific surface area increasing; the micronization treatment reduced the fluidity and filling property of the powder. The water solubility increased, while the swelling capacity, water holding capacity and oil holding capacity showed a trend of first increasing and then decreasing. **Conclusion:** Tartary buckwheat powder has relatively excellent physical and chemical properties after jet milling and can be used for deep-processing of tartary buckwheat products.

Keywords: superfine grinding; tartary buckwheat; physical and chemical properties

苦荞(*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.)又名鞑靼荞麦,属于蓼目蓼科一年生双子叶草本植物,是一种药食两用作物^[1]。其含有膳食纤维、蛋白质、淀粉等基本营养成分,还含有较高的黄酮类物质^[2],研究^[3-7]发现这些黄酮类物质具有抗氧化、抗疲劳、降血糖、降血脂等作用。目前中国苦荞开发方式多为苦荞茶^[8]、苦荞馒头^[9]、苦荞面条^[10]等产品,其类型较为单一,使苦荞发展进程滞缓。因此,在保留营养价值基础上,改善苦荞粉品质已成为研究热点。

近年来,超微粉碎作为一种获得微米级或纳米级超细粉体的新技术得到了发展^[11]。它是利用机械力或流体动力学来克服固体物料的内部黏结力而使其破碎^[12]。粉体的物理化学性质决定了食品利用的程度,粉体的特性与粒度和粉碎过程密切相关。微粉化后的超微粉末具有良好的性能,如可以提高一些生物活性物质的溶解度,从而提高抗氧化活性^[13-14]。也有研究^[15-18]发现,超细粉碎可以改变粉体的功能特性,如持油能力、膨胀能力和流动性等。

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2018YFE0206300);黑龙江自然科学基金研究团队项目(编号:TD2020C003);黑龙江省“杂粮生产与加工”优势特色学科资助项目(编号:黑教联[2018]4号)

作者简介:张雪,女,黑龙江八一农垦大学在读硕士研究生。

通信作者:张爱武(1964—),女,黑龙江八一农垦大学高级实验师。E-mail:1940720058@qq.com

收稿日期:2021-03-07

当前关于苦荞超微粉的研究甚少,主要集中于多酚含量和抗氧化活性的变化^[19-20],而针对不同部位的苦荞超微粉的系统性研究尚未发现。苦荞皮粉即苦荞的麸皮粉,通常被作为动物饲料使用,苦荞芯粉即苦荞的芯层粉,苦荞全粉即苦荞脱壳后磨成的粉,二者均可作为日常面食的原料。通过对不同部位苦荞超微粉物化特性的研究,不仅可以观察各部位超微粉理化性质的变化,还可以适当提高苦荞资源的合理利用。气流超微粉碎是获得超微粉体的一种常见方法,相较于其他超微粉碎方式,气流粉碎具有产品粒度细、分布窄、投放物料量多等特点。研究拟采用气流超微粉碎技术对不同部位(皮粉、芯粉和全粉)苦荞粉进行微粉化处理,对其粒径、比表面积、流动性、水溶性等物化特性进行测定,探究气流超微粉碎前后苦荞粉物化性质的变化,以期对食品、制药、保健品等行业利用超微粉碎制备苦荞食品提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

苦荞皮粉、苦荞芯粉、苦荞全粉(基本营养成分见表 1);凉山州建茂食品有限公司;

色拉油:市售。

1.1.2 主要仪器设备

电热恒温鼓风干燥箱:DGG-9140B 型,上海森信试验仪器有限公司;

流化床式气流粉碎机:LHL 型,山东潍坊正远粉体工程设备有限公司;

激光粒度分布仪:Bettersize 2000 型,丹东市百特仪器有限公司;

电子分析天平:BSA323S-CW 型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

磁力搅拌器:FCH202 型,上海启闵生物科技有限公司;

低速自动平衡离心机:TDZ5-WS 型,湖南湘仪试验室仪器开发有限公司。

1.2 方法

1.2.1 超微苦荞粉的制备 参照王立东等^[21]的方法并略作修改。将苦荞皮粉、芯粉、全粉于 50℃烘箱中干燥至含水量低于 6%,过 100 目筛后得到不同部位的苦荞粗

粉,放置在密封袋中保存备用。用气流式粉碎机将不同部位苦荞粗粉粉碎,具体粉碎参数:进料量 1.5 kg,空气压力 0.8 MPa,进料频率 3 Hz,调整分级机变频器,调整频率分别为 20,40,60 Hz,再此条件下粉碎 90 min,得到苦荞皮粉微粉 I、II、III 级,苦荞芯粉微粉 I、II、III 级以及苦荞全粉微粉 I、II、III 级共 9 种苦荞微粉。将得到的不同部位苦荞微粉置于密封袋中,于通风阴凉处保存待用。

1.2.2 粒径、比表面积测定 取适量的粉体置于激光粒度分布仪容器内,采用蒸馏水作为分散剂,用超声波对粉体进行分散,测定粉体的粒径及其比表面积。采用平均粒径 D_{50} 表示粉体的粒度,并按式(1)计算粒度分布的离散度。

$$S = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}}, \tag{1}$$

S——粉体离散度;

D_{90} ——粉体累计粒度分布达到 90%时所对应的粒径,μm;

D_{10} ——粉体累计粒度分布达到 10%时所对应的粒径,μm;

D_{50} ——粉体累计粒度分布达到 50%时所对应的粒径,μm。

1.2.3 粉体综合特性测定

(1) 休止角:参照程晶晶等^[22]的方法并稍作修改。将漏斗置于表面光滑的平板上,漏斗尾部距离平板的垂直距离为 3 cm,将样品置于漏斗内,样品会经过漏斗尾部自由落下形成圆锥体,直到平板上的粉末达到一定高度开始自动滑落时,测出圆锥体底圆的半径,圆锥表面与平板的夹角,即为粉体的休止角,按(2)计算休止角。

$$\theta = \arctan \frac{H}{R}, \tag{2}$$

式中:

θ ——粉体休止角,°;

H——漏斗尾部到平板的距离,mm;

R——圆锥底圆半径,mm。

(2) 滑角:参照程晶晶等^[22]的方法并稍作修改。称取 3.00 g 样品均匀铺在玻璃板中央,用手指轻抬玻璃板的一端,直到 90%的粉体自由滑落,测定玻璃板抬起的高度,抬起的玻璃板与水平桌面的夹角,即为粉体的滑动摩

表 1 苦荞粉中的基本营养成分质量分数

Table 1 Contents of basic nutrients in Tartary buckwheat powder ($n=10$) %

样品	水分	粗蛋白	粗脂肪	淀粉
苦荞皮粉	5.82±0.06	19.53±0.11	4.36±0.13	45.68±1.20
苦荞芯粉	5.46±0.11	5.04±0.04	2.68±0.16	71.35±0.97
苦荞全粉	5.08±0.25	12.39±0.08	3.10±0.11	66.16±1.01

擦角,按式(3)计算滑角。

$$\alpha = \arctan \frac{H}{L}, \quad (3)$$

式中:

α ——粉体滑角,°;

H ——玻璃板抬起的高度,mm;

L ——玻璃板的长度,cm。

(3) 松装密度:参照文献[18]。

(4) 振实密度:参照文献[23]。

1.2.4 溶胀性的测定 参照文献[18]。

1.2.5 水溶性的测定 参照陈如等^[18]的方法稍作修改。准确称取 0.50 g 样品于烧杯中,按料液比 1:100 加入蒸馏水,在 80 °C 恒温水浴锅中连续搅拌 30 min,冷却,6 000 r/min 离心 15 min,上清液置于平皿中,于 105 °C 烘干至恒重,称量残留物质量,按式(4)计算水溶性。

$$X = \frac{m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

X ——粉体水溶性,%;

m_1 ——粉体质量,g;

m_2 ——残留物质量,g。

1.2.6 持水力的测定 参照易建华等^[15]的方法稍作修改。准确称取 1.00 g 样品于烧杯中,加入 50 mL 蒸馏水,磁力搅拌 30 min,4 000 r/min 离心 15 min,称取除去上层水分后样品质量,按式(5)计算持水力。

$$S = \frac{m_2 - m_1}{m_1}, \quad (5)$$

式中:

S ——粉体持水力,g/g;

m_1 ——粉体质量,g;

m_2 ——除去上层水分后粉体质量,g。

1.2.7 持油力的测定 参照易建华等^[15]的方法稍作修改。准确称取 4.00 g 样品于烧杯中,加入 20 mL 色拉油,磁力搅拌 30 min,4 000 r/min 离心 15 min,称取除去上层色拉油后样品质量,按式(6)计算持油力。

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1}, \quad (6)$$

式中:

W ——粉体持油力,g/g;

m_1 ——粉体质量,g;

m_2 ——除去上层色拉油后粉体质量,g。

1.3 数据处理与分析

所有数据均为 3 次试验的平均值,表示为均值±标准差,采用 Excel 2019 进行数据计算和处理;采用 SPSS 26.0 软件进行数据分析;采用 Duncan 法检验差异显著性,以 $P < 0.05$ 表示差异显著;采用 Origin 2018 软件作图。

2 结果与分析

2.1 超微粉碎对苦荞粉粒径、比表面积的影响

粒径被认为是影响粉末样品质量的一个重要物理参数,采用激光粒度分析仪测定苦荞粉的粒径及比表面积,结果见表 2~表 4。由表 2~表 4 可知,气流超微粉碎后苦荞皮粉、芯粉和全粉的粒径(D_{50})分别从 41.05,42.65,36.80 μm 下降到 8.15,8.43,8.04 μm ,表明气流超微粉碎可有效降低粉体粒径,对苦荞粉有良好的破碎作用且不同部位苦荞粉的粒径差异显著($P < 0.05$)。

随着苦荞微粉粒径的减小其比表面积逐渐增大,比表面积的变化会影响到微粉对溶剂的吸附能力,具有较高比表面积的粉末样品在作为食品添加剂或活性成分方面具有很大的潜力^[24]。离散度可以有效反映粉末粒度的分布,是评估团聚体的均匀性和多分散性的基础指标之一。由表 2~表 4 可知,粒径最小的苦荞微粉离散度最小,粉体的离散度与粒径大小呈正比,在相同粉碎条件下苦荞芯粉的离散度最小。

2.2 超微粉碎对苦荞粉体综合特性的影响

由图 1(a)和图 1(b)可知,随着粒径的减小,不同部位的苦荞微粉的休止角和滑角均有所增加,表明经微粉化处理可影响粉体的流动性能。这与程晶晶等^[22,25-26]的试验结果一致,造成此结果的原因可能是随着粒径的减

表 2 超微粉碎对苦荞皮粉粒径、比表面积的影响[†]

Table 2 The effect of superfine grinding on the particle size and specific surface of tartary buckwheat hull powder ($n=3$)

样品	粒径/ μm			比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	离散度
	D_{10}	D_{50}	D_{90}		
苦荞皮粉粗粉	4.38±0.23 ^a	41.05±0.04 ^a	144.37±0.45 ^a	0.19±0.01 ^c	3.41±0.01 ^b
苦荞皮粉微粉 I	3.43±0.07 ^b	15.66±0.39 ^b	58.90±1.96 ^b	0.26±0.00 ^b	3.54±0.03 ^a
苦荞皮粉微粉 II	2.44±0.07 ^c	8.73±0.17 ^c	22.58±0.96 ^c	0.38±0.01 ^a	2.31±0.06 ^c
苦荞皮粉微粉 III	2.42±0.06 ^c	8.15±0.22 ^d	18.96±1.06 ^d	0.40±0.01 ^a	2.03±0.07 ^d

[†] 同列肩标小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

表 3 超微粉碎对苦荞芯粉粒径、比表面积的影响[†]

Table 3 The effect of superfine grinding on the particle size and specific surface of tartary buckwheat core powder ($n=3$)

样品	粒径/ μm			比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	离散度
	D_{10}	D_{50}	D_{90}		
苦荞芯粉粗粉	4.59 ± 0.30^a	42.65 ± 0.94^a	95.71 ± 1.05^a	0.21 ± 0.01^c	2.14 ± 0.03^b
苦荞芯粉微粉 I	4.57 ± 0.04^a	20.73 ± 0.31^b	59.48 ± 0.11^b	0.22 ± 0.00^c	2.65 ± 0.03^a
苦荞芯粉微粉 II	2.68 ± 0.03^b	9.84 ± 0.04^c	19.84 ± 0.16^c	0.35 ± 0.00^b	1.74 ± 0.01^c
苦荞芯粉微粉 III	2.33 ± 0.06^b	8.43 ± 0.17^d	14.51 ± 0.42^d	0.40 ± 0.01^a	1.44 ± 0.11^d

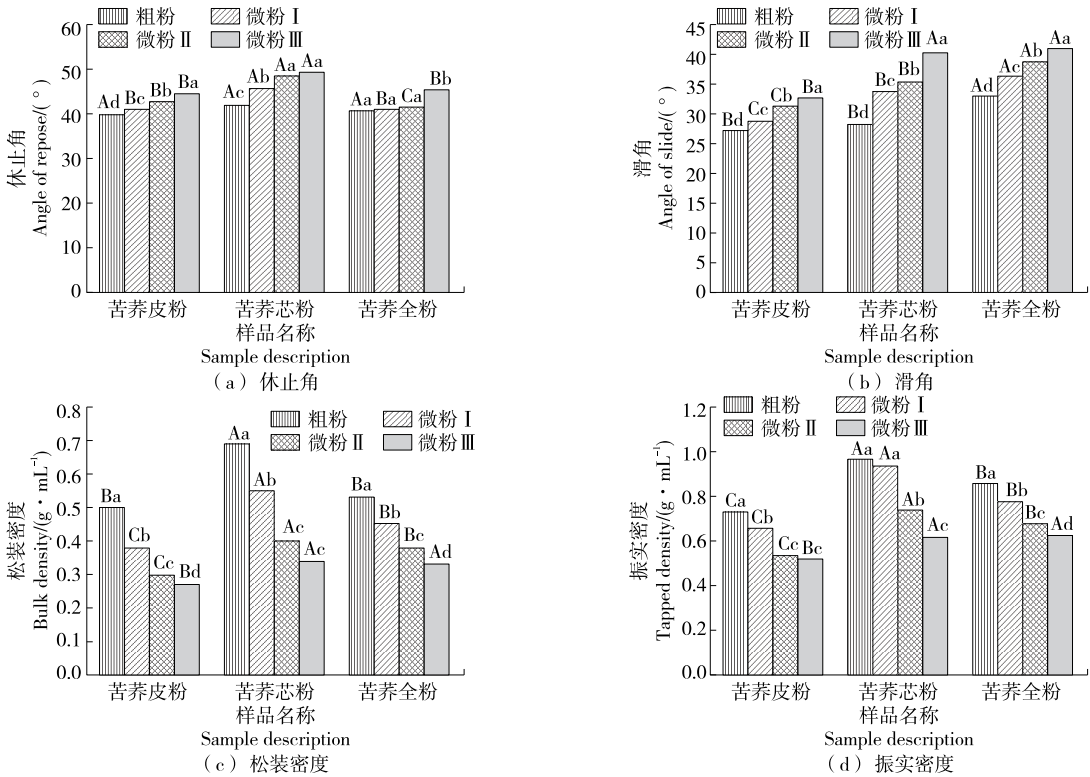
[†] 同列肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 4 超微粉碎对苦荞全粉粒径、比表面积的影响[†]

Table 4 The effect of superfine grinding on the particle size and specific surface of tartary buckwheat whole powder ($n=3$)

样品	粒径/ μm			比表面积/ ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	离散度
	D_{10}	D_{50}	D_{90}		
苦荞全粉粗粉	4.09 ± 0.26^a	36.80 ± 0.90^a	127.03 ± 2.66^a	0.21 ± 0.01^d	3.34 ± 0.08^a
苦荞全粉微粉 I	3.35 ± 0.27^b	16.10 ± 0.35^b	57.04 ± 0.63^b	0.27 ± 0.01^c	3.34 ± 0.05^a
苦荞全粉微粉 II	2.58 ± 0.01^c	9.45 ± 0.05^c	20.08 ± 0.30^c	0.37 ± 0.00^b	1.85 ± 0.02^b
苦荞全粉微粉 III	2.28 ± 0.00^c	8.04 ± 0.09^d	15.20 ± 0.19^d	0.42 ± 0.00^a	1.61 ± 0.00^c

[†] 同列肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。



小写字母不同表示相同部位不同粒径差异显著($P<0.05$),大写字母不同表示相同级别不同部位差异显著($P<0.05$)

图 1 超微粉碎对苦荞粉体综合特性的影响

Figure 1 The effect of superfine grinding on the comprehensive characteristics of tartary buckwheat powder

小,粉体的比表面积增大,使得颗粒之间的聚合能力增加,粉体与平板之间的摩擦力增大,从而使粉体的休止角和滑角变大^[27]。生产加工中虽然认为粉体流动性越好产品品质越佳,但粉体的黏附性增强其对小肠壁的吸附作用也增加,这样更利于机体对其内含成分的吸收。

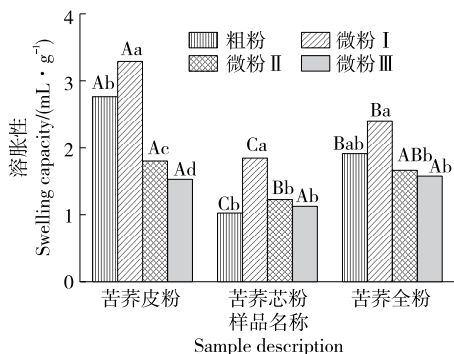
由图1(c)和图1(d)可知,不同部位的苦荞粉松装密度和振实密度有所差别,芯粉的松装密度和振实密度显著高于同等粒径下的皮粉和芯粉($P<0.05$),随着粒径的减小,各部位苦荞粉的松装密度和振实密度都有所降低,与陈如等^[18,22]的研究结果(填充性能与粒径之间存在正相关效应)一致,可能是由于粉体流动性降低,更容易团聚成大颗粒使得粉体之间空隙率增大^[28],从而导致其松装密度和振实密度减小。

2.3 超微粉碎对苦荞粉溶胀性的影响

由图2可知,苦荞皮粉的溶胀性能优于苦荞全粉和芯粉。经超微粉碎处理后,各部位苦荞粉的溶胀性均呈先升高后降低的趋势,当粉碎频率为20 Hz时,粉体的溶胀性达到最大值。含有较高膳食纤维的粉体,经微粉化处理后,其长链膳食纤维减小,短链膳食纤维增加,粉体的溶胀性有所增加,但随着粉碎程度的加强苦荞粉内的膳食纤维结构被破坏,大分子物质含量随超微粉碎程度的降低而降低,影响了苦荞粉的溶胀性^[29]。粉体溶胀性的增加可提高食用后的饱腹感,在加工代餐食品时,饱腹感作为食品评价的重要指标之一,由此,超微粉碎可为代餐食品的加工提供一定的技术支持。

2.4 超微粉碎对苦荞粉水溶性的影响

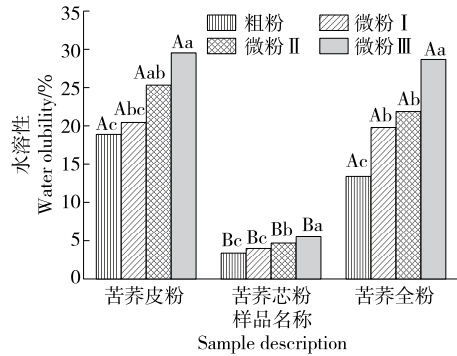
由图3可知,随着粒径的减小,苦荞粉的水溶性有所升高,且苦荞皮粉、全粉的溶出率显著高于苦荞皮粉,皮粉和全粉的水溶性从粗粉的18.94%,13.44%上升到微粉Ⅲ的29.51%,28.61%,相较于粗粉增加了14%左右,与陈如等^[18,30]的研究结果一致。这可能是超微粉碎增加了



小写字母不同表示相同部位不同粒径差异显著($P<0.05$),大写字母不同表示相同级别不同部位差异显著($P<0.05$)

图2 超微粉碎对苦荞粉溶胀性的影响

Figure 2 The effect of superfine grinding on the swelling capacity of tartary buckwheat powder



小写字母不同表示相同部位不同粒径差异显著($P<0.05$),大写字母不同表示相同级别不同部位差异显著($P<0.05$)

图3 超微粉碎对苦荞粉水溶性的影响

Figure 3 The effect of superfine grinding on the water solubility of tartary buckwheat powder

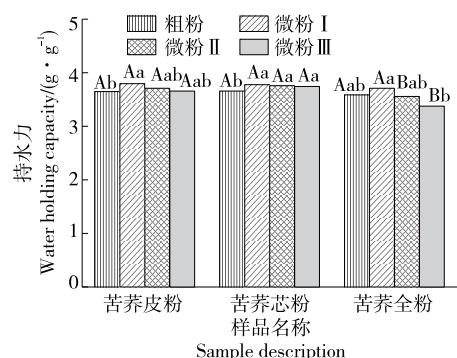
粉体的比表面积,粉体的水溶性成分能够更好地与溶剂接触,从而促进了其水溶性的提高^[27];另外,超微粉碎会使长链膳食纤维断裂成分子量较小的短链膳食纤维,且随着粉碎程度的加强,粉体中的膳食纤维的空间结构被破坏,可以释放更多的可溶成分,从而增加溶解度^[30]。

2.5 超微粉碎对苦荞粉持水力的影响

由图4可知,超微粉碎对粉体持水力的影响较小,随着粉碎程度的增强其持水力略有上升,当粉碎频率超过40 Hz时粉体的持水力略有下降,在Gao等^[30-31]的研究中也有相似的报道。这可能是由于随着粒径的减小,粉体之间空隙增大,使得粉体的吸水表面积增大,持水力增大;但当粉体粒径过小,在微粉化过程中其纤维结构被破坏,使得持水力又有所下降^[31]。

2.6 超微粉碎对苦荞粉持油力的影响

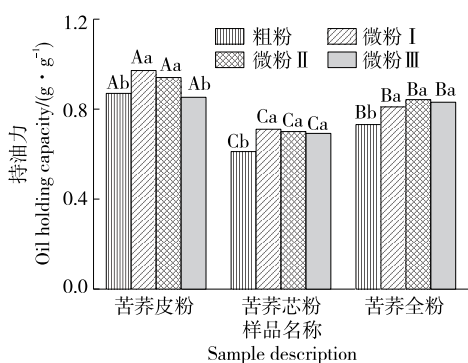
由图5可知,皮粉的持油力高于芯粉和全粉,可能与其纤维含量高有关。随着粒径的减小,苦荞微粉的持油



小写字母不同表示相同部位不同粒径差异显著($P<0.05$),大写字母不同表示相同级别不同部位差异显著($P<0.05$)

图4 超微粉碎对苦荞粉持水力的影响

Figure 4 The effect of superfine grinding on water holding capacity of tartary buckwheat powder



小写字母不同表示相同部位不同粒径差异显著 ($P < 0.05$), 大写字母不同表示相同级别不同部位差异显著 ($P < 0.05$)

图 5 超微粉碎对苦荞粉持油力的影响

Figure 5 The effect of superfine grinding on oil holding capacity of tartary buckwheat powder

力相较于同部位的粗粉略有上升, 且粉碎频率为 20~40 Hz 时粉体的持油力较强, 之后有所下降。不同粒径苦荞粉持油力的变化可能与其持水力降低的原因一致。

3 结论

试验系统研究了气流超微粉碎处理后苦荞不同部位粉粒度、比表面积及其理化性质的影响。结果表明, 气流超微粉碎可显著改善粉体粒径大小, 颗粒分布更加均匀; 水溶性增加; 溶胀性、持水力以及持油力呈先升高后降低的趋势, 但微粉化处理降低了粉体的流动性和填充性。当粉碎频率为 20~40 Hz 时, 各部位超微粉体的上述性质较为稳定, 且苦荞皮粉的水溶性、持水力、持油力高于其他部位。因此在生产加工中要适度把握粉碎程度, 这样既可以保证苦荞粉优良的物化特性, 又可以降低能耗。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编委会编. 中国植物志: 第二十五卷: 第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 111-116.
Edited by the Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China: Volume 25: Volume 1[M]. Beijing: Science Press, 1999: 111-116.
- [2] KRKOŠKOVÁ Bernadetta, MRÁZOVÁ Zuzana. Prophylactic components of buckwheat[J]. Food Research International, 2004, 38(5): 561-568.
- [3] 童钰琴, 李妹, 牛曼思, 等. 苦荞麸皮总黄酮体外抗氧化活性及体内解酒护肝作用[J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 314-319, 326.
TONG Yu-qin, LI Shu, NIU Man-si, et al. Antioxidant activity of total flavonoids from tartary buckwheat bran in vitro and its effect on antialcoholism and liver protection in vivo[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(17): 314-319, 326.
- [4] 胡一冰, 赵钢, 邹亮, 等. 苦荞籽提取物抗小鼠躯体疲劳作用初

探[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2008(3): 181-182.

- HU Yi-bing, ZHAO Gang, ZOU Liang, et al. Effects of tartary buckwheat extract on body fatigue of mice[J]. Journal of Chengdu University(Natural Science Edition), 2008(3): 181-182.
- [5] 杨思, 王菲, 王晶, 等. 苦荞黄酮降血糖作用研究[J]. 潍坊医学院学报, 2020, 42(1): 69-71, 82.
YANG Si, WANG Fei, WANG Jing, et al. Hypoglycemic mechanism of tartary buckwheat flavonoid on T2DM mice[J]. Acta Academiae Medicinae Weifang, 2020, 42(1): 69-71, 82.
- [6] 鲍涛. 云南高寒山区苦荞黄酮抗氧化和降血糖活性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 39-56.
BAO Tao. Anti-oxidant and anti-diabetes activity of tartary buckwheat flavonoids derived from alpine mountain of Yunnan Province[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017: 39-56.
- [7] 刘薇芝, 刘巍, 胡汉昆, 等. 苦荞黄酮提取物对 2 型糖尿病模型大鼠血糖与血脂的影响[J]. 中国药房, 2015, 26(4): 470-472.
LIU Wei-zhi, LIU Wei, HU Han-kun, et al. Effects of fagopyrum tataricum flavonoids extracts on blood glucose and lipid in type II diabetes mellitus rats[J]. China Pharmacy, 2015, 26(4): 470-472.
- [8] 喻奔. 速溶苦荞茶粉的制备及其品质评价研究[D]. 成都: 西华大学, 2020: 10-19.
YU Hui. Study on preparation and quality evaluation of instant tartary buckwheat tea[D]. Chengdu: Xihua University, 2020: 10-19.
- [9] 李珊. 高纤维全谷物苦荞馒头研制及消化功能评价[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2020: 10-22.
LI Shan. Development and evaluation of digestive function of high fiber whole grain tartary buckwheat steamed bread[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2020: 10-22.
- [10] OBADI Mohammed, CHEN Yu, QI Ya-jing, et al. Effects of different pre-gelatinized starch on the processing quality of high value-added Tartary buckwheat noodles[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14: 3 462-3 472.
- [11] ZHAO Xiao-yan, DU Fang-ling, ZHU Qing-jun, et al. Effect of superfine pulverization on properties of Astragalus membranaceus powder[J]. Powder Technology, 2010, 203(3): 620-625.
- [12] 向智男, 宁正祥. 超微粉碎技术及其在食品工业中的应用[J]. 食品研究与开发, 2006(2): 88-90, 102.
XIANG Zhi-nan, NING Zheng-xiang. Technology of superfine grinding and its application in food industry[J]. Food Research and Development, 2006(2): 88-90, 102.
- [13] CHEN Q M, FU M R, YUE F L, et al. Effect of superfine grinding on physicochemical properties, antioxidant activity and phenolic content of red rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Food and Nutrition Sciences, 2015, 6(14): 1 277-1 284.
- [14] HU Jian-hui, CHEN Yu-qiong, NI De-jiang. 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.
- [15] 易建华, 张志婕, 朱振宝, 等. 不同粒径对黑米粉理化性质的

- 影响[J]. 陕西科技大学学报, 2021, 39(1): 39-44.
- YI Jian-hua, ZHANG Zhi-jie, ZHU Zhen-bao, et al. Impact of different grain sizes on physicochemical properties of black rice powder[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2021, 39(1): 39-44.
- [16] 周晚霞, 黎怡红, 陈炎, 等. 不同粒径小麦全粉的营养及加工特性比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 172-180.
- ZHOU Wan-xia, LI Yi-hong, CHEN Yan, et al. Comparison of nutrition and processing characteristics of whole wheat flours with different particle sizes[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 172-180.
- [17] 张明, 马超, 王崇队, 等. 不同粉碎粒度对大麦苗粉体品质和加工特性的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(7): 224-228.
- ZHANG Ming, MA Chao, WANG Chong-dui, et al. Effects of different crushing granularity on powder quality and processing characteristics of barley seedlings powder[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(7): 224-228.
- [18] 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.
- CHEN Ru, HE Ling. Effect of superfine grinding on physicochemical properties of apple powder[J]. Food Science, 2017, 38(13): 150-154.
- [19] 左蕾蕾, 徐沛, 饶朝龙, 等. 超微粉碎对苦荞米与苦荞壳总黄酮的体外溶出影响[J]. 食品工业, 2016, 37(6): 109-112.
- ZUO Lei-lei, XU Pei, RAO Chao-long, et al. Effects of superfine grinding on in vitro dissolution of total flavonoids in tartary buckwheat rice and husk[J]. The Food Industry 2016, 37(6): 109-112.
- [20] 蔡婷, 汪丽萍, 刘明, 等. 超微粉碎对苦荞多酚及抗氧化活性的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(10): 95-99, 106.
- CAI Ting, WANG Li-ping, LIU Ming, et al. The influence of micronization on polyphenols and antioxidant activity of buckwheat powder[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(10): 95-99, 106.
- [21] 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 Li-dong, HOU Yue, LIU Shi-lin, et al. Effect of jet milling on microstructure and aging characteristics of maize starch[J]. Food Science, 2020, 41(1): 86-93.
- [22] 程晶晶, 王军, 肖付刚. 超微粉碎对红小豆全粉物化特性的影响[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(3): 13-16.
- CHENG Jing-jing, WANG Jun, XIAO Fu-gang. Influence of superfine grinding on physicochemical properties of adzuki bean flour[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2016, 24(3): 13-16.
- [23] 张新. 脱脂栀子粕超微粉物化及功能特性的分析研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2018: 11-12.
- ZHANG Xin. Study on the physicochemical and functional properties of superfine powder of defatted gardenia fruit[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2018: 11-12.
- [24] RILEY Cliff K, ADEBAYO Sarafadeen A, WHEATLEY Andrew O, et al. Surface properties of yam (*Dioscorea* sp.) starch powders and potential for use as binders and disintegrants in drug formulations[J]. Powder Technology, 2007, 185(3): 280-285.
- [25] 舒阳, 杨晓萍. 不同粒径绿茶粉体表征与物理性质的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 164-167.
- SHU Yang, YANG Xiao-ping. Study on the characterization and physical property of green tea powder with different particle sizes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(22): 164-167.
- [26] 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: 28-29.
- YANG Lu. Effects of ultrafine pulverization on quality and in vitro simulated digestion of oat flour[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019: 28-29.
- [27] 郑慧, 王敏, 吴丹. 超微处理对苦荞麸理化及功能特性影响的研究[J]. 食品与发酵工业, 2006(8): 5-9.
- ZHENG Hui, WANG Min, WU Dan. The Effect of super micro-milling on physical-chemistry and functional properties of tartary buckwheat bran[J]. Food and Fermentation Industries, 2006(8): 5-9.
- [28] 王萍, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 超微粉碎对菠萝蜜超微全粉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 144-148.
- WANG Ping, CHEN Qin-qin, BI Jin-feng, et al. Influence of superfine grinding on quality characteristic of jackfruit powder[J]. Science and Technology of Food Industry 2015, 36(1): 144-148.
- [29] WANG Fang, SUKMANOV Valerii, ZENG Jie. Effect of ultrafine grinding on functional properties of soybean by-product[J]. Ukrainian Food Journal, 2019, 8(4): 687-698.
- [30] GAO Wen-jie, CHEN Feng, ZHANG Lian-fu, et al. Effects of superfine grinding on asparagus pomace Part I: Changes on physicochemical and functional properties[J]. Journal of Food Science, 2020, 85(6): 1 827-1 833.
- [31] ZHAO Xiao-yan, MENG Ang, ZHANG Xiao-wei, et al. Effects of ultrafine grinding on physicochemical, functional and surface properties of ginger stem powders[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(15): 5 558-5 568.