

超微粉碎对红小豆全粉物化特性的影响

程晶晶,王 军,肖付刚

(许昌学院食品与生物工程学院,河南 许昌 461000)

摘 要:以红小豆粗粉为研究对象,通过高频振动超微粉碎处理,研究振动式超微粉碎技术对红小豆全粉物化特性的影响。结果表明:随着超微粉碎时间的延长,红小豆微粉的平均粒径进一步减小,微粉颗粒大小更均匀,颜色更白亮,更均匀。与粗粉相比,红小豆微粉的休止角和滑角均增大,松装密度和振实密度均小于粗粉。超微粉碎处理可以显著改善红小豆全粉的颗粒均匀性、颜色均匀性、吸湿性、溶胀度、溶解性等物化特性。

关键词:振动式超微粉碎;红小豆全粉;物化特性

中图分类号:TS 255.36 TS 210.1 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2016)03-0013-04

Influence of superfine grinding on physicochemical properties of adzuki bean flour

CHENG Jing-jing, WANG Jun, XIAO Fu-gang

(College of Food and Biological Engineering, Xuchang University, Xuchang Henan 461000)

Abstract:The effect of vibrational superfine grinding on the physicochemical properties of whole adzuki bean flour, obtained from coarse adzuki bean flour, was researched. The results showed that with the prolongation of the superfine grinding, the average particle size of adzuki bean was further reduced, more uniform, looked white and brighter. Compared with coarse flour, the angle of repose and slip angle of micro flour was increased, the bulk density and tap density was decreased. Superfine grinding is an effective technology to improve the physicochemical properties of adzuki bean flour, including uniformity of particles and color, hygroscopicity, swelling degree and solubility.

Key words:vibrational superfine grinding; adzuki bean flour; physicochemical properties

红小豆(*Phaseolus angularis*),又名赤豆、赤小豆、红豆等,是一种高蛋白、低脂肪的营养食品。红小豆还含有丰富的膳食纤维、维生素和矿物质,其种皮中含有多酚、单宁、植酸、皂苷和色素等生物活性物质,因此红小豆作为食品具有较高的营养保健作用,是食品加工的重要原料之一^[1-3]。目前对红小豆的开发利用主要集中在红小豆淀粉、蛋白及种皮色素等某种单一营养成分方面,既浪费资源,副产物也会对环境造成污染^[4]。红小豆全粉是将红小豆带皮粉碎得到的一种食品原料,既能实现红小豆营养成分完全利用,又能减少环境污染,具有广阔市场开发前景。但由于红小豆种皮粗纤维机械强度较大,吸水膨胀等原因,传统的粉碎技术难于将红小豆全粉中的粗纤维细化到使口感较好的程度。

超微粉碎是利用机械或流体动力克服固体内部凝聚力的方法使之破碎,从而将3 mm以上的物料颗粒粉碎到10~25 μm以下的操作技术^[5-7]。超微粉是超微粉碎的最终产品,具有一般颗粒所没有的特殊理化性质,如良好的溶解性、分散性、吸附性、化学反应活性等。因此,超微粉已广泛应用于食品、化工、医药、化妆品、农药、染料、涂料、电子及航空航天等许多领域^[8-9]。

本实验利用高频振动超微粉碎技术对红小豆全粉进行处理,对红小豆超微粉的粒径、色泽、流动性、持水性、持油性、溶解性、溶胀性等物化特性进行研究,为红小豆全粉在食品加工中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

红小豆样品:购于超市。

收稿日期:2015-10-23

基金项目:河南省高等学校重点科研项目(15B550006);许昌学院产学研专项(2015CX06)

作者简介:程晶晶,1982年出生,女,博士,讲师。

JYL-C022E 型料理机:九阳股份有限公司; DHG-9073BS-Ⅲ型电热恒温鼓风干燥箱:上海新苗医疗器械制造有限公司; NLD-6DI 型振动式超微粉碎机及冷冻循环设备:济南纳力德超微粉碎技术有限公司; MS2000 型激光粒度仪:英国马尔文仪器有限公司; NR200 型色差仪:深圳市三恩驰科技有限公司; TDL-4 型低速台式离心机:上海安亭科学仪器厂; YP30002 型电子天平:上海佑科仪器仪表有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 微粉制备

粗粉制备:用九阳料理机对红小豆样品进行粗粉碎,每次粉碎时间 15 s,每次间隔 2 min,三次粉碎时间 45 s。热风(热风温度 60 ℃)干燥至红小豆粗粉水分含量 6% 以下,作为红小豆粗粉样品。

微粉制备:将粗粉放入超微粉碎机中进行超微粉碎,每次投样量 600 g,温度设为 5 ℃,粉碎时间分别为 7、14、21 min,得到 3 种微粉,分别命名为微粉 I、II、III。

1.2.2 粒径、比表面积测定

用激光粒度仪测定所制粉体的粒度和比表面积。取适量粉体置于容器内,加蒸馏水,用超声波使粉体分散。 D_n (μm) 表示有占总重量 $n\%$ 的颗粒粒径小于该数值,平均粒径取 D_{50} ,并计算粒度分布的离散度^[7]。计算公式如下:

$$\text{离散度} = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}} \quad (1)$$

1.2.3 色泽测定

采用色差仪测定样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。其中 L^* 值表示样品的亮度, L^* 越大,表明样品表面越亮; a^* 值,正值表示偏红,负值表示偏绿; b^* 值,正值表示偏黄,负值表示偏蓝。

1.2.4 超微粉体综合特性测定

休止角:将样品经漏斗垂直流至样品盘中,流下的粉体在样品盘中形成圆锥体,堆面崩塌 2~3 次后重新形成较稳定锥体时,测定圆锥表面和水平面的夹角,重复 3 次,取平均值。

滑角:将平板伸入样品盘中,样品撒落在样品盘中,直到埋没平板,然后将样品盘缓缓降低,平板与样品盘完全分离,此时用测角器测定留在平板上的粉体所形成的角度,测量 3 次,取平均值。

松装密度 ρ_s :也称堆积密度,参考 GB/T 20316。

2—2006 中堆积密度测定方法进行测定^[10]。

振实密度 ρ_p :参考 GB/T 21354—2008 中振实密度测量通用方法进行测定^[11]。

1.2.5 持水力测定

准确称取 1.000 g 微粉样品,置于 100 mL 烧杯中,加蒸馏水 40 mL,振荡 24 h,然后在 3 500 r/min 离心 30 min,倾去上清液,擦干管壁附着的水分,称其质量^[12]。持水力计算公式如下:

$$\text{持水力}/(\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (2)$$

式中: m_1 为干样品质量,g; m_2 为湿样品质量,g。

1.2.6 持油力测定

持油力测定与持水力测定方法相同,仅将 40 mL 蒸馏水改为 40 mL 大豆油。

1.2.7 吸湿性测定

精确称取 1.000 g 微粉放置于已称重的干燥铝盒中,将铝盒放置在盛有饱和氯化钠溶液(环境相对湿度 75.5%)的玻璃干燥器中,保存 7 d^[13]。吸湿性计算公式如下:

$$\text{吸湿性}/\% = \frac{\Delta m}{m} \times 100 \quad (3)$$

式中: Δm 为样品质量的变化,g; m 为样品中干物质质量,g。

1.2.8 溶解性测定

称取一定质量的样品,均匀分散在水中,样品和水的比例为 0.02:1(1 g 溶于 50 mL 的蒸馏水中),在 80 ℃ 下水浴震荡 30 min。然后以 3 500 r/min 速度离心 15 min,将上清液置于 105 ℃ 下烘至恒重^[14]。计算公式如下:

$$\text{溶解性}/\% = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (4)$$

式中: m_1 为样品的质量,g; m_2 为上清液烘干后的质量,g。

1.2.9 溶胀度测定

准确称取 1.000 g 样品于 25 mL 量筒中,记录样品体积,加入蒸馏水 20 mL,振摇使其均匀分散,置于 25 ℃ 的水浴锅恒温,24 h 后记录充分溶胀后的物料体积^[15]。溶胀度计算公式如下:

$$\text{溶胀度}/(\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{V_2 - V_1}{m} \quad (5)$$

式中: m 为样品的质量,g; V_1 为加水前样品的体积,mL, V_2 为充分溶胀后样品的体积,mL。

1.3 数据分析

不同样品各项物化特性分析结果均采用 SPSS 软件进行分析,多重检验 $P < 0.05$,数值以均值 \pm 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 红小豆微粉粒径、比表面积分析

红小豆微粉粒径、比表面积和离散度分析结果见表1。从表1可知,红小豆粗粉经过7 min 超微粉碎后,平均粒径减小到 $28.24 \pm 1.18 \mu\text{m}$,即达到超微粉级别,表明物料所受的机械作用非常

剧烈,对红小豆全粉有着较好破碎作用^[12]。随着红小豆全粉粒径的减小,物料的比表面积增大4倍以上,比表面积的变化则可能影响到物料对水等物质的吸收作用,从而改变样品的各种物化特性。离散度越小表示粒度分布范围越窄,过大和过小的颗粒越少,粒径越集中。根据计算的离散度值可知,超微粉碎7 min 时,粒径的离散度较大,表明超微粉碎尚不完全,粒径分布还不均匀,到粉碎至14~21 min 时,离散度显著减小,超微粉碎程度较高,颗粒更均匀。

表1 红小豆微粉粒径相关参数

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}		
红小豆粗粉	46.17 ± 2.82^a	237.35 ± 3.65^a	748.49 ± 29.65^a	0.17 ± 0.02^d	2.98 ± 0.12^a
红小豆微粉 I	14.59 ± 2.03^b	28.24 ± 1.18^b	95.65 ± 9.62^b	0.53 ± 0.04^c	2.87 ± 0.29^a
红小豆微粉 II	10.16 ± 1.34^c	21.41 ± 1.09^c	57.48 ± 2.17^c	0.61 ± 0.02^b	2.21 ± 0.15^b
红小豆微粉 III	6.10 ± 1.18^d	14.60 ± 2.17^d	36.51 ± 2.99^c	0.72 ± 0.03^a	2.12 ± 0.44^b

2.2 红小豆微粉色泽分析

红小豆微粉色泽分析结果见表2。从表2可知,与粗粉相比,随着粉碎时间的延长,红小豆微粉的 L^* 值和 a^* 值增大, b^* 值减小。红小豆皮中富含酚类化合物,呈现一定的红色。随着粉碎时间的延长,微粉粒径减小,红小豆仁中的主要成分淀粉和蛋白质也显露出来,不同颜色的颗粒间混合更均匀,微粉颜色更为白亮,红色也未明显表现出来,微粉颜色更均匀^[2,12]。

表2 红小豆微粉色泽分析

样品	色泽		
	L^*	a^*	b^*
红小豆粗粉	84.13 ± 1.32^b	2.00 ± 0.35^c	7.20 ± 0.10^a
红小豆微粉 I	86.77 ± 0.12^a	2.04 ± 0.03^{bc}	6.03 ± 0.05^b
红小豆微粉 II	86.97 ± 0.23^a	2.34 ± 0.08^{ab}	5.31 ± 0.07^c
红小豆微粉 III	87.50 ± 0.08^a	2.52 ± 0.04^a	5.11 ± 0.06^d

2.3 红小豆微粉综合特性分析

红小豆微粉综合特性分析结果见表3。从表3可知,随着粉碎时间的延长,红小豆微粉的休止角和滑角均呈现逐渐增大的变化趋势。随着粉体粒径减小,颗粒的比表面积增大,颗粒间的引力和粘着力增加,使微粉的粉体流动性减弱^[16]。随着超微粉碎时间的延长,红小豆微粉的松装密度和振实密度均逐渐减小。相同质量的微粉由于粒径减小,颗粒间的空间更大,能够夹带更多的空气,粉体间空气增多,密度变小,与粗粉相比更为蓬松,松装密度和振实密度均小于粗粉^[12]。

表3 红小豆微粉综合特性分析

样品	休止角 $/^\circ$	滑角 $/^\circ$	松装密度 $/(\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$	振实密度 $/(\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$
红小豆粗粉	40.87 ± 3.00^b	51.17 ± 4.41^b	0.88 ± 0.02^a	1.05 ± 0.02^a
红小豆微粉 I	44.83 ± 1.89^{ab}	62.13 ± 4.99^a	0.55 ± 0.03^b	0.71 ± 0.03^b
红小豆微粉 II	46.37 ± 3.43^a	65.83 ± 3.12^a	0.50 ± 0.02^c	0.57 ± 0.09^c
红小豆微粉 III	48.47 ± 3.09^a	67.83 ± 4.04^a	0.49 ± 0.02^c	0.59 ± 0.01^c

2.4 红小豆微粉加工特性分析

红小豆微粉加工特性分析结果见表4。从表4可知,与粗粉相比,当粉碎时间为7 min 时,红小豆微粉的持水力和持油力降低不显著,继续粉碎,所得微粉持水力和持油力均显著降低。随着粒径减小,粉体比表面积增大,增加了颗粒与水和油的接触面积以及作用力,从而可以吸附和束缚更多的水和油。另一方面,粒径减小,样品内部的多孔网状结构破坏,膳食纤维结构受到破坏,长链断裂,其中的可溶性成分溶出,对水和油的滞留能力也会降低^[17]。

随着粉碎时间的延长,与粗粉相比,红小豆微粉的吸湿性、溶胀度和溶解性均呈现先升高后降低的变化趋势。随着粉体粒度的减小,粉体的比表面积增加,增加了与水分子的接触面积,又缩短了水分子进入粉体中心的距离,使得吸湿量增加。随着微粉粒径的进一步减小,强烈的冲击、碰撞、摩擦作用使得样品内部的多孔网状结构被破坏,导致微粉滞留水分的能力降低,从而吸湿性降低^[18]。微粉的粒径减小,暴露出更多的亲水基团,微粉颗粒吸水膨胀产生更大的容积,使其溶胀度升高。而随着粒径越来越

越小,细胞被破碎使粉中的水溶性成分更易溶出,物料中大分子物质长链断裂,对水分的束缚和吸附能力降低,导致溶胀度降低^[19]。这与郭婷等^[15]在微粉化对豌豆粉理化性质的影响的研究中关于溶胀度的结果不一致,分析原因是因为本实验中红小豆微粉是带皮粉碎。红小豆皮的主要成分是纤维素,红小豆皮也是最不易粉碎的部位,因此在本实验中超微粉碎的最初阶段(超微粉碎时间7~14 min左右)

主要是纤维素颗粒在微小化,从而改善样品对水的吸附与束缚作用^[2]。另外,随着粒径的细化,红小豆微粉粉体与水的接触面积相应增加,有利于水溶性成分更充分的溶解,样品溶解性显著高于粗粉。但当粉碎程度继续增加时,颗粒间相互作用力增强,微粒中会发生部分颗粒的重新聚集和新表面的形成,从而影响可溶性成分向溶液的扩散,使水溶性降低^[15,20]。

表4 红小豆微粉加工特性分析

样品	持水力 /(g·g ⁻¹)	持油力 /(g·g ⁻¹)	吸湿性 /%	溶胀度 /(mL·g ⁻¹)	溶解性 /%
红小豆粗粉	1.81 ± 0.09 ^a	1.22 ± 0.01 ^a	5.41 ± 0.59 ^b	6.46 ± 0.45 ^b	10.77 ± 0.23 ^b
红小豆微粉 I	1.65 ± 0.12 ^{ab}	1.16 ± 0.04 ^a	6.08 ± 0.35 ^a	7.05 ± 0.35 ^{ab}	14.87 ± 2.97 ^a
红小豆微粉 II	1.59 ± 0.15 ^b	1.06 ± 0.01 ^b	6.03 ± 0.42 ^a	7.51 ± 0.26 ^a	17.52 ± 0.32 ^a
红小豆微粉 III	1.55 ± 0.06 ^b	1.03 ± 0.06 ^b	5.46 ± 0.05 ^b	6.95 ± 0.24 ^b	15.99 ± 0.42 ^a

3 结论

红小豆粗粉经过超微粉碎处理7 min后,平均粒径减小到28.24 ± 1.18 μm,达到超微粉级别。随着超微粉碎时间的延长,红小豆微粉的平均粒径进一步减小,比表面积增大,离散度减小,微粉颗粒大小更均匀,颜色更白亮,更均匀。

与粗粉相比,红小豆微粉的休止角和滑角均增大,微粉的粉体流动性减弱。红小豆微粉堆积更蓬松,松装密度和振实密度均小于粗粉。

随着超微粉碎时间的延长,红小豆微粉的持水力和持油力逐渐降低,吸湿性、溶胀度和溶解性均呈现先升高后降低的变化趋势。当超微粉碎处理时间为14 min时,所得红小豆微粉溶胀度和溶解性均达到最大值,吸湿性达到较高水平,加工特性最佳。超微粉碎处理可以显著改善红小豆全粉的颗粒均匀性、颜色均匀性、吸湿性、溶胀度、溶解性等物化特性。

参考文献:

- [1]李家磊,姚鑫森,卢淑雯,等. 红小豆保健价值研究进展[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(2): 12-15.
- [2]张波,薛文通. 红小豆功能特性研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 264-266.
- [3]武晓娟,薛文通,张惠. 不同品种红小豆的品质评价研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(9): 20-24.
- [4]于章龙,段欣,武晓娟,等. 红小豆功能特性及产品开发研究现状[J]. 食品工业科技, 2011, 32(1): 360-363.
- [5]Martinez Bustos F, Lopez Soto M, SanMartin Martinez E, et al. Effects of high energy milling on some functional properties of Jicama starch and Cassava starch[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(4): 1212-1220.
- [6]Zhao X Y, Yang A 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.
- [7]Liu T Y, Ma Y, Yu S F, et al. The effect of ball-milling treatment on structure and porosity of maize starch granule[J]. Innovative Food & Emerging Technologies, 2011, 12(4): 586-593.
- [8]高帅. 超微粉碎技术在食品工业中的应用和发展前景[J]. 广州化工, 2014, 42(11): 35-37.
- [9]郭武汉,关二旗,卞科. 超微粉碎技术应用研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2015, (5): 38-40.
- [10]GB/T 20316.2—2006,普通磨料堆积密度的测定第2部分:微粉[S]. 北京:中国标准出版社,2006:1-6.
- [11]GB/T 21354—2008 振实密度测量通用方法[S]. 北京:中国标准出版社,2008:1-7.
- [12]李状,朱德明,李积华,等. 振动超微粉碎对毛竹笋干物化特性的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 259-263.
- [13]毕金峰,陈瑞娟,陈芹芹,等. 不同干燥方式对胡萝卜微粉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 135-141.
- [14]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.
- [15]郭婷,孙宝国,汪丽萍,等. 微粉化对豌豆粉理化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 67-70, 75.
- [16]范明月,吴昊,张宏斌,等. 超微南瓜粉物化特性及抗氧化活性的研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 67-71.
- [17]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, 32(8): 5-8.
- [18]安静林,张兆国,刘坦. 不同粒径南瓜粉体的营养成分溶出与理化特性研究[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(7): 111-114.
- [19]杨芙莲,闫琳,王玉英. 超微粉碎对甜荞麦麸皮物理特性影响[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(2): 21-23.
- [20]郑慧,王敏,于智峰,等. 超微粉碎对苦荞麸功能特性的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 258-262. 