

李苏红, 邓超群, 代增君, 等. 不同研磨方式对小米粉理化特性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(1): 47-53.

LI Suhong, DENG Chaoqun, DAI Zengjun, et al. Effect of different grinding methods on the physicochemical properties of millet flour[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(1): 47-53.

不同研磨方式对小米粉理化特性的影响

李苏红¹, 邓超群¹, 代增君², 王晓颖², 刘鹏¹, 岳佳豪¹, 赵起越¹, 李拖平¹

(1. 沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110161; 2. 丹东希悦鸭绿江食品有限公司, 辽宁 丹东 118000)

摘要: 小米与大米、玉米和小麦等其他谷物相比具有优越的营养特性, 是组成现代食品多样化中重要的一部分。为了研究不同研磨方法对小米粉理化性质的影响, 分别采用直接粉碎、球磨以及湿磨的方法对原料进行处理, 用 Mastersize 2000 激光粒度仪检测 3 种处理方式下小米粉的粒径, 分析小米粉的散落性, 并利用快速黏度分析仪 (RVA) 分析 3 种处理下小米粉的糊化特性。结果表明: 3 种研磨方式所获得的小米粉粒径差异显著, 其中湿磨处理方式得到的小米粉平均粒径最小, 为 19.88 μm , 直接粉碎制得小米粉的平均粒径最大, 为 34.424 μm 。3 种研磨方式中湿磨处理后的小米粉休止角最小, 但滑角无明显变化。小米粉的堆积密度和持油性受其粒径大小影响并与其成反比关系。而滑角、休止角和持水性则随小米粉粒径减小先增大后减小。不同研磨方式获得的小米粉颜色略有差异, 其中球磨和湿磨制得小米粉 L* 值较高。不同研磨方式处理的小米粉糊化特性存在差异。RVA 分析结果显示, 与直接粉碎、球磨相比, 湿磨小米粉具有更高的峰值黏度。综上所述, 湿磨在加工过程中可以减小小米粉粒径, 使淀粉颗粒损伤较小, 理化性质变化较小, 对小米加工食品产业发展具有重要意义。

关键词: 研磨方式; 小米粉; 理化性质

中图分类号: TS213.2

文章编号: 1000-1700(2024)01-0047-07

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Different Grinding Methods on the Physicochemical Properties of Millet Flour

LI Suhong¹, DENG Chaoqun¹, DAI Zengjun², WANG Xiaoying², LIU Peng¹,
YUE Jiahao¹, ZHAO Qiyue¹, LI Tuoping¹

(1. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2. Dandong Xiyue Yalujiang Foods Co.,
Dandong Liaoning 118000, China)

Abstract: Millet has superior nutritional properties compared to other grains such as rice, maize and wheat, and is an important part of the diversity of modern foods. In order to study the effect of different grinding methods on the physicochemical properties of millet flour, this experiment used direct crushing, ball milling and wet milling methods to treat the raw materials, analyzed the dispersion and the particle size of the processed millet flour with the Mastersize 2000 laser particle sizer. The pasting characteristics of three processed millet flour were also investigated using a rapid viscosity analyzer (RVA). The results showed that a significant difference existed in the particle size of the millet flour obtained from the three different milling methods, in which the average particle size of the millet flour obtained from the wet milling treatment method was the smallest, 19.88 μm , and the average particle size of the millet flour obtained from the direct pulverization was the largest, 34.424 μm . The angle of repose of millet flour with wet milling treatment was the smallest

收稿日期: 2023-11-20

基金项目: 辽宁省教育厅服务地方项目(LSNFW202002)

第一作者: 李苏红(1968-), 女, 博士, 教授, 从事粮油全值加工与利用研究, E-mail: Leesuhong@126.com

通信作者: 李拖平(1967-), 男, 博士, 教授, 从事农产品加工与贮藏研究, E-mail: Litp@syau.edu.cn

among the three different milling methods, while the angle of slip changed insignificantly. The packing density and oil-holding capacity of millet flour were negatively affected by its particle size. The slip angle, angle of repose and water-holding capacity, on the other hand, increased and then decreased with the decrease in the particle size of millet flour. The color of millet flour with different milling methods varied slightly, with higher L^* values obtained from ball milling and wet milling. The pasting characteristics of millet flour also varied by the type of milling method used, and the results of the RVA analysis showed that wet milled millet flour had a higher peak viscosity compared to direct pulverization and ball milling. In summary, wet milling in the processing process reduces the particle size of millet flour at the same time, as well as the damage to the starch particles smaller, and then makes its physicochemical properties change less, which is of great significance for the future development of millet processing food industry.

Key words: grinding method; millet powder; physical and chemical properties

小米是世界主要谷物之一,是人类食物的主要来源。小米又称粟米,在我国北方大约有 8 000 多年种植历史^[1]。其营养价值丰富,含有多种人体不可或缺的碳水化合物、蛋白质、脂肪、维生素、黄酮、多酚、低聚糖等功能活性物质^[2],且易于被人体吸收,消化率在 90% 以上^[1]。有研究报道,小米含有对抗慢性疾病的所有营养素和植物化学物质,具有降血压降血脂等功效^[3]。由于小米被认为是营养安全的有效食品之一,因此了解其营养物质的生物可利用性和最终生物利用度至关重要。日常生活中小米最常见的食用方式是煮小米粥,近年来,由于其优越的营养特性,人们已经开始逐步研发以小米加工制成的产品,如小米锅巴等。但相对于小麦、大米等其他产品而言,市场上小米加工食品仍然有限,这导致小米的使用消费降低。通过将小米研磨成粉,可以代替部分或者完全代替小麦粉,实现小米在面条、馒头、饼干、蛋糕和面包等食品中的应用,也可以制作小米饮料和酥片零食^[4],进而提高小米的利用率,增加小米食品种类的丰富度。

小米通过研磨制成小米粉,研磨分为干磨和湿磨。湿磨对粉体破损程度较小,所以是目前最常见生产米粉前处理方式,其包括浸泡、沥干和研磨等步骤^[5]。球磨是超微粉碎的一种,在食品加工过程中非常普遍^[6],已经广泛应用于食品和材料制作领域^[7],是一种将原材料与球磨介质一并放置球磨机中的研磨方式,在机械力的作用下,原料与球磨介质发生碰撞,进而形成粉末的方式,具有反应条件温和、能耗低和低污染的优点。小米营养虽然丰富,但在加工过程中受粉碎方式影响导致其产品品质也不相同。有研究表明,研磨程度可以改变小米总体的化学成分,对受损淀粉含量、淀粉颗粒状态、糊化温度等理化性质均有显著影响,还会降低多酚、植酸、维生素、矿物质和抗营养因子含量,提高蛋白质和淀粉消化率^[8]。粉体的品质特性包括粒径、持水性、持油性、色度和糊化特性等性质,这些特性会直接影响到其食品的加工特性和成品的口感及颜色^[9]。小米粉的研磨方式也会影响到小米加工制品的食用品质^[5]。

为探究不同研磨方式对小米粉理化性质的影响,本试验采用直接粉碎、球磨和湿磨 3 种不同研磨方式处理小米,将 3 种不同研磨处理获得的小米粉进行粒径检测,分析小米粉持水性和持油性、散落性、色度和糊化特性等理化性质指标,为小米粉加工利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试小米为市售金苗小米,精米日期为收获次年的 5 月。试验采用的相关仪器设备包括 DE-150g 全铜万能粉碎机、英国 Malvern 公司产 Mastersizer 2000 型激光粒度仪、澳大利亚 Perten 仪器公司产 RVA-Tecmaster 快速黏度分析仪、弗里奇股份有限公司产 06.2000/04565 型搅拌式球磨机、柯尼卡美能达有限公司产 CM-2003d 型分光测色计。

1.2 方法

1.2.1 小米粉的制备 直接粉碎小米粉制备:采用多功能粉碎机对小米进行研磨,经过 100 目标准筛筛分,得到直接粉碎小米粉。湿磨小米粉制备:取 50 g 小米粉放入烧杯中,量筒称取 100 mL 蒸馏水置于烧杯中,将小米浸泡 24 h,浸泡后过滤除去水分,浸泡后的小米粉用多功能粉碎机进行研磨,研磨后

的小米粉置于50℃烘箱,干燥24 h。球磨小米粉制备:将直接粉碎制得小米粉于球磨机研磨罐中,球磨时间为4 h,转速为300 r·min⁻¹,球料比为2:1,得到球磨小米粉。

1.2.2 小米粉粒径分布和平均粒径测定 取一定量小米粉于Mastersize 2000激光粒度仪中,测出粉体的粒径以及粒径分布情况,采用仪器自带的分析软件进行数据处理^[10],粒径测量范围为0.01~2 000.00 μm。

1.2.3 小米粉散落性分析

1.2.3.1 滑角 称取不同研磨方式制得的小米粉3 g,放置于10 cm×10 cm平板上,将平板倾斜至约90%,小米粉开始滑动为止,测定玻璃板与起始面的夹角,即为各样品的滑角^[11]。

1.2.3.2 休止角 采用休止角注入法^[12]。将小米粉倒入漏斗内,使小米粉通过漏斗落在下方半径(r)为10 mm的平板上,粉体堆积,直至粉体高度不再升高为止。读出粉体高度(h),按公式计算休止角(θ)。

$$\theta = \arctan \frac{h}{r}$$

1.2.3.3 堆积密度 将小米粉从漏斗上落至10 mL的量筒中,测定出10 mL小米粉的重量,从而计算出堆积密度(g·mL⁻¹)。

1.2.4 小米粉持水性、持油性的测定 取1 g小米粉置于50 mL离心管中,加入30 mL蒸馏水,振荡30 min,3 500 r·min⁻¹离心30 min,计算其持水性 Q 。

$$Q = (m_1 - m_3 - m_2) / m_2 \times 100\%$$

式中: m_1 为离心后去掉上清液样品和离心管的质量(g); m_2 为样品粉末的质量(g); m_3 为离心管质量(g)。

取1 g小米粉置于50 mL离心管中,加入30 mL大豆油,37℃保温并静置1 h,4 000 r·min⁻¹离心15 min,将上清液回收,并将离心管倒置20 min,计算其持油性 L 。

$$L = (W_1 + W_3 - W_2) / W_1 \times 100\%$$

式中: W_2 为离心后去掉上清液样品和离心管的质量(g); W_1 为样品粉末的质量(g); W_3 为离心管质量(g)。

1.2.5 小米粉色度的测定 使用CM-2003d分光测色计测定不同粒径小米粉色度,将小米粉均匀平铺于测试皿中,固定好后,运行程序自动计算色度值。每个样品重复测定3次^[13]。

1.2.6 小米粉糊化特性的测定 糊化特性通过快速黏度分析仪(RVA)测定,准确称取3.5 g小米粉和25 g去离子水于RVA专用铝盒中,充分混匀结块和粘壁,然后于黏度仪中测试黏度。具体测试程序为:5℃下保持1 min,以12℃·min⁻¹的速率升至95℃并保持2.5 min,再以12℃·min⁻¹的速率降至50℃并保持2 min^[14]。

2 结果与分析

2.1 不同研磨方式对小米粉粒径的影响

粒径是指粉体的粗细程度,在一定程度上影响小米粉的品质特性。由图1A可知,不同研磨方式对小米粉平均粒径影响显著($p < 0.05$)。其中湿磨制得小米粉平均粒径最小,为19.880 μm;直接粉碎制得小米粉的平均粒径最大,为34.424 μm;直接粉碎制得小米粉经球磨后平均粒径由34.424 μm减小至

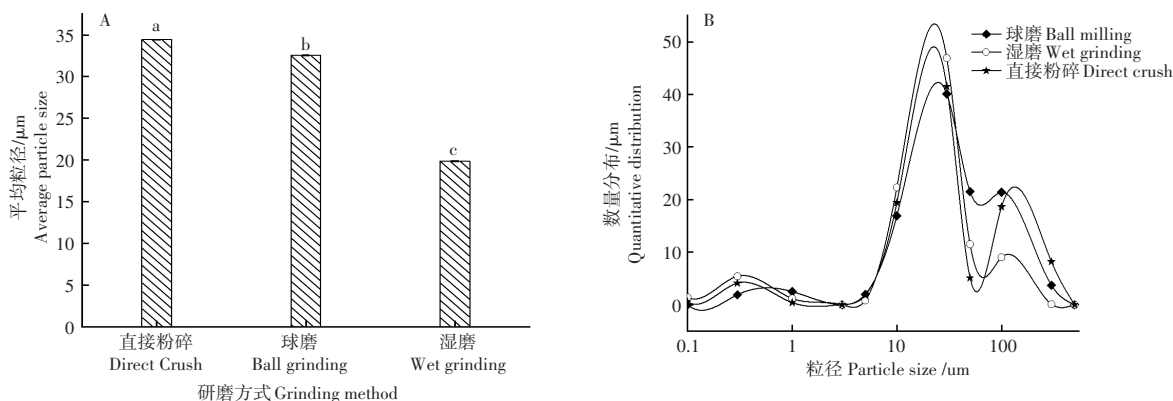


图1 不同研磨方式对小米粉平均粒径(A)和粒径分布(B)的影响

Figure 1 Effect of different grinding methods on the (A) average particle size and (B) particle size distribution of millet flour

32.534 μm 。这一结果表明湿磨可以更大程度地降低小米粉的粒径。湿磨制得小米粉粒径最小,是因为浸泡后小米软化,容易粉碎。

粒径分布是指在一定颗粒总量下,不同粒径颗粒所占比例的分布情况。由图 1B 可知,小米粉粒径分布呈三峰曲线变化,不同研磨方式对小米粉粒径分布具有显著影响。粒径分布能够显著影响谷物粉的吸水率、破损淀粉含量以及感官品质。

2.2 不同研磨方式对小米粉散落性的影响

休止角和滑角是表征粉体流动性的两个重要参数。滑角是指粉体流动时与水平面形成的夹角,是粉体流动时的内摩擦力和表面摩擦力的综合效应。休止角是指粉体堆积层的自由斜面与水平面所形成的夹角。休止角同样与粉体的摩擦力有关,休止角越小,摩擦力越小,表面粉体流动性越好。由图 2A 可知,不同研磨方式处理小米粉的滑角未见显著差异。3 种研磨方式中湿磨休止角最小,其次是直接粉碎,最后是球磨,表明湿磨制得小米粉流动性更好($p < 0.05$)。休止角的变化与小米粉粒径相关,粒径越小,休止角越小。

除此之外,堆积密度也是衡量粉体流动性的重要指标。堆积密度是粉体颗粒内外孔以及颗粒间空隙的平均密度,是处于自然状态的小米粉测得^[11]。粉体堆积密度与其压缩性有关,堆积密度越大,越容易压片成型^[15]。堆积密度越大也表明小米粉的颗粒空隙越小,其均匀性越好^[16]。由图 2C 可知,不同研磨方式对小米粉堆积密度影响显著($p < 0.05$)。其中湿磨制得小米粉堆积密度最大,是因为其粉体粒径小,比表面积大;其次是直接粉碎和球磨处理。小米粉粒径越小,堆积密度越大。除此之外,在研磨过程中碳水化合物和蛋白质的破坏也会导致堆积密度降低。

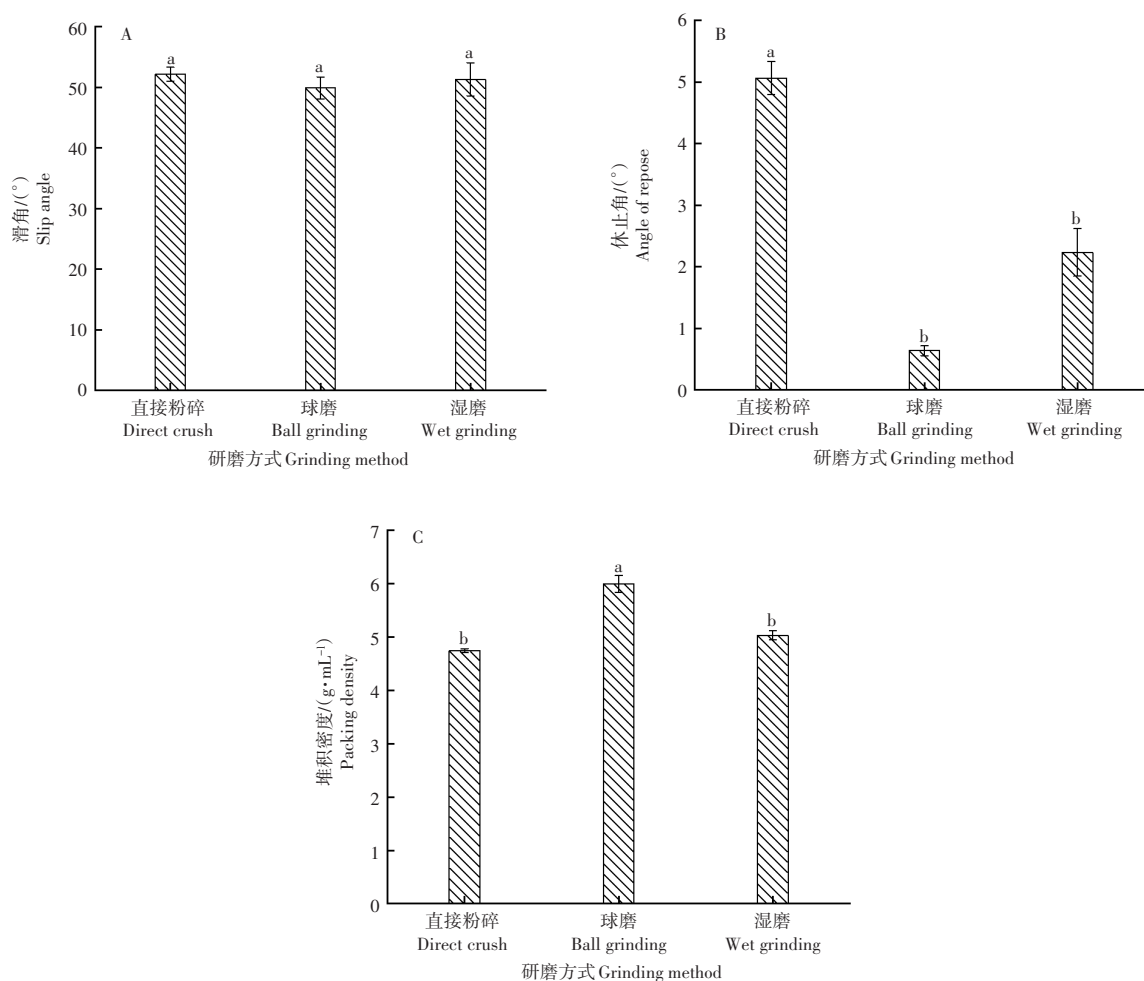


图2 不同研磨方式对小米粉的散落性影响(A.滑角;B.休止角;C.堆积密度)

Figure 2 Effect of different grinding methods on the dispersibility of millet flour (A. Slip angle; B. Angle of repose; C. Packing density)

2.3 不同研磨方式对小米粉持水性、持油性的影响

持水性是体现粉体中淀粉颗粒间结合强度的重要指标,影响粉体质量和应用性能。持水性越大,其结合越松散^[17]。持水性大小与其粉体粒径大小有关,也与大分子物质之间氢键和水的结合能力有关^[18]。由图 3A 可知,随着粒径减小,持水性先增大后减小($p < 0.05$)。

持油性是指谷物粉体中的蛋白质与油脂结合的能力。其大小也与粒径大小息息相关,由图 3B 可知,粒径越小,持油性越大($p < 0.05$)。粒径越小,粉体比表面积增大,从而导致湿磨制得小米粉持油性增加。

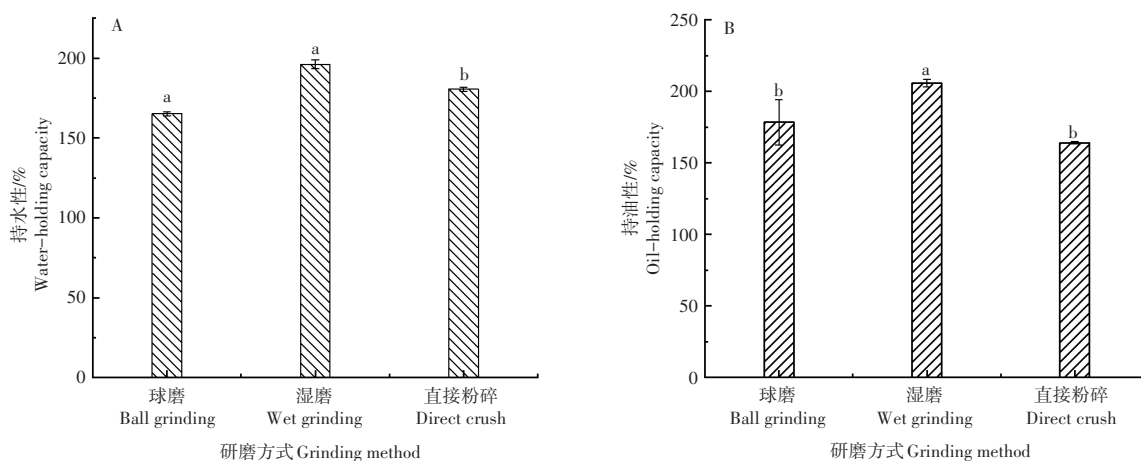


图3 不同研磨方式对小米粉持水性(A)和持油性(B)的影响

Figure 3 Effect of different grinding methods on water-holding capacity (A) and oil-holding capacity (B) properties of millet flour

2.4 不同研磨方式对小米粉色度的影响

色度是评价小米粉加工精度的重要指标。在一定程度上影响着面食的加工品质。粉体呈色会影响成品颜色,是重要的感官指标。色泽的改善有利于增加其商品价值及加工适应性。由图 4 可知,不同研磨方式对小米粉 a^* 值、 b^* 值和 L^* 值影响显著($p < 0.05$)。

ΔE 代表食品在加工过程中颜色的变化,有研究表明 $\Delta E=2$ 是视觉辨别的阈值,当 ΔE 小于 2 时,颜色变化不可见^[19]。由图 4 可知,3 种研磨方式制得小米粉在加工过程中颜色变化均可见。 L^* 值代表亮度,从黑暗($L^*=0$)到明亮($L^*=100$)的变化,值越大则表明小米粉越亮,直接粉碎、球磨和湿磨处理的 L^* 值分别为 89.91, 90.93, 90.31。 L^* 值越大的粉体,其食品制品颜色越亮。 a^* 值代表红度,负值代表绿色,正值代表红色。值越大表示待测小米粉越偏红色。球磨制得小米粉 a^* 值较低推测是因为研磨过程中机械力使淀粉产生了晶格缺陷,进而导致粉体的反射光降低^[20]。 b^* 值代表黄度,负值代表蓝色,正值代表黄色。从蓝色到黄色变化,其值越大代表粉体越接近黄色。由图 4 可知,湿磨制得小米粉更接近黄色。由于小米粉的研磨方式不同造成粒度不同,粒径越大,破坏程度越轻,其含量越多;粒径越小,细胞破坏越严重,色素大部分被破坏。因此,会出现不同粒径的米粉黄度 b^* 值的不同。湿磨制得小米粉粒径最小,但其 b^* 值最高是因为小米经过浸泡后研磨对细胞破坏程度较轻,色素含量多。除此之外,小米粉颜色还取决于其营养成分含量,例如脂肪、蛋白质和支链淀粉与支链淀粉比例。

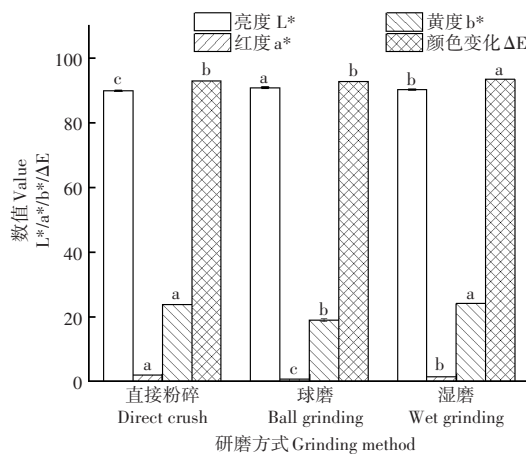


图4 不同研磨方式对小米粉的色度的影响

Figure 4 Effect of different milling methods on the chromaticity of millet flour

2.5 不同研磨方式对小米粉糊化特性的影响

粉体的糊化特性与淀粉颗粒有关,升温过程中淀粉颗粒会膨胀增大,淀粉分子大小形态、直链淀粉和支链淀粉比值、损伤淀粉程度和实验条件等都会对淀粉的糊化特性产生影响^[12],另一方面淀粉颗粒的膨胀也会受到其他化合物的影响^[21],例如蛋白质、脂肪等。黏度是反应粉体中淀粉品质的重要指标,测定淀粉黏度随温度的变化规律,可以更好地评估样品在面制品中的应用特性。由表 1 可知,不同研磨方式对峰值黏度、最低黏度和最终黏度有显著影响($p<0.05$)。

表 1 不同研磨方式对小米粉糊化特性的影响

Table 1 Effect of different grinding methods on the pasting characteristics of millet flour

研磨方式 Grinding method	峰值黏度/cP Peak viscosity	最低黏度/cP Trough viscosity	崩解值/cP Breakdown	最终黏度/cP Final viscosity	回生值/cP Setback	峰值时间/cP Peak time	糊化温度/°C Peak temperature
球磨 Ball grinding	3 783±3 ^c	869±5 ^c	2 914±6 ^a	2 418±8 ^c	1 549±5 ^a	4.00±0.10 ^a	76.8±4.0 ^a
湿磨 Wet grinding	3 933±6 ^a	1 556±2 ^a	2 377±2 ^c	3 046±2 ^a	1 490±9 ^c	4.13±0.20 ^a	75.0±3.0 ^b
直接粉碎 Direct crush	3 840±2 ^b	942±2 ^b	2 898±8 ^b	2 486±4 ^b	1 544±2 ^b	4.00±0.10 ^a	76.9±2.0 ^a

峰值黏度是淀粉开始糊化并达到黏度峰值的状态值,与淀粉颗粒大小,支链淀粉含量有关。峰值黏度过低,导致面团发黏,做面制品时发酵性能和面食品质差。小米粉粒径越小达到峰值时间越长。湿磨达到峰值时间最长,糊化温度最低,小米粉粒度越小,越容易糊化,水分子更容易渗透到淀粉颗粒内部,淀粉可以更容易溶胀,所以粉体糊化温度越低。崩解值为溶胀淀粉颗粒破裂程度,反应淀粉糊的热稳定性,崩解值越大淀粉的热稳定性越差,湿磨获得小米粉崩解值最小,说明其淀粉的热稳定性较好。回生值的大小反应了粉体的抗老化程度,回生值越小粉体抗老化性能越好,粉体抗老化性高更适合作烘焙食品。湿磨制得小米粉的回生值显著低于直接研磨和球磨制得小米粉,由此可以看出,湿磨可以提高粉体的加工性能。黏度特性之间的差异可能会影响到最终产品特性,因此,适当的降低原料粒度对小米面制品品质有益处。

3 讨论与结论

与球磨和直接粉碎相比,湿磨可以显著降低粉体粒径,提高粉体的持水性、持油性和糊化特性,降低粉体休止角、堆积密度,使粉体流动性和均匀性更好。这些特性直接影响小米粉的加工特性以及食品的感官性质,粉体粒径越小其成品口感越细腻。也有研究表明小米粉的糊化特性与凝胶特性受粉体粒径大小的影响,粒径越小影响越大^[22]。小米粉堆积密度随粒径先增大后减小,沈建锋等^[23]对稻壳粉堆积密度的研究得出相同结论。魏春红等^[24]研究表明小米粉粒径大小会影响小米馒头硬度和比容,粒径越小,馒头硬度越大,比容越小。王兆然等^[25]研究表明小米粉粒度会影响小米蛋糕的质构特性和感官品质。CHEN 等^[26]报道粉体颗粒较小时,其淀粉具有较大的凝胶强度,可加工性更高。小米粉的持水性和持油性直接影响其面团的口感与质地,进而影响其制品的感官品质。小米粉的持水性越大,其制品会更加柔软有弹性,持油性越大,小米粉中油脂更容易分散,进而使其制品口感更细腻,柔软,并且可以延长小米制品保质期。仲虹霖等^[20]研究表明,添加持水性和持油性大的粳米粉对面包品质具有积极影响。糊化特性与淀粉性质关系密切,淀粉性质直接影响食品品质,峰值黏度低的粉体发酵时导致面团发黏,崩解值大的粉体中热稳定性越好其制作食品烘焙过程中不易烤焦,回生值低的粉体抗老化性能较好,其制作成食品不易变硬,保存时间较长。小米粉的色度会影响其制品呈色,直接影响消费者的满意程度。湿磨、旋风磨和超微粉碎 3 种制粉方式对大米粉及其无麸质面包特性的影响研究表明,湿磨的制粉方式使大米粉理化性质较好,进而使其制作出的大米面包拥有最大的比容和最高的感官评分^[27],因此在制作小米面包时,通常选择湿磨的研磨方式。不同研磨方式对荞麦粉理化性质的研究中得出同样结论^[28]。研磨方式不同,小米粉理化性质不同,因此可以根据食品特性选择合适的研磨方式。

本试验研究了3种研磨方式对小米粉理化性质的影响,由于研磨力、强度等条件的影响,小米粉理化性质随之改变。与球磨和直接粉碎相比,湿磨具有最低的平均粒径。湿磨法制得小米粉持水性和持油性显著增大,堆积密度随粒径先减小后增大,休止角变化则与之相反,湿磨制得小米粉休止角最小,表明其流动性更好。RVA测定表明,湿磨黏度高于球磨和直接粉碎,糊化温度低于球磨和直接粉碎。由于湿磨是先将谷物浸泡后再进行研磨,谷物浸泡后变软更容易研磨,并且减小了机械力对谷物的冲击,使平均粒径降低,改善其理化性质。湿磨可以改善和提高小米的各种加工性能及食用品质,这对小米和小米食品的研究、开发有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 刘宇杰,陈银焕,杨修仕,等.小米营养及功能成分研究进展[J].粮食与油脂,2020,33(5):1-3.
- [2] 刘建垒,常柳,段晓亮,等.小米营养成分及其贮藏加工稳定性研究进展[J].中国食物与营养,2022,28(3):55-62.
- [3] 郭宏亮,郭二虎,王军,等.浅析小米在功能性食品中的应用与开发前景[J].农牧产品开发,1999(8):41-43.
- [4] 张春晓.小米粉制备技术研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2016.
- [5] 高晓旭,佟立涛,钟葵,等.不同磨粉工艺对大米粉粉质特性的影响[J].现代食品科技,2015,31(1):194-199.
- [6] 董营.湿法研磨辅助制备淀粉-脂质复合物及其作用机制研究[D].泰安:山东农业大学,2023.
- [7] 张余,陈志宏,刘洋,等.球磨法制备芡实超微粉及其理化功能性质分析[J].食品与发酵工业,2024,49(23):1-9.
- [8] SRUTHINU,RAO P S.Effect of processing on storage stability of millet flour: A review[J].Trends in Food Science & Technology,2021,112:58-74.
- [9] 关娅楠.全麦粉实验磨粉方法的研究[D].郑州:河南工业大学,2023.
- [10] 胡永涛,刘钟栋,岑涛,等.小麦粉粒径分布的激光粒径仪分析方法研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2007(3):22-24.
- [11] 徐群英,吕庆云,常锦玉,等.不同粉碎粒度小米粉理化性质研究[J].粮食与油脂,2018,31(9):43-46.
- [12] 叶翌冬.超高压改性薏米粉及应用研究[D].福州:福建农林大学,2015.
- [13] 宋佳宁.不同粒径小米粉添加对馒头加工品质影响的研究[D].石家庄:河北经贸大学,2021.
- [14] 李少辉,生庆海,赵巍,等.不同粒径小米粉对面团流变特性及馒头质构特性的影响[J].食品科学,2022,43(16):98-106.
- [15] 蒋丽娜,张秀清,裴海生,等.超微粉碎对花椒籽粉品质特性的影响[J].食品工业科技,2023,44(17):1-13.
- [16] 王青霞.薏苡仁标志性成分检测及即食薏仁粉制备[D].无锡:江南大学,2018.
- [17] 张驰.发芽青稞熟粉的功能特性及其在烘焙食品中的应用研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [18] 倪立颖,张明,王崇队,等.超微粉碎时间对香菇粉特性的影响[J].中国果菜,2023,43(7):17-23.
- [19] 孙晓晓,刘敬科,赵巍,等.球磨改性对小米全粉理化特性及其面条品质特性的影响[J].食品科学,2023,44(9):39-46.
- [20] 仲虹霖,薛雯雯,巩瀚钰,等.添加大麦若叶粉对粳米粉面包的影响[J].现代面粉工业,2023,37(4):11-16.
- [21] 贺财俊,李怡,吴跃,等.小米糊化特性与碾磨程度的相关性分析[J].食品科学,2017,38(11):59-63.
- [22] 孙丽娟,胡学旭,张妍,等.不同粒径分布对全籽粒玉米粉糊化特性的影响[J].中国粮油学报,2022,37(5):32-38.
- [23] 沈建锋,朱曙光,刘心志,等.不同粒径稻壳粉堆积密度试验研究[J].可再生能源,2008(5):49-52.
- [24] 魏春红,李春辉,鹿保鑫,等.不同粒度小米粉性质及对馒头品质的影响[J].粮食与油脂,2017,30(7):65-68.
- [25] 王兆燃,李文钊,冯艺飞,等.粒度对小米粉特性和小米枸杞渣蛋糕品质的影响[J].食品工业科技,2019,40(13):40-45.
- [26] YANG Q,LUO Y,WANG H,et al.Effects of germination on the physicochemical, nutritional and in vitro digestion characteristics of flours from waxy and nonwaxy proso millet, common buckwheat and pea[J].Innovative Food Science & Emerging Technologies,2021,67:102586.
- [27] WU T,WANG L,LI Y,et al.Effect of milling methods on the properties of rice flour and gluten-free rice bread[J].LWT-Food Science and Technology,2019,108:137-144.
- [28] YU D,CHEN J,MA J,et al.Effects of different milling methods on physicochemical properties of common buckwheat flour[J].LWT-Food Science and Technology,2018,92:220-226.

[责任编辑 马迎杰]