

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.04.020

范美琪, 陈林, 权煜, 等. 低温超微粉碎对全麦粉面团品质特性的影响[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(4): 161-168.

FAN M Q, CHEN L, QUAN Y, et al. Effect of low temperature ultrafine grinding on the quality characteristics of whole wheat flour dough[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(4): 161-168.

低温超微粉碎对全麦粉 面团品质特性的影响

范美琪¹, 陈林¹, 权煜¹, 王成祥², 张美娜², 郝建雄¹✉(1. 河北科技大学 食品与生物学院, 河北 石家庄 050000;
2. 河北同福健康产业有限公司, 河北 石家庄 051430)

摘要: 为研究超微粉碎时间对全麦粉及面团品质特性的影响, 以小麦为原料, 采用低温直接粉碎法对全籽粒小麦进行超微粉碎处理, 考察了粒径对全麦粉的糊化特性、热机械学特性、面团流变学特性和面片色度、质构的影响。结果表明: 随着粉碎时间的增加, 全麦粉的粒径呈降低趋势, D50由107.20 μm降低到45.65 μm, 粒径分布更加集中。峰值黏度降低, 回生值由623.33 mPa·s降低到485.33 mPa·s, 因此, 减小粒径可延缓面团及制品的老化; 面片硬度也随粒径减小逐渐降低, 弹性、内聚力逐渐升高, 面团吸水率由65.7%增加至76.7%, 稳定时间呈上升趋势。小麦籽粒低温超微粉碎技术可以改善全麦粉的品质, 可应用于全谷物加工。

关键词: 全籽粒小麦; 面团; 超微粉碎; 粉碎粒径; 品质特性

中图分类号: TS211;S-3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)04-0161-08

网络首发时间: 2024-04-29 11:49:01

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240703.0933.001>

Effect of Low Temperature Ultrafine Grinding on the Quality Characteristics of Whole Wheat Flour Dough

FAN Mei-qi¹, CHEN Lin¹, QUAN Yu¹, WANG Cheng-xiang²,
ZHANG Mei-na², HAO Jian-xiong¹✉

(1. College of Food Science Biology, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050000, China 2. Hebei Tongfu Health Industry Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei 051430, China)

Abstract: In order to study the effect of ultrafine grinding time on the quality characteristics of whole wheat flour and dough, wheat was used as raw material and the whole grain wheat was ultra-finely ground by direct grinding method. The effects of particle size on the gelatinization characteristics, thermomechanical properties of whole wheat flour rheological properties of dough, color and texture of dough were investigated.

收稿日期: 2024-02-27

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFF1100504-05); 河北省农业科技成果转化资金项目(V1648647450672)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No.2022YFF1100504-05); Hebei Provincial Agricultural Science and Technology Achievement Transformation Fund Project (No.V1648647450672)

作者简介: 范美琪, 女, 2000年出生, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: 2530808799@qq.com

通信作者: 郝建雄, 男, 1979年出生, 博士, 教授, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: cauhyx@163.com

The results showed that with the increase of crushing time, the particle size of whole wheat flour decreased, and the D50 decreased from 107.20 μm to 45.65 μm . The particle size distribution was more concentrated. The peak viscosity decreased, and the setback value decreased from 623.33 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ to 485.33 $\text{mPa}\cdot\text{s}$. The reduction of particle size could delay the aging of dough and product. The hardness of dough gradually decreased with the decrease of particle size, and the elasticity and cohesion gradually increased. The water absorption rate of dough increased from 65.7% to 76.7%, and the stabilization time also showed an upward trend. The low-temperature ultrafine grinding technology of wheat grains can improve the quality of whole wheat flour, and it is feasible to apply this technology to the field of whole grain processing.

Key words: whole kernel wheat; dough; ultrafine grinding; ground particle size; quality characteristics

小麦在世界范围内广泛种植，是世界上主要粮食作物之一。广泛用于生产面粉^[1]、麦芽、啤酒^[2]和一系列烘焙产品^[3]，与仅由胚乳制成的精制面粉相比，全麦食品富含天然营养成分，是膳食纤维的最佳来源之一。然而，小麦麸皮因其纤维含量高、适口性差、感官形态等原因，限制了其在食品中的应用^[4]，常被用作动物饲料。例如，麦麸打破了连续和均匀的面团结构，并赋予了产品不受欢迎的颜色、体积和质地^[5]。全麦粉是备受关注的谷物产品，因其富含丰富的营养成分，有助于提供重要的营养素并改善消费者的饮食习惯^[6-7]。

全麦粉的制备工艺主要分为两种：一种是直接粉碎法，将未去除麸皮和胚的完整小麦直接粉碎得到全麦粉，这样可保留小麦籽粒的所有营养组分；另一种是回添法，即将麸皮、胚与胚乳分离，经过处理后按其在水小麦籽粒中的比例回添进面粉中^[8]。

目前，制作全麦粉可采用锤磨、石磨、凹口磨、超微粉碎等设备。其中，锤磨设备可有效控制全麦粉的粒径，生产效率较高，适合大规模生产。然而，锤磨过程可能会对全麦粉的维生素 B 族和膳食纤维产生一定程度的破坏；石磨制粉是一种传统的制粉方法，保留了麦粒的天然营养成分和自然风味，但其制粉过程产生大量热量，并且制得的全麦粉粒径较大；凹口磨可以有效将全麦粉粒径保持在理想范围内，生产效率高且质量稳定。然而，凹口磨设备精密复杂，维护成本和技术门槛较高。相比前者，本文所述的低温超微粉碎技术，工艺简单且投入设备较少，既可将麸

皮部分进行高效粉碎，又可良好控制温升^[9]，有利于提高食品原料的功能性，已广泛应用于食品加工中^[10-11]。刘芯羽^[12]将小麦籽粒进行超微粉碎制成全麦粉，并认为控制全麦粉的粒度有助于产品流变学特性的优化。程佳钰等^[13]认为超微粉碎对苦荞面条的蒸煮损失和质构特性有明显改善，同时延长了面团的稳定时间。Niu 等^[14]发现粒径更小的小麦粉面团的稳定时间更长，因此超微粉碎技术被认为是提升全谷物面团品质的有效方法。

综上所述，关于超微粉碎处理全籽粒小麦其全麦粉和面团品质影响方面的研究较少。本文采用低温超微粉碎技术对小麦籽粒直接粉碎得到不同粒径的全麦粉，进而研究超微粉碎技术对全麦粉及面团理化指标、品质特性的影响，以期在全麦制品的发展提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 主要实验材料

普通小麦粉（对照组）及全麦粉均来自：冀麦 418 小麦；实验用水均为去离子水。

1.2 仪器与设备

WZJ-6BI 低温超微破壁粉碎机：济南倍力粉体工程技术有限公司；TA-Xtplus 质构仪：英国 stable Micro System 公司；RVANTecMaster 快速粘度分析仪：PerkinElmer Company；Mars 40 流变仪：德国 HAAKE 公司；CR-400 色差计：柯尼卡美能达公司；BT-9300S 激光粒度仪：丹东百特仪器有限公司；Mixolab 混合试验仪：法国肖邦技术有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 全麦粉的制备

将小麦样品清洗除杂后烘干。每次称取 500 g 小麦放入超微粉碎机进料桶内, 设置的粉碎时间分别为 3、9、15、21 min, 并以此命名样品。温度为低温-10 °C。制备好的全麦粉样品放入 4 °C 冰箱中保存备用。

1.3.2 粒度分布

采用乙醇为介质用激光粒度分析仪在常规测试模式下测量了全麦粉的粒度分布^[15]。准确称量样品 1.0 g 分散在乙醇中。结果用 D10、D50 和 D90 表示。

1.3.3 糊化特性测定

采用快速粘度分析仪对不同粒度的全麦粉进行糊化性能测定。称取一定量的全麦粉测定其水分含量, 用 RVA-TecMaster 软件中的计算器根据水分含量计算所需样品和水的质量。将相应的样品和水置于 RVA 标准测量罐中, 盖上专用桨叶, 在实验前使用塑料桨手动均质, 以避免形成硬块。放入快速粘度分析仪中测定。测试程序为: 在初始温度 50 °C 下预热, 以 12 °C/min 的速率升温至 95 °C, 并持续加热 2.5 min 后, 以相同速率降温至 50 °C, 并保持 1 min。测得衰减值、峰值粘度、最低粘度、最终粘度、回生值、峰值温度和峰值时间。

1.3.4 流变学特性测定

将全麦粉与去离子水以 2:1 的质量比例 (w/w) 混合, 并在 3 min 内揉制成面团。用塑料薄膜包裹面团以减少蒸发, 在室温下静置 15 min 后取出, 进行多次压片处理。参考 Ishwarya 等^[16]的方法略有改动。使用 Mars 40 流变仪对面团进行动态流变学特性测试。实验测试采用缝隙直径 35 mm, 高度 1 mm 的系统。将面团在 1 h 内放入测试系统平板间, 用甘油封住平行边缘缝隙, 防止水分蒸发, 让其平衡松弛 5 min, 以减少残留的压力松弛对实验结果的影响。进行振荡频率扫描测定, 设定温度恒定为 30 °C。应变为 0.1%, 在 0.1~10 Hz 频率范围内进行测定。得到样品的储能模量和损耗模量, 每个样品做 3 次以上重复。

1.3.5 面片质构品质测定

使用 TA-XTplus 质构分析仪进行评估, 并使用仪器配套软件进行实验数据的记录与分析。每次实验样品分批准备, 以减小面团质地改变造成的误差。使用 P/5 探头, 测试前、中、后探头移动速度分别为 2.0、1.0 和 2.0 mm/s, 形变量为 75%, 触发力为 5.0 g, 两次压缩间隔 5 s, 加入一定比例的水和成面团, 经过压片机多次碾压后厚度约为 5 mm, 裁剪为长 10 cm、宽 1 cm 的面片, 放置于测试平台上进行测试。每种样品重复测试 6 次。

1.3.6 面片色度测定

采用 CR-400 色差仪测定面片颜色并读数。将经过压片机多次碾压后的面片, 裁剪成长 10 cm、宽 5 cm 的面片。颜色读数由 L^* , a^* 和 b^* 表示, L^* 代表面片的亮度, a^* 代表面片的红绿值, a^* 值为正是表示红色, b^* 代表面片的黄绿值, b^* 为正是表示黄色。测定前先用色差仪白板进行校正, 将面片用保鲜膜包裹后测定。

1.3.7 Mixolab 混合实验仪测定

测定使用 Mixolab 混合实验仪来测试全麦面团的热力学特性。采用 Chopin+ 标准测试法。首先, 测定样品的水分含量, 以此为基础, 预估样品的吸水率后给出加入面粉的质量, 程序运行: 以 80 r/min 的速度搅拌, 当扭矩 C1 的范围在 1.1 ± 0.05 Nm 时, 实验将继续进行。在 30 °C 下保温 8 min 后, 以 4 °C/min 的速率升温到 90 °C, 并在此温度下保持 7 min, 随后以相同的速率降温到 50 °C, 在此保持 10 min, 整个过程 45 min 左右, 每个样品至少 3 次重复。

1.4 数据处理

实验所得结果均为 3 次以上独立实验数据的平均值。使用 SPSS Statistics 27 和 Origin 2021 软件对数据进行分析 and 绘图, 实验结果的显著性差异为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 全麦粉粒径分布

通过粒度仪对全麦粉粒度测试结果如表 1 及图 1 所示: 随粉碎时间从 3 min 增加到 21 min, 全麦粉粒径整体上逐渐减小, D50 由 107.20 μm

降到 45.65 μm 。且超微粉碎时间越长，其粒径分布曲线图在数轴上越对称，从分布特征判定，随着粉碎时间的增加，尺寸分布更集中，大小更均匀，表明超微粉碎对粉体细化处理的均匀性较好。

表 1 各样品粒径测定结果
 Table 1 The results of the particle size determination of each sample μm

样品	D10	D50	D90
对照	25.85 \pm 0.74a	86.20 \pm 2.46b	178.23 \pm 3.75d
3 min	23.95 \pm 0.93b	107.20 \pm 1.42a	474.87 \pm 3.20a
9 min	18.96 \pm 0.18c	67.58 \pm 0.59c	319.07 \pm 1.53b
15 min	17.21 \pm 0.36d	53.90 \pm 1.16d	191.33 \pm 2.27c
21 min	15.26 \pm 0.26e	45.65 \pm 0.72e	158.17 \pm 0.95e

注：普通代表普通小麦粉，3 min、9 min、15 min、21 min 分别代表超微粉碎的时间。D10、D50、D90 分别表示小于或等于此粒径的颗粒体积含量分别占全部颗粒的 10%、50%、90%。同列数据中不同字母表示差异性显著 ($P<0.05$)，下同。

Note: Ordinary represents ordinary wheat flour, 3 min, 9 min, 15 min, 21 min represent the time of ultra-micro-milling, respectively. d10, d50, d90 represent the volume content of particles smaller than or equal to this particle size accounted for 10%, 50%, and 90% of all particles, respectively. Different letters in the same column of data indicate significant differences ($P<0.05$), the same below.

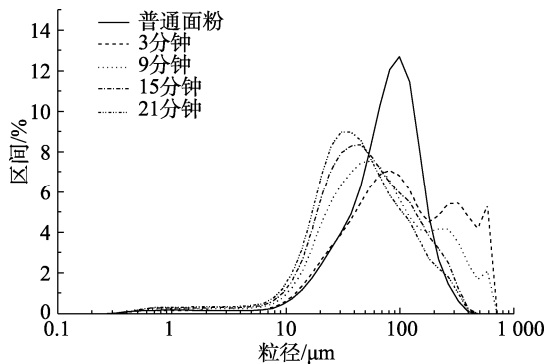


图 1 全麦粉粒径分布

Fig.1 Whole wheat flour particle size distribution

2.2 粒度改变对全麦粉糊化特性的影响

如表 2 所示，超微粉碎后的全麦粉峰值粘度、最低粘度和最终粘度与普通面粉相比均显著降低。

表 2 全麦粉粒度对糊化特性的影响

Table 2 Effect of grain size on gelatinization characteristics of whole wheat flour

样品	峰值粘度/mPa·s	最低粘度/mPa·s	衰减值/mPa·s	最终粘度/mPa·s	回生值/mPa·s	峰值时间/min	峰值温度/°C
对照	2 143.67 \pm 6.36a	1 454.00 \pm 6.03a	689.65 \pm 1.20a	2 608.60 \pm 11.47a	1 154.67 \pm 5.46a	6.13 \pm 0.04a	87.68 \pm 0.27a
3 min	833.33 \pm 11.67b	540.67 \pm 10.73b	292.67 \pm 4.48b	1 164.00 \pm 18.45b	623.33 \pm 10.90b	5.51 \pm 0.02b	87.75 \pm 0.23a
9 min	750.67 \pm 5.36c	449.33 \pm 2.85c	301.33 \pm 2.60b	958.00 \pm 6.51c	508.67 \pm 3.67c	5.47 \pm 0.00b	87.98 \pm 0.02a
15 min	720.33 \pm 10.71d	429.33 \pm 5.81d	284.33 \pm 11.72b	929.00 \pm 10.26c	499.67 \pm 5.46cd	5.45 \pm 0.02b	86.37 \pm 1.63a
21 min	705.00 \pm 5.57d	408.00 \pm 2.65e	297.00 \pm 3.00b	893.33 \pm 4.06d	485.33 \pm 1.45d	5.45 \pm 0.02b	88.30 \pm 0.55a

3 个粘度指标也随粉碎时间的增加而显著降低，峰值粘度由 833.33 mPa·s 显著下降至 705.00 mPa·s，通常情况下，峰值黏度较高的全麦粉会使得面条的口感更加顺滑。超微粉碎后使全麦粉粒径减小，粒径越小的全麦粉在测试中表现出的粘度值越低，这是因其淀粉颗粒更容易吸水膨胀，使得淀粉糊化程度更高。在糊化过程中，小粒径的淀粉颗粒更容易破裂，导致淀粉分子之间的相互作用力减弱，进而降低了糊化体系的粘度。与 Niu 等^[15]结果相似，研磨处理可引起淀粉颗粒的物理转化，包括淀粉中结晶区的减少和破损淀粉的增加，从而引起淀粉组成改变，当麸皮粒径越小时粘度值越低。衰减值体现淀粉衰变的程度，超微粉碎时间对衰减值和峰值温度、峰值时间无显著影响。回生值表征淀粉老化特性，随着粒径的减小而降低^[17]，回生值越小表明抗老化性能越好^[18]，说明全麦粉粒径的减小可延缓面团及面制品的老化，延长货架期。

2.3 粒度改变对面团流变学特性的影响

动态流变学测试是用来测定面团粘弹性的重要工具之一。它是指在交变力的作用下，样品所表现出的力学变化规律。通过测试能够观察面团模量的变化，从而反映其粘弹性^[19]。可用于分析面团的结构和理化特性，有效预测面团的加工特性和产品品质^[20]。如图 2 频率扫描测试结果表明，随着扫描频率从 0.1 Hz 到 10 Hz，全麦面团的 G' 和 G'' 值均随频率的增加而增大，超微粉碎为 21 min 时 G' 和 G'' 达到最大值。且 $G'>G''$ ，表明面团有更明显的弹性特征，麦麸中含有大量的膳食纤维，与面筋蛋白竞争性吸水，这会改变面团中水分分布，进而增加面团的粘弹性^[21]。同时，膳食纤维填充在面筋网络结构中，也会影响到面团的性质和工艺特性^[22]。徐小云^[23]研究得到粗麦麸面

团的 G' 、 G'' 最小，超微麦麸面团的 G' 、 G'' 最大，和本实验的结果类似，这可能是由于小粒径麸皮对面筋蛋白交联的阻碍作用减小，从而增强了面筋网络的结构，面筋网络影响面团的黏度和弹

性，较强的面筋网络能更好地固定面团中的水分和气泡，从而使得面团更加黏稠，强面筋网络也会增加面团的弹性，并具有更好的膨胀性，使得 G' 和 G'' 增加。

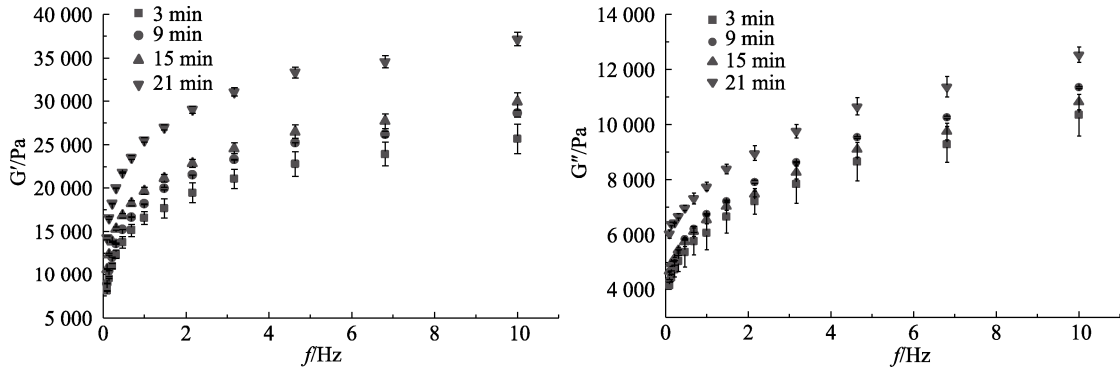


图 2 全麦粉粒径对面团储能模量 G' 和损耗模量 G'' 的影响

Fig. 2 Effect of whole wheat flour particle size on dough storage modulus G' and loss modulus G''

2.4 粒度改变对全麦面片质构特性的影响

粒度的改变对全麦面片质构特性的影响如表 3 所示。全麦粉粒度影响面制品的品质，通过质构表征可以评价面团的弹性和黏性、韧性等特性，进而可以影响成品的口感、形态、营养价值等多个方面。与对照组相比，全麦面片除硬度、韧

性其余指标均低于普通面片。随粉碎时间的增长，全麦粉粒度减小，使得面筋网络结构的强度增加，弹性略增强，硬度降低，由 632.47 降低到 395.44，可能是随粉碎时间延长产生了较多的破损淀粉，提高了面粉的吸水率所致。内聚性是面团内部收缩力的表现^[24]，随粒径的减小由 0.14 升高至 0.20。

表 3 全麦粉粒度对面片质构的影响

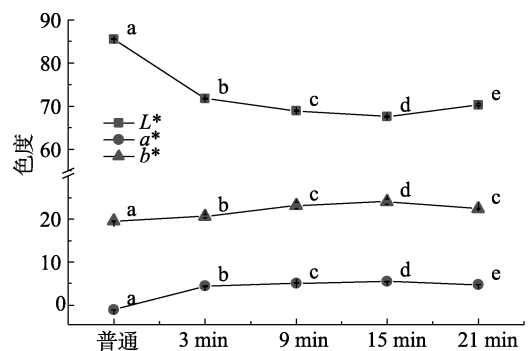
Table 3 Effect of grain size on texture of whole wheat flour

样品	硬度/g	弹性	内聚力	胶着性	韧性
对照	445.19±5.78a	0.49±0.01a	0.24±0.01a	114.53±1.17a	0.050 3±0.002 5ab
3 min	632.47±1.11b	0.36±0.03b	0.14±0.00db	85.73±2.98b	0.053 3±0.000 6a
9 min	470.32±4.96c	0.36±0.02b	0.15±0.00bc	70.80±1.23c	0.049 7±0.005 5ab
15 min	435.71±5.93a	0.40±0.04b	0.16±0.00c	71.06±2.92c	0.043 7±0.002 5c
21 min	395.44±1.20d	0.42±0.01bc	0.20±0.01d	80.12±3.13b	0.048 5±0.004 4bc

2.5 粒度改变对全麦面片色度的影响

色度能够反映出物质颜色的色调和其饱和度，是用来判断食品色泽变化的重要感官依据。如图 3 所示：全麦面片的 L^* 值显著低于普通面粉，随粒度的减小先降低后升高， a^* 、 b^* 均高于普通面片，且为正值，随粒径的减小先升高后降低。

一方面，麸皮的加入导致全麦面粉片黄度和红度增加。麸皮中含有丰富的膳食纤维、维生素和矿物质等营养成分，粉碎过程中，全麦粉与空气中的氧气接触，可能会导致氧化反应。随着粉碎时间的延长，氧化程度可能加深，使得全麦粉



注：数据图中不同小写字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the data plot indicate significant differences ($P < 0.05$).

图 3 全麦粉粒径对面片色度的影响

Fig.3 Effect of grain size on chromaticity of whole wheat flour

的颜色变深,从而使面片呈现出较深的颜色;另一方面,在面团揉制、醒发和压片过程中脂质氧化酶的变化,都会导致面片颜色的改变^[25]。

2.6 粒度改变对面团热机械学特性的影响

面团热机械学特性如表 4 所示。面团吸水率、形成时间和稳定时间等参数用于评价面团的形成以及面筋网络的质量。因此,对于评估面团制作性能来说,了解全麦粉的粒径对面团的吸水性是必不可少的。

面团的吸水率随着全麦粉粒径的减小显著增加 11 个百分点。这可能是超微粉碎时间越长,引起麸皮、淀粉、蛋白质等物质与水接触的比表面积增大,破损淀粉的含量增加,吸收水分的量增加,另外,麦麸膳食纤维具有良好的持水特性^[26],粉碎时间的增长使其羟基与水结合的概率增大^[27]。这与 Cai 等^[28]研究结果相同,随麦麸粒径的减小,

全麦面团的吸水率随之增加,这对于保持全麦制品的品质具有良好的作用,使其口感更佳^[29]。与普通面团相比,全麦面团的形成时间显著延长 ($P<0.05$),主要原因是,麦麸中的纤维等成分对面团物理特性有影响,由于它们具有较强的吸水能力和保水性,导致面团的稠度增加,形成所需的时间也相应增加^[30]。随着粒径的减小,形成时间呈现缩短的趋势,这可能是超微粉碎会导致糊化程度提高、吸水速度加快,其次淀粉颗粒之间的空隙减小,水分更容易渗透到颗粒内部,从而加快了吸水速度进而缩短了形成时间^[31]。随粒度的减小全麦粉的稳定时间增加,时间越长,韧性越好,面筋的强度越大^[27],麦麸粒径越小对面团中面筋网络的形成破坏性越小^[32]。此结果与 Liu 等^[30]报道类似,其研究结果表明 3 种美国硬质全麦粉面团的稳定时间也随着麦麸粒度的减小而增加。

表 4 全麦粉粒径对面团热机械特性的影响

Table 4 Effect of whole wheat flour particle size on the thermomechanical properties of dough

样品	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	最大粘度 C3/Nm	热凝胶稳定性 C3-C4/Nm	最终黏度 C5/Nm	回生值 C5-C4/Nm
对照	53.30±0.23a	1.23±0.07c	8.27±0.21a	1.74±0.02a	0.06±0.01b	2.81±0.10a	1.12±0.03a
3 min	65.70±0.30b	2.11±0.04a	1.50±0.00d	1.34±0.01b	0.36±0.00a	1.59±0.01b	0.62±0.02b
9 min	68.60±0.27c	1.98±0.04ab	1.53±0.06cd	1.11±0.02c	0.35±0.01a	1.26±0.01c	0.50±0.01c
15 min	72.70±0.26d	1.85±0.11b	1.73±0.06bc	0.97±0.00d	0.35±0.00a	1.05±0.01d	0.43±0.02d
21 min	76.70±0.35e	1.93±0.04b	1.83±0.06b	0.86±0.01e	0.36±0.01a	0.89±0.01e	0.38±0.01e

C3 值与淀粉糊化特性有关,代表淀粉热凝胶化程度。与普通面团相比全麦面团的 C3 值显著降低 ($P<0.05$),随全麦粉粒径的减小,由 1.34 Nm 降到 0.86 Nm。

C5 值用于反映淀粉的老化程度,值越大表示淀粉的酶活性越高。与普通面粉相比 C5 值显著降低 ($P<0.05$),随粒径的减小由 1.59 Nm 显著降低到 0.89 Nm。这与 Wronkowska^[33]和 Torbica^[34]等研究结果相似,研究表明,全麦粉在受热条件下,麦麸中的淀粉与戊聚糖发生交联作用形成凝胶,凝胶结构会影响淀粉的结晶速度,导致淀粉老化速率降低^[34],这也与糊化特性的研究结果一致。

3 结论

本文研究了不同超微粉碎时间处理对全麦粉及面团品质特性的影响趋势,发现随粉碎时间的延长,全麦粉粒径减小,粒径分布逐渐均匀,面

片硬度不断降低,弹性、内聚性升高。但对面片色泽没有明显改善,同时由于粒径减小,各黏度值降低,回生值由 623.33 mPa·s 降低至 485.33 mPa·s,能够延缓全麦粉的老化,提高稳定性。G'、G'' 随频率的增加而总体上升,且随粒度的减小而整体上升,低温超微粉碎技术提升了面团的粘弹性。全麦粉的稳定时间也随粒径的减小而延长。综上所述可知,超微粉碎技术可以改善全麦粉及面团的品质特性,作为一种新型的食品改性方法,在食品加工领域具有广阔的前景,应根据面制品的类型,选取合适的粒径以达到产品要求,本文为研发全麦粉的功能性食品提供了理论参考。

参考文献:

- [1] BELCAR J, KASZUBA J, GORZELANY J. Effect of wheat and barley malt addition on the quality of the baking blend and wheat bread[J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2022,

- 72(2): 129-139.
- [2] BELCAR J, BUCZEK J, KAPUSTA I, et al. Quality and pro-healthy properties of belgian witbier-style beers relative to the cultivar of winter wheat and raw materials used[J]. *Foods*, 2022, 11(8): 1150.
- [3] PASHAEI M, ZARE L, KHALILI S E, et al. The impacts of salt reduction strategies on technological characteristics of wheat bread: A review[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021.
- [4] ONIPE O O, JIDEANI A I O, BESWA D. Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2015, 50(12): 2509-2518.
- [5] HEMDANE S, JACOBS P J, DORNEZ E, et al. Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: A critical review[J]. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2016, 15(1): 28-42.
- [6] GIACCO R, DELLA P G, LUONGO D, et al. Whole grain intake in relation to body weight: from epidemiological evidence to clinical trials[J]. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2011, 21(12): 901-908.
- [7] HIRAWAN R, SER W Y, ARNTFIELD S D, et al. Antioxidant properties of commercial, regular-and whole-wheat spaghetti[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(1): 258-264.
- [8] 陈佳佳, 谢天, 任晨刚, 等. 全麦粉在国内食品工业中的应用状况和前景[J]. *粮食与饲料工业*, 2018(7): 4-8.
CHEN J J, XIE T, REN C G, et al. Application status and prospect of whole wheat flour in domestic food industry[J]. *Food and Feed Industry*, 2018(7): 4-8.
- [9] 杜昱蒙, 刘泽龙, 刘芯羽, 等. 工业微粉碎粒径控制对全籽粒小麦全麦粉理化品质及保质期的影响[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(21): 69-74.
DU Y M, LIU Z L, LIU X Y, et al. Effects of industrial Micro-pulverized particle size control on physicochemical quality and shelf life of whole grain wheat flour[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(21): 69-74.
- [10] DHIMAN A, PRABHAKAR P 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*, 2021, 292.
- [11] MIN C, BAOGUO L I U, XIANZHOU C A O. Discussion on the application of LS-DYNA in superfine grinding of wheat bran[J]. *Grain & Oil Science and Technology*, 2018, 1(3): 138-144.
- [12] 刘芯羽, 刘泽龙, 杜昱蒙, 等. 全籽粒小麦工业微粉碎工艺对全麦粉加工特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(18): 35-39.
LIU X Y, LIU Z L, DU Y M, et al. Effect of industrial micro-pulverization of whole grain wheat on processing characteristics of whole wheat flour[J]. *Food Research and Development*, 20, 41(18): 35-39.
- [13] 程佳钰, 高利, 汤晓智. 超微粉碎对苦荞面条品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(15): 99-105.
CHENG J Y, GAO L, TANG X Z. Effect of ultrafine grinding on quality characteristics of Tartary buckwheat noodles[J]. *Food Science*, 2019, 42(15): 99-105.
- [14] 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.
- [15] LAI S, CHEN Z, ZHANG Y, et al. Micronization effects on structural, functional, and antioxidant properties of wheat bran[J]. *Foods*, 2023, 12(1): 98.
- [16] ISHWARYA S P, DESAI K M, NALADALA S, et al. Bran-induced effects on the evolution of bubbles and rheological properties in bread dough[J]. *Journal of texture studies*, 2017, 48(5): 415-426.
- [17] KUMAR L, BRENNAN M, ZHENG H, 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.
- [18] 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.
LI S H, SHENG Q H, ZHAO W, et al. Effects of different particle sizes of rice flour on rheological properties of dough and texture properties of steamed bread[J]. *Food Science*, 2022, 43(16): 98-106.
- [19] CULETU A M G, DUTA D E. Rheological characterization of the dough with added dietary fiber by rheometer: a review[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 77(1): 13-24.
- [20] JANSSEN A M, VAN VLIET T, VEREIJKEN J M. Fundamental and empirical rheological behaviour of wheat flour doughs and comparison with bread making performance[J]. *Journal of Cereal Science*, 1996, 23(1): 43-54.
- [21] XIAO F, ZHANG X, NIU M, et al. Gluten development and water distribution in bread dough influenced by bran components and glucose oxidase[J]. *Lwt*, 2021, 137.
- [22] LAZARIDOU A, DUTA D, PAPAGEORGIOU M, et al. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations[J]. *Journal of food engineering*, 2007, 79(3): 1033-1047.
- [23] 徐小云. 麦麸超微粉碎对面团流变学特性及馒头品质影响研究[D]. 合肥, 安徽农业大学, 2018: 21-24.
XU X Y. Study on effects of ultrafine grinding of wheat bran on rheological properties of dough and quality of steamed bread[D]. Hefei, Anhui Agricultural University, 2018: 21-24.
- [24] 张纷, 赵亮, 靖卓, 等. 藜麦-小麦混合粉面团特性及藜麦馒头加工工艺[J]. *食品科学*, 2019, 40(14): 323-332.
ZHANG F, ZHAO L, JING Z, et al. Characteristics of quinoa-wheat mixed flour dough and processing technology of

- quinoa steamed bun[J]. *Food Science*, 2019, 40(14): 323-332.
- [25] 姬翔. 不同粉碎粒度的全麦粉对面粉及面条品质的影响[J]. *现代面粉工业*, 2020, 34(2): 56.
- JI X. Effect of different pulverized whole wheat flour on the quality of flour and noodle[J]. *Modern Flour Industry*, 2020, 34(2): 56.
- [26] 蔡为荣, 张虹, 李清华, 等. 麦麸膳食纤维的提取及其添加量对面条面团黏弹性的影响[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(12): 7398-7401.
- CAI W R, ZHANG H, LI Q H, et al. Effects of dietary fiber extraction from wheat bran and its additive amount on viscoelasticity of noodle dough[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(12): 7398-7401.
- [27] 赵吉凯, 王凤成, 付文军, 等. 不同粉碎粒度对全麦粉及其馒头品质的影响[J]. *河南工业大学学报: 自然科学版*, 2017, 38(1): 37-44.
- ZHAO J K, WANG F C, FU W J, et al. Effects of different grinding size on the quality of whole wheat flour and steamed bread[J]. *Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition*, 2017, 38(1): 37-44.
- [28] CAI L, CHOI I, HYUN J N, et al. Influence of bran particle size on bread-baking quality of whole grain wheat flour and starch retrogradation[J]. *Cereal Chemistry*, 2014, 91(1): 65-71.
- [29] 汤卫东, 吴敬涛, 赵丹. 麦麸超微粉对面团特性及制品品质的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(19): 204-208.
- TANG W D, WU J T, ZHAO D. Effects of wheat bran ultrafine powder on dough characteristics and product quality[J]. *Food Science*, 2010, 31(19): 204-208.
- [30] LIU T, HOU G G, LEE B, et al. Effects of particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and tortillas made from it[J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 71: 145-152.
- [31] PENELLA J M S, COLLAR C, HAROS M. Effect of wheat bran and enzyme addition on dough functional performance and phytic acid levels in bread[J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 48(3): 715-721.
- [32] ROSELL C M, SANTOS E, COLLAR C. Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab®[J]. *European Food Research and Technology*, 2010, 231: 535-544.
- [33] WRONKOWSKA M, HAROS M, SORAL-ŚMIETANA M. Effect of starch substitution by buckwheat flour on gluten-free bread quality[J]. *Food and bioprocess technology*, 2013, 6: 1820-1827.
- [34] TORBICA A, HADNAĐEV M, DAPČEVIĆ T. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour[J]. *Food hydrocolloids*, 2010, 24(6-7): 626-632. 