

超微粉碎处理对糙米粉理化性质的影响

彭国泰^{1,2}, 吴娜娜², 谭斌^{1,2}, 吴卫国¹

(1. 湖南农业大学 食品科学与技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037)

摘要:研究了超微粉碎处理对糙米粉理化性质的影响。选取经过超微粉碎频率0~40处理的糙米粉为原料,以损伤淀粉含量、粒度分布、水合特性、糊化性质为分析指标,比较不同超微粉碎强度处理的糙米粉物理化学性质的差异性。结果显示,随着超微粉碎频率的增大,糙米粉损伤淀粉含量从7.84%上升到14.58%;粒径D[4,3]从171 μm下降到11 μm;吸水指数、膨胀势上升,水溶性先上升后下降。RVA结果显示,糙米粉的峰值粘度、谷值粘度、崩解值、最终粘度、回生值均上升,初始糊化温度下降。扫描电镜结果显示,淀粉颗粒破碎、断裂形成许多无规则小碎片,且表面有凹坑。

关键词:超微粉碎;糙米粉;损伤淀粉;糊化性质;粒径;微观结构

中图分类号:TS 213.3 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2017)02-0017-05

Study on the effect of superfine grinding on physicochemical properties of brown rice flour

PENG Guo-tai^{1,2}, WU Na-na², TAN Bin^{1,2}, WU Wei-guo¹

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan 410128;

2. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

Abstract: The effect of superfine grinding process on the physicochemical properties of brown rice flour was studied. Taking the samples of brown rice flour treated with different superfine grinding frequencies of 0~40 as raw materials, the damage starch content, particle size distribution, hydration characteristics and gelatinization properties as indexes, the differences of physicochemical properties of these samples were compared. The results showed that with the increase of crushing frequency, damage starch content of brown rice flour increased from 7.84% to 14.58%; particle size of D[4,3] decreased from 171 μm to 11 μm; the water absorption index and swell power increased, water solubility increased at first and then decreased. The results of RVA showed that peak viscosity, trough viscosity, breakdown value, final viscosity and setback increased, initial gelatinization temperature decreased. The results of scanning electron microscopy showed that the starch granules were crushed to form irregular fractionlet with pits on the surface.

Key words: superfine grinding; brown rice flour; damaged starch; gelatinization property; particle size; microstructure

糙米含有丰富的膳食纤维、维生素以及微量元素等,有的学者认为糙米制品将成为21世纪人们的主要食物,糙米可以制作成调味料、糙米面包、糙米卷等米制品^[1],市场潜力巨大。但糙米制品的原料选择指标如颗粒细度、损伤淀粉等尚无统一标准,糙

米制品的品质也有很大差异。1879年, Brown 和 Heron 首次提出了损伤淀粉这一概念^[2]:淀粉在加工过程中,受到剪切、摩擦、挤压等外力作用,造成淀粉颗粒组织结构被破坏,这种在制粉过程中受到机械力作用而损伤的淀粉颗粒即为损伤淀粉^[3]。损伤淀粉的产生往往伴随着粒度变化,粒度越细,将产生更多的损伤淀粉。损伤淀粉颗粒会使粉团的理化性质发生改变^[4-5],如吸水性增强、对酶的敏感性增强、粘度下降等,同时也与米制品的蒸煮品质密切相

收稿日期:2016-11-23

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费(ZX1511)

作者简介:彭国泰,1992年出生,男,硕士研究生.

通讯作者:谭斌,1972年出生,男,博士,研究员.

关^[6]。由于米制品加工过程中都会产生损伤淀粉,且其对米制品品质有影响,因此对损伤淀粉和制粉工艺的研究具有重要意义。

目前,众多学者通过不同的制粉方法得到不同损伤淀粉含量的大米粉,对比其差异,证明了损伤淀粉对大米粉理化性质有一定影响^[7-8]。但这类研究大多数以白米为原料,很少有研究糙米粉的粒度和损伤淀粉含量对糙米粉性质的影响,糙米制品的适口性等问题也尚未解决。

本实验以糙米为原料,旨在研究不同的超微粉碎强度对糙米粉损伤淀粉含量的影响以及对糙米粉理化性质的影响。通过快速粘度仪(RVA)和水合特性测定不同损伤淀粉含量糙米粉的糊化特性,使用粒径分析仪分析粒径变化,并通过电镜观察其微观结构。通过降低糙米粉的粒度来改善糙米制品的品质,为制作良好的糙米制品提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

安徽糙米:购于安徽省桐城市(总淀粉含量为80.19%,直链淀粉含量为14.07%,粗蛋白含量为9.01%,粗脂肪含量为2.73%,水分含量为12.61%,粗纤维含量为2.69%);损伤淀粉试剂盒:Sigma公司;总淀粉试剂盒:Megazyme公司;其余试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

Super-3快速粘度仪(RVA):澳大利亚Newport科学分析仪器有限公司;Malvern2000粒度分析仪:英国马尔文仪器有限责任公司;电子分析天平:瑞士梅特勒托利多公司;T6-紫外可见分光光度计:北京普析通用仪器有限责任公司;FW-100高速万能粉碎机:北京中兴伟业仪器有限公司;超微粒度粉碎仪:正远粉体工程有限责任公司。

1.3 方法

1.3.1 水分测定

参照AACC44-19,135℃烘箱干燥法^[9]。

1.3.2 总淀粉测定

采用Megazyme总淀粉试剂盒法测定。

1.3.3 不同损伤淀粉含量糙米粉的制备

糙米经高速万能粉碎机粉碎,过120目筛,再经超微粒度粉碎仪粉碎,粉碎频率为0、10、20、30、40。粉碎时间10 min。4℃保存备用^[10]。

1.3.4 损伤淀粉含量测定

采用Megazyme试剂盒法,具体参考AACC方法76-31^[11]:准确称取(100±10)mg样品于圆底玻璃离心管中,加入1.0 mL于40℃保温5 min的真菌α-淀粉酶(50 u/mL),立刻在涡旋混匀器上

振荡5 s,然后在40℃的水浴摇床中放置10 min,从真菌α-淀粉酶加入开始计时,再加入8 mL的稀硫酸溶液终止反应,充分混匀后转移悬浮液于2 mL的离心管中,并于10 000 r/min下离心5 min,准确移取0.1 mL上清液于反应试管底部,向试管中加入0.1 mL(2单位)淀粉转葡萄糖苷酶,放在40℃的水浴保温10 min再加入4.0 mL D-葡萄糖用葡萄糖氧化酶/过氧化物酶制剂(GOPOD),40℃下显色20 min,然后于510 nm处测定吸光度值。

1.3.5 粗脂肪测定

参照GB/T 5512-2008进行测定^[12]。

1.3.6 粗蛋白测定

参照GB/T 24318-2009杜马斯燃烧法进行测定^[13]。

1.3.7 水合特性测定

水合特性参照Heo^[14]方法,稍作改动,称取0.5 mg样品,加入20 mL去离子水,充分摇匀,置于30℃水浴锅中加热30 min,每隔10 min摇匀搅拌一次。再置于离心机中以4 000 r/min,离心15 min,取出上清液于105℃烘干至恒重,质量为 m_1 ;离心管中膨胀淀粉质量为 m_2 ;样品干重为 m 。吸水指数(WAI) = m_2/m ;水溶性(WS,%) = $100 \times m_1/m$;膨胀势(SP) = $m_2/[m \times (1 - WS\%/100)]$ 。

1.3.8 粒度测定

称取一定量的样品放入粒度分析仪的进料口中,调节进料速度,开启空压机,启动马尔文激光粒度仪SOP(标准操作程序),点击开始测定。颗粒在管道中被分散进入样品窗。来自激光器的激光束经扩散、滤波、汇聚后照射到测量区,测量区中的待测颗粒群在激光的照射下产生散射谱。测量完毕后仪器得出d(0.1)、d(0.5)、d(0.9)、D[3,2]、D[4,3]数据。每个样品连续测定三次以保证数据准确。

1.3.9 糊化特性的测定

参照GB/T24852-2010的方法^[15],以湿基12%为基准,称取(25±0.1)g水,加入(3±0.01)g样品粉,将样品搅拌均匀,放入快速粘度分析仪(RVA)中进行测定。采用升温/降温循环,糊化程序为:50℃开始升温,3.75 min内加热至95℃,保湿2.5 min,3.85 min内冷却至8.5℃,保温1.4 min,旋转桨在起始10 s内旋转速度为960 r/min,以后保持160 r/min至结束,测定其粘度及回生值等指标。

1.3.10 电镜观察

采用S-570扫描电镜观察糙米粉经超微粉碎后微观结构特征。取少量样品均匀散布于导电胶上,使其固定易于观察。将样品固定并喷金300 s,

在 12 kV 加速电压下,放大适当倍数观察。

1.4 数据处理

数据统计采用 Microsoft Office、SPSS 17.0 进行分析处理,图像制作采用 Origin7.5 进行处理,显著性分析采用 Duncan's 多重检验, $P < 0.05$ 判断为显著,实验结果以平均值 \pm 标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 超微粉碎糙米粉的损伤淀粉含量组成

损伤淀粉是在制粉过程中,淀粉受到摩擦、剪切、挤压等外力作用,完整淀粉颗粒结构被破坏形成的,损伤淀粉是影响米粉特性、食品品质的一个重要指标^[16]。从图 1 可以看出,超微粉碎强度为 0 的糙米粉损伤淀粉含量为 7.84%,超微粉碎强度为超微 10、20、30、40 的糙米粉损伤淀粉含量分别为 10.36%、11.34%、13.59%、14.58%。结果说明糙米粉的损伤淀粉含量与超微粉碎强度成正比,超微粉碎强度 0 与超微粉碎强度 10 的糙米粉损伤淀粉

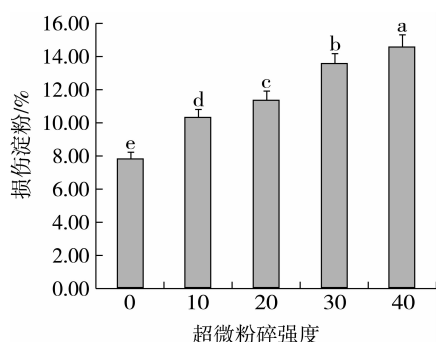
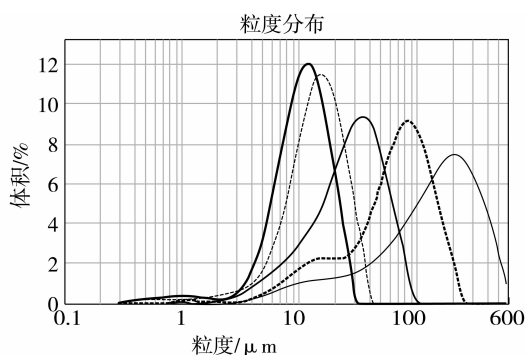


图 1 超微粉碎糙米粉的损伤淀粉含量

表 1 超微粉碎糙米粉平均粒径分布

超微粉碎强度	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)	D[3,2]	D[4,3]
0	21.15 \pm 2.87a	145.89 \pm 7.24a	362.26 \pm 3.14a	53.28 \pm 5.08a	171.47 \pm 5.58a
10	13.49 \pm 0.26b	67.35 \pm 0.85b	143.94 \pm 0.86b	31.23 \pm 0.51b	74.18 \pm 0.72b
20	8.34 \pm 0.37c	27.26 \pm 1.37c	57.12 \pm 0.72c	13.93 \pm 0.50c	30.37 \pm 0.95c
30	6.25 \pm 0.2de	14.17 \pm 0.28d	26.07 \pm 0.33d	9.00 \pm 0.2de	15.23 \pm 0.25d
40	5.24 \pm 0.04e	10.85 \pm 0.04d	19.57 \pm 0.02e	7.48 \pm 0.09e	11.67 \pm 0.02de

注:所有结果以标准值 \pm 标准偏差表示,同一列不同字母代表样品间存在显著差异性 ($P < 0.05$)。



-0, 2016年7月19日 16:04:44 --10, 2016年7月27日 12:45:23 --20, 2016年7月19日 15:56:29
--30, 2016年7月19日 15:50:14 --40, 2016年7月19日 15:41:13

图 2 超微粉碎糙米粉粒径体积分布图

含量相差 2.50% 左右,而其余各超微粉碎强度的糙米粉损伤淀粉含量相差在 1%~2%,说明制粉方式和制粉强度是影响糙米粉损伤淀粉含量的主要因素,选取适当的制粉工艺可有效的控制损伤淀粉含量。

2.2 超微粉碎糙米粉的粒度分析

米粉的粒度分布和损伤淀粉含量是影响大米粉理化性质和加工性能的两个重要因素^[17-18]。

糙米粉粒径变化如表 1 所示,随着磨粉强度的增加,糙米粉粒径呈明显下降趋势,损伤淀粉含量也相应增加。这是因为随着磨粉强度的增加,淀粉颗粒受到的摩擦力、分子间的挤压力和空气的剪切力增大,淀粉分子空间结构被破坏,大分子淀粉颗粒破碎、分离,形成许多粒径更小而不完整的淀粉颗粒,同时增加了损伤淀粉含量。糙米粉从超微粉碎强度 0 到超微粉碎强度 40,粒径 D[4,3] 从 171 μm 到 11 μm 下降了大约 160 μm ,但是粒径大幅度的下降主要集中在超微粉碎强度 0 到超微粉碎强度 10 这一阶段,粒径从 171.47 μm 下降到 74.18 μm ,超微粉碎强度 10 到超微粉碎强度 20 这一阶段粒径下降明显减缓,粒径从 74.18 μm 下降到 30.37 μm ,而超微粉碎强度 20 到超微粉碎强度 40 阶段,粒径变化则趋于平缓,粒径只从 30.37 μm 减少到了 11.67 μm ,仅变化了约 19 个 μm 。结果说明粒度的变化总是伴随损伤淀粉含量的变化,二者呈负相关。制粉方式和强度是影响糙米粉粒度的主要因素,同一制粉方式下糙米粉在粉碎达到一定程度后,粒径减少趋于平缓。

2.3 超微粉碎糙米粉的水合特性分析

水合特性是研究大米粉理化性质的一个重要指标,可以体现大米粉中淀粉的糊化特性^[19]等。

5 种不同超微粉碎强度处理的糙米粉水合特性如表 2 所示。超微粉碎强度从 0 增加到 40,在 50 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,糙米粉的吸水指数从 3.06 上升到 3.25。水溶性呈先上升后下降趋势,膨胀势从 3.30 上升到 3.50。在 100 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,糙米粉的吸水指数从 7.48 上升到 8.61,水溶性先上升后下降,膨胀势从 8.82 上升到 10.01。二者变化趋势相似,但各指标数值大幅增长,这可能是因为 100 $^{\circ}\text{C}$ 下,糙米粉淀粉颗粒吸水溶胀破裂,淀粉糊化更加完全造成的^[20]。糙

米粉的吸水能力和膨胀势随着超微粉碎强度的增加而上升,这可能与损伤淀粉含量的升高和淀粉颗粒粒度变小有关^[21],损伤淀粉会大大提高糙米粉的保水力,较小的颗粒粒度使得颗粒表面积增大,与水分

子接触更完全,水分子与淀粉颗粒结合得更紧密。水溶性的变化可能与糙米中含有的粗脂肪、粗纤维有关^[22],糊化时易与淀粉形成脂质—淀粉复合体,易老化,影响糙米粉的水溶性。

表2 超微粉碎糙米粉水合特性

超微粉碎强度	吸水指数		水溶性(WS)/%		膨胀势	
	50 ℃	100 ℃	50 ℃	100 ℃	50 ℃	100 ℃
0	3.06 ± 0.05b	7.48 ± 0.05d	7.41 ± 0.08c	15.27 ± 0.25c	3.30 ± 0.05b	8.82 ± 0.03d
10	3.15 ± 0.12ab	7.38 ± 0.12d	9.32 ± 0.30a	19.91 ± 0.18a	3.47 ± 0.13a	9.14 ± 0.17c
20	3.17 ± 0.03ab	7.78 ± 0.18c	8.37 ± 0.20b	16.30 ± 0.19b	3.46 ± 0.03a	9.30 ± 0.19bc
30	3.19 ± 0.06ab	8.28 ± 0.04b	6.01 ± 0.12d	12.17 ± 0.25e	3.40 ± 0.06ab	9.42 ± 0.06b
40	3.25 ± 0.07a	8.61 ± 0.08a	7.34 ± 0.06c	14.05 ± 0.30d	3.50 ± 0.80a	10.01 ± 0.12a

注:所有结果以标准值 ± 标准偏差表示,同一列不同字母代表样品间存在显著差异性($P < 0.05$)。

2.4 超微粉碎糙米粉的糊化特性分析

淀粉的糊化是食品制品应用的基本步骤,糊化过程实质是淀粉微晶的熔融过程,淀粉分子颗粒在一定水和热的作用下,颗粒从有序状态转变到无序状态^[23]。米制品基本都要经过糊化过程,淀粉糊的糊化程度,对米制品的风味品质有非常大的影响^[24-25]。

从表3中可以看出,经过不同超微粉碎强度处理的糙米粉糊化曲线变化趋势相似,但是糊化特性存在显著差异($P < 0.05$)。RVA快速粘度分析显示,超微粉碎强度从0增加到40,糙米粉的峰值粘度从860 cp上升到1699 cp,谷值粘度从746 cp

上升到853 cp,崩解值由114 cp上升到836 cp,最终粘度从1754 cp上升到2062 cp,回生值从51.5 cp上升到61.5 cp,米粉糊粘度的上升,可能是因为随着淀粉粒度的减小,淀粉颗粒与水分子接触的表面积增大,吸水充分,糊化更加完全,从而粘度上升^[5]。峰值时间变化不明显,初始糊化温度从79.6 ℃下降到75.2 ℃,可能是米粉粒度减小,越容易结合水膨胀,初始糊化所需的热量能量减少,因此糊化温度降低^[26]。实际应用中,糊化度与产品诸多性质呈显著性相关,这可能表明适当的降低原料粒度可以减少生产能源的消耗,改善产品品质。

表3 超微粉碎糙米粉的糊化特性

超微粉碎强度	峰值粘度/cp	谷值粘度/cp	崩解值/cp	最终粘度/cp	回生值/cp	峰值时间/min	糊化温度/℃
0	860.00 ± 2.83c	746.00 ± 4.24b	114.00 ± 7.07d	1754.50 ± 6.36b	51.50 ± 2.12bc	5.77 ± 0.05a	79.60 ± 0.07a
10	852.50 ± 13.44c	555.50 ± 4.95d	297.00 ± 8.49c	1462.50 ± 20.51c	50.50 ± 0.71c	5.44 ± 0.05b	78.83 ± 0.04a
20	1228.00 ± 46.67b	637.50 ± 17.68c	590.50 ± 28.99b	1680.50 ± 44.55b	56.50 ± 3.54abc	5.40 ± 0.00b	77.60 ± 0.49b
30	1684.50 ± 10.61a	893.00 ± 36.77a	791.50 ± 47.38a	2056.50 ± 16.26a	59.50 ± 4.95ab	5.67 ± 0.09a	75.20 ± 0.64c
40	1699.00 ± 118.79a	863.00 ± 38.18a	836.00 ± 80.61a	2062.00 ± 86.27a	61.50 ± 2.12a	5.64 ± 0.05a	75.20 ± 0.57c

注:所有结果以标准值 ± 标准偏差表示,同一列不同字母代表样品间存在显著差异性($P < 0.05$)。

2.5 超微粉碎糙米粉的电镜观察分析

在超微粉碎过程中,淀粉颗粒受到力的作用由外向内逐步脱落,形成无数不规则的碎片。这些小颗粒又聚合在一起形成多孔疏松的颗粒^[27]。

图3为超微粉碎强度0至40的糙米粉颗粒形貌图。结果显示,在放大500倍观察下,随着超微粉碎强度增加,大颗粒淀粉数量减少而小颗粒数量增多,可能是在外力的作用下,淀粉结构被破坏,大颗粒淀粉分解成更多的小颗粒淀粉,小颗粒又重新聚合形成多孔疏松的颗粒。在放大3000倍观察下,

超微粉碎强度0制得的糙米粉部分结构虽然遭到破坏但还具有完整的淀粉颗粒轮廓,淀粉颗粒表面较光滑而且具有少量刮痕;超微粉碎强度20制得的糙米粉具有明显的刮痕、断层、凹坑,淀粉颗粒内部也出现裂痕,糙米粉结构开始被大幅破坏;超微粉碎强度达到40时,糙米粉已无法看出完整淀粉颗粒轮廓,表面断层附近的残缺淀粉颗粒剥落形成许多不规则的颗粒碎片^[28]。制粉工艺是影响淀粉结构的主要因素之一,选取适当的制粉工艺对糙米粉结构的破坏尤为重要。

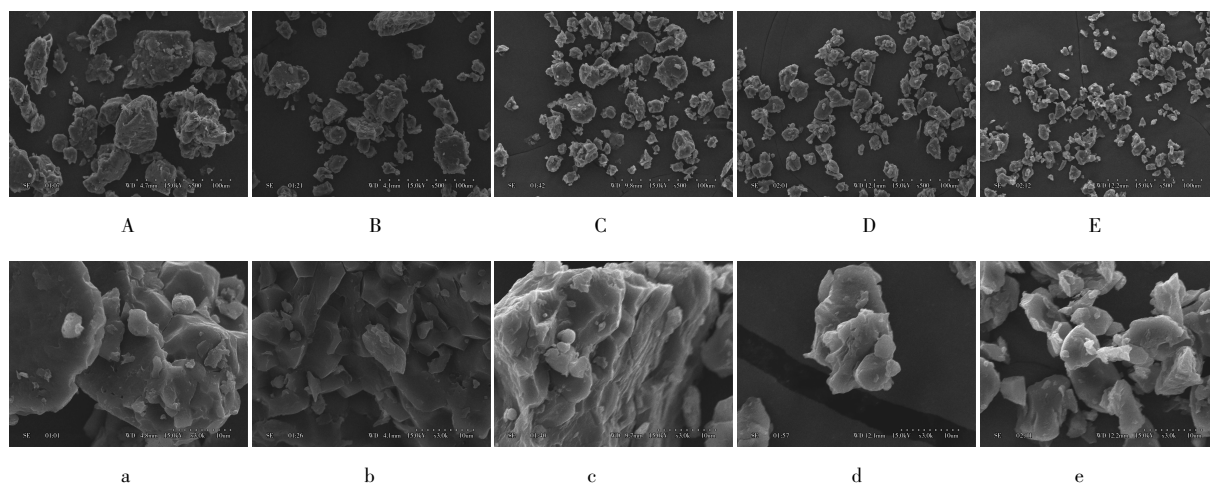


图3 超微粉碎糙米粉电镜观察图

注:A-E:从左至右,依次为超微粉碎强度0到40 糙米粉放大500倍观察图;a-e:从左至右,依次为超微粉碎强度0到40 糙米粉放大3000倍观察图。

3 结论

制粉工艺是影响损伤淀粉含量和粒度的主要因素之一,随着超微粉碎强度增加,糙米粉粒径D[4,3]从171 μm下降到11 μm,损伤淀粉含量从7.84%增加14.58%,粒度越细,损伤淀粉含量越高。RVA粘度分析显示,峰值粘度、谷值粘度、最终粘度、崩解值、回生值均明显上升,峰值时间无显著差异,初始糊化温度下降。淀粉颗粒的吸水力和膨胀力上升,水溶性先上升后下降。电镜结果显示,粒度越细的糙米粉表面具有更多的裂痕和凹坑,淀粉大颗粒被分解成许多不规则碎片。改变糙米粉的颗粒细度,可以明显地影响糙米粉的理化性质,从而在实际应用中改善糙米制品的品质,糙米粉颗粒细度和损伤淀粉含量对糙米制品品质的影响及糙米制品品质的改良是今后重点研究的方向。

参考文献:

[1]王赫男. 糙米的综合利用[J]. 北京工商大学学报,2012,30(3): 49-52.
 [2]Brown H T, Heron J. Contributions to the history of starch and its transformation[J]. Chemistry, 1879(35):596-654.
 [3]李志明. 小麦粉损伤淀粉[J]. 粮食储藏,1990(19):17-21.
 [4]Gabriela N. Barrerael. Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis [J]. Carbohydrate Polymers 98. 2013:1449-1457.
 [5]徐容敏,王晓曦. 制粉系统中各粉样损伤淀粉含量和糊化特性的研究[J]. 粮食加工,2010,35(6):44-48.
 [6]陈洁,蔡永艳,吕莹果,等. 原料粒度对米粉品质的影响[J]. 粮食与饲料工业,2011(2)27-30.
 [7]崔凯凯,任永胜. 损伤淀粉对大米粉粘度性质的影响[J]食品与发酵科技. 2012,48(3)61-67.
 [8]孙宇. 小麦淀粉粒机械损伤特性研究[D]. 河南工业大学,2012.
 [9]AACC44-19, Moisture - Air - OverMethod, Drying at 135 °C [S].
 [10]潘家帆,田肃岩. 超细粉碎技术概述[J]. 化工设备与防腐蚀, 2000,13(1)19-21.

[11]AACC 76-31, Determination of Damaged Starch - Spectrophotometric Method[S].
 [12]GB/T 5512-2008, 粮油检验粮食中粗脂肪含量测定[S].
 [13]GB/T 24318-2009, 杜马斯燃烧法测定饲料原料中总氮含量及粗蛋白质的计算 [S].
 [14]Soojung Heo, Soyong Jeon, Suyong Lee. Utilization of Lentinusedodes mushroom b - glucan to enhance the functional properties of gluten - free rice noodles. LWT - Food Science and Technology, 2014 (55):627-631.
 [15]GB/T 24852-2010, 大米及米粉糊化特性测定. 快速粘度仪法[S].
 [16]高晓旭. 不同磨粉工艺对大米粉粉质的影响[J]现代食品科技. 2015,31(1)194-199.
 [17]Chen J J, Lu S, Lii C Y. Physicochemical and morphological on damaged rice starch [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2003a,11(4):283-799 .
 [18]李方杰. 粒度对小麦粉及传统主食馒头品质的影响[D]. 河南工业大学,2015.
 [19]成明华,李里特,辰巳英三. 大米品种和制粉工艺对大米粉性质的影响[J]. 粮食与饲料工业,2000(8):16-19.
 [20]Kim DN, Bae I Y, Inglett G E, Lee S. Effect of hydrothermal treatment on the physicochemical, rheological and oil - resistant properties of rice flour[J]Journal of Texture Studies,2009(40):192-207.
 [21]P J Frazier, A M Donald and P Richmond. Starch: Structure and function. Royal Society of Chem,1997.
 [22]李云波,许金东,涂丽华,等. 不同品种籼米的特性研究[J]. 粮食与饲料工业,2007(11)4-6.
 [23]王晓曦. 小麦淀粉损伤对小麦粉品质及其加工特性的影响研究 [D]. 中国农业大学,2015.
 [24]任顺成,王宁,马瑞萍. 糊化对米线品质的影响[J]. 河南工业大学学报,2012,33(6)13-17.
 [25]岑军健. 国内外米粉生产技术的比较[J]. 食品与机械 2007,23(5)5-7.
 [26]蔡永艳. 米粉干法生产工艺及品质改良的研究[D]. 河南工业大学,2011.
 [27]周聪. 超微大米粉的制备及性质研究[D]. 武汉轻工大学,2014.
 [28]孙彦明. 淀粉微细化处理及其糊化特性研究[D]. 中国农业大学,2005. 完