

脱脂糯小米米糠粉对面团流变学性质及馒头品质的影响

邓利¹, Kizzy Nerissa Kira Ereia RENNIE¹, 梁叶星^{1,2}, 钟耕^{1,3,*}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.重庆市梁平县农业委员会, 重庆 405200;

3.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

摘要: 对比两种不同目数脱脂糯小米米糠粉(简称米糠粉)对面团流变学性质的影响; 采用感官评价和质构分析相结合评价其对馒头品质的影响, 确定其最适添加量。结果表明: 两种粒度米糠粉在添加量为6%(质量分数, 下同)以下时, 对面团的粉质特性均有一定的改良作用。两种米糠粉的添加对面团的拉伸特性都有一定的恶化作用, 但100~200目米糠粉添加量为4%~6%和过400目米糠粉添加量为6%~8%时, 面团的拉伸特性恶化不明显。随着100~200目米糠粉添加量的增加, 馒头的白度值逐渐减小; 添加量为4%~6%时馒头的硬度、弹性、咀嚼性和回复性都较好, 且感官评价得分较高。过400目米糠粉的添加对馒头的白度值影响相对较小, 其添加量小于6%时馒头质构性质较好, 且感官评价得分高于100~200目米糠粉。综上所述, 添加适量的米糠粉可以在一定程度上延缓馒头老化, 100~200目米糠粉的添加量应控制在4%~6%, 过400目米糠粉添加量应控制在6%~8%。

关键词: 米糠粉; 面团流变学性质; 馒头

Effect of Skim Glutinous Millet Bran Powder on Rheological Properties of Wheat Dough and the Quality of Steamed Bread

DENG Li¹, Kizzy Nerissa Kira Ereia RENNIE¹, LIANG Yexing^{1,2}, ZHONG Geng^{1,3,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Liangping Agriculture Commission, Chongqing 405200, China;

3. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

Abstract: In this study, the effect of skim glutinous millet bran powers with two different particle sizes (100–200 and 400 mesh) on dough rheological properties was explored, and the effect on the quality of steamed bread was evaluated by adopting a combination of sensory evaluation and texture analysis to determine the optimum addition amount of millet bran powder. The results showed that farinograph properties of dough were improved by adding either of the two millet bran powders at a level of 6%; however, both millet bran powders deteriorated the extensibility, which was not significant when 100–200 mesh millet bran powder was added at a level ranging from 4% to 6% and 400 mesh millet bran powder at a level between 6% and 8%. As more 100–200 mesh millet bran powder was added, the whiteness value of steamed bread dropped steadily, and better hardness, flexibility, chewiness and resilience and higher sensory scores were observed when the addition level was in the range of 4% to 6%. But 400 mesh millet bran powder had a relatively small effect on the whiteness value of steamed bread, and better texture properties were achieved when added at a level smaller than 6% while giving a sensory score higher than that obtained by adding 100–200 mesh millet bran powder. These results lead us to conclude that the aging of steamed bread can be delayed by proper addition of millet bran powder with recommended levels of 4%–6% and 6%–8% for 100–200 and 400 mesh millet bran powder, respectively.

Key words: skim glutinous millet bran powder; dough rheological properties; steamed bread

中图分类号: TS213.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)07-0050-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201507010

收稿日期: 2014-05-21

基金项目: 重庆市科技攻关计划项目(cstc2012gg-yyjs00002)

作者简介: 邓利(1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为现代食品加工理论与技术。E-mail: 4768180@qq.com

*通信作者: 钟耕(1964—), 男, 教授, 博士后, 研究方向为粮食工程, 现代食品加工理论与技术, 生物资源开发与利用。

E-mail: zhonggdg@126.com

小米 (*Setaria italica*) 又称粟米, 为五谷之首, 一年生禾本科狗尾草属植物, 是谷子经加工去壳后的产物, 其直径大约1 mm左右, 是我国常见的杂粮作物之一^[1]。小米米糠是谷子在碾米过程中产生的加工副产物, 主要由种皮、糊粉层和米胚芽组成。小米米糠中富含蛋白质、脂肪、矿物质及维生素等营养物质, 且含有大量的膳食纤维, 有抑菌^[2]、通便^[3]、抗氧化^[2,4]、抗癌^[5-7]、调节血脂^[8]等作用。但目前由于小米的产量不高、容易变质及对小米米糠的研究认识不足等问题, 导致小米米糠除少部分作为饲料使用外, 其余部分都被当作废物处理, 其具有的营养价值和资源效益没有得到充分的发挥, 造成了资源的极大浪费。已有500多年栽种历史、产于重庆北碚静观的中华糯小米是一种优质的糯性小米品种, 也是重庆糯性小米的代表品种, 并在重庆及西南地区进行推广, 但其加工副产物小米米糠未得到合理的利用。

馒头在东亚及东南亚国家是主要的面制品^[9], 是我国传统的大众主食, 在全国面制品的消费中约占46%。尤其是在北方, 馒头的消费量在膳食结构中约占2/3^[10]。但近年来, 由于小麦面粉加工精度的提高, 导致大量的膳食纤维、B族维生素及矿物质流失, 如长期食用, 会引起人们体内营养素不平衡^[11]。而小米米糠含有丰富的膳食纤维、矿物质及维生素, 但其脂肪含量过高, 不利于其用于食品加工和保藏。通过在馒头中添加一定量的米糠粉, 可以弥补馒头膳食纤维、矿物质、维生素含量低的缺陷, 均衡馒头的营养价值。这不仅降低了食品的加工成本, 还可提高小米米糠资源的附加值。

本实验以中筋面粉为原料, 将经过普通粉碎(100~200目)和超微粉碎(过400目)不同目数及不同比例的米糠粉添加到面粉中, 对比研究其对面团流变学性质的影响, 并对添加不同目数以及不同比例的米糠粉制成的馒头质构和感官特性进行评价, 为开发含米糠粉的中式食品开展理论及应用研究基础。

1 材料与方法

1.1 材料

米糠粉, 由重庆北碚爱心农业开发有限公司提供, 经实验自制的两种不同目数小米米糠粉(分别过100目且未过200目筛上物和过400目筛上物)总膳食纤维含量分别为47.04%、46.47%, 其中可溶性膳食纤维含量分别为12.13%、13.51%, 不可溶性膳食纤维含量分别为87.87%、86.49%, 脂肪含量分别为1.72%、1.78%, 蛋白质含量分别为21.83%、22.34%; 中筋面粉, 河南省雪健实业有限公司生产, 湿面筋含量为30.2%。

1.2 仪器与设备

FK156-3压面机 上海市巧媳妇食品机械有限公司;

DYF-300粉碎机 温岭市林大机械有限公司; HZL-350粉质仪、JLSD150拉伸仪 北京东方孚德技术发展中心; TA-XT 2i物性测定仪 英国Stable Micro systems公司; FJ15B高级发酵箱 富伟吉祥厨房设备有限公司。

1.3 方法

1.3.1 米糠粉的制备

将脱脂小米米糠粗粉在60℃烘箱中干燥6 h后放入中药粉碎机中, 将粗粉加工成100~200目的细粉, 不添加任何抗结剂、助磨剂对细粉进行干法粉碎, 粉碎30 min后得到脱脂小米米糠微粉。然后将脱脂小米米糠微粉通过振动筛分为不同目数(100~200目和过400目)的米糠粉。

1.3.2 面团粉质实验

按GB/T 14614—2006《小麦粉 面团的物理特性 吸水量和流变学特性的测定 粉质仪法》^[12]的方法进行。分别添加0%、2%、4%、6%、8%、10%、12%的米糠粉替代面粉, 混合粉的总量保持不变。

1.3.3 面团拉伸实验

按GB/T 14615—2006《小麦粉 面团的物理特性 流变学特性的测定 拉伸仪法》^[13]的方法进行。分别添加0%、2%、4%、6%、8%、10%、12%的米糠粉替代面粉, 混合粉的总量保持不变。

1.3.4 馒头制作^[14]

馒头制作工艺: 和面(面粉和米糠粉混合粉200 g, 酵母1.6 g, 水90 mL)→面团发酵(温度(30±1)℃、相对湿度80%~90%, 时间45 min)→搓圆整形→醒发(温度(30±1)℃、相对湿度80%~90%、时间15 min)→蒸制(20 min)→冷却(60 min)→馒头成品

馒头制作工艺中没有添加任何品质改良剂和添加剂, 目的是为了更好地了解米糠粉对馒头品质和质构特性的影响, 避免其他组分的干扰。

1.3.5 馒头品质评价实验

1.3.5.1 馒头的感官品质评定

表1 馒头的品质评分标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of steamed bread		
项目	满分	评分标准
比容	20	比容=体积/质量, 比容≥2.3 mL/g得满分, 比容每下降0.1 mL/g扣1分
外观	15	表皮光滑, 对称, 挺立: 12.1~15分; 中等: 9.1~12分; 表面粗糙, 有硬块, 形状不对称: 1~9分
色泽	10	白、乳白、奶白: 8.1~10分; 中等: 6.1~8分; 灰、暗: 1~6分
结构	15	纵切面气孔小、均匀: 12.1~15分; 中等: 9.1~12分; 气孔大而不均匀: 1~9分
弹性	20	手指按复原性好, 有咬劲: 16.1~20分; 中等: 12.1~16分; 复原性、咬劲均差: 1~12分
黏性	15	爽口, 不黏牙: 12.1~15分; 中等: 9.1~12分; 不爽口, 黏牙: 1~9分
气味	5	有麦香味, 无异味: 4.1~5分; 中等: 3.1~4分; 有异味: 1~3分

馒头的感官品质评定依照表1进行。由7人分别对馒头的各项感官指标进行品评,并取各性状得分的平均值进行统计分析。

1.3.5.2 馒头比容的测定^[15]

在馒头蒸熟冷却60 min后用电子天平称量馒头质量(g),用小米替换法测定馒头的体积(mL),馒头比容即体积与质量之比。

1.3.5.3 馒头高径比的测定

在馒头蒸熟冷却60 min后用游标卡尺测定馒头的高度和最大直径。

1.3.5.4 馒头白度的测定

本实验采用全自动测色仪对样品进行测定。记录馒头切片的 L 、 a 和 b 值。利用 L 、 a 和 b 值一组数据,通过亨特公式可以计算出样品的亨特值,以其来表示馒头白度(W_H)值。平行测定3次取平均值。

$$W_H = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$

1.3.5.5 馒头全质构特性的测定^[16-17]

每次测定取2个蒸熟后冷却60 min的馒头,用面包刀从竖直方向将馒头切成厚度为2 cm的均匀薄片,只取中部的2片,用质构仪测定其硬度、弹性、咀嚼性和回复性。测试参数为:TPA模式,P36铝探头,触发力设置为5 g,数据采集速率200 pps。挤压前速率1.00 mm/s,挤压速率1.00 mm/s,挤压后速率5.00 mm/s,挤压深度0.5 cm,压缩程度为25%,两次挤压的间隔时间为10 s。

1.3.5.6 馒头老化特性的测定

参考钱平^[18]的方法并略作改进,将刚蒸制好的馒头在室温条件下自然冷却60 min后,装入自封袋中密封,每袋装3个。装好的馒头放置在冰箱冷藏室中(6~8℃),开始计时,分别在第0、1、2、3天进行测定。第0天样品是指蒸制好后,自然冷却60 min后的馒头。

1.4 数据处理

每次实验均重复3次,采用SPSS 18.0进行数据处理分析。

2 结果与分析

2.1 米糠粉对面团流变学性质的影响

2.1.1 米糠粉对面团粉质特性的影响

由表2可知,随着2种米糠粉添加量的增加,面团的吸水率增大,形成时间和稳定时间均先增大后逐渐减小,弱化度先平稳后逐渐增大。由表3可知,面团的吸水率与米糠粉添加量呈极显著正相关($P < 0.01$),相关系数分别为0.942和0.932,造成吸水率增加的原因可能是由于米糠粉中所含的纤维结构中存在大量的羟基,可通过氢键与水发生水合作用而吸附大量的水分^[19]。添加量

与面团的形成时间、稳定时间呈现负相关,且其添加量在2%~4%范围内时,面团的形成时间和稳定时间比未添加的面团大,在添加量为6%时,变化不大,当添加量大于8%时,形成时间和稳定时间均开始下降(表2)。弱化度与添加量呈极显著正相关($P < 0.01$),这与膳食纤维所表现的结果不一致,这可能是由于添加量过大削弱了面筋原有的网络结构^[20]。由此可见,两种粒度的米糠粉都对面团性质产生了影响,其相同点是两种米糠粉都对面团产生了一定改良作用;不同点是添加过400目米糠粉的面团的粉质参数与添加量的相关性小于对应添加100~200目米糠粉的面团,粒径较小的粉体相比于粒径较大的粉体而言,其稳定时间、形成时间同比延长,弱化度增大趋势减弱,对面粉的改良作用更好。

表2 添加米糠粉的面团粉质特性参数

Table 2 Farinogram properties of wheat dough with the addition of rice bran powder

样品	添加量/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/FU
100~200目米糠粉	0	57.8	6.6	11.7	39.0
	2	60.1	8.2	12.2	41.0
	4	61.0	7.2	13.0	43.0
	6	62.0	6.8	10.5	43.0
	8	61.8	6.2	8.0	51.0
	10	62.8	5.4	8.1	52.0
	12	63.3	5.0	7.4	56.0
过400目米糠粉	0	57.8	6.6	11.7	39.0
	2	60.1	8.6	13.6	40.0
	4	60.9	7.0	12.6	44.0
	6	61.3	6.6	10.1	50.0
	8	61.8	6.2	8.8	52.0
	10	62.2	5.7	8.0	48.0
	12	62.7	5.5	7.6	57.0

表3 米糠粉添加量与粉质参数的相关性

Table 3 Correlation analysis between rice bran powder concentration and farinogram properties

项目	吸水率	形成时间	稳定时间	弱化度
100~200目米糠粉添加量	0.942**	-0.813	-0.883*	0.965**
过400目米糠粉添加量	0.932**	-0.743	-0.898*	0.920**

注:*,显著相关($P < 0.05$);**,极显著相关($P < 0.01$)。表5同。

2.1.2 米糠粉对面团拉伸特性的影响

由表5可知,对于添加100~200目米糠粉的面团,保温45、90、135 min时,面团能量与米糠粉添加量均呈极显著负相关,这与Sudha等^[20]的研究结果基本一致;面团延伸度与米糠粉添加量呈极显著负相关;而面团最大抗拉阻力、拉力比均与米糠粉添加量呈极显著正相关。而对于添加过400目米糠粉的面团,保温45、135 min时,面团的延伸度与其添加量显著负相关,保温90 min时,呈极显著负相关;保温45、90、135 min时,面团能量与米糠粉添加量呈极显著负相关,面团最大抗拉阻力与添加量呈极显著正相关;面团拉力比与添加量呈显著

表4 添加米糠粉的面团拉伸特性参数
Table 4 Extensogram properties of wheat dough with the addition of rice bran powder

样品	添加量/%	保温45 min				保温90 min				保温135 min			
		面团能量/cm	面团延伸度/mm	最大抗拉阻力/FU	拉力比/(FU/mm)	面团能量/cm	面团延伸度/mm	最大抗拉阻力/FU	拉力比/(FU/mm)	面团能量/cm	面团延伸度/mm	最大抗拉阻力/FU	拉力比/(FU/mm)
100~200 目米糠粉	0	104	152	434	2.9	108	140	505	3.6	121	133	515	3.9
	2	103	150	454	3.0	106	131	517	3.9	120	131	524	4.0
	4	99	143	465	3.3	107	127	537	4.2	116	126	545	4.3
	6	94	142	478	3.4	102	130	556	4.3	110	128	564	4.4
	8	80	133	489	3.7	88	122	588	4.8	95	116	593	5.1
	10	72	124	520	4.2	79	105	624	5.9	83	98	630	6.4
	12	67	103	545	5.3	72	98	652	6.7	79	89	661	7.4
	0	104	152	434	2.9	108	140	505	3.6	121	133	515	3.9
过400 目米糠粉	2	104	152	450	3.0	105	134	513	3.8	122	131	519	4.0
	4	100	147	462	3.1	105	130	538	4.1	117	128	545	4.3
	6	95	144	475	3.3	102	131	554	4.2	112	128	562	4.4
	8	82	139	486	3.5	91	127	584	4.6	96	124	590	4.8
	10	71	128	521	4.1	81	110	621	5.6	85	103	629	6.1
	12	69	107	548	5.1	71	107	648	6.4	80	95	664	7.0
	0	104	152	434	2.9	108	140	505	3.6	121	133	515	3.9
	2	104	152	450	3.0	105	134	513	3.8	122	131	519	4.0

注：拉力比为最大抗拉阻力/面团延伸度。

或极显著正相关。综上所述，两种米糠粉对面团拉伸特性的影响有正有负，而面团抗拉阻力的增加不能完全抵消面团能量和延伸度的下降，综合两种对立趋势的相对强弱，可知两种添加物均使面团的拉伸特性下降。但由表4可知，在粉体添加量为0%~6%时，面团的能量和延伸度下降不明显，但抗拉阻力明显增大。因此，在该添加量时，对面团拉伸性能有一定的改良作用，且过400 目米糠粉对面团拉伸性能改良效果更优。故100~200 目米糠粉的添加量控制在4%~6%时，过400 目米糠粉添加量应控制在6%~8%时，对面团的拉伸特性恶化效果不明显。

表5 米糠粉添加量与拉伸参数的相关性
Table 5 Correlation analysis between rice bran powder concentration and extensogram properties

样品	保温时间/min	面团能量	面团延伸度	最大抗拉阻力	拉力比
100~200 目米糠粉添加量	45	-0.971**	-0.937**	0.983**	0.923**
	90	-0.943**	-0.938**	0.987**	0.948**
	135	-0.966**	-0.927**	0.984**	0.930**
过400 目米糠粉添加量	45	-0.962**	-0.911*	0.976**	0.908*
	90	-0.942**	-0.930**	0.986**	0.944**
	135	-0.960**	-0.896*	0.980**	0.919**

2.2 米糠粉对馒头品质的影响

2.2.1 米糠粉对馒头感官品质的影响

由表6可知，随着米糠粉添加量的增加，馒头的感官评价总分值逐渐降低，说明品质逐渐下降。这主要是由于面筋在面团中构成空间网络结构时，米糠粉填充于网络结构中会阻碍馒头的网络结构形成，导致其形成的内部结构不均匀，进而对馒头的感官品质产生较大的负面影响。对于添加米糠粉的馒头，其添加量在2%~6%之间时，其馒头品质下降不明显。但继续增大添加量后，

馒头的各项指标均大幅度下降，综合评分明显降低。同时，在同等比例添加两种不同粒度的米糠粉条件下，添加过400 目米糠粉制作的馒头，比添加100~200 目米糠粉的馒头，其感官性状和内在品质更好。因此，为兼顾米糠粉的生理功效和馒头的加工品质，用于制作馒头的面粉中的米糠粉添加量应控制为：100~200 目米糠粉4%~6%左右，而过400 目米糠粉6%~8%左右为宜。

表6 馒头的感官品质评定结果
Table 6 Sensory evaluation of steamed bread

样品	添加量/%	比容	高径比	外观	色泽	结构	弹性	黏牙	气味	总分
100~200 目米糠粉	0	14.1±0.4	4.9±0.2	13.1±0.4	9.9±0.2	14.1±0.2	18.3±0.6	13.0±0.4	4.9±0.2	92.4±2.8
	2	12.1±0.2	4.9±0.2	12.8±0.3	9.8±0.3	13.1±0.2	17.9±0.3	12.8±0.3	4.9±0.2	88.2±2.0
	4	11.4±0.2	4.9±0.2	12.1±0.4	9.1±0.3	13.1±0.2	17.2±0.3	12.6±0.2	4.9±0.2	85.2±2.0
	6	10.4±0.2	4.9±0.2	11.7±0.3	8.1±0.2	12.4±0.2	15.4±0.5	12.6±0.5	4.9±0.2	80.4±2.3
	8	9.4±0.2	4.9±0.2	11.6±0.2	7.9±0.2	11.3±0.2	13.9±0.5	11.9±0.6	4.8±0.3	75.7±2.4
	10	8.9±0.2	4.9±0.2	11.0±0.4	7.1±0.2	11.1±0.3	12.0±0.4	11.6±0.5	4.9±0.2	71.6±2.4
	12	8.7±0.5	4.8±0.3	10.6±0.3	7.0±0.3	10.6±0.2	11.6±0.4	11.9±0.4	4.9±0.2	70.1±2.6
	0	14.1±0.4	4.9±0.2	13.1±0.4	9.9±0.2	14.1±0.2	18.3±0.6	13.0±0.4	4.9±0.2	92.4±2.6
过400 目米糠粉	2	13.1±0.6	4.9±0.2	12.9±0.5	9.9±0.2	14.0±0.3	18.1±0.2	12.8±0.3	4.9±0.2	90.6±2.5
	4	11.6±0.2	4.9±0.2	12.4±0.2	9.1±0.2	13.7±0.4	17.3±0.5	12.6±0.2	4.9±0.2	86.5±2.1
	6	11.2±0.3	4.8±0.3	11.9±0.2	8.2±0.3	13.4±0.2	17.1±0.6	12.6±0.6	4.9±0.2	84.0±2.7
	8	10.6±0.2	4.9±0.2	11.3±0.3	8.2±0.3	12.8±0.3	15.4±0.7	11.9±0.6	4.9±0.2	80.0±2.8
	10	9.6±0.2	4.8±0.3	11.1±0.2	8.1±0.2	12.6±0.3	12.9±0.5	11.8±0.5	4.9±0.2	75.8±2.4
	12	9.2±0.5	4.8±0.3	10.1±0.2	7.1±0.2	12.3±0.3	11.9±0.5	12.0±0.5	4.8±0.3	72.2±2.8
	0	14.1±0.4	4.9±0.2	13.1±0.4	9.9±0.2	14.1±0.2	18.3±0.6	13.0±0.4	4.9±0.2	92.4±2.6
	2	13.1±0.6	4.9±0.2	12.9±0.5	9.9±0.2	14.0±0.3	18.1±0.2	12.8±0.3	4.9±0.2	90.6±2.5

2.2.2 米糠粉添加量对馒头比容的影响

由图1可知，随着2 种米糠粉添加量的增加，馒头的比容均呈现下降趋势。馒头比容大小跟面团形成的面筋网络结构的稳定性和持气能力有关，随着馒头中米糠粉添加量的增加，米糠粉中膳食纤维及蛋白质等对面筋蛋白的破坏作用增强，造成原来形成的面筋网络结构被破坏，持气能力减弱，最终造成馒头比容呈现下降的趋势。而添加过400 目米糠粉的馒头其比容下降趋势比添加

100~200 目米糠粉的馒头小, 说明粒径较小的米糠粉对馒头比容的负面影响较小。

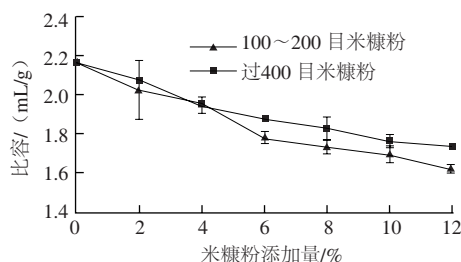


图1 米糠粉添加量对馒头比容的影响

Fig.1 Specific volume of steamed bread

2.2.3 米糠粉添加量对馒头白度值的影响

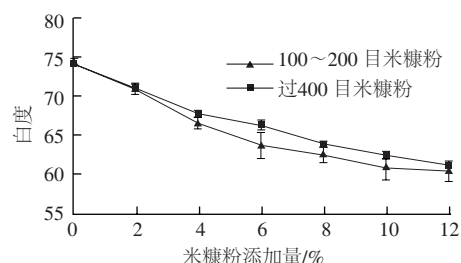


图2 米糠粉添加量对馒头白度值的影响

Fig.2 W_H value of steamed bread

由图2可知, 随着米糠粉添加量的增加, 馒头的白度值总体呈下降的趋势。有研究表明馒头的白度与其内部孔洞的细密均匀程度有很大关系^[21], 添加了米糠粉的馒头, 其内部孔洞比较粗糙, 大小不均匀, 进而导致了馒头白度的下降; 另外, 由于米糠粉本身具有一定的颜色, 其添加量的增大, 也会造成馒头白度的降低。但由于米糠粉粒径越小, 颜色越淡, 且其粉体对馒头孔径大小影响也越小, 所以添加粒径较小的米糠粉其馒头白度下降更缓慢。

2.2.4 米糠粉添加量对馒头质构特性的影响

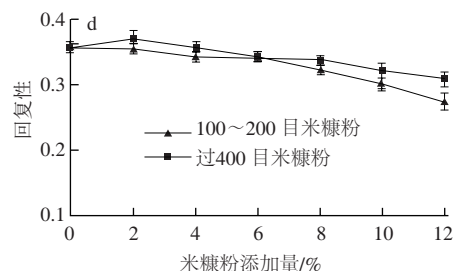
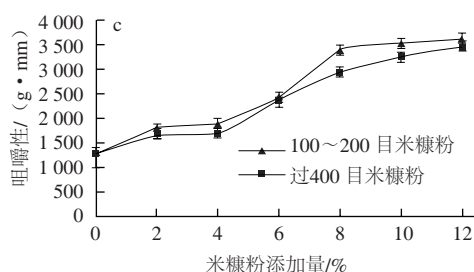
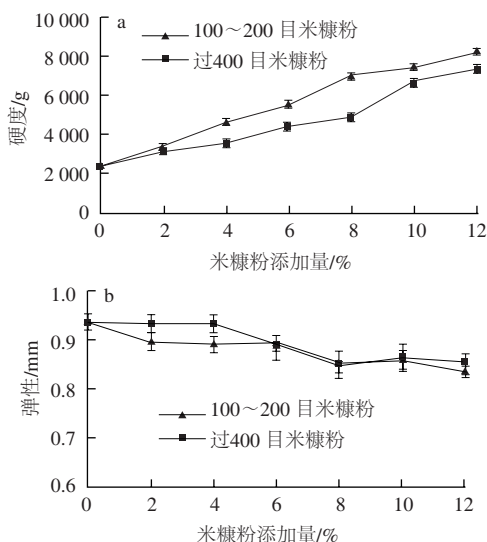


图3 米糠粉添加量对馒头质构特性的影响

Fig.3 Textural profile analysis of steamed bread

由图3可知, 对于添加100~200 目和过400 目米糠粉的馒头, 其硬度、咀嚼性均随着米糠粉添加量的增加而明显增大; 馒头的弹性则随着添加量的增加而略有减小; 而馒头的回复性起初变化不明显, 在添加量达到6%以后开始有明显的减小。综上所述, 添加米糠粉对馒头的质构特性有一定的恶化, 但在添加量小于6%时恶化作用不明显, 这也与感官评价得出的分析结果基本一致。

2.2.5 米糠粉添加量对馒头老化的影响

由表7、8可知, 添加100~200 目和过400 目米糠粉对改善馒头老化的趋势和效果基本相同: 硬度在贮藏第1天内增幅明显, 而后呈现较缓慢的上升趋势。总体上看, 添加米糠粉的馒头在贮藏过程中硬度和弹性变化较未添加米糠粉的馒头有一定减缓的趋势, 且随着米糠粉添加量的增大以及米糠粉粒径的减小, 其硬度和弹性变化进一步变慢。其硬度变化结果与钱平^[18]的研究结果基本一致。这是由于一方面米糠膳食纤维中含有亲水基团、可以提高面粉的持水力; 另一方面粉体中含有的蛋白质分子具有较好的保水性, 能减少水分散失, 从而保持馒头的弹性, 综合考虑这两方面的作用, 添加米糠粉可以在一定程度上延缓馒头老化^[22]。但如果添加量过大, 则会导致面筋的过分稀释而超过米糠膳食纤维和蛋白质对面粉的改良作用, 对馒头品质产生负面影响。因此100~200 目米糠粉的添加量应控制在4%~6%, 过400 目米糠粉添加量应控制在6%~8%。

表7 米糠粉添加量对馒头弹性的影响
Table 7 Effect of rice bran powder on steamed bread springiness

样品	添加量/%	弹性/mm			
		第0天	第1天	第2天	第3天
100~200 目米糠粉	0	0.938±0.017	0.887±0.018	0.847±0.018	0.787±0.014
	2	0.897±0.019	0.889±0.013	0.839±0.006	0.765±0.018
	4	0.892±0.016	0.878±0.014	0.848±0.017	0.766±0.018
	6	0.886±0.025	0.869±0.014	0.839±0.009	0.753±0.009
	8	0.858±0.022	0.801±0.007	0.807±0.013	0.751±0.017
	10	0.861±0.019	0.781±0.012	0.785±0.013	0.725±0.019
	12	0.836±0.012	0.778±0.023	0.756±0.015	0.721±0.021
过400 目米糠粉	0	0.938±0.017	0.887±0.018	0.847±0.018	0.787±0.014
	2	0.934±0.019	0.826±0.015	0.792±0.012	0.799±0.016
	4	0.934±0.018	0.798±0.003	0.776±0.015	0.765±0.018
	6	0.894±0.016	0.771±0.016	0.772±0.023	0.763±0.012
	8	0.851±0.029	0.771±0.012	0.775±0.022	0.787±0.016
	10	0.866±0.028	0.769±0.018	0.753±0.012	0.753±0.012
	12	0.856±0.017	0.763±0.017	0.752±0.006	0.742±0.005

表8 米糠粉对馒头硬度的影响
Table 8 Effect of rice bran powder on steamed bread hardness

样品	添加量/%	硬度/g			
		第0天	第1天	第2天	第3天
100~200 目米糠粉	0	2 381.168±100.231	4 930.035±167.887	5 620.771±187.308	7 083.888±104.201
	2	3 469.503±89.093	6 278.306±154.761	7 936.784±106.300	8 765.236±133.318
	4	4 697.316±132.078	9 667.206±165.344	10 540.936±114.300	10 857.805±109.309
	6	5 578.686±146.092	11 011.782±154.739	14 676.134±156.300	15 111.829±163.217
	8	7 029.448±145.457	13 014.694±132.442	16 685.318±189.521	16 139.002±198.321
	10	7 502.337±165.709	14 076.327±125.541	17 165.265±156.317	17 963.213±153.219
	12	8 224.167±178.981	14 582.097±154.419	18 099.375±167.438	19 728.438±187.351
过400 目米糠粉	0	2 381.168±100.226	4 930.035±167.890	5 620.771±187.313	7 083.888±104.200
	2	3 117.273±103.980	5 197.606±154.532	7 050.620±156.432	8 460.933±109.518
	4	3 595.512±145.894	5 876.216±148.094	7 756.172±154.320	8 536.799±163.201
	6	4 423.363±99.027	6 606.802±130.428	9 708.245±187.341	11 394.861±189.322
	8	4 881.290±165.092	8 756.327±179.438	10 365.761±156.328	11 365.276±198.318
	10	6 650.611±187.978	9 478.166±154.927	12 421.310±145.752	12 045.170±200.334
	12	7 368.440±179.383	9 838.032±132.563	13 865.068±178.439	15 439.656±234.232

3 结 论

添加100~200 目和过400 目米糠粉均使面团吸水率增大、形成时间和稳定时间先增大后减小、弱化度先平稳后逐渐增大；吸水率、弱化度和与米糠粉添加量呈极显著正相关；稳定时间与米糠粉添加量呈显著负相关，形成时间与添加量呈负相关，两种粒度米糠粉在添加量为6%以下时对面团的粉质特性均具有一定改良作用。而其添加量大于8%以后对面粉的性质有一定的恶化作用。

添加100~200 目和过400 目米糠粉均使面团的能量和延伸度下降，面团最大抗拉阻力增大，但面团抗拉阻力增大给面团带来的正面效果不能完全抵消面团能量和延伸度下降带来的负面影响，因此，二者的添加使面团的拉伸性能有所下降。但在100~200 目米糠粉添加量为4%~6%和过400 目米糠粉添加量为6%~8%时，粉体对面团的拉伸特性恶化不明显。

随着100~200 目米糠粉添加量的增加，馒头颜色逐渐加深，馒头的白度值逐渐减小；100~200 目米糠粉添加量为4%~6%时馒头的比容、硬度、弹性、咀嚼性和回复性都较好，且感官评价得分较高，综合评价其适宜添加量在4%~6%。而过400 目米糠粉的添加对馒头的白度值影响较小，其添加量小于6%~8%时质构性质较好，且同等添加量下感官评价得分高于100~200 目米糠粉，综合评价其添加量在6%~8%为宜。

添加米糠粉可以在一定程度上延缓馒头老化。但是如果添加量过大，则对馒头品质产生负面影响。100~200 目米糠粉的添加量应控制在4%~6%，过400 目米糠粉添加量应控制在6%~8%。

超微粉碎技术既可有效地解决米糠粉颜色较深且口感粗糙的问题，最大限度地保留米糠粉的营养成分，又能提高馒头中膳食纤维含量，是富含膳食纤维粮食加工副产物增值利用的有效手段。

参考文献：

- [1] 林汝法, 柴岩, 廖琴, 等. 中国小杂粮[M]. 北京: 中国农业科学出版社, 2002: 194-202.
- [2] VISWANATH V, UROOJ A, MALLESINI N G. Evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of finger millet polyphenols (*Eleusine coracana*)[J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 340-346.
- [3] 刘敬科, 赵巍, 刘莹莹, 等. 小米糠膳食纤维制备工艺及通便特性的研究[J]. 食品科技, 2014, 39(2): 177-181.
- [4] SUMA P F, UROOJ A. Antioxidant activity of extracts from foxtail millet (*Setaria italica*)[J]. Journal of Food Science and Technology, 2012, 49(4): 500-504.
- [5] 单树花, 武海丽, 李宗伟, 等. 小米米糠中抗癌细胞增殖活性蛋白的分离纯化[J]. 食品科学, 2013, 34(9): 296-300. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201309060.
- [6] SHAN Shuhua, LI Zongwei, NEWTON I P, et al. A novel protein extracted from foxtail millet bran displays anti-carcinogenic effects in human colon cancer cells[J]. Toxicology Letters, 2014, 227(2): 129-138.
- [7] KANNAN A, HETTIARACHCHY N, NARAYAN S. Colon and breast anti-cancer effects of peptide hydrolysates derived from rice bran[J]. The Open Bioactive Compounds Journal, 2009, 2(1): 17-20.
- [8] 刘敬科, 赵巍, 张华博, 等. 小米糠膳食纤维调节血糖和血脂功能的研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(8): 1636-1639.
- [9] QIN Peng, CHENG Shunhe, MA Chuanxi. Effect of waxy wheat flour blends on the quality of Chinese steamed bread[J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(10): 1275-1282.
- [10] 张焕新, 张伟, 徐春仲. 糯小麦粉添加量对配粉流变学特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(3): 80-84. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201403017.
- [11] 冯世德, 孙太凡. 玉米粉对小麦面团和馒头质构特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 101-104.
- [12] GB/T 14614—2006 小麦粉 面团的物理特性 吸水量和流变学特性的测定 粉质仪法[S].
- [13] GB/T 14615—2006 小麦粉 面团的物理特性 流变学特性的测定 拉伸仪法[S].
- [14] GB/T 20571—2006 小麦储存品质判定规则[S].
- [15] 苒艳花. 馒头白度研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011: 12.
- [16] 李秀玲, 王岸娜, 刘芳. 玉米种皮膳食纤维对面团流变学特性及馒头品质的影响[J]. 农业机械, 2012(21): 70-73.
- [17] SIM S Y, NOOR AZIAH A A, CHENG L H. Characteristics of wheat dough and Chinese steamed bread added with sodium alginates or konjac glucomannan[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 951-957.
- [18] 钱平. 小麦粉品质对馒头的影响及馒头抗老化研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005: 6-7.
- [19] IZYDORCZYK M S, BILIADERIS C G. Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties[J]. Carbohydrate Polymers, 1995, 28(1): 33-48.
- [20] SUDHA M L, VETRIMANI R, LEELAVATHI K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality[J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1365-1370.
- [21] 徐婧婷, 刘长虹, 杨兆明, 等. 馒头内部结构与感官指标相关性研究[J]. 粮油食品科技, 2008, 16(3): 9-12.
- [22] 肖安红, 何东平, 张世宏. 低温脱脂豆粕与大豆豆粕膳食纤维改善馒头品质及老化的比较[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(4): 73-76.