

黑小豆超微全粉对面团流变学特性及馒头品质的影响

王 军^{1,2} 程晶晶² 王周利¹ 袁亚宏¹ 郭康权^{3,4} 岳田利^{1*}

¹ 西北农林科技大学食品科学与工程学院 陕西杨凌 712100

² 许昌学院食品与生物工程学院 河南许昌 461000

³ 西北农林科技大学机械与电子工程学院 陕西杨凌 712100

⁴ 陕西省农业装备工程技术研究中心 陕西杨凌 712100

摘要 以不同比例的黑小豆超微全粉替代小麦粉,研究黑小豆超微全粉对配粉糊化特性、面团流变学特性及馒头品质的影响。结果表明,随着黑小豆全粉添加量的增加,配粉各项黏度值和峰值时间均显著降低,糊化温度升高。配粉的吸水率增加,面团形成时间、稳定时间和粉质指数先增加后降低。面团拉伸曲线面积和拉伸阻力先增加后降低,延伸度显著降低。试验中拉伸比例在 1.2~1.3 比较合适。添加黑小豆全粉使馒头的外观、组织结构、色泽和弹性得分均降低,比容、黏性及气味和滋味差异不显著。馒头的硬度和咀嚼性显著增加,黏附性先降低后增加,内聚性、弹性和回复性均无显著变化。图像分析指标除气孔延长度外均差异显著。图像分析法可定量描述馒头的内部气孔结构,对馒头品质的评价更加准确、客观。黑小豆全粉的添加量以 5%~10% 为宜。

关键词 黑小豆;超微全粉;流变学特性;馒头;图像分析

文章编号 1009-7848(2019)01-0103-08 **doi**: 10.16429/j.1009-7848.2019.01.014

黑小豆(*Phaseolus vulgaris* L.),又名黑饭豆、黑芸豆、乌饭豆、乌青豆,是高蛋白、中淀粉、低脂肪的作物,其种子中蛋白含量达 23%,比谷物类高 1~3 倍,比薯类高 8~15 倍。黑小豆药用价值也很高,具有较高的植物凝集素和黑色素等,有滋补、利尿、消肿等功效^[1-2]。目前对黑小豆的开发利用主要集中在黑小豆淀粉、蛋白及种皮色素等某种单一营养成分方面,既浪费资源,副产物还会对环境造成污染^[3]。黑小豆全粉是将黑小豆带皮粉碎得到的一种食品原料,既能实现黑小豆营养成分完全利用,又能减少环境污染。由于黑小豆种皮粗纤维机械强度较大,传统的粉碎技术较难将黑小豆全粉中的粗纤维细化到使口感较好的程度。

超微粉碎技术是利用机械或流体动力对物料进行碾磨、冲击、剪切等,将 3 mm 以上的物料颗粒粉碎至 10~25 μm 的微细颗粒^[4-6]。超微细粉末是

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。超微细粉末已广泛应用于食品、化工、医药、化妆品、农药、染料、涂料、电子及航空航天等领域^[7]。

馒头一直是我国传统的大众主食,在全国面制品的消费中约占 46%。尤其在北方,馒头的消费量在膳食结构中约占 2/3^[8]。随着生活水平的提高,人们对馒头品质提出了更高的要求,黑小豆馒头将以其独特的营养价值和风味受到消费者的欢迎。本文以黑小豆和小麦粉为原料制备面团和馒头,研究黑小豆超微全粉对配粉糊化特性、面团流变学特性及馒头品质的影响,为黑小豆超微全粉在馒头中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

黑小豆,本地某大型超市;小麦粉(蛋白质含量 13%),河南湖雪食品有限公司;高活性干酵母,安琪酵母股份有限公司。

JYL-C022E 型料理机,九阳股份有限公司;NLD-6DI 型振动式超微粉碎机,济南纳力德超微

收稿日期:2018-01-02

基金项目:国家自然科学基金项目(31371814,31501499);
河南省科技攻关计划项目(182102110286);
河南省高等学校重点科研项目(18A550014)

作者简介:王军,男,1978 年出生,博士后,讲师

通讯作者:岳田利 E-mail: yuetl@nwsuaf.edu.cn

粉碎技术有限公司;SALD-301V型激光粒度仪,岛津公司;MT-75S02型馒头机,九阳股份有限公司;810152型自动粉质仪、860704型电子拉伸仪,德国 Brabender 仪器公司;RVA-TM型快速黏度分析仪,澳大利亚 Newport Scientific 公司;TMS-PRO型质构仪,美国 FTC 公司;C-Cell 图像分析仪,英国 Calibre Control International 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 超微全粉制备 粗粉制备:采用九阳料理机对黑小豆进行带皮粉碎,每次打粉时间 15 s,每次间隔 2 min,粉碎时间 45 s。将黑小豆粗粉进行热风干燥(热风温度 60 ℃),干燥至水分含量 6% 以下。

超微全粉制备: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 5 ℃,粉碎时间 20 min。经测定,所得到的黑小豆超微全粉平均粒径 D_{50} 为 23.02 μm 。

1.2.2 配粉 分别用 5%、10%、15% 和 20% 的超微全粉替代相应比例的小麦粉,混合均匀。以不加超微全粉的小麦粉作为对照。

1.2.3 配粉糊化特性测定 称取 (3.5 ± 0.01) g 面粉,转移到样品筒中,量取 25.0 mL 蒸馏水加入样品筒中,将搅拌器置于样品筒中上下快速搅动 10

次,使样品分散,置于 RVA 中。最初采用 960 r/min 搅拌形成均匀浑浊液后保持 160 r/min 转速至试验结束。采用 GB 24853-2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定 快速粘度仪法》标准程序 1 的温度模式进行测试,然后根据 RVA 曲线,获得糊化特性相关参数。

1.2.4 面团粉质特性测定 根据 GB/T 14614-2006/ISO 5530-1:1997《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》,利用粉质仪对面粉粉质特性进行测试。

1.2.5 面团拉伸特性测定 根据 GB/T 14615-2006/ISO 5530-2:1997《小麦粉面团的物理特性 吸水量和流变学特性的测定 拉伸仪法》,利用拉伸仪对面团拉伸特性进行测试。

1.2.6 馒头的制作及感官评价 馒头制作:和面(面粉 150 g,酵母 1.5 g,水 90 g),面团发酵(30 ℃,相对湿度 70%,45 min),搓圆整形,醒发(37 ℃,相对湿度 90%,30 min),蒸制(冷水下锅,30 min),冷却(60 min),得馒头成品。将冷却后的馒头称质量,用油菜籽排空法测量体积,计算比容,并对馒头品质进行感官评价。馒头感官评分标准参照 GB/T 21118-2007,并做部分修改,见表 1。

表 1 馒头感官评分标准

Table 1 Criteria of sensory evaluation of steamed bread

项目	满分	评分标准
比容	25	$25 - (2.8 - \text{sv})/0.08$
外观	5	1.51~1.60(5分)
		1.61~1.70(4分)
		1.71~1.80(3分)
		1.81~1.90(2分)
		1.91~2.00(1分)
色泽	5	高分给予很光亮的表皮
	5	高分给予表皮光滑,没有起皱、塌陷、小麻点、气泡或烫斑的表皮
	5	高分给予很自然、颜色均一的皮
	5	高分给予很自然、颜色均一的瓤
	10	高分给予内部组织均匀,气孔小而均匀,孔壁薄,无大孔洞,细腻的馒头瓤
	10	高分给予手指按压复原性好,有咬劲的馒头瓤
	10	高分给予不粘牙的馒头瓤
气味和滋味	10	高分给予具有发酵面制品的清香,没有酸味或其它怪味的馒头瓤
	10	高分给予没有异味,口感较好的馒头瓤

1.2.7 馒头质构测定 取出蒸好的馒头于室温下冷却 1 h, 切成 3 cm×3 m×2.5 cm 大小的长方体测定馒头的质构。仪器参数设定在 TPA 模式下, 前速率:30.00 mm/min; 中速率:30.00 mm/min; 后速率:30.00 mm/min; 压缩比:50%; 间隔时间:5 s; 起始力:0.5 N; 重复 3 次, 取平均值。

1.2.8 数字图像分析 取出蒸好的馒头于室温下冷却 2 h, 切片, 厚度约为 13 mm, 取中间的两个馒头片进行试验。C-Cell 测试按照仪器说明书进行, 将样品放置在样品盒中, 注意每次都要放置在相同的位置。启动程序获取图像, 利用程序中的图像分析软件对其进行分析。

1.3 数据分析

采用 SPSS 11.0 进行数据分析与统计, 试验数据以均值±标准差表示, 显著性 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 黑小豆超微全粉对配粉糊化特性的影响

黑小豆超微全粉对配粉糊化特性的影响结果见表 2。由表 2 可知, 随着黑小豆超微全粉添加量的增加, 与对照相比, 配粉各项黏度值和峰值时间均显著降低, 糊化温度则升高。糊化主要是淀粉与水共热后, 淀粉粒开始破坏, 晶体结构消失, 淀粉分子彼此牵扯, 形成具有黏性的糊状溶液。面粉的

糊化特性主要受面粉中淀粉含量、结构以及直/支链淀粉比例等因素影响^[9]。黑小豆淀粉含量远低于小麦粉, 黑小豆全粉的添加导致配粉的淀粉含量降低, 配粉的各项黏度值和峰值时间也随之减少。雷宏等^[10]研究了淀粉添加量对小麦粉糊化特性的影响, 发现淀粉添加量与各项黏度值及峰值时间均呈显著正相关, 这与本文研究结果一致。杜双奎等^[11]研究了多种食用豆粉的糊化特性, 结果也表明豆类淀粉糊化黏度参数值较低主要是因为淀粉含量较低。

衰减值反映淀粉颗粒在加热过程中的稳定性, 衰减值越大, 说明淀粉结构越不稳定。回生值则反映了温度降低后淀粉分子重新结晶的程度, 黏度会增加^[12]。黑小豆蛋白质含量高于小麦粉, 黑小豆全粉的添加使配粉蛋白质含量增加, 蛋白质和淀粉间的相互作用增强, 有助于维持淀粉结构稳定, 减少加热和剪切力对淀粉颗粒的破坏, 衰减则降低; 同时也能阻碍淀粉分子的重新聚集, 从而减缓淀粉回生进程, 降低回生值。另外, 蛋白质和淀粉的作用会降低淀粉吸水性, 阻碍淀粉颗粒的膨胀和糊化, 导致糊化温度升高。黑小豆脂类含量高于小麦粉, 脂类物质也能与淀粉形成复合物从而降低糊化程度, 提高糊化温度。

表 2 黑小豆超微全粉对配粉糊化特性的影响

Table 2 Effect of superfine grinded whole black kidney bean powder on pasting properties of the blending flour							
添加量/%	峰值黏度/ mPa·s	最低黏度/ mPa·s	衰减值/ mPa·s	最终黏度/ mPa·s	回生值/ mPa·s	峰值时间/ min	糊化温度/ ℃
0	1 348.50 ± 3.54 ^a	888.50 ± 3.54 ^a	460.00 ± 0.00 ^a	1 737.50 ± 6.36 ^a	849.00 ± 2.83 ^a	5.84 ± 0.05 ^a	66.95 ± 0.00 ^d
5	1 114.00 ± 42.43 ^b	715.00 ± 28.28 ^b	399.00 ± 14.14 ^b	1 433.50 ± 54.45 ^b	718.50 ± 26.16 ^b	5.70 ± 0.04 ^b	67.68 ± 0.04 ^{cd}
10	1 016.00 ± 41.01 ^b	630.00 ± 14.14 ^c	386.00 ± 26.87 ^b	1 267.50 ± 24.75 ^c	637.50 ± 10.61 ^c	5.57 ± 0.05 ^c	68.05 ± 0.64 ^{bc}
15	836.50 ± 27.58 ^c	511.00 ± 14.14 ^d	325.50 ± 13.44 ^c	1 020.00 ± 24.04 ^d	509.00 ± 9.90 ^d	5.37 ± 0.05 ^d	68.48 ± 0.11 ^b
20	650.00 ± 62.23 ^d	419.00 ± 31.11 ^e	231.00 ± 31.11 ^d	842.00 ± 55.15 ^e	423.00 ± 24.04 ^e	5.30 ± 0.04 ^d	69.35 ± 0.00 ^a

注:表中同一列数据不同上标字母代表显著性差异($P<0.05$),下同。

2.2 黑小豆超微全粉对配粉粉质特性的影响

黑小豆超微全粉对配粉粉质特性的影响结果见表 3。由表 3 可知, 随着黑小豆全粉添加量的增加, 与空白相比, 配粉的吸水率显著增加, 形成时间、稳定时间和粉质指数则先增加后降低。黑小豆

全粉的膳食纤维和蛋白质含量均高于小麦粉, 增加了配粉的吸水性, 使吸水率增加。面团形成时间与面筋含量有关, 形成时间短, 表明面筋含量低。面团稳定时间与配粉面筋强度相关, 稳定时间长, 表明配粉筋力强, 耐柔性好; 稳定时间短, 表明面

团筋力减弱,搅拌耐力下降^[13]。黑小豆全粉的添加会降低配粉的面筋含量。当添加量较低时(5%~10%),面筋含量降低不显著,另外分析可能是黑小豆蛋白参与了面筋网络的形成,使面团筋力有所增强;添加量继续增加则面筋含量显著降低,面团筋力减弱。王恕等^[14]研究了大豆粉对小麦粉流

变学特性的影响,发现大豆粉可以提高面粉的吸水率,同时大豆蛋白有助于面筋网络的形成和稳定,这与本文的研究结果一致。Emigdio 等^[15]和张雷等^[16]的研究结果也表明大豆蛋白的加入可以提高面团的面筋强度。对于豆类蛋白影响面筋网络结构的机理还有待进一步研究。

表3 黑小豆超微全粉对配粉粉质特性的影响

Table 3 Effect of superfine grinded whole black kidney bean powder on farinograph properties of the blending flour

添加量/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度	粉质指数
0	59.25 ± 0.35 ^c	3.77 ± 0.10 ^c	5.05 ± 0.09 ^b	88.80 ± 7.35 ^b	64.75 ± 3.18 ^b
5	60.10 ± 0.28 ^c	4.57 ± 0.10 ^b	5.57 ± 0.09 ^a	80.95 ± 5.59 ^b	78.70 ± 3.82 ^a
10	60.80 ± 1.13 ^{bc}	4.57 ± 0.04 ^b	5.38 ± 0.04 ^a	78.55 ± 3.61 ^b	80.65 ± 5.16 ^a
15	62.75 ± 1.06 ^b	4.80 ± 0.01 ^a	4.38 ± 0.03 ^c	85.00 ± 5.66 ^b	73.50 ± 2.12 ^{ab}
20	65.55 ± 0.78 ^a	4.65 ± 0.07 ^{ab}	4.18 ± 0.11 ^c	107.50 ± 7.78 ^a	69.55 ± 2.05 ^b

2.3 黑小豆超微全粉对面团拉伸特性的影响

黑小豆超微全粉对面团拉伸特性的影响结果见表4。由表4可知,随着黑小豆全粉添加量的增加,与空白相比,不同醒发时间的面团拉伸阻力呈先增加后降低的变化趋势,延伸度则显著降低。小麦面筋主要由麦醇溶蛋白和麦谷蛋白组成,麦醇溶蛋白决定面筋的延伸性,麦谷蛋白决定面筋的弹性和抗延伸性^[17]。通过表3的分析发现,黑小豆蛋白参与了面筋网络的形成,使面团筋力增强。结合表4中拉伸阻力和延伸度的变化趋势,进一步推测黑小豆蛋白在参与面筋网络的形成过程中,主要发挥了类似麦谷蛋白的功能,增加面团的强度和抗延伸性,从而在一定条件下增加面团的拉伸阻力,对延伸度影响不大。拉伸曲线的面积反映了面团从开始拉伸到拉断为止所需要的总能量,反映了面团弹韧性的大小,主要受麦谷蛋白含量的影响^[19]。表4中拉伸曲线面积与拉伸阻力变化规律一致。

拉伸比例表示面团拉伸阻力与拉伸长度的关系,它将面团拉伸阻力与延伸度两个指标综合起来,判断面粉品质^[19]。拉伸比例大,则意味着阻力大,延伸性小,面团膨胀会受阻,起发不好,馒头体积偏小;拉伸比例小,则阻力小,延伸性大,面团发酵时会迅速变软和流散,馒头表明易发生塌陷。因

此,面团的拉伸比例有一个合适的范围,太大或太小都会影响发酵面制品的品质,其选择应根据不同面制品的要求而定。结合表5的感官评价总分来看,本试验中拉伸比例约在1.2~1.3(添加量5%~10%)合适。综合来看,醒发时间对延伸度影响不大;醒发时间为90 min时,拉伸曲线面积、拉伸阻力和拉伸比例最大,面团筋力最强。

2.4 黑小豆超微全粉对馒头感官品质的影响

黑小豆超微全粉对馒头感官品质的影响结果见表5。由表5可知,随着黑小豆超微全粉添加量的增加,与对照相比,除比容、黏性及气味和滋味外,各指标得分及总分均显著降低。黑小豆全粉的添加降低了面粉中面筋蛋白的含量,而面筋蛋白在面团制作过程中可形成网络结构,在发酵过程中保持气体,对馒头的品质至关重要^[20]。面筋蛋白含量降低,馒头内部结构变差,外观、组织结构和弹韧性得分均降低。黑小豆种皮中富含花色苷等酚类物质,黑小豆全粉的添加使混合粉具有较深的色泽,导致色泽得分降低。黏性得分有所降低,而差异不显著。馒头粘牙多是由于蒸制时间不够,或和面时加水过多引起,可通过调整工艺进行改善^[21]。研究发现黑小豆超微全粉对馒头的比容影响不大,可能由于超微粉碎技术有助于改善配粉的发酵特性。结果表明黑小豆超微全粉的添加量

以 5%~10%为宜。通过感官评价表明黑小豆全粉 碎技术能够改善黑小豆全粉的食品品质。馒头的口感得到改善,不再有粗糙的感觉,超微粉

表 4 黑小豆超微全粉对面团拉伸特性的影响

Table 4 Effect of superfine grinded whole black kidney bean powder on extensigraph properties of the flour dough

添加量/%	醒发时间/min	拉伸曲线面积/cm ²	拉伸阻力	延伸度/mm	拉伸比例
0	45	65.85 ± 3.46 ^{abc}	195.55 ± 7.85 ^{ef}	175.60 ± 7.92 ^a	1.11 ± 0.01 ^f
	90	69.45 ± 5.02 ^{ab}	217.85 ± 9.69 ^{bcd}	173.55 ± 9.12 ^a	1.26 ± 0.01 ^e
	135	61.90 ± 5.37 ^{bc}	193.65 ± 9.40 ^{ef}	174.85 ± 8.27 ^a	1.11 ± 0.00 ^f
5	45	60.90 ± 3.96 ^c	203.75 ± 10.96 ^{cde}	166.40 ± 11.88 ^{ab}	1.23 ± 0.02 ^e
	90	69.95 ± 3.46 ^a	227.70 ± 7.50 ^b	171.55 ± 7.85 ^a	1.33 ± 0.02 ^{cd}
	135	71.85 ± 4.03 ^a	223.90 ± 10.04 ^{bc}	171.10 ± 5.80 ^a	1.31 ± 0.01 ^d
10	45	61.15 ± 4.45 ^{bc}	212.85 ± 10.11 ^{bcd}	154.60 ± 6.51 ^b	1.38 ± 0.01 ^b
	90	71.90 ± 4.10 ^a	255.70 ± 11.74 ^a	164.85 ± 5.44 ^{ab}	1.55 ± 0.02 ^a
	135	56.70 ± 3.82 ^{cd}	202.55 ± 12.09 ^{de}	152.40 ± 6.22 ^{bc}	1.33 ± 0.03 ^{cd}
15	45	45.45 ± 2.05 ^{de}	177.50 ± 9.19 ^{fg}	130.15 ± 7.28 ^d	1.36 ± 0.01 ^{bc}
	90	51.85 ± 4.03 ^d	177.25 ± 10.96 ^{fg}	132.05 ± 5.73 ^d	1.34 ± 0.02 ^{bcd}
	135	43.65 ± 3.75 ^e	179.95 ± 7.14 ^{fg}	138.30 ± 6.08 ^{cd}	1.30 ± 0.01 ^d
20	45	23.70 ± 2.40 ^g	113.75 ± 10.25 ⁱ	130.65 ± 6.58 ^d	0.87 ± 0.03 ^g
	90	33.10 ± 1.56 ^f	169.85 ± 8.70 ^g	129.05 ± 5.73 ^d	1.32 ± 0.01 ^d
	135	25.55 ± 2.19 ^g	139.55 ± 10.54 ^h	124.10 ± 4.38 ^d	1.12 ± 0.05 ^f

表 5 黑小豆超微全粉对馒头感官品质的影响

Table 5 Effect of superfine grinded whole black kidney bean powder on the sensory quality of steamed bread

添加量/%	比容	外观	色泽	组织结构	弹韧性	黏性	气味和滋味	总分
0	13.19 ± 0.69 ^{ab}	12.50 ± 1.32 ^a	9.33 ± 0.58 ^a	9.33 ± 1.15 ^a	9.33 ± 1.15 ^a	9.33 ± 1.15 ^a	17.33 ± 1.53 ^a	80.36 ± 4.49 ^a
5	13.44 ± 1.19 ^{ab}	13.43 ± 1.44 ^a	8.43 ± 1.29 ^{ab}	8.33 ± 0.58 ^a	9.00 ± 1.00 ^a	8.67 ± 1.53 ^a	16.33 ± 2.08 ^a	77.64 ± 2.79 ^{ab}
10	14.19 ± 1.31 ^a	10.67 ± 0.58 ^{ab}	7.50 ± 0.87 ^{ab}	6.33 ± 0.58 ^b	6.67 ± 1.15 ^b	8.33 ± 0.58 ^a	16.00 ± 1.73 ^a	70.02 ± 3.35 ^{bc}
15	12.81 ± 1.31 ^b	10.83 ± 2.25 ^{ab}	7.67 ± 2.25 ^{ab}	5.67 ± 0.58 ^b	5.67 ± 0.58 ^b	7.67 ± 0.58 ^a	15.33 ± 3.06 ^a	65.31 ± 7.80 ^c
20	14.44 ± 1.56 ^a	9.00 ± 1.73 ^b	5.83 ± 1.61 ^b	4.33 ± 0.58 ^c	5.00 ± 1.00 ^b	7.67 ± 0.58 ^a	15.33 ± 2.08 ^a	62.61 ± 3.81 ^c

2.5 黑小豆超微全粉对馒头质构的影响

黑小豆超微全粉对馒头质构的影响结果见表 6。由表 6 可知,随着黑小豆全粉的添加,与对照相比,硬度和咀嚼性显著增大。在质构分析中,硬度为压缩时探头受到的最大阻力,可反映品尝试验中对食物硬度的感觉,咀嚼性则由硬度指标计算而来,二者变化规律基本一致^[20]。黏附性先降低后增加,内聚性和回复性均无显著变化,这与张焕新等^[20]的研究结果不一致,可能与黑小豆全粉添加量较低有关。TPA 分析中弹性表示样品经过第 1

次压缩后能够再恢复的程度。由表 6 可知,弹性无显著变化,与表 5 中弹韧性得分显著降低的变化趋势不一致,表明在馒头 TPA 测试中所得到的弹性指标不能简单等同于感官评定中的弹韧性^[22]。

2.6 黑小豆超微全粉对馒头内部纹理结构的影响

C-Cell 图像分析仪是一种对面包、馒头和其它发酵产品进行质量控制的系统,通过对样品切片图像进行处理和分析,得到关于样品的形态大小、气孔结构和特性等大量信息,能够对发酵面制

表6 黑小豆超微全粉对馒头质构的影响

Table 6 Effect of superfine grinded whole black kidney bean powder on the texture of steamed bread

添加量/%	硬度/N	黏附性/mJ	内聚性	弹性	咀嚼性/N	回复性
0	8.20 ± 0.75 ^d	0.32 ± 0.02 ^b	0.70 ± 0.01 ^{ab}	0.84 ± 0.03 ^a	4.85 ± 0.56 ^c	0.39 ± 0.01 ^a
5	11.50 ± 0.79 ^c	0.20 ± 0.02 ^{cd}	0.71 ± 0.03 ^{ab}	0.82 ± 0.02 ^a	6.69 ± 0.38 ^b	0.39 ± 0.01 ^a
10	15.63 ± 0.12 ^b	0.16 ± 0.02 ^d	0.72 ± 0.02 ^a	0.84 ± 0.01 ^a	9.37 ± 0.22 ^a	0.40 ± 0.02 ^a
15	17.27 ± 1.80 ^{ab}	0.30 ± 0.03 ^{bc}	0.71 ± 0.02 ^{ab}	0.84 ± 0.02 ^a	10.24 ± 0.92 ^a	0.38 ± 0.01 ^a
20	18.63 ± 0.91 ^a	0.56 ± 0.14 ^a	0.67 ± 0.04 ^b	0.82 ± 0.01 ^a	10.32 ± 0.55 ^a	0.38 ± 0.03 ^a

品的内部纹理结构进行较全面的评价^[23]。本研究采用 C-Cell 图像分析仪对黑小豆馒头内部纹理结构进行分析,并参照文献^[24],选取 9 个代表性特征参数对气孔结构进行评价,结果见表 7。由表 7 可知,随着黑小豆超微全粉添加量的增加,与对照相比,切片亮度、气孔对比度、气孔数量和气孔密度均逐渐降低,壁厚、气孔直径、粗细气孔比和粗气孔体积均逐渐增加,气孔延长度差异不显著。

切片亮度是指切片图像像素的平均灰度值(0~255)。表 7 的结果表明,随着黑小豆全粉添加量的增加,馒头瓢部颜色加深,亮度值降低;另外,随着气孔直径的增加,具有大或深的气孔的样品

由于在获取图像时会产生较大的阴影,亮度值也会降低。气孔对比度是气孔的平均亮度和气孔壁的平均亮度的比值,对比度高表明气孔浅,孔壁薄,光泽度好。由表 7 可知,随着气孔壁厚、气孔直径和粗细气孔比的增加,大气孔增加,气孔对比度也随之降低。黑小豆全粉的添加降低了面筋蛋白含量,面团的持气性变差,气孔数量和气孔密度降低,同时气孔壁厚逐渐增加。气孔延长度一般可以用来表征气孔的形状,数值越接近于 1 表明气孔越趋于圆形。结果表明黑小豆全粉对馒头的气孔形状影响不大。

表7 黑小豆超微全粉对馒头内部纹理结构的影响

Table 7 Effect of superfine grinded whole black kidney bean powder on internal texture of steamed bread

添加量/%	切片亮度	气孔对比度	气孔数量	壁厚/ px	气孔直径/ px	粗细气孔比	粗气孔 体积/px	气孔延长度	气孔密/ 个·px ⁻¹
0	145.20 ± 1.08 ^a	0.817 ± 0.005 ^a	3 867 ± 99 ^a	2.44 ± 0.03 ^c	6.76 ± 0.40 ^b	0.074 ± 0.012 ^b	3.62 ± 0.28 ^c	1.51 ± 0.03 ^{ab}	0.027 ± 0.001 ^a
	97.03 ± 2.24 ^b	0.805 ± 0.007 ^a	3 477 ± 105 ^b	2.57 ± 0.07 ^b	7.82 ± 0.29 ^a	0.089 ± 0.023 ^b	4.40 ± 0.19 ^{bc}	1.54 ± 0.01 ^a	0.022 ± 0.001 ^b
5	66.13 ± 5.58 ^c	0.713 ± 0.016 ^b	3 149 ± 158 ^c	2.61 ± 0.11 ^{ab}	7.80 ± 0.86 ^a	0.102 ± 0.037 ^{ab}	5.19 ± 0.79 ^b	1.53 ± 0.03 ^{ab}	0.022 ± 0.002 ^b
	63.20 ± 5.51 ^c	0.701 ± 0.011 ^b	2 818 ± 181 ^d	2.60 ± 0.03 ^{ab}	7.96 ± 0.62 ^a	0.104 ± 0.021 ^{ab}	5.35 ± 0.30 ^b	1.51 ± 0.01 ^b	0.022 ± 0.001 ^b
10	49.23 ± 0.86 ^d	0.611 ± 0.016 ^c	2 826 ± 97 ^d	2.72 ± 0.11 ^a	8.14 ± 0.21 ^a	0.136 ± 0.040 ^a	6.71 ± 0.99 ^a	1.51 ± 0.02 ^b	0.021 ± 0.002 ^b

注:px 表示像素,1px 约为 0.147 mm。

3 结论

与普通小麦粉相比,黑小豆全粉淀粉含量低,

蛋白质和膳食纤维含量高,使黑小豆-小麦配粉表现出不同的糊化及流变学特性。因黑小豆全粉淀粉

粉含量低,配粉各项黏度值和峰值时间均降低,糊化温度则主要由于高含量的蛋白质与淀粉作用而升高。黑小豆全粉添加量较低时可以增强面筋强度,推测黑小豆蛋白参与了面筋网络的形成;另外,黑小豆蛋白在参与面筋网络形成过程中主要发挥类似麦谷蛋白的功能,增加了面团的强度和抗延伸性。对于黑小豆蛋白影响面筋网络结构的具体机制有待进一步研究。

豆类全粉营养丰富,并且含有多种活性成分,将其用于馒头生产,既可以实现豆类资源的完全利用,达到豆类与谷物营养的相互补充,也为健康主食开发提供一条新的途径。感官评价表明黑小豆超微全粉馒头的口感不再粗糙,证明超微粉碎技术能够改善黑小豆全粉的食用品质。黑小豆全粉对馒头的感官和质构品质均有较大影响。图像分析指标除气孔延长度外均差异显著。目前对于馒头的品质评价主要通过感官评价,而感官评价一般只能进行定性描述,其结果易受主观因素影响。C-Cell 图像分析法可以对馒头的内部气孔结构进行定量描述,对馒头品质的评价更加准确、客观。结果表明黑小豆超微全粉的添加量以5%~10%为宜。

参 考 文 献

- [1] 柴岩,冯伯利,孙世贤. 中国小杂粮品种[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2007: 3-5.
- [2] 任顺成,王鹏,王国良,等. 常见食用豆类中黄酮类化合物含量的测定[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(7): 132-137.
- [3] 杨红丹,杜双奎,周丽卿,等. 3种杂豆淀粉理化特性的比较[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 186-190.
- [4] MARTINZ B F, LOPEZ S M, SANMARTIN M 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] WANG T, SUN X H, ZHOU Z X, et al. Effects of micro fluidization process on physicochemical properties of wheat bran[J]. Food Research International, 2012, 48(2): 742-747.
- [8] 彭辉. 杂粮馒头的感官品质研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(8): 16-19.
- [9] SAARA P, LEILA K, LAURA F, et al. Enrichment of biscuits and juice with oat β -glucan enhances postprandial satiety[J]. Appetite, 2014, 75(1): 150-156.
- [10] 雷宏,王晓曦,曲艺,等. 小麦粉中的淀粉对其糊化特性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2010, (10): 8-11.
- [11] 杜双奎,杨红丹,于修焯,等. 食用豆粉功能特性与糊化特性[J]. 中国食品学报, 2011, 11(2): 77-86.
- [12] 陈书攀,何国庆,谢卫忠,等. 菊粉对面团流变性 & 面条质构的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(7): 170-175.
- [13] SCHMIELE M, JAEKEL L Z, PATRICIO S, et al. Rheological properties of wheat flour and quality characteristics of pan bread as modified by partial additions of wheat bran or whole grain wheat flour[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2012, 47(10): 2141-2150.
- [14] 王恕,王显伦,胡运生. 小麦粉大豆粉搭配的研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1994, 15(3): 59-63.
- [15] EMIGDIO C L, FLORA L B, ROSALVA M E, et al. Effect of soybean 7S protein fractions, obtained from germinated and nongerminated seeds, on dough rheological properties and bread quality[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(1): 226-234.
- [16] 张雷,朱昆,马田田,等. 大豆分离蛋白粉对全麦粉流变学特性的影响[J]. 粮食加工, 2015, 40(4): 12-14.
- [17] HAN H M, KOH B K. Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(13): 2495-2499.
- [18] GIMENEZ M A, DRAGO S R, de GREEF D, et al. Rheological, functional and nutritional properties of wheat/broad bean (*Vicia faba*) flour blends for pasta formulation[J]. Food Chemistry, 2012, 134(1): 200-206.

- [19] AKALIN A S, KARAGOZLU C, UNAL G. Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin[J]. *European Food Research and Technology*, 2008, 227(3): 889-895.
- [20] 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.
- [21] 黄宜新. 浅析影响馒头品质的主要因素[J]. *西部粮油科技*, 2003(5): 13-17.
- [22] 孙辉, 姜薇莉, 田晓红, 等. 利用物性测试仪分析小麦粉馒头品质[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(6): 121-125.
- [23] 李真, 董英, 於来婷, 等. 大麦全粉对面团特性及面包焙烤品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(4): 197-202, 300.
- [24] 方秀丽, 孙辉, 曹颖君, 等. 利用图像分析仪评价馒头品质的研究[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(6): 90-95.

Effect of Superfine Grinded Whole Black Kidney Bean Powder on Rheological Properties of Flour Dough and Quality of Steamed Bread

Wang Jun^{1,2} Cheng Jingjing² Wang Zhouli¹ Yuan Yahong¹ Guo Kangquan^{3,4} Yue Tianli^{1*}

¹College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi

²College of Food and Bioengineering, Xuchang University, Xuchang 461000, Henan

³College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi

⁴Shaanxi Engineering Research Center for Agricultural Equipment, Yangling 712100, Shaanxi

Abstract Wheat flour was substituted with superfine grinded whole black kidney bean powder, and the effect of the substitution on rheological properties of flour dough and quality of steamed bread made of black kidney bean was investigated. The results revealed that: With the increase of the content of whole black kidney bean powder, all viscosity relevant parameters and time to peak viscosity of the blending flour decreased significantly, and the pasting temperature increased. The water-absorption capacity of the flour increased and the development time, the stability time and farinograph quality number of the flour dough increased first and then decreased. The area under the curve and resistance to extension increased first and then decreased, and the extensibility decreased significantly. The optimum resistance-extensibility ratio was 1.2-1.3. The score of appearance, internal structure, color and elasticity and toughness decreased because of the addition, and specific volume, viscosity and smell and taste didn't change significantly. The hardness and chewiness of steamed bread increased significantly, the adhesiveness decreased first and then increased, and there was no significant change in cohesiveness, springiness and resilience. Except cell elongation, all internal texture relevant parameters changed significantly. Image analysis could describe the internal texture of steamed bread quantitatively and the evaluation would be more accurate and objective. The optimum content of whole black kidney bean powder was 5%-10%.

Keywords black kidney bean; superfine grinded whole powder; rheological properties; steamed bread; image analysis