

高粱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, 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, 陕西省农业装备工程技术研究中心, 陕西杨凌 712100)

摘要: 为研究高粱超微全粉对面团流变学特性及馒头品质的影响, 将高粱超微粉碎后按一定比例添加到小麦面粉中, 测定混合粉的流变学特性, 并对混合粉馒头品质进行评价。结果表明: 高粱超微全粉添加量较低时(5~10%), 混合粉的各项粘度值和峰值时间增加; 添加量增加到15~20%时, 各项粘度值和峰值时间降低, 糊化温度差异不显著。高粱全粉的添加使混合粉的吸水率有所增加。添加量达到10%及以上时, 形成时间、稳定时间、粉质指数、拉伸曲线面积、拉伸阻力和延伸度均显著降低。混合粉馒头除色泽外的各项感官指标得分显著降低。馒头硬度和咀嚼性显著增加, 粘附性和内聚性先增加后降低, 弹性降低, 回复性无明显变化规律。气孔长度差异不大, 其他图像分析指标差异显著。高粱超微全粉的添加改变了混合粉的主要成分特别是淀粉和蛋白质的构成与含量, 对面团流变学特性及馒头品质均有较大影响。

关键词: 高粱超微全粉; 面团; 流变学特性; 馒头; 图像分析

文章编号: 1673-9078(2017)9-202-209

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.9.030

Effect of Superfine Whole Sorghum Flour on the Rheological Properties of Dough and the Quality of Steamed Bread

WANG Jun^{1,2}, CHENG Jing-jing², WANG Zhou-li¹, YUAN Ya-hong¹, GUO Kang-quan³, YUE Tian-li¹

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China) (2. College of Food and Bioengineering, Xuchang University, Xuchang 461000, China) (3. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shanxi Engineering Research Center for Agricultural Equipment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The rheological properties of dough and the quality of steamed bread prepared using blends of superfine whole sorghum flour and wheat flour were investigated. Superfine whole sorghum flour, prepared by grinding whole sorghum to a superfine powder, was added to wheat flour in different proportions. When the whole sorghum flour content in the flour blend was 5~10%, the values of all viscosity-related parameters and the time to reach peak viscosity increased relative to the control; when the whole sorghum flour content reached 15~20%, the values of these parameters decreased, and no significant change in pasting temperature was observed. The water absorption capacity of the flour blends increased with increasing whole sorghum flour content. When the whole sorghum flour content reached 10%, the development time, stability time, farinograph quality number, area of extensograph curve, resistance to extension, and extensibility all decreased significantly compared with the control. Increases in whole sorghum flour content resulted in significant decreases in all sensory-related indexes (except for color). Texture analysis showed that the hardness and chewiness of steamed bread increased, the adhesiveness and cohesiveness increased at first and then decreased, the springiness decreased, and the resilience did not change significantly with increasing whole sorghum flour content. No significant changes in cell elongation or other indexes measured by image analysis were observed with increasing whole sorghum flour content. The addition of superfine whole sorghum flour changed the main components of the flour blends, particularly the composition and content of starch and protein, and had a significant effect on the rheological properties of dough and the quality of steamed bread.

Key words: superfine whole sorghum flour; dough; rheological properties; steamed bread; image analysis

收稿日期: 2017-01-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31371814、31501499); 河南省高等学校重点科研项目(18A550014); 许昌市科技攻关计划项目(20160212110)

作者简介: 王军, 男, 博士后, 研究方向: 农产品加工

通讯作者: 岳田利, 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 农产品加工与食品安全控制

高粱[*Sorghum bicolor* (L.) Moench]又称乌禾、蜀黍,是禾本科高粱属一年生草本植物,是重要的耐旱作物。高粱籽粒的化学组成为淀粉 70%、蛋白质 11%、脂肪 3%、纤维(纤维素与半纤维素)3%、灰分 1.6%与蜡质 0.2%。此外,高粱还含有多种植物化学物质,如非淀粉多糖、原花青素、单宁、酚酸和植物固醇等,在保健食品(抗癌、减肥和预防心血管疾病)开发方面具有潜在的应用价值^[1,2]。目前对高粱的开发利用主要集中在高粱淀粉及种皮色素等某单一营养成分方面,既浪费资源,副产物也会对环境造成污染^[3]。高粱全粉是将高粱带皮粉碎得到的一种食品原料,既能实现高粱营养成分完全利用,又能减少环境污染。由于高粱种皮粗纤维机械强度较大,吸水膨胀等原因,传统的粉碎技术较难将高粱全粉中的粗纤维细化到口感较好的程度。

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 以下的微细颗粒^[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、吸附性和化学反应活性等。因此,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、电子及航空航天等许多领域^[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%。尤其是在北方,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,而高粱馒头以其独特的营养价值将受到消费者的欢迎。因此,以高粱和小麦粉为主要原料,研究高粱超微全粉对面团流变学特性及馒头品质的影响,为高粱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

高粱,购于本地超市;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 型图像分析仪,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:采用九阳料理机对高粱进行带皮粉碎,每次打粉时间 15 s,每次间隔 2 min,粉碎时间 45 s。将高粱粗粉进行热风干燥(热风温度 60 $^{\circ}\text{C}$),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,温度设为 5 $^{\circ}\text{C}$,粉碎时间为 20 min。得到的高粱超微全粉平均粒径 D_{50} 为 29.51 μm 。

1.2.2 高粱超微全粉与小麦粉混合粉的配制

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 糊化特性测定

称取 3.5 \pm 0.01 g 混合粉,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。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 曲线获得糊化特性参数。

1.2.4 粉质特型测定

根据 GB/T 14614-2006/ISO 5530-1: 1997《小麦粉面团的物理特性吸水性和流变学特性的测定 粉质仪法》,利用粉质仪对混合粉粉质特性进行测定。

1.2.5 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性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定。

1.2.6 馒头的制作及感官评价

馒头制作:和面(混合粉 150 g、酵母 1.5 g 和水 90 g),面团发酵(30 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 70%、45 min),搓圆整形,醒发(37 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 90%、30 min),蒸制(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,并进行了部分修改,见表 1。

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 \times 3 cm \times 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:探头移动速率设为 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, 实验数据以均值±标准差表示, 并进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), $p < 0.05$ 则认为有统计学显著差异。

表1 馒头感官评分标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of steamed bread

项目	满分	评分标准
比容 sv	25	$25 - (2.8 - sv) / 0.08$
外观	扩展比(宽/高)	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	表皮光泽	5 光亮4~5分; 暗淡, 无光泽1~3分
	表皮状况	5 光滑4~5分; 皱缩、塌陷、小麻点、气泡或烫斑1~3分
	表皮颜色	5 自然, 颜色均一4~5分; 颜色不均匀1~3分
	瓤颜色	5 自然, 颜色均一4~5分; 颜色不均匀1~3分
组织结构	10	气孔细小而均匀7~10分; 有大气孔、结构粗糙1~6分
弹性	10	手指按压复原性好, 有咬劲7~10分; 咬劲弱且掉渣或咀嚼干硬、无弹性1~6分
黏性	10	爽口不粘牙7~10分; 稍黏或黏1~6分
气味和滋味	气味	10 具有发酵面制品的清香, 无异味7~10分; 有异味1~6分
	滋味	10 无异味, 口感较好7~10分; 有异味1~6分

2 结果与分析

2.1 高粱超微全粉对混合粉糊化特性的影响

影响

高粱超微全粉对混合粉糊化特性的影响结果见表2。由表2可知, 随着高粱超微全粉添加量的增加, 混合粉的各项粘度值和峰值时间均呈现先增加后降低的变化趋势, 糊化温度则差异不显著。面粉的糊化特性主要受到面粉中淀粉的含量、结构以及直/支链淀粉比例等因素的影响^[9]。高粱全粉的淀粉含量略低于小麦粉, 但高粱淀粉中支链淀粉的比例达到70~80%, 高

于小麦粉中支链淀粉的比例^[10]。高粱全粉的添加会降低混合粉的淀粉含量, 同时会增加混合粉中支链淀粉的含量。高粱全粉添加量较低时(5~10%), 混合粉的淀粉含量降低不明显, 支链淀粉含量增加成为主要因素, 支链淀粉粘度大, 导致混合粉的各项粘度值和峰值时间均增加; 添加量继续增加时(15~20%), 淀粉含量降低成为主要因素, 各项指标值降低。雷宏等^[11]研究了支链淀粉添加量对小麦粉糊化特性的影响, 结果发现一定条件下支链淀粉添加量与各项粘度值及峰值时间均呈显著正相关, 这与本文研究结果一致。在混合粉淀粉含量、直/支链淀粉比例以及蛋白质含量等因素共同影响下, 混合粉的糊化温度无显著变化。

表2 高粱超微全粉对混合粉糊化特性的影响

Table 2 Effect of superfine whole sorghum flour on the pasting properties of flour blends

添加量 /%	峰值粘度 /cp	最低粘度 /cp	衰减值 /cp	最终粘度 /cp	回生值 /cp	峰值时间 /min	糊化温度 /°C
0	1348.50±3.54 ^c	888.50±3.54 ^c	460.00±0.00 ^c	1737.50±6.36 ^c	849.00±2.83 ^c	5.84±0.05 ^b	66.95±0.00 ^a
5	1450.00±53.74 ^b	938.00±28.28 ^b	512.00±25.46 ^b	1882.50±85.56 ^{bc}	944.50±57.28 ^{bc}	5.93±0.00 ^a	66.50±0.64 ^a
10	1622.50±7.78 ^a	1018.50±4.95 ^a	604.00±2.83 ^a	2120.00±77.78 ^a	1101.50±72.83 ^a	5.93±0.00 ^a	65.98±2.37 ^a
15	1466.00±32.53 ^b	934.00±24.04 ^b	532.00±8.49 ^b	2043.50±102.53 ^{ab}	1109.50±78.49 ^a	5.90±0.04 ^{ab}	67.73±1.17 ^a
20	1451.50±0.71 ^b	929.50±2.12 ^{bc}	522.00±1.41 ^b	2002.00±16.97 ^{ab}	1072.50±19.09 ^{ab}	5.87±0.00 ^{ab}	66.90±0.14 ^a

注: 不同小写字母表示 $p < 0.05$ 水平上差异显著。下同。

2.2 高粱超微全粉对混合粉粉质特性的影响

高粱超微全粉对混合粉粉质特性的影响结果见表3。由表3可知,随着高粱全粉添加量的增加,混合粉的吸水率有所增加,这主要是因为高粱全粉的膳食纤维含量高于小麦粉,增加了混合粉的吸水性,使吸水率增加。形成时间是反映面筋质量和数量的重要指标,形成时间较长,表明其面筋含量较高,且面筋质量较好,麦醇溶蛋白和麦谷蛋白比例合适,形成的面筋网络具有适中的弹性和延伸性,反之则较短。面团稳定时间与混合粉面筋强度相关,稳定时间长表明混合粉筋力强、耐揉性好;稳定时间短表明面团筋力减弱,搅拌耐力下降^[12]。由表3可知,当高粱全粉添加量达到10%及以上时,与对照相比,形成时间、稳定时间和粉质指数均显著降低,表明高粱全粉的添加使混合粉的面筋蛋白含量降低,另外高粱全粉中的某些成分可能干扰了面筋网络的形成,导致所形成的面团筋力减弱,耐揉性变差,这与田海娟等^[13]与Kamal M. ADAM等^[14]的研究结果一致。

2.3 高粱超微全粉对面团拉伸特性的影响

高粱超微全粉对面团拉伸特性的影响结果见表4。由表4可知,当高粱全粉添加量达到10%及以上时,与空白相比,不同醒发时间的面团拉伸阻力和延伸度均显著降低。小麦面筋主要由麦醇溶蛋白和麦谷蛋白组成,面团拉伸特性参数既可以反映麦谷蛋白赋予面团的强度和抗延伸阻力,又可以反映麦醇溶蛋白提供的易流动性和延伸性^[15]。由于高粱不含面筋蛋白,高粱全粉的添加使混合粉面筋含量降低,导致拉伸阻力和延伸度降低,这与何欢等^[16]的研究结果一致。拉伸曲线面积反映面团从开始拉伸到拉断为止所需的总能量,反映了面团弹韧性的大小,主要受到麦谷蛋白含量的影响^[17]。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^[18]。

表3 高粱超微全粉对混合粉粉质特性的影响

Table 3 Effect of superfine whole sorghum flour on the farinograph properties of flour blends

添加量/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/FE	粉质指数
0	58.60±0.85 ^b	3.75±0.07 ^a	7.69±0.05 ^a	79.55±2.19 ^b	79.60±1.98 ^a
5	59.50±0.71 ^{ab}	3.92±0.17 ^a	6.70±0.08 ^b	85.50±3.54 ^{ab}	71.50±2.12 ^b
10	60.65±0.92 ^{ab}	2.40±0.01 ^b	6.21±0.03 ^c	91.65±2.33 ^a	64.00±1.41 ^c
15	59.75±1.06 ^{ab}	1.68±0.04 ^c	5.41±0.12 ^d	90.70±3.82 ^a	51.50±3.54 ^d
20	60.90±0.14 ^a	1.41±0.08 ^d	5.01±0.04 ^e	92.25±4.60 ^a	36.65±1.91 ^e

表4 高粱超微全粉对面团拉伸特性的影响

Table 4 Effect of superfine whole sorghum flour on the extensograph properties of flour doughs

添加量/%	醒发时间/min	拉伸曲线面积/cm ²	拉伸阻力/BU	延伸度/mm	拉伸比例
0	45	66.05±4.17 ^{ab}	196.10±7.21 ^{ab}	176.30±6.08 ^a	1.11±0.01 ^{de}
	90	70.10±5.80 ^a	218.15±8.70 ^a	174.25±7.42 ^a	1.25±0.01 ^{ab}
	135	63.15±3.04 ^{ab}	194.15±5.87 ^{abc}	175.35±7.57 ^a	1.11±0.01 ^{de}
5	45	50.12±4.41 ^{cd}	175.06±9.98 ^{bcde}	151.15±5.87 ^b	1.16±0.02 ^{bcd}
	90	58.25±5.30 ^{bc}	188.11±11.47 ^{bcd}	148.15±5.44 ^b	1.27±0.03 ^a
	135	52.06±4.32 ^{cd}	179.20±10.18 ^{bcde}	152.05±4.31 ^b	1.18±0.03 ^{abcd}
10	45	47.18±4.49 ^d	156.35±14.64 ^{efg}	148.15±8.70 ^b	1.05±0.04 ^e
	90	42.07±5.56 ^{def}	168.40±16.12 ^{cdef}	143.10±7.21 ^{bc}	1.18±0.05 ^{abcd}
	135	44.30±6.08 ^{de}	163.15±15.77 ^{def}	140.06±8.56 ^{bcd}	1.16±0.04 ^{bcd}
15	45	33.25±4.60 ^{fg}	146.06±14.22 ^{fgh}	131.35±7.57 ^{cde}	1.11±0.04 ^{de}
	90	33.08±5.76 ^{fg}	144.40±16.12 ^{fgh}	127.20±5.94 ^{def}	1.13±0.07 ^{cde}
	135	34.15±5.87 ^{efg}	135.20±15.84 ^{gh}	121.30±4.67 ^{efg}	1.11±0.09 ^{de}
20	45	22.10±5.80 ^h	122.30±11.74 ^h	116.20±8.20 ^{fg}	1.05±0.03 ^e
	90	29.05±5.73 ^{gh}	132.15±14.35 ^{gh}	108.15±5.44 ^{gh}	1.22±0.07 ^{abc}
	135	29.06±4.33 ^{gh}	128.05±14.21 ^h	101.06±7.16 ^h	1.27±0.05 ^a

拉伸比例大,则阻力大,延伸性小,发酵时面团膨胀会受阻,起发不好,馒头体积小;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,馒头表面易塌陷。因此,面团的拉伸比例有一个合适

的范围,其大小的选择应依据不同的面制品要求而定。

2.4 高粱超微全粉对馒头感官品质的影响

表5 高粱超微全粉对馒头感官品质的影响

Table 5 Effect of superfine whole sorghum flour on the sensory quality of steamed bread

添加量/%	比容	外观	色泽	组织结构
0	15.38±0.25 ^a	15.00±0.00 ^a	9.33±1.15 ^a	8.67±1.15 ^a
5	12.10±1.30 ^b	11.00±1.00 ^b	9.67±0.58 ^a	8.67±1.53 ^a
10	11.00±0.10 ^b	10.00±0.00 ^b	9.17±0.76 ^a	8.00±1.00 ^{ab}
15	11.57±2.05 ^b	7.00±1.73 ^c	9.33±1.15 ^a	7.67±0.58 ^{ab}
20	9.00±0.25 ^c	7.67±1.15 ^c	8.50±1.80 ^a	6.67±1.15 ^b
添加量/%	弹韧性	黏性	气味和滋味	总分
0	8.83±0.29 ^a	8.83±0.76 ^a	18.33±0.58 ^a	84.21±2.40 ^a
5	8.67±0.58 ^a	8.67±0.58 ^{ab}	17.67±1.53 ^a	76.43±5.01 ^{ab}
10	8.33±0.58 ^{ab}	8.67±0.58 ^{ab}	17.67±1.15 ^a	73.00±0.95 ^{bc}
15	7.00±1.00 ^b	8.00±0.00 ^{ab}	14.33±3.79 ^{ab}	64.57±7.99 ^{cd}
20	7.00±1.00 ^b	7.67±0.58 ^b	13.33±3.06 ^b	60.17±6.77 ^d

高粱超微全粉对馒头感官品质的影响结果见表5。由表5可知,随着高粱全粉添加量的增加,与对照相比,除色泽外,各项感官指标得分及总分显著降低。高粱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^[19]。面筋蛋白的含量降低,馒头的内部结构变差,比容、外观、组织结构和弹韧性得分均降低。高粱皮中含有红色素,高粱全粉的添加使混合粉具有较深的色泽,会导致色泽得分降低。研究发现本实验中色泽得分差异不显著,表明超微粉碎技术对高粱全粉食品的色泽有改善作用。随着高粱全粉添加量的增加,馒头的黏性得分显著降低。混合粉的粉质特性研究表明高粱全粉的添加使混合粉的吸水率增加,会导致馒头在蒸制过程中吸收更多的水分,从而使馒头发黏。另外,高粱皮中含有的非淀粉多糖也可能使馒头更加粘牙。通过感官评价表明高粱超微全粉馒头没有明显的粗糙感觉,说明超微粉碎可以有效改善高粱全粉食品的口感。另外,感官评价总分表明只有在高粱超微全粉添加量较低时

(5~10%),高粱超微全粉馒头具有相对较好的感官品质。

2.5 高粱超微全粉对馒头质构的影响

高粱超微全粉对馒头质构的影响结果见表6。由表6可知,随着高粱全粉添加量的增加,与对照相比,馒头的硬度和咀嚼性显著增加。在TPA分析中,硬度表示第一次压缩时探头受到的最大阻力,能够反映品尝实验中口腔对食物硬度的感觉,咀嚼性则由硬度指标计算而来,二者变化规律基本一致^[19]。粘附性和内聚性先增加后降低,这与张焕新等^[19]的研究结果不一致,这可能是因为原料不一样,另外,本文中高粱全粉添加量较低所致。弹性表示样品经过第一次压缩后能够再恢复的程度,回复性表示样品在第一次压缩过程中回弹的能力。

由表6可知,与空白相比,回复性无明显变化规律,弹性降低,这与表5中弹韧性评分降低的变化趋势一致,表明在馒头TPA测试中所得到的弹性指标一定程度上可以反映感官评定中弹韧性的大小^[20]。

表6 高粱超微全粉对馒头质构的影响

Table 6 Effect of superfine whole sorghum flour on the texture of steamed bread

添加量/%	硬度/N	粘附性/mJ	内聚性	弹性	咀嚼性/N	回复性
0	7.70±0.96 ^c	0.39±0.07 ^c	0.69±0.02 ^d	0.84±0.01 ^a	4.48±0.57 ^d	0.38±0.01 ^d
5	8.97±0.57 ^c	0.32±0.03 ^c	0.76±0.01 ^a	0.85±0.01 ^a	5.76±0.26 ^c	0.44±0.01 ^a
10	10.97±0.97 ^b	1.01±0.03 ^a	0.74±0.02 ^{ab}	0.83±0.02 ^{ab}	6.67±0.51 ^{bc}	0.39±0.01 ^{cd}
15	11.54±1.33 ^b	0.64±0.05 ^b	0.73±0.01 ^{bc}	0.83±0.02 ^{ab}	7.00±0.90 ^b	0.42±0.01 ^{ab}
20	14.90±0.79 ^a	0.30±0.09 ^c	0.71±0.02 ^{cd}	0.82±0.01 ^b	8.59±0.39 ^a	0.41±0.01 ^{bc}

2.6 高粱超微全粉对馒头内部纹理结构的影响

内部纹理结构是评价馒头和面包等发酵面制品的重要指标之一。近年来,随着计算机技术的发展,图像处理技术也开始应用于面制品内部纹理结构的分析。王杰琼等^[21]利用扫描仪扫描馒头芯,使用 Matlab 软件对图像进行处理,结果表明图像分析能够准确反映馒头内部气孔结构的优劣。但该研究仅仅获得了馒头气孔的数量,平均气孔面积及气孔占总面积的比例,信息量有限。由英国 Calibre Control International 公司研发的 C-Cell 图像分析仪可以对样品切片图像进行处理和分析,得到关于样品的气孔结构和特性等大量信息,能够对发酵面制品的内部纹理结构进行较全面的评价^[22]。本研究采用 C-Cell 图像分析仪对高粱馒头内部纹理结构进行分析,并参照文献^[23],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,随着高粱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,气孔延长度则差异不大。

切片亮度指切片图像像素的平均灰度值(0~255)。表 7 的结果表明,随着高粱全粉添加量的增加,高粱馒头瓤部颜色加深,亮度值降低;另外,气孔直径、粗细气孔比和粗气孔体积增加,由于较大的气孔在获取图像时产生较大的阴影,也会导致亮度值降低。气孔对比度是气孔的平均亮度与气孔壁的平均亮度的比值,对比度高表明气孔小而且均匀、孔壁薄、光泽度好。由表 7 可知,高粱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,同时气孔壁厚和大气孔增加,导致气孔对比度逐渐降低。气孔壁厚增加会导致馒头的硬度增加,这与表 6 中硬度的变化规律一致。气孔延长度用来表征气孔形状,值越接近于 1 表明气孔越趋于圆形。表 7 的结果表明高粱全粉的添加对气孔形状影响不大。

表 7 高粱超微全粉对馒头内部纹理结构的影响

Table 7 Effect of superfine whole sorghum flour on the 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
0	140.73±0.64 ^a	0.813±0.001 ^a	3700±102 ^a	2.76±0.05 ^c	7.68±0.19 ^c
5	93.57±1.21 ^b	0.698±0.012 ^b	3052±92 ^b	2.79±0.10 ^{bc}	8.05±0.36 ^c
10	78.13±0.61 ^c	0.691±0.009 ^b	3007±154 ^b	2.85±0.04 ^{ab}	7.98±0.29 ^c
15	65.00±0.36 ^d	0.616±0.012 ^c	2420±98 ^c	2.92±0.01 ^a	9.07±0.39 ^b
20	54.53±0.42 ^e	0.617±0.016 ^c	2318±113 ^c	2.89±0.07 ^{ab}	9.83±0.30 ^a
添加量/%	粗细气孔比	粗气孔体积/px	气孔延长度	气孔密度/(个/px)	
0	0.078±0.016 ^b	4.10±0.13 ^d	1.54±0.01 ^a	0.022±0.001 ^a	
5	0.080±0.009 ^b	5.54±0.44 ^c	1.53±0.01 ^a	0.021±0.001 ^a	
10	0.076±0.008 ^b	6.20±0.40 ^c	1.54±0.01 ^a	0.018±0.001 ^b	
15	0.101±0.018 ^{ab}	7.62±0.57 ^b	1.53±0.02 ^a	0.017±0.000 ^b	
20	0.109±0.018 ^a	8.68±0.58 ^a	1.52±0.01 ^a	0.018±0.001 ^b	

注: px 表示像素, 1 个像素约为 0.147 mm。

3 讨论与结论

3.1 与普通小麦粉相比,高粱全粉的淀粉和蛋白质含量略低,膳食纤维含量高,淀粉中支链淀粉比例较高,另外还含有多种对人体健康有益的功能性成分。高粱全粉馒头感官评价表明只有在高粱超微全粉添加量较低时(5~10%),高粱超微全粉馒头具有相对较好的感官品质,在此条件下,高粱所具有的功能特性能否表现出来,还有待于进一步的研究。另外,高粱全粉的添加降低了面粉中面筋蛋白的含量,馒头的品质变差。因此,在高粱全粉馒头生产中,可以通过采用添加谷朊粉等方法改善馒头品质,进而可以进一步提高高粱

全粉的添加量。

3.2 高粱超微全粉的添加改变了混合粉的主要成分特别是淀粉和蛋白质的构成与含量,对面团流变学特性及馒头品质均有较大影响。随着高粱超微全粉添加量的增加,混合粉的各项粘度值和峰值时间呈现先增加后降低的变化趋势,糊化温度则变化不大。高粱全粉的添加使混合粉的吸水率有所增加,形成时间、稳定时间、粉质指数、面团拉伸曲线面积、拉伸阻力和延伸度均降低。高粱全粉使馒头的品质变差,主要感官指标得分及总分显著降低,硬度和咀嚼性显著增加,粘附性和内聚性先增加后降低,回复性无明显变化规律,弹性降低。馒头内部纹理结构图像分析指标除气

孔延长度外均差异显著。

参考文献

- [1] 王红育,李颖.高粱营养价值及资源的开发利用[J].食品研究与开发,2006,27(2):91-93
WANG Hong-yu, LI Ying. Nutritional value of sorghum and development and exploitation of resource [J]. Food Research and Development, 2006, 27(2): 91-93
- [2] 谭斌.粒用高粱的特性及其在食品工业中开发利用前景[J].粮食与饲料工业,2007,7:16-19
TAN Bin. Properties of grain sorghum and its prospects of utilization in food industry [J]. Cereal & Feed Industry, 2007, 7: 16-19
- [3] 申瑞玲,陈明,任贵兴.高粱淀粉的研究进展[J].中国粮油学报,2012,27(7):123-128
SHEN Rui-ling, CHEN Ming, REN Gui-xing. Research progress of the sorghum starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(7): 123-128
- [4] 李状,朱德明,李积华,等.振动超微粉碎对毛竹笋干物化特性的影响[J].农业工程学报,2014,30(3):259-263
LI Zhuang, ZHU De-ming, LI Ji-hua, et al. Influence of micronization on physicochemical properties of dried moso-bamboo shoots [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(3): 259-263
- [5] 张阳,肖卫华,纪冠亚,等.机械超微粉碎与不同粒度常规粉碎对红茶理化特性的影响[J].农业工程学报,2016,32(11):295-301
ZHANG Yang, XIAO Wei-hua, JI Guan-ya, et al. Effects on physicochemical properties of black tea by mechanical superfine and general grinding [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(11): 295-301
- [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
PENG Hui. Study on the sensory quality of a steamed buns with grain flour [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(8): 16-19
- [9] 章绍兵,陆启玉.直链淀粉含量对面粉糊化特性及面条品质的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2005,26(6):9-12
ZHANG Shao-bing, LU Qi-yu. Effects of amylose content on flour pasting properties and noodle qualities [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2005, 26(6): 9-12
- [10] 田晓红,谭斌,谭洪卓,等.20种高粱淀粉特性[J].食品科学,2010,31(15):13-20
TIAN Xiao-hong, TAN Bin, TAN Hong-zhuo, et al. Properties of sorghum starches from twenty varieties in China [J]. Food Science, 2010, 31(15): 13-20
- [11] 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
LEI Hong, WANG Xiao-xi, QU Yi, et al. Effect of starch in wheat flour on its gelatinization characteristics [J]. Cereal & Feed Industry, 2010, 10: 8-11
- [12] 王晓艳,王宏兹,黄卫宁,等.高膳食纤维面团热机械学及面包的烘焙特性[J].食品科学,2011,32(13):78-83
WANG Xiao-yan, WANG Hong-zi, HUANG Wei-ning, et al. Termomechanical and baking characteristics of high dietary fiber dough [J]. Food Science, 2011, 32(13): 78-83
- [13] 田海娟,张传智,韩诚俊.高粱粉对面团特性及面包品质的影响[J].食品研究与开发,2014,35(18):1-3
TIAN Hai-juan, ZHANG Chuan-zhi, HAN Cheng-jun. Influence of sorghum flour to dough properties and bread quality [J]. Food Research and Development, 2014, 35(18): 1-3
- [14] Kamal M A,王凤,贾春利.高粱-小麦粉复合面包面团发酵流变学与烘焙特性[J].食品与机械,2013,29(1):1-8
Kamal M A, WANG Feng, JIA Chun-li. Rheofermentation and breadbaking characteristics of composite sorghum-wheat doughs [J]. Food & Machinery, 2013, 29(1): 1-8
- [15] 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
- [16] 何欢,周佳.不同处理条件下高粱米粉对面包品质的影响研究[J].粮食加工,2014,39(6):58-62
HE Huan, ZHOU Jia. Study on effect of different processing conditions of sorghum flour on the quality of bread [J]. Grain Processing, 2014, 39(6): 58-62
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 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
ZHANG Huan-xin, ZHANG Wei, XU Chun-zhong. Effect of waxy wheat flour on rheological properties of flour blending and steamed bread quality [J]. Food Science, 2014, 35(3): 80-84
- [20] 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
SUN Hui, JIANG Wei-li, TIAN Xiao-hong, et al. Study on steamed-bread quality with texture analyzer [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2005, 20(6): 121-125
- [21] 王杰琼,钱海峰,王立,等.谷朊粉对高含量荞麦面团的影响及其作用机理[J].现代食品科技,2016,32(8):140-147
WANG Jie-qiong, QIAN Hai-feng, WANG Li, et al. Effect of wheat gluten on high content of buckwheat dough and study of its function mechanism [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(8): 140-147
- [22] 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
LI Zhen, DONG Ying, YU Lai-ting, et al. Effect of whole barley flour addition on dough properties and quality of bread [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(4): 197-202, 300
- [23] 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
FANG Xiu-li, SUN Hui, CAO Ying-jun, et al. Study on the quality evaluation of steamed bread with image analyzer [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(6): 90-95