

谷朊粉对高含量荞麦面团的影响及其作用机理

王杰琼, 钱海峰, 王立, 张晖, 齐希光

(江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要: 本文全面研究了不同添加量谷朊粉(5%、10%和15%)对高含量(50%小麦粉替代率)荞麦面团流变学特性及馒头品质的影响, 并以添加10%谷朊粉的混合面团和参照组(纯小麦粉)面团为基础, 通过扫描电镜, 红外光谱及分析面团中的化学作用力等分析手段, 进一步探讨了谷朊粉对改善混合面团流变学性质及馒头品质方面的作用机理。结果表明, 添加10%的谷朊粉能够增加荞麦-小麦混合面团中二硫键的含量, 改变面团中的化学作用力(离子键、氢键含量和疏水作用力), 进而改变面团中面筋蛋白的构象, 改善面团的微观结构, 从而改善混合粉的糊化特性及面团的粉质和拉伸特性, 提高馒头的比容和弹性, 改善馒头芯的孔隙结构, 但仍达不到参照组馒头的品质, 表明添加高含量荞麦全粉不仅仅是稀释面筋蛋白。

关键词: 谷朊粉; 荞麦全粉; 面团; 馒头; 作用机理

文章编号: 1673-9078(2016)8-140-147

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.022

Effect of Wheat Gluten Content on Buckwheat Dough and its Mechanism of Action

WANG Jie-qiong, QIAN Hai-feng, WANG Li, ZHANG Hui, QI Xi-guang

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The effect of different wheat gluten content (5%, 10%, and 15%) on the rheological properties of high content (50% wheat flour replacement rate) buckwheat dough and the quality of Chinese steamed bread (CSB) were comprehensively studied in this paper. Based on mixed dough with 10% wheat gluten and the reference (pure wheat flour) dough, the mechanism of the action of wheat gluten on the improvement of the rheological properties of mixed dough and CSB quality was further studied using scanning electron microscopy and Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy as well as by analyzing chemical interactions in the dough. The results indicated that the addition of 10% wheat gluten increased the disulfide bond content of buckwheat-wheat dough, changed the chemical interactions (ionic bond and hydrogen bond content and hydrophobic forces), changed the gluten protein conformation, and improved the microstructure of mixed dough. Consequently, the pasting properties of mixed flour, the farinograph and extensograph properties of dough, the specific volume and springiness of CSB, and the pore structure of CSB core were improved, but the quality was still not equal to the quality of pure wheat steamed bread, suggesting that the addition of high levels of buckwheat flour does not merely dilute the gluten protein.

Key words: wheat gluten; buckwheat flour; dough; steamed bread; mechanism of action

荞麦属于蓼科, 荞麦属, 双子叶植物, 富含蛋白质、脂肪、维生素、矿物质、植物膳食纤维和黄酮类化合物等, 其营养价值高, 具有很好的保健作用, 且越来越易被消费者接受。很多荞麦食品相继被开发, 如荞麦面条, 荞麦面包和荞麦馒头等, 但是其添加量通常都在30%以下, 高含量荞麦全粉的添加对面团,

收稿日期: 2015-09-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471617); 国家“十二五”科技支撑项目(2012BAD37B08-3); 常熟市科技计划项目(科技发展计划(农业)(GN201406)

作者简介: 王杰琼(1991-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 谷物功能成分

通讯作者: 钱海峰(1973-), 男, 副教授, 研究方向: 谷物功能成分

尤其是发酵类面制品面团有很严重的劣变作用, 主要是因为荞麦蛋白中缺乏形成面筋网络的醇溶蛋白和麦谷蛋白, 高含量荞麦粉的加入会严重稀释面筋蛋白, 而面筋蛋白在面团制作过程中可形成包裹淀粉及其它成分的网络基质, 并在发酵过程中保持气体, 对发酵面制品的品质至关重要, 所以向高含量荞麦全粉中补充面筋蛋白是生产者目前改善其发酵类面制品品质最常用的方法。近年来小麦淀粉生产的副产物-谷朊粉(又称面筋蛋白), 因其为面粉本身的成分之一, 在使用数量上没有限制, 所以作为面团改良剂备受青睐。目前, 关于谷朊粉对发酵面制品的影响已有一些研究, 主要集中于谷朊粉的适宜添加量及制作工艺上, 也有关于谷朊粉对混合粉粉质和拉伸等特性的研究, 但对

谷朊粉在面制品中的作用机理鲜有报道,因此本文在研究谷朊粉对高含量(50%小麦粉替代率)荞麦面团流变学性质及馒头品质影响的基础上着重探讨了谷朊粉的添加对混合粉面团、馒头微观结构、面筋蛋白二级结构、二硫键及化学作用力的影响,以期对谷朊粉在高含量杂粮面团中的应用以及未来开发全谷物发酵面制品提供理论基础。

1 材料与amp;方法

表1 原料粉的基本理化指标

Table 1 Physicochemical indexes of raw material powder

含量/%	水分	蛋白质	脂肪	灰分	粗纤维	湿面筋	干面筋
小麦粉	13.92±0.01	9.16±0.11	1.10±0.08	0.39±0.04	4.54±0.28	31.33±0.14	10.36±0.06
荞麦全粉	13.34±0.04	11.73±0.21	2.78±0.05	1.63±0.02	7.48±0.34	-	-

注:“-”代表无法检出,数值为平均值±标准偏差。

1.2 主要仪器设备

RVA 4500 快速粘度分析仪,波通澳大利亚公司; Farinograph-E 型粉质仪,德国 Brabender 公司; Extensograph-E 型拉伸仪,德国 Brabender 公司; VF-12C 型醒发箱,上海焯昌食品机械有限公司; T-XT 2i 质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司; ALPHA1-4 型冷冻干燥机,CHRIST 公司; SU 1510 型扫描电子显微镜,日本日立株式会社; LIDE 25 型扫描仪,佳能公司; 傅里叶红外光谱仪,美国 Nicolet 公司; 离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司; 紫外可见分光光度计,普析通用仪器有限责任公司。

1.3 试验方法

1.3.1 混合粉的配制

将荞麦全粉以 50%的比例替代面粉,向混合粉中加入 0%、5%、10%和 15% (以荞麦全粉和小麦粉的质量和为 100%计)的谷朊粉,混匀备用,以不添加谷朊粉的荞麦-小麦混合粉作为空白对照组,纯小麦面粉为参照组。

1.3.2 湿/干面筋含量的测定

参照 GB/T 5506.1-2008。

1.3.3 混合粉糊化特性的测定

参照 GB/T 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》进行测定。

1.3.4 面团粉质特性和拉伸特性的测定

参照 GB/T 14614-2006《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》和 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》进行测定。

1.1 原料

荞麦全粉:将市售的荞麦经磨粉机磨粉过 100 目筛,筛余物即麸皮继续粉碎至细过 50 目筛,将其在混粉机中混匀备用;面粉:雪花馒头粉(江苏三零面粉集团泰兴市曲霞面粉厂);谷朊粉:购于北京瑞迈嘉禾贸易有限公司;酵母:安琪牌高活性干酵母(安琪酵母股份有限公司);原料粉的基本理化指标见下表 1。

1.3.5 馒头的制作及其评价方法

参照馒头用小麦粉行业标准 SB/T 10139-93 附录 A 中提出的馒头制作方法,馒头冷却 1 h 后测其比容(采用海砂替代法);质构特性测定程序为:选用 TPA 32 测试程序, P25 探头,测前、测中和测后速率分别为 1 mm/s、0.80 mm/s、0.80 mm/s,压缩 50%,两次压缩间隔时间 3.00 s,触力 5 g;馒头芯孔隙分布:利用 LIDE 25 型扫描仪扫描馒头芯,使用 Matlab 2007b 对图像进行处理得到馒头芯孔隙的数量,平均孔隙面积及孔隙占总面积的比例等。

1.3.6 面团微观结构分析

面团的制备按照馒头制作过程中各物料的比例进行,将制备好的面团在温度为 38 ℃,相对湿度为 80%的醒发箱中进行醒发 1 h,取出冷冻干燥,切取冻干后的面团 3~5 mm³,用导电胶将其粘在样品台上,经 IB-5 离子溅射仪镀金 100 A 后,用 SU 1510 型扫描电镜仪观察拍照,加速电压 3 kV,照片放大倍数为 800 倍。

1.3.7 傅里叶红外光谱的测定

将混合粉面团干燥粉碎使其粒度小于 2 μm,取 2 mg 干粉与 200 mg 纯 KBr 研细均匀,置于模具中压片后测定,光谱范围 4000~400 cm⁻¹,分辨率 4 cm⁻¹,扫描累加 32 次。

1.3.8 面团中二硫键含量的测定

参照 Deng 等人^[1]的方法。

1.3.9 面团化学作用力的测定

参照 M. C. Go'mez-Guille'n 等人^[2]的方法。

1.3.10 数据处理及统计分析

利用 SPSS 19.0 和 origin 8.0 对数据进行处理和统计分析。

2 结果与讨论

2.1 谷朊粉对混合粉中蛋白质及面筋含量的影响

由表 2 可以看出, 与参照组相比, 空白组的蛋白质含量相对较高, 但却不能洗出面筋, 这是因为与小麦蛋白相比 (见表 3), 荞麦蛋白中清蛋白和球蛋白含

量较高 (占其蛋白总量的 65.22%左右), 缺乏组成面筋的醇溶蛋白和麦谷蛋白, 所以 50%的荞麦全粉替代率严重稀释了面筋蛋白, 使得面筋无法被洗出。随着谷朊粉添加量的增加, 混合粉的蛋白含量, 湿/干面筋含量都逐渐增加, 且在谷朊粉添加量为 10%时, 混合粉的湿/干面筋含量与参照组无显著差异, 但由表 3 可知, 此时混合粉蛋白质的组成与参照组还有一定差异, 尤其是醇溶蛋白和麦谷蛋白的比例 ($p<0.05$)。

表 2 谷朊粉对混合粉中蛋白质及面筋含量的影响

Table 2 Influence of wheat gluten on protein and gluten content of mixed powders

谷朊粉添加量/%	蛋白质含量/(g/100 g)	湿面筋含量/(g/100 g)	干面筋含量/(g/100 g)
参照组	9.16±0.11 ^c	31.33±0.14 ^b	10.36±0.06 ^b
空白组	11.37±0.13 ^d	-	-
5	14.80±0.25 ^c	18.98±1.91 ^c	6.04±0.08 ^c
10	16.78±0.64 ^b	32.10±0.20 ^b	10.76±0.38 ^b
15	18.80±0.21 ^a	47.22±0.40 ^a	15.68±0.48 ^a

注: “-”代表无法检出, 数值为平均值±标准偏差, 同列中不同字母表示有显著性差异 ($p<0.05$), 下同。

表 3 蛋白质组成分析

Table 3 Protein composition analysis

含量/(g/100 g 蛋白质)	清蛋白	球蛋白	醇溶蛋白	麦谷蛋白
小麦粉	26.00±4.58 ^b	14.95±1.29 ^a	25.63±0.15 ^b	33.43±3.44 ^a
荞麦全粉	45.34±2.63 ^a	19.88±2.64 ^a	13.04±0.88 ^c	21.74±0.88 ^b
添加 10%谷朊粉的混合粉	25.00±0.33 ^b	16.03±1.79 ^a	30.43±0.74 ^a	28.55±1.38 ^a

2.2 谷朊粉对混合粉糊化特性的影响

快速粘度分析仪测定的峰值粘度与淀粉的凝胶硬度显著相关, 衰减值反映了淀粉热糊的稳定性, 回生值衡量了淀粉冷糊的稳定性和老化趋势, 由表 4 可知, 与参照组相比, 空白组的峰值粘度、回生值和糊化温度都较高, 这是因为一方面荞麦全粉中含有较高的膳食纤维, 其较强的结合水能力使得淀粉的相对浓度增大, 另一方面, 由于缺乏面筋蛋白, 使得大量的淀粉颗粒不能被面筋蛋白包裹而游离出来, 游离淀粉的含量增大, 从而使其峰值粘度、回生值和糊化温度增大; 衰减值较低, 表明荞麦淀粉颗粒强度大, 不易破裂, 热糊稳定性好。与空白组相比, 随着谷朊粉添加量的

增加, 除了糊化温度逐渐增加外, 混合粉的其余各项糊化参数都呈下降趋势, 这是因为谷朊粉含量的增加使得面筋蛋白含量增加, 更多的淀粉颗粒会被面筋蛋白包裹, 游离的淀粉含量降低, 从而导致混合粉的糊化参数降低, 这与熊柳等人^[3]的研究结果一致; 糊化温度稍有增加 (无显著性差异) 可能是由于谷朊粉的加入使淀粉溶胀可利用的水分含量降低所致, 回生值的降低说明了添加谷朊粉在一定程度上会延缓其加工制品的老化, Curti 等人^[4]指出谷朊粉的加入会改变面团中水分子的分布, 储藏过程中面筋蛋白与淀粉之间会进行显著的质子交换, 面筋蛋白会与更多的水分作用, 从而降低淀粉的回生速度, 延长制品储藏期。

表 4 谷朊粉对混合粉糊化特性的影响

Table 4 Influence of wheat gluten on pasting properties of mixed powder

谷朊粉添加量/%	峰值粘度/cP	衰减值/cP	回生值/cP	峰值时间/min	糊化温度/°C
参照组	2276.00±118.79 ^{bc}	875.50±45.96 ^a	1105.50±53.03 ^{cd}	6.23±0.05 ^a	69.78±0.60 ^b
空白组	2584.50±17.68 ^a	496.00±5.66 ^b	1485.50±27.58 ^a	6.20±0.00 ^{ab}	71.78±0.11 ^a
5	2438.50±122.33 ^{ab}	446.5±44.55 ^b	1363.50±28.99 ^{ab}	6.17±0.05 ^{abc}	71.83±0.04 ^a
10	2066.00±86.27 ^{cd}	323.00±22.63 ^c	1185.50±38.89 ^{bc}	6.10±0.05 ^c	72.15±0.57 ^a
15	1901.00±4.24 ^d	282.50±7.78 ^c	947.50±143.54 ^d	6.13±0.00 ^{bc}	72.58±0.04 ^a

2.3 谷朊粉对混合面团粉质和拉伸特性的影响

吸水率是反映混合粉中蛋白质和破损淀粉含量的重要指标,小麦粉中的蛋白质有很强的水合能力,它能吸收自身重量2倍的水,一般而言,湿面筋含量越高,吸水率越大,吸水率还与混合粉中膳食纤维、可溶性糖等的含量有关。从表5可以看出,与参照组相比,空白组的吸水率稍有降低,这可能是由于高含量的荞麦全粉对面筋蛋白的稀释作用所致,黎金等人^[5]指出添加荞麦多肽粉会使面团的吸水率下降,空白组面团的形成时间增大,稳定时间降低,这与荞麦粉中含有较高的膳食纤维含量有关,稳定时间越短意味着麦谷蛋白二硫键结合不牢固,面团韧性差,面筋强度小;随着谷朊粉添加量的增加,混合面团的吸水率和

形成时间逐渐增加,面团的稳定时间先降低后增加,弱化度逐渐降低;表6为面团的拉伸特性结果,与参照组相比,空白组的最大拉伸阻力、延伸度、最大拉伸比例和能值都显著降低,崔丽琴等人^[6]指出能值低于50 cm²时,面粉的烘焙品质很差,对比实验结果,50%荞麦粉替代面粉后面团的能值已经完全不能满足醒发制品的需求,谷朊粉的加入使得面团的各项拉伸特性都增大,且随着醒发时间的延长,面团的形成时间增大,稳定时间降低,延伸度下降,能值增大,表明谷朊粉的加入会延缓面团的发展,适当的延长醒发时间对于添加谷朊粉的混合面团是有利的,这些结果都表明添加谷朊粉有利于改善面团的特性,但也可以看出,大量谷朊粉的加入并不能使面团的粉质拉伸特性与参照组相似,这说明除了面筋蛋白的量,醇溶蛋白和麦谷蛋白的比例对面团特性的影响也十分重要。

表5 谷朊粉对混合面团粉质特性的影响

Table 5 Influence of wheat gluten on the farinograph properties of mixed dough

谷朊粉添加量/%	吸水率/%	面团形成时间/min	面团稳定时间/min	弱化度/FU
参照组	59.85±0.07 ^d	2.00±0.00 ^d	4.50±0.03 ^b	86.05±0.92 ^a
空白组	57.10±0.38 ^d	3.18±0.06 ^c	3.79±0.32 ^{bcd}	81.25±2.76 ^{ab}
5	64.20±2.53 ^c	4.20±0.17 ^b	3.10±0.14 ^d	70.02±6.48 ^{bc}
10	67.70±0.42 ^{bc}	4.53±0.15 ^b	3.47±0.25 ^{cd}	68.00±1.56 ^c
15	71.23±0.44 ^b	5.47±0.33 ^a	4.30±0.28 ^{bc}	70.37±0.93 ^{bc}

表6 谷朊粉对混合面团拉伸特性的影响

Table 6 Influence of wheat gluten on the extensograph properties of mixed dough

谷朊粉添加量/%	最大拉伸阻力/BU			延伸度/mm		
	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min
参照组	478.00±4.24 ^a	527.50±34.65 ^a	468.00±45.25 ^a	176.50±3.54 ^a	146.00±9.90 ^a	156.50±6.36 ^a
空白	147.00±8.49 ^b	152.00±9.90 ^d	141.00±11.31 ^c	90.50±3.54 ^c	101.50±6.36 ^a	100.50±13.44 ^b
5	145.00±35.36 ^b	179.00±4.24 ^d	172.50±6.36 ^c	101.50±19.09 ^c	115.00±0.00 ^a	98.50±2.12 ^b
10	184.50±43.13 ^b	249.00±14.14 ^c	295.00±46.67 ^b	141.00±2.83 ^b	130.50±12.02 ^a	107.50±3.54 ^b
15	207.50±13.44 ^b	383.00±24.04 ^b	459.00±36.77 ^a	147.50±3.54 ^{ab}	132.00±18.38 ^a	108.50±4.95 ^b

谷朊粉添加量/%	最大拉伸比例/(BU/mm)			能值/cm ²		
	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min
参照组	2.70±0.14 ^a	3.60±0.00 ^a	3.05±0.78 ^{ab}	98.00±1.41 ^a	98.00±11.31 ^a	84.00±11.31 ^a
空白	1.65±0.07 ^{ab}	1.50±0.14 ^b	1.40±0.28 ^b	16.50±0.71 ^c	18.50±0.71 ^c	16.00±1.41 ^c
5	1.45±0.64 ^b	1.60±0.00 ^b	1.75±0.07 ^b	21.00±0.00 ^c	27.00±2.83 ^c	23.00±1.41 ^c
10	1.30±0.28 ^b	1.95±0.07 ^b	2.75±0.49 ^{ab}	34.00±7.07 ^b	40.00±0.00 ^{bc}	38.00±7.07 ^c
15	1.40±0.14 ^b	2.95±0.64 ^a	4.20±0.14 ^a	40.50±2.12	58.50±6.36 ^b	61.00±5.66 ^b

2.4 谷朊粉对馒头品质的影响

由图1a可知,谷朊粉的加入可增大荞麦馒头的比容,当谷朊粉的添加量为15%时,基本可以达到参照组馒头的比容,图1b为馒头芯的硬度和弹性测试结果,

可以看出随着谷朊粉添加量的增加,馒头芯的硬度先逐渐增大,在谷朊粉添加量为15%时又有所降低,馒头芯的弹性逐渐增大,这可能与面团中面筋蛋白的组成比例,淀粉性质及其相互之间的作用有关。

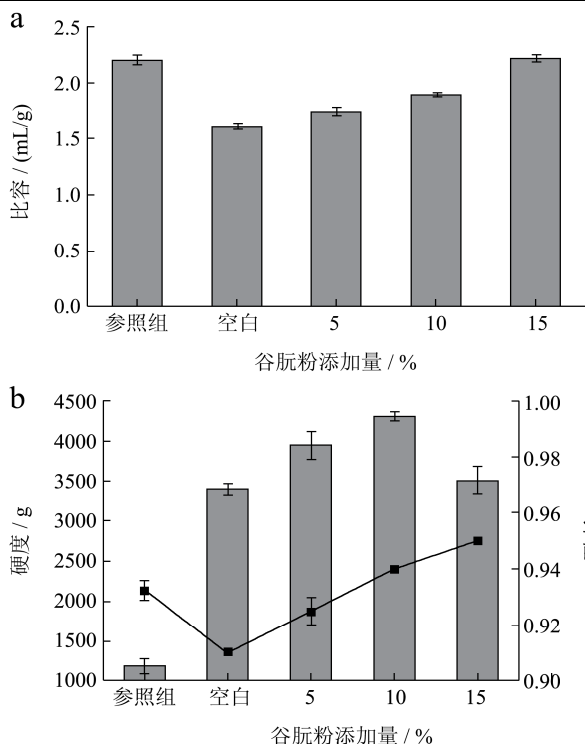


图1 谷朊粉对馒头品质的影响

Fig.1 Influence of wheat gluten on steamed bread quality

注: a, 比容; b, 硬度和弹性。

图2为典型的馒头芯孔隙分布分析图像,表7是通过图像分析得到的孔隙特征结果,从图2可以看出,参照组馒头的平均孔隙面积及孔隙占总面积的比例都较小,这是因为纯小麦粉面团能够形成较好的面筋网络,使面团在醒发过程中具有较好的延伸性和持气能力,从而获得细腻均匀的馒头芯孔隙结构。与参照组相比,空白组馒头的孔隙数量较多,平均孔隙面积及孔隙占总面积的比例都较大,这是因为高含量荞麦粉的加入使面团的持气性下降,导致醒发过程中气孔壁易破裂合并;随着谷朊粉添加量的增加,馒头的孔隙数量稍有增加,但平均孔隙面积和孔隙占总面积的比例都显著减小,表明面筋蛋白的加入提高了混合面团的持气性,从而改善馒头芯的孔隙结构。

表7 通过图像分析得到的馒头芯孔隙的基本特征

Table 7 Typical features of steamed bread pore distribution obtained by image analysis

谷朊粉添加量 / %	孔隙数量 / 个	平均孔隙面积 / mm ²	孔隙占总面积的比例 / %
参照组	127.00±11.31	28.01±1.82	18.19±0.45
空白	160.00±4.24	39.86±3.74	32.67±2.20
5	168.00±11.31	31.54±0.86a	27.17±2.62
10	161.00±9.90	28.54±4.25	23.67±4.96
15	170.00±2.83	25.43±1.87	22.17±1.24

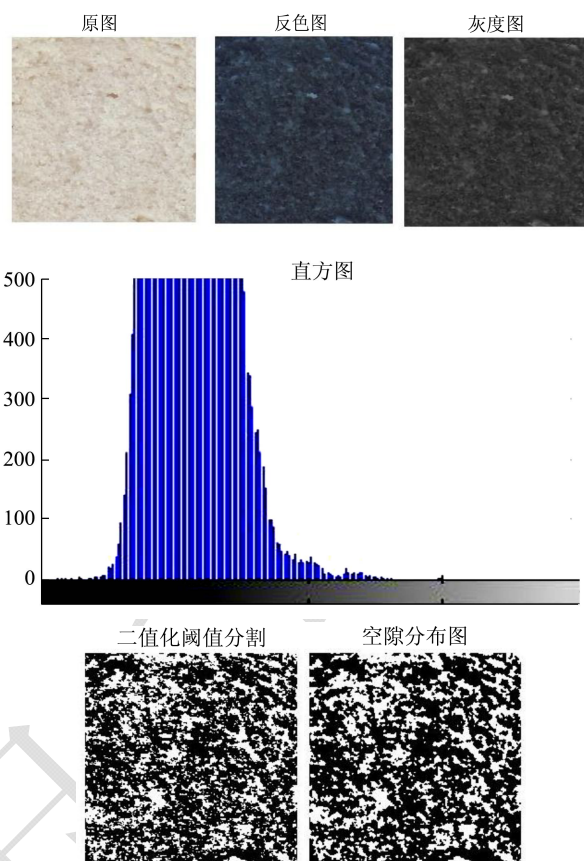


图2 典型的馒头孔隙分布图像转换、识别和分析

Fig.2 Conversion, identification, and analysis of CSB pore distribution images

2.5 谷朊粉对混合面团及馒头微观结构的响

面团在搅拌过程中,醇溶蛋白和麦谷蛋白通过二硫键及氢键相互作用形成三维网络结构,它是面团结构的载体,淀粉镶嵌在面筋网络结构内外,决定面团的流变学特性,并在发酵过程中包裹住面团中的气体^[7]。从图3的扫描电镜图可以看出,与参照组相比,50%荞麦粉的加入使得面团中不能形成连续的面筋薄膜,淀粉颗粒裸露在外,继而使得面团的持气性下降,导致较粗糙的馒头芯结构,而10%谷朊粉的加入在一定程度上能够弥补面筋蛋白含量的不足,使得面筋网络能够较好的形成,进而改善馒头芯的微观结构,但是仍达不到参照组馒头光滑细腻的结构,一方面可能是因为醇溶蛋白和麦谷蛋白比例的不适当,或者是因为高分子量麦谷蛋白亚基含量的不同^[8-9],进而影响了面团中的化学键及一些化学作用力,从而不能得到像参照组那样较好的馒头芯结构,另一方面,有研究指出面团发酵后期形成的一种液膜(其主要成分为一些蛋白、脂质和多糖等)对面团及馒头的品质也有极其重要的影响^[10],这也可能是产生上述结果的原因之

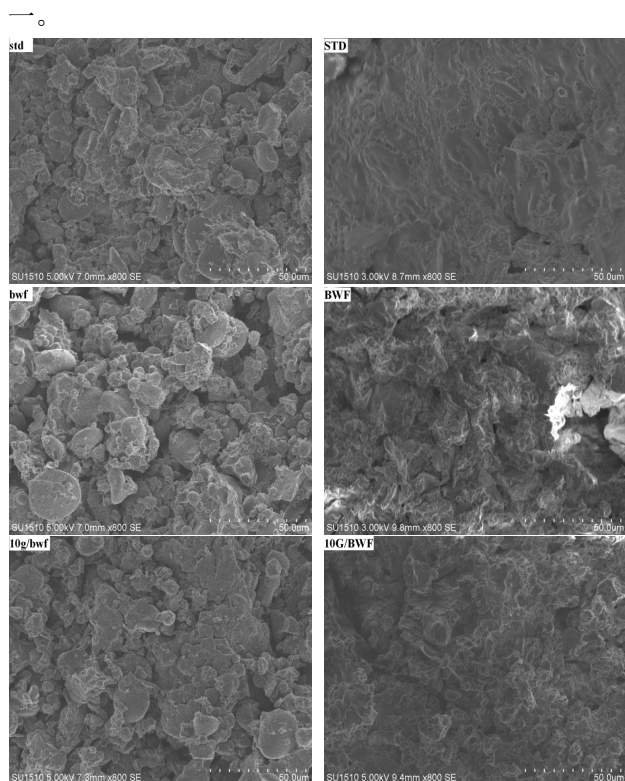


图3 谷朊粉对混合面团及馒头微观结构的影响

Fig.3 Effect of wheat gluten on the ultrastructure of mixed dough and steamed bread

注: std为参照组,即纯小麦粉面团; bwf为空白对照组,即未添加谷朊粉的荞麦-小麦(1:1)面团; 10 g/bwf为添加10%谷朊粉的荞麦-小麦面团; 大写字母为其分别对应的馒头芯微观结构。

2.6 谷朊粉对混合面团中面筋蛋白构象的影响

红外谱图中吸收峰的位置和强度取决于分子中各基团(化学键)的振动形式和所处的化学环境,图4为参照组洗出的面筋蛋白和添加10%谷朊粉的荞麦-小麦混合面团中洗出的面筋蛋白的红外光谱图,可以看出,添加10%谷朊粉的荞麦-小麦混合面团面筋的谱图强度总体小于参照组中小麦粉面团面筋的谱图强度,且前者的-OH伸缩振动峰相比小麦粉中的峰稍有左移(从3324.37 cm⁻¹到3326.32 cm⁻¹),Jayne^[11]指出氢键的减少会使-OH的伸缩振动向高波数方向移动,这与下表7中10%谷朊粉的加入使得混合面团中氢键含量仍较参照组低的结果一致;2928.69 cm⁻¹处的峰代表C-H伸缩振动,在添加10%谷朊粉的荞麦-小麦面团面筋谱图中,此峰向低波数方向偏移;1658 cm⁻¹,1534 cm⁻¹和1448 cm⁻¹处的峰代表蛋白的酰胺I,II带,可以看出两谱图中这些峰的位置基本一致,除

此之外,参照组的面筋蛋白在1154.73 cm⁻¹、1079.34 cm⁻¹和1025.65 cm⁻¹处有吸收峰,而添加10%谷朊粉的混合面团中的面筋蛋白缺乏这些吸收峰。表8中为参照Dong等人^[12]的方法对酰胺I带(1700 cm⁻¹~1600 cm⁻¹)的红外谱图进行omnic拟合后得到的面筋蛋白二级结构的分析结果,可以看出10%谷朊粉的加入使得混合面团中面筋蛋白的二级结构中无规卷曲和β-转角的相对含量与参照组基本相近,β-折叠的相对含量稍有增加,α-螺旋的相对含量则有所下降。50%荞麦全粉严重稀释了面团中的面筋蛋白以至于无法洗出湿面筋,谷朊粉的添加虽在一定程度上能够弥补高含量荞麦粉对面团面筋蛋白的稀释,但却不能完全恢复高含量荞麦粉的加入对面团中化学键及化学环境的影响。

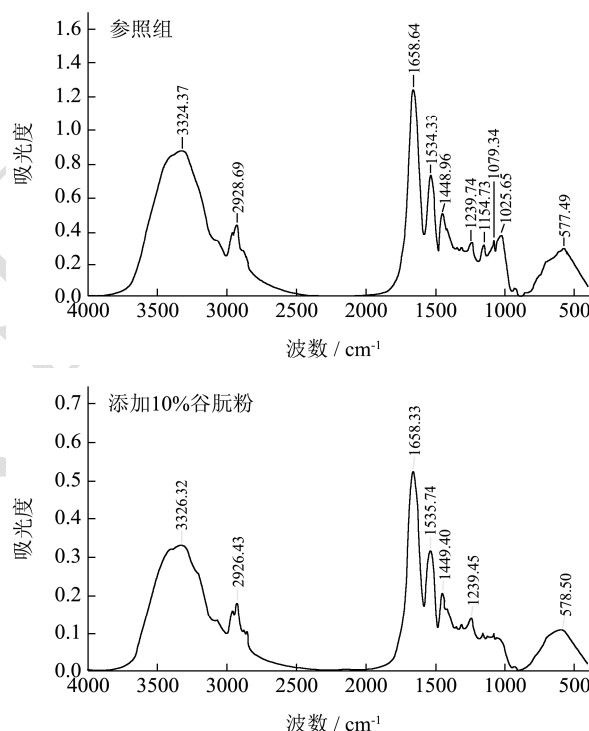


图4 谷朊粉对混合面团中面筋蛋白构象的影响

Fig.4 Effect of wheat gluten on gluten protein structure in mixed dough

表8 混合面团中面筋蛋白二级结构的相对含量

Table 8 Relative content (%) of the secondary structure of gluten protein in mixed dough

面筋蛋白	β-折叠 / %	无规卷曲 / %	α-螺旋 / %	β-转角 / %
参照组	17.44±0.26	26.27±0.57	31.66±0.56	24.64±0.25
添加10%谷朊粉	18.41±0.20	26.36±0.05	30.63±0.23	24.62±0.14

2.7 谷朊粉对面团中二硫键含量及化学作用

力的影响

由表 9 可以看出,空白组面团的二硫键含量远低于参照组,这是因为 50%荞麦粉替代面粉后,混合面团中醇溶蛋白和谷蛋白的含量下降,这将直接破坏面团中二硫键的形成,醇溶蛋白为单体蛋白,无肽链间二硫键,单肽链间依靠氢键、疏水键和分子内二硫键连接,形成紧密的三维结构,呈球形,多由非极性氨基酸组成,为面团提供延展性,麦谷蛋白是一种大分子聚合物,一般由 17~20 种不同的多肽亚基组成,靠分子内和分子间二硫键连接,呈纤维状,其氨基酸多为极性氨基酸,容易发生聚集作用,赋予面团弹性。所以 10%谷朊粉的加入会明显提高面团中二硫键的含量;从表中还可看到空白组面团的离子键含量高于参照组,氢键含量和疏水作用低于参照组,离子键的增加会增加面团的粘性,氢键含量和疏水作用较低可能与荞麦粉中谷氨酸和脯氨酸含量远低于小麦粉有关^[13],加入 10%的谷朊粉使得离子键、氢键含量和疏水作用都有所增大,马涛等人^[14]指出谷朊粉中含有大量的谷氨酸,谷氨酸以谷氨酰胺的形式存在,谷氨酰胺间可以形成大量的氢键,这种次级作用力对面团的物理性质十分有利,离子键也会随氨基酸的增加而增加,从而增加面团的粘性,但其指出谷朊粉的加入会降低面团的疏水作用,这与本研究的结果不符,其原因可能是荞麦粉中的成分如氨基酸组成等影响了面团中的化学作用力,且由表中数据可以看出添加 10%谷朊粉后面团中的化学作用力与参照组仍有很大差异,所有化学作用力共同作用的结果将会导致面筋蛋白构象、面团微观结构及其它方面的改变,进而改变面团的性质,这与之前得到的实验结果一致。

表 9 谷朊粉对面团中二硫键含量及化学作用力的影响

Table 9 Influence of wheat gluten on the disulfide bond content and chemical interactions in dough

样品	-S-S- /($\mu\text{mol/g}$)	离子键 /(g/L)	氢键 /(g/L)	疏水作用 /(g/L)
参照组	27.59 \pm 1.19 ^a	0.36 \pm 0.06 ^c	1.51 \pm 0.16 ^a	6.63 \pm 0.32 ^a
空白	10.35 \pm 0.30 ^b	2.76 \pm 0.03 ^b	0.51 \pm 0.03 ^b	4.00 \pm 0.16 ^c
添加 10% 谷朊粉	25.32 \pm 0.96 ^a	3.35 \pm 0.16 ^a	0.70 \pm 0.04 ^b	4.87 \pm 0.06 ^b

3 结论

添加谷朊粉可提高高含量荞麦面团的湿/干面筋含量;使得混合粉的糊化温度稍有增加,其余各项糊化参数呈下降趋势;会明显改善混合面团的粉质和拉伸特性,延长面团形成时间,增强面团稳定性,面团

的延伸性、拉伸阻力和能值也相应增大;适量谷朊粉的加入可以提高馒头的比容和弹性,改善馒头芯的孔隙结构。扫描电镜结果显示谷朊粉的添加在一定程度上能够弥补面筋蛋白含量的不足,使得面筋网络能够较好的形成,改善馒头芯的微观结构;红外分析结果表明添加适量谷朊粉后混合面团中面筋蛋白的构象与纯小麦粉中面筋蛋白的构象仍有差异;谷朊粉的加入虽显著增加了面团中二硫键的含量,增强了离子键、氢键和疏水作用,但这些化学作用力仍与参照组面团有一定差异。以上这些结果表明,适量谷朊粉的添加能够改变高含量荞麦面团中的化学作用力,进而改变面筋蛋白的构象及面团的微观结构,对面制品产生一定的改善作用,但是仍然无法达到纯小麦面制品的品质,这说明混合粉中除了面筋蛋白的含量外,蛋白各组分的比例、分子量分布以及面团中的其它成分也会对面团的化学作用力产生影响,进而影响面团的性质。

参考文献

- [1] Deng K, Huang Y, Hua Y. Isolation of glycinin (11 s) from lipid-reduced soybean flour: effect of processing conditions on yields and purity [J]. *Molecules*, 2012, 17(3): 2968-2979
- [2] Gómez-Guillén M C, Borderías A J, Montero P. Chemical interactions of nonmuscle proteins in the network of sardine (*Sardina pilchardus*) muscle gels [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 1997, 30(6): 602-608
- [3] 熊柳,张兆丽,吕传萍,等.谷朊粉对不同淀粉糊化特性和质构特性的影响[J].*中国粮油学报*,2010,11:29-32
XIONG Liu, ZHANG Zhao-li, LV Chuan-ping, et al. Effect of gluten on different starch pasting and texture properties [J]. *Chinese Cereals and Oils Association*, 2010, 11: 29-32
- [4] Curti E, Carini E, Tribuzio G, et al. Bread staling: Effect of gluten on physico-chemical properties and molecular mobility [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 59(1): 418-425
- [5] 黎金,张国权.添加荞麦多肽粉对面团流变学特性的影响[J].*现代食品科技*,2010,1:38-42
LI Jin, ZHANG Guo-quan. Effect of buckwheat polypeptide flour on dough rheological properties [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2010, 1: 38-42
- [6] 崔丽琴,崔素萍,马平等.豆渣粉对面团特性及面团微观结构的影响[J].*食品工业科技*,2014,35(5):75-78
CUI Li-qin, CUI Su-ping, MA Ping, et al. Effect of okara flour on dough properties and microstructure [J]. *Food Industry Technology*, 2014, 35(5): 75-78

- [7] 刘彦.高抗氧化荞麦面包面团发酵流变与烘焙学特性研究[D].无锡:江南大学,2013
LIU Yan. Research on dough fermentation rheological and baking properties of high antioxidant buckwheat bread [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013
- [8] Marchetti L, Cardós M, Campaña L, et al. Effect of glens of different quality on dough characteristics and breadmaking performance. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 46(1): 224-231
- [9] Barak S, Mudgil D, Khatkar B S. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 51(1): 211-217
- [10] Turbin-Orger A, Della Valle G, Doublier J L, et al. Foaming and rheological properties of the liquid phase extracted from wheat flour dough [J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 43: 114-124
- [11] Bock J E, Damodaran S. Bran-induced changes in water structure and gluten conformation in model gluten dough studied by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 31(2): 146-155
- [12] Dong A, Jones L T S, Kerwin B A, et al. Secondary structures of proteins adsorbed onto aluminum hydroxide: infrared spectroscopic analysis of proteins from low solution concentrations [J]. *Analytical Biochemistry*, 2006, 351(2): 282-289
- [13] 杜双奎.荞麦粉-小麦粉混粉工艺特性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2001
DU Shuang-kui. Research on technological properties of buckwheat-wheat mixed flour [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2001
- [14] 马涛,周佳,张良晨.谷朊粉在面团中作用机理的研究[J].食品工业科技,2012,33(15):124-126
MA Tao, ZHOU Jia, ZHANG Liang-chen. Study on mechanism of wheat gluten added in dough [J]. *Food Industry Technology*, 2012, 33(15): 124-126