

麦麸膳食纤维对小麦粉糊化及凝胶质构特性的影响

姜小苓, 李 淦, 胡喜贵, 吴晓军, 李秀玲, 于红彩, 茹振钢*

(河南科技学院小麦中心, 河南省现代生物育种协同创新中心,
河南省高校作物分子育种重点开放实验室, 河南新乡 453003)

摘要:为研究膳食纤维对淀粉糊化及凝胶质构的影响, 本实验以 2 种不同筋力小麦粉为原料, 添加麦麸膳食纤维, 5 个添加量处理, 分析其小麦粉糊化特性、凝胶质构及其微观结构。结果表明: 随麦麸膳食纤维添加量的增加, 峰值粘度、低谷粘度、稀懈值、最终粘度和回生值等糊化特征参数均呈显著下降趋势, 糊化时间和糊化温度的变化不明显, 且没有规律性; 添加膳食纤维显著降低了糊化凝胶的硬度、粘附性和咀嚼度 ($p < 0.05$), 而弹性、内聚性和胶粘性未见显著变化; 膳食纤维对 2 种不同筋力小麦粉糊化和凝胶质构特性的影响趋势基本一致; 膳食纤维改变了面团和糊化凝胶体系的微观结构, 可增加面团的紧致性, 但会降低凝胶结构的致密性和均匀性。

关键词:麦麸膳食纤维, 小麦粉, 凝胶, 糊化特性, 质构特性, 微观结构

Effect of wheat bran dietary fiber on pasting and gel textural properties of wheat flour

JIANG Xiao-ling, LI Gan, HU Xi-gui, WU Xiao-jun, LI Xiu-ling, YU Hong-cai, RU Zhen-gang*

(Center of Wheat Breeding, Henan Institute of Science and Technology, Collaborative Innovation Center of Modern Biological Breeding, Henan Province, Key Discipline Open Laboratory
on Crop Molecular Breeding of Henan Institute, Xinxiang 453003, China)

Abstract: To research effects of dietary fiber on starch pasting and gel textural, two kinds of wheat flour with different gluten strength were used in this study. Moreover, 5 different dosage of wheat bran dietary fiber (WBDF) were added in the tested flour, and these pasting property, gel textural property and microstructure were determined, respectively. The results showed that pasting parameters such as peak viscosity, trough viscosity, breakdown, final viscosity and setback significantly decreased with the increasing additional level of WBDF. However, no obvious changes and rules were observed about pasting time and pasting temperature. The hardness, adhesiveness and chewiness of pasting gel significantly decreased with the addition of WBDF in wheat flour, while springiness, cohesiveness and gumminess had no obvious changes. Effects of WBDF on pasting and gel textural properties for two kinds of flour were observed to be almost the same. Furthermore, WBDF changed the microstructure of dough and gel, which can increase the compactness of dough while decrease denseness and homogeneity of gel.

Key words: wheat bran dietary fiber; wheat flour; gel; pasting property; textural property; microstructure

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)08-0001-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.08.001

引文格式:姜小苓, 李淦, 胡喜贵, 等. 麦麸膳食纤维对小麦粉糊化及凝胶质构特性的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 1-5, 12.

膳食纤维 (Dietary fiber, DF) 是能抗人体小肠消化吸收, 在大肠能部分或全部发酵的植物性可食用成分以及以多糖类为主的大分子物质的总称, 主要包括纤维素、半纤维素、果胶和木质素, 被称为“第七营养素”^[1]。研究表明, 膳食纤维具有预防结肠癌、肥胖症和心血管疾病, 以及调节血糖、降低胆固醇等

生理功能^[2-3]。另外, 膳食纤维还具有高粘度和高水合作用的特性, 对小麦制粉、加工烘焙等均具有重要影响^[4]。

小麦麸皮中大约含有 40% 的膳食纤维, 是生产膳食纤维的优质资源^[5], 并且安全性高, 是公认的天然食物纤维。有研究报道, 英国居民 20% 的膳食纤维

收稿日期: 2017-08-24

作者简介: 姜小苓 (1982-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 小麦品质检测及改良, E-mail: xiao_ling_jiang@163.com。

* 通讯作者: 茹振钢 (1958-), 男, 本科, 教授, 研究方向: 小麦育种, E-mail: rzgh58@163.com。

基金项目: 河南省科技攻关项目 (152102110085); 河南省小麦产业技术体系岗位专家 (S2015-01-G01)。

维来源于小麦制品,其中 11% 来源于白面包,5% 来源于全麦面包^[6]。在我国,消费者对小麦面粉精度和白度的要求一直较高,育种研究者也主要侧重于小麦的产量和加工品质,导致小麦粉中膳食纤维的含量越来越低^[7];目前我国人均膳食纤维的摄入量严重不足,并且随着食品精加工水平的提高呈逐步下降的趋势^[8]。因此,在食物中补充膳食纤维已成为当务之急,研制具有辅助治疗、预防作用的膳食纤维健康食品势在必行。

迄今为止,有关膳食纤维对面团流变学特性及面食制品品质影响方面的研究较多,但结论不一,原因可能是膳食纤维的来源、特性或实验材料、实验方法不同所致。陶颜娟等^[9]和 Sudha 等^[10]研究认为,膳食纤维可增加面团吸水率、形成时间和面团拉伸比,降低面团延展性;Peressini^[11]则认为,膳食纤维可延长和面时间和稳定时间,降低吸水率;张华等^[2]研究表明,随膳食纤维添加量的增加,面团稳定时间呈先上升后下降趋势;豆康宁等^[12]研究认为,不同溶解性的膳食纤维对面团流变学特性的影响不同,不溶性小麦膳食纤维对面团面筋具有恶化作用,而可溶性小麦膳食纤维对面团面筋具有改良作用。陈建省等^[13]研究表明,麦麸纤维能降低面团的峰值高度、8 min 尾高、峰值面积,增加峰值时间和 8 min 带宽;而 Bonnard 等^[14]认为,膳食纤维可降低峰值时间,增加峰值宽度。Yadav 等^[15]表明,添加麦麸会降低面包的粘附性、咀嚼性和感官评分;Garófalo 等^[16]认为添加膳食纤维能显著增加面包体积。

淀粉是小麦的主要组成成分,约占小麦籽粒的 60%~70%,是人类膳食重要的能量来源。糊化特性是淀粉品质的重要指标,且对馒头、面条等面制品的品质具有重要影响^[17]。目前,关于膳食纤维对淀粉糊化特性的影响已有相关报道,但有关糊化凝胶质构方面的研究较少。本实验以 2 种不同筋力的小麦粉为材料,分析研究麦麸膳食纤维添加量对小麦粉糊化特性以及凝胶质构特性的影响,并通过场发射扫描电子显微镜进一步观察膳食纤维面团及糊化凝胶的内部微观结构,以期探讨膳食纤维对小麦粉糊化和凝胶质构的影响机制,为小麦制品的品质改良以及麦麸膳食纤维在食品中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

麦麸膳食纤维 实验室自提;不同筋力的小麦粉 A(强筋)、B(弱筋) 由河南科技学院小麦中心提供,参试面粉品质特性见表 1。

RVA4500 快速粘度分析仪 瑞典 Perten 公司;TMS-PRO 质构仪 美国 FTC 公司;ALPHA1-4LSC

冷冻干燥机 德国 Christ 公司;SU8010 场发射扫描电子显微镜 日本日立公司;BS223S 电子分析天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 麦麸膳食纤维制备 利用酶-化学法从麦麸中提取膳食纤维,具体方法参照姜小苓等^[18]。最终制品膳食纤维含量为 85.0% (不溶性膳食纤维 80.35%,可溶性膳食纤维 4.65%),经干燥粉碎后,过 100 目筛,4℃ 冷藏备用。

1.2.2 麦麸膳食纤维的添加 将麦麸膳食纤维分别按照 2.5%、5.0%、7.5%、10.0%、12.5% 和 15.0% 的比例(w/w)加入小麦粉 A 和 B,制成配粉。

1.2.3 糊化特性测定 利用 RVA4500 快速粘度分析仪,测定小麦面粉及配粉的糊化特性,方法参照 AACC 76-21,各糊化参数计算方法见图 1。其中糊化温度是试样加热后,试样粘度开始增大时的温度;峰值粘度是在规定条件下,加热使试样开始糊化至冷却前达到的最大粘度值;糊化时间是在规定条件下,试样测试开始至达到峰值粘度的时间;低谷粘度是在规定条件下,试样达到峰值粘度后,在冷却期间的最小粘度值;稀懈值是峰值粘度与低谷粘度的差值;最终粘度是规定条件下,测试结束时的试样粘度值;回生值是最终粘度与最低粘度的差值。

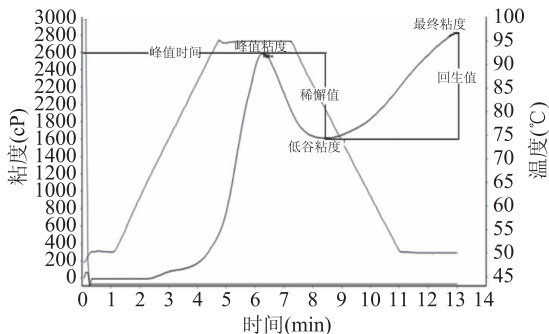


图1 糊化特性曲线

Fig.1 Pasting curve

1.2.4 凝胶质构特性测定 将 1.2.3 方法中糊化后的凝胶样品在铝筒内趁热摇匀至表面平整,在 4℃ 下放置 48 h。利用质构仪对凝胶进行物性测试,采用 75 mm 圆盘挤压探头进行 TPA 压缩模式测试。测前速度 50 mm·min⁻¹,测试速度 30 mm·min⁻¹,测后速度 50 mm·min⁻¹,起始力 0.8 N,形变量 30%,保持时间 1 s,最终获得硬度、粘附性、弹性等参数,每个实验重复 3 次。

TPA(Texture Profile Analysis)凝胶质构测试通过模拟人口腔的咀嚼运动,对样品连续压缩两次,获得相应的质构测试曲线,进而从中分析凝胶的硬度

表 1 参试材料的品质特性

Table 1 Quality characteristics of tested materials

小麦粉	白度	粗蛋白 (%)	总淀粉 (%)	湿面筋 (%)	面筋指数 (%)	吸水率 (mL/100 g)	形成时间 (min)	稳定时间 (min)	粉质质量 指数
A	69.5	12.4	69.7	36.6	81.3	64.7	10.0	11.0	165
B	78.8	9.0	73.5	25.3	38.9	51.3	1.8	1.5	23

(Hardness)、粘附性(Adhesiveness)、胶粘性(Gumminess)、内聚性(Cohesiveness)和弹性(Springiness)等参数。其中,硬度是指样品压缩到一定形变程度所需的力,是衡量制品品质的一个重要指标,硬度值越小,表明制品越柔软,适口性越好。弹性是指形变样品去除挤压力后恢复原条件下的高度,值越大,制品的内部结构越好,弹性越好;粘附性是指克服制品表面同其他物质表面接触之间的吸引力所需的能量,值越高,表示制品粘度越高。咀嚼度为硬度、弹性和粘附性的乘积,表示咀嚼样品需要的能量。

1.2.5 扫描电镜观察 方法参照刘国琴等^[19],略有改动:将参试面粉和配粉分别按 5 g:2.4 mL 比例加水,和面 5 min,制成面团。将面团和糊化凝胶在-20 ℃条件下预冻 10 h,用保鲜膜包裹置于冷冻干燥机,冷冻干燥 48 h。将冻干的样品切成 1 cm×1 cm×0.5 cm 的方块,喷金固定于载物台上,利用场发射扫描电子显微镜观察面团及凝胶体系的微观结构。

1.3 统计分析

利用 DPS7.05 和 EXCEL 2010 进行实验数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 麦麸膳食纤维对小麦粉糊化特性的影响

由图 2 可知,两种不同筋力小麦粉添加麦麸膳食纤维后,峰值粘度、低谷粘度、稀懈值、最终粘度和回生值等特征糊化参数随添加量的增加均呈逐渐下降趋势。进一步分析发现,淀粉糊化特征参数(除糊化时间和糊化温度外)在不同添加量间均存在显著差异($p<0.05$)。两种筋力小麦粉各粘度参数的下降幅度基本相同,但小麦粉 A 的粘度参数多数高于小麦粉 B(除回生值和糊化温度外)。添加 15% 的麦麸膳食纤维后,小麦粉 A 的峰值粘度、低谷粘度、稀懈值、最终粘度和回生值分别下降了 1145、857、288、1462、605 cP,与原小麦粉相应参数对比下降了

27.7%、31.7%、20.1%、33.6%、36.7%;添加 15% 的麦麸膳食纤维后,小麦粉 B 的峰值粘度、低谷粘度、稀懈值、最终粘度和回生值分别下降了 1096、585、511、1355.5、770 cP,下降幅度相当于原小麦粉相应参数的 30.4%、27.1%、35.4%、31.5%、36.0%。

添加膳食纤维后,小麦粉的糊化特征参数降低的原因可能是:添加膳食纤维使糊化体系中淀粉的相对含量减少,浓度降低,进而导致糊化参数的下降;另外,膳食纤维的吸水能力远高于小麦粉中的淀粉和蛋白质,减少了糊化体系中可利用水的转运,进而阻碍了淀粉颗粒吸水糊化,同时也会不同程度的增大糊化体系中淀粉/水的比例^[20-21]。因此,糊化参数的变化主要取决于这两个方面的共同作用。从本实验的结果来看,膳食纤维对糊化体系淀粉浓度的稀释作用可能要大于由其吸水能力导致的淀粉/水比例的升高作用。

两种小麦粉添加膳食纤维后,糊化时间的变化趋势没有规律性,小麦粉 A 糊化时间的变化幅度大于小麦粉 B;而小麦粉 B 的糊化时间基本没有变化。另外,两种筋力小麦粉的糊化温度受膳食纤维的影响也较小,且小麦粉 A 的糊化温度低于小麦粉 B。说明糊化时间和糊化温度基本不受膳食纤维的影响。

2.2 麦麸膳食纤维对糊化凝胶质构特性的影响

糊化淀粉冷却后,会形成具有一定弹性和强度的半透明凝胶,凝胶的质构特性对最终食品的品质具有重要影响,它可以间接反映出小麦制品的品质,如形态、质构、口感、货架期等^[22-23]。由表 2 可知,小麦粉 A 凝胶的硬度、粘附性、弹性、胶粘性等指标均低于小麦粉 B,说明淀粉凝胶的质构特性与品种特性有关。另外,小麦粉 A 糊化的峰值粘度高于小麦粉 B(图 2),这与峰值粘度与凝胶硬度呈极显著负相关的结论一致^[23]。添加麦麸膳食纤维后,两种小麦粉凝胶的质构参数变化趋势基本一致,均呈现下降趋

表 2 麦麸膳食纤维添加量对糊化凝胶质构特性的影响

Table 2 Effect of additive amounts of WBDF on textural property of pasting gel

DF 添加量(%)	硬度(N)	粘附性(mJ)	内聚性	弹性(mm)	胶粘性(N)	咀嚼度	
A	0	4.27 ± 0.16 ^a	0.25 ± 0.02 ^a	0.84 ± 0.01 ^a	4.14 ± 0.31 ^a	3.51 ± 0.26 ^a	4.41 ± 0.09 ^a
	2.5	4.20 ± 0.16 ^a	0.18 ± 0.01 ^b	0.82 ± 0.00 ^a	3.93 ± 0.01 ^a	3.40 ± 0.08 ^a	3.02 ± 0.09 ^b
	5	3.93 ± 0.54 ^a	0.11 ± 0.00 ^c	0.82 ± 0.01 ^a	3.98 ± 0.40 ^a	3.13 ± 0.62 ^a	1.71 ± 0.45 ^c
	7.5	3.63 ± 0.50 ^{ab}	0.07 ± 0.01 ^d	0.80 ± 0.00 ^b	3.98 ± 0.07 ^a	3.39 ± 0.16 ^a	1.02 ± 0.22 ^d
	10	3.06 ± 0.04 ^{bc}	0.05 ± 0.00 ^{de}	0.77 ± 0.01 ^c	3.71 ± 0.08 ^{ab}	2.99 ± 0.13 ^a	0.53 ± 0.01 ^e
	12.5	2.71 ± 0.28 ^{cd}	0.03 ± 0.00 ^e	0.73 ± 0.01 ^d	3.45 ± 0.00 ^b	2.90 ± 0.08 ^a	0.30 ± 0.05 ^{ef}
	15	2.05 ± 0.08 ^d	0.01 ± 0.00 ^f	0.72 ± 0.00 ^d	3.40 ± 0.01 ^b	2.89 ± 0.13 ^a	0.05 ± 0.00 ^f
B	0	5.00 ± 0.02 ^a	0.40 ± 0.00 ^a	0.81 ± 0.00 ^a	4.46 ± 0.06 ^a	3.89 ± 0.15 ^a	9.02 ± 0.18 ^a
	2.5	4.73 ± 0.24 ^{ab}	0.29 ± 0.00 ^b	0.76 ± 0.01 ^b	4.11 ± 0.30 ^{ab}	3.42 ± 0.42 ^{ab}	5.66 ± 0.71 ^b
	5	4.40 ± 0.32 ^{bc}	0.17 ± 0.03 ^c	0.73 ± 0.02 ^{cd}	3.72 ± 0.18 ^{ab}	2.98 ± 0.16 ^{bc}	2.86 ± 0.57 ^c
	7.5	4.08 ± 0.00 ^c	0.13 ± 0.05 ^{cd}	0.74 ± 0.02 ^{bc}	3.80 ± 1.19 ^{ab}	2.47 ± 0.68 ^c	1.85 ± 0.20 ^d
	10	3.57 ± 0.11 ^d	0.11 ± 0.02 ^{cd}	0.71 ± 0.01 ^d	3.13 ± 0.20 ^b	2.25 ± 0.30 ^c	1.20 ± 0.20 ^{de}
	12.5	2.80 ± 0.27 ^e	0.08 ± 0.01 ^d	0.71 ± 0.01 ^d	3.35 ± 0.04 ^{ab}	2.53 ± 0.13 ^c	0.75 ± 0.11 ^e
	15	2.11 ± 0.12 ^f	0.05 ± 0.06 ^d	0.71 ± 0.01 ^d	3.01 ± 0.11 ^b	2.18 ± 0.11 ^c	0.37 ± 0.45 ^e

注:同列同筋力小麦粉不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),相同字母表示差异不显著($p>0.05$)。

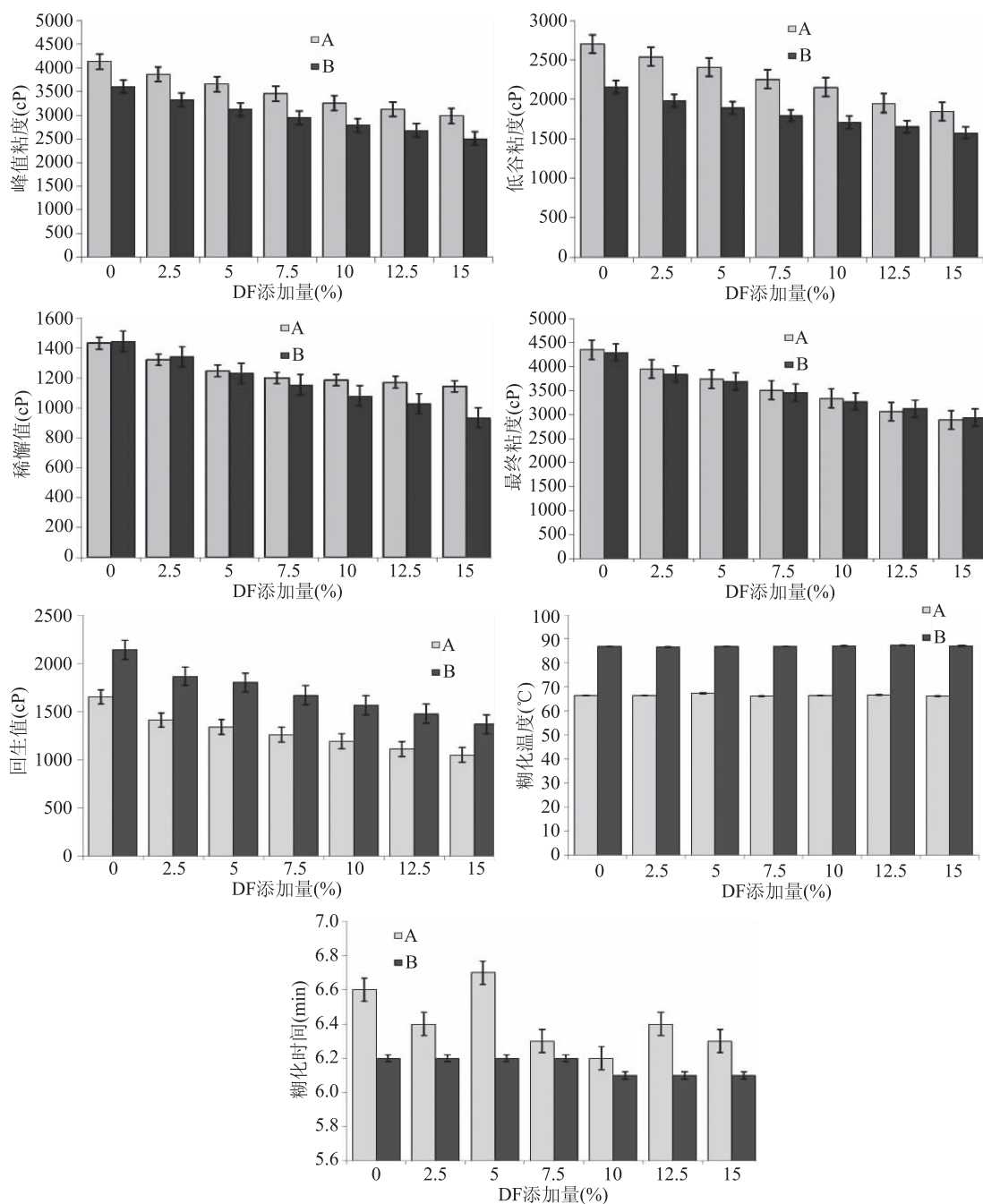


图2 麦麸膳食纤维添加量对小麦粉糊化特性的影响

Fig.2 Effect of additive amounts of WBDF on pasting property for wheat flour

势。其中,两种凝胶的硬度和粘附性均随膳食纤维添加量的增加逐渐降低,凝胶B下降幅度较凝胶A大;内聚性、弹性和胶粘性下降幅度随膳食纤维添加量增加没有一致的规律性,总体呈下降趋势;除凝胶A的胶粘性在不同添加量间差异不显著外($p > 0.05$),其他所有质构参数在部分添加量间均存在显著差异,其中添加15%膳食纤维均显著低于未添加膳食纤维的凝胶。进一步分析发现,加入膳食纤维后,凝胶的咀嚼度随之降低,且随添加量的增加,呈逐步下降趋势。

糊化凝胶是一种非均匀相的混合体系,主要由淀粉分子间相互作用以及蛋白质的网络结构聚集而成的致密有序的超分子聚集体^[22],其质构特性与淀

粉组成和含量、蛋白质含量及分子结构有关^[23-24]。膳食纤维导致两种小麦粉糊化凝胶质构参数值减小的原因可能是:膳食纤维的加入减少了体系中蛋白质和可糊化淀粉的比例,削弱了它们之间的交联作用,影响了蛋白网络结构的形成;此外,膳食纤维较强的吸水性^[25]也使淀粉、蛋白质分子与水分子的结合减少,并且膳食纤维分子侧链上的羧基、羟基等活性基团也会与其发生相互作用,进而降低其交联程度,使糊化凝胶的硬度降低^[9]。另外,膳食纤维的糊化曲线近似是一条粘度为零的直线,冷却后也不会凝聚,说明膳食纤维不会发生糊化,只是对糊化体系中淀粉和蛋白质的浓度及淀粉、蛋白质分子间的交联产生影响^[24]。

2.3 DF 对小麦粉面团及凝胶内部结构的影响

通过观察面团的显微结构,小麦粉 B 及其配粉面团和凝胶的显微结果与小麦粉 A 类似,所以此处只列出小麦粉 A 的结果,结果见图 3 和图 4。发现未添加膳食纤维的面团中单位体积的淀粉颗粒较多,颗粒间空隙较大,且多数游离在面筋蛋白网络结构之外;添加 15% 膳食纤维后,面团体系中淀粉颗粒的总浓度降低,多数淀粉颗粒被紧密包裹、镶嵌在面筋蛋白网络结构中,只有少数淀粉颗粒游离在面筋蛋白的网络结构外,并且淀粉颗粒间的孔隙减小,说明膳食纤维可增加面团结构的紧致性。糊化过程中淀粉颗粒吸水膨胀进而破裂并与面筋蛋白形成复合物,经过冷藏放置后,淀粉分子发生重排,组成结构致密的聚集体。未添加膳食纤维的糊化凝胶结构致密、均匀,添加 15% 膳食纤维后,形成的网络结构出现断裂,未发生糊化的膳食纤维清晰可见,说明未糊化的膳食纤维会影响凝胶结构的形成,降低其致密性和均匀性,这与添加膳食纤维导致糊化凝胶质构参数降低的结果一致。

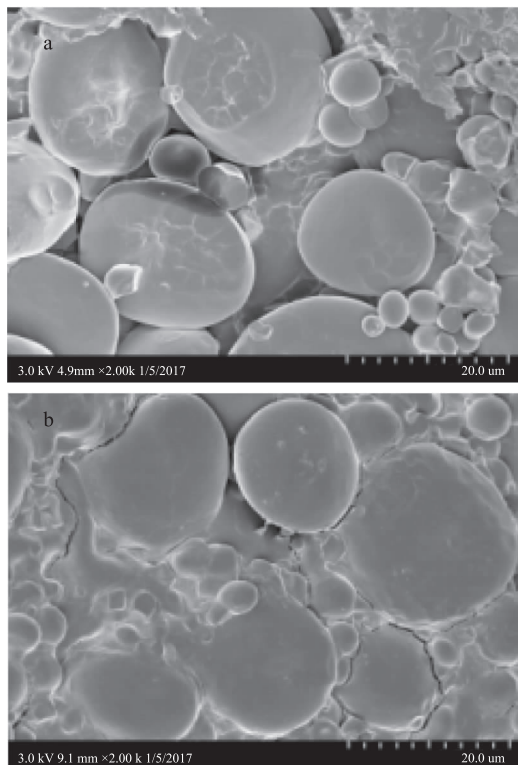


图 3 小麦粉 A 及其配粉面团的显微结构

Fig.3 Microstructure of dough for wheat flour A and flour blending

注:a:未添加膳食纤维;b:添加 15% 膳食纤维;图 4 同。

3 结论

添加膳食纤维会显著降低小麦粉的峰值粘度、低谷粘度、稀懈值、最终粘度和回生值等糊化特征参数,但对糊化时间和糊化温度的影响不显著;并且还会显著降低糊化凝胶的硬度、粘附性和咀嚼度等凝胶质构参数;不同筋力小麦粉的糊化和凝胶质构参数随膳食纤维添加量的变化规律基本一致;膳食纤维会改变小麦面团和糊化凝胶的结构。

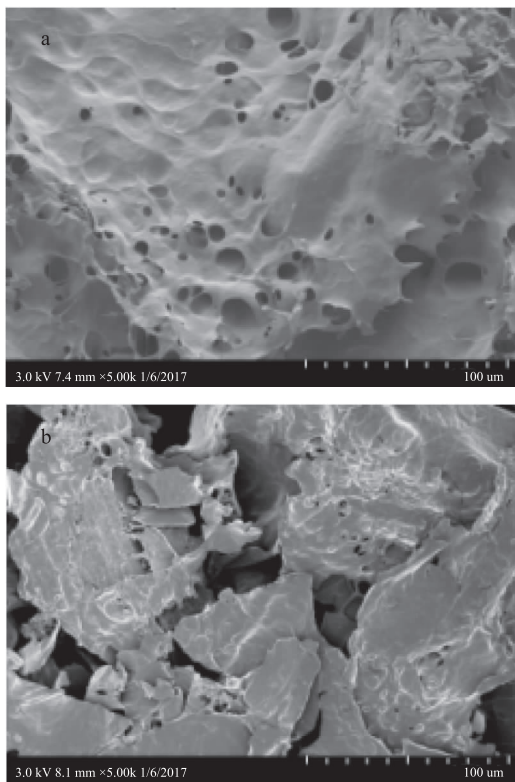


图 4 小麦粉 A 及其配粉凝胶的显微结构

Fig.4 Microstructure of gel for wheat flour A and flour blending

参考文献

- [1]康丽君,寇芳,沈蒙,等.响应面实验优化小米糠膳食纤维改性工艺及其结构分析[J].食品科学,2017,38(2):240-247.
- [2]张华,张艳艳,赵学伟,等.竹笋膳食纤维对面粉品质特征及面团质构特性的影响[J].食品工业科技,2017,38(8):82-86.
- [3]黄素雅,钱炳俊,邓云.膳食纤维功能的进展研究[J].食品工业,2016,37(1):273-277.
- [4]金晖,孟怡璠,陈萍,等.不同颗粒度南瓜不溶性膳食纤维的功能性质研究[J].中国食品学报,2013,13(9):15-21.
- [5]张洪微,杨铭铎,樊祥富.3 种改性方法对小麦麸皮膳食纤维结构与性质的影响[J].中国粮油学报,2016,31(12):12-17.
- [6]Steer T, Thane C, Stephen A, et al. Bread in the diet: consumption and contribution to nutrient intakes of British adults [J].Proceedings of the Nutrition Society,2008,67:E363.
- [7]Sands D C, Morris C E, Dratz E A, et al. Elevating optimal human nutrition to a central goal of plant breeding and production of plant-based foods[J].Plant Science,2009,177:377-389.
- [8]范华.小麦膳食纤维功能应用及生产技术[J].粮食问题研究,2014(2):45-48.
- [9]陶颜娟,钱海峰,朱科学,等.麦麸膳食纤维对面团流变学性质的影响[J].中国粮油学报,2008,6(23):28-32.
- [10]Sudha M L, Vetrmani R, Leelavathi K. Influence of fiber from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality[J].Food Chemistry,2007,100:

(下转第 12 页)

- [6] 吴旭干,汪倩,楼宝,等.育肥时间对三疣梭子蟹卵巢发育和营养品质的影响[J].水产学报,2014(2):170-182.
- [7] Wu Xugan, Cheng Yongxu, Zeng Chaoshu, et al. Reproductive performance and offspring quality of the first and the second brood of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*) broodstock[J]. Aquaculture, 2010b, 303(1-4): 94-100.
- [8] 徐善良,张薇,严小军,等.野生与养殖三疣梭子蟹营养品质分析及比较[J].动物营养学报,2009,21(5):695-702.
- [9] Amerine M A, Pangborn R M, Roessler E B. Principles of sensory evaluation of food[M]. New York: Elsevier, 2013.
- [10] 翁世兵,孙恢礼.海产鲜味物质及海产品特征滋味的研究进展[J].中国调味品,2007(11):21-27.
- [11] Chen D W, Zhang M, Sundar S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [12] 付娜,王锡昌,陶宁萍,等.蒸制和煮制中华绒螯蟹4个部位中游离氨基酸含量差异性分析[J].食品科学,2013,34(24):178-181.
- [13] 赵樑,吴娜,王锡昌,等.不同生长阶段下中华绒螯蟹滋味成分差异研究[J].现代食品科技,2016(7):261-269.
- [14] 马海建,施文正,宋洁,等.超高压处理对草鱼鱼肉品质的影响[J].现代食品科技,2015(12):283-290.
- [15] Yamaguchi S, Yoshikawa T, Ikeda S, et al. Measurement of the relative taste intensity of some L- α -amino acids and 5'-nucleotides[J]. Journal of Food Science, 1971, 36(6): 846-849.
- [16] 王慧,施文正,吴旭干,等.不同温度养殖的雌体三疣梭子蟹卵巢和蟹肉风味品质比较[J].食品科学,2016,37(18):

84-90.

- [17] 姚志勇,万金庆,庞文燕,等.真空冷诱导对冰温贮藏罗非鱼片鲜度和滋味的影响[J].现代食品科技,2014,30(2):198-203.
- [18] 汤辰婧,王锡昌,刘源,等.水产品滋味成分研究及开发利用进展[J].水产科技情报,2013,40(3):164-168.
- [19] 王雪锋,李春萍,吴佳佳,等.臭鳊鱼发酵中滋味成分的鉴定与分析[J].中国食品学报,2015,15(1):222-229.
- [20] Chen D W, Zhang M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205.
- [21] 杨荣华.食品的滋味研究(上)[J].中国调味品,2003(6):39-41,48.
- [22] Rivas-Cañedo A, Fernández-García E, Nuñez M. Volatile compounds in fresh meats subjected to high pressure processing: effect of the packaging material[J]. Meat Science, 2009, 81(2): 321-328.
- [23] Konosu S, Watanabe K, Shimizu T. Distribution of nitrogenous constituents in the muscle extracts of eight species of fish[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1974, 40: 909-914.
- [24] 邓少平,田师.电子舌技术背景与研究进展食品[J].生物技术学报,2007,26(4):110-116.
- [25] Kiyoshi Toko. Electronic tongue[J]. Bionelectronics, 1998(12):710-709.
- [26] 石婧,王帅,龚骏,等.不同育肥方式对中华绒螯蟹雄蟹肌肉呈味物质的影响[J].食品工业科技,2015,36(15):347-351.

(上接第5页)

1365-1370.

- [11] Peressini D, Sensidoni A. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49: 190-201.
- [12] 豆康宁,张臻,李素萍.小麦膳食纤维对面粉流变学特性的影响.粮食加工,2014,39(5):16-17.
- [13] 陈建省,崔金龙,邓志英,等.麦麸添加量和粒度对面团揉混特性的影响[J].中国农业科学,2011,44(14):2990-2998.
- [14] Bonnard-Ducasse M, Della Valle G, Lefebvre J, et al. Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 52: 200-206.
- [15] Yadav D N, Rajan A, Sharma G K, et al. Effect of fiber incorporation on rheological and chapatti making quality of wheat flour[J]. Journal of Food Science and Technology-mysore, 2010, 47(2):166-173.
- [16] Garófalo L, Vazquez D, Ferreira F, et al. Wheat flour non-starch polysaccharides and their effect on dough rheological properties[J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34: 1327-1331.
- [17] 罗舜菁,李燕,杨榕,等.氨基酸对大米淀粉糊化和流变

性质的影响[J].食品科学,2017,15(38):178-182.

- [18] 姜小苓,李小军,李淦,等.响应面法优化麦麸膳食纤维提取条件[J].食品工业科技,2017,38(6):158-162.
- [19] 刘国琴,柳小军,李琳,等.冻藏时间对小麦湿面筋蛋白结构和热性能的影响[J].河南工业大学学报:自然科学版,2011,32(5):1-5.
- [20] 姜小苓,李小军,冯素伟,等.蛋白质和淀粉对面团流变学特性和淀粉糊化特性的影响[J].食品科学,2014,35(1):44-49.
- [21] 陈建省,邓志英,吴澎,等.添加面筋蛋白对小麦淀粉糊化特性的影响[J].中国农业科学,2010,43(2):388-395.
- [22] 刘佳,陈玲,李琳,等.小麦A、B淀粉凝胶质构特性与分子结构的关系[J].高校化学工程学报,2011,25(6):1033-1038.
- [23] 梁灵,魏益民,张国权,等.小麦淀粉凝胶质构特性研究[J].中国食品学报,2004,4(3):33-38.
- [24] 付蕾,田纪春.抗性淀粉对小麦粉凝胶质构特性的影响[J].中国粮油学报,2012,27(9):40-48.
- [25] 张华,张艳艳,李银丽,等.竹笋膳食纤维对冷冻面团流变学特性、水分分布和微观结构的影响[J].食品科学,2016:12-20.