

适量燕麦 β -葡聚糖改善面团流变学特性

潘利华^{1,2}, 徐婷婷¹, 罗水忠¹, 贺元康¹, 罗建平¹

(1. 合肥工业大学生物与食品工程学院, 合肥 230009; 2. 加州大学戴维斯分校生物与农业工程系, 戴维斯 95616)

摘要:为探讨燕麦 β -葡聚糖在强化面粉中应用的可行性, 该文利用粉质仪、拉伸仪和糊化仪分析质量分数为0.5%~5.0%燕麦 β -葡聚糖的添加对低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉及馒头专用粉的流变学特性的影响。结果表明, 随着 β -葡聚糖添加量的增加, 4种面粉面团的吸水率、形成时间和稳定时间均增大; 0.5%~2.0%添加量增强了4种面粉面团的最大拉伸阻力, 0.5%~1.0%添加量能够使低筋面粉的拉伸特性接近馒头专用面粉的拉伸特性; 燕麦 β -葡聚糖能够使中筋面粉的糊化温度稍有升高, 但亦能降低馒头专用粉的糊化温度及4种面粉(2.0%~4.0%添加量的低筋面粉及4.0%添加量的高筋面粉除外)的最高黏度、保持黏度、最终黏度、衰减值和回生值。研究表明适量的燕麦 β -葡聚糖能够改善面团的流变学特性, 研究结果为燕麦 β -葡聚糖在强化面粉中的应用提供参考。

关键词:黏度; 拉伸特性; 相关性分析; 面粉; β -葡聚糖; 流变学特性

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.041

中图分类号: TS211; S37

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-18-0304-07

潘利华, 徐婷婷, 罗水忠, 贺元康, 罗建平. 适量燕麦 β -葡聚糖改善面团流变学特性[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 304-310. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.041 http://www.tcsae.org

Pan Lihua, Xu Tingting, Luo Shuizhong, He Yuankang, Luo Jianping. Appropriate addition of oat β -glucan improving rheological properties of dough[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 304-310. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.041 http://www.tcsae.org

0 引言

小麦磨制成的面粉按其蛋白质含量的高低, 分为高筋面粉、中筋面粉、低筋面粉及无筋面粉, 用于制作面包、馒头、包子、饺子、蛋糕、面条等多种食品。馒头专用粉是销售量最大的一种专用小麦面粉, 专门用于制作中国传统主食馒头。可见, 面粉是大宗食品原料之一, 通过向面粉中加入食品功能因子, 是消除食品功能因子缺乏和满足人体对食品功能因子需求的有效途径。Yokoyama等^[1-2]在小麦面食中添加 β -葡聚糖, 降低了受试者的血糖和血脂浓度, 满足了高血糖患者的需求。

面团流变学特性是小麦面粉耐揉性、黏弹性等物理性能的表现, 既受面粉蛋白质含量、面筋含量等组成成分的影响, 又决定着面包、馒头等最终产品的品质^[3]。因此, 面团流变学特性的测定分析日益受到人们的重视。研究表明, β -葡聚糖对面粉流变学特性的影响因其分子量大小、浓度及面粉类型而异, 它增加了高品质面粉的面团储能模量, 但降低了低品质面粉的面团储能模量并延长了其面团形成时间和稳定时间^[4-6]。在相同体系中研究 β -葡聚糖对高筋面粉、中筋面粉、低筋面粉及馒头专用粉等常用面粉的流变学特性的影响规律尚未见报道。

燕麦 β -葡聚糖是以D-吡喃葡萄糖为单体, 通过质量分数为70%的 β -(1 \rightarrow 3)和质量分数为30%的 β -(1 \rightarrow 4)糖苷键连接而形成的一种水溶性非淀粉膳食纤维类黏多糖, 存在于燕麦籽粒糊粉层和亚糊粉层中, 占燕麦麸皮干质量2.1%~3.9%^[7-9]。燕麦 β -葡聚糖具有热稳定、保水、胶凝化等良好的加工特性, 以及降低血糖和胆固醇, 减少心血管疾病, 降低直肠癌发生等生理功能, 既是高品质的食品功能因子, 又是优良的食品品质改良剂, 在低能量食品、焙烤食品、保健食品等领域得到广泛应用^[8-9]。本文就燕麦 β -葡聚糖对低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉及馒头专用粉面团流变学特性开展研究, 目的是了解燕麦 β -葡聚糖对常用面粉加工性能的作用规律, 指导其在强化面粉中的应用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉及馒头专用粉, 安徽丰大股份有限公司; 燕麦 β -葡聚糖(纯度 \geq 80%, 平均分子量 9.69×10^5 Da), 北京索莱宝科技有限公司; 活性干酵母, 乐陵市长龙调味食品有限公司, 生产批号为QS371428010016。

1.2 主要仪器

2300K全自动凯氏定氮仪, 瑞典Foss Tecator公司; Farinograph“E”810114型粉质仪, 德国Brabender公司; Extensograph(r)-E 860703型拉伸仪, 德国Brabender公司; DHR-3型旋转流变仪, 美国TA公司。

收稿日期: 2015-06-26 修订日期: 2015-07-20

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(1408085MKL18); 安徽省科技攻关项目(1301032165)

作者简介: 潘利华, 女, 江西黎川人, 合肥工业大学生物与食品工程学院副教授, 博士, 主要从事农产品加工及利用研究。合肥 合肥工业大学生物与食品工程学院, 230009。Email: panlihua@hfut.edu.cn

1.3 试验方法

1.3.1 面粉原料基本组成的测定

分别按照 GB5009.3-2010、灼烧称量法、GB/T 5506.1-2008 和 GB5009.5-2010 方法测定低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉及馒头专用粉 4 种面粉中的水分、灰分、湿面筋及蛋白质质量分数。

1.3.2 β-葡聚糖对面粉面团流变性的影响分析

在预试验的基础上，取 300g 面粉（面粉中燕麦 β-葡聚糖的质量分数分别为 0.5%、1.0%、2.0%、4.0%、5.0%），加入适量水（面团稠度达 500FU 左右），在揉面钵中揉制，依据 GB/T 14614-2006、GB/T 14615-2006 和 GB/T 24853-2010 方法进行各面粉面团粉质特性、拉伸特性和糊化特性测定，按记录仪所记录的粉质曲线、拉伸曲线和糊化曲线，直接计算各参数，分析燕麦 β-葡聚糖对 4 种面粉流变性的影响^[10]。

1.3.3 数据分析

所有试验重复 3 次，试验数据用 SPSS 13.0 统计分析系统进行统计学分析，利用 Origin 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 面粉原料基本组成的比较

由表 1 可知，低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉和馒头专用粉 4 种面粉原料中含水率为 8.78%~10.70%，灰分为 0.37%~0.42%，湿面筋为 24.31%~32.46%，蛋白质为 8.13%~12.51%。单因素 ANOVA 分析表明，4 种面粉原料的含水率及湿面筋含量差异显著（ $P<0.01$ ），灰分及蛋

白质含量差异不显著（ $P>0.05$ ）。为消除面粉原料中水分差异的影响，笔者将 4 种面粉原料在 60℃干燥至含水率均在 5%以下备用。

表 1 不同面粉原料的基本组成比较
Table 1 Comparisons of basic components of different flours

面粉原料 Flours	含水率 Moisture	灰分 Ash	湿面筋 Wet gluten	蛋白质 Protein
低筋面粉 Low-gluten flour	8.78±0.62 ^d	0.42±0.02	24.31±1.50 ^d	8.13±0.78
中筋面粉 Medium-gluten flour	10.29±0.41 ^b	0.35±0.03	25.72±1.41 ^c	10.15±0.72
高筋面粉 High-gluten flour	9.84±0.82 ^c	0.38±0.02	32.46±1.17 ^a	12.51±0.65
馒头专用粉 Chinese steamed bread flour	10.70±0.54 ^a	0.37±0.04	26.14±1.06 ^b	10.45±0.83

注：不同小写字母 a、b、c 表示在 0.05 水平差异显著。
Note: a, b, c indicates significant at 0.05 level.

2.2 燕麦 β-葡聚糖对面粉粉质特性的影响

图 1a 结果表明，低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉和馒头专用粉的吸水率 $y_1(\%)$ 均随着燕麦 β-葡聚糖添加量 $x_1(\%)$ 的增加而呈线性增大，线性方程分别为：

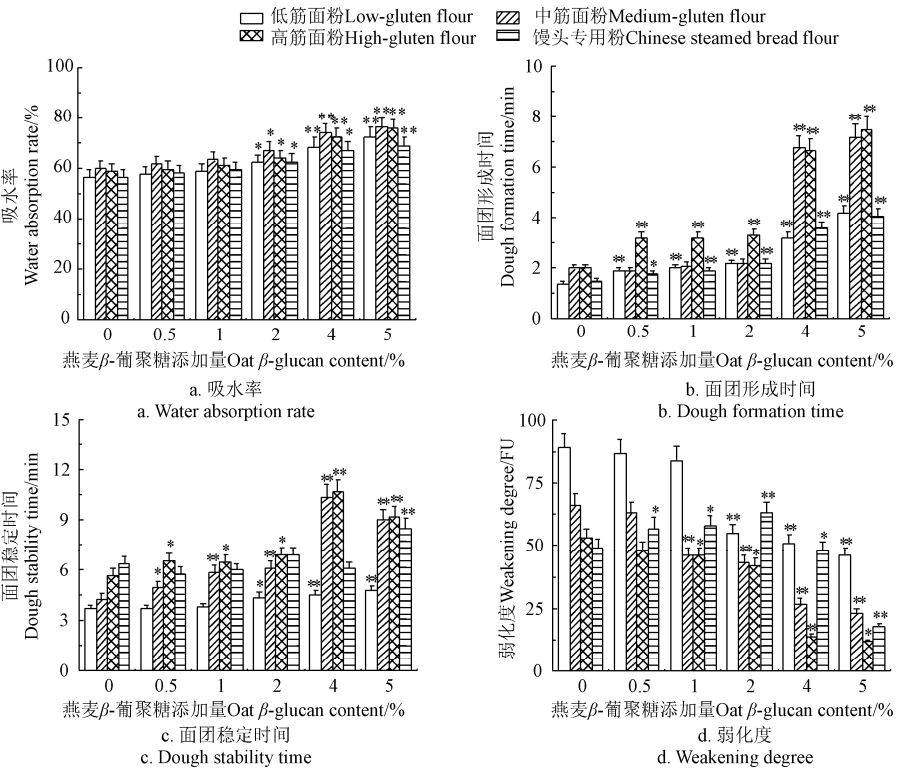
$y_1=3.233x_1+56.19 \quad R^2 = 0.996 \quad (1)$

$y_2=3.387x_2+60.22 \quad R^2 = 0.998 \quad (2)$

$y_3=3.567x_3+58.08 \quad R^2 = 0.993 \quad (3)$

$y_4=3.567x_4+58.08 \quad R^2 = 0.993 \quad (4)$

这可能是由于 β-葡聚糖的良好吸水性以及 β-葡聚糖与面筋蛋白的非极性氨基酸的疏水相互作用使面筋蛋白吸水能力亦增强所致^[11-12]。



注：与对照组相比，*0.05 水平差异显著，**0.01 水平差异显著。
Note: * significant at 0.05 level between the NC and the other groups, ** significant at 0.01 level between the NC and the other groups.

图 1 燕麦 β-葡聚糖对面粉原料粉质特性的影响
Fig.1 Effects of oat β-glucan on farinogram parameters of four flours

图 1b 显示,添加量为 0.5%~2.0%时,4 种面粉的面团形成时间变化不大,分别从初始值 1.4、2.0、2.0、1.5 min 延长至 2.2、2.2、3.3、2.2 min;添加量为 4.0%时,面团形成时间迅速增大;添加量为 5.0%时,4 种面粉的面团形成时间分别为 4.2、7.2、7.5、4.1 min。随着燕麦 β -葡聚糖添加量的增大,低筋面粉的面团稳定时间缓慢增加;中筋面粉和高筋面粉的面团稳定时间则先升高后降低,4.0%添加量时分别达到最大值 10.4 和 10.7 min,5.0%添加量时,分别降低为 9.0 和 9.2 min;馒头专用粉的面团稳定时间在 0.5%~4.0%添加量时变化不明显 ($P>0.05$),添加量为 5.0%时,则升高至 8.5 min (图 1c)。低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉的弱化度均随着燕麦 β -葡聚糖添加量的增加而降低,而馒头专用粉的弱化度呈先增强后减弱的趋势,2.0%添加量时达到最大值 (图 1d)。形成时间反映面团面筋网络的形成速度,稳定时间和弱化度则反映面团耐受机械搅拌的能力^[10]。可见,燕麦 β -葡聚糖能够改善 4 种面粉的粉质特性,但改善程度与添加量多少及面粉种类相关,为获得明显改善的粉质参数,低筋面粉至少需 2.0%添加量,中筋面粉及高筋面粉需 4.0%添加量,馒头专用粉需 2.0%添加量。引起这种差异的可能

原因是:4 种面粉原料中蛋白质、淀粉等组成及含量本身的差异,使燕麦 β -葡聚糖与这 4 种面粉原料中的蛋白质、淀粉之间形成了不同的网络结构,也可能是 β -葡聚糖本身形成的胶凝体网络结构使面筋蛋白重新排列且部分伸直变性,形成新的面筋蛋白网络所致^[7,12-13]。

从表 2 可以看出,对低筋、中筋、高筋混合粉,它们的吸水率、面团形成时间、面团稳定时间与 β -葡聚糖添加量之间呈正相关性 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$),弱化度与 β -葡聚糖添加量之间呈负相关性 ($P<0.01$);但对馒头专用粉混合粉, β -葡聚糖添加量仅与其吸水率及面团形成时间之间呈正相关性 ($P<0.01$)。对低筋、中筋、高筋混合粉,它们各自的面团形成时间、面团稳定时间、弱化度之间,呈正相关性或负相关性 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$);而馒头专用粉混合粉,仅其面团稳定时间与其弱化度之间呈显著的负相关性 ($P<0.05$),其他粉质参数之间相关性不显著 ($P>0.05$)。馒头专用粉混合粉与低筋、中筋和高筋 3 种混合粉的粉质特性参数之间表现出了不同的相关性,这可能与馒头专用粉的成分比低筋、中筋和高筋面粉的成分更为复杂有关,馒头专用粉中普遍含有面粉改良剂^[14]。

表 2 燕麦 β -葡聚糖的添加量与混合粉的粉质特性参数间的相关性

Table 2 Correlations between additions of oat β -glucan and farinograph parameters of mixed flours

面粉原料 Flours	参数 Parameters	Pearson 相关系数 Pearson correlation coefficients				
		β -葡聚糖添加量 β -glucan content	吸水率 Water absorption	面团形成时间 Dough development time	面团稳定时间 Dough stability time	弱化度 Weakening degree
低筋面粉 Low-gluten flour	β -葡聚糖添加量 β -glucan content	1	0.998**	0.978**	0.955**	-0.930**
	吸水率 Water absorption		1	0.982**	0.954**	-0.922**
	面团形成时间 Dough development time			1	0.904*	-0.855*
	面团稳定时间 Dough stability time				1	-0.989**
	弱化度 Weakening degree					1
中筋面粉 Medium-gluten flour	β -葡聚糖添加量 β -glucan content	1	0.999**	0.948**	0.932**	-0.962**
	吸水率 Water absorption		1	0.949**	0.943**	-0.964**
	面团形成时间 Dough development time			1	0.942**	-0.877*
	面团稳定时间 Dough stability time				1	-0.931**
	弱化度 Weakening degree					1
高筋面粉 High-gluten flour	β -葡聚糖添加量 β -glucan content	1	0.997**	0.973**	0.900*	-0.981**
	吸水率 Water absorption		1	0.982**	0.914*	-0.990**
	面团形成时间 Dough development time			1	0.933**	-0.991**
	面团稳定时间 Dough stability time				1	-0.957**
	弱化度 Weakening degree					1
馒头专用粉 Chinese steamed bread flour	β -葡聚糖添加量 β -glucan content	1	0.997**	0.989**	0.695	-0.745
	吸水率 Water absorption		1	0.985**	0.657	-0.698
	面团形成时间 Dough development time			1	0.642	-0.764
	面团稳定时间 Dough stability time				1	-0.853*
	弱化度 Weakening degree					1

注: *0.05 水平 (双侧) 上显著相关, **0.01 水平 (双侧) 上显著相关。
Note: * significant at 0.05 level, ** significant at 0.01 level.

2.3 燕麦 β -葡聚糖对面团拉伸特性的影响

将各面粉面团经 30、60 及 90 min 醒发后，对其拉伸特性进行测定，见表 3。从表 3 可以看出，随着醒发时间的延长，无论燕麦 β -葡聚糖添加与否，低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉及馒头专用粉面团的^{最大拉伸阻力}总体上呈增大趋势，^{延伸度}总体上呈下降趋势、^{拉伸能量}呈升高趋势。

与未添加燕麦 β -葡聚糖的对照样相比，相同的醒发时间下，中筋面粉和馒头专用粉面团的^{最大拉伸阻力}变化趋势相同，即醒发 30 min 的面团^{最大拉伸阻力}减小、醒发 60 和 90 min 面团^{最大拉伸阻力}增大；低筋面粉的面团^{最大拉伸阻力}变化趋势正好与它们相反，即醒发 30 min 的面团^{最大拉伸阻力}增大、醒发 60 和 90 min 面团^{最大拉伸阻力}减小；高筋面粉醒发 60 和 90 min 的面团^{最大拉伸阻力}总体趋势是增大（4.0%添加量除外），醒发 30 min 的面团^{最大拉伸阻力}在 0.5%~1.0%添加量时增大、2.0%~5.0%添加量时减小。^{延伸度}方面，燕麦 β -葡聚糖

添加量越高，低筋面粉、高筋面粉（0.5%添加量除外）和馒头专用粉的面团^{延伸度}下降越明显；中筋面粉醒发 90 min 的面团^{延伸度}总体趋势是降低（0.5%添加量除外），醒发 30 和 60 min 的面团^{延伸度}在 0.5%~2.0%添加量时升高、4.0%~5.0%添加量时下降。与未添加燕麦 β -葡聚糖的对照样相比，4 种面粉的^{拉伸能量}总体上随着添加量的增加而降低，0.5%~1.0%添加量并醒发 30 min 的低筋面粉、0.5%添加量的所有高筋面粉面团的^{拉伸能量}除外，它们比未添加试验的^{拉伸能量}更大（表 3）。面团的^{拉伸特性}决定了面粉的^{焙烤性质}，对面团的^{发酵过程}有很大的影响^[15]。虽然 β -葡聚糖能够通过和蛋白质发生交联而影响面筋形成和面团的^{延伸性}^[6]，但只在一定添加范围内，对面团的^{机械耐受能力}略有提高，并不能提高所有面粉醒后面团的^{强度及延伸性}。总体上，0.5%~1.0%添加量能够使低筋面粉的^{拉伸特性}接近馒头专用面粉的^{拉伸特性}，4.0%~5.0%添加量显著降低（ $P<0.05$ 或 $P<0.01$ ）4 种面粉的^{延伸性}。

表 3 燕麦 β -葡聚糖对面团拉伸特性的影响
Table 3 Effects of oat β -glucan on extensograph parameters of dough

组别 Groups	β -葡聚糖添加量 β -glucan content/%	最大拉伸阻力 Maxmium stretch resistance/EU			延伸度 Extensibility/mm			拉伸能量 Tensile energy/cm ²		
		醒发 30 min	醒发 60 min	醒发 90 min	醒发 30 min	醒发 60 min	醒发 90 min	醒发 30 min	醒发 60 min	醒发 90 min
低筋面粉 Low-gluten flour	0	381±18	554±36	614±40	148±9	139±9	138±9	81±5	105±7	119±8
	0.5	439±29*	532±35	545±35*	146±9	136±9	132±9	92±6	101±6	101±7*
	1.0	496±32**	552±36	593±38	142±9	134±9	133±8	97±6	95±6	100±6*
	2.0	479±23**	480±37*	524±37*	119±8*	121±8*	119±8*	81±6	81±5**	86±6**
	4.0	438±21*	439±37**	472±26**	112±7**	122±8*	116±7*	73±5	75±5**	77±5**
	5.0	446±22*	462±36*	514±31*	101±6**	118±7*	108±7**	76±4	77±5**	77±5**
中筋面粉 Medium-gluten flour	0	524±34	522±31	632±43	154±10	142±9	138±10	109±7	123±8	122±9
	0.5	469±30*	537±35	647±42	157±10	152±10	144±11	99±6	124±7	120±8
	1.0	479±31	609±37*	691±45	161±10	157±10	136±9	102±6	113±7	125±8
	2.0	458±30*	630±37**	670±43	170±11*	154±10	134±9	102±5	119±7	118±8
	4.0	422±30*	551±36*	628±39	152±9	123±9*	121±8*	88±5*	89±6**	96±7**
	5.0	461±30*	597±36*	683±42	131±8*	116±8*	117±8*	85±5**	93±6**	102±6*
高筋面粉 High-gluten flour	0	561±36	676±44	706±46	158±10	154±10	158±10	124±8	137±9	143±9
	0.5	642±41*	760±49*	791±51*	163±11	159±10	161±10	143±9*	153±10*	156±10*
	1.0	564±41	679±44	690±51	156±10	146±9	143±9	121±8	134±8	139±9
	2.0	483±31*	677±44	760±49	144±9	139±9	137±9*	98±6**	118±7*	137±9
	4.0	441±32**	573±44*	655±49	136±8*	134±8*	122±8**	83±6**	98±7**	106±8*
	5.0	521±34	704±47	778±54*	129±8*	126±8*	113±7**	93±6**	110±7*	115±7*
馒头专用粉 Chinese steamed bread flour	0	477±31	584±38	612±40	147±10	127±9	129±8	91±6	93±6	101±6
	0.5	460±30	596±38	616±40	135±9	117±8	116±8	83±5	92±6	91±6
	1.0	465±30	614±40	647±42	132±9*	116±8	106±8*	81±5*	92±6	92±6
	2.0	462±19	613±28	653±33	131±9*	106±7*	97±7**	70±4**	80±5*	82±5**
	4.0	461±30	612±41	656±43	112±7**	103±7*	90±6**	70±4**	74±5*	73±5**
	5.0	421±29*	606±40	633±41	107±7**	106±7*	90±5**	62±4**	79±4*	78±5**

注：与对照组相比，*0.05 水平差异显著，**0.01 水平差异显著。
Note: * significant at 0.05 level between the NC and the other groups, ** significant at 0.01 level between the NC and the other groups.

2.4 燕麦β-葡聚糖对面粉糊化特性的影响

如表 4 所示, 与未添加燕麦 β-葡聚糖的对照样相比, 添加燕麦 β-葡聚糖的低筋面粉 (4.0%~5.0%添加量试样除外)、高筋面粉 (2.0%~4.0%添加量试样除外) 及馒头专用粉的面团糊化温度均有所降低 ($P>0.05$), 而中筋面粉的面团糊化温度则稍有升高 ($P>0.05$); 4 种面粉 (2.0%~4.0%添加量的低筋面粉及 4.0%添加量的高筋面粉试样外) 的面团最高黏度、保持黏度、最终黏度、衰减值都因燕麦 β-葡聚糖的添加而降低; 中筋面粉、高筋面粉 (4.0%添加量试样除外) 及馒头专用粉的面团回生值因燕麦 β-葡聚糖的添加显著降低 ($P<0.01$), 但燕麦 β-葡聚糖对低筋面粉 (4.0%添加量试样除外) 的面团回生值没有显著影响 ($P>0.05$)。在面粉中添加大麦 β-葡聚糖能显著降低面粉的最高黏度及最终黏度、抑制薄饼老化^[16]。这提示, 在低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉和馒头专用粉中添加

适量的燕麦 β-葡聚糖, 不仅能弥补面粉中膳食纤维不足, 而且有利于抑制由此面粉加工生产的饼干、馒头、面包等面制品老化、延长其保质期。燕麦 β-葡聚糖改善面粉面团糊化特性的可能原因有: 一是燕麦 β-葡聚糖的添加稀释了混合粉中淀粉的含量, 二是 β-葡聚糖吸水形成凝胶而减少了淀粉糊化需要的水分, 三是淀粉颗粒被包裹在 β-葡聚糖链所形成的网络结构中而分子重新聚合老化受阻^[16]。

面粉的吸水率, 面团形成时间、稳定时间、弱化度最大拉伸阻力、延伸度、拉伸能量、最高黏度、保持黏度、最终黏度等流变学特性参数值是面粉品质好坏的重要指标, 为面粉的生产与加工提供参考依据, 综合面粉的适用性要求及表 4 中衰减值及回生值的变化趋势, 低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉及馒头专用粉中分别添加 1.0%~2.0%、2.0%~4.0%、5.0%、2.0%~4.0%的燕麦 β-葡聚糖, 具有改善它们各自流变学性质的作用。

表 4 燕麦β-葡聚糖的添加对混合粉糊化特性的影响
Table 4 Effects of oat β-glucan on pasting parameters of mixed flours

组别 Groups	β-葡聚糖添加量 β-glucan content /%	糊化温度 Pasting temperature/℃	最高黏度 Peak viscosity/(Pa·s)	保持黏度 Hold viscosity/(Pa·s)	最终黏度 Final viscosity/(Pa·s)	衰减值 Setback value/(Pa·s)	回生值 Retrogradation value/(Pa·s)
低筋面粉 Low-gluten flour	0	71.90	0.4896	0.3202	0.8889	0.1694	0.5687
	0.5	65.79	0.4432	0.3123	0.8724	0.1509*	0.5801
	1.0	70.06	0.4801	0.3351	0.8791	0.1450*	0.5040
	2.0	66.78	0.6238*	0.4123*	0.9736	0.2115**	0.5613
	4.0	72.94	0.6073*	0.3733*	1.1342*	0.2340**	0.7609**
	5.0	76.22	0.4870	0.3202	0.8377	0.1518*	0.5025
中筋面粉 Medium-gluten flour	0	70.06	0.8491	0.3731	1.9873	0.4760	1.6142
	0.5	71.90	0.2086**	0.1127**	0.4263**	0.0959**	0.3136**
	1.0	71.91	0.1686**	0.0930**	0.3381**	0.0756**	0.2451**
	2.0	74.38	0.1742**	0.1024**	0.3592**	0.0718**	0.2568**
	4.0	74.78	0.4046**	0.2041**	0.8039**	0.2005**	0.5998**
	5.0	72.30	0.2086**	0.1132**	0.4196**	0.0954**	0.3064**
高筋面粉 High-gluten flour	0	73.54	0.2764	0.1749	0.6041	0.1015	0.4292
	0.5	72.53	0.2114**	0.1127**	0.4242**	0.0987	0.3115**
	1.0	72.53	0.1676**	0.0933**	0.3372**	0.0743**	0.2439**
	2.0	74.58	0.1742**	0.1024**	0.3588**	0.0718**	0.2564**
	4.0	74.58	0.4069**	0.2041*	0.8021**	0.2028**	0.5980**
	5.0	72.94	0.2089**	0.1132**	0.4180**	0.0957	0.3048**
馒头专用粉 Chinese steamed bread flour	0	74.17	0.4879	0.2772	1.0322	0.2107	0.7550
	0.5	70.79	0.3694**	0.2290*	0.7924**	0.1404**	0.5634**
	1.0	73.27	0.3685**	0.2288*	0.7606**	0.1397**	0.5318**
	2.0	71.61	0.3910*	0.2466*	0.8298*	0.1444**	0.5832**
	4.0	74.16	0.3503**	0.2358*	0.7441**	0.1145**	0.5083**
	5.0	69.10	0.3290**	0.2253*	0.6893**	0.1037**	0.4640**

注: 与对照组相比, *0.05 水平差异显著, **0.01 水平差异显著。
Note: * significant at 0.05 level between the NC and the other groups, ** significant at 0.01 level. between the NC and the other groups.

3 结 论

1) 随着燕麦β-葡聚糖添加量的增大, 低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉及馒头专用粉的吸水率呈线性增大,

它们的面团形成时间、稳定时间、弱化度的改善程度因面粉种类的不同而有所差别。

2) 0.5%~2.0%添加量增强了 4 种面粉面团的最大拉伸阻力, 而 4.0%~5.0%添加量则降低了它们的延伸度和

拉伸能量。

3) 燕麦 β -葡聚糖的添加使中筋面粉的糊化温度稍有升高, 但降低了低筋面粉(4.0%~5.0%添加量试样除外)、高筋面粉(2.0%~4.0%添加量试样除外)及馒头专用粉的糊化温度及 4 种面粉(2.0%~4.0%添加量的低筋面粉及 4.0%添加量的高筋面粉除外)的最高黏度、保持黏度、最终黏度、衰减值和回生值。

4) 燕麦 β -葡聚糖对 4 种面粉流变学性质的改善作用与其添加量及面粉种类相关, 它特别适合改善低筋面粉的流变学性质, 能够使低筋面粉的吸水率, 面团形成时间、稳定时间、弱化度及延伸度接近或高于高筋面粉; 0.5%~1.0%添加量能使低筋面粉的拉伸特性接近馒头专用面粉的拉伸特性。综合结果表明, 低筋面粉、中筋面粉、高筋面粉及馒头专用粉中分别添加 1.0%~2.0%、2.0%~4.0%、5.0%、2.0%~4.0%的燕麦 β -葡聚糖, 具有改善它们各自流变学性质的作用。

[参 考 文 献]

- [1] Yokoyama W H, Hudson C A, Knuckles B E, et al. Effect of barley β -glucan in durum wheat pasta on human glycemic response [J]. *Cereal Chemistry*, 1997, 74(3): 293—296.
- [2] Cavallero A, Empilli S, Brighenti F, et al. High (1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 4)- β -glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemic response[J]. *Journal of Cereal Science*, 2002, 36(1): 59—66.
- [3] 刘艳玲, 田纪春, 韩祥铭, 等. 面团流变学特性分析方法比较及与烘烤品质的通径分析[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(1): 45—51.
Liu Yanling, Tian Jichun, Han Xiangming, et al. Comparison of different dough rheological measurement and the path coefficient analysis on bread quality[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(1): 45—51. (in Chinese with English abstract)
- [4] Skendi A, Papageorgiou M, Biliaderis C G. Influence of water and barley β -glucan addition on wheat dough viscoelasticity[J]. *Food Research International*, 2010, 43(1): 57—65.
- [5] Skendi A, Papageorgiou M, Biliaderis C G. Effect of barley β -glucan molecular size and level on wheat dough rheological properties [J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 91(4): 594—601.
- [6] Skendi A, Biliaderis C G, Papageorgiou M, et al. Effects of two barley β -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(3): 1159—1167.
- [7] Wood P J. Oat β -glucan-physicochemical properties and physiological effects[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 1991, 2(1): 311—314.
- [8] Wood P J. Oat and rye β -Glucan: properties and function[J]. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(4): 315—330.
- [9] 杨卫东, 吴晖, 赖富饶, 等. 燕麦 β -葡聚糖的物理特性和生理功能研究进展[J]. *现代食品科技*, 2008, 23(8): 90—93.
Yang Weidong, Wu Hui, Lai Furao, et al. Research on properties and physiological functions of oat β -glucan[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2008, 23(8): 90—93. (in Chinese with English abstract)
- [10] 申瑞玲, 董吉林, 程珊珊, 等. 麸皮面粉面团的粉质和拉伸特性[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(增刊 1): 237—240.
Shen Ruiling, Dong Jilin, Cheng Shanshan, et al. Farinograph and extensigraph of bran flour dough[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(Supp.1): 237—240. (in Chinese with English abstract)
- [11] Borzani W. Effect of β -glucan concentrate on the water uptake, rheological and textural properties of wheat flour dough[J]. *International Journal of Food Properties*, 2015, 8(8): 1801—1816.
- [12] Kim H J, White P J. Interactional effects of β -glucan, starch, and protein in heated oat slurries on viscosity and in vitro bile acid binding[J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2012, 60(24): 6217—6222.
- [13] Ahmed J, Thomas L. Effect of β -D-glucan concentrate and water addition on extensional rheology of wheat flour dough[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2015, 63(1): 633—639.
- [14] Lazaridou A, Duta D, Papageorgiou M, et al. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 79(3): 1033—1047.
- [15] 刘敦华, 谷文英, 丁霄霖. 沙蒿胶对面团流变性质的影响及在面包加工中的应用[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(增刊 1): 233—236.
Liu Dunhua, Gu Wenying, Ding Xiaolin. Effects of *Artemisia sphaerocephala* Krasch gum on the rheological properties of dough and its application to bread processing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(Supp.1): 233—236. (in Chinese with English abstract)
- [16] Sharma P, Gujral H S. Anti-staling effects of β -glucan and barley flour in wheat flour chapatti[J]. *Food Chemistry*, 2014, 145(1): 102—108.

Appropriate addition of oat β -glucan improving rheological properties of dough

Pan Lihua^{1,2}, Xu Tingting¹, Luo Shuizhong¹, He Yuankang¹, Luo Jianping¹

(1. School of Food Engineering and Biotechnology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California, Davis 95616, USA)

Abstract: Oat β -glucan, one of the non-starch polysaccharides, consists of long, linear chains of 30% $\beta(1\rightarrow3)$ and 70% $\beta(1\rightarrow4)$ linked D-glucopyranosyl residues and has been widely applications due to its outstanding functional and nutritional properties. One of its most important processing characteristics is the high water holding capacity and viscosity-forming potential which can be used as thickeners, emulsifiers and stabilizers to improve the texture and flavor in the food industry. In addition to the function as soluble dietary fibre, oat β -glucan has been associated with lots of other health benefits including better regulation of blood glucose and insulin levels, lowering of blood cholesterol levels and reducing the risk of heart disease. The potential use of β -glucans as texture improvers and fibre-enriching agents in bakery products to enhance consistency, resistance to deformation and elasticity of dough and to increase health benefits of products, has been reported by different authors. Chinese steamed bread flour and other 3 kinds of flours including low-gluten flour, medium-gluten flour and high-gluten flour dough that differ in the protein, are popularly used to make the staple food, for example, Chinese steamed bread, bread, dumpling and cookies, and have been recognized as the most efficient carriers for food special function strengthening of food to eliminate the deficiency of food functional factors and to meet the demand of customers. In this paper, the effects of 0.5%-5.0% of β -glucan from oat on the rheological properties, such as dough farinograph, tensile and pasting properties, of four different flour doughs formula, including low-gluten flour dough, medium-gluten flour dough, high-gluten flour dough and Chinese steamed bread flour dough, have been examined. The results showed that the farinograph water absorption rate of four doughs linearly increased with increasing contents of oat β -glucan. The addition of β -glucan to the dough formula increased the development time and the stability time and decrease their weakening degree. The addition of 0.5%-2.0% of oat β -glucan enhanced the maximum tensile resistance of four kinds of doughs, whereas 4.0%-5.0% of oat β -glucan reduced their maximum tensile resistance, extensibility and tensile energy. The addition of oat β -glucan decreased the peak viscosity, the hold viscosity, the final viscosity and the setback value of four kinds of doughs except the low-gluten flour dough formula with 2.0% or 4.0% of oat β -glucan addition and the high-gluten flour kinds of dough formula with 4.0% of oat β -glucan addition. The addition of oat β -glucan exhibited a significant decrease in the retrogradation value of all the dough formula. The addition of oat β -glucan to the dough formula increased the development time, the stability time, the weakening degree, the extensibility and the pasting temperature of the low-gluten flour dough, exceeding even that of the high-gluten flour dough. The reason that the change of rheological properties of dough fortified with oat β -glucan may be related to the high amount of water absorption and swelling of oat β -glucan subsequently forming of a net structure which increased the formation of hydrophobic interactions and disulfide bonds of gluten and surrounded the starch granules thus lowering the water the amount of water imbibed by the particles and preventing them from aging, which would help to extend the shelf life of flour products, such as bread, Chinese steamed bread, dumpling, and so on.

Key words: viscosity; tensile properties; correlation analysis; flour; β -glucan; rheological properties