

外源添加面筋蛋白对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响研究

刘俊飞, 汤晓智, 扈战强, 龚静怡, 李明明

(南京财经大学食品科学与工程学院, 江苏南京 210023)

摘要: 通过向小麦粉中添加面筋蛋白粉, 替代比分别为 0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%, 利用混合实验仪(Mixolab), 快速粘度仪(RVA)和动态流变仪, 研究添加不同比例面筋蛋白粉对小麦面团热机械学及动态流变学特性的影响。结果表明: 面筋蛋白的添加使得面团的吸水率显著地从 53.3% 增加到 67%, 形成时间从 1.41 min 增加到 9.31 min, 而稳定时间随着替代比的增大, 呈现先上升后显著下降的趋势, 替代比为 5% 时达到最大值 10.02 min。面筋蛋白的添加使小麦面团的峰值扭矩显著地从 2.06 Nm 降低到 1.37 Nm, 回生值从 1.68 Nm 降低到 1.06 Nm。动态流变学试验表明: 面筋蛋白的添加使得小麦面团的粘弹性特性发生明显变化, 随着面筋蛋白粉比例的增加, 储能模量(G')与损失模量(G'')呈先升高后降低的趋势; 损耗角正切值 $\tan\delta$ 则呈逐渐升高的趋势。只有在面筋蛋白粉比例为 5% 时的低频扫描范围内, $\tan\delta$ 小于对照, 此时混合体系中分子交联聚合程度升高, 面筋网络强度增加。

关键词: 面筋蛋白; 小麦面团; 热机械学; 动态流变学

文章编号: 1673-9078(2015)2-133-137

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.2.023

Effect of Added Exogenous Wheat Gluten on Thermomechanical and Dynamic Rheological Properties of Wheat Flour Dough

LIU Jun-fei, TANG Xiao-zhi, HU Zhan-qiang, GONG Jing-yi, LI Ming-ming

(College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China)

Abstract: The effects of different percentages of wheat gluten on the thermomechanical and dynamic rheological properties of wheat flour dough were studied by adding wheat gluten protein powder at substitution rates of 0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%, by using Mixolab, a rapid visco analyser (RVA), and a dynamic rheometer. The results showed that with the addition of wheat gluten, the water absorption and the dough development time significantly increased from 53.3% to 67% and from 1.41 min to 9.31 min, respectively. On the other hand, the stabilization time first increased and then significantly decreased with increasing substitution rate, with the maximum stabilization time being 10.02 min at a substitution rate of 5%. The addition of wheat gluten significantly lowered the peak torque and setback value of wheat flour dough from 2.06 Nm to 1.37 Nm and from 1.68 Nm to 1.06 Nm, respectively. The dynamic rheological test revealed that the addition of wheat gluten greatly affected the viscoelastic properties of wheat flour dough. Both storage modulus (G') and loss modulus (G'') first increased and then decreased, while $\tan\delta$ increased with the increase of wheat gluten percentage. The only exception was the dough with 5% wheat gluten protein powder, for which $\tan\delta$ was lower than that of the control when scanned in the low-frequency range. The results indicated that the extent of molecular interactions increased, thus improving the strength of the gluten network of the flour dough.

Key words: wheat gluten; wheat flour dough; thermomechanical properties; dynamic rheological properties

小麦是人类的主食之一, 研磨后所得的小麦粉因含有可以形成面筋网络结构的特殊成分而被广泛用来制作面包、面条、馒头、饼干等各类食品^[1], 小麦粉

收稿日期: 2014-07-07

基金项目: 江苏省高校自然科学研究重大项目 (12KJA550002); 江苏高校优秀科技创新团队 (苏教科【2013】10号)

作者简介: 刘俊飞 (1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 专业粮食、油脂及植物蛋白

通讯作者: 汤晓智 (1977-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 粮油食品深加工

品质的好坏直接影响面制品的质量。小麦粉中所含有蛋白质的种类和数量是影响其品质的最主要因素, 尤其是面筋蛋白, 它是影响面团流变学和烘焙特性的关键因素, 其中麦谷蛋白 (Glu) 决定小麦面团的弹性(即抗延伸性), 而麦醇溶蛋白 (Gli) 影响面团的延展性^[2]。面团流变学特性属于面团的物理特性, 它与加工过程中面团的滚揉、发酵以及机械加工直接相关, 能够很好反映面粉的食品加工品质^[3]。不同的面制品 (如面条、馒头、饼干、面包等) 对面团流变学特性要求也

不同,但通常原料小麦生产出的面粉本身所含面筋蛋白的质与量并不能完全满足面制品的生产要求。

小麦面筋蛋白粉(又称谷朊粉)是从小麦中提取的小麦加工副产品,蛋白质含量高,且氨基酸组成比较齐全,是一种营养丰富且易于获取的植物性蛋白来源。谷朊粉吸水后形成具有网络结构的湿面筋,具有良好的粘弹性、延伸性、热凝固性以及乳化性,可以显著的影响原料小麦粉的品质特性,使之更适应不同面食产品的开发与生产,是一种绿色健康的面粉改良剂^[4]。田娟丽等认为谷朊粉的添加使基础面粉的面团耐揉性和稳定性增加,弹性增大,筋力增强^[10]。因此,本文主要研究外源添加面筋蛋白对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响,旨在为外源添加面筋蛋白改良面粉的品质特性提供应用依据。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

小麦粉(蛋白质含量为8.32%),肇庆福加德面粉有限公司;面筋蛋白粉(蛋白质含量为64.6%),河南省卫辉市圣力有限责任公司;其他试剂为分析纯及以上。

1.2 主要仪器设备

快速黏度仪RVA,澳大利亚Newport Scientific仪器公司;Mixolab混合实验仪,法国肖邦(Chopin)仪器公司;Anton Paar MCR 302动态流变仪,奥地利安东帕有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 小麦粉-面筋蛋白混合粉的制配

分别按一定比例(0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%),以小麦粉-面筋蛋白混合粉质量计)将面筋蛋白添加至小麦粉中,混合均匀,将小麦粉作为对照组。

1.3.2 糊化粘度的测定

依据AACC 76-21方法,利用快速粘度仪(RVA)测定混合粉的糊化粘度,并用TCW(Thermal cline for windows)的配套软件对数据进行记录与分析。RVA所用的条件为50℃下保持1min;以12℃/min的速度上升到95℃;95℃下保持2.5min;以12℃/min下降到50℃(3.7min);50℃下保持1.5min。测定过程中搅拌器以960r/min保持10s,其余时间转速保持在160r/min。测得小麦粉-面筋蛋白混合粉的峰值粘度(Peak Viscosity)、最低黏度(Holding Viscosity)、

最终黏度(Final Viscosity)、回生值(Setback)和峰值时间(Peak Time)。

1.3.3 小麦面团热机械学特性的分析

采用Mixolab来分析添加不同比例面筋蛋白对小麦面团热机械学特性的影响。Mixolab可实时测定搅拌臂在搅拌样品时受到的扭矩(C),因而可测定其物理化学特性的变化。同时该设备可用来分析加热冷却过程中蛋白质网络及淀粉的性质^[5]。检测时,加入Mixolab的混合粉与水的总质量为75g。将混合粉放入搅拌钵中进行搅拌。然后仪器自动识别按照达到最佳稠度最大扭矩(C₁)为1.1Nm的要求加入适量的水。混合实验仪在运行中的变温过程为:(1)恒温阶段:30℃恒温8min;(2)升温阶段:4℃/min上升到90℃并保持恒温7min;(3)降温阶段:4℃/min下降到50℃并保持5min。搅拌速度始终为80r/min。每个样品重复两次操作。

图1为典型的Mixolab图谱,由试验曲线可得到以下参数^[6]:吸水率(%),面团形成时间,稳定时间,最小扭矩(C₂),蛋白质弱化度即C₁-C₂差值,峰值扭矩(C₃),淀粉热糊化热胶稳定性即C₃-C₄差值,回生值为冷却到55℃的扭矩C₅与C₄的差值。

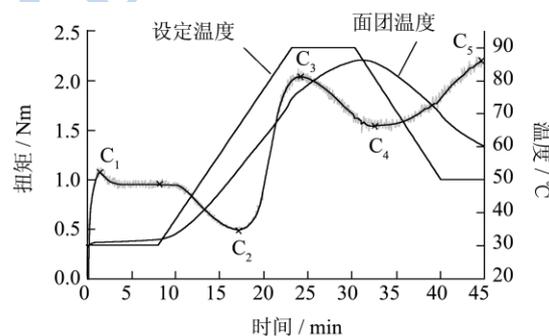


图1 典型的Mixolab图谱

Fig.1 Typical curve obtained from Mixolab

1.3.4 小麦面团的动态流变学特性分析

面团的动态流变学特性利用动态流变仪进行测定,参照Moreira^[7]等人所采用的方法,并做了适当的调整。利用Mixolab混合实验仪实验达到C₁时的面团,用保鲜膜包裹好,室温松弛15min,然后切取一小块面团放于流变仪(Anton Paar MCR 302)平台上,降下平板,切去多余的面团,用矿物质油密封防止水分蒸发,并在平台上平衡5min,使残余的应力松弛。以动态测量模式(oscillatory mode)下的应力扫描(stress sweep)程序确定面团的线性粘弹区。测量参数为:50mm圆形平板检测探头,1mm平行板间距,温度30℃,频率为1.0Hz。确定线性粘弹区后,再用频率扫描(frequency sweep)程序研究面筋蛋白对

小麦面团动态流变学特性储能模量(G')、损失模量(G'')和损耗角正切值($\tan\delta=G''/G'$)的影响, 频率变化范围为 1~100 rad/s (0.1~10 Hz)。

1.4 数据收集和统计

试验中测定所得的数据使用 OriginLab 软件绘图, 使用 SAS V8 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 面筋蛋白对小麦粉热机械学特性的影响

表 1 面筋蛋白对小麦面团蛋白组分热机械学特性的影响

Table 1 Effect of wheat gluten on thermomechanical properties of proteins in wheat flour dough

样品	吸水率	面团形成时间/min	蛋白质弱化度 C_1-C_2 /Nm	稳定时间 /min	最小扭矩 (C_2) /Nm	达到 C_2 的温度 $T_2/^\circ\text{C}$
0%	53.3%	1.41±0.06 ^d	0.60±0 ^a	9.68±0.13 ^b	0.50±0 ^d	54.90±0.81 ^e
5%	54.4%	5.92±0.26 ^c	0.58±0.01 ^{cd}	10.02±0.09 ^a	0.52±0.01 ^{ab}	55.30±0.42 ^e
10%	56.9%	7.52±0.31 ^b	0.59±0 ^{ab}	10.01±0.32 ^a	0.51±0 ^{cd}	55.70±0.28 ^e
15%	60.1%	7.87±0.21 ^b	0.59±0 ^{ab}	9.59±0.04 ^b	0.51±0 ^{cd}	57.10±0.35 ^b
20%	61.7%	8.66±0.45 ^a	0.59±0.01 ^{bc}	9.39±0.27 ^b	0.51±0.01 ^{bc}	57.20±0.5 ^b
25%	65.1%	9.37±0.12 ^a	0.59±0.01 ^{ab}	9.64±0.20 ^b	0.51±0.01 ^{cd}	57.60±0.75 ^b
30%	67%	9.31±0.99 ^a	0.57±0.01 ^d	9.67±0.05 ^b	0.53±0.01 ^a	58.70±0.66 ^a

注: 带有不同字母的数值存在显著的差异 ($p<0.05$)。

表 2 面筋蛋白对小麦面团淀粉热机械学特性的影响

Table 2 Effect of wheat gluten on thermomechanical properties of starch in wheat flour dough

样品	峰值扭矩/Nm	最大黏度指数 C_3-C_2 /Nm	淀粉热糊化热胶稳定性 C_3-C_4 /Nm	回生值 C_5-C_4 /Nm
0%	2.06±0.05 ^a	1.56±0.05 ^a	-0.18±0.06 ^e	1.68±0.03 ^a
5%	2.05±0.01 ^a	1.53±0.01 ^a	0.14±0.05 ^d	1.61±0.11 ^{ab}
10%	1.80±0.01 ^b	1.29±0 ^b	0.30±0.02 ^b	1.60±0.01 ^{ab}
15%	1.65±0.01 ^c	1.14±0.01 ^c	0.35±0.02 ^a	1.55±0.03 ^b
20%	1.55±0.01 ^d	1.04±0.01 ^d	0.36±0.01 ^a	1.54±0.09 ^b
25%	1.46±0.02 ^e	0.95±0.01 ^e	0.22±0.01 ^c	1.11±0.11 ^c
30%	1.37±0.01 ^f	0.84±0.01 ^f	0.27±0 ^{bc}	1.06±0.04 ^c

注: 带有不同字母的数值存在显著的差异 ($p<0.05$)。

面筋蛋白的添加对小麦面团的形成时间和稳定时间同样有很大的影响。随着面筋蛋白比例的增大, 小麦面团形成时间显著地从 1.41 min 增加到 9.31 min。通常情况下, 面粉筋力越强, 面团的形成时间越长。外源添加面筋蛋白可增加面团的稳定时间, 但当添加比例达到 10% 时, 稳定时间却呈现降低的趋势。这可能是因为当面筋蛋白添加量过高时, 吸水后, 易水化形成小面筋球^[9], 不仅不能增强面团的结构, 还会阻

Mixolab 可以测定在机械剪切应力和温度双重作用下下面筋蛋白的添加对面团中蛋白质和淀粉特性的主要影响。 C_1 、 C_2 主要表示面团中蛋白组分热机械学特性 (表 1), C_3 、 C_4 、 C_5 主要表示面团中淀粉组分热机械学特性 (表 2)。

由表 1 可知, 外源面筋蛋白的添加对面团的吸水率产生明显影响。随着面筋蛋白粉比例的不断增大, 面团的吸水率不断增加, 从 53.3% 增加到 67%。这可能是因为面筋蛋白存在许多非极性氨基酸, 并形成了疏水相互作用, 使得面筋蛋白吸水能力增强, 导致了吸水率的显著上升^[8]。

碍面团中其他面筋形成网络状结构, 从而影响面团的稳定时间。可见使用外源添加面筋蛋白粉改良面粉品质, 并不是添加量越多越好。此外还可观察到, 随着面筋蛋白比例的增大, 面团的最小扭矩 C_2 值有所增加, 且蛋白质弱化度相应的有所降低。田娟丽等^[10]认为随着谷朊粉添加量的增多, C_2 值升高, 相应的 (C_1-C_2) 值减小, 表明面团中面筋网络强度增加, 与本实验结果一致。同时发现随着面筋蛋白比例的增大, 淀粉的糊化起始温度 (T_2) 逐渐升高, Eliasson 等^[11]研究发现提高面筋蛋白含量会降低淀粉糊的焓变 (ΔH) 而升高淀粉糊的峰值温度^[12], 认为可能是由于水分从淀粉中转移到蛋白质中降低了淀粉糊化度引起的。

表 2 指出面筋蛋白对小麦面团淀粉热机械学特性的影响。随着面筋蛋白的比例增大, 峰值扭矩 C_3 显著地从 2.06 Nm 降低到 1.37 Nm, 最大黏度指数 C_3-C_2 显著地从 1.56 Nm 降低到 0.84 Nm, C_3 和 C_3-C_2 值主要反映了淀粉的糊化特性。加热过程中, 淀粉发生糊化从而使得黏度升高, 然而随着面筋蛋白比例增大, 黏度却呈现下降的趋势, 主要是因为随着面筋蛋白比例增加, 淀粉在体系中所占比例显著下降, 并且更多淀粉颗粒镶嵌在面筋蛋白网络中, 有的甚至包埋在面

筋蛋白网络里,从而使裸露在面筋网络体系之外的淀粉粒比例下降,导致糊化黏度明显降低^[13]。此外,加热过程中面筋蛋白可能会与小麦面粉中的淀粉竞争水分,从而使淀粉的糊化度下降^[11]。 C_3 - C_4 值反映糊化淀粉的热胶稳定性,由表 2 可以看出,不添加面筋蛋白时面团 C_4 值高于 C_3 值,而面筋蛋白的添加使得糊化淀粉的稳定性变差,耐热性变弱。 C_5 - C_4 反映了淀粉的回生值。在关于淀粉的研究中,回生值通常用来说明直链淀粉的重结晶性。淀粉糊化后,伴随着温度的下降,无序的直链淀粉分子间通过氢键形成双螺旋重新交联形成三维网络结构。但由表 4 可知,随着面筋蛋白比例的增大,回生值显著地从 1.68 Nm 降低到 1.06 Nm。其原因可能是面筋蛋白与直链淀粉和支链淀粉结合在一起,在淀粉糊化后会在团粒结构外形成一层紧密的蛋白质网络,抑制水分的移动,从而影响了直链淀粉的老化速度^[14]。

2.2 面筋蛋白对淀粉糊化特性的影响

快速粘度仪 (RVA) 同样可以反映出混合粉中淀粉糊化的黏度特性,然而不同的是 Mixolab 是分析面团中淀粉的糊化特性,加水量较少,而 RVA 则是针对混合粉的悬浮物测量,加水量较多。如图 2 所示,随着面筋蛋白含量的增加,RVA 曲线的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回生值都有明显的降低。并且峰值时间也随着面筋蛋白的添加而轻微向左偏移,其主要原因是加入面筋蛋白后,混合粉中淀粉含量明显减少,蛋白质含量增加,导致糊化黏度明显降低,达到峰值黏度时间缩短。RVA 测试中,加水较多,未出现 Mixolab 中类似 C_4 大于 C_3 值的情况。

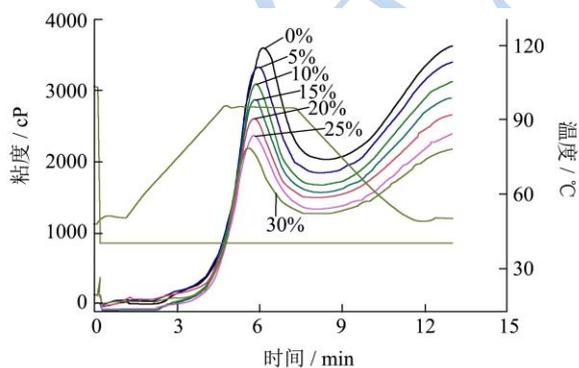


图 2 面筋蛋白对淀粉糊化特性的影响

Fig.2 Effect of wheat gluten on starch pasting properties

2.3 面筋蛋白对小麦面团动态流变学特性的影响

储能模量 (G') 又称为弹性模量,是指储存在物

质中的或经过一个震动周期的正弦形变后所恢复的能量,代表的是物质的弹性本质;损耗模量 (G'') 又称为粘性模量,是指每个周期的正弦形变所消耗或损失的能量,代表的是物质的粘性本质。当材料性质类似固体,即其线性范围内的变形是可压缩和恢复的,那么弹性模量 (G') 会大于粘性模量 (G'') 且 $\tan\delta < 1$ 。相对的,当材料性质类似流体或粘性系统,则粘性模量 (G'') 会大于弹性模量 (G') 且 $\tan\delta > 1$ 。图 3 为面筋蛋白与小麦粉混合体系储能模量 (G')、损耗模量 (G'') 及损耗角正切值 ($\tan\delta = G'' / G'$) 随角频率变化关系图。

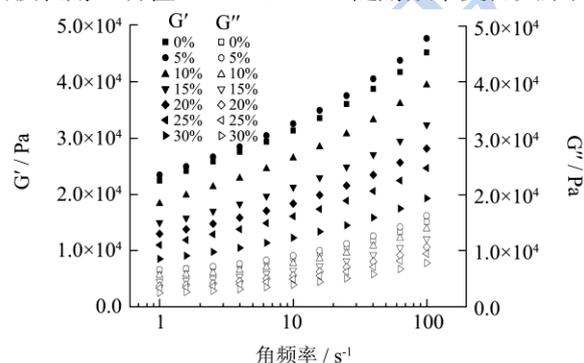


图 3 面筋蛋白与小麦面团动态流变学特性 G' 和 G'' 的影响

Fig.3 Effect of wheat gluten on rheological properties, G' and G'' , of wheat flour dough

由图 3 可见,研究的所有样品中,弹性模量均大于粘性模量,即 $G' > G''$ 。损耗角正切值 $\tan\delta < 1$, G' 与 G'' 随着频率增加而上升,表现出一种典型的弱凝胶动态流变学图谱^[15]。随着面筋蛋白比例的增大,小麦面团的粘弹性特性发生了明显变化, G' 与 G'' 均呈现先略微升高后明显降低的趋势。这可能是由于面筋蛋白的少量加入 (5%) 使得面团中面筋蛋白含量增加,面团的面筋网络结构增强,粘弹性升高。当继续添加面筋蛋白,面团的吸水率大大提高,而弹性模量 (G') 与粘性模量 (G'') 均降低,可能是因为面筋蛋白添加量过高,吸水后水化成小面筋球,反而阻碍了面筋蛋白的正常交联反应,从而使得面团粘弹性降低^[16]。

损耗角正切 $\tan\delta = G'' / G'$,表示所测物体中粘性和弹性的比例。若 $\tan\delta$ 越小,表明体系的弹性比例较大,流动性较差,体系组分中高聚物数量越多或聚合度越大;反之则粘性比例大,流动性强,聚合度较低的分子占的比例高。从图 4 可以看出,随着面筋蛋白比例的增大, $\tan\delta$ 呈现逐渐升高的趋势,表明了混合体系中分子交联聚合程度是降低的,粘性比例增加。只有在面筋蛋白比例为 5% 时的低频扫描范围内, $\tan\delta$ 小于对照,此时混合体系中分子交联聚合程度是升高的,面筋网络强度增加。同时从图 4 中可以看出,样品的

损耗角正切值随着频率的升高均呈现先降低后升高的趋势,即在较低频率扫描范围内 ($<2.51 \text{ rad/s}^{-1}$) 所有样品随着频率增加 $\tan\delta$ 降低,但在较高频率扫描范围内 ($>3.98 \text{ rad/s}^{-1}$) 相对于对照,混合样品(添加外源面筋蛋白粉)随着频率增加粘性比例急剧升高,表明了高频率下混合面团体系的不稳定性。

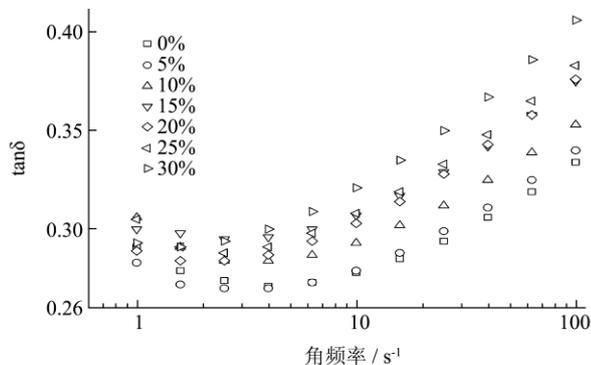


图4 面筋蛋白与小麦面团动态流变学特性损耗角正切值 $\tan\delta$ 的影响

Fig.4 Effect of wheat gluten on rheological properties, $\tan\delta$, of wheat flour dough

3 结论

3.1 面筋蛋白的添加使小麦面团的吸水率增加,面团的形成时间显著增加,稳定时间随着替代比的增大,呈现先上升后显著下降的趋势,替代比为5%时达到最大值 10.02 min。随着面筋蛋白添加量的增加,小麦面团的峰值粘度和回生值均显著降低,糊化淀粉的热稳定性降低。

3.2 添加面筋蛋白使得小麦面团的 G' 和 G'' 均呈现先升高后降低的趋势,损耗角正切值 $\tan\delta$ 则呈逐渐升高的趋势,只有在面筋蛋白比例为5%时的低频扫描范围内, $\tan\delta$ 小于对照,此时混合体系中分子交联聚合程度升高,面筋网络强度增加。

3.3 可见使用外源添加面筋蛋白粉改良面粉品质,并不是添加量越多越好,且相对于对照,混合体系的稳定性可能有所减弱。

参考文献

[1] Peñá E, Bernardo A, Soler C, et al. Relationship between common wheat (*Triticum aestivum* L.) gluten proteins and dough rheological properties [J]. *Euphytica*, 2005, 143(1-2): 169-177

[2] 司学芝,周长智,王金水.麦谷蛋白和醇溶蛋白对小麦粉面团流变学特性影响的研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2006,27(5):22-25

SI Xue-zhi, ZHOU Chang-zhi, WANG Jin-shui. Study on the

effect of glutenin and gliadin on rheological properties of wheat dough [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2006, 27(5): 22-25

- [3] 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,2010,01:38-42
- LI Jin, ZHANG Guo-quan. Effect of buckwheat peptides on dough rheological properties [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2010, 01: 38-42
- [4] 贾光锋,范丽霞,王金水.小麦面筋蛋白结构、功能性及应用[J].西部粮油科技,2004,29(2):11-13,22
- JIA Guang-feng, FAN Li-xia, WANG Jin-shui. The structure, functional properties and using of wheat gluten protein [J]. *China Western Cereals & Oils Technology*, 2004, 29(2): 11-13, 22
- [5] 王凤,黄卫宁,刘若诗等.采用Mixolab和Rheometer研究含外源蛋白燕麦面团的热机械学和动态流变学特性[J].食品科学,2009,30(13):147-152
- WANG Feng, HUANG Wei-ning, LIU Ruo-shi, et al. Assessment of effects of exogenous protein on the themanical and dynamic rheological properties of oat dough using mixolab and rheometer [J]. *Food Science*, 2009, 30(13): 147-152
- [6] Hadnadev T D, Torbica A, Hadnadev M. Rheological properties of wheat flour substitutes/ alternative crops assessed by Mixolab [J]. *Procedia Food Science*, 2011, 1: 328-334
- [7] Marcoa C, Rosell CM. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties [J]. *Journal of Food Engineering*, 2008, 84(1): 132-139
- [8] 王亚平,安艳霞.小麦面筋蛋白组成、结构和功能特性[J].粮食与油脂,2011,(1):1-4
- WANG Ya-ping, AN Yan-xia. The composition, structure and functional properties of wheat gluten protein [J]. *Cereals Oils*, 2011, (1): 1-4
- [9] 孔祥珍,周惠明.小麦面筋蛋白特性及其应用[J].粮食与油脂,2004,(11):14-15
- KONG Xiang-zhen, ZHOU Hui-ming. The properties and application of wheat and protein [J]. *Cereals Oils*, 2004, (11): 14-15
- [10] 田娟丽.小麦加工谷朊粉的适用性评价[D].郑州:河南工业大学,2012
- TIAN Juan-li. Evaluation of wheat quality for production of vita wheat gluten [D]. Zheng Zhou: Henan University of Technology, 2012
- [11] Eliasson A C. Differential scanning calorimetry studies on wheat starch-gluten mixtures: I. Effect of gluten on the

- gelatinization of wheat starch [J]. *Journal of Cereal Science*, 1983, 1(3): 199-205
- [12] Olkku J, Rha C K. Gelatinization of starch and wheat flour starch-a review [J]. *Food Chemistry*, 1978, 3(4): 293-317
- [13] Derycke V, Veraverbeke W S, Vandeputte G E, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled rice [J]. *Cereal chemistry*, 2005, 82(4): 468-474
- [14] 牛猛,王莉,杨冰,等.大米淀粉老化特性的研究进展[J].*中国粮油学报*,2011,26(11):124-128
NIU Meng, WANG Li, YANG Bing, et al. Advance in research of retrogradation of rice starch [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2011, 26(11): 124-128
- [15] Ptaszek A, Berski W, Ptaszek P, et al. Viscoelastic properties of waxy maize starch and selected non-starch hydrocolloids gels [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 76(4): 567-577
- [16] Ammar A S, Salem S A, Badr F H. Rheological properties of wheat flour dough as affected by addition of whey and soy proteins [J]. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2011, 10(4): 302-306