

3 种功能性蛋白对淀粉-面筋重组面团流变学特性及馒头品质的影响

黎芳^{1,3} 滕文韶^{1,4} 刘野^{1,2} 丁克芳⁵ 罗之纲⁵ 李秀婷^{2,4} 朱运平^{1,2*}

¹北京食品营养与人类健康高精尖创新中心(北京工商大学) 北京 100048

²北京市食品添加剂工程技术研究中心(北京工商大学) 北京 100048

³食品质量与安全北京实验室(北京工商大学) 北京 100048

⁴北京工商大学食品与健康学院 北京 100048

⁵康师傅控股有限公司 天津 201103

摘要 大豆蛋白、乳清蛋白和酪蛋白是营养丰富的蛋白质来源。本研究考察 3 种外添蛋白介入对重组面团特性及馒头品质的影响。结果表明,在热机械学特性方面,大豆蛋白使面团的吸水率增大,乳清蛋白使吸水率显著下降,酪蛋白对吸水率没有显著影响。添加 3 种蛋白质都可显著提高面团稳定时间,其中酪蛋白影响最大,乳清蛋白影响最小。乳清蛋白和酪蛋白对面团中的淀粉糊化相关参数影响较小,大豆蛋白对峰值扭矩 C3 和回值产生显著的影响。3 种外添蛋白质介入对重组面团动态流变学参数有一定的影响,其中大豆蛋白对面团体系弹性模量及黏性模量影响最大,酪蛋白其次,乳清蛋白影响较小。在馒头品质方面,3 种蛋白对馒头弹性参数有积极影响;10%乳清蛋白替换量对馒头风味有积极影响;10%酪蛋白替换量馒头感官评价和空白对照组接近。本研究结果为探究外添蛋白与面团关键组分的作用规律奠定基础。

关键词 大豆蛋白; 乳清蛋白; 酪蛋白; 流变学特性; 馒头; 质构

文章编号 1009-7848(2020)03-0103-09 **doi**: 10.16429/j.1009-7848.2020.03.014

中华传统面食作为我国北方广大地域的传统主食,已形成具有明显地域特色和强大生命力的食文化。随着人们近年对食品营养健康关注度的不断升温,外添营养物质已逐渐成为提升面食营养功能的重要方式。如面团体系中添加菊粉^[1]、麸皮^[2-3]等膳食纤维,添加马铃薯淀粉^[4]、玉米淀粉^[5]等淀粉类成分以及大豆蛋白、乳清蛋白等蛋白类营养物质^[6]。这些外添营养物质的增加必然引起面团形成及发酵过程,进而影响面主食的品质。如何调控面团形成及面团发酵过程中体系中物质间相互作用,进而控制主食质构、老化及风味等品质,成为优质主食品开发的关键问题之一。

面团体系为复杂的多组分体系。为了探索外添营养物质与面团关键组分的作用规律,本研究创新性地以小麦淀粉和面筋蛋白两种主要成分作为面团的骨架成分,按照合适的比例形成重组面团,选择大豆蛋白、乳清蛋白、酪蛋白 3 种各具自营养特点的蛋白类营养物质部分替换面筋蛋白,考察 3 种外添蛋白质介入后重组面团的流变学特性、热机械特性以及所形成馒头的品质特征。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

小麦淀粉、大豆分离蛋白、乳清蛋白、干酪素、面筋蛋白,购买于上海源叶生物科技有限公司;高活性干酵母,安琪酵母有限公司;蔗糖,天津市泰鑫和食品有限公司。

1.2 仪器与设备

质构仪 TMS-Pro, 美国 FTC 公司;MIXOLAB 混合实验仪,法国肖邦公司;和面机 JHMZ 200,北京东孚久恒仪器技术有限公司;醒发箱 CF-3500,

收稿日期: 2019-03-02

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31571872);人才培养质量建设—一流专业建设—食品科学与工程(PXM2019_014213_000010)

作者简介: 黎芳(1993—),女,硕士

通讯作者: 朱运平 E-mail: zhuyp@th.btbu.edu.cn

深圳市爱尔嘉小家电科技有限公司。

1.3 重构面粉的制备

小麦淀粉和面筋蛋白按 6:1 的比例混合,以此为基准,分别用大豆蛋白、酪蛋白、乳清蛋白以 0%、10%、20%、30%、40% 和 50% 的比例替换面筋蛋白,制成 17 种重构面粉。以不替换蛋白的基准面粉为空白对照。

1.4 动态流变学特性分析

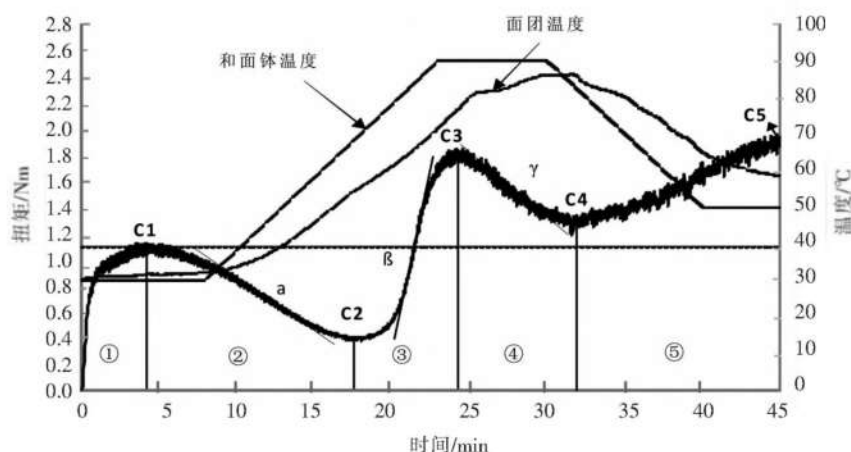
采用动态流变仪在振荡模式下的频率扫描试验研究替换面筋蛋白后的重构面团的流变学特性的影响。测定过程如下:将 17 种重构面粉混合均匀,然后加水搅拌(50%加水量,搅拌 3 min)。取出面团,用塑料膜密封,在室温下放置 15 min,进行动态流变仪测定,平板直径为 40 mm,夹缝距离 2 mm。将面团放在两块平板之间静置 30 min,以使残留的压力松弛,多余部分刮掉,然后立刻涂上二甲硅油以防止水分蒸发。频率扫描条件:应变:0.5%(根据振幅测定采用 0.5% 的应变以确保在线性粘弹性范围内);温度:25℃;频率:0.1~10 Hz。

1.5 热机械特性分析

用 MIXOLAB 混合实验仪能够测量出面团在常温搅拌和加热搅拌下的流变学特性,不仅能够测量不同蛋白对面团稳定性和网络结构的影响,还能测量出不同蛋白对淀粉糊化和回生的影响^[7]。

检测时,分别将 17 种重构面粉放入搅拌钵中进行搅拌,其中乳清蛋白在测量 40% 替换比下的流变数据时,回升值过大,可能会对仪器造成伤害,所以没有测量其 50% 替换比的数据。本试验使用 Chopin+标准协议,被测定的面团质量为 75 g,面团的稠度以 1.1 Nm 为标准,即面团的最大扭矩(峰值)达到 1.1 Nm (± 0.05 Nm)。其中,标准试验的温度控制分为以下 3 个过程:(1) 恒温过程:30℃ 恒温 8 min;(2) 升温过程:以 4℃/min 的速度升温到 90℃,并在 90℃ 保持 7 min;(3) 降温过程:以 4℃/min 的速度降温到 50℃,并在 50℃ 保持 5 min,整个测定过程共 45 min^[8]。以上试验重复操作两次。

试验标准曲线如下所示。由试验曲线可得到以下参数:吸水率(%)即使面团产生(1.1 Nm $\pm$ 0.05 Nm)扭矩所需的加水量;面团稳定时间即面团所产生的扭矩保持在 1.1 Nm 的时间;C2 用于测定在机械力和加热过程中,蛋白质弱化特性;C1-C2 表示蛋白弱化特性,其值越大,说明蛋白质弱化程度越大;峰值扭矩(C3)即面团在加热阶段产生的最大扭矩,用于反映淀粉糊化特性;蒸煮稳定性用 C4/C3 表示;回生值 C5-C4 表示淀粉回生特性,其值越大,表示淀粉越容易回生^[9]。



注:①混合;②面筋强度;③热黏度;④淀粉酶;⑤回生。

图 1 典型的流变分析仪图谱

Fig.1 Typical thermomechanical curve from Mixolab

1.6 外添蛋白对馒头品质的影响

1.6.1 馒头蒸制方法 基本配方(% ,w/w):面粉

100 g,干酵母 1 g,蔗糖 1 g,按混合实验仪计算出的吸水率添加水量。

工艺流程:用 36 ℃温水活化干酵母 3 min,先将混合粉加入搅面机中,然后将酵母溶液、剩余水加入搅面机,和面 3 min 后,将和好的重构面团盖一层湿布常温下放置 10 min。然后手揉面团 10 min,将揉好的面团分成 100 g 的小面团,搓制成圆柱状馒头坯,用容器固定形状,在 36 ℃、相对湿度 75%的条件下醒发 35 min,醒发完成后将馒头坯蒸制 25 min。蒸好的馒头在室温冷却 1 h 后,分别测定各指标。

1.6.2 馒头品质评定 质构测定:用参考文献^[10],

将室温下冷却 1.5 h 的馒头切成 2 cm 厚,长 3 cm,宽 3 cm 的块状样品,测定馒头的质构。使用的探头为 P/35R 型;馒头的 TPA 测试的操作模式:压力测定;操作类型:TPA;测试前速率:120 mm/s;测试速率:60 mm/s;测试后速率:120 mm/s;压缩率:50.0%;两次压缩之间的时间间隔:1.0 s。从 TPA 试验曲线上可得到硬度、咀嚼性、内聚性等参数值。

馒头感官评价标准如表 1,参照孙腴等^[11]的研究方法,稍作改进。

表 1 感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria

项目	总分(75)	感官评价/分
外观	15	表皮光滑,形态完整,对称挺立: 12.1~15 分;中等: 9.1~12 分;粗糙,有硬块,不对称: 1~9 分
色泽	10	乳白、白、奶白: 8.1~10 分;中等: 6.1~8 分;发灰发暗发黄: 1~6 分
内部结构	15	纵剖面气孔小而均匀且有蜂窝状结构: 12.1~15 分;中等: 9.1~12 分
弹性	20	用手指按复原性好有咬劲: 16.1~20 分;中等: 12.1~16 分;复原性、咬劲差: 1~12 分
粘牙	15	咀嚼爽口不粘牙: 12.1~15 分;中等: 9.1~12 分;咀嚼不爽口、发粘: 1~9 分

1.7 数据收集和统计

试验中测定所得的数据统计使用 EXCEL2013 和 SPSS 软件进行分析。制图软件为 Origin8.0。

2 结果与分析

2.1 热机械特性

由表 2 可知,3 种外添蛋白会对重构面团的吸水率的影响有显著差异。含大豆蛋白的重构面团吸水率增大,且随着添加量的增大而增加,当分别添加 50%大豆蛋白时,可使吸水率达到 68.6%,相比于空白提高了 5%,乳清蛋白则相反,吸水率随着添加量的增大而减小,当添加量为 50%时,吸水率下降了 8.4%。但是酪蛋白对重构面团的吸水率没有显著影响。这些差异可归因于蛋白的来源和特性不同。大豆蛋白具有良好的持水性,故会使得吸水率增加^[12]。另外,3 种外添蛋白都会对重构面团稳定性产生怎样的影响。将面筋蛋白用外源蛋白进行替换,随着添加量的增加,重构面团的稳定时间增加,其中酪蛋白对面团的稳定时间影响最明显。酪蛋白易形成胶团状的网络结构,在维持

稳定性方面,k-酪蛋白发挥着尤为重要的作用^[13]。k-酪蛋白为两性分子,外侧具有亲水性质,这使得酪蛋白与乳清蛋白一样对面团在温度和搅拌下的网络结构强度产生良性影响。

此外,还可以观察到面团的弱化度(C2 值和 C2-C1 值)。用大豆蛋白替换面筋蛋白到 20%比例时,C2 值下降的最大、C2-C1 弱化值最大。一方面,在 20%替换量的比例下,大豆蛋白会破坏面筋蛋白中的谷蛋白大聚体的结构,对面团产生不良影响^[14]。这会导致面团稳定时间增加不大,面筋网络不稳定。另一方面,大豆蛋白又能够与淀粉或面筋蛋白形成一种稳定结构。当替换比继续增大,后者发挥稍强的作用,使面团稳定时间增加,也使其弱化值不再显著增大。另外,大豆蛋白热不稳定性较高^[15],稍高的温度就会使大豆蛋白结构改变。因此,弱化值整体升高而稳定时间增加,说明大豆蛋白虽然能使面团形成质量更好的面筋结构,但这种稳定结构容易被温度或机械力的作用破坏。相对于大豆蛋白,乳清蛋白和酪蛋白却表现出相反的影响,随着替换比例的增加,C2 值逐渐增加,并且弱化值也随之减少,说明该面团在机械力和热

作用下,其网络结构比对照样品更加稳固。正如王岩东等^[16]研究添加1%~5%富含大豆乳清蛋白的小麦粉面团的稳定时间延长,弱化度降低,因此有助于提高面团中面筋的质量。

目前,关于添加各种添加剂如亲水胶体、酶制剂等可改变淀粉糊化特性的研究报道已有很多^[17-19],但蛋白质对此特性的影响,尤其是部分替换面筋蛋白的研究几乎没有。本试验通过 Mixolab 对重构面团中淀粉成分的理化特性包括峰值扭矩 C3、蒸煮稳定性 C4/C3、回生值 C5-C4 等进行分析,可观察到添加不同外源蛋白对重构面团这一特性的影响。其中,大豆蛋白对温度和机械力作用下的重构面团总体特性影响最大,其次是酪蛋白和乳清蛋白。大豆蛋白使得峰值扭矩 C3 显著($P<0.05$)增加,且随着添加量的增大而增大,这可能归因于大豆蛋白-面筋网络结构在机械力和热力作用下较不稳定,释放出被包裹的淀粉颗粒,致使分散游离的淀粉增多,进而导致糊化特性的增强^[20]。同样的

趋势发生在乳清蛋白对重构面团峰值扭矩的影响,而酪蛋白则会使峰值扭矩下降。另外,大豆蛋白可以显著提高面团的蒸煮稳定性,但是乳清蛋白和酪蛋白对蒸煮稳定性无显著影响。王凤等^[6]研究者报道:在含有蛋清蛋白和大豆蛋白的小麦面团中同样观察到峰值扭矩的增加,但二者都对蒸煮稳定性无显著影响。3种外源蛋白都对面团的回生值产生显著影响,大豆蛋白会使得回生值有较大幅度的减小,而乳清蛋白和酪蛋白则使得回生值有显著的增加。该结论与余丹丹等^[21]研究一致,这主要归因于不同来源蛋白质的特性差异,乳清蛋白在常温下不容易聚合,但在高温下容易结胶,而使得冷却时黏度增加;王晓艳等^[22]的研究结果则不同,其研究发现,添加大豆粉会使得小麦面团回生值增大,其原因可能是大豆粉中油脂成分对直链淀粉老化产生影响。这种差异可能是由于外添蛋白的加工工艺和组成成分不同所造成的。

表2 3种外添蛋白对重构面团蛋白组分热机械学特性的影响

Table 2 Effects of different addition levels of exogenous proteins on thermomechanical properties of reconstruct dough determined by Mixolab

蛋白种类	添加量/%	肖邦+协议						
		稳定性/min	吸水率/%	C2/Nm	C1-C2/Nm	C3/Nm	C4/C3/Nm	C5-C4/Nm
空白对照	0	0.475±0.003 ^a	62.5±0.000 ^a	0.497±0.002 ^b	0.623±0.007 ^a	0.785±0.014 ^b	0.238±0.006 ^a	2.617±0.021 ^b
大豆蛋白	10	0.580±0.019 ^{ab}	63.8±0.000 ^b	0.436±0.004 ^{ab}	0.643±0.011 ^{ab}	0.653±0.007 ^a	0.236±0.008 ^a	2.521±0.087 ^b
	20	0.485±0.008 ^a	64.5±0.000 ^c	0.147±0.011 ^a	0.941±0.019 ^b	2.097±0.051 ^c	0.866±0.021 ^b	0.765±0.019 ^a
	30	0.625±0.007 ^b	65.7±0.000 ^d	0.162±0.012 ^a	0.910±0.021 ^b	2.156±0.033 ^d	0.845±0.009 ^b	0.730±0.011 ^a
	40	0.640±0.010 ^b	66.9±0.001 ^e	0.195±0.009 ^a	0.933±0.060 ^b	2.167±0.018 ^d	0.820±0.004 ^b	0.735±0.012 ^a
	50	0.750±0.006 ^c	68.6±0.002 ^f	0.188±0.006 ^a	0.926±0.090 ^b	2.173±0.077 ^d	0.822±0.013 ^b	0.768±0.008 ^a
乳清蛋白	10	0.560±0.004 ^{ab}	61.6±0.000 ^d	0.489±0.004 ^a	0.607±0.011 ^c	0.717±0.010 ^a	0.197±0.007 ^c	3.082±0.048 ^b
	20	0.555±0.011 ^{ab}	59.3±0.001 ^c	0.555±0.008 ^b	0.560±0.003 ^b	0.756±0.013 ^{ab}	0.181±0.003 ^{bc}	3.294±0.041 ^c
	30	0.560±0.007 ^{ab}	57.0±0.000 ^b	0.635±0.002 ^c	0.456±0.014 ^a	0.830±0.006 ^c	0.139±0.002 ^a	3.759±0.059 ^d
	40	0.650±0.009 ^b	54.1±0.000 ^a	0.654±0.003 ^c	0.434±0.011 ^a	0.831±0.008 ^c	0.166±0.009 ^b	4.062±0.092 ^e
酪蛋白	10	0.615±0.005 ^a	63.1±0.000 ^a	0.531±0.017 ^{ab}	0.587±0.022 ^b	1.022±0.009 ^b	0.140±0.003 ^a	2.942±0.053 ^b
	20	0.555±0.014 ^a	62.0±0.000 ^a	0.581±0.012 ^{ab}	0.526±0.023 ^b	1.050±0.015 ^b	0.120±0.009 ^a	3.004±0.046 ^b
	30	0.695±0.004 ^{ab}	62.1±0.000 ^a	0.596±0.016 ^{ab}	0.517±0.015 ^{ab}	0.929±0.019 ^b	0.109±0.010 ^a	3.124±0.017 ^{bc}
	40	1.005±0.017 ^b	61.1±0.000 ^a	0.687±0.009 ^{bc}	0.445±0.028 ^{ab}	0.976±0.017 ^b	0.108±0.007 ^a	3.244±0.078 ^{bc}
	50	1.090±0.019 ^b	62.0±0.003 ^a	0.740±0.010 ^c	0.347±0.021 ^a	0.938±0.027 ^b	0.101±0.011 ^a	3.139±0.043 ^c

注:表中数据表示平均值±SD。根据 Duncan 多范围检验,a-e 在同一列中,不同字母表示两组之间的显著差异($P<0.05$),相同字母表示两组之间无显著差异($P>0.05$)。

2.2 重构面团流变学特性

2.2.1 大豆蛋白对重构面团流变特性的影响 如图2所示,大豆蛋白的替换比例小于20%时,重构面团黏弹性变化不大,替换比例达到30%后,面团弹性模量和黏性模量大幅增加。正如2.1节结果

所示,可能是由于大豆蛋白吸水能力比面筋蛋白更强,因而在相同加水量和其它参数保持不变的条件下,大豆蛋白添加量越多,面团的黏弹性增强。该研究结果与Dogan等^[23]研究一致,他们发现大豆蛋白能够使玉米小麦糊黏性增加。

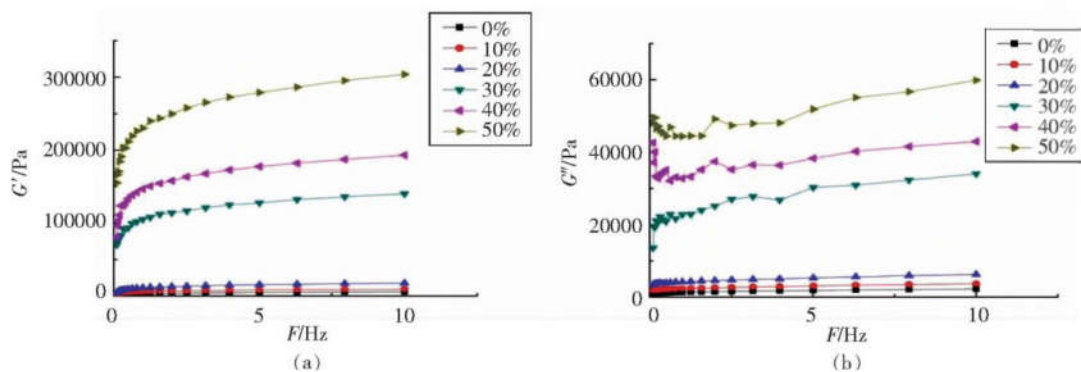


图2 大豆蛋白对重构面团动态流变学特性 G' 和 G'' 的影响

Fig.2 Effects of soy protein on rheological properties G' and G'' of reconstruct dough

2.2.2 酪蛋白对重构面团流变特性的影响 如图3所示,随着酪蛋白替换比例的增加,弹性模量和黏性模量均上升,但增加的幅度不如大豆蛋白明

显。由2.1节的结果可知,酪蛋白对体系吸水率的影响不大,酪蛋白对体系弹性模量的增加可能是其形成胶团状的网络结构的原因。

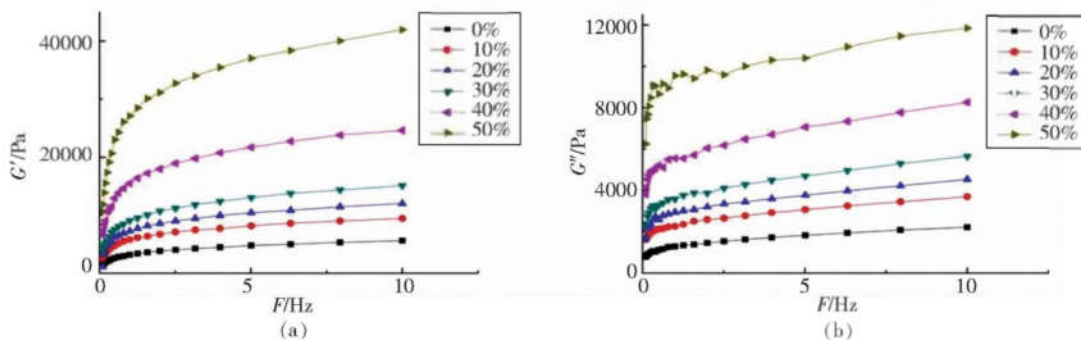


图3 酪蛋白对重构面团动态流变学特性 G' 和 G'' 的影响

Fig.3 Effects of casein on G' and G'' of reconstructed dough

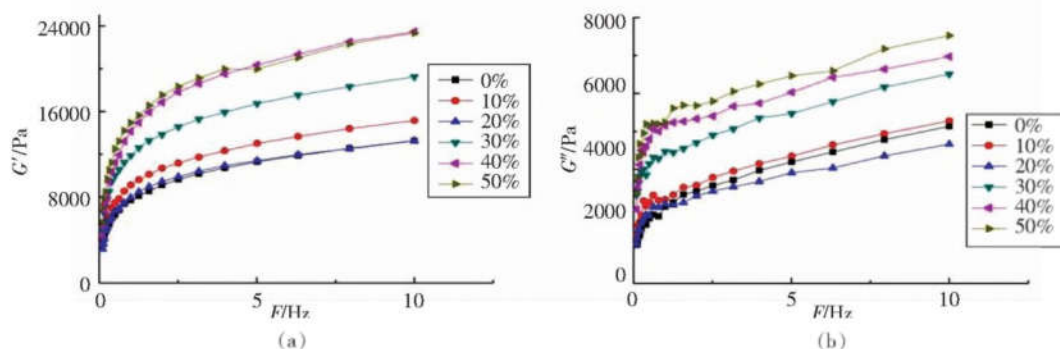
2.2.3 乳清蛋白对重构面团流变特性的影响 如图4所示,相对于大豆蛋白和酪蛋白,乳清蛋白对面团的黏性模量和弹性模量影响较小,但其影响趋势相同。其可能的原因是乳清蛋白水中溶解性好,其天然构象不会结合大量的水^[24],因此乳清蛋白对体系吸水率的影响不大,进而对流变学特性的影响没有大豆蛋白和酪蛋白显著。

2.3 馒头品质

2.3.1 3种外添蛋白对馒头质构的影响 根据相关文献报道,在一定范围内,硬度和咀嚼性越小,

面团越柔软^[25]。馒头的内聚性与馒头的持气性正相关,内聚性过小,馒头的持气性不好,口感粗糙^[26]。馒头的粘附性与馒头的粘牙口感及内部结构的持水性有关^[27]。

如表3所示,随着大豆蛋白替换比例增加,馒头的硬度和咀嚼性都增加。说明大豆蛋白在馒头形成过程中形成的网络结构没有面筋蛋白那么紧密,致使馒头内部总的网络结构较涣散,馒头质地也因此变硬。内聚性呈现减小的趋势,可能是大豆蛋白加入后,形成的面筋网络结构持气性不好,导

图4 乳清蛋白对重构面团动态流变学特性 G' 和 G'' 的影响Fig.4 Effects of whey protein on rheological properties G' and G'' of reconstruct dough

致馒头品质下降。梁灵等^[20]研究发现大豆蛋白添加量增加导致馒头的内聚性变小,并且咀嚼性变大,与本研究结果一致。大豆蛋白的替换增加了馒头的弹性,但是不同比例的大豆蛋白对弹性没有显著性影响。

酪蛋白的加入,致使馒头的硬度和咀嚼性都增加,显著高于对照组。随着酪蛋白替换量增加,酪蛋白可能与面筋蛋白、淀粉和水分结合成网络结构。但形成的这种网络结构却对成品没有正向的影响,说明酪蛋白的加入使得馒头内部结构强

度发生改变,使馒头品质变差。

乳清蛋白影响趋势和酪蛋白一致。馒头的硬度、咀嚼性、粘附性增加。馒头的弹性呈现逐渐增加的趋势,添加40%乳清蛋白的馒头弹性达到了10.13。乳清蛋白的内聚力逐渐减小,持气能力下降,馒头品质变差,易掉渣。这可能与乳清蛋白自身的特性有关,其本身持水性较低,使馒头容易掉渣。总体来说,3种外添蛋白的添加使馒头品质变差,但可以增加馒头的弹性。

表3 3种外源蛋白馒头质构测量结果

Table 3 Texture measurement about three kinds of protein in steamed bread

样品	替换比例/%	硬度/N	粘附性	内聚性	弹性	咀嚼性
面筋蛋白	100	13.68 ± 1.50 ^a	0.0833 ± 0.03 ^d	0.88 ± 0.07 ^e	9.14 ± 1.18 ^a	85.7 ± 5.46 ^a
大豆蛋白	10	20.47 ± 2.50 ^b	0.0340 ± 0.01 ^a	0.86 ± 0.03 ^{de}	10.38 ± 1.89 ^b	161.4 ± 7.41 ^b
	20	19.75 ± 2.21 ^c	0.0518 ± 0.02 ^b	0.85 ± 0.05 ^d	9.96 ± 2.56 ^c	137.4 ± 3.89 ^c
	30	36.74 ± 4.10 ^d	0.0576 ± 0.01 ^b	0.74 ± 0.04 ^e	10.07 ± 2.89 ^c	269.7 ± 10.09 ^d
	40	55.41 ± 3.69 ^e	0.0704 ± 0.02 ^c	0.72 ± 0.01 ^b	10.36 ± 3.10 ^c	349.7 ± 4.90 ^e
	50	86.95 ± 3.70 ^f	0.1041 ± 0.01 ^e	0.63 ± 0.01 ^a	10.38 ± 1.18 ^c	524.4 ± 15.00 ^f
面筋蛋白	100	13.68 ± 1.50 ^a	0.0833 ± 0.03 ^e	0.88 ± 0.07 ^e	9.14 ± 1.18 ^a	85.7 ± 5.46 ^a
酪蛋白	10	16.24 ± 4.54 ^b	0.0333 ± 0.03 ^a	0.84 ± 0.01 ^d	10.35 ± 1.12 ^c	134.5 ± 12.90 ^b
	20	22.66 ± 2.56 ^c	0.0747 ± 0.02 ^b	0.79 ± 0.03 ^e	10.33 ± 2.09 ^c	181.4 ± 5.46 ^c
	30	32.45 ± 3.10 ^d	0.0778 ± 0.04 ^b	0.78 ± 0.02 ^e	10.63 ± 1.09 ^c	238.6 ± 5.89 ^d
	40	41.74 ± 1.89 ^e	0.0884 ± 0.03 ^d	0.75 ± 0.01 ^b	10.53 ± 0.97 ^d	288.4 ± 6.87 ^e
	50	58.03 ± 2.11 ^f	0.0894 ± 0.02 ^d	0.64 ± 0.04 ^a	10.15 ± 2.09 ^b	351.7 ± 3.57 ^f
面筋蛋白	100	13.68 ± 1.50 ^a	0.0833 ± 0.03 ^d	0.88 ± 0.07 ^e	9.14 ± 1.18 ^a	85.7 ± 5.46 ^a
乳清蛋白	10	20.40 ± 1.7 ^b	0.0415 ± 0.01 ^a	0.88 ± 0.03 ^e	9.10 ± 1.00 ^a	124.2 ± 2.90 ^a
	20	24.78 ± 1.80 ^c	0.0467 ± 0.03 ^b	0.86 ± 0.01 ^e	9.12 ± 2.64 ^a	161.6 ± 9.08 ^b
	30	35.26 ± 2.22 ^d	0.0589 ± 0.03 ^c	0.81 ± 0.02 ^b	9.83 ± 0.87 ^b	206.2 ± 5.46 ^d
	40	35.31 ± 3.35 ^d	0.0596 ± 0.02 ^c	0.76 ± 0.02 ^a	10.13 ± 0.98 ^c	221.3 ± 11.98 ^e
	50	46.52 ± 1.89 ^e	0.0597 ± 0.01 ^c	0.75 ± 0.06 ^a	10.12 ± 1.23 ^c	289.4 ± 15.46 ^f

注:表中数据表示平均值±SD。根据 Duncan 多范围检验,a-e 在同一列中,不同字母表示两组之间的显著差异($P < 0.05$),相同字母表示两组之间无显著差异($P > 0.05$)。

2.3.2 外添蛋白对馒头感官品质的影响 如表 4 所示,低比例的大豆蛋白的加入使馒头更具有韧性,咬劲更好。随着替换比例上升,弹韧性减少,口感松散,易掉渣。同时外观渐渐变差,出现结块、开裂等现象。色泽也随之变黄,内部结构逐渐变得紧实,口感变得较为粗糙,粘牙性降低,馒头品质变差。同时大豆蛋白的加入掩盖了麦香味,造成风味的降低。

随着乳清蛋白含量的增加,馒头表皮光滑无缺口。色泽略微变黄,内部结构不规则,孔隙不均,出现大量大孔,弹韧性变差,形成较差的网络结

构;口感不粘牙,易碎掉渣,说明乳清蛋白的加入并未完全形成网络结构。乳清蛋白有奶香味,10%替换量时风味较好,能增加馒头的风味。

酪蛋白的添加使馒头的外观、色泽、弹韧性、口感和风味都逐渐变差,相比另外两种外添蛋白,10%的替换比例的馒头各项评价指标更接近对照组。试验结果表明用外添蛋白替换面筋蛋白会使馒头的品质变差,说明外添蛋白不适合用于替换面粉中面筋蛋白,不能形成更具有粘弹性的网络结构。

表 4 馒头感官评价测量结果

Table 4 Comparison of the sensory evaluation of steamed bread

样品	替换量/%	外观	色泽	结构	弹韧性	口感	风味	综合评分
对照	0	14.2±0.1	9.7±0.1	13±0.3	18±0.1	14±0.4	4.3±0.1	73.2±0.4
大豆蛋白	10	13±0.2	5.9±0.3	10±0.2	19±0.2	13±0.4	3.9±0.4	64.8±0.8
	20	11±0.2	5.3±0.1	10.2±0.4	17±0.1	11.3±0.4	3.5±0.1	58.3±1.0
	30	9.6±0.1	4.7±0.2	9.6±0.1	16±0.1	9.8±0.2	2.7±0.2	52.4±1.7
	40	7±0.3	4±0.2	9.4±0.1	14±0.4	9±0.4	2.3±0.1	45.7±0.9
	50	4±0.3	4.1±0.3	8±0.4	14.2±0.1	9.6±0.3	1.5±0.3	41.4±1.9
乳清蛋白	10	3±0.2	7.9±0.1	9±0.1	17±0.3	13.5±0.1	4.4±0.1	54.8±2.6
	20	4.7±0.1	7.1±0.4	7±0.2	15±0.1	12.1±0.2	4±0.2	49.9±2.8
	30	6.9±0.1	7.2±0.2	6.8±0.2	15.3±0.3	9.6±0.1	3.5±0.2	49.3±3.1
	40	9±0.4	6.9±0.4	7.3±0.1	14±0.1	8.2±0.3	2.6±0.3	48±4.3
	50	10.1±0.1	7±0.1	7.1±0.3	12±0.2	8.3±0.1	1.2±0.4	45.7±5.9
酪蛋白	10	10.4±0.2	8.9±0.4	12.2±0.3	17.5±0.1	12.3±0.4	4±0.1	65.3±2.1
	20	9.3±0.2	8.6±0.1	12.7±0.1	17±0.3	12.1±0.3	3.2±0.3	62.9±3.4
	30	9.1±0.1	7.9±0.2	13.4±0.1	16.9±0.3	10.5±0.3	3.1±0.1	60.9±2.9
	40	5±0.3	7.5±0.2	13±0.3	14±0.1	10±0.4	2.4±0.2	51.9±1.8
	50	4±0.1	7.3±0.1	10±0.1	12±0.1	9.5±0.1	2±0.1	44.8±1.1

3 结论

3 种外添蛋白质介入对重构面团的热机械学特性产生不同程度的影响,大豆蛋白使面团的吸水率增大,乳清蛋白会使吸水率显著下降,酪蛋白对吸水率没有显著影响。3 种蛋白质的添加都可显著提高面团稳定时间,其中酪蛋白影响最大,乳清蛋白影响最小。乳清蛋白和酪蛋白对面团中的淀粉糊化相关参数影响较小,大豆蛋白会对峰值

扭矩 C3 和回值产生显著的影响。3 种外添蛋白质介入对重构面团动态流变学参数有一定的影响,其中大豆蛋白对面团体系弹性模量及黏性模量影响最大,酪蛋白其次,乳清蛋白影响较小。3 种外添蛋白对馒头的质构呈消极影响,但能略微增加馒头的弹性参数。在感官方面,3 种蛋白的加入使馒头感官品质下降,乳清蛋白对馒头风味有积极影响,增加馒头的奶香味。

参 考 文 献

- [1] 陈书攀, 何国庆, 谢卫忠, 等. 菊粉对面团流变性
及面条质构的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14
(7): 170-175.
- [2] LE BLEIS F, CHAUNIER L, CHIRON H, et al.
Rheological properties of wheat flour dough and
French bread enriched with wheat bran[J]. Journal of
Cereal Science, 2015, 65: 167-174.
- [3] GALLIARD T, GALLAGHER D M. The effects of
wheat bran particle size and storage period on bran
flavour and baking quality of bran/flour blends[J].
Journal of Cereal Science, 1988, 8(2): 147-154.
- [4] 孙维思, 张仁堂, 乔旭光. 不同品种马铃薯混配粉
面团流变学特性及对馒头品质的影响[J]. 食品与发
酵工业, 2017, 43(2): 95-100.
- [5] ANTON A A, FULCHER R G, ARNTFIELD S D.
Physical and nutritional impact of fortification of
corn starch-based extruded snacks with common
bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean
addition and extrusion cooking[J]. Food Chemistry,
2009, 113(4): 989-996.
- [6] 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.
- [7] SHARMA B, GUJRAL H S, SOLAH V. Effect of
incorporating finger millet in wheat flour on mixolab
behavior, chapatti quality and starch digestibility[J].
Food Chemistry, 2017, 231: 156-164.
- [8] SCHMIELE M, FELISBERTO M H F, CLERICI M
T P S, et al. MixolabTM for rheological evaluation of
wheat flour partially replaced by soy protein hy-
drolysate and fructooligosaccharides for bread pro-
duction[J]. LWT -Food Science and Technology,
2017, 76: 259-269.
- [9] BLANDINO M, MARINACCIO F, INGENO B L,
et al. Evaluation of common and durum wheat rheo-
logical quality through Mixolab[®] analysis after field
damage by cereal bugs[J]. Field Crops Research,
2015, 179: 95-102.
- [10] 冯世德, 孙太凡. 玉米粉对小麦面团和馒头质构特
性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 101-104.
- [11] 孙聘, 田少君, 郭兴凤. 豌豆蛋白及豌豆粉对馒头
品质的影响[J]. 粮油加工, 2008(3): 81-83.
- [12] URBONAITE V, DE JONGH H H J, VAN DER
LINDEN E, et al. Water holding of soy protein gels
is set by coarseness, modulated by calcium binding,
rather than gel stiffness[J]. Food Hydrocolloids,
2015, 46: 103-111.
- [13] 高芸芳, 王金水, 苏银杰. 酪蛋白结构及其酶解特
性研究进展[J]. 农产品加工. 学刊(中), 2013(5):
1-4.
- [14] 郑刚, 胡小松, 李全宏, 等. 脱脂大豆对面团流变
学特性及用其制成面条品质的影响[J]. 食品科学,
2007, 28(4): 99-102.
- [15] 张建忠, 酆一心. 酪蛋白和酪蛋白制品的开发[J]. 中
国乳品工业, 1998, 26(6): 31-32.
- [16] 王岩东, 郭顺堂. 大豆乳清蛋白的面粉增白效果及
其对面团流变学特性的影响[J]. 食品科技, 2007,
(10): 60-63.
- [17] DE LA FUENTE M A, JUÁREZ M. Authenticity
assessment of dairy products[J]. Critical Reviews in
Food Science and Nutrition, 2005, 45(7/8): 563-
585.
- [18] ZHOU Y, ZHAO D, WINKWORTH-SMITH C G,
et al. Effect of a small amount of sodium carbonate
on konjac glucomannan-induced changes in wheat
starch gel[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 116:
182-188.
- [19] ZHANG B, LI X, XIE Q, et al. Preparation and
characterization of non-crystalline granular starch
and corresponding carboxymethyl starch[J]. Interna-
tional Journal of Biological Macromolecules, 2017,
103: 656-662.
- [20] 王凤. 燕麦面团的物性改善及其在燕麦面条中的应
用[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 23-25.
- [21] 余丹丹, 张昊, 郭慧媛, 等. 乳清蛋白的特性及其
在食品工业中的应用[J]. 中国乳业, 2013(6): 58-
60.
- [22] 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.
- [23] DOGAN S F, SAHIN S, SUMNU G. Effects of
batters containing different protein types on the
quality of deep-fat-fried chicken nuggets[J]. Euro-
pean Food Research and Technology, 2005, 220(5/
6): 502-508.
- [24] 张丹凤. 乳清蛋白的营养价值及其应用[J]. 新疆畜牧
业, 2006(6): 17-19.

- [25] 崔丽琴, 崔素萍, 马平, 等. 豆渣粉对小麦面团, 馒头质构特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 85-88.
- [26] 高雪丽, 陈复生, 张丽芬, 等. 大豆 7S 和 11S 球蛋白对面团特性及馒头品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 13-18.
- [27] 付苗苗, 黄社章, 王晓曦. 小麦粉品质与馒头质构特性的关系研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2013, 34(4): 48-51.
- [28] 杜振亚, 刘少博, 陈复生. 湿法挤压大豆蛋白对馒头品质的影响[J]. 河南工业大学学报 (自然科学版), 2016, 37(6): 34-38.

Effects of Three Functional Proteins on Rheological Properties of Starch-gluten Dough and Quality of Steamed Bread

Li Fang^{1,3} Teng Wenshao^{1,4} Liu Ye^{1,2} Ding Kefang⁵ Luo Zhigang⁵ Li Xiuting^{2,4} Zhu Yunping^{1,2*}

¹Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing Technology & Business University (BTBU), Beijing 100048

²Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Technology & Business University (BTBU), Beijing 100048

³Beijing Laboratory for Food Quality and Safety, Beijing Technology & Business University (BTBU), Beijing 100048

⁴School of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048

⁵Tingyi Holding Corp, Tianjin 201103)

Abstract Soy protein, whey protein and casein are nutrient-rich protein sources. This study investigated the effects of three extogenous proteins on the properties of reconstituted dough and the quality of Chinese steamed bread (CSB). The Mixolab results indicated that soybean protein could significantly ($P<0.05$) increased the water absorption of dough, while whey protein reduced it, and casein had no obvious effect on water absorption. All three extogenous proteins could significantly increase the dough stability time, and casein protein was the most effective, while whey protein had the least influence. Whey protein and casein have little effect on the starch gelatinization parameters in the dough, and the soybean protein have a significant effect on the peak torque C3 and retrogradation value. The effects of three kinds of extogenous proteins on the dynamic rheological parameters of reconstructed dough have a certain effect. The soybean protein has the greatest influence on the elastic modulus (G') and viscous modulus (G'') of the dough system, the casein followed, the whey protein has little effect on the G' and G'' . In the aspect of CSB's quality, the three proteins had a positive effect on the elastic parameter of the CSB. The 10% substitution value of whey protein had a positive effect on the flavor. All sensory evaluation data were more close to the control group when the substitution value of casein protein was 10%. The results of this study can lay the foundation for exploring the interaction between the protein and the key components of the dough.

Keywords soy protein; whey protein; casein; rheological properties; steamed bread; texture