

百合粉添加量对面团特性及面包品质的影响

Effect of wheat flour substitution with lily powder on properties of dough and quality of bread

李嘉仪 谭萱宇 邹金浩 王 锋 苏小军

LI Jia-yi TAN Xuan-yu ZOU Jin-hao WANG Feng SU Xiao-jun

(湖南农业大学食品科学与技术学院, 湖南 长沙 410128)

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:为拓宽百合的应用渠道,提高面包的营养价值,研究了百合粉添加量(0%, 5%, 10%, 15%, 20%)对面团的微观结构、糊化特性、流变学特性以及面包品质的影响。结果表明:随着百合粉添加量增大,混合粉的持油性先降低后增加,持水性显著增加($P < 0.05$)。添加了百合粉后,面团的糊化温度升高,回生值和峰值黏度下降,面团的弹性模量和黏性模量均呈上升趋势。百合粉的添加,破坏了面筋蛋白原本均匀致密的微观结构;使面包的硬度显著增大($P < 0.05$),弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性、回复性、比容和感官评分显著降低($P < 0.05$);改变了小麦面团的特性和面包的品质,在小麦粉中添加5%~10%的百合粉,能保证面包较高的感官品质。

关键词:百合粉;面团特性;感官品质;面包

Abstract: In order to broaden the application of lily flour, wheat powder substituted with lily flour was applied in bread to improve nutrient value. The effects of wheat flour substitution with lily powder (0%, 5%, 10%, 15%, and 20%) on the microstructure, pasting properties and rheological properties of dough and the quality of bread were investigated. The results showed that the water holding capacity increased significantly ($P < 0.05$) as the percentage of lily powder increased, while oil holding capacity first decreased and then increased. The addition of lily flour destroyed the compact and uniform microstructure of gluten. The pasting temperature of the blending flour showed an upward trend after adding lily flour, while setback and peak viscosity decreased. The elastic modulus and the viscous modulus of the dough both showed an upward trend. The addition of Lily flour significantly increased the hardness of the bread ($P < 0.05$), significantly reduced the springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness, resilience, specific volume and sensory score of the bread ($P < 0.05$). Therefore, the addition of Lily flour could change the properties of the wheat dough and the quality of the bread, considering the sensory evaluation, the bread with 5%~10% lily flour would be acceptable.

Keywords: lily flour; dough properties; sensory qualities; bread

面包是深受消费者喜爱的重要主食。近年来,为增加面包风味和花色品种,提高面包的营养价值,满足消费者对营养健康的追求,将药食同源食物或其他具有功能活性的原料部分替代小麦粉制作面包已渐成研究热点^[1-2]。研究报道表明,使用姜粉^[3]、葛根^[4]、淮山^[5-6]、姜黄^[7]、紫苏叶^[8]、多酚类物质^[9]和膳食纤维^[10]等部分替代小麦粉制作面包,可使面包具有清除自由基和抗氧化等功能活性。

百合是百合科(*Liliaceae*)百合属(*Lilium*)植物,分布于北半球温带地区,是中国卫生部首批颁布的药食兼用植物之一^[11]。中国是百合的原产地和主要分布区,截至2015年底,中国食用百合种植面积约2万 hm^2 ,产量约15万 t ^[12]。百合淀粉含量为62.88%~64.57%,蛋白质含量达10.42%~12.25%^[13],且含有17~19种氨基酸和丰富的多糖、皂苷、生物碱、酚类、甾类糖苷、膳食纤维等功能性成分,是高蛋白、高碳水化合物和低脂肪营养保健食品,在抗癌、抗肿瘤、降血糖和增强免疫力等方面有一定功效^[14-15]。目前对百合的研究主要集中在其化学成分鉴定^[12,16]、功能活性评价^[14,17-18]、干燥工艺^[19-20]和百合全粉制备^[21-22]等方面,而将其部分替代小麦粉用于焙烤加工的研究尚未见报道。百合粉添加到面包中,能改善面包营养结构,但百合粉不含面筋蛋白,会影响到面团的流变特性、糊化特性及面包的品质。试验拟通过研究不同比例百合粉对面团流变学特性、质构特性、糊化特性、微观结构及其对面包感官评价特性的影响,为拓宽百合

基金项目:湖南省重点研发计划项目(编号:2016NK2113)

作者简介:李嘉仪,女,湖南农业大学在读本科生。

通信作者:苏小军(1975—),男,湖南农业大学副研究员,博士。

E-mail: suxiaojun5606@163.com

收稿日期:2019-10-27

粉的应用渠道提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

百合粉:龙山卷丹百合干片,来凤县百年好合生态农业有限公司,粉碎后过 40 目筛,包装后置于干燥器备用;
高筋小麦粉:武汉市太阳行食品有限责任公司;
高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;
白砂糖:广西金绣球食品有限责任公司;
奶粉:双城雀巢有限公司;
加碘精制盐:湖南省湘澧盐化有限责任公司;
改良剂:广州市乐基食品有限公司;
调和油:益海嘉里(岳阳)粮油工业有限公司;
鸡蛋:市售。

1.1.2 主要仪器设备

快速黏度分析仪:RVA-S/N2112681 型,瑞典 Perten 仪器有限公司;
旋转流变仪:Kinexus pro + 型,英国马尔文仪器公司;
质构仪:TA.XT.plus 型,英国 SMS 公司;
色彩色差计:CR-400 型,柯尼卡美能达公司;
台式低速离心机:TDZ5 型,湖南赫西仪器装备有限公司;
和面机:HM740 型,青岛汉尚电器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 百合—小麦混合粉的配制 分别用 5%,10%,15%,20% 的百合粉替代相应比例的小麦粉,混合均匀,以不添加百合粉的小麦粉作为对照。

1.2.2 混合粉面团的制备 称取一定量的 1.2.1 配制的混合粉,加水量为混合粉质量的 50%,和面机和面 20 min,得到不同比例百合粉添加量的混合粉面团。

1.2.3 面包的配方及制作工艺 称取原料(面粉 350 g,酵母 6.5 g,糖 7.5 g,鸡蛋 50 g,水 150 g),和面机和面 20 min。和好的面团在 38 ℃,相对湿度 75% 条件下醒发 120 min。再次称取原料(面粉 150 g,水 62.5 g,调和油 57.5 g,改良剂 5 g,食盐 5 g,砂糖 100 g,奶粉 20 g),将其与面团一起再次和面。然后进行排气、搓圆整形,醒发 60 min。焙烤上火温度 170 ℃,下火温度 190 ℃,焙烤 15 min。

1.2.4 物理性质的测定

(1) 混合粉和面包芯色泽:参考 Hsu 等^[6]的方法。采用 CR-400 色彩色差计对 1.2.1 混合粉色泽进行测定;面包室温冷却 2 h 后,切成约 10 mm 厚的面包片,利用 CR-400 色彩色差计对样品中间部分进行面包芯色泽测定,按式(1)计算 ΔE 值。

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}, \quad (1)$$

式中:

ΔE ——色差(值越大,说明色差越大);

ΔL ——黑白(当 ΔL 为正时,试样比标准色板浅,为负时,试样比标准色板深);

Δa ——红绿度(值越大表示混合粉色泽越红);

Δb ——黄蓝度(值越大表示混合粉色泽越黄)。

(2) 持水性和持油性:参考李燕^[23]7-8 的方法。

(3) 面包比容:参考 Hathorn 等^[24]的方法,面包出炉室温冷却 2 h 后,称重,采用菜籽替换法测定面包体积,按式(2)计算面包比容。

$$\rho = \frac{V}{m}, \quad (2)$$

式中:

ρ ——面包比容, mL/g;

V ——面包体积, mL;

m ——面包质量, g。

1.2.5 百合—小麦混合粉糊化特性的测定 准确称取 (3.50±0.01) g 混合粉,转移到样品筒中,量取 25.0 mL 蒸馏水加入样品筒中,将搅拌器置于样品筒中上下快速搅动 10 次,使样品分散,置于快速黏度分析仪中。采用温度模式进行测定,测得 RVA 曲线和糊化特性相关参数^[23]8。

1.2.6 动态流变特性的测定 采用振荡模式下的频率扫描。取适量按 1.2.2 制备的样品面团放置于流变仪的载物台上,选用直径为 20 mm 的平板,夹缝间距为 1 mm,刮去多余面团。频率扫描参数:应变力 0.5%,频率 0.1~20 Hz,温度 25 ℃。

1.2.7 百合—小麦混合粉面团质构特性的测定 取适量 1.2.2 制备的面团,用模具制成直径 5 cm、厚 1.5 cm 的样品面团。采用 TPA 模式,选取 P100 探头,测试前速率 2.0 mm/s,测试和测试后速率 1.0 mm/s,形变量 50%。

1.2.8 面团的扫描电子显微镜观察 取适量 1.2.2 制备得到的面团,真空冷冻干燥,取面团中间表面平滑的小面块,喷金后扫描电镜观察。

1.2.9 面包的感官评价 面包在室温下冷却 2 h,参照 GB/T 20981—2007 对面包感官的要求,由经过培训的 10 名食品专业人员从形态、色泽、组织、气味和口感 5 个方面进行评价,总分为 100 分。

1.2.10 面包质构的测定 将面包冷却 2 h 后,从靠近中间部位垂直切开,切取厚度 2 cm 的面包片采用 P36R 探头进行 TPA 质构测定,其他条件同 1.2.7。

1.3 数据统计与分析

试验结果采用 Excel 2010、Origin 8.0 和 SPSS Statistics 20.0 进行数据处理和分析,采用方差分析(ANOVA)中 Duncan 检验法进行显著性分析,检验的显著性水平为

$P<0.05$,所有数据以($\bar{x}\pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 百合粉添加量对混合粉物理性质的影响

百合粉的色泽、持水性和持油性等物理性质能直接反映出百合粉的品质特性和加工性能。由表 1 可知,小麦粉色泽与百合粉色泽差异显著($P<0.05$)。百合粉 L^* 和 a^* 值与朱文学等^[20]报道的经热烫护色处理的接近。当百合粉添加量较低(5%)时差异不显著,随着百合粉添

加量继续增加,混合粉的色泽变化增大, L^* 显著变小($P<0.05$), b^* 显著增大($P>0.05$),混合粉色泽亮度降低。持油性与样品的蛋白质含量有关^[25]。由图 1 可知,随着百合粉添加量的增加,持油性呈先下降后上升的趋势。持水性与淀粉含量呈正相关,直链淀粉越多,吸水能力越强^[26]。此外,持水性还与食品中的纤维同水的结合能力密切相关^[27]。从图 1 可以看出,随着百合粉添加量的增加,混合粉的持水性不断增大,可能与百合粉中直链淀粉和膳食纤维含量较高有关^[28]。

表 1 百合粉添加量对混合粉色泽的影响[†]

Table 1 Effects of lily flour addition dosage on color of mixed flour

百合全粉/%	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
0	73.42 ± 0.55^a	-1.34 ± 0.08^c	8.18 ± 0.04^e	0.44 ± 0.25^e
5	73.20 ± 0.19^{ab}	-1.31 ± 0.02^{bc}	8.34 ± 0.15^{de}	0.24 ± 0.15^{de}
10	72.73 ± 0.18^{bc}	-1.29 ± 0.04^{bc}	8.43 ± 0.06^d	0.66 ± 0.16^{cd}
15	72.72 ± 0.18^{bc}	-1.31 ± 0.04^{bc}	8.85 ± 0.05^c	0.93 ± 0.10^c
20	72.38 ± 0.20^c	-1.26 ± 0.04^b	9.11 ± 0.15^b	1.34 ± 0.24^b
100	67.47 ± 0.46^d	-0.88 ± 0.07^a	13.36 ± 0.19^a	7.84 ± 0.46^a

† 同列字母不同表示存在显著性差异($P<0.05$)。

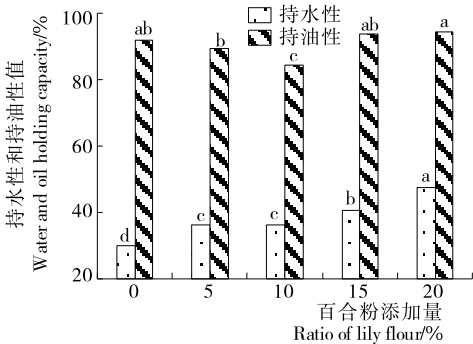


图 1 百合粉添加量对混合粉持水性与持油性的影响

Figure 1 Effect of lily flour addition dosage on water and oil holding capacity of mixed flour

2.2 百合粉添加量对混合粉糊化特性的影响

糊化特性直接影响面包的品质,而影响小麦粉糊化特性的主要因素有淀粉含量、淀粉结构以及直链淀粉含

量。百合粉不含面筋蛋白,淀粉含量略低于小麦粉,但直链淀粉和膳食纤维含量较高^[28],因此添加百合粉会降低混合粉的淀粉含量,增加混合粉中直链淀粉的含量。百合淀粉颗粒的平均粒径为 $35\mu\text{m}$,大于小麦淀粉的平均粒径($25\mu\text{m}$)^[29]。杜双奎等^[30]认为糊化特性中各项黏度值一般随直链淀粉含量的增加而降低,随支链淀粉含量的增加而升高。小麦粉的糊化是淀粉和蛋白质共同作用的结果,面筋蛋白含量降低,会减弱面筋蛋白对淀粉糊化的阻碍作用,使得糊化程度增加^[31]。从表 2 可以看出,百合粉的添加对混合粉的糊化特性影响显著,随着添加量的增大,混合粉的各项黏度值和峰值时间总体呈降低趋势,而糊化温度呈显著升高趋势,与混合粉的淀粉含量降低、直链淀粉含量增加、面筋蛋白减少等有关。对薏米粉和燕麦粉的研究^[32-33]也表明,随着添加量的增加,混合粉的糊化温度呈升高趋势。另外,混合粉糊化温度的升高还可能与百合粉中膳食纤维含量较高有关,膳食纤维亲

表 2 百合粉添加量对混合粉糊化性质的影响[†]

Table 2 Effects of lily flour addition dosage on pasting properties of mixed flour

百合粉/%	糊化温度/ $^{\circ}\text{C}$	峰值时间/min	峰值黏度/cp	谷值黏度/cp	最终黏度/cp	回生值/cp	崩解值/cp
0	82.20 ± 1.95^c	6.62 ± 0.04^a	$2\,353.00\pm67.80^a$	$1\,742.00\pm66.16^a$	$2\,833.67\pm106.00^a$	$1\,091.67\pm48.52^a$	611.00 ± 5.00^a
5	85.02 ± 0.80^{ab}	6.40 ± 0.07^{ab}	$1\,756.33\pm145.90^b$	$1\,319.67\pm112.18^b$	$2\,256.00\pm137.23^b$	936.33 ± 27.57^b	436.67 ± 50.64^c
10	83.35 ± 0.05^{bc}	6.62 ± 0.08^a	$2\,313.67\pm35.53^a$	$1\,786.00\pm62.10^a$	$2\,725.33\pm42.02^a$	939.33 ± 20.53^b	527.67 ± 26.95^b
15	86.47 ± 0.45^a	6.33 ± 0.19^b	$1\,338.00\pm28.17^c$	$1\,057.50\pm79.90^c$	$1\,777.00\pm22.61^c$	719.50 ± 77.07^c	280.50 ± 61.61^d
20	86.70 ± 1.21^a	6.40 ± 0.18^{ab}	$1\,370.50\pm33.23^c$	$1\,156.00\pm89.09^{bc}$	$1\,802.00\pm41.01^c$	646.00 ± 48.08^c	214.50 ± 55.86^d

† 同列字母不同表示存在显著性差异($P<0.05$)。

水性好,能降低体系中的自由水含量,影响淀粉分子的溶胀,从而抑制其糊化,使得糊化温度升高。混合粉峰值黏度的适当下降有利于后期的面包制作,而回生值的降低则可延缓面包老化^[34-35],因此从表 2 的结果可以看出,适量添加百合粉有利于提高面包的抗老化能力。

2.3 百合粉添加量对混合粉面团动态流变特性的影响

百合粉的淀粉含量、直链与支链淀粉的构成、颗粒的大小等都与小麦粉的存在差异,因此百合粉的添加会影响面团的流变特性。添加不同量的百合粉对面团弹性模量 G' 、黏性模量 G'' 和损耗正切角 $\tan\delta$ ($\tan\delta = G''/G'$) 的影响如图 2 所示。各面团的弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 的变化趋势一致, G' 和 G'' 均随频率的增加而增大,且弹性模量 G' 均高于黏性模量 G'' ,面团呈现出类似于固体的流变学性质。此外,百合粉的添加使得面团的弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 增大,但 15% 的添加量却使其减小,可能是百合粉的持水性高,在调制面团时未根据持水性的变化对加水量进行调整,导致弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 出现不规律的变化。

2.4 百合粉添加量对混合粉面团质构特性的影响

由表 3 可知,百合粉的添加对面团的硬度、黏附性、内聚性、胶黏性、回复性和咀嚼性影响显著 ($P < 0.05$)。添加 5% 百合粉时,面团的硬度、胶黏性、咀嚼性和回复性显著下降 ($P < 0.05$),黏附性无显著变化,内聚性显著增大 ($P < 0.05$);当添加量继续增大时(10%~20%),面团的硬度、黏附性、胶黏性和回复性随百合粉添加量增大而显著增大 ($P < 0.05$),内聚性显著降低 ($P < 0.05$),咀嚼性则先增加后降低。面团硬度的增大可能是由于百合粉的添加降低了混合粉面筋蛋白的含量,减少了面筋蛋白网络结构的形成,导致面团的延伸性降低,且百合粉填充在面筋蛋白的网络结构中,降低了面团的蓬松度,导致其硬度增大,这与玉米粉^[36]和紫薯粉^[37]对面团质构的影响相似。

2.5 百合粉添加量对混合粉面团微观结构的影响

百合粉对面团微观结构的影响见图 3。在未添加百合粉的小麦粉面团中,面筋网络结构完整且连续有序,淀粉颗粒均匀地排列在面筋蛋白网络结构中。当添加量处于 5%~10% 时,百合粉对面团的破坏程度相对较低,面

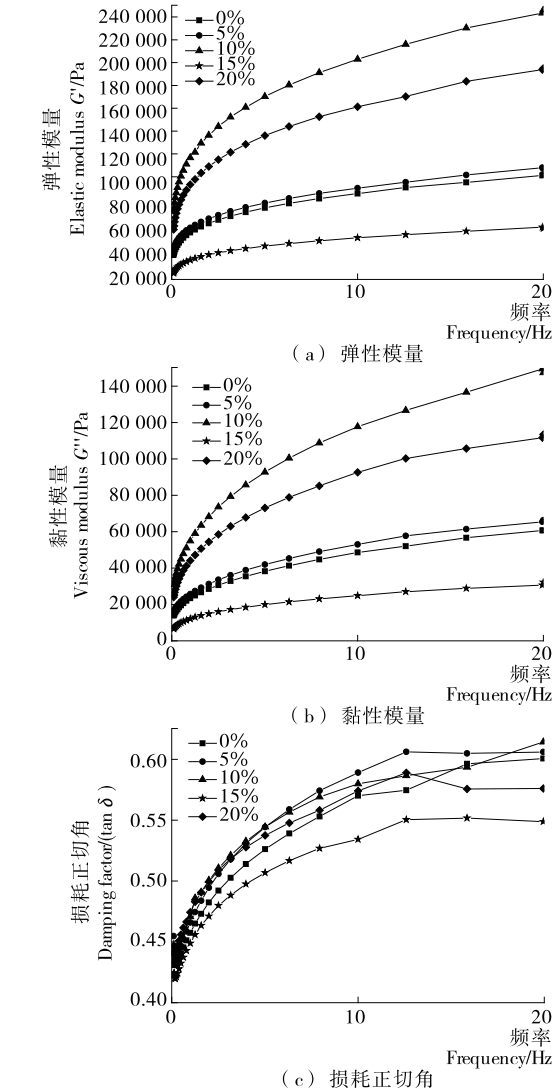


图 2 百合粉添加量对面团动态流变特性的影响

Figure 2 Effects of lily flour addition dosage on the rheological properties of dough

筋网络结构形成较好。当添加量达 15%~20% 时,面筋网络结构逐渐被破坏,发生局部断裂和出现断层现象,少量较大的淀粉颗粒开始外露,孔隙增大并形成了许多大小不一的气孔。说明百合粉的添加影响了面筋结构的形

表 3 百合粉添加量对面团质构特性的影响[†]

Table 3 Effects of lily flour addition dosage on texture properties of wheat dough

百合粉/%	硬度/g	黏附性/(g·s)	弹性	内聚性	胶黏性/g	咀嚼性/g	回复性
0	18 342.01±578.46 ^c	14 281.82±4 205.67 ^b	0.97±0.01 ^a	0.68±0.08 ^b	12 470.89±1 313.87 ^c	12 048.92±1 300.58 ^b	0.18±0.01 ^c
5	12 313.77±1015.07 ^d	14 393.05±1 341.44 ^b	0.97±0.00 ^a	0.80±0.03 ^a	9 892.45±586.91 ^d	9 570.00±577.06 ^c	0.15±0.01 ^d
10	18 398.60±459.04 ^c	20 067.72±1 415.08 ^c	0.97±0.00 ^a	0.77±0.03 ^a	14 137.28±240.75 ^{bc}	13 693.07±241.88 ^{ab}	0.18±0.01 ^c
15	24 042.86±907.69 ^b	14 409.36±5 578.67 ^b	0.97±0.01 ^a	0.64±0.07 ^{bc}	15 442.60±1 807.83 ^b	14 930.71±1 770.23 ^a	0.20±0.01 ^b
20	33 944.78±2 012.24 ^a	4 881.73±588.90 ^a	0.52±0.03 ^b	0.58±0.03 ^c	19 496.97±782.36 ^a	10 193.29±897.95 ^c	0.25±0.01 ^a

[†] 同列字母不同表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

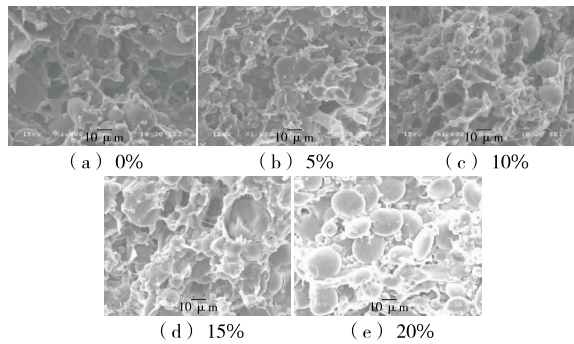


图 3 百合粉添加量对面团微观结构的影响
Figure 3 Effect of lily flour addition dosage on microstructure of dough (1 000×)

成,且随着添加量的增大,面筋网络结构对颗粒的包裹能力也不断下降,最终使得其出现断裂。该结果与玉米粉^[36]、糜米粉^[38]和淮山粉^[39]对小麦粉面团微观结构的影响结果一致。

表 4 百合粉添加量对面包品质的影响[†]

Table 4 Effects of lily flour addition dosage on the quality of bread

百合粉添加量/%	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	比容	感官评价
0	75.67 ± 0.92^a	-2.95 ± 0.14^{ab}	14.79 ± 1.16^d	7.27 ± 1.30^c	4.15 ± 0.14^a	87.20 ± 4.18^a
5	75.05 ± 0.53^a	-3.02 ± 0.02^b	15.85 ± 0.23^{cd}	8.06 ± 0.34^{bc}	3.98 ± 0.03^a	87.20 ± 6.48^a
10	73.06 ± 1.28^b	-3.05 ± 0.05^b	16.72 ± 0.27^{bc}	8.79 ± 0.18^b	3.90 ± 0.30^a	85.80 ± 4.10^{ab}
15	75.27 ± 0.09^a	-3.06 ± 0.03^b	18.48 ± 1.57^{ab}	11.62 ± 0.16^a	2.74 ± 0.08^b	81.80 ± 3.43^{bc}
20	68.87 ± 0.31^c	-2.83 ± 0.08^a	20.04 ± 0.87^a	12.77 ± 0.73^a	2.80 ± 0.19^b	77.70 ± 5.60^c

百合粉添加量/%	硬度/g	弹性	内聚性	胶黏性/g	咀嚼性/g	回复性
0	$1\ 057.69 \pm 56.17^c$	0.88 ± 0.03^a	0.63 ± 0.03^a	662.74 ± 33.06^a	582.61 ± 43.17^a	0.26 ± 0.02^a
5	$1\ 211.65 \pm 45.46^b$	0.75 ± 0.06^b	0.47 ± 0.02^b	566.03 ± 38.41^c	426.40 ± 53.77^b	0.15 ± 0.02^b
10	$1\ 406.17 \pm 57.07^a$	0.74 ± 0.04^b	0.44 ± 0.01^c	612.43 ± 42.59^b	450.97 ± 38.25^b	0.14 ± 0.01^b
15	$1\ 166.12 \pm 75.35^b$	0.68 ± 0.06^c	0.34 ± 0.02^c	391.88 ± 16.61^d	264.83 ± 21.51^c	0.09 ± 0.01^c
20	987.36 ± 88.30^c	0.65 ± 0.05^c	0.37 ± 0.01^d	368.11 ± 27.67^d	240.06 ± 20.97^c	0.09 ± 0.01^c

[†] 同列字母不同表示存在显著性差异($P < 0.05$)。

3 结论

百合粉的添加对面团特性与面包品质影响显著。添加百合粉致使混合粉持水性增大,糊化特性下降,同时使面团的弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 增大,质构特性下降,面团中面筋网络结构变差,从而降低了面包的烘焙品质,但有利于改善面包的抗老化能力和改善面包的营养结构。百合粉添加量在 5%~10% 为宜,此时面包比容和感官品质与未添加百合粉的面包相比较变化不显著。

百合粉添加量增大会导致面包品质降低,在后续研究中可通过配方优化和改进工艺,以提高百合面包的烘焙品质。添加百合粉是如何通过影响面筋的形成和面筋结构,从而影响面团流变学特性与面包品质,尚有待深入研究。

参考文献

[1] MILLAR K A, BARRY-RYAN C, BURKEC R, et al.

2.6 百合粉添加量对面包品质的影响

面包评分与面包内聚性呈极显著正相关,与面包硬度、胶着性、咀嚼性呈极显著负相关^[40]。由表 4 可知,当百合粉添加量较低(5%)时,面包芯色泽变化不显著;当百合粉添加量为 10%~20% 时, L^* 先增加后降低, a^* 值、 b^* 值和 ΔE^* 显著增加($P < 0.05$)。百合粉的添加使得比容和感官评分整体下降,硬度显著增大($P < 0.05$),弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性和回复性都显著降低($P < 0.05$),与燕麦粉^[40]对面包品质的影响结果相似。当百合粉添加量为 5%~10% 时,比容与感官评分变化不显著($P > 0.05$),说明百合粉对面包品质的影响在可接受范围内。当添加量为 15%~20% 时,比容与感官评分显著降低($P < 0.05$),面包品质显著下降,表面色泽不均匀且出现斑点,内部气孔也大小不一。王强等^[38]和李真等^[41]在大麦粉和糜米粉的研究上也取得了相似的结果。这可能与百合粉的添加使得混合粉面筋蛋白含量降低有关。

Dough properties and baking characteristics of white bread, as affected by addition of raw, germinated and toasted pea flour [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2019, 56: 1-11.

[2] DZIKI D, ROZYLO R, GAWLIK-DZIKI U, et al. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds[J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 40 (1): 48-61.

[3] BALESTRA F, COCCI E, PINNAVAIA G G, et al. Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(3): 700-705.

[4] 张首玉, 司俊娜. 葛根山药保健面包的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(12): 74-78.

[5] NINDJIN C, AMANI G N, SINDIC M. Effect of blend levels on composite wheat doughs performance made from

- yam and cassava native starches and bread quality[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(4): 1 637-1 645.
- [6] HSU Chin-lin, HURANG Shu-lin, CHEN Wen-lung, et al. Qualities and antioxidant properties of bread as affected by the incorporation of yam flour in the formulation[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 39(2): 231-238.
- [7] LIM H S, PARK S H, GHAFOR K, et al. Quality and antioxidant properties of bread containing turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in South Korea[J]. Food Chemistry, 2011, 124(4): 1 577-1 582.
- [8] 田海娟, 朱珠, 张传智, 等. 紫苏叶超微粉对面团特性及面包品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 188-191.
- [9] XU Jing-wen, WANG Wei-qun, LI Yong-hui. Dough properties, bread quality, and associated interactions with added phenolic compounds: A review[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 52: 629-639.
- [10] MANUEL G, RONDA F, BLANCO C A, et al. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality[J]. European Food Research and Technology, 2003, 216(1): 51-56.
- [11] 黎欢, 李彦丽, 王蓉蓉, 等. 热烫过程中百合粉的主要营养成分、微观结构及其功能特性[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 164-174.
- [12] 胡悦, 杜运鹏, 张梦, 等. 12种百合主要营养成分和活性成分的分析评价[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(2): 111-117.
- [13] 李红娟, 牛立新, 李章念, 等. 两种食用百合鳞茎营养成分和活性物质分析及抑菌性[J]. 营养学报, 2007, 29(2): 204-205.
- [14] 胡悦, 杜运鹏, 田翠杰, 等. 百合属植物化学成分及其生物活性的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 323-332.
- [15] 李忠海, 钟海雁, 常银子, 等. 百合膳食纤维降血糖作用的研究[J]. 食品与机械, 2005, 21(5): 8-9.
- [16] 黄玉龙, 高清雅, 全婷, 等. 不同提取方法对兰州百合多糖结构及抗氧化活性的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(11): 132-137.
- [17] ZHAO Bao-tang, ZHANG Ji, GUO Xiao, et al. Microwave-assisted extraction, chemical characterization of polysaccharides from *Lilium davidii* var. *unicolor* Salisb and its antioxidant activities evaluation[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 31(2): 346-356.
- [18] GAO Jie, ZHANG Ting, JIN Zheng-yu, et al. Structural characterisation, physicochemical properties and antioxidant activity of polysaccharide from *Lilium lancifolium* Thunb[J]. Food Chemistry, 2015, 169(2): 430-438.
- [19] 黄敬, 朱文学, 刘云宏, 等. 基于 Weibull 分布函数的百合真空远红外干燥过程模拟及应用[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 71-76.
- [20] 朱文学, 黄敬, 刘云宏. 预处理对百合热风干燥特性及其品质的影响[J]. 河南科技大学学报: 自然科学版, 2017(4): 77-83.
- [21] 章晋武, 冷桂华, 邓泽元, 等. 百合速溶全粉的研究[J]. 食品科技, 2004(4): 36-37.
- [22] 盛灿梅, 麻成金, 黄群, 等. 百合精粉真空冷冻干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 148-150.
- [23] 李燕. 淮山全粉添加量对面团特性及面包品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019.
- [24] HATHORN C S, BISWAS M A, GICHUHI P N, et al. Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweet potato flour and high-gluten dough enhancers[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(5): 803-815.
- [25] 李清明, 舒青青, 夏磊, 等. 不同品种淮山全粉的理化性质比较分析[J]. 现代食品科技, 2018, 34(4): 29-35.
- [26] 仇干, 胥心, 邓云. 紫马铃薯全粉-小麦粉混粉的理化特性研究[J]. 食品研究与开发, 2017(3): 25-29.
- [27] VILLARINO C B J, JAYASENA V, COOREY R, et al. The effects of Australian sweet lupin (ASL) variety on physical properties of flours and breads[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 435-443.
- [28] 李忠海, 徐廷丽, 孙昌波, 等. 3种百合淀粉主要理化性质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2005(5): 5-8.
- [29] 吉宏武, 丁霄霖. 百合化学成分及其淀粉粒结构与一般特性[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(2): 33-36, 43.
- [30] 杜双奎, 杨红丹, 于修, 等. 食用豆粉功能特性与糊化特性[J]. 中国食品学报, 2011, 11(2): 77-86.
- [31] 雷宏, 王晓曦, 曲艺, 等. 小麦粉中的淀粉对其糊化特性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2010, 32(10): 8-11.
- [32] 刘壮, 张鹏辉, 姚亚亚, 等. 薏米全粉的添加对小麦粉加工品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 110-114.
- [33] 郭家宝, 高振贤, 刘彦军, 等. 燕麦粉对强筋面粉品质特性及其面包品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2019(6): 714-718.
- [34] 张剑, 马冬云, 李梦琴, 等. 糯小麦配粉对小麦粉及面包品质影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(3): 17-20.
- [35] 何兆位, 刘雄, 赵天天, 等. 紫薯粉对面粉流变学及糊化特性的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 6-9, 30.
- [36] 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.
- [37] 陈芳芳, 于文滔, 刘少伟, 等. 紫薯粉对面团粉质特性和质构特性的影响[J]. 食品工业, 2014, 35(5): 170-174.
- [38] 王强, 李文钊, 曹壮, 等. 糜米粉对面团特性及面包品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 50-54, 62.
- [39] LIU Xia, LU Kui, YU Jing-lin, et al. Effect of purple yam flour substitution for wheat flour on in vitro starch digestibility of wheat bread[J]. Food Chemistry, 2019, 284: 118-124.
- [40] 郭家宝, 高振贤, 刘彦军, 等. 燕麦粉对强筋面粉品质特性及其面包品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2019(6): 714-718.
- [41] 李真, 董英, 於来婷, 等. 大麦全粉对面团特性及面包焙烤品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(4): 197-202, 300.