

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.09.007

复配亲水胶体对面团流变特性及全麦面包品质的影响

Effect of compound hydrocolloid on the rheological properties of dough and the quality of whole-wheat bread

宁 芊¹ 游佩琼² 吴先辉³ 庞 杰²

NING Qian¹ YOU Pei-qiong² WU Xian-hui³ PANG Jie²

(1. 福建农林大学金山学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002; 3. 宁德职业技术学院, 福建 福安 355000)

(1. Jinshan College of Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. College of Food Science, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 3. Ningde Vocational and Technical College, Fu'an, Fujian 355000, China)

摘要:用质量比为 7:3 的全麦粉:小麦粉制作全麦面包,采用魔芋葡甘聚糖(KGM)、黄原胶、硬脂酰乳酸钠(SSL)3种亲水胶体和乳化剂的复配,以面粉粉质曲线的各项参数为标准,通过单因素试验和响应面优化试验,筛选出全麦面包复配胶的最佳配比。结果表明:面粉中添加 KGM 0.47%,黄原胶 0.07%,SSL 0.12%的复配胶后粉质质量指数为 129 mm,将其应用于全麦面包制作工艺中之后,全麦面包的比容(4.46 cm³/g)优于空白对照组的(3.37 cm³/g),含水量、硬度、弹性和咀嚼性在不同贮存时间里均表现优秀,老化速率明显下降,感官品质也有较大提升。

关键词:全麦面包;亲水胶体;面团流变性;粉质质量指数;比容;质构

Abstract: Whole wheat bread was made with the mass ratio of whole wheat flour to wheat flour of 7:3. The optimum formulation of the compound glue for whole wheat bread was screened by using Konjac gum, Xanthan gum and Sodium stearoyl lactate as hydrophilic colloids and emulsifiers. The parameters of flour curve were taken as criteria, and the single factor test and response surface optimization test were carried out. The results showed that the powder quality index was 129 mm after adding

Konjac gum 0.47%, Xanthan gum 0.07%, and SSL 0.12% to the flour. When applied to the whole wheat bread making process, the specific volume of whole wheat bread was 4.46 cm³/g, which was better than that of blank control groups of 3.37 cm³/g, and the water content, hardness, elasticity and chewiness at different storage times were all performed well, with the aging rate decreasing significantly, and the sensory quality greatly improving.

Keywords: whole wheat bread; hydrophilic colloid; dough rheology; powder quality index; specific volume; texture

以全麦粉为主要原料,经酵母发酵后烘焙制作的全麦面包深受广大追求健康饮食消费者的喜爱,为欧美国家的主要食物之一,以此来补充膳食纤维及多种营养素。而全麦面包在中国的接受度要明显低于西方国家,主要是由于全麦面包结构粗糙,口感较差,因而消费量受到了极大的限制。为解决全麦面包制品中存在的问题,添加食品改良剂是安全有效的方法^[1]。

面包生产中的各种面包改良剂主要以氧化剂、酶制剂^[2]、乳化剂^[3]和亲水胶体^[4]为主,能明显改善面团的机械加工性能、提高面包的烘焙品质,并延缓面包的老化,增加货架期。但常用的酶制剂如葡萄糖氧化酶、木聚糖酶等在实际操作中,添加量不足则达不到效果,过量又会使面团发黏、变硬,对后期产品制备的稳定性有较大影响。目前关于在面包产品中添加各种改良剂的报道较多,如刘海燕等^[5]、王雨生等^[6]、黄绍华等^[7]研究了使用不同胶体对面团流变学和面包烘焙品质的影响。杨雪飞等^[8]研究表明,在杂粮面包粉中添加黄原胶、谷朊粉、瓜尔豆胶和硬脂酰乳酸钠后,其稳定时间,形成时间以及粉

基金项目:福建省自然科学基金项目(编号:2018J01142)

作者简介:宁芊,女,福建农林大学金山学院讲师,硕士。

通信作者:吴先辉(1972—),男,宁德职业技术学院教授,硕士。

E-mail: 1141091857@qq.com

庞杰(1965—),男,福建农林大学教授,博士。

E-mail: pang3721941@163.com

收稿日期:2019-06-02

质指数都有所提升,流变学特性有了很大的改善。魔芋葡甘聚糖(KGM)作为优良的可溶性膳食纤维,因其具备热量低,吸水性强,膨胀率高、黏度大等特点,能增强食品稳定性和改善品质。李崇高等^[9]将魔芋葡甘聚糖、卡拉胶和大豆分离蛋白以2:1:25混合形成的复配胶添加3%到面团中,可有效改善面包在储存过程中的持水性和抗老化性。但全麦面包富含膳食纤维,所保留的麸皮会阻断面筋的网状结构,影响其流变特性,致使所产面包品质不高^[10]。杨文丹等^[11]采用马克思克鲁维酵母发酵麦麸作为功能配料,应用于高膳食纤维面包中以改善面包面团品质。但将亲水胶体和乳化剂进行复配后在全麦面包中的应用研究,目前尚未见诸于报道。

试验拟通过将魔芋葡甘聚糖(Konjac glucoman, KGM)、黄原胶(Xanthan gum)和硬脂酰乳酸钠(Sodium stearyl lactate, SSL)混合添加到面团中,通过对面团流变特性的研究,优化复配胶的成分配比,将优化后的复配胶按一定比例加入面粉中,通过考量全麦面包的比容、不同储藏时间下的含水量、质构以及感官品质,以期甄选出对全麦面包品质有较好提升的天然、高效且安全的改良剂。

1 材料与方 法

1.1 仪器与设备

厨师机:HM740型,青海汉尚电器有限公司;

质构仪:TA-XTplus型,英国 Stable Micro System 公司;

粉质仪:Farinograph-AT自动型,北京冠远科技有限公司;

醒发箱:VF-12C型,杭州赛旭食品机械有限公司;

电烤箱:C75型,青海汉尚电器有限公司;

电子天平:ME204E/02型,梅特勒-托利多(常州)测量技术有限公司。

1.2 材料与试剂

魔芋葡甘聚糖:食品级,云南昭通市三艾有机魔芋发展有限公司;

黄原胶、SSL:郑州味美源实业有限公司;

全麦粉、小麦粉:山东滨州中裕食品有限公司;

高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;

黄油:内蒙古蒙牛乳业股份有限公司;

全脂奶粉、食盐、白砂糖、鸡蛋:市售。

1.3 试验方法

1.3.1 不同改良剂对面粉粉质特性影响的单因素试验设计 在前期基础试验以及综合前人^[8-9]的研究成果的基础上,确定KGM、黄原胶、SSL的添加量。

(1) KGM添加量:在粉质仪300g揉混器内,以慢和面刀转速为(63±2)r/min,快慢和面刀转速比为1.5:1.0的速度,保持30℃的恒温条件下,按0.0%,0.2%,

0.3%,0.4%,0.5%,0.6%的添加量进行粉质试验,以面团的吸水率、弱化度、形成时间以及稳定时间为粉质曲线指标得出最佳添加量。

(2) 黄原胶添加量:在粉质仪300g揉混器内,以慢和面刀转速为(63±2)r/min,快慢和面刀转速比为1.5:1.0的速度,保持30℃的恒温条件下,按0.00%,0.04%,0.06%,0.08%,0.10%的添加量进行粉质试验,以面团的吸水率、弱化度、形成时间以及稳定时间为粉质曲线指标得出最佳添加量。

(3) SSL添加量:在粉质仪300g揉混器内,以慢和面刀转速为(63±2)r/min,快慢和面刀转速比为1.5:1.0的速度,保持30℃的恒温条件下,按0.00%,0.08%,0.12%,0.16%,0.20%的添加量进行粉质试验,以面团的吸水率、弱化度、形成时间以及稳定时间为粉质曲线指标得出最佳添加量。

1.3.2 利用响应面分析法优化复配胶添加量 在单因素试验的基础上,试验方案分别选取KGM、黄原胶和SSL的3个水平,利用Box-Behnken进行响应曲面分析,以与面团的评价值之间有显著相关性的粉质质量指数(FQN)^[12]为指标,得出最佳的添加比例。

1.3.3 全麦面包制作工艺 参考GB/T 14612—2008的中种发酵法,以标准中100g面粉为例,全麦粉和小麦粉以7:3的质量比制作全麦面包。

1.3.4 测定项目及方法

(1) 吸水率:以每100g水分含量14%的面粉所需添加的水量(mL)表示。

(2) 弱化度:指曲线到达形成时间时两曲线之间的中间值与此点后12min时两曲线的中间值之间的高度差。

(3) 形成时间:指从加水点起,直到曲线达到峰值之后开始下降的时间点这一时间段。

(4) 稳定时间:以500FU为标线,表示粉质曲线从上升到第一次接触500FU标线到下降至离开500FU标线所需要的时间。

(5) FQN:是对面包粉品质以及面包体积、面包评分和面包坚实度有一定的非线性相关的一种综合性指标^[13]。在粉质曲线的面团形成时间点(B)处通过曲线中心绘制一条水平线,然后在其下方30FU处再画一条平行线,找出此线与粉质曲线中心的交点(C),FQN用加水点A与点C间的长度(mm)表示(见图1)。

(6) 面包比容:用菜籽置换法测面包的体积。按式(1)计算面包比容。

$$c = \frac{V}{m}, \quad (1)$$

式中:

c——比容,cm³/g;

V——面包体积,cm³;

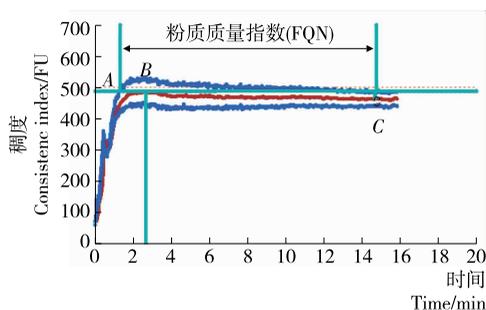


图 1 粉质曲线及粉质质量指数

Figure 1 Farinogram curves and flour quality number

m ——质量, g.

(7) 面包水分:根据 GB 5009.3—2016 使用直接干燥法测定面包在室温储藏过程中每个时间段的失重。从面包芯的同一部位取样、揉碎,每组面包做 3 个平行测定,最后取平均值。

(8) 面包质构:将出炉后冷却 1 h 的全麦面包切成 10 mm 厚度的面包片后装入密封袋保存,在室温下放置。测定时,将面包片放在平台上,用 TPA 模式(测试速度 1.0 mm/s,测试后速度 10.0 mm/s,感应力 3.0 g,返回速度 10.0 mm/s,返回距离 30 mm),分别测定焙烤结束后 2, 24, 48, 72 h 时面包的弹性和硬度。

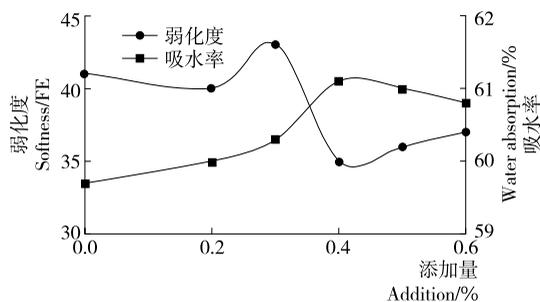
(9) 全麦面包的感官评定:采用综合评分法,由 30 位感官评定员对全麦面包的外观和内部进行综合评价,并给出评分。全麦面包的感官评定在参考 GB/T 14612—2008 中的流程及标准的基础上做出改进,评价分数(满分 100 分)=外表形态×11%+表面色泽×8%+烘烤均匀度×6%+表皮质地×5%+颗粒与气孔×15%+内部颜色×10%+口味×15%+口感×15%+组织结构×15%。

1.3.5 数据分析 采用 Design Expert 10.0 进行方差分析和差异显著性分析($P < 0.05$ 即为差异显著)。其中,响应面设计试验数据均以均值表示(测定数值均重复 3 次,取其均值),并对数据进行二次多项式回归拟合分析。

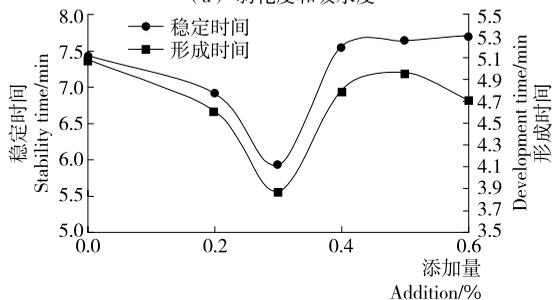
2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 KGM 添加量对面团流变性的影响 根据粉质仪测定添加 KGM 后面团的粉质曲线参数绘制图 2。从图 2(a) 可看出,当 KGM 添加量不断增加时,面团的吸水量呈现上升趋势,在 0.4% 时达到最大值,因 KGM 具有稳定性,添加到面团后改进其稳定性,增大吸水性;面团弱化度随添加量起伏较为频繁,但当添加量超过 0.4% 之后又开始上升,可能是 KGM 与面团中面筋蛋白质相互作用,增大了面筋强度,导致弱化度变小;图 2(b) 中,面团的稳定时间和形成时间在 0.4% 之后均有较大幅度的上升,是由于 KGM 为亲水胶体,亲水胶体可增大面筋与淀



(a) 弱化度和吸水度



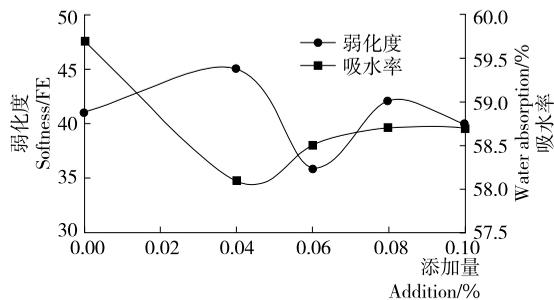
(b) 形成时间和稳定时间

图 2 KGM 对面团流变性的影响

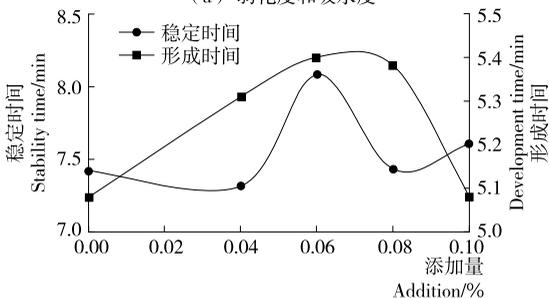
Figure 2 Influences of konjac gum on dough rheology

粉颗粒及淀粉颗粒间的相互作用,形成稳定的三维网络结构,因此,面团的筋力、韧性也随之增强,有助于提升烘焙效果。综上所述,当 KGM 的添加量达到 0.4% 时面团品质最适宜。

2.1.2 黄原胶添加量对面团流变性的影响 根据粉质仪测定添加黄原胶后面的团的粉质曲线参数绘制图 3。从图 3(a) 可看出,当黄原胶添加量不断增加时,面团弱化度



(a) 弱化度和吸水度



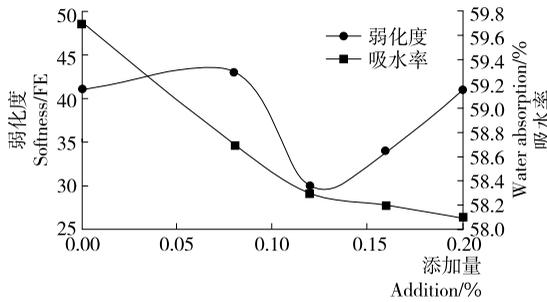
(b) 形成时间和稳定时间

图 3 黄原胶对面团流变性的影响

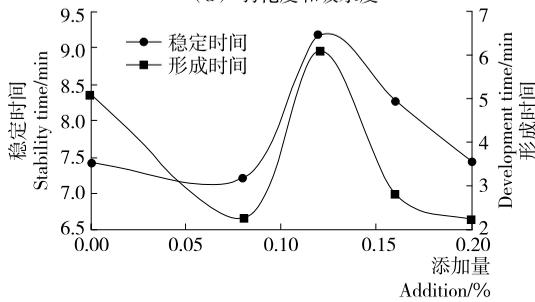
Figure 3 Effects of xanthan gum on dough rheology

波动频繁在 0.04% 时达到最大值;面团弱化度波动频繁,在添加量超过 0.06% 后又开始上升,说明此时面筋的形成最好;在图 3(b) 中面团的形成时间呈先上升后下降的趋势,在 0.06% 之后开始下降;面团的稳定时间极不稳定,在 0.06% 达到最大值。综上所述,当黄原胶的添加量达到 0.06% 时面团品质最适宜。

2.1.3 SSL 添加量对面团流变性的影响 根据粉质仪测定添加 SSL 后的面团的粉质曲线参数绘制图 4。从图 4(a) 可看出,随着 SSL 添加量不断增加,面团的吸水率呈现下降的趋势;面团弱化度较不稳定,在 0.12% 处达最低点,可能是 SSL 与面筋相互作用时,其亲水基团和疏水基团分别与麦醇溶蛋白、麦谷蛋白结合,形成了面筋蛋白复合物面团,使面团的持气性在一定程度上有所改善,提高了面团的稳定性,所以弱化度在 0.12% 处达最低点;在图 4(b) 中面团的形成时间波动大,在 0.12% 处达到最大值;面团的稳定时间在添加量为 0.12% 时达最大值之后开始呈现下降趋势。综上所述,当 SSL 的添加量达到 0.12% 时面团品质最适宜。



(a) 弱化度和吸水率



(b) 形成时间和稳定时间

图 4 SSL 对面团流变性的影响

Figure 4 Effect of SSL on dough rheology

2.2 响应面优化分析复配胶最优添加比例

由单因素试验结果,分别选定 KGM、黄原胶、SSL 的 3 个水平进行响应曲面设计,响应面设计因素水平见表 1,试验方案及响应值见表 2。

模型对应的二次响应面回归方程:

$$Y = 126.48 + 1.51X_1 + 0.37X_2 + 0.12X_3 - 1.00X_1X_2 - 0.5X_1X_3 + 0.25X_2X_3 - 4.88X_1^2 - 3.61X_2^2 - 4.61X_3^2 \quad (2)$$

由表 3 可知,模型拟合得到的回归方程 $P < 0.0001$,

表 1 响应面设计因素水平

Table 1 Response surface factor level table %

编码	A KGM	B 黄原胶	C SSL
-1	0.30	0.04	0.08
0	0.40	0.06	0.12
1	0.50	0.08	0.16

表 2 响应面优化设计方案及响应值

Table 2 Response surface optimum design scheme and response value table

试验号	A	B	C	FQN/mm
1	0	0	0	127
2	1	-1	0	120
3	-1	-1	0	115
4	0	0	0	126
5	1	0	-1	119
6	1	0	1	118
7	0	1	1	119
8	0	1	-1	118
9	0	-1	1	118
10	0	-1	-1	118
11	-1	0	1	116
12	-1	0	-1	115
13	-1	1	0	118
14	-1	0	0	120
15	1	1	0	119

表 3 试验回归方程方差分析表[†]

Table 3 Test regression equation anova table

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	160.17	9	17.80	116.95	<0.0001	**
A	20.00	1	20.00	131.44	<0.0001	**
B	1.13	1	1.13	7.39	0.0418	*
C	0.13	1	0.13	0.82	0.4063	
AB	4.00	1	4.00	26.29	0.0037	**
AC	1.00	1	1.00	6.57	0.0498	*
BC	0.25	1	0.25	1.64	0.2562	
A ²	78.89	1	78.89	505.27	<0.0001	**
B ²	45.21	1	45.21	297.10	<0.0001	**
C ²	73.74	1	73.74	484.57	<0.0001	**
残差	0.76	5	0.15			
失拟项	0.26	4	0.07	1.30	0.0949	不显著
纯误差	0.50	1	0.50			
总离差	160.93	14				

[†] 若 P 值 < 0.05 代表显著,以“*”表示;若 P 值 < 0.01 代表极显著,以“**”表示。

可以判断出响应值与全体自变量的变化关系极其显著, 而失拟项不显著, 回归模型的决定系数: $R^2 = 0.9953$, 而调整后的决定系数: $R^2_{adj} = 0.9868$, 表明该回归模型拟合度良好, 具有统计学意义的。

采用 Design Expert 10.0 数据分析软件对表 3 的试验分析结果进行响应面分析, 并描绘了两两交互作用关系的响应曲面图像, 分别见图 5~7。

由图 5 可知, KGM 和黄原胶对粉质质量指数均呈现先上升后下降的趋势。KGM 与黄原胶的复配交互作用对面团的粉质质量指数影响极显著, 且粉质质量指数对 KGM 反应更灵敏。因 KGM 与黄原胶均为亲水胶体, 亲水胶体的分子结构中包含许多亲水基团, 如羧基、羟基和氨基等, 能与水、淀粉、脂质、蛋白质等分子发生作用, 形成较大的聚合物, 从而使蛋白质等网络结构处于最佳水

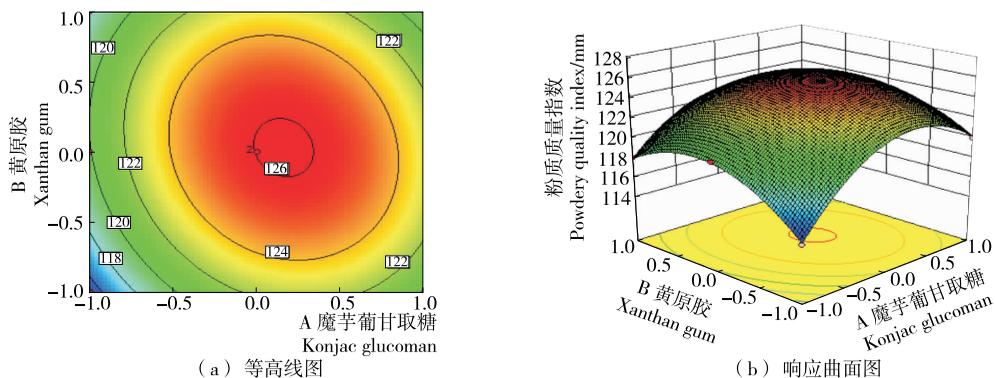


图 5 KGM 与黄原胶对粉质质量指数影响的等高线图 and 响应曲面图

Figure 5 Contour plot a and response surface plot b of the effects of konjac gum and xanthan gum on powder quality index

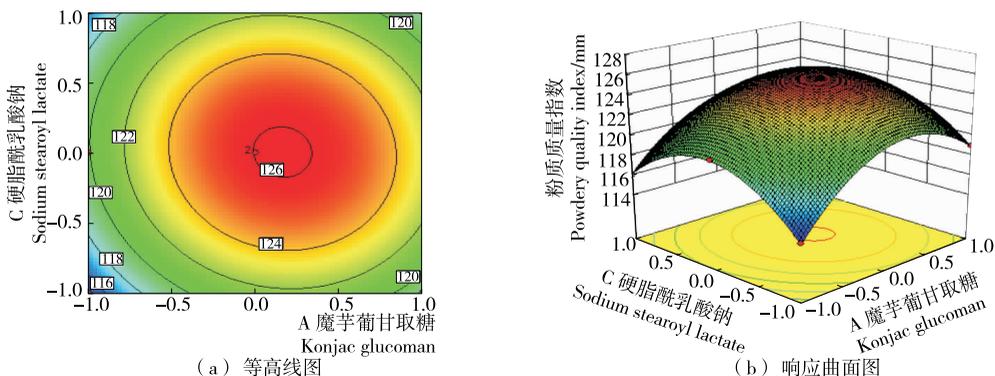


图 6 KGM 与 SSL 对粉质质量指数影响的等高线图 and 响应曲面图

Figure 6 Contour plot c and response surface plot d of the effect of konjac gum and sodium stearoyl lactate on powder quality index

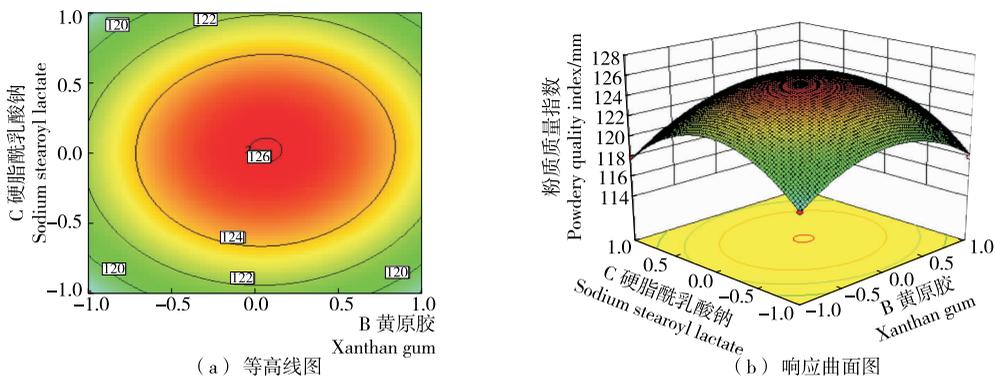


图 7 黄原胶与 SSL 对粉质质量指数影响的等高线图 and 响应曲面图

Figure 7 Contour plot e and response surface plot f of the effect of xanthan gum and sodium stearoyl lactate on powder quality index

合状态^[14],同时可增大面筋和淀粉颗粒及颗粒之间的相互作用,从而形成稳定有序的三维空间结构,影响面团粉质质量指数。

由图6可知,KGM和SSL对粉质质量指数的影响程度不同,当SSL的比例一定时,随着KGM的增加,粉质质量指数呈现先升后降的趋势。KGM与SSL的复配交互作用对面团的粉质质量指数影响显著,但粉质质量指数对KGM反应更为敏感。KGM与SSL均可作为乳化剂,添加到面团中后,在与面筋相互作用时,其亲水基团和疏水基团分别与麦醇溶蛋白、麦谷蛋白结合,形成了面筋蛋白复合物面团,使面团的持气性在一定程度上有所改善,提高了面团的稳定性。

由图7可知,黄原胶和SSL的复配对粉质质量指数的影响程度相对较弱,但粉质质量指数对黄原胶反应更为敏感。当SSL的比例一定时,随着黄原胶的增加,粉质质量指数呈现先升后降的趋势。但SSL的存在,能与蛋白质形成蛋白质脂肪链,将面团中游离分散状态的面筋蛋白充分连接起来,更利于形成致密的面筋网络结构,增强面团的机械碰撞和发酵的温度等,从而促进面团发酵,同时SSL的添加可能组织蛋白质的去凝聚作用,使面团在搅拌时得以充分的扩展,增进了面团的筋力^[7,15]。

采用Design Expert 10.0数据分析软件对表3的试验结果进行综合性优化分析,得到复配胶的最佳配比为:KGM 0.47%,黄原胶 0.07%,SSL 0.12%,理论得出的FQN为130 mm。将此配比后的复配胶加入到全麦面包粉中进行实验验证(3次),测得的FQN均值为129 mm,与理论值接近,说明此优化配比的可靠性,可将此配比应用于实际试验,并进行后期的结果分析和比对。

2.3 复配胶对全麦面包的影响

2.3.1 复配胶对全麦面包比容的影响 面包的比容可反映出面团体积的膨胀程度和保持能力,比容会直接影响面包成品的组织、口感和外形。将添加了优化后比例的复配胶全麦面包与空白组面包测定的比容值进行对比。

由表4可知,由于全麦面包复配胶的添加,面包比容

表4 添加复配胶全麦面包的比容值测定结果

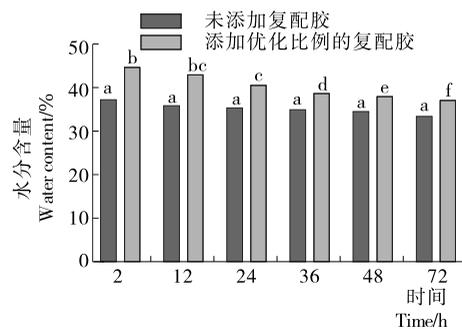
Table 4 Determination results of specific volume value of bread added compound gum

样品	面包的比容值/($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)
空白组面包	3.57
复配胶全麦面包	4.49

值有所增大,其原因是KGM和黄原胶作为亲水胶体,可增大面筋和淀粉颗粒及颗粒之间的相互作用,形成稳定有序的三维空间结构,提高了面团的稳定性,改善其面筋的弹性与筋力,从而增大面包体积,使比容增大。

2.3.2 复配胶对全麦面包含水量的影响 将添加了优化后比例的复配胶全麦面包与空白组面包进行不同时段的水分测定。由图8可以看出,复配胶的添加使全麦面包含水量明显增多,呈显著性差异,主要原因是复配胶提高了面团稳定性,增加面团吸水量,且KGM、SSL和黄原胶都具有较好的吸水、持水能力,添加后可有效减慢面粉中水分迁移速率。

2.3.3 复配胶对全麦面包质构的影响 将添加了优化后比例的复配胶全麦面包与空白组面包进行不同时段的质构测定。由表5可知,添加了优化后比例的复配胶全麦



字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图8 添加复配胶全麦面包不同时间段的水分测定结果
Figure 8 Determination of water content in bread mixed with compound gum at different times

表5 添加复配胶面包不同时间段的质构测定结果

Table 5 Texture determination results of bread mixed with compound gum at different time intervals

时间/h	样品	硬度/g	弹性	咀嚼性/g
2	空白组面包	376.03±2.85	0.465±0.021	223.92±1.35
	复配胶全麦面包	205.92±1.79	0.455±0.018	149.06±0.96
24	空白组面包	439.23±1.27	0.343±0.013	264.30±1.05
	复配胶全麦面包	234.81±1.50	0.383±0.011	171.81±1.29
48	空白组面包	549.45±2.50	0.252±0.011	316.82±1.07
	复配胶全麦面包	272.83±1.80	0.305±0.005	189.15±1.08
72	空白组面包	638.12±2.17	0.166±0.005	364.28±2.33
	复配胶全麦面包	326.60±1.00	0.272±0.003	210.65±1.64

面包较空白组面包的硬度小,咀嚼性小。因面包随着放置时间的延长,硬度会变得越来越大,添加了复配胶的全麦面包,在一定程度上对面包起延缓老化的作用。复配胶延缓老化的原因可能是亲水胶体能很好地保持住水分,KGM 和黄原胶作为多糖,其分子结构中含有许多亲水基团,如羟基能与淀粉链上的羟基以及周围的水分形成氢键,并且能与其他大分子,如蛋白质、脂质发生作用,形成分子质量更大的复合体。另外,SSL 作为乳化剂,可与直链淀粉发生相互作用,形成不溶性复合物,进而抑制直链淀粉的老化。

2.3.4 复配胶对全麦面包感官品质的影响 将添加了优化后比例的复配胶全麦面包与空白组全麦面包进行感官评定。由图 9 可看出,添加复配胶后的面包各方面感官评定项目分值均有所提高,综合项目的平均分为 90.01,较空白组的 79.93 提高了 12.6%,进一步说明了 KGM、黄原胶和 SSL 之间具有良好的协同增效作用。由于 KGM 可使面包芯的质地均匀细腻且富有弹性,口感柔软;黄原胶也可改善面包的口感;SSL 在与小麦粉的面筋蛋白相互作用时,可形成面筋蛋白复合物,使面筋网络更有弹性更细致。三者以最优比例加入全麦面包制作中,从而更好地改善面包的烘焙效果和感官品质。

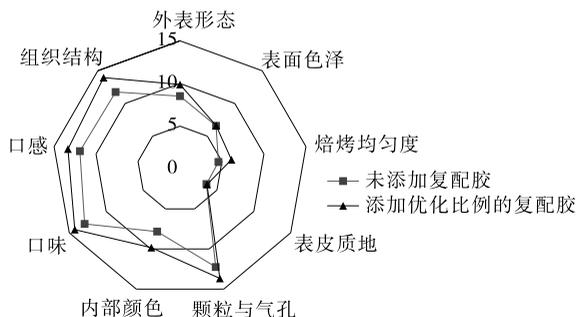


图 9 添加面包复配胶面包的感官评分雷达图

Figure 9 Sensory scoring radar map of bread mixed with compound gum

3 结论

研究探索了单独添加 3 种胶体即 KGM、黄原胶、SSL 对全麦面粉流变学特性的影响,KGM 和黄原胶可使面包的内部组织结构细腻、气孔均匀,但制得面包比容较小;SSL 虽然能增大面包的体积和持气性,但其内部组织结构较粗糙。通过对面团品质具有一定相关度的 FQN 值的检测,结合响应面分析试验,获得 KGM、黄原胶、SSL 的最优复合添加量,所得的复配胶因发挥了三者之间的协同增效以及互相弥补单一元素不足之处的原因,使得制成的全麦面包,与普通全麦面包在比容、不同储藏时间段水分含量、质构以及感官品质进行对比,结果表明,添加优化比例后的复配胶的全麦面包,在面包口感、质地以及抗老化性质上均得到极大改善,增大了全麦

面包的体积,改善了全麦面包口感粗糙的烘焙特性,延长了面包的储存周期。

试验并未就复配胶与全麦面包中其他基料的比例优化做进一步的研究,为更好地研究三者的复配胶对全麦面包的影响,需进一步对复合胶在分子层面上的复合机理做更深的探究。

参考文献

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

[2] HAROS M, ROSELL C M, BENEDITO C. Improvement of flour quality through carbohydrases treatment during wheat tempering[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(14): 4 126-4 130.

[3] GÓMEZ M, REAL S D, ROSELL C M, et al. Functionality of different emulsifiers on the performance of breadmaking and wheat bread quality[J]. European Food Research and Technology, 2004, 219(2): 145-150.

[4] ROSELL C M, ROJAS J A, BENEDITO de B C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality[J]. Food Hydrocolloids, 2001, 15(1): 75-81.

[5] 刘海燕, 张娟娟, 王晓梅, 等. 不同胶体对面包烘焙特性的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2014(7): 129-134.

[6] 王雨生, 陈海华, 王坤. 亲水胶体对面包品质和面团流变学特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 105-109.

[7] 黄绍华, 温辉梁, 黄德高, 等. 硬脂酰-2-乳酸钠对面团性能的改良作用[J]. 食品与发酵工业, 1994(1): 44-46.

[8] 杨雪飞, 袁蓓蕾, 罗水忠, 等. 品质改良剂对复合杂粮面包粉流变学特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(11): 75-80.

[9] 李崇高, 何鑫磊, 黄建初, 等. 复配胶对面团流变性的影响及其在面包中的应用[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 15-19.

[10] MARQUART L, JONES J M, COHEN E A, et al. The future of whole grains[M]. MARQUART L, JACOBS JR D R, MCLINTOSH G H, et al. Whole Grains and Health. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2007: 3-16.

[11] 杨文丹, 张宾乐, 庄靓, 等. 发酵麦麸对面包面团生化特征及烘焙学特性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 6-11.

[12] 姜薇莉, 孙辉, 凌家煜. 粉质质量指数(FQN)对于评价小麦粉品质的实用价值研究[J]. 中国粮油学报, 2004, 19(2): 42-47.

[13] 邓志英, 田纪春, 张华文, 等. 粉质质量指数在冬小麦面团品质及烘烤品质中的应用价值研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(4): 673-680.

[14] COLLAR C, ANDREU P, MARTINEZ J C, et al. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: Response surface methodology study[J]. Food Hydrocolloids, 1999, 13(6): 467-475.

[15] 毛羽扬, 高蓝洋, 朱在勤, 等. 单甘酯和硬脂酰乳酸钙/钠对扬麦 16 面粉理化品质特性影响的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(11): 65-68.