

复合改良剂对小麦面团特性及馒头品质的改善作用

刘依林, 李冰, 吴虹*

(华南理工大学食品科学与工程学院, 广东省天然产物绿色加工与产品安全重点实验室, 广东广州 510640)

摘要: 为了改善小麦面团的加工特性和馒头品质, 选取硬脂酰乳酸钠 (SSL)、L-抗坏血酸、 β -葡聚糖酶三种改良剂进行复配优化试验。首先以小麦面团特性和馒头品质为评价指标, 进行单因素试验, 结果发现三种改良剂的添加均对小麦面团特性或馒头品质有显著影响。在此基础上, 以硬度为响应值, 进行三因素三水平的响应面试验, 确定了复合改良剂的最佳配方: SSL 添加量 0.16%、L-抗坏血酸添加量 160 mg/kg、 β -葡聚糖酶添加量 80 mg/kg。添加复合改良剂后馒头硬度为 875.58 g, 下降了 38.4%; 比容为 3.01 mL/g, 增大了 12.7%, 优于单一乳化剂对馒头的改善效果。此外, 复合改良剂亦改善了小麦面团的流变、拉伸等加工特性, 并且增强了小麦面团的持水性, 表明其具有减慢产品老化速率, 延长货架期的潜力。

关键词: 复合改良剂; 小麦面团; 馒头; 加工特性; 硬度

文章编号: 1673-9078(2022)08-199-207

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.8.1216

Enhancement of Wheat Dough Characteristics and Steamed Bread Quality Using Compound Modifiers

LIU Yilin, LI Bing, WU Hong*

(College of Food Science and Engineering, Guangdong Province Key Laboratory for Green Processing of Natural Products and Product Safety, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: To improve the processing characteristics of wheat dough and the quality of steamed bread, sodium stearoyl lactate (SSL), L-ascorbic acid, and β -glucanase were chosen as compound modifiers and their composition was optimized. First, single factor experiments were conducted using wheat dough characteristics and steamed bread quality as evaluation indexes. The results showed that the addition of the three modifiers had a significant effect on wheat dough characteristics or steamed bread quality. Considering this, hardness was taken as the response value to perform response surface experiments with three factors and three levels. The optimal formula for the compound modifier was determined as addition of 0.16% SSL, 160 mg/kg L-ascorbic acid, and 80 mg/kg β -glucanase. After adding the compound modifiers, the hardness of steamed bread decreased by 38.4% to 875.58 g, whereas its specific volume increased by 12.7% to 3.01 mL/g, thus indicating that the improvement effect of compound modifiers was superior to that of a single emulsifier on steamed bread. In addition, compound modifiers enhanced the rheological and tensile properties of wheat dough, as well as its water holding capacity, suggesting that compound modifiers have the potential to slow down the aging rate of products and prolong shelf life.

Key words: compound modifiers; wheat dough; steamed bread; processing characteristics; hardness

引文格式:

刘依林,李冰,吴虹.复合改良剂对小麦面团特性及馒头品质的改善作用[J].现代食品科技,2022,38(8):199-207,+96

LIU Yilin, LI Bing, WU Hong. Enhancement of wheat dough characteristics and steamed bread quality using compound modifiers [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(8): 199-207, +96

南方馒头是以小麦粉为原料, 经拌和形成面团, 再经发酵后汽蒸而成的一种食品, 在我国人民的膳食

收稿日期: 2021-11-03

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (19201909240200003)

作者简介: 刘依林 (1998-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品加工,

E-mail: 1172890681@qq.com

通讯作者: 吴虹 (1971-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物技术, E-mail:

bbhwu@scut.edu.cn

结构中占有重要地位。近年来, 随着人们生活水平的提高, 对优质面制品的需求日益增多, 优质馒头的生产已成为面制品行业的发展趋势之一^[1]。影响馒头品质的因素除了加工工艺, 最主要的还是原料小麦粉的品质^[2]。小麦粉一般按其蛋白质含量多少分为高筋、中筋和低筋三种品种, 不同种类小麦粉形成的面团具有不同的特性和用途。我国的小麦总产量较高, 但存在明显的结构性矛盾, 表现为以中筋品种为主, 而用

于生产高品质馒头的优质高筋小麦供给紧张。这就促使人们采用改良剂对中低筋粉进行后处理以满足人们对于优质馒头的需求^[3]。

馒头品质的优劣可以通过比容、硬度等指标进行衡量,而小麦面团的拉伸、持水性等可以评价其加工性能。目前对南方馒头品质的改良主要集中在增大其比容以改善外观,以及减小馒头的硬度等以改善口感,而其品质与面筋蛋白的结构息息相关,因此,可以通过增强面筋蛋白结构改善馒头品质。一般地,常用于馒头的改良剂可分为乳化剂、酶制剂、氧化剂和亲水胶体,它们能够调节面团筋力,降低馒头硬度、咀嚼度,增大比容等。目前研究较多的改良剂是乳化剂硬脂酰乳酸钠(SSL),其添加量一般为0.1%~0.5%,主要作用是调节馒头内部面筋、水、油脂之间的相互作用,减小馒头的硬度等。但单一改良剂往往存在添加量大、效果不全面等问题,因此研究者常将多种改良剂协同使用,以减小添加量以及增强改善效果。现有研究表明,L-抗坏血酸能通过氧化作用使面筋网络结构更加致密^[4],而 β -葡聚糖会使面团中紧密结合水含量减小^[5]。因此,本文拟通过加入 β -葡聚糖酶以降减小麦面团中的 β -葡聚糖,从而增强其持水性;此外,再将其与L-抗坏血酸与SSL复配提高馒头的品质,使馒头更加松软可口,并改善其在制作过程中的加工性能。基于该思路,实验以中筋小麦粉、酵母、水为主要原料,选取SSL、L-抗坏血酸、 β -葡聚糖酶三种改良剂进行三因素三水平的响应面试验,确定馒头复合改良剂的最佳配方;同时以SSL单一改良剂为对照,考察该复合改良剂对小麦面团加工性能的改善效果。

1 材料与方 法

1.1 原料与试剂

新良中式面点粉(规格500g),豫粮集团濮阳专用面粉有限公司;新良高活性干酵母,新乡良润全谷物食品有限公司; β -葡聚糖酶(98%),上海麦克林生化科技有限公司;L-抗坏血酸(99%)、SSL,上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

柏翠PE 4500厨师机,北京柏翠公司;上海一恒恒温恒湿箱,上海一恒科学仪器有限公司;METTLER TOLEDO电子天平,瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司;TA.XT.Plus质构仪,英国SMS公司;AR1500EX流变仪,美国TA公司;NMI20-040H-IN纽迈低场核磁共振仪,上海纽迈电子科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 小麦面团的制备

小麦面团的制作参照王杰琼等^[6]的方法,并略作修改。在100g中筋小麦粉中加入53g水及适量改良剂,然后置于和面机中和面7min。将和好的面团搓圆成型,用保鲜膜包裹后室温静置松弛10min。将面团放入恒温恒湿箱(30℃,湿度85%)中醒发30min后取出待测。

1.3.2 馒头的制作

馒头的制作参照王杰琼等^[6]的方法,并略作修改。

(1)和面:在100g中筋小麦粉中加入1g酵母、53g水及适量改良剂,然后置于和面机中和面7min。

(2)发酵:将和好的面团搓圆成型后放入恒温恒湿箱(30℃,湿度85%)中发酵1h。

(3)蒸制:取出,室温放置15min后,放入已煮沸并垫有纱布的铝蒸锅屉上蒸20min(冒气起计时)。

(4)冷却:蒸制完毕后取出,盖上干纱布冷却1h。

1.3.3 馒头比容的测定

馒头的比容按小米置换法测定^[7]。首先将小米倒入1L塑料透明量杯中,用切面刀将量杯表面刮平,溢出的小米放回袋中。倒出量杯中的部分小米于不锈钢缸中,使量杯中的小米保持约600mL,将冷却后的馒头称重,取称重后的馒头放入量杯内,加入部分不锈钢缸中的小米填满量杯,再次用切面刀将量杯表面刮平,此时溢出的小米用100mL量筒测量得出体积V,即为馒头体积,体积除以质量即为比容。

1.3.4 馒头硬度、咀嚼度的测定

采用TA.XT.Plus质构仪测定馒头的硬度、咀嚼度。馒头冷却1h后,用刀将馒头纵切成厚度为15mm的薄片,选择P36R探头将馒头片放在测试台上进行TPA测试,获得馒头硬度等数据,每个样品重复测定三次,取平均值^[8]。参数设定:测试前速率1.0mm/s,测试速率1.0mm/s,测试后速率1.0mm/s,压缩程度50%,感应力5g,两次压缩间隔时间5s。

1.3.5 小麦面团持水性的测定

称取10g面团样品,用保鲜膜包裹后放入核磁试管中,轻轻压平面团使之与核磁试管充分接触,快速将核磁试管移入核磁共振仪的磁场线圈中心位置,进行CPMG脉冲序列的扫描实验。

仪器参数校正采用FID序列,样品测试采用CPMG序列。本实验采用的参数:采样点数TD为120022,回波个数C0为1000,半回波时间TE为0.2

ms, 重复扫描次数 NS 为 8。

利用 T2-FitFrm 软件 CPMG 序列反演得到各样品的波谱图, 其中峰 1、峰 2、峰 3 分别代表三个不同的峰, 即三种不同自由度的水分。其中峰 1 代表深层结合水, 峰 2 代表半结合水, 峰 3 代表相对自由水。运用深层结合水含量来衡量面团的持水性, 深层结合水含量为峰 1 面积占总峰面积的比例^[9]。

1.3.6 小麦面团拉伸性能的测定

采用 TA.XT.Plus 质构仪测定小麦面团的拉伸性能。先用液体石蜡均匀涂刷制备槽的凹槽和压板, 将制备好的面团压入聚四氟乙烯板中, 静置 15 min 以允许其应力松弛。而后将压制出的面团条快速挑出, 置于已安装固定好的拉伸探头中, 测定面团的拉伸性能。测试参数为: 探头为 A/KIE, 模具为 Tension, 测试速度 3.3 mm/s, 测试距离 75.0 mm。通过记录面团从测试开始到面团断裂的拉伸阻力-拉伸距离曲线, 记录最大拉伸阻力、延伸度等面团拉伸特性参数^[10]。

1.3.7 小麦面团流变性能的测定

应用 AR 流变仪测定不同面团的流变特性。将面团放在测试平行板中央, 选用 40 mm 平行板探头压缩至狭缝间隙为 2 mm, 刮去平行板周围多余的面团, 使用凡士林涂抹样品的边缘, 待面团平衡 5 min 后开始测试, 扫描频率范围为 0.1~100 Hz, 应变振幅设置为 1%, 得到面团的弹性模量 (G') 和黏性模量 (G'') 随频率的变化曲线^[11]。

1.3.8 单因素试验

分别研究三种改良剂对小麦面团特性和馒头品质的影响规律, 其中 SSL 添加量为 0.1%、0.2%、0.3%、0.5%; L-抗坏血酸添加量为 100、150、200、300 mg/kg; β -葡聚糖酶添加量为 50、100、200、500 mg/kg。

1.3.9 响应面试验

根据 Box-Behnken 的试验设计原理, 在单因素试验基础上, 确定试验因素与水平, 以馒头硬度为响应值设计响应面试验进一步优化。因素与水平如表 1 所示。

表 1 响应面试验因素水平表

Table 1 Response surface experimental factors level table

水平	A: β -葡聚糖酶添加量/(mg/kg)	B:L-抗坏血酸添加量/(mg/kg)	C:SSL 添加量/%
-1	80	150	0.1
0	90	175	0.15
1	100	200	0.2

1.4 数据统计分析

利用 Design Expert 10 进行响应面分析, 并采用 SPSS 26 和 Origin 2018 进行数据处理和作图。所有数据平行测定三次, 数据以“平均值 \pm 标准差”表示, 以 $p < 0.05$ 表示数据之间的显著性差异。

2 结果与讨论

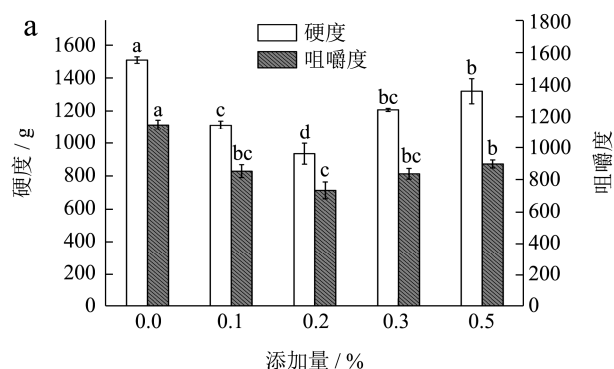
2.1 单一改良剂对小麦面团特性及馒头品质的影响

2.1.1 SSL 对馒头品质的影响

质构分析是一种重要的食品质地分析方法, 它从力学和流变学的角度模拟人的咀嚼, 使得感官分析更加标准化^[12]。一般以硬度、咀嚼度来评价馒头的质构特性, 其值越小, 馒头越松软可口; 而比容则用来评价馒头的持气能力, 其值越大, 馒头内部包裹气体的面筋结构越紧密, 品质越好。

由图 1 可知, 随着 SSL 添加量的增加, 馒头的硬度、咀嚼度均先减小后增大, 而比容先增大后减小, 差异显

著。当 SSL 添加量为 0.2% 时, 馒头的硬度、咀嚼度最小, 分别为 933.72 g、731.79。继续添加会使硬度、咀嚼度增大, 但均显著小于空白对照; 当 SSL 添加量为 0.3% 时, 馒头的比容最大, 为 2.94 mL/g, 继续添加比容会显著减小。这与 Brites 等^[13]报道的结果相一致, 他们发现 SSL 能增强蛋白质与脂质的相互作用, 降低馒头硬度使馒头保持柔软。这可能是因为 SSL 的亲水和亲油基团一方面可以较好地调节面团内部各成分之间的相互作用, 另一方面可以与面筋蛋白直接结合提升面筋网络强度^[14], 从而有效地防止淀粉老化, 增强馒头的持气性, 在一定范围内增大了比容。综合考虑, 选取 SSL 添加量 0.1%~0.2% 进行后续响应面试验设计。



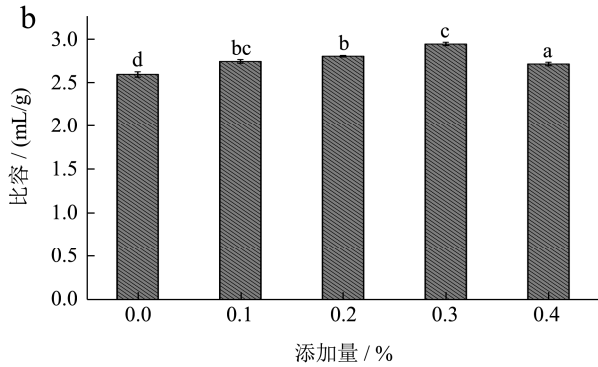


图1 SSL对馒头硬度、咀嚼度(a)和比容(b)的影响

Fig.1 Effect of SSL on the hardness, chewiness (a) and the specific volume (b) of steamed bread

注: 不同字母代表在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著, 下同。

2.1.2 L-抗坏血酸对馒头品质的影响

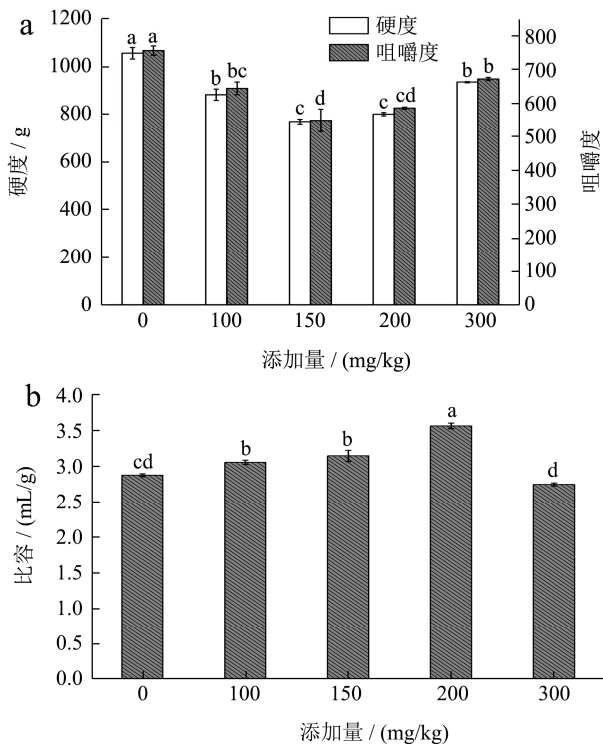


图2 L-抗坏血酸对馒头硬度、咀嚼度(a)和比容(b)的影响

Fig.2 Effect of L-ascorbic acid on the hardness, chewiness (a) and the specific volume (b) of steamed bread

由图2可知, 随着L-抗坏血酸添加量的增加, 馒头的硬度、咀嚼度均先减小后增大, 而比容先增大后减小, 差异显著。当L-抗坏血酸添加量为100 mg/kg时, 馒头的硬度、咀嚼度最小, 分别为769.26 g、548.20; 当L-抗坏血酸添加量为200 mg/kg时, 馒头的比容最大, 为3.56 mL/g, 继续添加会使比容减小, 甚至低于空白对照组。这可能是因为L-抗坏血酸通过氧化反应使面团中的游离巯基氧化为二硫键, 增强了蛋白网络结构, 改善了面筋性能, 使馒头在蒸制过程保留气体的能力更强, 比容更大^[15], 同时, 其可能对面团的物

理性能有一定影响, 譬如抗拉伸性能等, 从而降低了馒头的硬度和咀嚼度, 这与张清等^[16]证明的L-抗坏血酸能显著降低面制品硬度和咀嚼度的结果基本一致, 而过量添加会使面筋强度过大从而阻碍了馒头的发酵膨大^[4]。综合考虑, 选取L-抗坏血酸添加量150~200 mg/kg进行后续响应面试验设计。

2.1.3 β -葡聚糖酶对小麦面团特性的影响

小麦面团的持水性和拉伸性能可以表征其加工特性。由图3可知, 随着 β -葡聚糖酶添加量的增加, 小麦面团的深层结合水含量先增加后减小, 但均显著高于未添加改良剂的面团。当 β -葡聚糖酶添加量为100 mg/kg时, 小麦面团的深层结合水含量最高, 为21.6%, 继续添加反而降低了深层结合水的含量, 而小麦面团深层结合水含量的增加表明其持水性增强。随着 β -葡聚糖酶添加量的增加, 小麦面团的拉伸阻力与延伸度均先增加后减小。当 β -葡聚糖酶添加量为100 mg/kg时, 小麦面团的拉伸阻力和延伸度均最大, 分别为42.94 g、17.58 mm, 继续添加会降低拉伸阻力和延伸度。这可能是由于 β -葡聚糖酶降解了对面筋的二级结构有不利影响的 β -葡聚糖, 使面筋网络结构更加致密, 因此增强了小麦面团的加工特性。综合考虑, 选取 β -葡聚糖酶添加量50~100 mg/kg进行后续响应面试验设计。

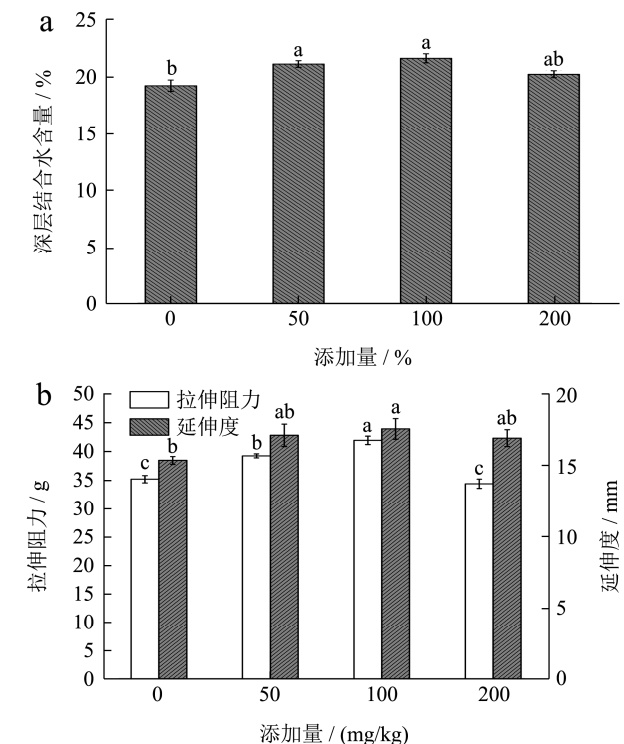


图3 β -葡聚糖酶对小麦面团持水性(a)和拉伸性能(b)的影响

Fig.3 Effect of β -glucanase on the water holding capacity (a) and tensile properties (b) of wheat dough

表 2 响应面试验设计及结果

Table 2 Response surface experiment design and results

编号	Factor 1 A:β-葡聚糖酶/(mg/kg)	Factor 2 B:Vc/(mg/kg)	Factor 3 C:SSL/%	Response 1 硬度/g
1	80	175	0.1	1038.61
2	90	175	0.15	929.21
3	90	175	0.15	913.95
4	80	150	0.15	894.78
5	90	150	0.2	923.648
6	100	150	0.15	953.667
7	90	200	0.1	1190.05
8	90	200	0.2	1126.32
9	100	175	0.1	1224.75
10	90	175	0.15	952.095
11	90	175	0.15	948.656
12	90	175	0.15	939.261
13	100	175	0.2	973.505
14	100	200	0.15	1109.01
15	80	200	0.15	1002.36
16	80	175	0.2	941.641
17	90	150	0.1	1136.4

表 3 响应面二次模型的变量回归分析

Table 3 Variable regression analysis of response surface quadratic model

变异源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值(Prob>F)	
Model	1.745E+005	9	19389.99	69.51	<0.0001	significant
A:β-葡聚糖酶添加量	18388.44	1	18388.44	65.92	<0.0001	
B:Vc 添加量	33702.31	1	33702.31	120.82	<0.0001	
C:SSL 添加量	48781.26	1	48781.26	174.87	<0.0001	
AB	570.47	1	570.47	2.05	0.1958	
AC	5950.19	1	5950.19	21.33	0.0024	
BC	5551.96	1	5551.96	19.90	0.0029	
A ²	15.52	1	15.52	0.056	0.8203	
B ²	11124.12	1	11124.12	39.88	0.0004	
C ²	47373.47	1	47373.47	169.82	<0.0001	
残差	1952.68	7	278.95			
失拟项	992.53	3	330.84	1.38	0.3703	not significant
纯误差	960.15	4	240.04			

2.2 响应面分析法优化复合改良剂配方

2.2.1 响应面试验结果

把上述三个单因素作为自变量，以馒头的硬度为响应值，使用 Design Expert 10 软件设计三因素三水平共 17 个试验。响应面试验设计与结果见表 2。

对试验结果进行二次多元回归拟合，得到改良剂添加量对馒头硬度的回归方程为：

$$Y=+936.63+47.94A+64.91B-78.09C+11.94AB-38.57AC+37.26BC+1.92A^2+51.40B^2+106.07C^2$$

A: β-葡聚糖酶添加量；B: L-抗坏血酸添加量；C: SSL 添加量；R²=0.99，R²_{Adj}=0.97。

对二次项模型进行方差分析，结果见表 3。由表 3 可知，在 α=0.01 的置信水平时，模型回归极显著 (p<0.0001)，模型的确定系数 R²=0.99，表明该模型能解释 99% 硬度的变化；失拟项不显著

($p=0.37>0.05$), 说明该方程对实验数据进行了很好的拟合。该回归模型的总决定系数 $R^2=0.99$, 调整决定系数 $R^2_{Adj}=0.97$, 说明该模型的拟合程度较好, 试验误差小。

通过方差分析结果可知, 一次项 A、B、C, 二次项 B^2 、 C^2 对硬度的影响极显著 ($p<0.01$), 交互项 AC、BC 对硬度的影响极显著 ($p<0.01$)。其余项对硬度的影响不显著 ($p>0.05$) [17]。

2.2.2 响应面分析

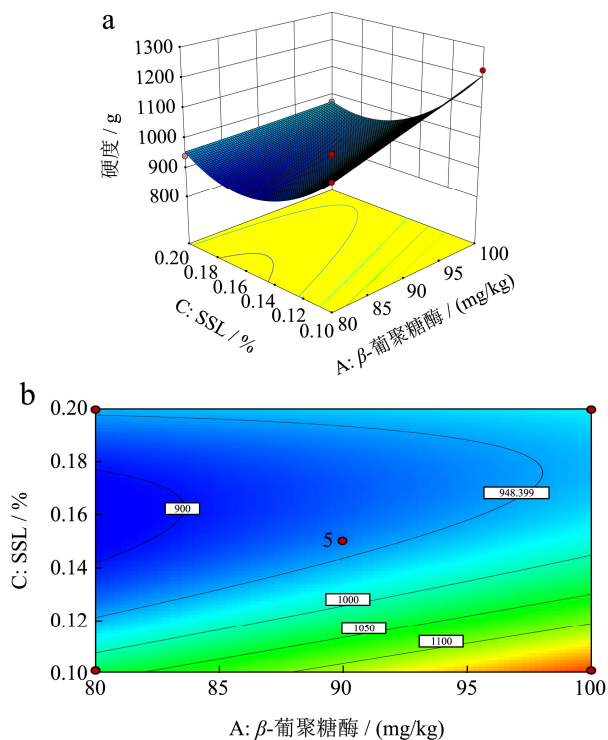


图4 β -葡聚糖酶与 SSL 交互影响馒头硬度的三维响应面图(a)和等高线图 (b)

Fig.4 Three-dimensional response (a) and contour plot (b) of the interaction between β -glucanase and SSL on the hardness of steamed bread

注: 此时 C: L-抗坏血酸=175 mg/kg。

根据模型方程作 3D 曲面图及等高线图, 通过该组图可评价各因素交互影响馒头硬度的作用, 同时可确定各因素的最佳水平及组合。

L-抗坏血酸添加量在 175 mg/kg 时, β -葡聚糖酶和 SSL 添加量的交互作用对馒头硬度的影响如图 4 所示。 β -葡聚糖酶添加量一定时, 硬度随 SSL 添加量的增加出现先减后增的趋势; SSL 添加量一定时, 硬度随 β -葡聚糖酶添加量的增加逐渐增大。 β -葡聚糖酶与 SSL 添加量对馒头硬度的交互作用较强。

β -葡聚糖酶添加量在 90 mg/kg 时, L-抗坏血酸和 SSL 添加量的交互作用对馒头硬度的影响如图 5 所

示。L-抗坏血酸添加量一定时, 硬度随 SSL 添加量的增加出现先减后增的趋势; SSL 添加量一定时, 硬度随 L-抗坏血酸添加量的增加出现先减后增的趋势。L-抗坏血酸和 SSL 添加量对馒头硬度的交互作用较强。

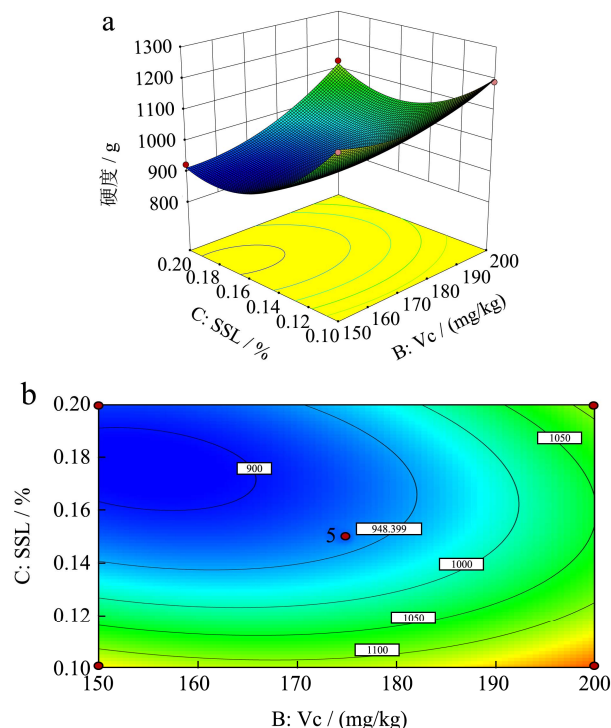
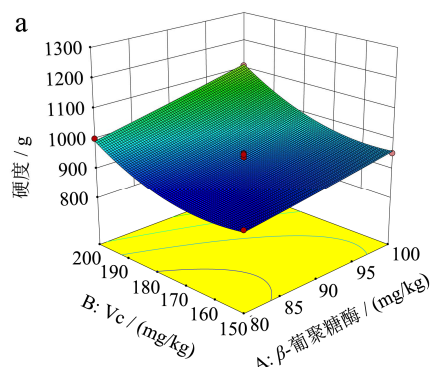


图5 Vc 与 SSL 添加量交互影响馒头硬度的三维响应面图 (a)和等高线图 (b)

Fig.5 Three-dimensional response (a) and contour plot (b) of the interaction between L-ascorbic acid and SSL on the hardness of steamed bread

注: 此时 C: β -葡聚糖酶=90 mg/kg。

SSL 添加量在 0.15% 时, β -葡聚糖酶和 L-抗坏血酸添加量的交互作用对馒头硬度的影响如图 6 所示。 β -葡聚糖酶添加量一定时, 硬度随 L-抗坏血酸添加量的增加出现先减后增的趋势; L-抗坏血酸添加量一定时, 硬度随 β -葡聚糖酶添加量的增加逐渐增大。 β -葡聚糖酶添加量与 L-抗坏血酸添加量对馒头硬度的交互作用不明显。



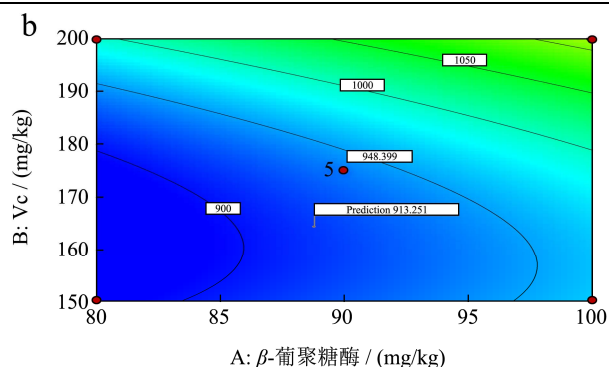


图6 β -葡聚糖酶与L-抗坏血酸添加量交互影响馒头硬度的三维响应面图(a)和等高线图(b)

Fig.6 Three-dimensional response (a) and contour plot (b) of the interaction between β -glucanase and L-ascorbic acid on the hardness of steamed bread

注：此时 C: SSL=0.15%。

设定馒头硬度为最小，此时优化的结果为 β -葡聚糖酶添加量 80 mg/kg，L-抗坏血酸添加量 159.44 mg/kg，SSL 添加量 0.16%，预测值为硬度 868.29 g。从可操作性方面考虑，采用优化组合为 80 mg/kg β -葡聚糖酶，160 mg/kg L-抗坏血酸，0.16% SSL。

2.3 复合改良剂对馒头品质的影响

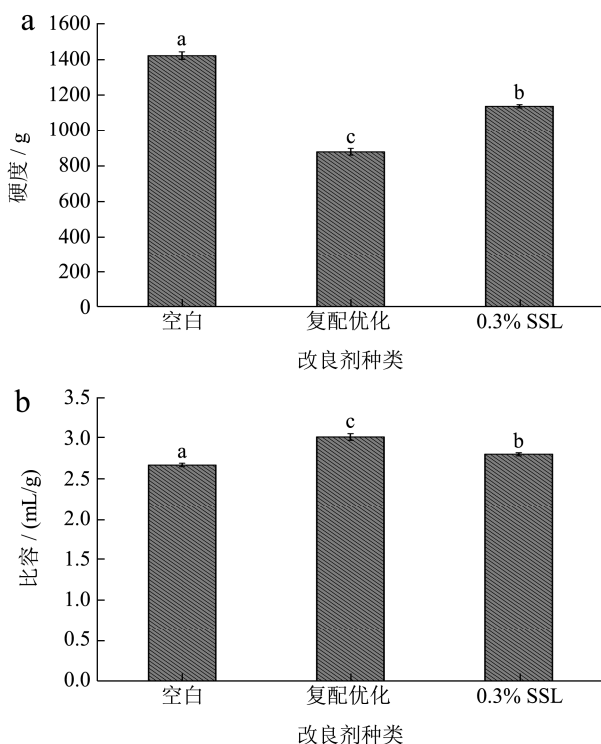


图7 复合改良剂对馒头硬度(a)和比容(b)的影响

Fig.7 Effect of compound modifier on hardness (a) and the specific volume (b) of steamed bread

硬度和比容是衡量馒头品质的重要因素。硬度越小反映馒头越松软，越符合人们的饮食习惯。比容越

大，馒头的持气性越好，外观更饱满。因此，我们考察了复合改良剂对馒头硬度和比容的影响，并以单一乳化剂(0.3% SSL)为对照。从图7结果可知，空白对照组的馒头硬度为1421.87 g，添加单一乳化剂和复合改良剂后该值为1136.07 g和875.58 g，分别减小了20.10%和38.40% ($p < 0.05$)。对于馒头比容而言，添加单一乳化剂和复合改良剂后该值从空白对照组的2.67 mL/g增大至2.80 mL/g和3.01 mL/g，分别提高了4.90%和12.70% ($p < 0.05$)。可以看出，添加了改良剂的馒头品质得到了显著改善，且复合改良剂对馒头硬度的改善能力是单一乳化剂的1.90倍，对馒头比容的改善能力是单一乳化剂的2.60倍。这可能是由于三者发生了一定的相互作用，从而使其改善效果比单独添加SSL的更好。由此可以看出，添加一定量的复合改良剂能够有效地改善馒头的品质指标^[18]，具有实用价值。

2.4 复合改良剂对小麦面团特性的影响研究

2.4.1 复合改良剂对小麦面团持水性的影响

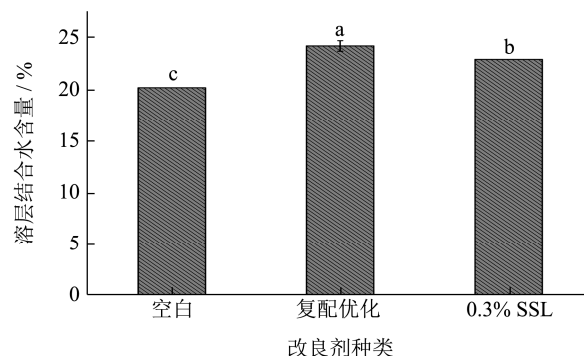


图8 复合改良剂对小麦面团持水性的影响

Fig.8 Effect of compound modifier on water holding capacity of wheat dough

深层结合水含量表示小麦面团内部被面筋网络结构紧密包裹的水分子含量，可以用来表示其持水性的强弱。由图8可知，空白对照组小麦面团深层结合水含量为20.20%，添加单一改良剂和复合改良剂后对应值分别为22.90%和24.20%，提高了小麦面团深层结合水含量 ($p < 0.05$)；而且复合改良剂对面团持水性的改善能力是单一乳化剂的1.50倍，表明复合改良剂对小麦面团持水性的改善作用优于单一乳化剂。复合改良剂组持水性显著提高可能是由于 β -葡聚糖酶能降解对面筋结构有不利影响的 β -葡聚糖，从而增大面团深层结合水含量；此外，L-抗坏血酸能增强面筋网络结构，而SSL能调节水、面筋蛋白等的关系，三者对面团中产生相互作用，导致小麦面团的持水性显著增强。持水性增强说明水分子被更加紧密地锁在面筋蛋白结

构中,因此复合改良剂具有减慢慢头老化速率,延长货架期的潜力^[19]。

2.4.2 复合改良剂对面团拉伸性能的影响

面团拉伸特性的主要指标有最大拉伸阻力和延伸度。最大拉伸阻力指的是拉断面团时拉钩所使用的力,体现了面团的强度和筋力;延伸度指的是从拉钩接触面团直至面团被拉断时拉钩所升高的距离,可反映出面团的延伸性和可塑性。面团的拉伸特性可以反映出其内部结构的稳定性,拉伸阻力越大,则说明面团的抗拉伸性能和稳定性越好,内部结构也更为细腻。

由图 9 可知,空白对照组、单一乳化剂组和复合改良剂组的小麦面团拉伸阻力分别为 35.46 g、40.21 g 和 55.59 g;与空白相比,添加单一乳化剂和复合改良剂后小麦面团的拉伸阻力分别提高了 13.40% 和 56.80% ($p<0.05$)。类似地,添加单一乳化剂和复合改良剂后,小麦面团延伸度分别由空白组的 15.38 mm 提高至 16.98 mm 和 18.51 mm,分别提高了 10.40% 和 20.40%。复合改良剂对面团拉伸阻力和延伸度的改善能力分别是单一乳化剂的 4.20 倍和 2 倍,表明复合改良剂能显著提高小麦面团抗拉伸能力和延展性^[20]。这可能是由于 L-抗坏血酸促进巯基转化为二硫键,增强了面筋网络结构,从而增大了小麦面团的拉伸阻力^[21]; β -葡聚糖酶能够水解 β -葡聚糖在面筋表面形成的高粘性凝胶,从而增强了小麦面团的延展性^[22];另外, L-抗坏血酸和 β -葡聚糖酶的作用使 SSL 更好地发挥调节作用,进而增强了小麦面团在加工过程中的拉伸性能。

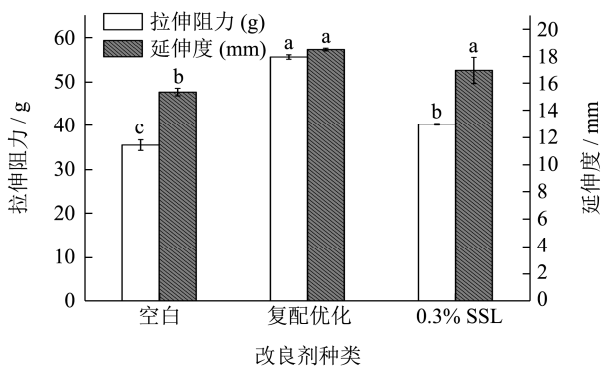


图 9 复合改良剂对小麦面团拉伸性能的影响

Fig.9 Effect of compound modifier on tensile properties of wheat dough

2.4.3 复合改良剂对面团流变性能的影响

面团动态流变学特性是表征面团加工特性的重要指标。动态流变仪测定的 2 个主要参数为弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 。 G' 是表示物质的弹性本质, G'' 是表示物质的黏性本质。由图 10 可知,在同一频率下,由于弹性模量 (G') 总是大于黏性模量 (G''),表明了小

麦面团更多的呈现弹性性质。在同一频率下,与空白组和添加了单一乳化剂组相比,复合改良剂能使小麦面团的弹性模量和黏性模量显著增大^[23],增强了其在加工过程中的流变性能^[24]。我们的前期研究表明三种改良剂单一使用均可在一定程度上增强小麦面团的黏弹性,而复合之后对黏弹性的改善效果更显著。

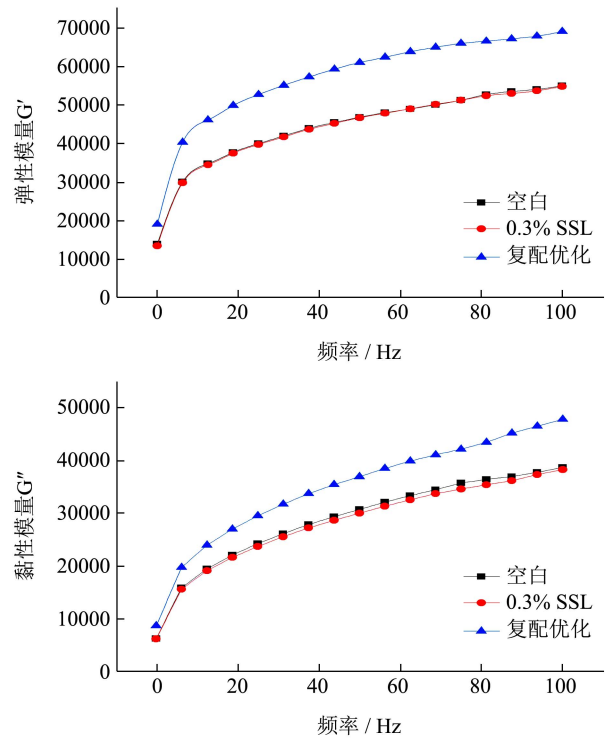


图 10 复合改良剂对小麦面团流变性能的影响

Fig.10 Effect of compound modifier on rheological properties of wheat dough

3 结论

馒头复合改良剂的最佳配方为: 80 mg/kg β -葡聚糖酶, 160 mg/kg L-抗坏血酸, 0.16% SSL。与空白对照相比,添加复合改良剂后硬度为 875.58 g,下降了 38.4%;比容为 3.01 mL/g,改善效果优于单一改良剂。复合改良剂的添加增强了面筋蛋白结构,调节了内部水、油脂等的相互作用,使小麦面团的拉伸、流变等加工特性更好,从而使馒头的品质得到了改善。小麦面团持水性的增强表明该复合改良剂对馒头的贮藏具有潜在改善作用,能在一定程度上延长产品的保质期,因此具有较好的应用前景。

参考文献

[1] Wu C, Liu R, Huang W, et al. Effect of sourdough fermentation on the quality of Chinese northern-style steamed breads [J]. Journal of Cereal Science, 2012, 56(2): 127-133

[2] 王学东,沈炯,李庆龙.小麦粉品质与馒头品质的相关性研

- 究[J].粮食与饲料工业,2007,3:10-12
WANG Xuedong, SHEN Jiong, LI Qinglong. Research on correlation between quality of wheat flour and quality of steamed bread [J]. Cereal and Feed Industry, 2007, 3: 10-12
- [3] 杨春玲.浅谈复合酶制剂在面粉工业中的应用前景[J].粮食加工,2015,40(2):15-17
YANG Chunling. Discussion on application of compound enzyme preparation in the flour industry [J]. Grain Processing, 2015, 40(2): 15-17
- [4] 李丽杰.L-抗坏血酸对面包的抗老化作用研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2013,34(2):100-103
LI Lijie. Study on anti-staling effect of L-ascorbic acid to bread [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2013, 34(2): 100-103
- [5] Li Z, Deng C, Li H, et al. Characteristics of remixed fermentation dough and its influence on the quality of steamed bread [J]. Food Chemistry, 2015, 179: 257-262
- [6] 王杰琼,钱海峰,王立,等.燕麦全粉对面团特性及馒头品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(3):42-49
WANG Jieqiong, QIAN Haifeng, WANG Li, et al. Effects of whole-oat flour on dough properties and quality of steamed bread [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(3): 42-49
- [7] 于小磊,郭雪松,岳昊博.复合改良剂对玉米馒头品质的影响[J].粮食与饲料工业,2011,11:35-37
YU Xiaolei, GUO Xuesong, YUE Haobo. Effect of compound modifier on the quality of corn steamed bread [J]. Grain and Feed Industry, 2011, 11: 35-37
- [8] Renzetti S, Bello F D, Arendt E K. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(1): 33-45
- [9] 吴西芝,刘宝林,樊海涛.低场核磁共振分析仪研究添加剂对冷冻面团持水性的影响[J].食品科学,2012,33(13):21-25
WU Youzhi, LIU Baolin, FAN Haitao. Effect of food additives on water-holding capacity of frozen dough examined by NMR [J]. Food Science, 2012, 33(13): 21-25
- [10] 李鑫.微生物谷氨酰胺转氨酶对小麦粉及馒头品质的影响研究[D].南昌:南昌大学,2012
LI Xin. Studies on effects of microbial transglutaminase on the quality of wheat flour and steamed bun [D]. Nanchang: Nanchang University, 2012
- [11] 黎芳,刘佳,王冉冉,等.葡萄糖氧化酶对全麦面团及全麦馒头品质改良的影响[J].食品工业科技,2019,40(14):6
LI Fang, LIU Jia, WANG Ranran, et al. Effect of glucose oxidase on quality of whole wheat dough and whole wheat steamed bread [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(14): 6
- [12] Franck H, Christian M, Noel A, et al. Effects of cultivar and harvesting conditions (age, season) on the texture and taste of boiled cassava roots [J]. Food Chemistry, 2011, 126(1): 127-133
- [13] Brites C, Trigo M J, Santos C, et al. Maize-based gluten-free bread: influence of processing parameters on sensory and instrumental quality [J]. Food & Bioprocess Technology, 2010, 3(5): 707-715
- [14] 唐语轩.改良剂对冷冻面团及其烘烤面包品质的影响[D].广州:华南理工大学,2018
TANG Yuxuan. Effect of improver on the quality of frozen dough and baked bread [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018
- [15] 张守花,张新海,王显伦.Vc 对冷冻面团及保鲜馒头品质的影响[J].食品研究与开发,2014,35(6):41-43
ZHANG Shouhua, ZHANG Xinhai, WANG Xianlun. Impact of Vc on frozen dough and quality of steamed bread fresh keeping [J]. Food Research and Development, 2014, 35(6): 41-43
- [16] 张清,王鑫,沈群.Vc对面条品质的影响[J].食品研究与开发,2010,31(5):44-47
ZHANG Qing, WANG Xin, SHEN Qun. Effect of Vc on the quality of noodles [J]. Food Research and Development, 2010, 31(5): 44-47
- [17] 杜浩冉,郑学玲,韩小贤,等.响应面法优化混合发酵制作冷冻面团馒头的复合食品添加剂配方[J].食品科学,2015,36(12):36-43
DU Haoran, ZHENG Xueling, HAN Xiaoxian, et al. Optimization of compound food additives for frozen dough steamed breads made with mixed starters by response surface methodology [J]. Food Science, 2015, 36(12): 36-43
- [18] 陈南,陈龙,何强,等.茶多酚对馒头品质的影响及机理初探[J].食品工业科技,2021,42(20):23-31
CHEN Nan, CHEN Long, HE Qiang, et al. Effects of tea polyphenols on the quality of the steamed bun and its mechanism [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(20): 23-31

(下转第 96 页)