

响应面法优化无麸质谷物馒头制备工艺条件及其质构特性研究

李东红,周大宇,杨晋杰,朱力杰,杨立娜,马涛*

(渤海大学食品科学与工程学院,辽宁锦州 121013)

摘要:以玉米粉、糯米粉和大豆粉为原料,制作无麸质谷物馒头。采用单因素试验及响应面法,以感官评分为指标,确定无麸质谷物粉制作馒头的合理配比;在此基础上研究碱性蛋白酶、植物乳杆菌和谷氨酰胺转氨酶对无麸质谷物馒头质构及品质形成的影响。结果表明:3种谷物粉最佳质量比为大豆粉:糯米粉:玉米粉=3:3:4,在此条件下,碱性蛋白酶添加量为4.5%(酶活4 500 U/g)、植物乳杆菌添加量为2.4%、谷氨酰胺转氨酶添加量为2.3%(酶活2 300 U/g)时,制作出的无麸质谷物馒头品质最佳。

关键词:无麸质;谷物馒头;工艺条件;质构特性;响应面

Optimization of the Technology of Gluten-free Steamed Bread by Response Surface Methodology and Its Texture Characteristics

LI Dong-hong, ZHOU Da-yu, YANG Jin-jie, ZHU Li-jie, YANG Li-na, MA Tao*

(College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning, China)

Abstract: The gluten-free steamed bread was made with corn flour, glutinous rice flour and soybean flour as raw materials. The optimum ratio of gluten-free grain flour was determined by single factor test and response surface optimization test, and the sensory evaluation of the product were taken as the evaluation indexes. On this basis, the effect of alkaline protease, *Lactobacillus plantarum* and transglutaminase (TG) on the texture and quality of gluten-free steamed bread was investigated. The results showed that the optimal mass percentage of soybean flour, glutinous rice flour and corn flour was 3:3:4. Under this condition, the suitable quality of gluten-free steamed bread was optimal by adding 4.5% alkaline protease (4 500 U/g enzyme activity), 2.4% *Lactobacillus plantarum* and 2.3% TG enzyme (2 300 U/g enzyme activity).

Key words: gluten-free; corn steamed bread; process conditions; texture characteristics; response surface

引文格式:

李东红,周大宇,杨晋杰,等. 响应面法优化无麸质谷物馒头制备工艺条件及其质构特性研究[J]. 食品研究与开发, 2020,41(24):96-102

LI Donghong, ZHOU Dayu, YANG Jinjie, et al. Optimization of the Technology of Gluten-free Steamed Bread by Response Surface Methodology and Its Texture Characteristics[J]. Food Research and Development, 2020,41(24):96-102

小麦粉是制作传统馒头常用的原料,因为含有麸质即面筋,在产品制作过程中形成三维网络结构,能

够保留酵母发酵过程中产生的二氧化碳,并在蒸汽作用下拉伸,形成最终产品所特有的结构和蜂窝状纹理。尽管麸质在馒头制作过程中发挥着重要的作用,但是部分人群摄入麸质,会引发一种免疫介导疾病——乳糜泻,不摄入含有麸质的食品是目前最有效的预防方法^[1]。由于无麸质谷物粉不含麸质,故无麸质产品与小麦制品有很大差距,所以使用无麸质谷物粉

基金项目:辽宁省重点研发计划指导计划项目(2018205001)

作者简介:李东红(1994—),女(汉),硕士研究生,研究方向:粮食、油脂及植物蛋白工程。

*通信作者:马涛(1962—),男,教授,博士,研究方向:谷物资源利用与功能保健食品研制。

生产高品质馒头成为了一项重大的技术挑战^[2-3]。

玉米富含维生素和功能性物质,具有预防高血压、延缓脑功能退化等功能^[4]。大豆中含有多种人体必需氨基酸,蛋白质含量较高,具有保护心脏、美容养颜等功效^[5]。糯米粉多为支链淀粉,其独特的理化特性,富含钙、铁、磷等多种营养物质,具有健胃养脾,缓解腹胀腹泻等功能特性^[6]。本试验以玉米粉、大豆粉和糯米粉为原料生产无麸质谷物馒头,制作过程中添加适量的碱性蛋白酶、植物乳杆菌和谷氨酰胺转氨酶(transglutaminase, TG 酶)改善其质构与品质,为无麸质谷物馒头研究开发提供基础^[7-8]。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

生黄豆粉(26.2%蛋白质,6.0%脂肪,41.2%碳水化合物,11.0%含水量)、玉米粉(6.7%蛋白质,11%脂肪,71.4%碳水化合物,12.4%含水量):山东美乐嘉食品有限公司;糯米粉(7.6%蛋白质,0.9%脂肪,80.5%碳水化合物,12.3%含水量):新乡良润全谷物食品有限公司;碱性蛋白酶(酶活 10 万 U/g):河南万邦实业有限公司;植物乳杆菌:善恩康生物科技(苏州)有限公司;TG 酶(酶活 10 万 U/g):东圣生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

生化培养箱(SPX-150B-Z):上海博迅实业有限公司医疗设备厂;中式电蒸锅(MZ-SYS28-2B):广东美的生活电器制造有限公司;质构仪(TA-XT Plus):英国 Stable Micro Syetems 公司;旋转流变仪(Discovery HR-1):美国 TA 公司;混合试验仪(Mixolab2):法国肖邦技术公司;电子天平(JY5002):上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

无麸质谷物馒头制作工艺流程:原料粉→加水混合→搅拌→一次发酵(碱性蛋白酶;pH8.0;60 min)→二次发酵(植物乳杆菌;pH6.5、TG 酶;90 min)→切分→揉圆→醒发→蒸制→冷却→成品。

1.3.2 配料

普通无麸质馒头基础配方:大豆粉 30 g,玉米粉 30 g,糯米粉 40 g,小苏打 1.3 g,酵母 0.6 g,泡打粉 0.6 g,半胱氨酸 0.8 g,胱氨酸 0.8 g,水 60 g。

1.3.3 单因素试验

选取大豆粉、玉米粉和糯米粉为原料,利用混合试验仪确定混合粉的配比,在此基础上,探讨碱性蛋白酶、植物乳杆菌和 TG 酶 3 种添加物的添加量对无麸

质谷物馒头质构特性和感官品质的影响,添加物以干粉为基准进行添加,进行单因素试验^[9-11],试验方案如表 1 所示。

表 1 单因素试验
Table 1 Single factor experiment

添加物	添加量/%	其它条件
碱性蛋白酶	3.5、4.0、4.5、5.0、5.5	植物乳杆菌添加量为 2.5%,TG 酶添加量为 2.5%
植物乳杆菌	1.5、2.0、2.5、3.0、3.5	碱性蛋白酶添加量为 4.5%,TG 酶添加量为 2.5%
TG 酶	1.5、2.0、2.5、3.0、3.5	碱性蛋白酶添加量为 4.5%,植物乳杆菌添加量为 2.5%

1.3.4 制备条件优化

综合考察单因素试验结果,采用 Box-Behnken 方法设计响应面模型,选择碱性蛋白酶添加量、植物乳杆菌添加量和 TG 酶添加量为影响因素,以馒头的感官评分为响应值,采用三因素三水平的响应面法进行试验^[12]。试验设计见表 2。

表 2 响应面因素水平编码表
Table 2 Response surface factor level coding table

水平	因素		
	A 碱性蛋白酶 添加量/%	B 植物乳杆菌 添加量/%	C TG 酶 添加量/%
-1	4	2	2
0	4.5	2.5	2.5
1	5	3	3

1.3.5 面粉粉质特性的测定

混合试验仪是测定面粉与水经混合形成面团的过程中面团流变特性变化的仪器。测定开始时,将谷物粉加入面钵中,混合试验仪根据面粉的水分含量计算出吸水率并自动添加蒸馏水,由两个“s”形的搅拌刀进行搅拌,在对应的时间内记录两个搅拌刀对面团的力矩(N·m),根据相应的力矩参数分析不同比例谷物粉的粉质特性^[13]。混合试验仪工艺参数如表 3 所示。混合试验仪参数含义如表 4 所示。

表 3 混合试验仪参数的设定
Table 3 Mixing experimenter parameter settings

进程	温度梯度/(℃/min)	温度/℃	时间/min
第 1 阶段		30	8
第 2 阶段梯度	4		15
第 2 阶段		90	7
第 3 阶段梯度	-4		10
第 3 阶段		50	5

表 4 混合试验仪参照表
Table 4 Hybrid experiment instrument reference table

参数	参数释义
C1	揉混面团时扭矩最大值,用于测定吸水率
C2	用于测定在机械力和加热过程中,蛋白质弱化特性
C3	糊化黏度最大值,用于测定淀粉特性
C4	用于测定淀粉糊化热稳定性
C5	用于测定冷却过程中淀粉回生特性
吸水率(湿基 14%)	C1 达到 $(1.1\pm0.5)\text{N}\cdot\text{m}$ 区间所需加水量,即面粉吸水达到给定黏度所需水量
C1 时间(形成时间)/min	达到 C1 所需时间,面团形成时间越长,面筋强度越强
稳定时间/min	力矩在 C1~11%C1 的时间,表示面团的耐揉性、稳定时间越长,面筋强度越强
C3 时间/min	达到最大黏度所需时间,表示糊化时间。糊化时间越短,烹煮时间越短
C1-C2/(N·m)	表示蛋白弱化特性,值越大说明蛋白质弱化程度越大
C3-C2/(N·m)	表示淀粉糊化特性,值越大说明淀粉糊化特性增强,黏度变大
C3-C4/(N·m)	表示淀粉糊化热稳定性,值越小淀粉糊化热稳定性越强
C5-C4/(N·m)	表示淀粉回生特性,值越大表示淀粉越容易回生

1.3.6 质构特性

取 20 mm×20 mm×20 mm 的馒头芯,25 ℃冷却 1 h,用质构分析仪测定馒头的硬度、弹性、胶着度、咀嚼度等参数。试验参数如下:压缩率 50%,速度为 1 mm,触发力 0.05 N,两种压缩过程停留时间为 10 s,探头为 P50^[14]。

1.3.7 馒头的感官评定

参照 GB/T 35991-2018《粮油检验 小麦粉馒头加工品质评价》,选用 6 名有感官评定经验且经过训练的人员(其中男性、女性各 3 名),对无麸质谷物馒头进行感官评价,取平均值^[15](具体的馒头品质评分精确到 0.01 分)。无麸质谷物馒头感官评分标准见表 5。

表 5 馒头感官品质评分表
Table 5 Steamed bread sensory quality rating table

项目	评分标准
比容(20 分)	比容大于或等于 2.8 mL/g 得满分 20 分;比容小于或等于 1.8 mL/g 得最低分 5 分;每下降 0.1 扣 1.5 分
宽高比(5 分)	宽高比小于或等于 1.40 得最高分 5 分;大于 1.60 得最低分 0 分;在 1.40~1.60 之间每增加 0.05 扣 1 分
弹性(10 分)	手指按压回弹性:8 分~10 分;手指按压回弹性弱:6 分~7 分;手指按压不回弹或按压困难:4 分~5 分
表面色泽(10 分)	光泽性好:8 分~10 分;稍暗:6 分~7 分;灰暗:4 分~5 分
表面结构(10 分)	表面光滑:8 分~10 分;皱缩、塌陷、有气泡或烫斑:4 分~7 分
内部结构(20 分)	气孔细腻均匀:18 分~20 分;气孔细腻基本均匀,有个别气泡:13 分~17 分,边缘与表皮有分离现象,扣 1 分;气孔基本均匀,但有下列情况之一的:10 分~12 分,过于细密,有稍多气泡,气孔均匀但结构稍显粗糙;气孔不均匀或结构很粗糙:5 分~9 分
韧性(10 分)	咬劲强:8 分~10 分;咬劲一般:6 分~7 分;咬劲差,切时掉渣或咀嚼干硬:4 分~5 分
黏性(10 分)	爽口不粘牙:8 分~10 分;稍粘牙:6 分~7 分;咀嚼不爽口,很粘牙:4 分~5 分
食味(5 分)	正常小麦固有的香味:5 分;滋味平淡:4 分;有异味:2 分~3 分

1.3.8 流变特性

取经发酵后的面团 2 g,使用带有 40 mm 平行板探头的流变仪进行测定,间隙为 1 mm,温度为 25 ℃,频率为 0.1 Hz~10 Hz,应变为 0.2%,分别测量弹性模量(G')和黏性模量(G''),评估其流变特性^[16]。

1.4 数据处理

试验均进行 3 次重复,数据以 $\bar{x}\pm s$ 形式表示,应用 Origin 8.5 软件绘制图表,差异显著性采用 SPSS19.0 分析处理。响应面图与回归方程的处理均用 Design-Expert 8.0.6 软件, $P<0.05$ 表示显著影响, $P<0.01$ 表示极显著影响。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 粉配比对谷物粉粉质特性的影响

不同比例的谷物粉对谷物粉粉质特性的影响见表 6。

粉配比为大豆粉:糯米粉:玉米粉=3:3:4 的条件下,目标力矩(C1)接近 1.1,且 C1-C2 值最小,表明蛋白质弱化程度较小^[17]。在此比例下,淀粉糊化特性较大,糊化稳定性最强,不容易回生,此时的面粉特性较其它比例更适合制作馒头。分析原因可能是粉配比在 3:3:4 情况下,糯米粉的增加,能够提升混合粉的吸

表 6 粉配比对谷物粉粉质特性的影响

Table 6 Effect of powder ratio on the grain characteristics of grain flour

粉配比(大豆粉:糯米粉:玉米粉)	力矩/(N·m)								
	C1	C2	C3	C4	C5	C1-C2	C3-C2	C3-C4	C5-C4
3:6:1	1.633	0.744	0.982	0.801	1.047	0.889	0.238	0.181	0.246
3:5:2	1.027	0.759	1.221	1.140	1.632	0.268	0.462	0.081	0.492
3:4:3	1.242	0.773	1.325	1.284	1.606	0.469	0.552	0.041	0.322
3:3:4	1.104	0.920	1.490	1.463	1.556	0.184	0.570	0.027	0.093
3:2:5	1.435	0.855	1.298	0.887	1.220	0.580	0.443	0.411	0.333
3:1:6	0.961	1.409	0.961	1.409	1.828	0.448	0.448	0.448	0.419

水率,使混合粉接近面粉特性,粉质特性较好^[18]。碱性蛋白酶(碱性蛋白酶的添加量以玉米、大豆和糯米的混合粉为基准),测定其质构特性,结果见表 7。

2.1.2 碱性蛋白酶添加量对无麸质谷物馒头品质的影响 糯米

向谷物粉中分别添加 3.5%、4.0%、4.5%、5.0%、5.5% 由表 7 可知,随着碱性蛋白酶添加量的增加,硬度

表 7 碱性蛋白酶添加量对馒头品质及感官评分的影响

Table 7 Effect of alkaline protease on quality and sensory score of steamed bread

试验号	添加量/%	硬度/g	弹性/g	胶着度/N	咀嚼性	感官评分
1	3.5	1 024.966±25.106 ^a	0.188±0.014 ^a	191.686±3.461 ^a	35.052±1.619 ^a	67.53
2	4.0	867.921±37.042 ^b	0.226±0.004 ^b	196.825±5.357 ^a	29.208±3.105 ^b	68.33
3	4.5	482.634±4.467 ^c	0.512±0.014 ^a	91.844±6.104 ^b	11.609±1.313 ^c	70.04
4	5.0	520.142±8.320 ^d	0.147±0.003 ^d	91.888±0.477 ^b	12.659±0.592 ^c	69.17
5	5.5	545.707±6.854 ^e	0.149±0.005 ^d	67.426±1.044 ^e	11.348±0.130 ^c	69.43

注:同列不同字母表示同一指标不同添加量之间的差异显著($P<0.05$)。

和咀嚼性均呈现先减少后平稳的趋势。馒头质构分析在一定范围内,硬度和咀嚼性数值越小,馒头越柔软。较高弹性和胶着度在一定程度上反映了馒头具有较好的膨胀性、柔韧性和组织结构稳定性^[3]。分析原因可能是酶解作用破坏蛋白质内部结构,构架失去支撑作用,硬度减小,咀嚼性也随之减小,弹性较强,此时无麸质谷物馒头较为柔软。结合感官品质评分,确定碱性

蛋白酶的合适添加量为 4.5%。

2.1.3 植物乳杆菌添加量对无麸质谷物馒头品质的影响

面团配方如 1.3.2 操作,向面团中分别添加 1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%植物乳杆菌(植物乳杆菌的添加以玉米、大豆和糯米的混合粉为基准),测定其质构特性,试验结果如表 8 所示。

由表 8 可知,硬度和咀嚼性随植物乳杆菌的添加

表 8 植物乳杆菌添加量对馒头品质及感官评分的影响

Table 8 Effects of *Lactobacillus plantarum* on quality and sensory score of steamed bread

试验号	添加量/%	硬度/g	弹性/g	胶着度/N	咀嚼性	感官评分
1	1.5	525.464±13.815 ^c	0.145±0.003 ^b	63.768±3.363 ^b	15.344±2.279 ^a	65.00
2	2.0	431.999±3.351 ^b	0.138±0.003 ^b	80.689±0.663 ^a	12.851±1.482 ^{ab}	67.33
3	2.5	357.528±3.581 ^c	0.190±0.012 ^a	63.274±7.317 ^b	10.439±0.146 ^b	70.18
4	3.0	378.976±2.927 ^d	0.145±0.005 ^b	67.221±1.993 ^b	12.046±1.300 ^b	68.33
5	3.5	451.347±6.453 ^a	0.148±0.002 ^b	85.027±2.116 ^a	12.149±0.774 ^b	66.67

注:同列不同字母表示同一指标不同添加量之间的差异显著($P<0.05$)。

呈现先下降再上升的趋势,当添加量为 2.5%时,硬度和咀嚼性相对较低,表明此时无麸质谷物馒头较为柔软。植物乳杆菌降解糖类和蛋白质,产生有机酸和游离氨基酸后,pH 值降低,为 TG 酶发挥最大活力提供适宜条件,促进其发挥最大作用^[9]。结合感官品质评分,确定植物乳杆菌的合适添加量为 2.5%。

2.1.4 TG 酶添加量对无麸质谷物馒头品质的影响

面团的制备工艺如 1.3.1 所述,配方如 1.3.2 所述,

向面团中分别添加 1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%TG 酶(TG 酶的添加以玉米、大豆和糯米的混合粉为基准),测定其质构特性,结果见表 9。

由表 9 可知,随着 TG 酶添加量的增加,馒头的硬度和咀嚼性先下降再上升,弹性呈相对平稳的趋势。TG 酶添加量为混合粉的 2.5%时,无麸质谷物馒头的硬度和咀嚼性较低,表明馒头较为柔软。分析原因可能是面团在发酵过程中 TG 酶促进蛋白质进行交联,

表 9 TG 酶添加量对馒头品质及感官评分的影响

Table 9 Effects of TG enzyme on quality and sensory score of steamed bread

试验号	添加量/%	硬度/g	弹性/g	胶着度/N	咀嚼性	感官评分
1	1.5	439.103±3.554 ^b	0.142±0.005 ^c	70.670±3.632 ^{bc}	12.695±0.715 ^a	63.00
2	2.0	393.685±3.466 ^c	0.152±0.009 ^{ab}	53.077±3.794 ^d	9.575±1.826 ^b	66.67
3	2.5	352.907±8.741 ^c	0.156±0.003 ^a	72.543±1.110 ^b	8.526±1.387 ^b	69.83
4	3.0	381.864±1.040 ^d	0.145±0.002 ^{bc}	64.718±5.511 ^c	10.461±1.292 ^{ab}	67.52
5	3.5	479.592±5.892 ^a	0.152±0.002 ^{ab}	88.161±0.874 ^a	12.226±1.263 ^a	62.17

注:同列不同字母表示同一指标不同添加量之间的差异显著($P<0.05$)。

蛋白质网状结构强度增大,利于馒头成型^[20]。但随着 TG 酶添加量增加,吸水量持续增大,面团黏度增加,发酵性能降低。结合感官品质评分,确定 TG 酶的合适添加量为 2.5%。

由单因素试验结果可知,碱性蛋白酶添加量为 4.5%、植物乳杆菌添加量为 2.5%、TG 酶添加量为 2.5%时,馒头品质特性较好。感官评价能够直观地反映出无麸质谷物馒头的品质,综合分析,选取感官评分为响应值进行响应面分析,确定出 3 种添加物添加量的最优组合。

2.2 响应面优化试验

2.2.1 回归模型的建立与分析

对碱性蛋白酶添加量(A)、植物乳杆菌添加量(B)、TG 酶添加量(C)进行三因素三水平响应面试验,试验结果见表 10。方差分析见表 11。

表 10 响应面设计方案及结果

Table 10 Design scheme and result of response surface

序号	因素			感官评分
	A 碱性蛋白酶添加量	B 植物乳杆菌添加量	C TG 酶添加量	
1	1	0	-1	68.17
2	0	0	0	71.83
3	0	-1	1	68.00
4	0	0	0	71.50
5	0	0	0	72.33
6	-1	-1	0	69.00
7	1	0	1	67.00
8	-1	0	1	66.50
9	1	-1	0	69.33
10	0	0	0	72.83
11	-1	0	-1	67.83
12	0	0	0	72.17
13	0	-1	-1	69.83
14	0	1	1	67.67
15	1	1	0	66.67
16	-1	1	0	67.67
17	0	1	-1	66.33

采用 Design-Expert 试验设计软件对表 10 的数据进行多元回归拟合,得到二次多项式回归方程: $Y=$

表 11 回归模型方差分析

Table 11 Variance analysis of regression model

项目	平方和	自由度	均方	F 值	P
模型	78.29	9	8.70	33.61	<0.000 1
A	3.613×10 ⁻³	1	3.613×10 ⁻³	0.014	0.909
B	7.64	1	7.64	29.53	0.001
C	1.12	1	1.12	4.32	0.076
AB	0.44	1	0.44	1.71	0.233
AC	6.400×10 ⁻³	1	6.400×10 ⁻³	0.025	0.880
BC	2.51	1	2.51	9.71	0.017
A ²	21.76	1	21.76	84.09	<0.000 1
B ²	12.04	1	12.04	46.52	0.001
C ²	25.97	1	25.97	100.34	<0.000 1
残差	1.81	7	0.26		
失拟项	0.79	3	0.26	1.04	0.466
纯误差	1.02	4	0.25		
总离差	80.10	16			

注: $P<0.01$ 表示极显著, $0.01<P<0.05$ 表示显著。

$72.13+0.21A-0.98B-0.37C+0.04AB+0.79AC+0.37BC-2.27A^2-1.69B^2-2.48C^2$ 。

由表 11 可知,影响无麸质谷物馒头感官评分的顺序为:植物乳杆菌添加量>TG 酶添加量>碱性蛋白酶添加量。回归方程模型 $P<0.000 1$,该模型极显著,失拟项 $P=0.466$ 不显著,说明该回归方程是可行的。模型的决定系数 R^2 为 0.977 4, R^2_{adj} 为 0.948 3,表明感官评分的实际值与预测值拟合较好。由此可知,各试验因素对响应值的影响不是简单的线性关系。

2.2.2 响应面两两因素间交互作用

绘制响应面三维立体图见图 1~图 3^[21]。

由图 1 可知,当 TG 酶添加量一定时,碱性蛋白酶添加量与植物乳杆菌添加量交互作用不显著,植物乳杆菌添加量对感官评分影响显著,且随植物乳杆菌添加量的增加先上升后下降。由图 2 可知,当植物乳杆菌添加量一定时,碱性蛋白酶添加量与 TG 酶添加量交互作用不显著。由图 3 可知,植物乳杆菌添加量和 TG 酶添加量交互作用显著,感官评分随两种添加物添加量的增加变化较大。利用 Box-Behnken 设计响应面对试

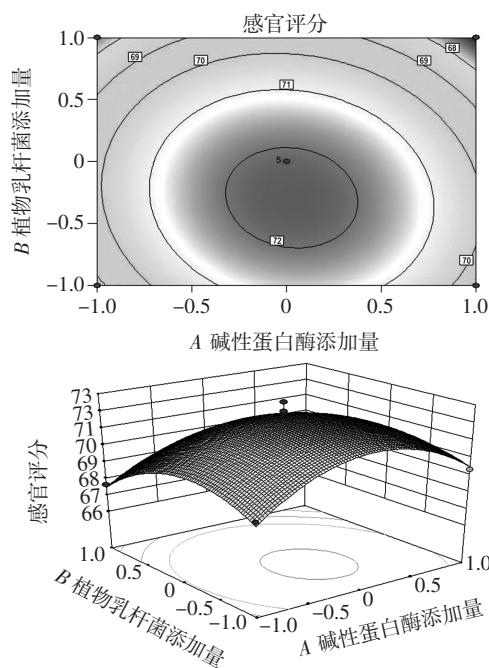


图1 碱性蛋白酶添加量和植物乳杆菌添加量对馒头感官评分的影响
Fig.1 Effects of alkaline protease and *Lactobacillus plantarum* on sensory evaluation of steamed bread

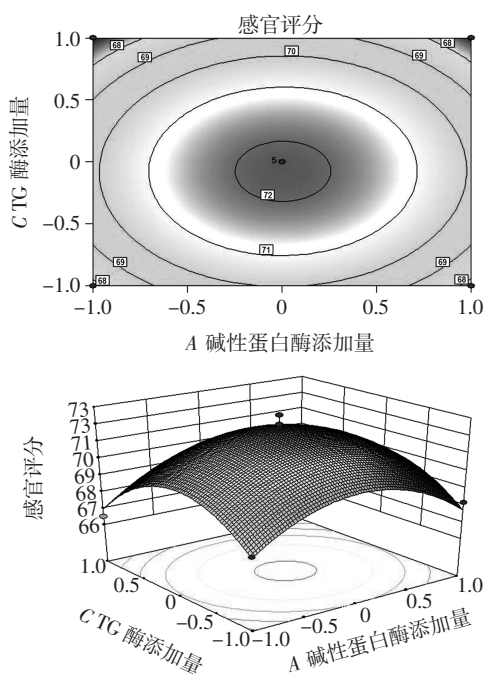


图2 碱性蛋白酶添加量和TG酶添加量对馒头感官评分的影响
Fig.2 Effects of alkaline protease and TG enzyme on sensory evaluation of steamed bread

验结果进行优化,得出最佳工艺参数:碱性蛋白酶添加量为4.5%,植物乳杆菌添加量为2.4%,TG酶添加量为2.3%,模型预测感官评分为72.313。为验证试验可靠性,选取最优添加量制作无麸质谷物馒头进行感官评定,取3组平行,感官评分平均值为71.667,与预测值相符,表明响应面优化无麸质谷物馒头加工工艺

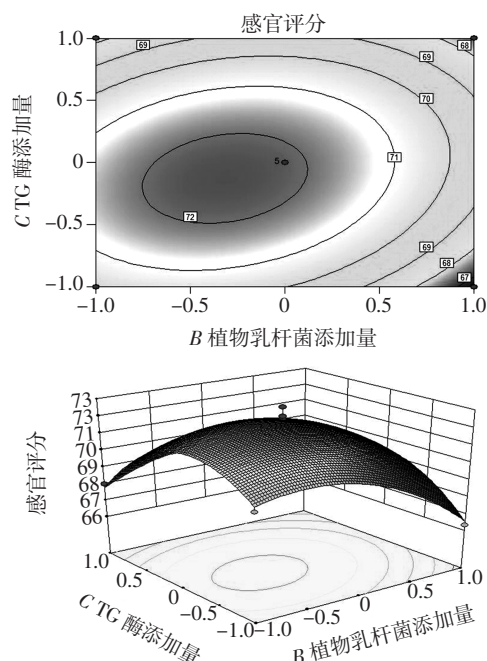


图3 植物乳杆菌添加量和TG酶添加量对感官评分的影响
Fig.3 Effects of *Lactobacillus plantarum* and TG enzyme on sensory evaluation

的可靠性较高^[22-24]。

2.3 优化结果对面团流变学特性的影响

根据响应面试验预测的最佳工艺参数,做3组重复试验,分别测试其面团的流变学特性,结果如图4所示。

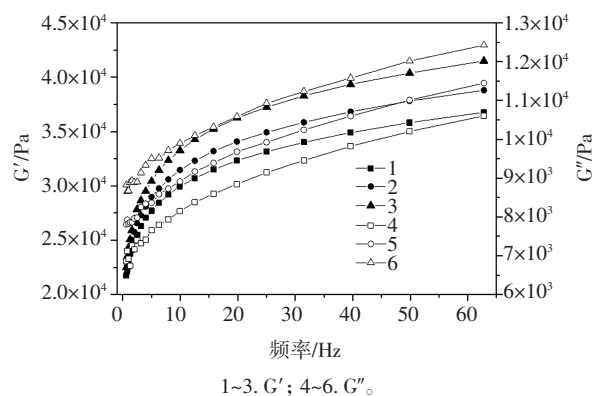


图4 优化结果对面团流变学特性影响

Fig.4 Influence of optimization results on the rheology of dough

动态流变通常用于表征面团及面筋蛋白的黏弹性质。由图4可知,随振动频率的升高,3组平行试验的 G' 和 G'' 均呈上升趋势,表明面团的黏弹性较佳。第1组和第2组试验中 $G' > G''$,第3组试验中虽然 $G' < G''$,但是其黏弹性均高于第1、2组,以上结果表明通过最优配方制作出的面团柔软性较好,耐形变能力较强,面团内部结构较为坚实,面团具有较好的加工性能^[25]。

3 结论

本试验在确定玉米粉、大豆粉和糯米粉合理配比的基础上,研究碱性蛋白酶、植物乳杆菌和TG酶的添加量对无麸质谷物馒头质构及品质的影响。在单因素试验的基础上,以感官评分为响应值,通过响应面法确定了无麸质谷物馒头的最优工艺配方。当谷物粉(大豆粉、糯米粉和玉米粉质量比为3:3:4)为100 g时,碱性蛋白酶添加量为4.5%,植物乳杆菌添加量为2.4%,TG酶添加量为2.3%,按此配方制作的无麸质谷物馒头感官评分为71.667分,品质较好。

在今后的研究中,需要对面团形成的网状结构进行分析,探索添加物对于面团的作用,寻找酶类相关替代物,解决经济问题。

参考文献:

- [1] 郭丽云,宫晓丽,骆文静,等. 无麸质饼干原料及功能性添加成分的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(4): 348-355
- [2] PICO J, REGUILÓN M P, BERNAL J. Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of rice flour-corn starch based gluten-free breads[J]. Journal of Cereal Science, 2019, 86: 92-101
- [3] 翟舒,赵城彬,修琳,等. 酶修饰高粱粉对高粱-小麦面团特性影响的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 52-56
- [4] 张庆霞. 玉米粉配比对玉米-小麦混合粉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(10): 12-16
- [5] 田晓会,韩小贤,郑学玲. 活性大豆粉对馒头感官品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(15): 49-52
- [6] 王麒,陈永志,胡中泽,等. 糯米粉添加量对复配粉的理化性质及馒头品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(2): 1-5, 30
- [7] LIU S N, HAN Y, ZHOU Z J. Lactic acid bacteria in traditional fermented Chinese foods[J]. Food Research International, 2011, 44(3): 643-651
- [8] 孙菁,赵良忠,王容等. 基于TG酶凝固的大豆蛋白凝胶生产工艺研究[J]. 农产品加工, 2019(14): 28-32, 42
- [9] MANOJ K C T, SABIKHI L, SINGH A K, et al. Effect of incorporation of sodium caseinate, whey protein concentrate and transglutaminase on the properties of depigmented pearl millet based gluten free pasta[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2019, 103: 19-26
- [10] 费国源. 琥珀酰化和蛋白酶改性处理对小麦面筋蛋白性质的影响[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2009
- [11] 李志建,杨晓露,刘长虹,等. 产胞外多糖植物乳杆菌对馒头品质的影响[J]. 食品工业, 2013, 34(4): 144-146
- [12] HAGER A S, ARENDT E K. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32(1): 195-203
- [13] 胡家勇,秦先魁,郑革,等. 混合试验仪确定冷冻面团馒头复配添加剂最佳配方[J]. 中国酿造, 2014, 33(6): 107-111
- [14] KIM E A, LEE S Y. Quality characteristics of steamed rice bread prepared with different contents of proteolytic enzyme[J]. Applied Biological Chemistry, 2016, 59(1): 95-102
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 粮油检验 小麦粉馒头加工品质评价: GB/T 35991-2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018
- [16] MARTÍNEZ M M, GÓMEZ M. Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 197: 78-86
- [17] 赵萍,周伟,张生堂,等. 混合试验仪在评价面团流变学特性中的应用与研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 97-100, 109
- [18] 张玲,赵国华,曾志红,等. 微细化苦荞全粉在面条加工中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(11): 222-228
- [19] 廖兰,文晓艳,陈林萍,等. 植物乳杆菌 B02012 对酸面团小麦蛋白结构和免疫特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 22-29
- [20] 孙洪蕊,刘香英,田志刚,等. 硬脂酰乳酸钙对马铃薯馒头品质的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(3): 30-33
- [21] 司艺蕾,艾志录,许梦言,等. 占比90%紫薯全粉面条加工工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(3): 160-166
- [22] 伊莉,吴锁柱,孟琼宇,等. 响应面优化胡麻粕蛋白提取工艺及其功能性质研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(18): 52-57
- [23] 刘玉梅,张家俊,吴浪. 复合酶协同超声波法提取香椿老叶总黄酮工艺研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(11): 223-230
- [24] 吴玉新,陈佳芳,马子琳,等. 乳酸菌发酵米粉酸面团生化特性及其对馒头蒸制特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(6): 64-71
- [25] 康志敏,张康逸,高玲玲,等. 不同酵母在青麦馒头面团中的发酵特性及品质对比分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(7): 173-179

收稿日期:2020-01-18