

外源酶对大米面团性能和米面包品质的影响

刘晓飞¹, 吴浚滢¹, 戚月娜¹, 赵香香¹, 刘畅¹, 张智², 张娜^{1*}

(1. 哈尔滨商业大学 食品工程学院, 黑龙江省普通高等学校食品科学与工程重点实验室, 黑龙江省谷物食品与资源综合加工重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150028; 2. 黑龙江省北大荒米业集团有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要: 为研究适合麸质过敏人群食用的米面包, 通过添加酶来改善米面包的品质, 以碎米为原料制作米面包, 探究添加单一酶制剂(α -淀粉酶、脂肪酶和谷氨酰胺转氨酶)和复合酶制剂(α -淀粉酶和脂肪酶复配)对米面团糊化特性和质构特性的影响, 探究酶添加量、醒发时间、醒发温度和 pH 值对米面团糊化特性和综合评分的影响, 通过单因素和响应面法优化米面团最优制作工艺。结果表明, 选取谷氨酰胺转氨酶对米面团进行改性, 米面团最优制作工艺为谷氨酰胺转氨酶添加量 0.008 g、醒发时间 87 min、醒发温度 63 °C。此条件下制备的米面包感官评分从 65.2 提高到 80.7、硬度从 994.6 g 降低到 756.5 g、比容从 1.97 mL/g 增加到 3.01 mL/g。

关键词: 米面包; 谷氨酰胺转氨酶; 质构评分; 糊化特性; 响应面

Effects of Exogenous Enzymes on Properties of Rice Dough and Rice Bread Quality

LIU Xiao-fei¹, WU Jun-ying¹, QI Yue-na¹, ZHAO Xiang-xiang¹, LIU Chang¹, ZHANG Zhi², ZHANG Na^{1*}

(1. College of Food Engineering, Key Laboratory of Food Science and Engineering of Heilongjiang Ordinary Higher Colleges, Key Laboratory of Grain Food and Comprehensive Processing of Heilongjiang Province, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, Heilongjiang, China; 2. Heilongjiang Beidahuang Rice Industry Group Co., Ltd., Harbin 150000, Heilongjiang, China)

Abstract: This study aimed to develop suitable rice bread for people with gluten allergy and improve the quality of rice bread by adding enzymes. Rice bread was made with broken rice, and the effects of single enzyme preparations (α -amylase, lipase and transglutaminase) and compound enzyme preparation (α -amylase+lipase) on the pasting and texture properties of rice dough were investigated. The effects of enzyme dosage, fermentation time, fermentation temperature and pH on the pasting properties and comprehensive score of rice dough were investigated. The optimal fermentation conditions were optimized by response surface methodology on the basis of single factor tests. The optimal conditions for the fermentation of rice dough were as follows: transglutaminase dosage of 0.008 g and fermentation at 63 °C for 87 min. The preparation of rice bread under the optimal conditions raised the sensory score from 65.2 to 80.7, decreased the hardness from 994.6 g to 756.5 g, and increased the specific volume from 1.97 mL/g to 3.01 mL/g.

Key words: rice bread; transglutaminase; texture score; pasting properties; response surface

引文格式:

刘晓飞, 吴浚滢, 戚月娜, 等. 外源酶对大米面团性能和米面包品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(21): 91-98.

LIU Xiaofei, WU Junying, QI Yuenan, et al. Effects of Exogenous Enzymes on Properties of Rice Dough and Rice Bread Quality[J]. Food Research and Development, 2022, 43(21): 91-98.

基金项目: 黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(2020ZX08B02、2019ZX08B02)

作者简介: 刘晓飞(1980—), 女(汉), 副教授, 博士, 研究方向: 稻米高值化利用。

* 通信作者: 张娜(1979—), 女(满), 教授, 研究方向: 植物蛋白质。

麸质过敏症是食用小麦、大麦、黑麦等含麸质谷物及其制品时,肠道发生自体免疫反应的消化道疾病,其发病率在中国呈逐年上升趋势,暂无有效药,给患者食用无麸质食物是一种可行且有效的缓解方法^[1]。Hager 等^[2]的研究表明,与玉米、大豆和黑豆等无麸质谷物相比,大米作为一种易于消化和吸收、低致敏性、产量高和较为实用的经济型食品更加适合患者食用。麸质过敏症患者可以食用由大米深加工制成的米面包,近年来,国内外对米面包的研究广泛,但大米因缺少面筋蛋白、没有筋性,口感无法与面包相比,需要对其进行改性,据报道,外源酶^[3]的添加可以减缓淀粉老化过程,进而改善面包质地,使其结构柔软、弹性增强、比容增加,促使其发生美拉德反应,延长面包保质期^[4]。Kim 等^[5]的研究发现,1.5%蛋白酶使米面包的比容最大,内孔径较大且数量多,加入 0.5%蛋白酶弹性好,保水能力提高,不易老化;孟燕楠等^[6]探讨 α -淀粉酶、脂肪酶、谷氨酰胺转氨酶、漆酶 4 种酶制剂对大米面包的感官特性及质构特性的影响,结果表明,这 4 种酶制剂均可以显著提高米面包的外观、色泽和口感,使其纹理疏松、体积增大、弹性增加。

本文以碎米为原料制作米面包,探究添加 α -淀粉酶、脂肪酶、谷氨酰胺转氨酶和复合酶制剂(α -淀粉酶和脂肪酶复配)对米面团糊化特性和质构特性的影响,选取试验效果最好的酶对米面团进行改性。研究酶添加量、醒发时间、醒发温度和 pH 值对米面团糊化特性和综合评分的影响,在此基础上采用响应面优化,以米面团综合评分为响应值,得出最佳面团后制成米面包,为米面包开发和碎米的深度加工与综合利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

碎米:黑龙江省五常金禾米业有限公司;鸡蛋、绵白糖、黄油、牛奶、豆油、食盐、安琪酵母:市售。

α -淀粉酶(2 000 U/g)、脂肪酶(2 000 U/g)、谷氨酰胺转氨酶(2 000 U/g):北京博奥拓达科技有限公司;氢氧化钾、碘、碘化钾、HCl(均为分析纯):天津市凯通化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

BSM-120-4 电子天平:上海卓精电子科技有限公司;DC-1500A 粉碎机:浙江武义鼎藏日用金属制品厂;TD5A 离心机:湖南凯达科学仪器有限公司;MG38CB-AA 电烤箱:广东美的厨房电器制造有限公司;DZKW-

D-2 电热恒温水浴锅:天津天泰仪器有限公司;UV-5200 紫外可见分光光度计:上海元析仪器有限公司;TA-XT2i 质构仪:英国 Stable Micro System 公司;JSM-6510 扫描电镜:日本电子公司。

1.3 方法

1.3.1 米粉的制备

将除去杂质的碎米用粉碎机粉碎,过 120 目筛,得到样品米粉备用。

1.3.2 米面包的制作

米面包制作步骤:称量→和面→发酵→揉压→固定成型→醒发→焙烤。制作米面包的原料及含量见表 1^[7]。

表 1 米面包成分

Table 1 Rice bread ingredients list

成分	含量/%
米粉	100
绵白糖	10
牛奶	15
酵母	1.5
黄油	6
食盐	1
鸡蛋	10
水	70

1.3.3 最优酶的选取

准确称取 10 g 米粉,分别加入 α -淀粉酶、脂肪酶、谷氨酰胺转氨酶和质量比为 1:1 复配的 α -淀粉酶和脂肪酶各 0.008 g,其余原料按表 1 添加,用水把酵母和绵白糖化开,加入牛奶、黄油、鸡蛋和盐与米粉混合制作米面团,醒发时间为 90 min,醒发温度为 60 ℃,醒发时 pH 值为 7,醒发完成后进行糊化度及面包质构特性分析并计算质构评分。

1.3.4 单因素试验

选取 1.3.3 确定的最优酶进行单因素试验,固定其它基础配方。以 10 g 米粉为基准,考察酶添加量(0.004、0.006、0.008、0.010、0.012 g)、醒发时间(50、70、90、110、130 min)、醒发温度(40、50、60、70、80 ℃)、pH 值(5、6、7、8、9)对米面团的糊化度及质构评分的影响。

1.3.5 响应面分析试验

综合考虑单因素试验结果,根据 Box-Behnken 试验设计原理,舍弃影响最小的条件^[8],以酶添加量、醒发时间、醒发温度为因素,米面团综合评分(Y)为响应值,进行三因素三水平响应面分析试验,确定最佳工艺参数,试验因素与水平见表 2。

表 2 响应面试验因素与水平

Table 2 Response surface test factors and levels

编码	A 酶添加量/g	B 醒发时间/min	C 醒发温度/℃
-1	0.006	70	50
0	0.008	90	60
1	0.010	110	70

1.3.6 米面团的性质分析

1.3.6.1 糊化度的测定

参照 Haghighat-Kharazi 等^[9]的方法,测定米面团的糊化度。

1.3.6.2 质构特性的测定

选取米面团的中心部分,切成 2 cm×2 cm×2 cm 小块,测定面包的质构指标(硬度、弹性、胶着性和回复性)。质构仪参数:选取 P/50 的探头,测试前速率为 2.00 mm/s,测试中速率为 1.00 mm/s,测试后速率为 1.00 mm/s,压缩程度为 50%,停留间隔为 5 s。

1.3.6.3 质构评分和糊化度得分测定

质构评分和糊化度得分参照王会然等^[10]的方法进行计算,并稍作修改。质构评分(100 分)=硬度(25 分)+弹性(25 分)+胶着性(25 分)+回复性(25 分)。糊化度满分为 100 分。

各指标的得分计算方法如下。

$$D=\frac{C}{A} \times B$$

式中: D 为该指标对应的评分; C 为此指标的满分(即 100 或者 25); A 为该指标最大值与最小值之差; B 为该指标测定值与最小值之差。

由于米面团的硬度指标与口感呈负相关,所以硬度值对应的评分数值计算公式如下。

$$D=25-\frac{25}{A} \times B$$

1.3.6.4 综合评分测定

采用加权系数法,将糊化度的权重设为 0.5,质构评分的权重设为 0.5,系数总和为 1。综合评分=糊化度得分×0.5+质构评分×0.5。

1.3.6.5 扫描电镜测定

采用扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)对米面团的微观形态进行观察。

1.3.7 米面包品质测定方法

1.3.7.1 米面包的感官评价

参照 Zarringhalami 等^[11]的方法对米面包进行感官评价。由从事食品加工、无特殊嗜好的 15 名专业人员组成评定小组,对制得的米面包进行感官评定,分别从面包形状、适口性、表皮色泽、纹理结构、香味、口感

6 个方面进行评价,对每项进行评分,取其平均分。米面包的感官评分标准见表 3。

表 3 米面包的感官评价标准

Table 3 Sensory evaluation criteria for rice bread

感官指标	评分标准	分值
面包形状 (10 分)	面包完整、表面光洁、无白粉和光点	7.1~10.0
	面包比较完整、较少缺损、较少光点	4.1~7.0
	面包不完整,无面包的基本形态	0~4.0
适口性 (20 分)	入口无任何不适口性,无不良口味	10.1~20.0
	入口后产生不适,难以下咽	0~10.0
表皮色泽 (10 分)	表皮颜色均匀有光泽	7.1~10.0
	表皮颜色不均匀,但有光泽	4.1~7.0
	表皮颜色灰暗且不均匀	0~4.0
纹理结构 (15 分)	有明显弹性、内部组织结构均匀,气孔大小合适均匀	10.1~15
	有细微弹性、内部结构致密均匀,气孔较大或较小	6.1~10.0
	无弹性、内部结构没有被发酵起来	0~6.0
香味 (20 分)	面包无异味,具有大米的香味	14.1~20.0
	面包香味较差,但无其它异味	8.1~14.0
	面包无香味,有不良气味产生	0~8.0
口感 (25 分)	有发酵和烘烤后的面包滋味,口感松软适口,不黏牙,无杂质	13.1~25.0
	滋味较差	0~13.0

1.3.7.2 米面包的质构评价

自然冷却 1 h 后的面包取内芯,切成 2 cm×2 cm×2 cm 的面包块,进行质构分析。选择 P/36R 圆柱形探头,采用质构分析(texture profile analysis, TPA)模式,测前速度、测中速度和测后速度均为 1 mm/s,触发力 5 N、形变量 30%、间隔时间 2 s,重复测定 3 次^[12]。

1.3.7.3 米面包的比容评价

采用小米置换法测定米面包的比容^[7]。

1.4 数据处理与分析

所有结果均表示为平均值±标准差。采用 Excel 2010、SPSS Statistics 26.0、Design-Expert 8.0.6 和 Origin 2017 软件进行数据整理分析,以评估平均值之间的显著性差异($p<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 最优酶的确定

不同种类酶对米面团糊化度及质构评分的影响见图 1。

由图 1 可知,与空白面团相比,添加酶均使米面团的糊化度和质构评分升高,添加谷氨酰胺转氨酶的米

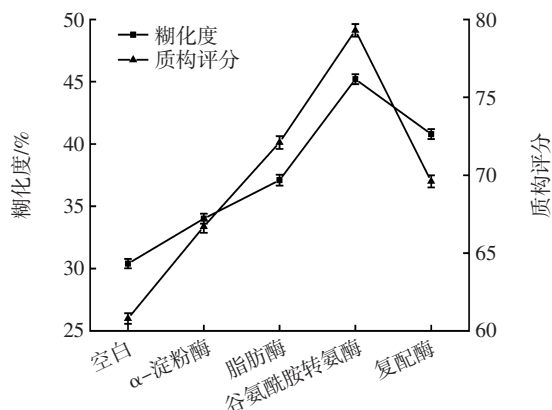


图1 不同种类酶对米面团糊化度及质构评分的影响

Fig.1 Effects of different enzymes on gelatinization degree and texture score of rice dough

面团糊化度和质构评分最高,其次为添加复配酶的米面团,添加 α -淀粉酶的米面团糊化度和质构评分最低。添加谷氨酰胺转氨酶的米面团糊化度及质构特性效果最好可能是它与米面团产生的共价交联,增加了米面团的持水力、硬度降低、体积增大和提升面团的加工性能^[13]。因此,选取谷氨酰胺转氨酶进行单因素和响应面实验。

2.2 单因素试验结果

2.2.1 酶添加量对米面团品质的影响

酶添加量对米面团糊化度及质构评分的影响见图2。

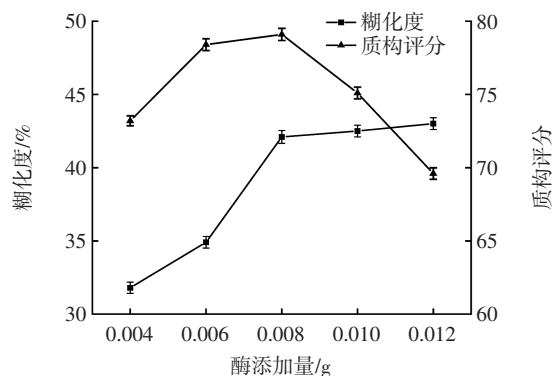


图2 酶添加量对米面团糊化度及质构评分的影响

Fig.2 Effect of enzyme dosage on gelatinization degree and texture score of rice dough

由图2可知,随着酶添加量的增加,米面团糊化度逐渐升高,当酶添加量达到0.008 g时,糊化度达到较高水平,继续添加酶,糊化度没有明显升高,质构评分先增大后减小,酶添加量为0.008 g时,质构评分出现峰值,可能是因为酶促反应速度与酶分子的浓度成正比,当底物分子浓度增加时,酶分子越多,底物的转化速度越快,当酶浓度过高时,会有许多的酶抑制剂限

制其发生反应,导致曲线逐渐趋向平缓。因此,酶的最佳添加量为0.008 g。

2.2.2 醒发温度对米面团品质的影响

醒发温度对米面团糊化度及质构评分的影响见图3。

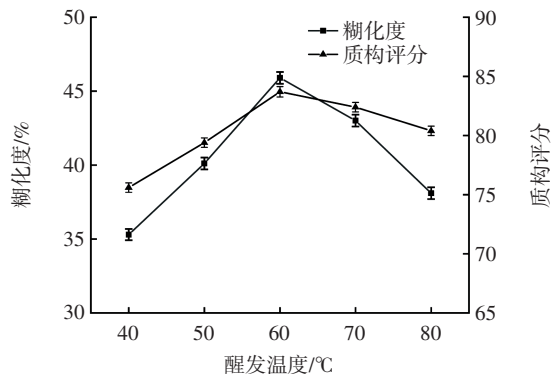


图3 醒发温度对米面团糊化度及质构评分的影响

Fig.3 Effect of waking temperature on gelatinization degree and texture score of rice dough

由图3可知,随着醒发温度的升高,米面团的糊化度和质构评分先增大后减小,在60 °C时达到峰值。其原因可能是谷氨酰胺转氨酶的最适温度在60 °C左右;低温影响酶的活性,但不会破坏酶的空间结构,温度升高后,酶仍能恢复活性,但高温会导致酶变性,使其失去活性^[14]。因此,最佳醒发温度为60 °C。

2.2.3 醒发时间对米面团品质的影响

醒发时间对米面团糊化度及质构评分的影响见图4。

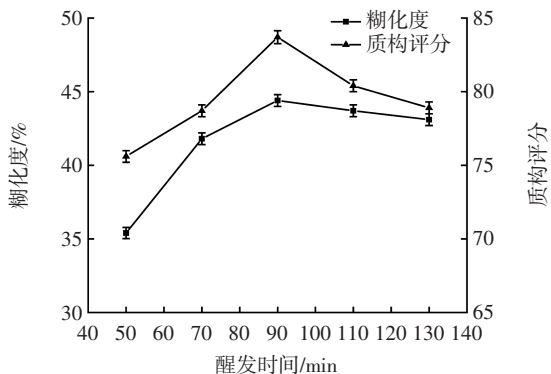


图4 醒发时间对米面团糊化度及质构评分的影响

Fig.4 Effect of waking time on gelatinization degree and texture score of rice dough

由图4可知,随着醒发时间的延长,米面团的糊化度和质构评分先增大后减小,在90 min时达到峰值。原因可能是在醒发过程中,米面团的体积、风味、内部结构有较大变化,酶缺乏与底物的反应时间会导致糊化度和质构评分低,随着醒发时间的延长,酶与底物可

充分混合糊化,但时间过长时,水分会减少,从而糊化度和质构评分下降。因此,最佳醒发时间为 90 min。

2.2.4 pH 值对米面团品质的影响

pH 值对米面团糊化度及质构评分的影响见图 5。

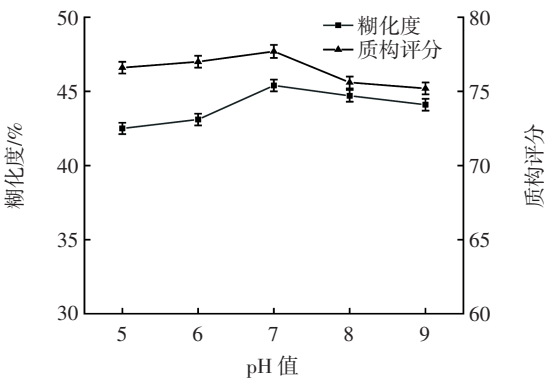


图 5 pH 值对米面团糊化度和质构评分的影响

Fig.5 Effect of pH on gelatinization degree and texture score of rice dough

由图 5 可知,随着 pH 值的升高,米面团的糊化度和质构评分先增大后减小,pH 值为 7 时达到峰值,但整体变化幅度较小。pH 值对米面团的糊化度和质构综合评分影响较小,因此最佳醒发 pH 值为 7。

2.3 响应面优化试验结果分析

2.3.1 响应面分析数学模型的建立

响应曲面法试验结果见表 4。

表 4 响应面试验设计及结果

Table 4 Design and results of Box-Behnken center combination test

编号	A	B	C	综合评分
1	-1	0	-1	76.29
2	1	0	-1	76.27
3	0	-1	-1	76.31
4	0	1	-1	75.97
5	0	-1	1	84.56
6	1	0	1	81.78
7	-1	0	1	84.09
8	0	1	1	77.35
9	-1	-1	0	80.22
10	1	-1	0	82.54
11	-1	1	0	81.73
12	1	1	0	75.36
13	0	0	0	90.49
14	0	0	0	90.66
15	0	0	0	89.78
16	0	0	0	90.12
17	0	0	0	90.27

以综合评分(Y)为响应值,利用响应面软件对表 4 进行回归拟合,得出二次多项回归方程 $Y=90.26-0.67A-1.78B+2.87C-2.42AB-0.57AC-1.72BC-4.50A^2-5.56B^2-6.16C^2$ 。对该模型进行显著性检验,得到的方差分析结果见表 5。

表 5 回归方程的方差分析

Table 5 Analysis of variance (ANOVA) for the developed regression equation

来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	549.23	9	61.03	184.34	<0.000 1	**
A 酶添加量	3.62	1	3.62	10.93	0.013 0	*
B 醒发时间	25.28	1	25.28	76.35	<0.000 1	**
C 醒发温度	65.78	1	65.78	198.71	<0.000 1	**
AB	23.47	1	23.47	70.91	<0.000 1	**
AC	1.31	1	1.31	3.96	0.086 9	
BC	11.80	1	11.80	35.64	0.000 6	**
A ²	85.10	1	85.10	257.07	<0.000 1	**
B ²	129.96	1	129.96	392.59	<0.000 1	**
C ²	159.81	1	159.81	482.74	<0.000 1	**
残差	2.32	7	0.33			
失拟项	1.85	3	0.62	5.34	0.069 6	
纯误差	0.46	4	0.12			
总和	551.55	16				

注:* 表示差异显著($p<0.05$),** 表示差异极显著($p<0.01$)。

由表 5 可知,模型 $p<0.000 1$,差异极显著;回归方程的失拟项 $p=0.069 6>0.05$,差异不显著; $R^2=0.998 5$,拟合度>90%,说明该模型能较好地解释响应值的变化,理论值与实际数值能有很好的拟合性,试验误差小、相关性高、数据真实,因此能够应用此方程对试验结果做出分析。影响综合评分的先后顺序为醒发温度>醒发时间>酶添加量; B 、 C 、 AB 、 BC 影响极显著; A 影响显著。

2.3.2 响应面分析

在米面包的生产条件方面,为进一步验证影响因素交互项的作用机理,根据二次模型所得到的等高线及响应曲面可以评价试验因素之间的交互作用强度,以及确定各因素的最佳水平范围^[5]。各因素交互作用的等高线和响应面见图 6。

由图 6 可知,当一个因素固定,随着另两个因素的增加或延长,综合评分均呈现先上升后下降的趋势;响应面图均凸面朝上,存在极大值;等高线均呈椭圆形,表明两种因素间交互作用显著^[6]。

通过 Design Expert 软件可得到该模型的最优条件:酶添加量 0.008 g、醒发时间 86.50 min、醒发温度 62.75 ℃,预测的综合评分为 90.708 6。为检验该生产条

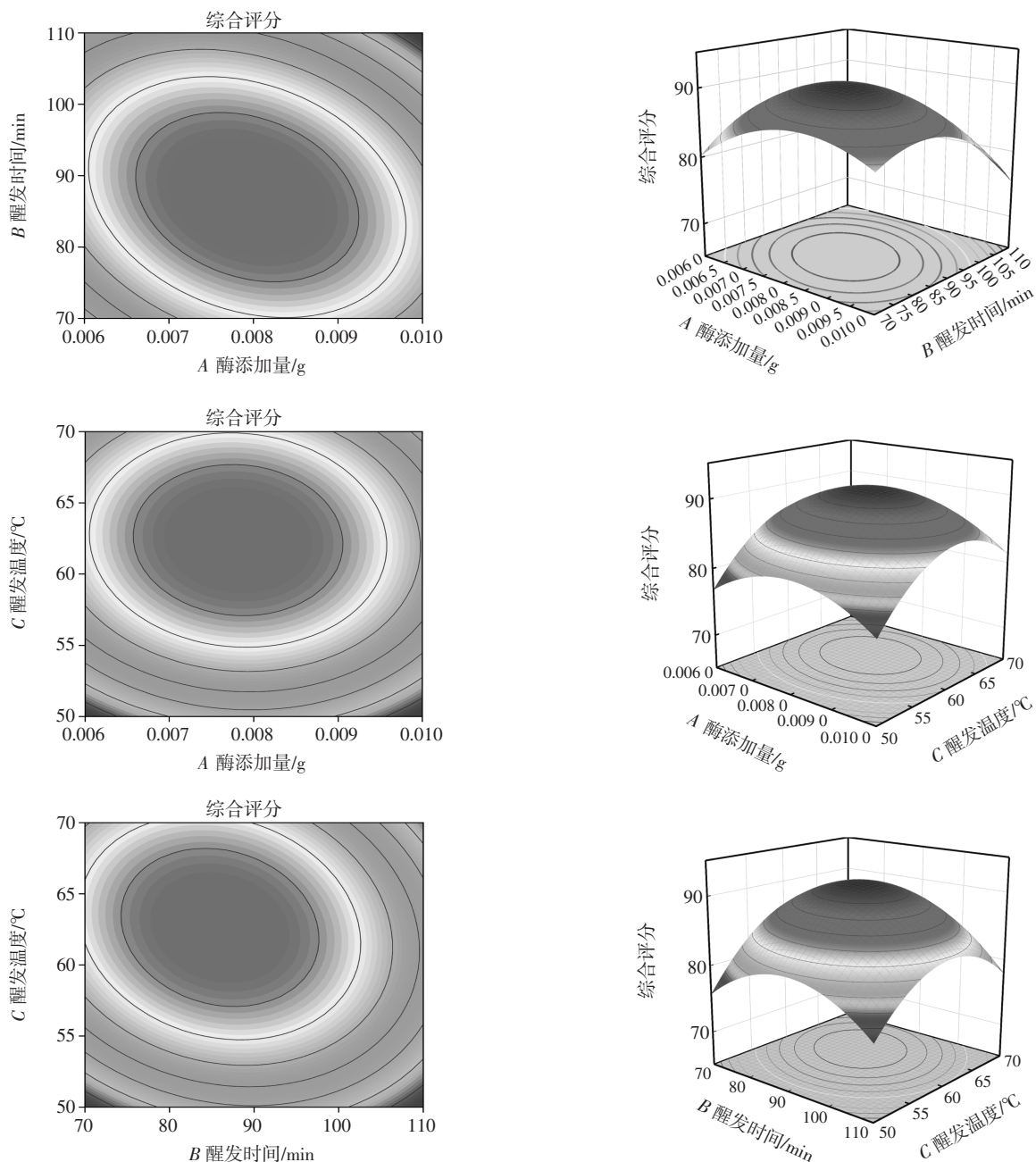


图6 各因素交互作用的等高线和响应面

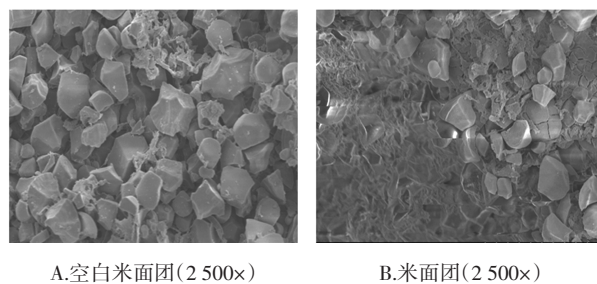
Fig.6 Contour and response surface plots of the interaction of various factors

件对米面团制作的效果、响应模型的准确性和可靠性,采用上述优化条件进行3次重复试验^[17]。根据实际生产条件,将制备工艺条件修正为酶添加量0.008 g、醒发时间87 min、醒发温度63℃,此条件下生产的米面包综合评分为90.71,结果与理论预测值接近。

2.4 米面团的扫描电镜结果

不同米面团微观结构扫描电镜图见图7。

如图7A所示,空白米面团可以看出明显的淀粉颗粒,米面团的结构松散,颗粒间隙较大,没有形成面团具有的网状结构,从而导致了米面团的黏弹性和持气



A.空白米面团(2 500×)

B.米面团(2 500×)

图7 不同米面团微观结构扫描电镜图

Fig.7 Scanning electron microscope images of the microstructure of different rice dough

性较差;如图 7B 所示,添加谷氨酰胺转氨酶后,米面团的淀粉颗粒变少,大部分颗粒被包裹在其中,形成凝胶网络结构^[18],促进米面团保存发酵过程中产生的气体^[19],出现一些大小较均匀的气室,使米面团体积增大。产生这种现象的原因可能是谷氨酰胺转氨酶与米面团中的蛋白质发生交联,使米面团的持气性能增强,面包比容增大,有助于形成强有力的大米凝胶,从而

改善米面团的品质^[20]。说明谷氨酰胺转氨酶可以改善大米面团成型困难的问题,可以应用于米制品的加工。

2.5 米面包的评价结果

选取与面包感官品质密切相关的硬度、弹性、胶着性和回复性作为衡量面包质构特性的指标,最优工艺的米面包与未经过酶处理的米面包质构特性、比容和感官评分见表 6。

表 6 空白米面包与最优米面包的质构评价
Table 6 Texture evaluate of enzymatic and unenzymatic rice bread

样品	硬度/g	弹性	胶着性/g	回复性	比容/(mL/g)	感官评分
空白米面包	994.6±34.5 ^a	1.61±0.2 ^b	762.9±15.6 ^b	0.326±0.019 ^b	1.97±0.21 ^b	65.2±2.0 ^b
米面包	756.5±40.7 ^b	1.76±0.3 ^a	853.2±20.3 ^a	0.446±0.033 ^a	3.01±0.19 ^a	80.7±1.3 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。

由表 6 可知,酶解米面包与未酶解米面包相比,硬度降低,胶着性增大,弹性和回复性略有升高,比容变大,感官评分从 65.2 提高到 80.7。烘烤后,内部组织均匀细腻、松散柔软、弹性较大,略黏牙,但口感松软适口,方便食用,整体评分较高。这是因为谷氨酰胺转氨酶能诱导蛋白质之间形成共价交联,能够改善面包的持气性能,使面包更加蓬松,富有弹性,口感更好。上述结果说明,谷氨酰胺转氨酶的加入有助于米面包的制备。

3 结论

本文选取大米粉为主要原料,添加外源酶作为改良剂制作米面包。由单因素试验及响应面的优化试验可知,对米面团的综合评分的影响大小顺序为醒发温度>醒发时间>酶添加量;通过响应面优化试验可知,米面团的最佳工艺条件为酶添加量 0.008 g、醒发时间 87 min、醒发温度 63 ℃,此条件下生产的米面团综合评分最高为 90.71,感官评分从 65.2 提高到 80.7,比容从 1.97 mL/g 增加到 3.01 mL/g,米面团微观结构中能观察到较均匀的气室,硬度从 994.6 g 降低到 756.5 g,符合现代人的健康需求。优化米面包有助于无麸质食品的研究,有助于我国无麸质食品产业的发展,为碎米的深度加工与综合利用提供一定的理论依据。

参考文献:

[1] XHAKOLLARI V, CANAVARI M, OSMAN M. Factors affecting consumers' adherence to gluten-free diet, a systematic review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 85: 23-33.
[2] HAGER A S, WOLTER A, CZERNY M, et al. Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat coun-

terparts[J]. European Food Research and Technology, 2012, 235(2): 333-344.
[3] GUSMÃO T A S, DE GUSMÃO R P, MOURA H V, et al. Production of prebiotic gluten-free bread with red rice flour and different microbial transglutaminase concentrations: Modeling, sensory and multivariate data analysis[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(6): 2949-2958.
[4] 何林阳, 杨杨, 陈凤莲, 等. 无麸质面包品质改良研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 439-447.
HE Linyang, YANG Yang, CHEN Fenglian, et al. Research progress in the gluten-free bread quality improvement[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17): 439-447.
[5] KIM E A, LEE S Y, 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.
[6] 孟燕楠, 路飞, 李哲, 等. 不同酶制剂对大米面包感官及质构特性的影响研究[J]. 农业科技与装备, 2016(6): 41-43, 46.
MENG Yannan, LU Fei, LI Zhe, et al. Study on the effects of different enzymes on the sensory and texture characteristics of rice bread[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2016(6): 41-43, 46.
[7] 陈凤莲, 李鑫铭, 石彦国, 等. 快速发酵法大米面包的制备研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2019, 35(1): 49-55.
CHEN Fenglian, LI Xinming, SHI Yanguo, et al. Study on preparation of rice bread by rapid fermentation[J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2019, 35(1): 49-55.
[8] 路飞, 马涛, 李新华, 等. 不同品种大米粉对大米面包感官及质构特性影响的比较[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(20): 72-75.
LU Fei, MA Tao, LI Xinhua, et al. Sensory and textural characteristics of bread prepared from wheat flour and several kinds of rice flour[J]. Food Research and Development, 2014, 35(20): 72-75.
[9] HAGHIGHAT-KHARAZI S, MOHAMMADZADEH MILANI J, KASAAI M R, et al. Use of encapsulated maltogenic amylase in maltodextrins with different formulations in making gluten-free breads[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 110: 182-189.

- [10] 王会然, 李宗军. 响应面法优化挤压米生产工艺[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 113-117.
WANG Huiran, LI Zongjun. Process optimization for extruded rice production[J]. Food Science, 2013, 34(8): 113-117.
- [11] ZARRINGHALAMI S, GANJLOO A, MOKHTARI NASRABADI Z. Optimization xanthan gum, Roselle seed and egg white powders levels based on textural and sensory properties of gluten-free rice bread[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(3): 1124-1131.
- [12] 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.
YANG Xuefei, YUAN Beilei, LUO Shuizhong, et al. Effects of composite improvers on rheological properties of coarse grain bread flour[J]. Food Science, 2015, 36(11): 75-80.
- [13] 邓春丽. 谷氨酰胺转氨酶及葡萄糖氧化酶处理对荞麦工艺品质的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
DENG Chunli. Effects of transglutaminase and glucose oxidase treatment on the process quality of buckwheat[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013.
- [14] 张晶. 均质及酶解对大米蛋白功能特性的影响及机理的初探[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
ZHANG Jing. The effects of homogenization and enzymatic hydrolysis on the functional properties of rice protein and preliminary study on its mechanism[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016.
- [15] TEBBEN L, SHEN Y T, LI Y H. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 81: 10-24.
- [16] 陈亮, 张伟, 陈元涛, 等. 响应曲面法优化黑果枸杞多糖的超声提取工艺[J]. 食品科技, 2015, 40(1): 220-227.
CHEN Liang, ZHANG Wei, CHEN Yuantao, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction process of *Lycium Ruthenicum* Murr polysaccharides by response surface methodology[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(1): 220-227.
- [17] 李莉, 张赛, 何强, 等. 响应面法在试验设计与优化中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(8): 41-45.
LI Li, ZHANG Sai, HE Qiang, et al. Application of response surface methodology in experiment design and optimization[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2015, 34(8): 41-45.
- [18] BOUKID F, CARINI E, CURTI E, et al. Effectiveness of vital gluten and transglutaminase in the improvement of physico-chemical properties of fresh bread[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 92: 465-470.
- [19] 高雨晴. 不同加工处理方法对大米面团及面包品质的影响研究[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2020.
GAO Yuqing. Effects of different processing methods on rice dough and bread quality[D]. Shenyang: Shenyang Normal University, 2020.
- [20] 杨聪, 郭丽琼, 万华, 等. 谷氨酰胺转氨酶及其在食品工业上的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 370-377.
YANG Cong, GUO Liqiong, WAN Hua, et al. Research advances on transglutaminases and their applications in food industry[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 370-377.

加工编辑: 冯娜

收稿日期: 2021-08-16