

响应面法优化紫薯冷冻披萨面坯的工艺参数

柴 琦, 李燮昕

(四川旅游学院食品学院, 成都 610100)

摘要:以紫薯全粉和高筋小麦粉为主要原料, 在单因素实验的基础上, 根据 Box – Benhnken 法设计实验, 考察紫薯全粉、高筋小麦粉、水、酵母 4 个因素及其交互作用对紫薯全粉冷冻披萨面坯感官评分的影响, 以紫薯披萨面坯感官评分值为响应面值进行分析实验, 得出最优配方, 以达到改善成品感官特性的目的。结果表明, 紫薯全粉披萨面坯的最佳工艺参数为: 紫薯全粉 21 g、高筋小麦粉 179 g、酵母 1.45 g、水 107 g、盐 3 g、糖 10 g、奶粉 9 g、改良剂 1 g、鸡蛋 12.5 g、泡打粉 1.25 g、橄榄油 12.5 g。以最优配方为基础, 进一步研究了不同储存条件下感官评分与质构指标的相关性。结果表明, 硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性能客观反映紫薯披萨面坯品质, 且在 -18 ℃冷冻冰箱中储存 7 天的紫薯披萨面坯能保持良好风味。

关键词:冷冻披萨; 感官评分; 响应面法; 质构

中图分类号: TS 213.2; TS 215 文献标识码: A 文章编号: 1007 – 7561(2018)01 – 0013 – 08

Optimization of process parameters of frozen pizza dough made of purple sweet potato by response surface methodology

CHAI Qi, LI Xie – xin

(College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu Sichuan 610100)

Abstract: Purple sweet potato powder and high gluten flour were used as the main raw material, the effect of the 4 factors, purple sweet potato powder, high gluten flour, water and yeast, and their interaction, on the sensory evaluation score of purple sweet potato frozen pizza dough was investigated on the basis of the single factor test and according to Box – Benhnken to design the test. Taking sensory evaluation score of purple potato pizza dough as the response surface value, the optimum formula was achieved in order to improve the sensory characteristics of the products. The results showed that the optimum parameters of the pizza dough were purple sweet potato flour 21 g, high gluten flour 179 g, yeast 1.45 g, water 107g, salt 3 g, sugar 10 g, milk powder 9 g, modifier 1 g, egg 12.5 g, baking powder 1.25 g, olive oil 12.5 g. On the basis of optimal formula, the correlation between sensory evaluation and texture under different storage conditions was further studied. The results showed that the hardness, elasticity, gumminess and chewiness properties reflected the quality of purple sweet potato pizza dough, which remain good flavor after being stored in refrigerator at -18 ℃ for 7 days.

Key words: frozen pizza; sensory score; response surface; texture

冷冻面团技术是运用冷冻原理与技术处理面坯半成品, 使其能保存一段时间, 并在后续工序生产出成品^[1]。冷冻面团技术发展于欧美, 由于其独

特的优越性, 渐渐受到了我国的青睐^[2]。

披萨是一种意大利食品, 在欧美发展迅速, 作为一种快速消费品, 目前, 披萨在我国也日益为大众接受, 现阶段已有一些大型餐饮连锁应用冷冻披萨面坯加工出成品。但是, 冷冻披萨面坯在经过冷冻、解冻、烘烤后仍然会出现面团失水等现象, 甚至还会出现萎缩、变色、裂纹等质量问题^[3], 影响制品

收稿日期: 2017 – 06 – 01

基金项目: 2016 年度西华大学省部级学科平台项目(szjj2016 – 086);
2016 年四川旅游学院大学生创新创业训练项目
(2016XKZ15)

作者简介: 柴琦, 1995 年出生, 女, 本科。
通讯作者: 李燮昕, 1984 年出生, 女, 讲师。

的感官。主要原因是披萨面坯在烘烤前的冻藏中会出现老化现象。老化的披萨面坯在烘烤后质地变硬,口感粗糙,出现掉渣,丧失风味。长期储存甚至会出现霉变现象^[4]。

据日本农产品检测中心报道的数据^[5],日本品种紫色甘薯“川山紫”中的赖氨酸、铜、锰、钾、锌的含量是普通红薯的3~5倍,特别是碘和硒的含量是普通品种的20倍以上。紫薯具有抗疲劳、抗衰老、补血的保健功能^[6],可促进肠胃蠕动,防止胃肠道疾病的发生^[7],对预防高血压、减轻肝机能障碍等具有一定作用^[8]。研究表明^[9],紫薯能增强面团的水合能力、延缓面点制品的老化、提高产品的透明度和松脆性。紫薯全粉具有良好的加工特性,对增强面团持水力等有重要作用。

Gelinas P^[11]等研究发现小麦粉对冷冻面团质量有显著影响,冷冻面团一般需要选择蛋白质含量较高、筋力较强的小麦粉才能保证冷冻面团的品质。吕莹果等研究发现^[12],干酵母较鲜酵母性能好,能减少冷冻前的发酵,从而使冷冻面团更稳定。加水量对面团的软硬度有较明显的影响。本实验将紫甘薯应用于冷冻披萨面坯中,在传统制作工艺的基础上经过单因素实验,按 Box-Behnken 法设计实验^[10],考察紫薯全粉、高筋小麦粉、酵母、水4个因素及其交互作用对紫薯全粉冷冻披萨面坯感官评分的影响,并采用响应面法对其感官评分进行配方优化,旨在为工业化生产薯类冷冻披萨面坯提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

紫薯全粉:由“烟紫337”加工而成^[9];金像高筋

1.3.2 披萨面坯制作流程

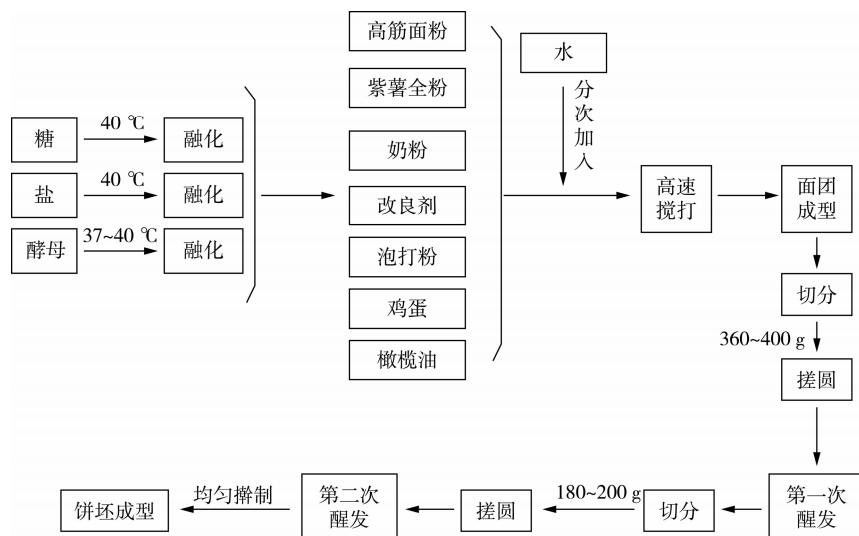


图1 披萨面坯制作流程

小麦粉:蛇口南顺小麦粉有限公司;雀巢全脂奶粉:雀巢集团;高活性干酵母:安琪股份有限公司;面包改良剂:安琪股份有限公司;双效泡打粉:安琪股份有限公司;优级白砂糖:太古糖业(中国)有限公司;未加碘盐:中盐上海市盐业公司;特级初榨橄榄油:上海融氏企业有限公司;鸡蛋:市售。

1.2 设备工具

XYF-3K型三层电烤箱:红菱电烤箱厂;WH-B05型电子秤:常州翔天实验仪器厂;TKLD-150L型速冻机、SC-20L型双速立式搅拌机:MKK麦可酷仪器厂;SM-48L型全自动醒发箱:上海精密科学仪器有限公司;BCD-575WDBI型冰箱:海尔集团。10寸三能披萨烤盘、长柄刮刀、刮板、轮刀、轮刺、擀面棍、温度计、保鲜膜、锡箔纸等。

1.3 实验方法

1.3.1 披萨面坯基本配方^[13]

表1 披萨面坯基本配方

名称	用量/g	比例	注意事项
小麦粉	200	高筋:低筋=4.3:1	
糖	10	5%	40℃温水融化备用
盐	3	1.50%	40℃温水融化备用
奶粉	9	4.50%	
改良剂	1	0.50%	
鸡蛋	12.5	6.25%	
泡打粉	1.25	0.63%	
橄榄油	12.5	6.25%	
酵母	2.25	1.13%	40℃温水融化备用
水	108	54%	水温30℃到35℃

1.3.3 速冻工艺



图2 披萨速冻工艺流程

1.3.4 后续加工

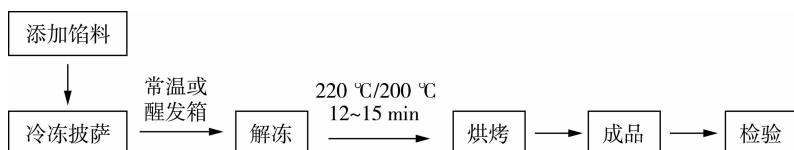


图3 披萨后续加工流程

1.3.5 操作要点

将水体调温到37~40℃,取少量分别融化盐,糖,酵母备用。把高筋小麦粉、紫薯全粉、糖、盐、奶粉、改良剂、鸡蛋、泡打粉、橄榄油放入搅拌缸中,用低速进行初步混合。分次加入温水和酵母混合液,高速搅打8~10 min。查看面团筋力和光滑度,达到抻拉可形成膜,不沾器具及双手。面团成型后,均分为360~400 g的面团,醒发65~80 min。检查面团醒发程度,体积膨胀至2倍左右即可。均分为180~200 g的面团,搓圆进行二次醒发,20~30 min。披萨盘洗净晾干,刷橄榄油。面团成型均匀铺制,边缘较厚,均匀扎孔,醒发10 min。在-30~-40℃条件下速冻30~40 min后,置于-18℃低温冰箱冷藏。后续加工在填入馅料后在上火220℃、底火200℃的温度下烤制12~15 min即可成熟。

1.3.6 感官鉴评标准

将经过烘烤后的紫薯全粉披萨面坯进行感官评定,由于披萨属于西点类的面包制品,故参照GB 7099—2015《食品安全国家标准 糕点、面包》中面包

的感官要求进行评定,以产品外观形态、内部组织结构、香味、口感和滋味4个方面作为感官指标^[14],选10名具有品评经验的人员对产品进行打分。评定标准见表2。

1.3.7 冷冻披萨面坯配方单因素实验

根据传统披萨面坯的基本配方,以紫薯全粉代替配方中的低筋小麦粉优化配方。选择对产品质量影响较大的紫薯全粉、高筋小麦粉、酵母、水4个因素进行单因素实验,根据平均得分最高分确定最佳水平,并在合理范围内确定上下限。

1.3.8 响应面优化实验

各个因素之间并不是孤立的,考虑到彼此的交互作用,在单因素实验的基础上,采用Design-Expert 8.0.6软件,根据Box-Behnken设计原理,以紫薯全粉、高筋小麦粉、酵母、水4个因素为自变量,每个自变量的低中高水平分别以-1,0和1进行编码,以紫薯披萨面坯的感官评分为响应值设计4因素3水平共29个实验点进行响应面分析实验,研究所选因素对紫薯披萨面坯感官评分的影响,优化配方。响

表2 紫薯冷冻披萨面坯的感官鉴评标准

项目	评价标准		
外观形态 (25分)	呈紫薯特有的紫色、无斑点、无条纹、有光泽,完整丰满、对称、无收缩变形、无皱纹、形状与品种造型相符。(21~25分)	呈紫薯特有的紫色、有部分斑点、条纹、有光泽,较完整、对称,有轻微收缩变形、皱纹、形状与品种造型基本相符。(15~20分)	颜色不正常、不均匀、有斑点、有条纹、无光泽,不完整、不对称、收缩变形严重,形状与品种造型不相符。(0~14分)
内部组织结构 (25分)	内部气孔致密且均匀,弹性、韧性足(21~25分)	内部气孔较致密、均匀,弹性好、韧性不足(15~20分)	内部气孔不致密、不均匀,弹性和韧性不足(0~14分)
香味和气味 (25分)	有紫薯的香气和发酵烘烤后的香味,无焦糊味、陈腐味、生面味和其它不良气味(21~25分)	有紫薯的香气,有部分焦糊味。无陈腐味、生面味和其它不良气味。(15~20分)	无紫薯的香气,有陈腐味、生面味和其它不良气味。(0~14分)
口感和滋味 (25分)	松软度合适、不黏口。(21~25分)	松软度合适,较黏。(15~20分)	过硬或过软,黏口。(0~14分)

应面实验因素与水平及编码见表3。

表3 紫薯披萨面坯响应面实验因素与水平

水平	因 素			
	A 紫薯全粉 添加量 /g	B 高筋小麦粉 添加量 /g	C 酵母 添加量 /g	D 水 添加量 /g
-1	15	175	1	100
0	20	180	2	105
1	25	185	3	110

1.3.9 TPA 质构特性测试

紫薯披萨面坯在-18℃冷冻冰箱分别保存0~9 d后,在面火220℃、底火220℃下烘烤15 min,用TPA质构仪测定不同储存天数的样品,采用TA/BS剪切探头。测定条件为:测前速率2 mm/s;测试速率1.7 mm/s;测后速率5 mm/s;形变量为60%;2次压缩之间停留时间5 s;每项测试重复3次。

1.3.10 水分含量测定

按直接干燥法^[15]进行测定。

2 结果与分析

2.1 紫薯全粉冷冻披萨面坯的单因素实验结果

2.1.1 小麦粉添加量对冷冻披萨面坯品质的影响

在酵母添加量为2 g、水为105 g、固定紫薯全粉和高筋小麦粉总量为200 g的条件下,改变紫薯全粉的添加量,分别为10、15、20、25、30 g,进行了比较实验,结果如图4,可以看出紫薯全粉添加量在20 g时,披萨面坯品质最好。因此,紫薯全粉添加量选取15、20、25 g三个水平设计实验。即高筋小麦粉添加量选取175、180、185 g三个水平设计响应面实验。

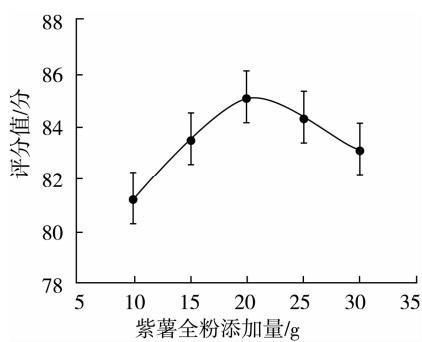


图4 紫薯全粉添加量对冷冻披萨面坯品质的影响

2.1.2 酵母添加量对紫薯全粉冷冻披萨面坯品质的影响

在紫薯全粉添加量为20 g、高筋小麦粉添加量为180 g、水为105 g的条件下,改变酵母的添加量,分别为1、2、3、4、5 g,进行了比较实验,结果如图5,可以看出,酵母添加量在2 g时,披萨面坯品质最好。因此,酵母添加量选取1、2、3 g三个水平设计响应面实验。

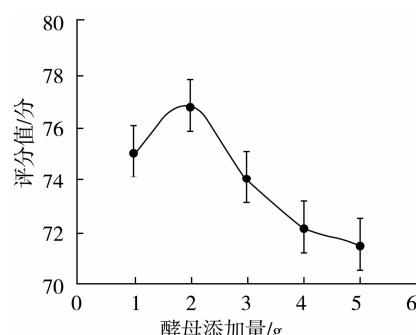


图5 酵母添加量对紫薯全粉冷冻披萨面坯品质的影响

2.1.3 水添加量对紫薯全粉冷冻披萨面坯品质的影响

紫薯全粉添加量为20 g、高筋小麦粉添加量为180 g、酵母添加量为2 g的条件下,改变水的添加量,分别为95、100、105、110、115 g,进行了比较实验,结果如图6,可以看出水添加量在105 g时,披萨面坯品质最好。因此,水添加量选取100、105、110 g三个水平设计响应面实验。

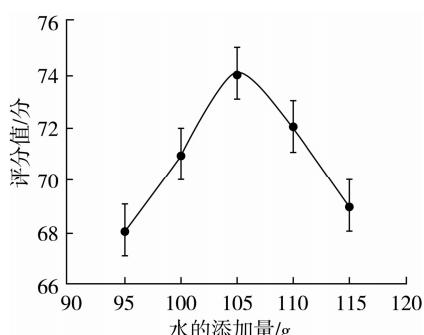


图6 水添加量对紫薯全粉冷冻披萨面坯品质的影响

2.2 响应面实验结果

2.2.1 响应面设计及结果

紫薯披萨面坯在单因素实验分析的基础上,根据Box-Behnken实验设计原理设计4因素3水平

的响应面分析实验,按1.2.5因素与水平设计实验方案进行实验,结果见表4。

表4 Box-Behnken实验设计及结果

序号	紫薯全粉/g	高筋小麦粉/g	酵母/g	水/g	总分/分
1	15	175	2	105	70.6
2	25	175	2	105	82.3
3	15	185	2	105	78.6
4	25	185	2	105	83.7
5	20	180	1	100	81.8
6	20	180	3	100	84.9
7	20	180	1	110	86.5
8	20	180	3	110	88.6
9	15	180	2	100	72.8
10	25	180	2	100	84.5
11	15	180	2	110	79.5
12	25	180	2	110	83.8
13	20	175	1	105	79.8
14	20	185	1	105	85.6
15	20	175	3	105	73.6
16	20	185	3	105	82.9
17	15	180	1	105	78.9
18	25	180	1	105	86.4
19	15	180	3	105	77.4
20	25	180	3	105	88.1
21	20	175	2	100	71.6
22	20	185	2	100	82.9
23	20	175	2	110	84.8
24	20	185	2	110	81.2
25	20	180	2	105	88.5
26	20	180	2	105	89.1
27	20	180	2	105	89.2
28	20	180	2	105	88.9
29	20	180	2	105	89.4

利用Design-Expert 8.0.6软件对表4得到的响应面数据进行多元回归拟合,以感官评分值为响应面值Y,以紫薯全粉(A)、高筋小麦粉(B)、水(C)、酵母(D)为自变量,建立多元回归方程,如式(1)。

$$Y = -9.971.175 + 31.114A + 88.922B - 77.610C + 33.687D - 0.090AB - 0.025AC - 0.035AD + 0.505BC - 0.103BD - 0.070CD - 0.260A^2 - 0.214B^2 - 1.818C^2 - 0.067D^2 \quad (1)$$

用Box-Behnken Design响应面分析法对实验结果拟合的模型进行方差分析,结果见表5。

表5 响应面方差分析结果

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	763.58	14	54.54	13.51	<0.000 1	**
A	192.00	1	192.00	47.57	<0.000 1	**
B	41.81	1	41.81	10.36	0.006 2	**
C	40.33	1	40.33	9.99	0.006 9	**
D	25.81	1	25.81	6.39	0.024 1	*
AB	20.25	1	20.25	5.02	0.041 9	*
AC	0.06	1	0.06	0.02	0.902 7	
AD	3.06	1	3.06	0.76	0.398 4	
BC	25.50	1	25.50	6.32	0.024 8	*
BD	26.52	1	26.52	6.57	0.022 5	*
CD	0.49	1	0.49	0.12	0.732 7	
A^2	273.49	1	273.49	67.75	<0.000 1	**
B^2	185.20	1	185.20	45.88	<0.000 1	**
C^2	21.45	1	21.45	5.31	0.037 0	*
D^2	18.05	1	18.05	4.47	0.052 9	
残差	56.51	14	4.04			
失拟项	56.30	10	5.63	108.28	0.000 2	
纯误差	0.21	4	0.05			
标准差	820.09	28				
						$R^2 = 0.931 1$
						$R_{adj}^2 = 0.862 2$
						$\text{Pred } R^2 = 0.604 1$
						$\text{Adeq Precision} = 13.922 1$

注: * 表示显著, $P < 0.05$; ** 表示高度显著, $P < 0.01$ 。

从表5可以看出,该模型是显著的,所得回归方程的相关系数 R^2 为0.931 1,说明回归的拟合程度较好,该模型较实际值有较可靠的参考价值。

当P值<0.05时,表明模型显著,当P值<0.000 1时,表明模型高度显著,因此A、B、C、D、AB、BC、BD、 A^2 、 B^2 、 C^2 是显著的,AB、BC、BD显著,说明紫薯全粉与高筋小麦粉、高筋小麦粉与酵母、高筋小麦粉与水之间的交互作用也会对紫薯披萨面坯的感官评分造成显著性影响。

2.2.2 响应面分析

响应面能直观地反映出各单因素间的交互作用对响应值的影响程度,响应面越陡,表明该因素对响应面值影响程度越大,反之,越小。由表5和图7可知,当酵母和水均为零点时,紫薯全粉和高筋小麦粉之间有显著的交互作用,当紫薯全粉的添加量不变时,紫薯披萨面坯的感官评分随高筋小麦粉的添加量的增加呈现先上升后下降的趋势,当高筋小麦粉的添加量不变时,紫薯披萨面坯的感官评分随

紫薯全粉的添加量的增加呈现先上升后下降的趋势。原因可能是当小麦粉总量相对一定时,增加紫薯全粉在小麦粉中的比例,面坯的颜色逐渐加深,到达顶点时,具有紫薯特有的色泽,也中和了高筋小麦粉过强的筋力,继续增加紫薯全粉在小麦粉总量中的比例,面坯颜色变得过深,降低了面坯筋力、弹性,使紫薯披萨面坯的感官品质下降。因此,紫薯全粉和高筋小麦粉需要一个恰当的配比,使面坯具有良好的持水性,增加紫薯披萨面坯的柔软度^[16],以期达到最优的感官品质。

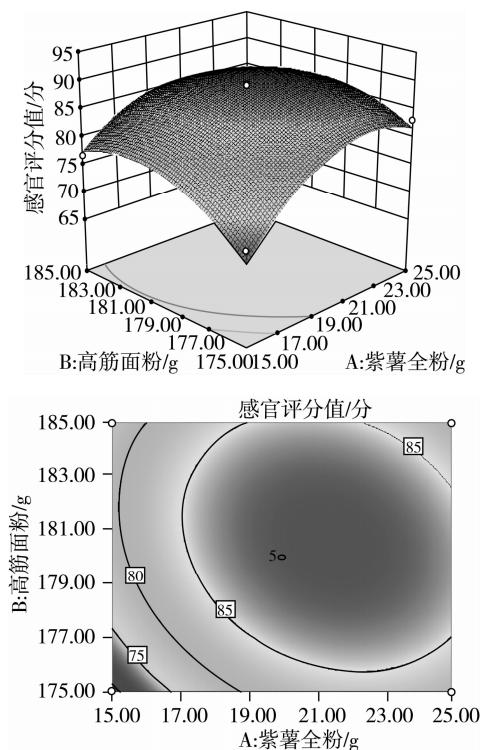


图7 紫薯全粉和高筋小麦粉交互作用对感官评分的响应面图及等高线

由表5和图8可知,当紫薯全粉和酵母均为零点时,高筋小麦粉和酵母之间有显著的交互作用,当高筋小麦粉的添加量不变时,紫薯披萨面坯的感官评分随酵母添加量的增加呈现先上升后下降的趋势,当酵母添加量不变时,紫薯披萨面坯的感官评分随高筋小麦粉添加量的增加呈现先上升后下降的趋势。酵母影响冷冻面团的发酵工艺,较高的酵母添加量能弥补在冷冻过程中对面筋的损伤,提高面坯的抗冻性^[17],而后随着酵母添加量的增加评分降低是由于过高的酵母添加量让面团过度发酵,降低了披萨面坯应有的感官品质。

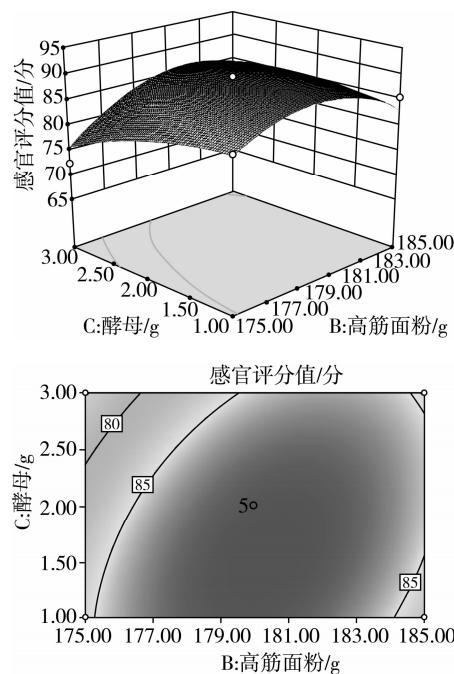


图8 高筋小麦粉和酵母交互作用对感官评分的响应面图及等高线

由表5和图9可知,当紫薯全粉和酵母均为零点时,高筋小麦粉和水之间有显著的交互作用,当高筋小麦粉的添加量不变时,紫薯披萨面坯的感官评分随水的添加量的增加呈现先上升后下降的趋势,当水的添加量不变时,紫薯披萨面坯的感官评分随高筋小麦粉的添加量的增加呈现先上升后下降的趋势。

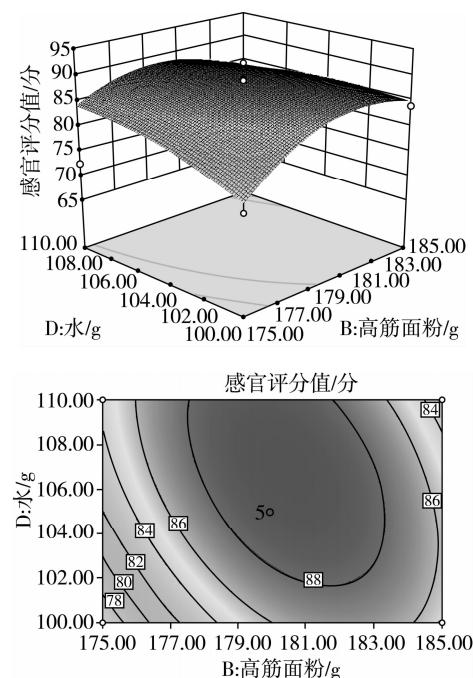


图9 高筋小麦粉和水交互作用对感官评分的响应面图及等高线

2.2.3 优化验证实验

经回归方程计算得到紫薯披萨面坯最优工艺参数为:紫薯全粉 21.46 g、高筋小麦粉 179.41 g、酵母 1.45 g、水 107 g,根据实际情况将工艺参数修正为:紫薯全粉 21 g、高筋小麦粉 179 g、酵母 1.45 g、水 107 g,在此条件下进行紫薯披萨面坯的优化验证实验,通过 3 组平行实验,测得的紫薯全粉披萨面坯的感官评分分别为 91.2、90.4、90.7 分,平均感官评分为 90.8 分,与理论值 90.6 分相比,相对误差小于 1%,说明实际值与该模型有很好的拟合性,具有较可靠的参考价值。

2.3 TPA 的相关性分析

2.3.1 感官评分与 TPA 质构参数相关性分析

通过分析不同储存时间下的紫薯全粉披萨面坯的感官评分与质构仪测定结果之间的相关性来确定客观评价紫薯披萨面坯的质量标准,不同储存时间下的紫薯披萨面坯的感官评定结果和 TPA 质构分析结果分别见表 6、表 7。感官评价与 TPA 质构分析之间的相关性分析见表 8。可以看出,除了粘性以外,其他感官评定参数硬度、韧性、弹性、咀嚼性与 TPA 质构测定参数均有一定相关性,TPA 检测的硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性与感官综合评分具有较好的相关性,其中硬度、咀嚼性与感官综合评分呈负相关,相关系数分别为 -0.942、-0.877,弹性、黏聚性与感官综合评分呈正相关,相关系数分别为 0.899、0.921。

表 6 不同储存时间的紫薯披萨面坯的感官评定结果

时间/d	硬度(感官)	韧性	弹性(感官)	粘性	咀嚼性(感官)	综合评分/分
0	3.69 ± 0.49 ^d	7.32 ± 0.26 ^a	8.94 ± 0.58 ^a	6.12 ± 0.16 ^{ab}	5.24 ± 1.02 ^d	90.54 ± 3.99 ^a
1	3.52 ± 0.04 ^d	6.48 ± 1.03 ^{ab}	8.02 ± 0.61 ^b	5.29 ± 0.40 ^b	6.95 ± 0.90 ^c	90.25 ± 2.59 ^a
2	3.89 ± 0.12 ^d	7.12 ± 0.31 ^a	7.98 ± 0.87 ^b	6.53 ± 0.62 ^a	6.59 ± 0.16 ^c	90.67 ± 1.94 ^a
3	5.45 ± 0.49 ^c	6.07 ± 0.73 ^{ab}	7.56 ± 0.63 ^b	5.98 ± 0.36 ^{ab}	7.26 ± 0.30 ^{bc}	88.58 ± 1.79 ^{ab}
4	7.14 ± 0.63 ^b	5.16 ± 0.08 ^b	6.21 ± 0.10 ^c	5.24 ± 1.06 ^b	7.59 ± 0.22 ^{bc}	86.42 ± 1.24 ^b
5	7.36 ± 0.76 ^b	4.06 ± 0.68 ^{bc}	4.73 ± 0.63 ^d	4.89 ± 0.88 ^b	8.08 ± 0.63 ^b	85.75 ± 1.05 ^b
6	8.04 ± 0.16 ^{ab}	4.21 ± 1.54 ^{bc}	4.59 ± 0.53 ^{de}	5.19 ± 0.75 ^b	8.13 ± 0.83 ^b	87.25 ± 2.34 ^{ab}
7	8.43 ± 1.34 ^a	5.30 ± 0.06 ^b	4.15 ± 0.18 ^{de}	6.17 ± 0.85 ^{ab}	9.09 ± 0.28 ^{ab}	85.51 ± 1.57 ^b
8	8.19 ± 0.23 ^{ab}	3.25 ± 0.23 ^c	3.75 ± 0.19 ^e	4.95 ± 0.49 ^b	9.59 ± 0.67 ^a	83.59 ± 0.72 ^b
9	9.03 ± 0.25 ^a	4.98 ± 0.93 ^b	3.51 ± 0.29 ^e	5.59 ± 0.51 ^{ab}	9.45 ± 1.02 ^a	84.69 ± 3.01 ^b

注:上标字母(a~e)不同时表示各列平均值在 $P < 0.05$ 水平具有显著差异。

表 7 TPA 质构分析结果

时间/d	硬度(TPA)	粘附性	弹性(TPA)	胶黏性	咀嚼性(TPA)
0	6.62 ± 0.53 ^d	3.75 ± 0.37 ^{ab}	7.04 ± 0.18 ^a	1.26 ± 0.17 ^a	0.75 ± 0.05 ^e
1	7.73 ± 0.44 ^d	3.05 ± 0.18 ^c	6.37 ± 0.45 ^a	1.21 ± 0.07 ^{ab}	0.79 ± 0.06 ^{de}
2	7.62 ± 0.28 ^d	2.80 ± 0.21 ^c	5.12 ± 0.53 ^b	1.07 ± 0.14 ^b	0.85 ± 0.08 ^{de}
3	9.53 ± 0.38 ^c	3.56 ± 0.13 ^b	5.03 ± 0.17 ^b	0.96 ± 0.08 ^{bc}	0.88 ± 0.06 ^{de}
4	10.02 ± 0.22 ^c	2.73 ± 0.15 ^c	4.25 ± 0.70 ^{cd}	0.94 ± 0.10 ^{bc}	0.92 ± 0.05 ^d
5	12.64 ± 1.10 ^b	3.81 ± 0.32 ^{ab}	4.19 ± 0.27 ^{cd}	0.89 ± 0.08 ^c	0.97 ± 0.09 ^{cd}
6	13.38 ± 0.19 ^b	3.64 ± 0.14 ^{ab}	3.72 ± 0.52 ^{cd}	0.82 ± 0.06 ^{cd}	1.06 ± 0.07 ^c
7	13.69 ± 0.41 ^b	3.58 ± 0.45 ^{ab}	3.63 ± 0.38 ^d	0.79 ± 0.05 ^{cd}	1.24 ± 0.08 ^b
8	15.86 ± 0.61 ^a	3.74 ± 0.43 ^{ab}	3.06 ± 0.41 ^d	0.67 ± 0.03 ^d	1.37 ± 0.16 ^{ab}
9	15.41 ± 1.40 ^a	3.81 ± 0.27 ^{ab}	2.79 ± 0.38 ^e	0.64 ± 0.07 ^d	1.44 ± 0.05 ^a

注:上标字母(a~e)不同时表示各列平均值在 $P < 0.05$ 水平具有显著差异。

表8 感官评价与TPA质构分析之间的相关性分析

项目	硬度 (TPA)	粘附性 (TPA)	弹性 (TPA)	胶黏性 (TPA)	咀嚼性 (TPA)
硬度(感官)	0.947 **	0.455	-0.939 **	0.945 **	0.867 **
韧性(感官)	-0.882 **	-0.431	-0.814 **	-0.819 **	-0.697 *
弹性(感官)	-0.984 **	-0.476	0.943 **	-0.948 **	-0.909 **
粘性(感官)	-0.486	-0.217	0.368	0.362	-0.265
咀嚼性(感官)	0.957 **	-0.363	0.938 **	-0.950 **	0.930 **
感官综合评分	-0.942 **	-0.454	0.899 **	0.921 **	-0.877 **

注: * 表示 0.05 水平上的相关显著性; ** 表示 0.01 水平上的相关显著性。

2.3.2 TPA 质构参数之间相关性分析

表9为TPA质构测定各项参数之间的相关性分析,可以看出,硬度与弹性、胶黏性呈极显著负相关,相关系数分别为-0.935、-0.965,硬度与咀嚼性呈极显著正相关,相关系数为0.939。弹性与胶黏性呈极显著正相关,相关系数为0.984,与咀嚼性呈极显著负相关,相关系数为-0.982。胶黏性与咀嚼性呈极显著负相关,相关系数为-0.934。

表9 TPA质构参数之间的简单相关系数

TPA质构参数	硬度	粘附性	弹性	胶黏性	咀嚼性
硬度	1				
粘附性	0.555	1			
弹性	-0.935 **	-0.295	1		
胶黏性	-0.965 **	-0.429	0.984 **	1	
咀嚼性	0.939 **	0.485	-0.892 **	-0.934 **	1

注: * 表示 0.05 水平上的相关显著性; ** 表示 0.01 水平上的相关显著性。

2.4 储存期间水分变化

根据以上结果,以最优配方制作紫薯披萨面坯,分别在-18℃的冷冻冰箱储存0~9 d,在底火220℃、面火200℃的条件下烘烤12~15 min后,进行水分含量测定。结果如图14所示,紫薯披萨面坯的水分含量总体呈现下降趋势,且刚开始的0~3 d水分含量下降较快,之后下降趋于缓慢,结合感官评定与质构参数,水分含量在36%以上,硬度在15以下时,紫薯披萨面坯的感官品质尚能接受,储存

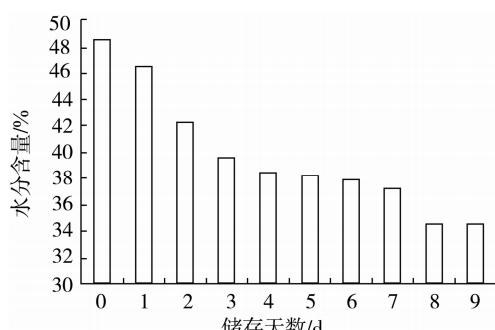


图10 紫薯披萨面坯储存期间水分含量的变化

7 d时,水分含量为37%,硬度为13.69 N。表明储存7 d的紫薯披萨面坯能保持良好风味。

3 结论

根据单因素实验和Box-Behnken法实验结果,得到紫薯披萨面坯最优生产工艺参数为:紫薯全粉21 g、高筋小麦粉179 g、酵母1.45 g、水107 g、盐3 g、糖10 g、奶粉9 g、改良剂1 g、鸡蛋12.5 g、泡打粉1.25 g、橄榄油12.5 g。所制得的紫薯披萨面坯的感官评分为90.6分。在-18℃冷冻冰箱中储存7 d的紫薯披萨面坯能保持良好风味。质构测定结果表明,可以将硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性作为主要评价指标。

参考文献:

- [1]陈明燎.冷冻面团技术[J].食品科学,1998,19(3):14~16.
- [2]陈正宏,顾军.冷冻技术在面包工业中的应用[J].食品与机械,1993,37(5):15~19.
- [3]陈其潮.烘焙加工出新招[J].食品资讯(台),1995,7(3):38~41.
- [4]邓曼莉,徐学明.比萨饼皮的感官评定与质构分析[J].食品工业科技,2008,4(29):138~140.
- [5]杨巍.紫薯的营养价值与产品开发[J].农产品加工学刊,2011(8):41~43.
- [6]王美.紫薯清蛋糕配方及工艺方法研究[J].食品研究与开发,2011,32(6):86~89.
- [7]王杉,邓泽元,曹树稳.紫薯色素的研究进展[J].粮油食品科技,2004,12(2):45~46.
- [8]张海燕,王庆美,张立明,等.紫甘薯系列保健产品的研制及产业化开发[J].山东农业科学,2009(5):105~106.
- [9]张森.不同品种紫薯全粉基本成分及特性研究[J].食品工业科技,2013,34(2):126~129.
- [10]杨文雄.响应面法及其在食品工业中的应用[J].中国食品添加剂,2005(2):68~71.
- [11]Gelinás P, Deaudelin I, Grenier M. Frozen dough: effects of dough shape, water content, and sheeting-molding conditions [J]. Cereal Food World, 1995, 40:124~126.
- [12]吕莹果,陈能飞,李军鹏.酵母和加工条件对冷冻面团生产的影响[J].粮食与食品加工,2007,14(5):26~30.
- [13]钟志惠.西点制作技术[M].北京:科学出版社,2010:175~176.
- [14]GB 7009—2015,食品安全国家标准糕点、面包[S].
- [15]GB/T 5009.3—2016,食品中水分的测定[S].
- [16]黄敏胜.影响冷冻面团质量的因素[J].食品工业科技,2006,3(4):188~191.
- [17]Marston P E. Frozen dough for bread making [J]. Baker'S Dig. 1978, 52: 18~20.