

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.01.008

响应面法优化甘薯泥馒头加工工艺

张凤婕^{1,2}, 张天语^{1,2}, 曹燕飞^{1,2}, 杨哲^{1,2}, 张海静^{1,2}, 李宏军^{1,2}

(1. 乐陵希森马铃薯产业集团有限公司, 山东 德州 253600;

2. 山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049)

摘要:以 20%甘薯泥和小麦粉为原料, 研究压面次数、醒发时间、醒发温度对甘薯泥馒头品质的影响规律。在单因素实验基础上, 选取感官评价为考察指标, 利用响应面分析法对甘薯泥馒头加工工艺进行优化。结果表明, 甘薯泥馒头的最佳工艺为: 压面次数 14 次, 醒发时间 18 min, 醒发温度 33 ℃。所制作的甘薯泥馒头品质较好, 具有特殊的甘薯香味。

关键词:甘薯泥; 响应面法; 馒头品质; 工艺优化

中图分类号: TS213.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)01-0040-06

Optimization of processing technology of sweet potato puree steamed bread by response surface method

ZHANG Feng-jie^{1,2}, ZHANG Tian-yu^{1,2}, CAO Yan-fei^{1,2}, YANG Zhe^{1,2}, ZHANG Hai-jing^{1,2}, LI Hong-jun^{1,2}

(1. Laoling Xisen Potato Industry Group Co., LTD, Dezhou Shandong 253600; 2. School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo Shandong 255049)

Abstract: With 20% sweet potato puree and wheat flour as raw materials, the effects of knead times, fermentation time and fermentation temperature on the quality of sweet potato puree steamed bread were studied. On the basis of single factor test, sensory evaluation was selected as the evaluation index, and response surface analysis was used to optimize the processing technology of sweet potato puree steamed bread. The results showed that the optimum technological formula of sweet potato puree steamed bread was as follows: 14 times of kneading, 18 min of fermentation and 33 ℃ of fermentation temperature. With special sweet potato flavor, the quality of sweet potato puree steamed bread is better under this condition.

Key words: sweet potato puree; response surface method; steamed bread quality; process optimization

甘薯, 作为我国仅次于水稻、小麦、玉米的主要粮食作物^[1], 是我国淀粉工业的主要原料。甘薯具有很高的营养价值, 其中必需氨基酸含量相对较高, 特别是米面中较缺的赖氨酸。从营养角度看, 甘薯营养比较平衡^[2], 比大米、小麦粉具有更多的优点。因此, 将甘薯与大米、小麦粉等谷

物类食品搭配食用, 可以使蛋白质的组成更全面^[3]。

近年来, 国外很多发达国家将甘薯视为“健康食品”及“太空食品”, 掀起了一股食用甘薯的热潮^[4-6]。在我国, 甘薯主要以加工淀粉^[7]和制作薯片^[8]为主, 以甘薯为原料的主食产品研究报道较少。马名扬等^[9]向小麦粉中加入一定比例的甘薯全粉制作馒头, 研究了甘薯全粉添加量对面团流变学特性及馒头品质的影响; 梁建兰等^[10]将甘薯配粉馒头与普通馒头挥发性物质进行了比较, 发现甘薯配粉馒头中的香气物质比普通馒头多十多种。

实验将甘薯制成泥后添加到小麦粉中制作甘

收稿日期: 2019-07-24

基金项目: 科技部“十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0401303)—薯类主食化技术提升与装备研发

作者简介: 张凤婕, 1994 年出生, 女, 硕士, 研究方向为农产品高值化加工。

通讯作者: 李宏军, 1968 年出生, 男, 博士, 教授, 研究方向为食品科学。

薯泥馒头,通过单因素实验和响应面法考察压面次数、醒发时间、醒发温度对含 20%甘薯泥馒头品质的影响,确定最佳工艺条件,旨在为甘薯泥主食馒头的生产提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

雪花小麦粉:淄博市云海面粉厂;高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;新鲜甘薯:市购。

1.2 仪器与设备

BRF-18C 冷藏醒发箱:广州展卓商用设备制造有限公司;MT140 型系列压面机:枣阳市巨鑫机械有限公司;多功能电热锅:山东锅老大电器有限公司;TA.XT.plus 型质构仪:英国 Stable Micro Systems 公司;CM-3600A 色彩色差仪:日本 Konica Minolta 公司;电子天平:福州科迪电子技术有限公司;B15 三功能搅拌机:广东力丰机械制造有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 馒头制作工艺流程

采用二次发酵法制作甘薯泥馒头的工艺流程为:称取配料和面成团发酵压延成型醒发蒸制成品。

操作要点:甘薯泥的制备。挑选无病害、表面光滑的甘薯,经洗净后用蒸锅蒸 40 min,拿出放凉至室温,去皮捣碎成甘薯泥备用。和面。以 100 g 混合粉(20 g 甘薯泥和 80 g 小麦粉)为基准,固定加水量 31 mL,酵母添加量 1 g,一起加入搅拌机中和面 3 min。发酵。将面团放入醒发箱中,在温度 36℃,相对湿度 80%的条件下发酵。压延成型。将发酵好的面团放入压面机中进行压延,多次压延后取出面带,揉搓成团,手工成型。醒发。将成型馒头坯置于醒发箱中醒发 20 min。蒸制。醒发结束后,将馒头坯放入蒸锅中蒸制 20 min,取出冷却 1 h,待测。

1.3.2 单因素实验

考察压面次数、醒发时间、醒发温度的不同对甘薯泥馒头品质的影响,以比容、色差、胶粘性、感官评价为考察指标进行单因素实验,确定各因素的最佳条件。单因素实验水平设置见表 1。

表 1 单因素实验因素水平

水平	因素		
	压面次数/次	醒发时间/min	醒发温度/℃
1	5	10	23
2	8	15	26
3	11	20	29
4	14	25	32
5	17	30	35

1.3.3 响应面实验设计

根据单因素的实验结果,以压面次数、醒发时间、醒发温度 3 个因素为自变量,以甘薯泥馒头的感官评价为标准,采用三因素五水平二次正交旋转组合实验设计安排实验。实验因素水平编码表如表 2。

表 2 实验因素水平及编码

水平	因素		
	压面次数/次	醒发时间/min	醒发温度/℃
-1.68	9	12	29
-1	11	15	30
0	14	20	32
1	17	25	34
1.68	19	28	35

1.4 指标测定方法

1.4.1 馒头比容测定

称取馒头,采用小米替换法测定馒头体积,重复测定 3 次。按公式(1)计算馒头的比容^[12]。

$$P = V / M \quad (1)$$

式中: P 为馒头比容, mL/g; V 为馒头体积, mL; M 表示馒头质量, g。

1.4.2 馒头色差测定

取 3 个有代表性的馒头,测定比容后,剥去馒头皮,从馒头中间部位开始,分别向两边切两片 20 mm 厚的馒头片,在色彩色差仪上分别测定每一片瓤与皮 3 个不同位置的亮度值(L^*),取平均值^[13]。

1.4.3 馒头胶黏性测定

在馒头中心部分切取 3 个 10 mm³的正方体,放在质构仪上,在 TPA 模式下采用 P/36R 压盘式探头进行测定,测试参数为^[14]:测试前速度 2.00 mm/s,测试和测试后速度 1.0 mm/s,压缩程度 60%,2 次压缩时间间隔 10 s。重复测定 6 次,取平均值。

1.4.4 馒头感官评价

参照 GB/T 17320—2013《小麦品种品质分类》的馒头评定方法，对甘薯泥馒头各项指标评分适当修改，具体评分标准如表 3 所示，实验均 3 次重复，取平均值。

表 3 感官评分标准

项目	评分标准
比容 (20 分)	比容 1.7 为 20 分；1.6~1.0 之间，每下降 0.1 扣 1 分；1.0，最低得 2 分。
外观 (15 分)	挺立、饱满、表面光滑 12.1~15 分；轻微塌陷、表面微皱、略有凹点或烫斑 9.1~12 分；严重皱缩、塌陷 1~9 分。
色泽 (10 分)	颜色自然且均匀 8.1~10 分；颜色较深不均匀 6.1~8 分；颜色发暗且不均匀 1~6 分。
气味 (5 分)	具有甘薯香气，甜度适中 4.1~5 分；基本无异味，甜度适中 3.1~4 分；有异味、甜度过大或过小 1~3 分。
弹性 (20 分)	弹快、能复原、可压缩 1/2 以上：16.1~20 分；回弹较差，可压缩 1/4 以下 12.1~16 分；按压十分困难，难以复原 1~12 分。
粘牙 (15 分)	咀嚼爽口不粘牙 12.1~15 分；稍黏或黏 9.1~12 分；咀嚼不爽口，发黏 1~9 分。
内部结构 (15 分)	纵剖面气孔细密且均匀 12.1~15 分；气孔不均匀，结构较粗糙 9.1~12 分；有大气孔，结构很粗糙且不均匀 1~9 分。

1.5 数据处理

采用 SAS9.4 软件对数据处理，进行响应曲面分析，得到响应面图，使用 OriginPro 9.1 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 压面次数对甘薯泥馒头品质的影响

压面次数对甘薯泥馒头比容、感官评价的影响和对色差、胶粘性的影响分别如图 1、图 2 所示。

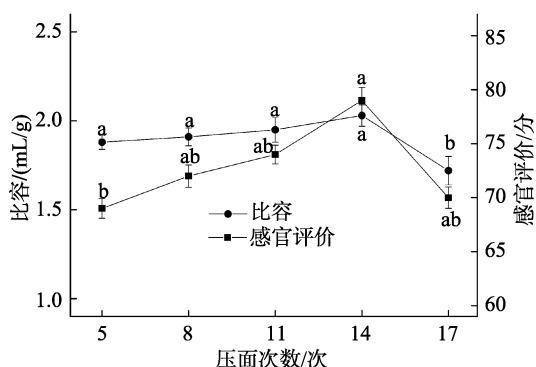


图 1 压面次数对甘薯泥馒头比容和感官评价的影响

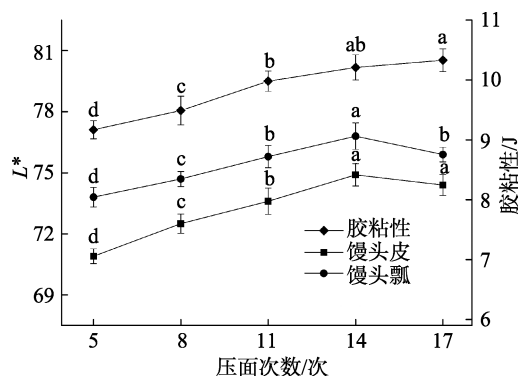


图 2 压面次数对甘薯泥馒头色泽 L*和胶粘性的影响

由图 1、图 2 可以看出，随着压面次数的增加，甘薯泥馒头的比容、感官评价和亮度值 L*均呈先增加后减少的趋势，馒头的胶粘性显著增加，当压面次数为 14 次时，比容、感官评价和亮度值 L*达到最大值。压面时可以使面团的气泡消失，面筋网络结构在压面过程中逐渐形成，CO₂ 气体在面团内均匀溢出，蒸制的馒头比容较大，外观颜色较亮；压面次数过多会使面团出现渗水发黏，面团持气能力受限^[15]，不利于面团的发酵，此时蒸制的馒头内部组织呈不均匀状，使馒头比容减小，感官评价降低，L*逐渐变深。因此，确定最佳的压面次数为 14 次。

2.1.2 醒发时间对甘薯泥馒头品质的影响

醒发时间对甘薯泥馒头比容、感官评价的影响和对色差、胶粘性的影响分别如图 3、图 4 所示。

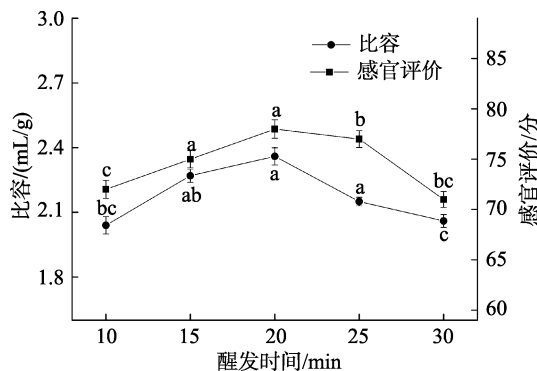


图 3 醒发时间对甘薯泥馒头比容和感官评价的影响

由图 3、图 4 可以看出，随着醒发时间的增加，甘薯泥馒头比容、感官评价和亮度值 L*均呈先增加后减少的趋势，馒头的胶粘性呈逐渐增加的趋势，当醒发时间为 20 min 时，比容、感官评价和亮度值 L*达到最大值。这是由于随着醒发时间的

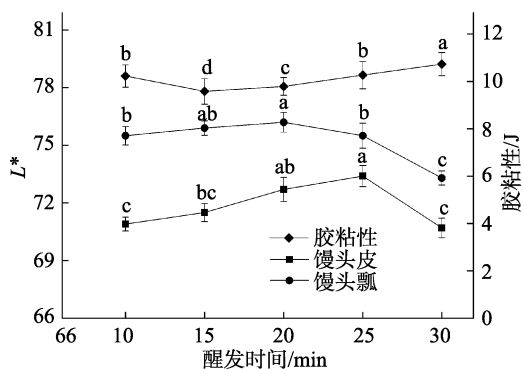


图 4 醒发时间对甘薯泥馒头色泽 L^* 和胶粘性的影响

增加,甘薯泥馒头内部孔洞细小均匀,表面光滑,比容增大,感官评价较高;但是醒发时间过长,会使面团膨胀过度而超过可承受的拉伸限度^[16],馒头内部孔洞大小不一,缺乏光泽或表面不平,感官评价下降。因此,确定最佳的醒发时间为 20 min。

2.1.3 醒发温度对甘薯泥馒头品质的影响

醒发温度对甘薯泥馒头比容、感官评价的影响和对色差、胶粘性的影响分别如图 5、6 所示。

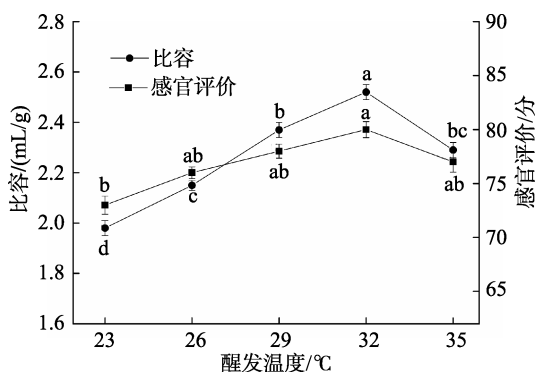


图 5 醒发温度对甘薯泥馒头比容和感官评价的影响

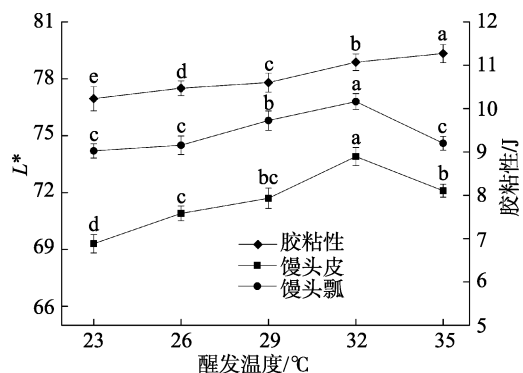


图 6 醒发温度对甘薯泥馒头色泽 L^* 和胶粘性的影响

由图 5、图 6 可知,甘薯泥馒头的比容、感官评价和亮度值 L^* 随着醒发温度的增加均呈先增加后减少的趋势,馒头的胶粘性显著增加,当醒发温度为 32 时,比容、感官评价和亮度值

L^* 达到最大值。这是由于随着醒发温度的延长,酵母菌大量生长繁殖,促进面团体积的膨胀,馒头内部产生多孔结构^[17],表面光滑;随着发酵温度继续升高,酵母菌生长繁殖受到抑制,馒头表面出现暗斑,内部孔洞粗糙,比容减小,感官评价降低。因此,确定最佳的醒发温度为 32 。

2.2 响应面实验结果及分析

2.2.1 响应面实验设计方案及结果

响应面实验安排及结果见表 3。

表 3 响应面实验安排与结果

No.	X_1	X_2	X_3	Y
1	1	1	1	71
2	1	1	-1	73
3	1	-1	1	79
4	1	-1	-1	75
5	-1	1	1	74
6	-1	1	-1	71
7	-1	-1	1	79
8	-1	-1	-1	72
9	1.68	0	0	71
10	-1.68	0	0	70
11	0	1.68	0	69
12	0	-1.68	0	73
13	0	0	1.68	73
14	0	0	-1.68	72
15	0	0	0	77
16	0	0	0	78
17	0	0	0	77
18	0	0	0	76
19	0	0	0	79
20	0	0	0	77
21	0	0	0	79
22	0	0	0	78
23	0	0	0	79

注: X_1 : 压面次数/次; X_2 : 醒发时间/min; X_3 : 醒发温度/°C; Y: 感官评价/分。

2.2.2 甘薯泥馒头醒发工艺模型建立及显著性检验

利用 SAS 9.4 软件对表 3 中甘薯泥馒头的感官评价数据进行处理,得到回归方程系数显著性检验、回归模型方差分析以及响应面,见表 4、表 5、图 7。

采用 SAS 9.4 软件对数据进行回归分析,3 个因素对甘薯泥馒头感官评价经过拟合得到回归方程:

$$Y = 80.8077 + 0.1964X_1 - 1.7384X_2 + 1.0759X_3 - 2.9233X_1^2 - 0.3750X_2X_1 - 2.7461X_2^2 - 1.1250X_3X_1 - 1.3750X_3X_2 - 2.2148X_3^2$$

表 4 回归方程的系数显著性检验

系数项	系数估计值	标准误差	t 值	Pr> t	显著性
常数项	80.807 7	0.877 1	92.13	<0.000 1	***
X ₁	0.196 4	0.712 8	0.28	0.787 2	
X ₂	-1.738 4	0.712 8	-2.44	0.029 8	*
X ₃	1.075 9	0.712 8	1.51	0.155 1	
X ₁ ²	-2.923 3	0.661 7	-4.42	0.000 7	**
X ₂ X ₁	-0.375 0	0.930 9	-0.40	0.693 6	
X ₂ ²	-2.746 1	0.661 7	-4.15	0.001 1	**
X ₃ X ₁	-1.125 0	0.930 9	-1.21	0.248 4	
X ₃ X ₂	-1.375 0	0.930 9	-1.48	0.163 5	
X ₃ ²	-2.214 7	0.661 7	-3.35	0.005 3	**

注：***表示极显著；**表示显著；*表示较显著。下同。

由表 4 可看出，影响甘薯泥馒头感官评价的因素按照主次顺序为：醒发时间>醒发温度>压面次数。模型的常数项 (Pr<0.000 1) 极显著；二次项 X₁²(Pr=0.000 7<0.01)、X₂²(Pr=0.001 1<0.01)、X₃²(Pr=0.005 3<0.01) 显著；一次项 X₂(Pr=0.029 8<

表 5 甘薯泥馒头感官评价的回归模型方差分析

变异来源	自由度	平方和	均方	F 值	Pr>F	显著性
线性	3	57.554 8	0.114 5	2.77	0.084 0	
二次项	3	328.545 4	0.653 7	15.80	0.000 1	***
交互项	3	26.375 0	0.052 5	1.27	0.326 2	
总回归	9	412.475 1	0.820 7	6.61	0.001 3	**
失拟	5	51.244 7	10.248 9	2.11	0.166 4	
随机误差	8	38.888 9	4.861 1			
总残差	13	90.133 6	6.933 4			
总和	22		R ² =0.820 7			

0.05=较显著；其他不显著。

由表 5 可知：甘薯泥馒头感官评价的回归模型的决定系数为 R²=0.820 7；线性 (Pr=0.084 0>0.05) 不显著，二次项 (Pr=0.000 1<0.01) 显著，交互项 (Pr=0.326 2>0.05) 不显著，总回归 (Pr=0.001 3<0.01) 显著；失拟 (Pr=0.166 4>0.05) 不显著。由此可以说明所建立的甘薯泥馒头感官评价的数据与模型的拟合程度较好。

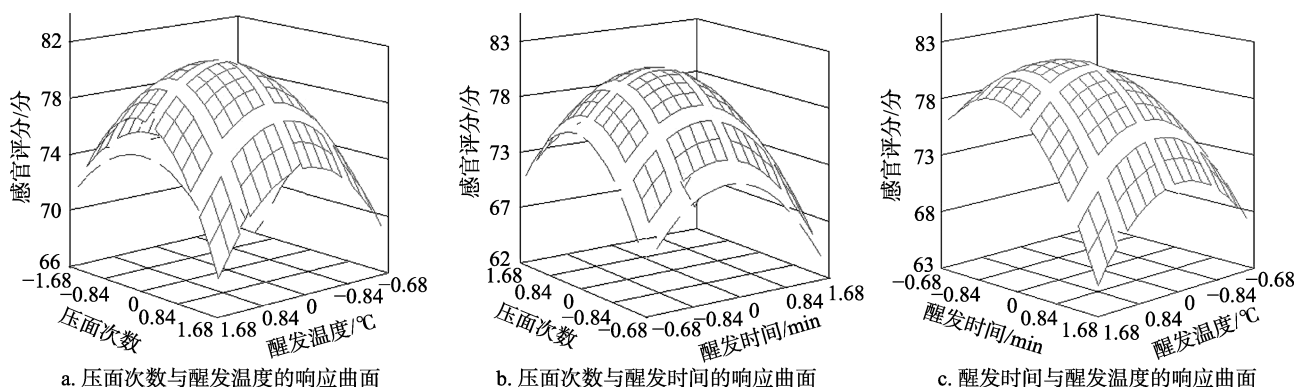


图 7 醒发工艺参数对甘薯泥馒头感官评价影响的响应面分析

图 7a 是醒发时间为 20 min 时，压面次数与醒发温度对甘薯泥馒头感官评价影响的响应曲面。从图中可以看出，当醒发温度一定时，随着压面次数的增加，甘薯泥馒头的感官评分呈先上升后下降；当压面次数不变时，随着醒发温度不断升高，甘薯泥馒头的感官评分呈先增加后降低的趋势。图 7b 是醒发温度为 32 时，压面次数与醒发时间对甘薯泥馒头感官评价影响的响应曲面。从图中可以看出，当醒发时间不变时，随着压面次数的不断增加，甘薯泥馒头的感官评分先上升后下降；当压面次数一定时，甘薯泥馒头的感官评分会随着醒发时间的增加先上升后下降。图 7c 是压面次数为 14 次时，醒发时间与醒发温

度对甘薯泥馒头感官评分影响的响应曲面。从图中可以看出，当醒发温度一定时，随着醒发时间的增加，甘薯泥馒头的感官评分呈先增加后减少趋势；当醒发时间一定时，甘薯泥馒头的感官评分随着醒发温度的升高呈先增大后减少的趋势。

2.2.3 岭回归寻找最佳工艺范围

从表 6 可知，当甘薯泥馒头的考察指标是感官评价时，利用岭回归寻优可以找到醒发工艺的最佳参数范围：压面次数 (X₁) 为 13~14 次，醒发时间 (X₂) 为 15~20 min，醒发温度 (X₃) 为 32~35 。

2.2.4 验证实验安排及结果

由表 7 可以看出，在醒发工艺的最佳参数范围内，甘薯泥馒头的感官评分数据均在回归模型

表 6 甘薯泥馒头感官评分的岭回归寻优分析

编码半径	预测值	标准差	因子预测值		
			X ₁	X ₂	X ₃
0.0	80.807 7	0.877 1	0	0	0
0.1	80.404 3	0.877 0	-0.021 2	0.148 9	-0.074 7
0.2	79.877 4	0.879 1	-0.044 8	0.312 6	-0.114 8
0.3	79.214 3	0.890 5	-0.046 1	0.490 6	-0.106 0
0.4	78.396 1	0.922 3	0.003 7	0.670 7	-0.041 9
0.5	77.401 6	0.987 3	0.094 5	0.832 9	0.053 6
0.6	76.217 0	1.096 9	0.200 1	0.975 5	0.156 1
0.7	74.836 0	1.257 6	0.309 0	1.104 9	0.258 3
0.8	73.256 0	1.471 1	0.418 3	1.225 8	0.358 7
0.9	71.475 6	1.736 0	0.527 1	1.341 3	0.457 5
1.0	69.494 0	2.049 7	0.635 2	1.452 9	0.555 0

表 7 验证实验

No.	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₄
1	13	16	32	86
2	14	18	33	89
3	15	20	34	88

所预测值的范围内，表明醒发工艺的参数优化是可靠的。在此验证下得出的醒发工艺参数是：压面次数 14 次，醒发时间 18 min，醒发温度 33℃，在该醒发工艺条件下甘薯泥馒头的感官评分是 89 分。

3 结论

以 20%甘薯泥和小麦粉为原料，研究压面次数、醒发时间、醒发温度对甘薯泥馒头品质的影响规律。在单因素实验基础上，选取感官评价为考察指标，利用响应面分析法对甘薯泥馒头加工工艺进行优化。得到甘薯泥馒头的最佳工艺为：压面次数 14 次，醒发时间 18 min，醒发温度 33℃。在此工艺条件下甘薯泥馒头品质较好，具有特殊的甘薯香味。可以为甘薯泥馒头的后续研究提供一定的理论指导。

参考文献：

[1] 张希太, 王玉文, 张彦波, 等. 脱毒甘薯节本增效技术工艺的研制与转化应用[J]. 中国科技成果, 2017, 18(3): 64-65.

[2] 江阳, 孙成均. 甘薯的营养成分及其保健功效研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(4): 56-61.

[3] 赵奕昕. 马铃薯生粉加工工艺及其营养与功能特性研究[D]. 新疆: 新疆农业大学, 2016.

[4] ADEYEYE S A, AKINGBALA J O. Quality characteristics and acceptability of cookies from sweet potato – maize flour blends [J]. Nutrition & Food Science, 45(5): 703-715.

[5] YADAV B S, YADAV R B, KUMARI M, et al. Studies on suitability of wheat flour blends with sweet potato, colocasia and water chestnut flours for noodle making[J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 57(1): 352-358.

[6] MENON R, PADMAJA G, SAJEEV M S. Cooking behavior and starch digestibility of NUTRIOSE? (resistant starch) enriched noodles from sweet potato flour and starch[J]. Food Chemistry, 2015, 182(2): 17-23.

[7] 张静. 甘薯淀粉生产工艺研究[D]. 西南大学, 2018.

[8] 李玉龙, 杨焯, 陆国权. 基于均匀设计和主成分分析的甘薯薯片油炸工艺优化[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 223-30.

[9] 马名扬, 关二旗, 卞科, 等. 甘薯全粉对面团性质及馒头品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(3): 31-36.

[10] 梁建兰, 石振鹏, 常学东. 甘薯配粉馒头与普通馒头挥发性物质的比较[J]. 食品科技, 2016, (12): 109-113.

[11] LIU X-L, MU T-H, SUN H-N, et al. Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(11): 2666-2676.


[12] 张爱霞, 刘敬科, 赵巍, 等. 小米馒头质构分析和品质评价[J]. 食品科技, 2017, (6): 156-161.

[13] 孙维思, 张仁堂, 乔旭光. 马铃薯馒头加工工艺研究[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(7): 31-36.

[14] 钟雪婷, 华苗苗, 任元元, 等. 马铃薯全粉对小麦面团及其馒头质构、品质影响的研究[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(5): 37-40.

[15] 常冬冬, 刘长虹, 李志建, 等. 揉压中餺面对馒头品质的影响[J]. 食品工业, 2013, (6): 79-81.

[16] 冷进松, 孙国玉, 王磊鑫, 等. Minitab 联用正交设计优化马铃薯粉蒸烤馒头工艺[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(22): 106-113.

[17] 徐忠, 王胜男, 孙月, 等. 马铃薯全粉馒头的研制[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2018, 34(2): 231-237. 

备注：本文的彩色图表可从本刊官网（<http://lyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>）中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。