

响应面法优化无麸质马铃薯曲奇制作工艺

丁香丽, 李婷婷, 还璐, 钱建亚, 周晓燕*

(扬州大学 旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225127)

摘要: 以马铃薯全粉和马铃薯泥为原料完全代替低筋粉制作无麸质马铃薯曲奇, 采用感官评分为指标, 在单因素试验的基础上使用响应面法探究其最佳生产工艺。结果表明: 当配方组成为黄油 100.0 g、绵白糖 20.0 g、鸡蛋 31.3 g、马铃薯泥 90.2 g、马铃薯全粉 100.1 g、蛋清蛋白粉 6.3 g 时, 制作出的无麸质马铃薯曲奇外形完整、色泽金黄、组织均一、口感酥脆, 具有最佳的感官品质。

关键词: 无麸质; 马铃薯; 曲奇; 响应面优化; 加工工艺

中图分类号: TS 972.123+.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2020)01-0034-06

麸质也称面筋蛋白, 可引发乳糜泻等病症。乳糜泻在北美、西欧和北欧等地区发病率为 0.5%~2.0%, 近年来在亚洲和非洲国家逐年增加。无麸质食品的需求日益受到关注, 我国无麸质食品开发正处于起步阶段, 目前市场化产品几乎没有。^[1] 马铃薯富含人体必需的七大类营养物质。2015 年我国启动马铃薯主粮化战略, 推进马铃薯主食化加工进程。^[2] 但受技术装备制约, 产品种类较少, 价格较高。目前, 国内外多采用马铃薯全粉或淀粉代替部分面粉用于制备马铃薯主食及休闲食品。^[3-4] 从营养学角度出发, 提高马铃薯原料在产品中的添加量能够改善国民膳食营养结构。现有研究表明, 超过 20%~35% 的马铃薯全粉替代率将导致饼干硬度急剧增加, 以及发酵制品面团黏性过大, 出现粘壁现象, 产品比重显著降低。^[5-6] 王远辉等^[7] 证明增加马铃薯全粉添加比例会降低面团中水分自由度, 提高面团持水性, 导致面团黏度过大, 影响面条的压延。即受马铃薯粉中蛋白质、淀粉和纤维的含量、结构组成和加工特性的影响, 马铃薯制品容易出现黏弹性增加、产品黏牙的品质问题。^[8-9] 目前对新鲜马铃薯泥和马铃薯全粉完全替代面粉制备无麸质食品未见报道。通常蛋白质的吸水性强于淀粉,^[10-11] 因此利用蛋白质对水分的竞争吸收, 理论上可以降低

面糊黏度, 解决产品生产过程中由于面团或面糊黏度过大引起的品质劣化。本试验以马铃薯全粉及马铃薯泥为原料完全替代面粉制作无麸质马铃薯曲奇, 优化加工工艺, 以期丰富无麸质食品品种, 提高马铃薯产品附加值, 为无麸质马铃薯食品开发提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 材料与设备

黄油: 恒天然商贸有限公司; 绵白糖: 太古糖业有限公司; 糖粉: 安琪酵母股份有限公司; 马铃薯雪花全粉: 甘肃正阳现代农业服务有限公司; 蛋清蛋白粉: 太阳食品有限公司; 鸡蛋、马铃薯: 购于扬州麦德龙超市。

乔立 7600 厨师机: 徐州乔立烘焙设备有限公司; FA2204B 电子天平: 上海天美天平有限公司; T7-L384D 电烤箱: 广东美的厨房电器制造有限公司; C22-IH66E8 电磁炉: 浙江苏泊尔股份有限公司; 裱花嘴: 杭州二仟贸易有限公司。

1.2 曲奇制作工艺

黄油与绵白糖打发→加鸡蛋打发→加马铃薯泥(蛋清蛋白粉)混合物拌匀→加马铃薯全粉拌匀→成型(直径 4 cm, 厚 1 cm)→烘烤(150℃/150℃, 20 min)→冷却→包装。

收稿日期: 2019-09-10 * 通信作者

基金项目: 国家自然科学基金项目(31701634); 四川省高等学校重点实验室科研项目(PRKX2017Z10)

作者简介: 丁香丽, 女, 扬州大学旅游烹饪学院讲师, 博士, 从事谷物功能成分及面制品品质控制研究;

周晓燕, 男, 扬州大学旅游烹饪学院教授, 从事烹饪科学、烹饪工艺标准化与智能化研究。

1.3 无麸质马铃薯曲奇工艺优化参数设计

1.3.1 无麸质马铃薯曲奇配方优化单因素试验

1.3.1.1 马铃薯全粉与马铃薯泥总量对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

将 300 g 黄油、60 g 绵白糖、50 g 鸡蛋打发后,分 55 g/份,分别加入总重 60、70、80、90、100 g 质量比为 1:1 的马铃薯泥(含 7% 蛋清蛋白粉)和马铃薯全粉,进行无麸质马铃薯曲奇制作及成品感官评分。

1.3.1.2 马铃薯泥与马铃薯全粉比例对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

将 300 g 黄油、60 g 绵白糖、50 g 鸡蛋打发后,分 55 g/份,加入总重 80 g,质量比为 2:6:3:5、4:4:5:3、6:2 的马铃薯泥(含 7% 蛋清蛋白粉)与马铃薯全粉,进行曲奇制作及感官评分。

1.3.1.3 马铃薯泥中蛋清蛋白粉比例对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

将 300 g 黄油、60 g 绵白糖、50 g 鸡蛋打发后,分 55 g/份,加入总量为 80 g,比例为 1:1 的马铃薯泥与马铃薯全粉,马铃薯泥中蛋清蛋白粉添加量分别为马铃薯泥重量的 4%、5%、6%、7%、8%,进行无麸质马铃薯曲奇制作及感官评分。

1.3.1.4 鸡蛋添加量对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

将 450 g 黄油和 90 g 绵白糖打发,分别加入 55、65、75、85、95、105、115 g 的鸡蛋打发,分 55 g/份,加入总重 80 g,质量比为 1:1 的马铃薯泥(含 6% 蛋清蛋白粉)与马铃薯全粉,进行无麸质马铃薯曲奇制作及感官评分。

1.3.2 无麸质马铃薯曲奇响应面优化设计

马铃薯泥和马铃薯全粉总量(A)、马铃薯泥与马铃薯全粉比例(B)、马铃薯泥中蛋清蛋白粉比例(C)和鸡蛋添加量(D)4个因素为自变量,利用 Design-Expert 8.0.6 软件 Box-Behnken Design 试验设计方法,进行 4 因素 3 水平响应面设计。因素与水平见表 1。

表1 无麸质马铃薯曲奇响应面设计

水平	因素			
	A/g	B	C/%	D/g
-1	70.0	3:5	5.0	85.0
0	80.0	4:4	6.0	95.0
1	90.0	5:3	7.0	105.0

1.4 无麸质马铃薯曲奇感官评定

评分小组由 10 位经感官评价专业培训的学生组成,评分标准参照孙玉清等^[12]。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 马铃薯泥与马铃薯全粉总量对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

马铃薯泥与马铃薯全粉代替传统配方中低筋粉的淀粉可对打发后的黄油和糖形成的蓬松组织起填充和支撑作用。^[13]由图 1 可知,无麸质马铃薯曲奇的感官评分随着马铃薯泥与马铃薯全粉总添加量先增大后减小,总添加量为 80 g 时,感官评分最高。当添加量低时,面糊中淀粉填充量不足,无法起到支撑作用,导致无麸质马铃薯曲奇面团无法成形且烘烤过程中易向四周摊流,因此总体感官评分较低;提高总添加量,淀粉充分发挥填充和支撑作用,无麸质马铃薯曲奇外形完整、花纹清晰、组织酥松,因此评分提高;继续提高添加量,面糊中淀粉含量偏高,由于马铃薯泥和马铃薯全粉中淀粉糊化度较高,^[14]吸水性和持水性强,导致面糊黏度增加,虽然无麸质马铃薯曲奇外形完整、花纹清晰,但挤注成型难度增大,口感扎实,结构无多孔状,导致总体评分下降。

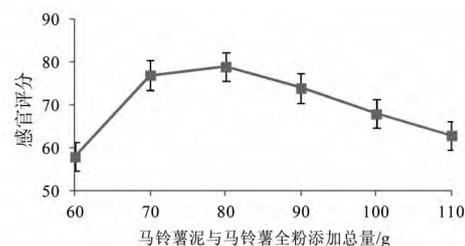


图1 马铃薯泥与马铃薯全粉总添加量对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

2.1.2 马铃薯泥与马铃薯全粉添加比例对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

曲奇面糊中淀粉含量和水分含量影响着淀粉吸水性和持水性,从而影响面糊黏度、烘烤时的延展性及产品品质。^[13]马铃薯泥与马铃薯全粉含水量不同且其中淀粉吸水性和持水性不同,因此用马铃薯完全代替低筋粉制作无麸质马铃薯曲奇时可以调整二者配比以满足面糊调制和产品品质需求。由图 2 可知,随着马铃薯泥比例的提高,曲奇饼干的感官评分先增高再下降。当马铃薯泥比例较低时,面糊中淀粉比例偏大,不能适度吸水发挥

其黏结和支撑作用,因此曲奇易碎且口感扎实,评分较低;提高马铃薯泥比例,可以调整面糊中淀粉含量和面糊黏度,因此一定范围内有助于改善曲奇的感官性质;继续提高马铃薯泥比例,产品中间出现湿润层。这可能是由于大比例的马铃薯泥使体系中水分比例增加,从而使得体系中的糊化淀粉充分吸水,不仅增加体系黏度,而且增大水分脱离难度。

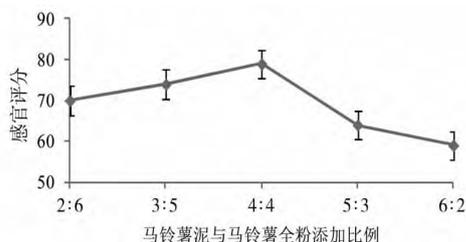


图2 马铃薯泥与马铃薯全粉添加比例对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

2.1.3 马铃薯泥中蛋清蛋白粉比例对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

马铃薯泥与马铃薯全粉吸水性和持水性较强,不仅增大体系黏度而且不利于产品中水分脱离。^[9]刘倩楠等^[15]的研究表明,干物质占比相等情况下,与马铃薯全粉和水的混合物相比,马铃薯泥结合水含量高,不利于烘烤时的水分蒸发。利用蛋白质对水分的竞争吸收,^[11, 16]理论上可以降低面糊黏度,解决水分难以脱离的问题。由图3可知,随着蛋清蛋白粉比例增加,饼干感官评分先增高后下降。其中饼干的滋味口感和组织结构两项评分先增大后减小,外形评分逐渐降低。在一定范围内,蛋清蛋白粉的添加有助于竞争面糊中的水分,改善无麸质马铃薯曲奇烘烤结束中间存在湿润层的现象,从而改善饼干的口感和组织结构。继续增加蛋清蛋白粉的比例会导致曲奇饼干的感官评分下降,主要是因为蛋清蛋白粉的强吸水性使淀粉吸水不充分,失去黏结和支撑作用,影响口感。

2.1.4 鸡蛋添加量对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

鸡蛋蛋白在搅打过程中能够包裹气体,蛋黄中的卵磷脂是一种良好的乳化剂,因此有利于焙烤食品酥松口感的形成,改善焙烤食品口感和滋味。^[10, 17]因此随着鸡蛋添加量增加,无麸质马铃薯曲奇饼干感官评分逐渐增加。由图4可知,随着鸡蛋添加量的增多,无麸质马铃薯曲奇的感官

评分先增高后下降。这是由于鸡蛋中水分含量约75%,比例继续增大降低面糊中淀粉相对比例,使淀粉过度吸水、面糊黏度过大,影响烘烤过程中的膨胀,难以形成多孔结构,因此导致无麸质马铃薯曲奇品质下降。

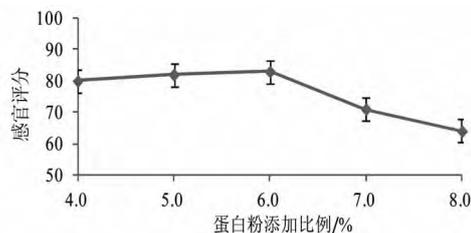


图3 马铃薯泥中蛋清蛋白粉比例对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

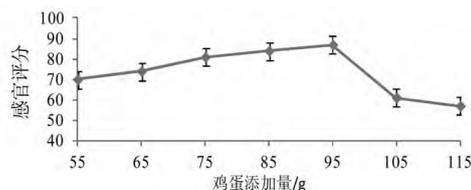


图4 鸡蛋添加量对无麸质马铃薯曲奇品质的影响

2.2 响应面试验

2.2.1 响应面设计与结果

在单因素试验的基础上,选取马铃薯全粉和马铃薯泥添加总量(A)、马铃薯泥与马铃薯全粉添加比例(B)、马铃薯泥中蛋清蛋白粉添加比例(C)和鸡蛋添加量(D)进行交互研究,采用4因素3水平的响应面法进行优化,测定感官评分。响应面试验结果与分析见表2。

2.2.2 模型建立、显著性检验与方差分析

对表2的数据进行回归拟合,得到感官评分Y对自变量A、B、C和D4个因素的二次多项回归模型:

$$Y = 86.20 - 0.83A - 0.083B + 1.92C + 1.50D + 6.25AB - 1.00AC - 0.25AD - 1.25BC + 1.75BD - 2.00CD - 3.18A^2 - 6.81B^2 - 0.31C^2 - 5.43D^2.$$

方差分析、回归方程的有效性检验及各因素对产品的影响见表3。模型 $F = 6.71, P < 0.01$,极显著,说明方程在各试验点与试验结果一致;失拟值 $F = 5.95, P > 0.05$,表明试验结果与模型拟合结果一致。综上,该模型适用于对无麸质马铃薯曲奇饼干的最优配方进行分析和预测。方程的一次项C、二次项(A^2 、 B^2 和 D^2)和交互项(AB)对产品感官评分影响显著。

表2 无麸质马铃薯曲奇响应面设计试验结果

试验号	因素				感官评分
	A	B	C	D	
1	0	-1	1	0	83.28
2	-1	0	0	1	81.33
3	0	0	0	0	87.45
4	0	1	0	-1	67.18
5	1	-1	0	0	70.32
6	1	0	0	-1	77.06
7	-1	0	0	-1	79.13
8	0	1	0	1	80.07
9	0	-1	-1	0	78.24
10	0	0	0	0	87.32
11	0	0	1	-1	86.17
12	1	1	0	0	82.21
13	1	0	-1	0	80.08
14	-1	1	0	0	69.65
15	0	0	-1	-1	76.42
16	0	-1	0	-1	70.14
17	0	1	1	0	80.08
18	-1	-1	0	0	82.34
19	1	0	0	1	78.23
20	-1	0	1	0	86.31
21	0	0	0	0	84.16
22	0	1	-1	0	80.09
23	0	-1	0	1	76.35
24	-1	0	-1	0	81.14
25	1	0	1	0	81.15
26	0	0	-1	1	78.17
27	0	0	0	0	87.34
28	0	0	0	0	86.22
29	0	0	1	1	80.11

2.2.3 响应面分析

根据回归方程,利用 Design - Expert 8.0.6 软件作响应曲面图,分析各因素对的交互作用,结果见图5。

由图可知,随着马铃薯粉与马铃薯泥总添加量、马铃薯泥与马铃薯粉添加比例、鸡蛋添加量数值的升高,无麸质马铃薯曲奇饼干的感官评分逐渐升高;达到无麸质马铃薯曲奇饼干感官品质最佳后继续提高数值将导致无麸质马铃薯曲奇饼干

的感官品质下降,故这3个因素的取值应适中。对于马铃薯泥中蛋白粉添加比例,在选择的水平内,添加比例越高,无麸质马铃薯曲奇饼干的感官评分越高,故该因素选取最高数值。

表3 回归方程显著性检验与方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	724.32	14	51.74	6.71	0.0005	**
A	8.33	1	8.33	1.08	0.3160	
B	0.08	1	0.08	0.01	0.9181	
C	44.08	1	44.08	5.72	0.0310	*
D	27.00	1	27.00	3.50	0.0820	
AB	156.25	1	156.25	20.28	0.0001	**
AC	4.00	1	4.00	0.52	0.4830	
AD	0.25	1	0.25	0.03	0.8591	
BC	6.25	1	6.25	0.81	0.3830	
BD	12.25	1	12.25	1.59	0.2280	
CD	16.00	1	16.00	2.08	0.1716	
A ²	65.73	1	65.73	8.53	0.0112	*
B ²	300.67	1	300.67	39.02	<0.0001	**
C ²	0.62	1	0.62	0.08	0.7814	
D ²	191.49	1	191.49	24.85	0.0002	**
残差	107.88	14	7.71			
失拟值	101.08	10	10.11	5.95	0.0503	
纯误差	6.80	4	1.70			
总和	832.21	28				

注:*表示差异显著,即 $P < 0.05$; **表示差异极显著,即 $P < 0.01$

图5中AB交互作用的等高线图扁平度最大(图5.1),表明马铃薯全粉和马铃薯泥添加总量与马铃薯泥与马铃薯全粉添加比例对无麸质马铃薯曲奇感官品质交互影响作用最大。根据回归模型,无麸质马铃薯曲奇中马铃薯全粉和马铃薯泥添加总量(A)、马铃薯泥与马铃薯全粉添加比例(B)、马铃薯泥中蛋清蛋白粉添加比例(C)和鸡蛋添加量(D)的最优配比为: $A = 72.85$ 、 $B = 0.45$ 、 $C = 7.00\%$ 、 $D = 94.00$,预测值 $Y = 88.7814$ 。

2.2.4 最佳配方验证

为了检验响应面优化结果的可靠性,采用上述最优配比制作无麸质马铃薯曲奇并与传统低筋

粉曲奇进行比较。平行试验5次,产品感官评分的平均值为(88.0±0.7)分,与预测值一致。因此,响应曲面对无麸质马铃薯曲奇饼干配方的优化是可行的。由表4可知,无麸质马铃薯曲奇颜

色略深、光泽度和膨松度降低、口感略硬,爽口性降低,外形完整、表面纹路清晰、组织均一、马铃薯味道浓郁、甜度适中、较为松脆,仍能满足消费者可接受性。

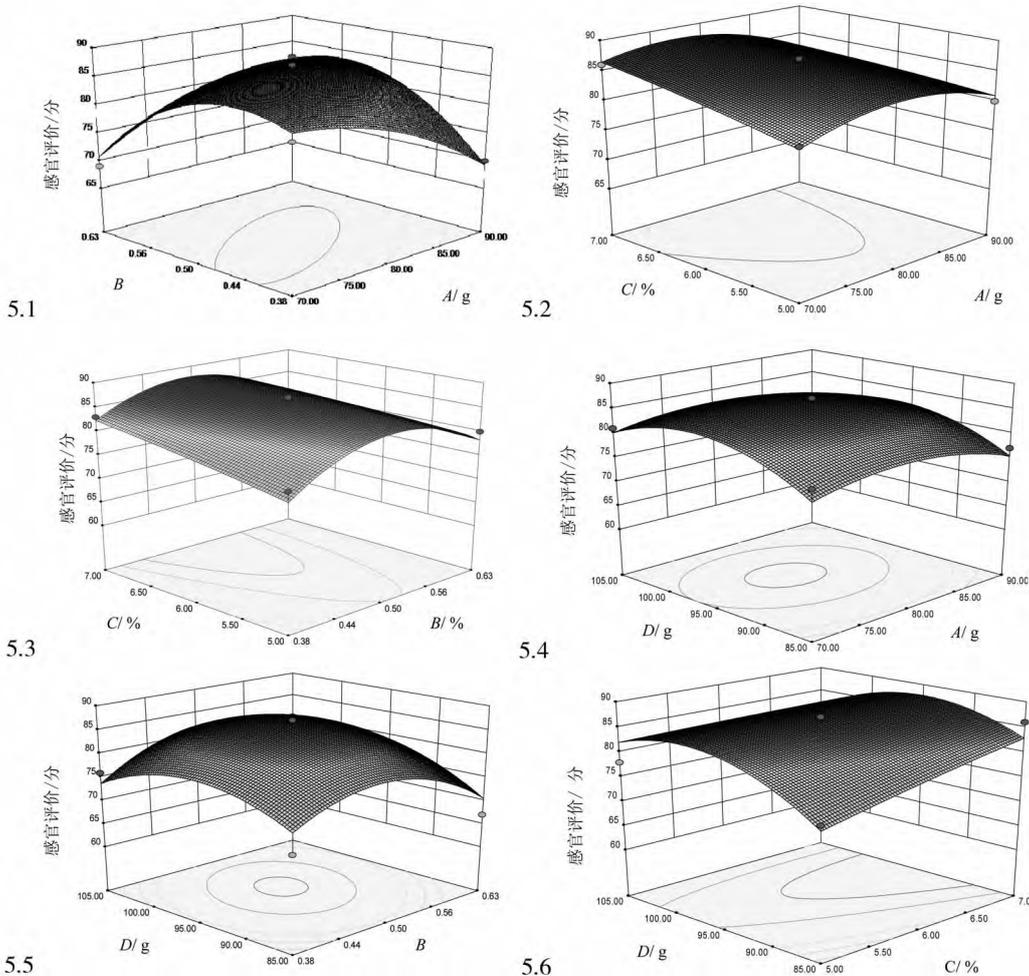


图5 各因素交互作用的响应面分析

表4 曲奇感官评分

样品	外形	色泽	滋味和口感	组织结构	杂质	总分
低筋粉曲奇	19.4±0.6 ^a	9.3±0.3 ^a	30.0±0.0 ^a	30.0±0.0 ^a	10.0±0.0 ^a	98.0±0.1 ^a
无麸质马铃薯曲奇	18.7±0.7 ^a	8.3±0.9 ^b	27.0±0.3 ^b	25.6±0.1 ^b	10.0±0.0 ^a	88.0±0.7 ^b

注: 同列数据上标小写字母不同表示差异显著(P<0.05)

3 结论

试验以马铃薯全粉和马铃薯泥为原料,通过单因素试验和响应面法对无麸质马铃薯曲奇制作工艺进行优化。通过单因素试验选出了马铃薯全粉和马铃薯泥添加总量、马铃薯泥与马铃薯全粉

添加比例、马铃薯泥中蛋清蛋白粉添加比例和鸡蛋添加量4个影响无麸质马铃薯曲奇的重要因素。在单因素实验结果基础上,进行响应面优化试验,所得模型效果极显著。最终得到的优化条件为:黄油100.0g、绵白糖20.0g、鸡蛋31.3g、马铃薯泥90.2g、马铃薯全粉100.1g、蛋清蛋白

粉 6.3 g。验证试验,优化工艺条件得到的无麸质马铃薯曲奇外形完整、色泽金黄、组织均一、口感酥松,其感官评分为(88.0 ± 0.7)分,可满足消费者对曲奇的品质需求。因此,本研究对丰富无麸质食品和马铃薯制品产品种类生产和加工具有指导意义。

参考文献:

- [1] 吴娜娜,王娜,谭斌,等. 无麸质食品品质改良研究进展[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(4): 24-28.
- [2] ZHANG H, XU F, WU Y, et al. Progress of potato staple food research and industry development in China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(12): 2924-2932.
- [3] 李玉美,白洁,周宏亮,等. 马铃薯全粉理化特性及其在酥性饼干中的应用[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 222-226.
- [4] 买玉花,王彩霞,贺晓光. 马铃薯饼干的工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(5): 155-61.
- [5] 郭意明,丛爽,邓惠馨,等. 鱼糜和马铃薯粉对饼干质构和风味的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(20): 96-102.
- [6] 喻勤,王玺,林静,等. 马铃薯面包复配改良剂的优选及其对面包质构特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(13): 26-33.
- [7] 王远辉,赵靖雯. 马铃薯全粉添加量对挂面品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(8): 24-29.
- [8] 陈代园. 马铃薯面包冷冻面团关键生产技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
- [9] 代春华,刘晓叶,屈彦君,等. 不同产地马铃薯全粉的营养及理化性质分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(19): 29-33.
- [10] 迟玉杰. 蛋制品加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2018: 21-22.
- [11] 阚建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 63-67.
- [12] 孙玉清,刘小飞,贾红亮. 南瓜曲奇饼干的配方及制作工艺[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(9): 40-43.
- [13] PAREYT B, TALHAOUI F, KERCKHOFS G, et al. The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(3): 400-408.
- [14] 朱永,梁杉,张敏,等. 添加不同品种和类型的马铃薯全粉对鲜湿面条品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(2): 94-101.
- [15] 刘倩楠,石晓芳,李冲,等. 马铃薯泥吐司面包的工艺优化[J]. 食品与发酵科技, 2019, 55(2): 22-26.
- [16] SAHAGÚN M, AND GÓMEZ M. Influence of protein source on characteristics and quality of gluten-free cookies [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(10): 4131-4138.
- [17] 孔欣欣,段秋虹,张璐. 火龙果风味马卡龙饼干的研制[J]. 美食研究, 2019, 36(3): 65-69.

Optimization of the production technology of gluten-free potato cookies by response surface methodology

DING Xiangli, LI Tingting, HUAN Lu, QIAN Jianya, ZHOU Xiaoyan

(School of Tourism and Culinary Science, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

Abstract: Taking sensory score as the response indicator, response surface methodology was applied to explore the optimal production process based on single-factor experiments to make gluten-free potato cookies using whole potato flour and mashed potatoes as raw materials to completely replace the low-gluten wheat flour. The results showed that the product with golden color and uniform and crunchy texture could be obtained when the formula consisted of 100.0 g of butter, 20.0 g of white sugar, 31.3 g of hen eggs, 90.2 g of mashed potato, 100.1 g of whole potato flour, and 6.3 g of egg white powder was used.

Key words: gluten-free; potato; cookie; response surface methodology; production technology

(责任编辑:赵 勇)