

响应面法优化龙香芋谷物饼干配方

施 帅,徐海祥,李志方,宗 虎

(江苏农牧科技职业学院,江苏泰州 225300)

摘 要:本文以芋头粉、蛋黄和黄油作为主要原料制作龙香芋谷物饼干,以质构、色差、感官评定为指标,进行单因素实验;在此基础上,以感官评分为指标,采用响应面法对芋头粉添加量、黄油添加量、白砂糖木糖醇添加比例、鸡蛋黄添加量进行优化,并对最终产品的理化指标及营养物质进行测定。结果表明:各因素的影响强弱顺序为:芋头粉添加量 > 黄油添加量 > 蛋黄添加量 > 白砂糖木糖醇比例,最优配方为:芋头粉添加量 300.54 g、黄油添加量 30.06 g、白砂糖木糖醇比例为 1:1.02(共 20.20 g)、蛋黄添加量 30.07 g,此时感官评分可达 90.40,与理论值误差 0.25%,模型拟合度好,该配方得到的产品符合理化指标和营养物质的要求。

关键词:芋头粉,饼干,感官品质,响应面法

Optimization of the Formula of Dragon Taro Grain Biscuits by Response Surface Method

SHI Shuai, XU Hai-xiang, LI Zhi-fang, ZONG Hu

(Jiangsu Agri-Animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China)

Abstract: Taro powder, yolk and butter were used as the main raw materials to produce dragon taro grain biscuits in this experiment. Based on single-factor experiments, the effects of four factors (the addition of taro powder, butter, ratio of sugar and xylitol, yolk) on the properties including texture, color-comparison and sensory analysis were investigated by response surface methodology. The physical indicators, chemical indicators and nutrient indicators of dragon taro grain biscuits were analyzed. The results showed the influence order was follows: Taro powder addition butter addition > yolk addition > ratio of sugar and xylitol, the optimum parameters of the experiment were taro powder addition 300.54 g, butter addition 30.06 g, ratio of sugar and xylitol 1:1.02(20.20 g), yolk addition 30.07 g, which sensory properties was highest. Under the optimum conditions, the sensory score could reach 90.40, and the error was 0.25% with the theoretical value, the model fitted well. The product obtained by this formula met the requirements of physical and chemical indicators and nutrients.

Key words: taro powder; biscuits; the sensory quality; response surface experiment

中图分类号:TS255.36

文献标识码:B

文章编号:1002-0306(2019)21-0186-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2019.21.030

引文格式:施帅,徐海祥,李志方,等.响应面法优化龙香芋谷物饼干配方[J].食品工业科技,2019,40(21):186-191.

饼干是一种以油脂、糖和面粉为主要原料的休闲食品。目前,饼干已经从过去的高糖和高油向营养和多功能性方向转变,如挤花饼干、切片饼干、塑型饼干、谷物饼干、印模饼干、装饰饼干^[1]。

芋头在中国珠江流域有最多的分布,其次长江流域,主要分布在泰州靖江、泰兴、兴化沿线,主要品种是龙香芋^[2]。芋头是高纤低脂的保健食品,富含维生素、矿物质、多糖、氨基酸等有益成分,口感软酥糯滑^[3]。目前,芋头以鲜食为主,深加工的应用不多,而随着新农村建设、全域旅游等政策的落实,为增加芋头产业的效益,迫切需要对芋头进行深入研究。木糖醇是一种功能性糖醇,具有与白砂糖相同的甜味,具有预防龋齿和预防高血糖的作用^[4-5]。

为满足市场对营养健康产品的需求,本文对常规谷物饼干配方进行改良优化,用营养价值丰富的龙香芋头粉代替面粉,用木糖醇粉代替部分白砂糖,开发研制出一款符合现代人消费需求的高膳食纤维、低能量的有一定保健功能的龙香芋谷物饼干,为拓宽芋头资源的开发利用、提升芋头的综合利用价值提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜龙香芋头粉(以下简称芋头粉) 兴化农产品批发市场;黄油 新西兰安佳;木糖醇 天津阿尔发保健品有限公司;食用香精 英国瑞娜;白砂糖、鸡蛋 市购。

收稿日期:2019-01-15

作者简介:施帅(1980-),男,硕士,讲师,研究方向:食品加工与质量控制,E-mail:shshuai027@163.com。

基金项目:泰州市农业科技支撑项目;芋头绿色精深加工技术研究与新产品开发(TN2013001);2018年江苏牧院大学生创新创业项目(201812806065Y)。

CKTF-32GS 型烤箱 佛山市威士达电器有限公司; TP-313 电子天平 北京赛多利斯仪器有限公司; TA-XT2i 型质构仪 英国 Stable Micro Systems; ADCI-60-C 自动色差仪 北京晨科仪器科技有限公司; HH-6 数显恒温水浴锅 国华电器有限公司; 高速破壁料理机 飞利浦 Avance Collection Innergizer; 裱花嘴、不锈钢盆、橡皮刮刀、手动打蛋器 均购自泰州市温泰市场。

1.2 龙香芋谷物饼干制作工艺

芋头去皮切块→蒸熟→取出晾凉→略微压碎过筛放入料理机→加入蛋黄、黄油、白砂糖、木糖醇等→将芋头糊搅拌均匀→装入裱花袋→挤在不粘烤盘或铺了油纸的烤盘→烤箱预热 175 ℃, 烘烤 20 min→烤好后取出感官评定。

1.3 实验设计

以龙香芋谷物饼干质构、色差和感官评分为指标, 分别改变芋头粉、蛋黄、黄油的添加量、白砂糖木糖醇添加比例等参数, 通过单因素实验和中心组合试验设计评价各因素对成品品质的影响。

1.3.1 单因素实验设计

1.3.1.1 芋头粉添加量对成品品质的影响 固定白砂糖 10 g、木糖醇 10 g、香草精 2.5 mL、蛋黄 30 g、黄油 30 g, 考察不同芋头粉添加量分别为 200、250、300、350、400 g 对成品品质的影响。

1.3.1.2 黄油添加量对成品品质的影响 固定白砂糖 10 g、木糖醇 10 g、香草精 2.5 mL、鸡蛋黄 30 g、芋头粉 300 g, 考察黄油添加量分别为 20、25、30、35、40 g 对成品品质的影响。

1.3.1.3 白砂糖木糖醇添加比例对成品品质的影响 固定芋头粉 300 g、香草精 2.5 mL、鸡蛋黄 30 g、考察白砂糖木糖醇添加比例(二者的添加量组合分别为 6 和 14 g(3:7)、8 和 12 g(2:3)、10 和 10 g(1:1)、12 和 8 g(3:2)、14 和 6 g(7:3))对成品品质的影响。

1.3.1.4 蛋黄添加量对成品品质的影响 固定白砂糖 10 g、木糖醇 10 g、香草精 2.5 mL、芋头粉 300 g, 考察鸡蛋黄添加量分别为 20、25、30、35、40 g 对成品品质的影响。

1.3.2 Box-Behnken 实验设计 以芋头粉、黄油、白砂糖木糖醇添加比例、鸡蛋黄 4 个因素为自变量, 以感官评分为指标, 设计响应面实验, 因子与水平及编码见表 1。

表 1 响应面实验因素水平表

Table 1 Factors and levels of response surface experiment

水平	因素			
	A 芋头粉添加量 (g)	B 黄油添加量 (g)	C 白砂糖木糖醇添加比例	D 蛋黄添加量 (g)
-1	250	25	2:3	25
0	300	30	1:1	30
1	350	35	3:2	35

1.4 饼干品质指标的测定

1.4.1 感官评定标准 参照《GB7100-2015 饼干》

的感官评分标准进行。由 10 位有一定品评经验的食品专业学生组成感官评定小组, 男女各占一半, 对产品形态(20 分)、颜色(20 分)、滋味和口感(35 分)、结构(15 分)、杂质(10 分)进行综合评分, 结果取平均值。产品的具体感官评分标准如表 2 所示^[6]。

表 2 龙香芋谷物饼干评分标准

Table 2 Evaluation criteria of dragon taro grain biscuits

项目	特征	得分 (分)
形态 (20 分)	完整, 造型均匀, 无收缩, 表面不起泡	15~20
	形状略不完整, 厚薄几乎均匀, 泡点均匀	7~14
颜色 (20 分)	形状不完整, 厚薄不均匀, 泡点大	0~6
	颜色均匀, 表面光泽	15~20
滋味和口感 (35 分)	色泽有轻微变化者	10~14
	色泽不均匀	0~9
结构 (15 分)	味甜, 富含芋头味, 无异味	28~35
	具有饼干或芋头的香气	17~27
杂质 (10 分)	没有饼干或芋头的香气	0~16
	具有层状结构或多孔形状, 没有大孔	11~15
杂质 (10 分)	截面结构比较清晰	6~10
	层面不清晰	0~5
杂质 (10 分)	无杂质	6~10
	有杂质	0~5

1.4.2 龙香芋谷物饼干质构的测定 采用质构仪测定龙香芋谷物饼干的硬度、咀嚼性和脆性, 探头型号 P/36R, 测试前速度 2.0 mm/s、测试中速度 1.0 mm/s 及测试后速度 1.0 mm/s, 压缩比 60%。重复 3 次取平均值^[7]。

1.4.3 龙香芋谷物饼干色差的测定 取样品的中心部分, 将样品切割成直径约 2 cm、厚度约 0.5 cm 的薄圆片, 通过色差仪测量色泽(L^* 表示亮度、 a^* 表示红绿度和 b^* 表示黄蓝色度)。重复 3 次后取平均值^[8]。

1.5 饼干理化指标的检测

1.5.1 理化指标的检测 酸价: 参照 GB 5009.229-2016 中测定方法; 过氧化值: 参照 GB 5009.227-2016 中测定方法; 脂肪: 参照 GB5009.6-2016 中粗脂肪的测定方法(索氏抽提法)测定。

1.5.2 营养物质测定 按照 GB5009.88-2014 规定的方法进行膳食纤维的测定。参照 GB/T 20977-2007 糕点通则中直接滴定法测定总糖。

1.6 数据处理

使用 Excel 2010 软件对数据进行统计分析并绘制图表, 用 Design Expert 8.0.6 进行响应面分析。

2 结果与分析

2.1 产品配方的单因素实验

2.1.1 芋头粉添加量对饼干品质的影响 芋头粉添加量对龙香芋谷物饼干的影响如表 3 所示, 由表 3 可

表3 不同芋头粉添加量对饼干品质的影响

Table 3 Effect of different amounts of taro powder on taro grain biscuits quality

芋头粉添加量 (g)	硬度(g)	脆性(g·s)	咀嚼性(g)	色泽			感官评分 (分)
				a^*	b^*	L^*	
200	1107.76 ± 91.32 ^c	665.34 ± 51.39 ^a	1786.31 ± 52.64 ^b	14.03 ± 0.09 ^a	29.67 ± 0.18 ^a	53.53 ± 0.27 ^b	75.23 ± 3.65 ^a
250	1257.53 ± 79.53 ^c	685.70 ± 62.83 ^a	1663.78 ± 38.21 ^b	15.64 ± 0.03 ^a	30.18 ± 0.15 ^a	57.26 ± 0.18 ^b	77.21 ± 7.83 ^a
300	1328.27 ± 96.48 ^c	1120.34 ± 38.27 ^b	1348.21 ± 51.27 ^c	16.65 ± 0.06 ^a	30.64 ± 0.09 ^a	62.66 ± 0.71 ^b	85.79 ± 3.35 ^b
350	1531.15 ± 104.37 ^{bc}	976.85 ± 74.07 ^b	1302.96 ± 64.92 ^c	17.89 ± 0.07 ^c	31.13 ± 0.12 ^a	58.79 ± 0.08 ^b	78.98 ± 3.27 ^a
400	1786.63 ± 101.26 ^{ab}	784.32 ± 71.23 ^{ab}	1254.86 ± 23.87 ^{bc}	17.50 ± 0.09 ^c	31.96 ± 0.09 ^a	57.68 ± 0.23 ^b	70.67 ± 6.41 ^a

注:同列均值上标字母不同者表示差异显著($P < 0.05$),表4~表6同。

表4 不同的黄油添加量对饼干品质的影响

Table 4 Effect of different amounts of butter on taro grain biscuits quality

黄油添加量 (g)	质构			色泽			感官评分 (分)
	硬度(g)	脆性(g·s)	咀嚼性(g)	a^*	b^*	L^*	
20	611.23 ± 44.23 ^b	568.39 ± 51.37 ^a	1154.81 ± 24.87 ^{bc}	11.03 ± 0.09 ^a	27.76 ± 0.18 ^a	52.53 ± 0.27 ^b	65.53 ± 3.65 ^a
25	739.45 ± 96.28 ^b	621.74 ± 52.86 ^a	1563.72 ± 38.21 ^b	14.64 ± 0.03 ^a	30.83 ± 0.15 ^a	52.26 ± 0.18 ^b	78.23 ± 7.83 ^a
30	1107.32 ± 89.82 ^c	724.39 ± 71.23 ^{ab}	1686.32 ± 52.65 ^b	15.66 ± 0.06 ^a	33.46 ± 0.09 ^a	64.66 ± 0.71 ^a	82.77 ± 3.35 ^b
35	1247.06 ± 79.10 ^c	986.82 ± 74.07 ^b	1248.27 ± 151.67 ^c	16.85 ± 0.07 ^c	35.31 ± 0.12 ^b	57.79 ± 0.08 ^b	80.92 ± 3.27 ^a
40	1698.31 ± 97.10 ^a	1041.36 ± 83.25 ^b	1202.91 ± 164.93 ^c	16.52 ± 0.09 ^c	39.69 ± 0.09 ^b	55.68 ± 0.23 ^b	75.47 ± 6.41 ^a

知,芋头粉添加量由200 g增加至400 g,饼干硬度增加,脆性先上升后下降,咀嚼性呈现下降趋势,这可能的原因是芋头中支链淀粉受热膨胀起到空间填充作用,结构更致密^[9-10];随着芋头粉添加量的增大,饼干 a^* 和 b^* 增大, L^* 呈先上升后下降的趋势,说明芋头的添加可引起色泽加深;当芋头粉添加量为300 g时,龙香芋谷物饼干的感官评分最高,为85.79分。芋头粉添加量过少时,面坯不易成型,并且在焙烤后易变形;芋头粉添加量过多,饼干太脆,不完整,这可能是芋头粉淀粉含量高,进而影响饼干的延伸性、弹性和韧性。根据以上分析,芋头粉添加量以300 g左右为最适添加量。

2.1.2 黄油的添加量对饼干品质的影响 从表4可以看出,随着黄油添加量的增加,饼干的硬度和脆性增加,并且咀嚼性先增大后减少,主要原因是适量的黄油会在淀粉颗粒与蛋白质表面形成薄膜,阻碍面筋的吸水作用,进而面团的吸水性能降低; a^* 先增大而后稳定, b^* 上升, L^* 呈先上升后下降的趋势,可能与黄油本身的颜色有关;龙香芋谷物饼干的感官评分值首先上升然后平稳降低;然而,当添加的黄油量太大时,会出现不易搅打、油味浓、并且龙香芋谷物饼干走油的现象。根据以上综合分析,以黄油添加量30 g左右为宜。

2.1.3 白砂糖木糖醇添加比例对饼干品质的影响 从表5可以看出,添加的木糖醇过高时,饼干硬

度较小。木糖醇添加量逐渐减少时,刚好弥补龙香芋谷物饼干延伸性差的缺点,不但不会影响原有曲奇的口感,而且还使得饼干的口感较清淡,甜度适宜,热量低,减轻了原来的油腻感^[11-12];随着白糖添加量的增加,饼干的硬度和咀嚼性增大,可能是糖的反水化作用限制面筋蛋白的形成,使成品的口感过硬; a^* 、 b^* 和 L^* 上升,可能是美拉德反应的结果;随着白砂糖与木糖醇添加比例的增大,龙香芋谷物饼干感官评分首先上升然后平稳变化。根据以上综合分析,以白砂糖木糖醇添加比例1:1(白砂糖添加量10 g、木糖醇添加量10 g左右)为宜。

2.1.4 蛋黄添加量对饼干品质的影响 从表6可以看出,随着蛋黄添加量升高,硬度和咀嚼性降低,脆性得到改善;龙香芋谷物饼干感官评分先上升然后下降,加入过多的蛋黄,饼干的形态越来越不完整,并且颜色会有点变褐,整体色泽偏白、偏亮、偏黄,蛋黄添加量为30 g时,感官评分值最高达83.67分。因此,蛋黄添加量以30 g左右为宜。

2.2 响应面试验结果分析

2.2.1 响应面试验结果 基于单因素实验结果,根据Box-Behnken中心组合设计了4因素3水平的响应面试验,实验方案根据表1的因素与水平设计,实验结果见表7。

使用Design-Expert 8.0.6软件对表7实验数据进行多元回归拟合,各实验因子对感官评分可用如

表5 不同白砂糖木糖醇添加比例对饼干品质的影响

Table 5 Effect of different amounts of sugar and xylitol on taro grain biscuits quality

白砂糖木糖醇 添加比例	质构			色泽			感官评分 (分)
	硬度(g)	脆性(g·s)	咀嚼性(g)	a^*	b^*	L^*	
3:7	672.26 ± 44.23 ^b	1142.36 ± 83.25 ^b	1254.81 ± 32.87 ^{bc}	14.03 ± 0.09 ^a	24.26 ± 0.18 ^a	51.43 ± 0.27 ^b	63.53 ± 3.65 ^a
2:3	746.31 ± 96.28 ^b	987.84 ± 74.07 ^b	1102.93 ± 144.95 ^c	14.64 ± 0.03 ^a	31.84 ± 0.15 ^a	53.75 ± 0.18 ^b	72.28 ± 7.83 ^a
1:1	1118.45 ± 61.84 ^c	744.28 ± 71.23 ^{ab}	1248.27 ± 151.67 ^c	16.66 ± 0.06 ^c	32.47 ± 0.09 ^a	55.63 ± 0.23 ^b	82.67 ± 3.35 ^b
3:2	1247.32 ± 79.13 ^c	625.78 ± 52.86 ^a	1663.75 ± 37.22 ^b	16.85 ± 0.07 ^c	37.80 ± 0.12 ^b	57.29 ± 0.08 ^b	81.51 ± 3.27 ^a
7:3	1798.18 ± 74.10 ^a	583.51 ± 51.37 ^a	1786.34 ± 32.69 ^b	16.52 ± 0.09 ^c	39.83 ± 0.09 ^b	68.60 ± 0.71 ^a	81.77 ± 6.41 ^a

表6 不同蛋黄添加量对饼干品质的影响

Table 6 Effect of different yolk on taro grain biscuits quality

蛋黄添加量 (g)	质构			色泽			感官评分 (分)
	硬度(g)	脆性(g·s)	咀嚼性(g)	a^*	b^*	L^*	
20	1798.28 ± 75.10 ^a	583.51 ± 51.37 ^a	1786.34 ± 32.69 ^b	18.81 ± 0.07 ^c	24.26 ± 0.18 ^a	51.43 ± 0.27 ^b	60.53 ± 3.65 ^a
25	1248.25 ± 69.13 ^c	625.78 ± 52.86 ^a	1663.75 ± 37.22 ^b	16.57 ± 0.09 ^c	31.84 ± 0.15 ^a	53.75 ± 0.18 ^b	70.28 ± 7.83 ^a
30	1117.63 ± 21.84 ^c	744.28 ± 71.23 ^{ab}	1254.81 ± 132.87 ^{bc}	15.63 ± 0.06 ^c	32.47 ± 0.09 ^a	55.63 ± 0.23 ^b	83.67 ± 3.35 ^b
35	746.38 ± 96.28 ^b	987.84 ± 74.07 ^b	1248.27 ± 151.67 ^c	11.67 ± 0.03 ^a	37.80 ± 0.12 ^b	57.29 ± 0.08 ^b	75.51 ± 3.27 ^a
40	602.52 ± 44.23 ^b	1142.36 ± 83.25 ^b	1102.93 ± 144.95 ^c	11.03 ± 0.09 ^a	39.83 ± 0.09 ^b	69.65 ± 0.71 ^a	70.77 ± 6.41 ^a

表7 Box-Behnken 实验设计与结果

Table 7 Design and results of Box-Behnken experiment

试验号	A	B	C	D	感官评分 Y (分)
1	1	0	0	1	83.6
2	-1	0	1	0	79.7
3	-1	0	-1	0	76.9
4	1	0	0	-1	82.7
5	0	1	1	0	87.2
6	0	0	0	0	89.2
7	1	1	0	0	82.1
8	0	-1	-1	0	81.2
9	-1	0	0	1	79.5
10	-1	0	0	-1	71.3
11	1	-1	0	0	80.6
12	0	-1	1	0	81.3
13	0	0	1	-1	85.7
14	0	0	-1	-1	81.3
15	0	0	0	0	89.1
16	-1	1	0	0	78.2
17	1	0	1	0	85.4
18	0	0	1	1	87.6
19	-1	-1	0	0	71.8
20	0	0	0	0	89.0
21	0	0	-1	1	87.3
22	0	0	0	0	89.0
23	1	0	-1	0	86.8
24	0	1	-1	0	85.7
25	0	-1	0	-1	71.8
26	0	0	0	0	88.2
27	0	-1	0	1	82.1
28	0	1	0	-1	83.2
29	0	1	0	1	80.4

下函数表示。感官评分 $Y = 88.90 + 3.65A + 2.33B + 0.64C + 2.04D - 1.23AB - 1.05AC - 1.83AD + 0.35BC - 3.27BD - 1.03CD - 6.02A^2 - 5.14B^2 - 0.080C^2 - 3.78D^2$ 。

方差分析结果见表8。如表8所示, F 值为78.52, P 值 < 0.0001 , 表示该模型具有极显著性。失拟项 F 值为5.54, 且 P 值为 $0.0566 > 0.05$, 即失拟项差异不显著, 该回归方程对实验的拟合度好。该模型 $R^2 = 0.9874, R^2_{Adj} = 0.9748$, 说明该模型与实际实验吻合, 该模型可用于分析和预测芋头龙香芋谷物饼干的感官评分。由 F 值大小可知, 各因素对响应值

的影响强弱顺序为: 芋头粉添加量 $>$ 黄油添加量 $>$ 蛋黄添加量 $>$ 白砂糖木糖醇比例。A、B、D、AD、BD、 A^2 、 B^2 、 D^2 对指标值的影响极显著 ($P < 0.01$), C、AB、CD、AC 对指标值的影响显著 ($P < 0.05$)。

2.2.2 响应面交互作用分析 各因素交互作用结果见图1(a~f)。从表8和图1a可以看出, 当白砂糖木糖醇添加比例和蛋黄均为零点时, 芋头粉和黄油添加量两者之间交互作用有一定的显著性。当芋头粉和黄油添加量分别不变时, 龙香芋谷物饼干的感官评分随黄油的增加呈现先上升后下降; 同时, 由等高线疏密程度可以判断, 芋头粉添加量对龙香芋谷物饼干的感官评分的影响大于黄油。

从表8和图1b可以看出, 当芋头粉和蛋黄添加量均为零点时, 白砂糖木糖醇添加比例和芋头粉添加量两者之间交互作用有一定的显著性。当芋头粉添加量不变时, 龙香芋谷物饼干的感官评分随白砂糖木糖醇添加比例的增加而增加。当白砂糖木糖醇添加比例增加到一定值时, 感官评分变化趋于平缓; 当白砂糖木糖醇添加比例不变时, 随着芋头粉添加量的增加, 感官评分呈先上升后下降的趋势。同时, 由等高线疏密程度可以判断, 芋头粉添加量对龙香芋谷物饼干感官评分的影响较白砂糖木糖醇添加比例的影响大。

由表8和图1c可知, 当白砂糖木糖醇添加比例和黄油添加量均为零点时, 蛋黄和芋头粉添加量两者之间交互作用有一定的显著性。当芋头粉添加量不变时, 龙香芋谷物饼干的感官评分随蛋黄增加呈现先上升后下降的趋势; 当蛋黄添加量不变时, 感官评分随芋头粉添加量的增加呈现先上升后缓慢下降的趋势。同时, 由等高线疏密程度可以判断, 芋头粉添加量对龙香芋谷物饼干感官评分的影响较蛋黄添加比例的影响大。

从表8和图1d可以看出, 交互项BC的交互作用对龙香芋谷物饼干感官评分没有显著影响。

从表8和图1e可以看出, 当白砂糖木糖醇添加比例和芋头粉添加量均为零点时, 蛋黄和黄油添加量两者之间交互作用有一定的显著性。当黄油添加量不变时, 龙香芋谷物饼干芋头的感官评分随蛋黄的增加呈现先上升后下降的趋势, 但当蛋黄添加量增加到一定值时, 感官评分降低的幅度较小; 当蛋黄添加量不变时, 感官评分随着黄油添加量的增加先上升后下降。同时, 从等高线疏密程度可以判断, 黄油添加量对龙香芋谷物饼干感官评分的影响大于蛋黄添加量的影响。

从表8和图1f可以看出, 当芋头粉和黄油添加

表8 响应面试验方差分析结果

Table 8 Results of ANOVA of response surface experiment

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值(P > F)
模型	749.30	14	53.52	78.52	<0.0001
A	159.87	1	159.87	234.54	<0.0001
B	65.33	1	65.33	95.85	<0.0001
C	4.94	1	4.94	7.25	0.0175
D	50.02	1	50.02	73.38	<0.0001
AB	6.00	1	6.00	8.81	0.0102
AC	4.41	1	4.41	6.47	0.0234
AD	13.32	1	13.32	19.54	<0.0001
BC	0.49	1	0.49	0.72	0.4108
BD	42.90	1	42.90	62.94	<0.0001
CD	4.20	1	4.20	6.17	0.0263
A ²	234.89	1	234.89	344.60	<0.0001
B ²	171.55	1	171.55	251.67	<0.0001
C ²	0.04	1	0.04	0.06	0.8083
D ²	92.69	1	92.69	135.98	<0.0001
残差	9.54	14	0.68		
失拟项	8.90	10	0.89	5.54	0.0566
纯误差	0.64	4	0.16		
总和	758.84	28			
标准差		0.83		R ² = 0.9874	
				R ² _{Adj} = 0.9748	
	Pred R ² = 0.9311		Adeq Precision	30.935	

量均为零时,白砂糖木糖醇添加比例和蛋黄添加量两者之间交互作用有一定的显著性。当白砂糖木糖醇添加比例不变时,龙香芋谷物饼干的感官评分随蛋黄的增加呈现先上升后下降的趋势,当蛋黄添加量增加到一定值时,感官评分降低的幅度较小;当蛋黄添加量不变时,随白砂糖木糖醇添加比例的增加,感官评分呈增加的趋势,当白砂糖木糖醇添加比例增加到一定值时,感官评分的变化趋于平缓。同时,由等高线疏密程度可以判断,蛋黄添加量对龙香芋谷物饼干感官评分的影响较白砂糖木糖醇添加比例的影响大。

2.2.3 验证实验 根据 Box-Behnken 实验获得的数据结果和回归方程,使用 Design-Expert.8.0.6 软件处理数据,可以获得一组龙香芋谷物饼干最优配方:芋头粉添加量 300.54 g、黄油添加量 30.06 g、白砂糖木糖醇添加比例为 1:1.02(共 20.20 g)、蛋黄添加量 30.07 g,在此条件下得到龙香芋谷物饼干的感官评分预测值为 90.63。为验证响应面法的可行性,采用上述优化最佳条件进行龙香芋谷物饼干的验证性实验,并通过 3 组平行实验,龙香芋谷物饼干的感官评分分别为 90.40、90.70、90.10,平均感官评分为 90.40,与理论计算值的误差为 0.25%,表明该模型拟合度好,具有实用价值。

2.3 龙香芋谷物饼干的产品特性

2.3.1 感官特性 该产品形态完整,厚薄均匀;表面有光泽,有浓郁芋头味,断面结构有层次;饼干表面无异味。

2.3.2 理化指标 根据 1.5.1 的方法,测得饼干的水分、酸价和过氧化值,结果见表 9 所示。

表9 龙香芋谷物饼干理化指标

Table 9 The physical and chemical indicators of dragon taro grain biscuits

项目	指标要求	测定结果
水分	≤6.5%	6.32%
酸价(以脂肪计)	≤5 mg KOH/g	2.57 mg KOH/g
过氧化值(以脂肪计)	≤0.25 mg KOH/g	0.19 mg KOH/g

该产品指标在国家标准 GB7100-2015 饼干规定范围之内,因此该产品为合格产品。

2.3.3 营养物质分析 由表 10 可知,响应面优化的最佳芋头配方膳食纤维的含量是对照的 2.9 倍,总糖和脂肪的含量均低于对照。

表10 龙香芋谷物饼干营养物质分析

Table 10 The nutrient indicators of dragon taro grain biscuits

测定项目	普通黄油曲奇(CK)	最佳芋头饼干配方
总糖	5.05 g/100 g	4.14 g/100 g
脂肪	28.12 g/100 g	17.65 g/100 g
膳食纤维	0.10 mg/100 g	0.29 mg/100 g

3 结论

以芋头粉、蛋黄和黄油为主要原料,采用感官评定的方法,通过单因素实验和响应面试验研究了芋头粉、黄油、白砂糖木糖醇添加比例、鸡蛋黄添加量的影响,得到最佳配方为:芋头粉添加量 300.54 g、黄

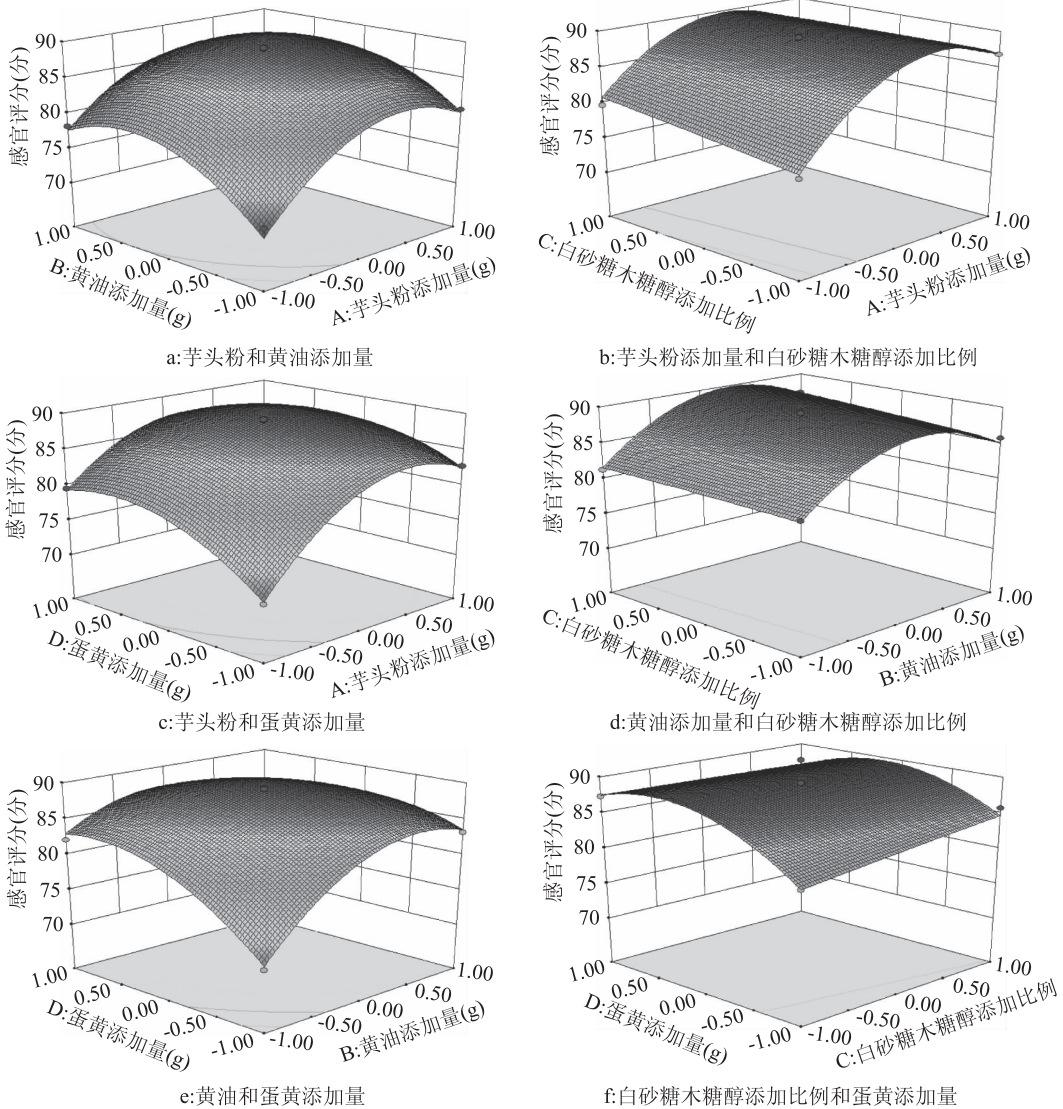


图1 各因素交互作用的响应面图

Fig.1 Response surface map of interaction of various factors

油添加量 30.06 g、白砂糖木糖醇添加比例为 1:1.02 (共 20.20 g)、蛋黄添加量 30.07 g;最佳条件下龙香芋谷物饼干的感官评分为 90.40,与理论计算值的误差为 0.25%,表明该模型拟合度好,具有实用价值。且该配方得到的产品符合感官指标和理化指标的要求。

参考文献

[1]张欢,梁晶晶,刘阳,等.花椒叶在椒盐曲奇饼干制作工艺中的应用研究[J].食品研究与开发,2018,39(14):103-109.
 [2]郑传良.奉化特产芋艿[J].植物杂志,1992,21(9):14.
 [3]He Q W, Li Q D. Research and development of Shangdong taro for high-value products and exports[C]. Ethnobotany and genetic diversity of Asian taro: Focus on China and Rome: IPGRI, 1998: 55-59
 [4]李慧,马薇,张美莉.玉米藜麦饼干配方的优化[J].食品工业,2018,39(9):122-126.

[5]杨转红,李晓辉,刘娅,等.鹰嘴豆曲奇饼干的研制[J].食品工业科技,2018,39(14):142-151.
 [6]郭玲玲,陈景鑫,邵春琦.芥子韧性饼干的研制[J].粮食与饲料工业,2016,12(12):49-51.
 [7]吴泽河,熊双丽.响应面-主成分分析法优化低糖菊芋饼干配方[J].核农学报,2018,32(3):539-547.
 [8]何四云.甜杏仁粉对酥性饼干品质的影响[J].食品科技,2018,43(10):224-228.
 [9]吴泽河.菊芋饼干加工工艺及品质分析[D].绵阳:西南科技大学,2018.
 [10]高婷婷.燕麦粉大麦粉复合饼干的研制及品质特性分析[J].中国食品添加剂,2018(10):156-161.
 [11]胡克坚,段丽萍,肖新生,等.响应面法优化高纤维杂粮饼干的配方研究[J].食品研究与开发,2016,37(16):99-104.
 [12]李云捷,于博,吴进菊,等.响应面法优化韧性胎菊饼干配方[J].食品研究与开发,2017,38(20):104-108.