

模糊评判响应面法 优化无糖明日叶曲奇配方

许 蓓,龚盛祥,王正武*

(上海交通大学农业与生物学院,上海 200240)

摘要:为了研发一款低糖且营养美味的功能性无糖曲奇饼干,应用模糊评判法对感官进行评定,在单因素实验的基础上,以模糊感官评分结果为响应面值,通过 Box-Behnken 实验设计考察了明日叶粉添加量、黄油添加量、麦芽糖醇添加量、蛋液添加量间交互作用对无糖明日叶曲奇的感官评分的影响。结果表明,无糖明日叶曲奇的最佳配方为:以低筋小麦粉 100.0 g 为计,明日叶粉 2.0 g,黄油 71.3 g,麦芽糖醇 38.5 g,蛋液 13.2 g,此时感官评分为 (81.92 ± 2.14) 分,与模型预测值 (81.61 ± 2.35) 分相符,由该方法制备的无糖明日叶曲奇具有优异的感官和质构品质,说明经模糊评判-响应面优化的产品配方对实际生产具有较好的指导意义。

关键词:明日叶,麦芽糖醇,曲奇,模糊评判,响应面法,感官评分

Fuzzy Evaluation in Response Surface Methodology for Optimizing the Formulation of Sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi Cookies

XU Bei, GONG Sheng-xiang, WANG Zheng-wu*

(School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to develop a kind of sugar-free and nutritious functional cookie, the sensory evaluation was carried out by using the method of fuzzy evaluation. Based on the single-factor experimental design, the response surface results were valued by fuzzy sensory scores, and the interactions between the amount of *Angelica keiskei* Koidzumi powder, butter, maltitol and egg liquid to the sensory quality of sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi cookie were examined by Box-Behnken experimental design, and the formulation was optimized by response surface methodology. The results showed that the best formulation of sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi cookie were: Low-gluten wheat flour 100.0 g, *Angelica keiskei* Koidzumi powder 2.0 g, butter 71.3 g, maltitol 38.5 g, egg liquid 13.2 g. The sensory evaluation score of the confirmatory experiment was (81.92 ± 2.14) scores, which was consistent with the model prediction value of (81.61 ± 2.35) scores. And the texture quality was excellent, which indicated that the product formula based on fuzzy evaluation-response surface optimization had a good guiding significance for reality.

Key words: *Angelica keiskei* Koidzumi; maltitol; cookies; fuzzy mathematics; response surface method; sensory score

中图分类号: TS255.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2019)10-0194-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.10.032

引文格式: 许蓓,龚盛祥,王正武.模糊评判响应面法优化无糖明日叶曲奇配方[J].食品工业科技,2019,40(10): 194-200.

明日叶(*Angelica keiskei* Koidzumi)是一种芹菜科多年生植物,因今日摘除其叶子,第二天便能长出新叶子而得名“明日叶”。明日叶主要的功能性成分为查耳酮类和香豆素类,其中以查耳酮类黄酮化合物居多。近年已有许多研究表明,明日叶具有抗癌^[1-2]、抗糖尿病^[3-4]、抗氧化^[5-6]、抑菌的作用^[7-8],此外明日叶还富含天然有机锗、膳食纤维等活性成分。明日叶的保健功能与人体健康密切相关,具有广阔

的开发应用潜力。

曲奇饼干是一种以低筋小麦粉、油脂以及糖为主要原材料,经烘焙而成的外形小巧精致、口感香甜酥脆的小食,深受广大消费者的喜爱^[9]。但曲奇因其高糖高热量的特点,使部分消费者特别是糖尿病患者望而止步,Levin 等^[10]研究表明,控制热量的摄入能够显著减少重大疾病的发病率和延长寿命。糖醇是一类由糖的还原性羰基加氢生成的多元醇^[11],被

收稿日期:2018-08-24

作者简介:许蓓(1993-),女,硕士研究生,研究方向:食品化学与功能食品,E-mail: xubei0912@sjtu.edu.cn。

* 通讯作者:王正武(1961-),男,博士,教授,研究方向:食品化学、功能食品、食品安全,E-mail: zhengwuwang@sjtu.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31571763)。

视为糖的优秀替代品。用糖醇制备的食品被称作无糖(sugar-free)产品,且已被应用到焙烤产品中。本实验采用麦芽糖醇代替蔗糖,进行无糖明日叶曲奇的研发。

模糊数学评定法是由 Zadeh^[12] 创建的一种评定方法,通过建立模糊综合评价的评判因素集、评语集、权重集以及建立矩阵和权重之间的运算,模糊数学评定法将模糊的、定性的指标转变为清晰的、定量的指标。模糊评判法和响应面分析相结合的方法在优化曲奇配方领域鲜有报道,本实验将具有降血糖功能的明日叶粉作为辅料,并用麦芽糖醇代替白砂糖,利用模糊评判-响应面法对传统曲奇饼干配方进行改良优化,以期对明日叶的开发应用提供一些参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

低筋小麦粉 潍坊风筝面粉有限责任公司;黄油 恒天然有限公司;麦芽糖醇 世纪华名生物科技有限公司;鸡蛋 上海地区某超市;明日叶(墨绿色、过 80 目筛) 南京乐呵呵庄园农业科技有限公司。

FD-B18N-80 真空冷冻干燥器 上海胜卫电子科技有限公司;MS105DU 分析天平 上海恒勤仪器设备有限公司;YB-1000A 多功能粉碎机 永康市速锋工贸有限公司;Universal TA 质构仪 上海腾拔仪器科技有限公司;SM2-901C 烤箱 广州新麦机械设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 明日叶粉的制备 选取适量新鲜明日叶的茎和叶经清洗和脱水后,置于-18℃的冰箱预冻,过夜后取出,置于-70℃真空冷冻干燥器,待 24 h 完全干燥后^[13],用多功能粉碎机粉碎后过 80 目筛,密封袋包装好后置于干燥器中避光保存。

1.2.2 曲奇的制作工艺 称取一定的黄油置于室温中软化,用电动搅拌器搅至顺滑,加入一定的麦芽糖醇,使麦芽糖醇与黄油完全融合,分三次倒入一定量已搅拌均匀的全蛋液至顺滑、蓬松奶油状,加入一定的经 80 目筛分的低筋粉和明日叶粉,搅拌均匀成团后放入模具中,放置于 4℃冰箱冷冻成型,切成 0.8 cm 的均匀薄片置于烤盘上,将烤盘放入提前预热好的烤箱,底火温度为 150℃,面火温度为 170℃,焙烤时间 20 min。将曲奇取出冷却至室温后及时包装,室温下置于阴凉干燥处保存。

1.2.3 单因素实验 经预实验结果确定,低筋小麦粉量以 100% 计,烘焙温度和时间固定为:上火 170℃、下火 150℃、烘焙 20 min。单因素实验条件为:固定麦芽糖醇添加量 40%、全蛋液添加量 15%、明日叶粉添加量 2.0%,考察不同黄油添加量(40%、50%、60%、70%、80%)对曲奇饼干感官评分的影响;固定黄油添加量 60%、全蛋液添加量 15%、明日叶粉添加量 2.0%,考察不同麦芽糖醇添加量(20%、30%、40%、50%、60%)对曲奇饼干感官评分的影响;固定黄油

添加量 60%、麦芽糖醇添加量 40%、明日叶粉添加量 2.0%,考察不同全蛋液添加量(5%、10%、15%、20%、25%)对曲奇饼干感官评分的影响;固定黄油添加量 60%、麦芽糖醇添加量 40%、全蛋液添加量 15%,考察不同明日叶粉添加量(1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%)对曲奇饼干感官评分的影响,分别进行模糊数学感官评定。

1.2.4 响应面实验 依据单因素实验的结果,每个因素选取对曲奇饼干感官评分影响较大的三个水平,以感官评分为评价指标,应用 Design-Expert 软件的 Box-Behnken 模块设计 4 因素 3 水平实验。

表 1 无糖明日叶曲奇的响应面实验因素水平表

Table 1 Factors and levels table of response surface experiment for sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi cookies

水平	因素			
	黄油添加量 (%)	麦芽糖醇 添加量 (%)	全蛋液 添加量 (%)	明日叶粉 添加量 (%)
-1	50	30	10	1.5
0	60	40	15	2.0
+1	70	50	20	2.5

1.2.5 模糊数学-感官评价方法

1.2.5.1 立评判因素合集 选择无糖明日叶曲奇的色泽、形态、口感、风味作为评判指标,设 u_1 = 色泽、 u_2 = 形态、 u_3 = 口感、 u_4 = 风味;组成评判因素集合: $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$ 。

1.2.5.2 建立评语集评语集 由 4 个反应无糖明日叶曲奇品质的指标组成,由数值和等级结合表示: v_1 = 优、 v_2 = 良、 v_3 = 中、 v_4 = 差;一级:90 分,二级:80 分,三级:70 分;四级:60 分;组成评语集合: $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ 。

1.2.5.3 建立权重集 所谓权重是指一个因素在被评定因素中的影响和所处的地位^[14]。在本实验中 x_1 = 色泽、 x_2 = 形态、 x_3 = 口感、 x_4 = 风味,组成权重集: $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ 。本实验依据无糖明日叶曲奇的感官评价指标的标准和品评员判定的权重系数得分统计结果,确定色泽、形态、口感、风味的权重系数分别为 0.10、0.20、0.35、0.35,即权重集: $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} = \{0.10, 0.20, 0.35, 0.35\}$ 。

1.2.5.4 打分评价 参照 GB/T 16291.1-2012《感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则》,在上海交通大学农业与生物学院挑选 10 位品评员(18~45 岁,6 女 4 男)进行感官评定实验,每块饼干样品 3 位随机编码,大小相同(40 mm × 40 mm),4 种样品同时进行呈送,将样品置于白色纸盘中,在自然光线中观察饼干,检查有无异物,闻其气味,温开水漱口后品评其滋味。参考 GB 7100-2015《食品安全国家标准饼干》中对饼干的感官要求制定各指标评分参考表,如表 2 所示,品评员按评语集优(90 分)、良(80 分)、中(70 分)、差(60 分)对样品进行打分。

对被评定因素的各分值段打分人数进行汇总,如表 3 所示($r_{i1} + r_{i2} + r_{i3} + r_{i4} = 10$,其中 $i = 1, 2, 3, 4$):

表2 无糖明日叶曲奇感官评分标准

Table 2 Sensory scoring criteria of sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi cookies

指标	标准
色泽	表面呈淡绿至黄绿色,色泽均匀,无过焦或过白现象;
形态	外形完整,形态一致,厚薄均匀;
口感	制品酥脆,清甜不腻,不黏牙;
风味	具有奶香风味,有明日叶特殊香味,无明显苦味和杂味;

表3 被评定因素各分值段打分人数汇总

Table 3 Summary of the number of scover in divided segments

指标	被评定因素			
	优(90分)	良(80分)	中(70分)	差(60分)
色泽	r ₁₁	r ₁₂	r ₁₃	r ₁₄
形态	r ₂₁	r ₂₂	r ₂₃	r ₂₄
口感	r ₃₁	r ₃₂	r ₃₃	r ₃₄
风味	r ₄₁	r ₄₂	r ₄₃	r ₄₄

1.2.5.5 建立综合评判 对每一个被评定因素建立从U到V的模糊关系评判矩阵运算关系:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{bmatrix}$$

综合评判的结果用Y表示,Y是权重X和模糊矩阵R的合成:

$$Y = X \cdot R = (0.1, 0.2, 0.35, 0.35)$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{bmatrix} \cdot \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$$

综合评价得分 $M = y_1 \times 90 + y_2 \times 80 + y_3 \times 70 + y_4 \times 60$ 。

1.2.6 质构品质的测定 以响应面试验所得最优配方制作麦芽糖醇明日叶曲奇,并控制其余变量不变,以蔗糖取代麦芽糖醇制作蔗糖明日叶曲奇,并对这两种曲奇的质构进行测定。将烤制完成的曲奇置于室温下冷却2 h,采用 Universal TA 质构仪进行 TPA 测试分析,探头型号为 P2,测量条件如下:测前速度为 2.0 mm/s,测试速度为 1.0 mm/s,测后速度为 2.0 mm/s,选择压缩程度为 50%,两次压缩间隔为 5 s,选择样品中心进行测定,进行 5 次重复实验,测定的质构指标为硬度、酥脆性、黏聚性、咀嚼性^[15]。

1.3 数据处理

每组实验进行三次重复。模糊数学评定感官得分的数据处理参照 1.2.5,实验结果采用 PASW Statistic 18 和 OriginPro 9.1 软件进行数据分析;响应面实验设计和结果分析应用 Design-Expert 10 软件进行分析。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验

2.1.1 黄油添加量对曲奇感官评分的影响 黄油添

加量对无糖明日叶曲奇感官评分结果如图 1 所示。由图 1 可知,无糖明日叶曲奇的感官评分随黄油的添加量呈现先升高后降低的趋势,在黄油添加量为 60% 时,感官评分达到最大值 80.11 ± 2.32 分,在黄油添加量为 80% 时,感官评分达到最小值 61.84 ± 1.89 分。黄油不仅能赋予曲奇奶香风味;而且黄油具有打搅充气性和疏水性,使曲奇成品酥脆滋润^[16]。因此,黄油添加量过低时,曲奇面团气泡生成少,面筋形成过多,导致口感干硬、表面无光;当黄油添加量由 40% 增加到 60% 时,曲奇的奶香风味和松脆度都随之升高,感官评分随黄油添加量而升高,但黄油添加量超过 60% 时,会出现过油和饼干易碎裂现象,使得感官评分下降。项雷文等^[17]在研制花生粕曲奇时也得到相近的结果。因此,本文选取黄油添加量 50%、60%、70% 进行响应面试验。

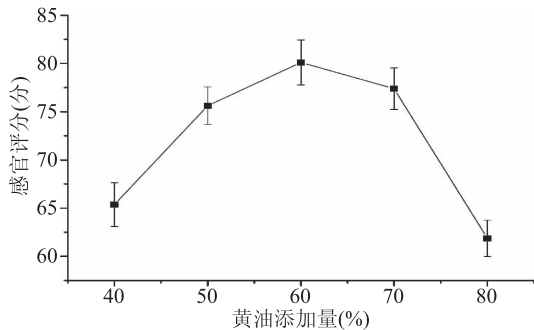


图1 黄油添加量对无糖明日叶曲奇感官评分的影响

Fig.1 Effects of butter addition on sensory score of sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi cookies

2.1.2 麦芽糖醇添加量对曲奇感官评分的影响 麦芽糖醇添加量对无糖明日叶曲奇感官评分结果的影响如图 2 所示。由图 2 可知,无糖明日叶曲奇的感官评分随麦芽糖醇的添加量先升高后降低,当麦芽糖醇添加量为 20% 时,感官评分最低,为 (63.87 ± 1.96) 分;在添加量为 40% 时,感官评分达到最大值 (80.37 ± 2.39) 分;添加量超过 40% 时,感官评分逐渐降低。麦芽糖醇在饼干生产中,与蔗糖性质接近,不用改变基于蔗糖的配方工艺^[18]。麦芽糖醇在曲奇饼干面团中,除了作为甜味剂提供甜味,还能与水分子、淀粉分子相互作用,有利于减少面筋的形成^[19],为曲奇提供松脆的口感。当麦芽糖醇添加量大于 40% 时,由于曲奇面团中的面筋含量过少,口感过硬,且甜味太重,感官评分降低。王小英等^[20]在优化紫薯曲奇配方时,也认为糖粉添加量应为 40%~45%。因此本实验选取麦芽糖醇添加量 30%、40%、50% 进行响应面试验。

2.1.3 蛋液添加量对曲奇感官评分的影响 蛋液添加量对无糖明日叶曲奇感官评分结果的影响如图 3 所示。由图 3 可知,在 5%~25% 的蛋液添加量范围内,无糖明日叶曲奇的感官评分随蛋液添加量的增大先升高后降低。蛋液添加量为 5% 时,感官评分最低,为 (62.91 ± 1.73) 分,在蛋液添加量为 15% 时,感官评分最高为 (79.08 ± 1.92) 分。蛋液除了能提供鸡蛋特有的香味外,在曲奇体系中还起着乳化和起酥的作用^[20],能够提高曲奇的细腻感和酥松性。当蛋

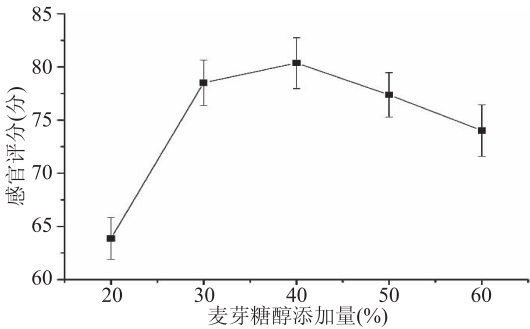


图2 麦芽糖醇添加量对无糖明日叶曲奇感官评分的影响

Fig.2 Effects of maltitol addition on sensory score of sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi cookies

液添加量过低时,蛋液裹挟的气泡过少,从而使得无糖明日叶曲奇的硬度过大,酥松度较小,口感不佳;当蛋液添加量大于15%,感官评分因蛋腥味过重而降低。王颖周等^[21]在研制玉米曲奇配方时也认为,蛋液添加量为15%时感官品质最佳。因此选取蛋液添加量10%、15%、20%进行响应面试验。

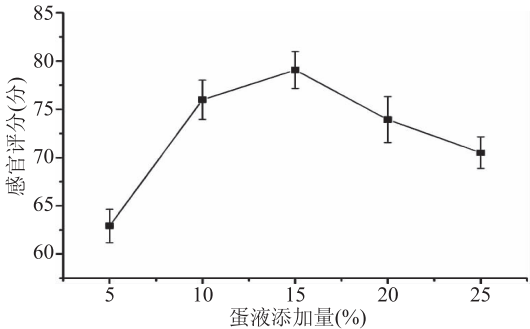


图3 蛋液添加量对无糖明日叶曲奇感官评分的影响

Fig.3 Effects of egg liquid addition on sensory score of sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi cookies

2.1.4 明日叶粉添加量对曲奇感官评分的影响 明日叶粉添加量对无糖明日叶曲奇感官评分结果的影响如图4所示。由图4可知,在明日叶粉添加量1.0%~3.0%的范围内,无糖明日叶曲奇的感官评分呈现先上升后下降的趋势,在明日叶粉添加量为2.0%时,感官评分最高为 80.16 ± 2.41 分,在明日叶粉添加量为3.0%时,感官评分最低为 64.43 ± 1.99 分。明日叶粉不仅赋予了曲奇饼干天然的绿色色泽,而且提供了特有的明日叶清香,当明日叶粉添加量过低时,色彩稍淡且明日叶风味不突出,当明日叶粉添加过量时,浓重的明日叶中药味使得风味变差,不被人接受。因此选取明日叶粉添加量1.5%、2.0%、2.5%进行响应面试验。

2.2 响应面法优化无糖明日叶曲奇配方

2.2.1 响应面试验设计及结果 无糖明日叶曲奇配方优化的响应面试验设计及结果如表4所示,共有29个试验点。

2.2.2 回归模型的建立及方差分析 利用 Design-Expert 10.0 软件对上表响应面结果进行回归拟合分析,得无糖明日叶曲奇饼干感官评分Y对自变量黄油(A)、麦芽糖醇(B)、蛋液(C)、明日叶粉(D)四个因素的二次多项回归模型: $Y = 81.32 - 0.33A - 1.05B -$

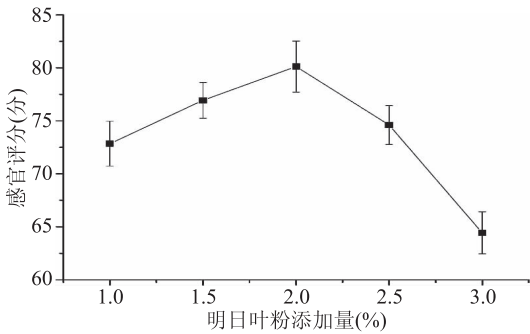


图4 明日叶粉添加量对无糖明日叶曲奇感官评分的影响

Fig.4 Effects of powder addition on sensory score of sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi cookies

表4 无糖明日叶曲奇 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 4 Design and results of Box-Behnken experiment of sugar-free *Angelica keiskei* Koidzumi cookies

实验号	A	B	C	D	感官评分(分)
1	1	0	-1	0	77.30
2	0	-1	0	1	78.10
3	0	-1	0	-1	77.40
4	0	0	0	0	81.50
5	0	1	0	1	79.30
6	1	1	0	0	75.70
7	0	0	0	0	82.10
8	-1	1	0	0	74.90
9	0	0	0	0	81.00
10	0	0	0	0	80.30
11	0	-1	1	0	75.80
12	-1	0	1	0	74.20
13	0	1	0	-1	76.70
14	1	0	0	-1	76.10
15	-1	-1	0	0	74.80
16	-1	0	0	-1	77.60
17	0	1	-1	0	77.20
18	0	0	1	-1	78.40
19	-1	0	-1	0	77.60
20	0	0	-1	1	77.10
21	1	0	1	0	71.80
22	0	-1	-1	0	79.20
23	1	0	0	1	74.90
24	0	0	1	1	73.80
25	1	-1	0	0	76.40
26	0	1	1	0	73.20
27	0	0	-1	-1	77.80
28	-1	0	0	1	75.10
29	0	0	0	0	80.70

$1.75C - 0.47D - 1.65AB + 0.33AC + 0.73AD - 0.77BC - 0.47BD - 0.85CD - 4.7A^2 - 0.33B^2 - 2.15C^2 - 1.33D^2$ 。

无糖明日叶曲奇配方优化的响应面二次多项式回归方程的方差分析结果如表5所示。由表5可知,本实验模型的 $p < 0.01$,极显著,表明该模型具有统计学意义;失拟项表示模型与实验结果的拟合程度,

表5 回归方程方差分析
Table 5 Variance analysis of regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
模型	262.2	14	18.73	10.98	<0.0001 **
A	1.33	1	1.33	0.78	0.3915
B	13.23	1	13.23	7.76	0.0146 *
C	36.75	1	36.75	21.55	0.0004 **
D	2.61	1	2.61	1.53	0.2361
AB	10.89	1	10.89	6.39	0.0242 *
AC	0.42	1	0.42	0.25	0.6264
AD	2.10	1	2.10	1.23	0.2856
BC	2.40	1	2.40	1.41	0.2550
BD	0.90	1	0.90	0.53	0.4789
CD	2.89	1	2.89	1.69	0.2140
A ²	143.89	1	143.89	84.08	<0.0001 **
B ²	71.78	1	71.78	42.09	<0.0001 **
C ²	30.03	1	30.03	17.61	0.0009 **
D ²	11.42	1	11.42	6.69	0.0215 *
残差	23.87	14	1.71		
失拟项	22.29	10	2.23	5.61	0.0554
纯误差	1.59	4	0.40		
总合	286.07	28			

注：*、** 分别表示该项对黄酮提取率的影响显著($p < 0.05$)和极显著($p < 0.01$), $R^2 = 0.9165$ 。

$p = 0.0554 > 0.005$, 表示无失拟因素存在, 未知因素对本实验结果影响很小, 可用该回归方程代替真实点对实验结果进行分析; 决定系数 $R^2 = 0.9165$, 决定系数越接近 1, 表明该实验模型拟合度越好。综上, 该模型能较好地拟合、分析无糖明日叶曲奇配方优化实验, 可合理正确地预测黄油(A)、麦芽糖醇(B)、蛋液(C)、明日叶粉(D)的最佳添加量。一次项麦芽糖醇添加量(B)对感官评分有显著影响($p < 0.05$), 蛋液添加量(C)对感官评定有极显著影响($p < 0.01$), 一次项对感官评定结果的影响大小依次为 $C > B > D > A$ 。二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对感官评分有极显著影响($p < 0.01$), 二次项 D^2 和交互项 AB 对感官评分有显著影响($p < 0.05$)。

2.2.3 响应面分析及最优配方预测 通过 Design-Expert 10.0 软件的 Model Graphs 模块, 固定黄油(A)、麦芽糖醇(B)、蛋液(C)、明日叶粉(D)其中的两个因素为 0 水平, 可得另外两个因素的交互作用对感官评分的影响, 通过响应曲面图及其投影而成的等高线图更加直观地表现出来, 结果如图 5 显示。通过三维曲面图, 观察曲面的倾斜程度可确定两因素对感官评分结果的影响显著程度, 倾斜程度越大, 即坡度越陡, 影响越显著; 倾斜程度越小, 即坡度越平缓, 影响越不显著^[22]。等高线的形状和密集程度也可反应交互作用的强弱, 等高线越接近圆形表明交互作用越不显著, 椭圆形则表明交互作用显著; 等高线越密集表明交互作用越不显著, 等高线越稀疏表明交互作用越显著。

由图 5 所示, AB 两因素的响应面三维图的倾斜程度最大, CD 两因素的响应面三维图的倾斜程度次之, 表明黄油添加量和麦芽糖醇添加量、蛋液添加量

和明日叶粉添加量之间的交互作用比较明显, 与方差分析结果一致。AB 两因素的响应面图所示为固定蛋液添加量和明日叶粉添加量不变时, 黄油添加量和麦芽糖醇添加量对感官评分的影响和两者之间的交互作用。感官评分随麦芽糖醇和黄油添加量的增大呈现先升高后下降的趋势, 且麦芽糖醇添加量的上升幅度大于黄油添加量的上升幅度, 说明麦芽糖醇的添加量对感官评分的影响比较大。CD 两因素的响应面图所示为固定黄油添加量和麦芽糖醇添加量不变时, 蛋液和明日叶粉添加量对感官评分的影响和两者之间的交互作用。无糖明日叶曲奇的感官评分随蛋液和明日叶粉添加量的增大先上升后下降, 且蛋液添加量的上升幅度明显大于黄油添加量的上升幅度, 即蛋液添加量无糖明日叶曲奇的影响较大。综合响应面三维图可以看出, 两因素交互作用的影响显著性由大到小为: $AB > CD > BC > AD > BD > AC$, 与表 5 方差分析结果一致。

2.2.4 验证实验 由 2.2.2 节所得二次多项式回归模型分析可预测黄油(A)、麦芽糖醇(B)、蛋液(C)、明日叶粉(D)四因素的最佳添加量和最优感官评分分别为: 黄油添加量 71.29%, 麦芽糖醇添加量 38.53%, 蛋液添加量 13.15%, 明日叶粉添加量 2.00%, 此时感官评分预测值 $Y = (81.61 \pm 2.35)$ 分。为适应实际操作, 将实验条件定为选取低筋面粉 100 g、黄油 71.3 g、麦芽糖醇 38.5 g、蛋液 13.2 g、明日叶粉 2.0 g, 按照 1.2.2 方法制作无糖明日叶曲奇, 所得产品色泽均匀, 表面呈黄绿色, 具有明日叶的清香, 组织结构细腻, 酥脆可口, 清甜不腻。采用模糊数学-感官评价法所得感官评分结果为 (81.92 ± 2.14) 分, 与预测值基本一致, 表明所建数学模型预测性佳, 可靠性高, 可代

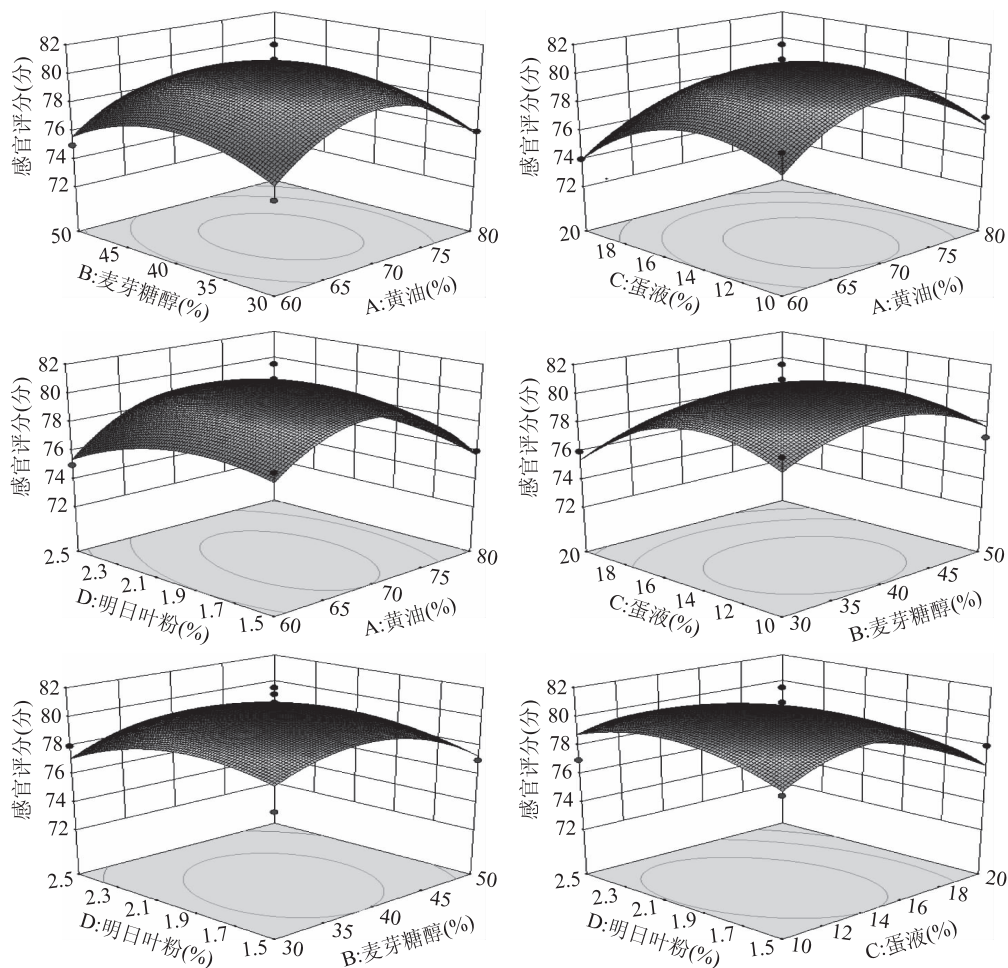


图5 两因素的交互作用对感官评分影响的响应面图

Fig.5 Response surface of interaction between two factors on sensory scores

表6 无糖明日叶曲奇和蔗糖明日叶曲奇的质构差异

种类	硬度	酥脆性	黏聚性	咀嚼性
蔗糖明日叶曲奇	518.40 ± 23.92 ^a	532.97 ± 15.27 ^a	0.06 ± 0.00 ^a	18.49 ± 1.31 ^b
无糖明日叶曲奇	520.89 ± 33.48 ^a	569.64 ± 4.99 ^b	0.07 ± 0.01 ^b	6.36 ± 0.44 ^a

注:相同指标相同标记字母的数据为差异不显著($p>0.05$),相同指标不同标记字母的数据为差异显著($p<0.05$)。

替真实点进行试验预测,具有一定的实用价值。

2.3 无糖明日叶曲奇的质构品质

测定结果如表6所示,无糖明日叶曲奇的硬度略高,但与蔗糖明日叶曲奇无显著差异。硬度是使曲奇达到一定变形所需的力,是评价曲奇质感的主要指标,麦芽糖醇代替蔗糖对曲奇硬度的影响不大。无糖明日叶曲奇的酥脆性与蔗糖明日叶曲奇相比提高6.88% ($p<0.05$)。酥脆性体现的是致使样品破碎的力,表明无糖明日叶曲奇的酥脆口感要优于蔗糖明日叶曲奇。蔗糖明日叶曲奇和无糖明日叶曲奇的黏聚性都比较小,但后者与前者相比,黏聚性提高了16.67% ($p<0.05$)。黏聚性表示测试样品经过第一次压缩变形后所表现出来的对第二次压缩的相对抵抗能力,这表明无糖明日叶曲奇在抵抗受损时使之保持完整的性能要优于蔗糖明日叶曲奇,有利于在生产运输过程中保持产品的完整性。无糖明日叶曲奇的咀嚼性与蔗糖明日叶曲奇相比有了很大程度的

降低,降低幅度达65.60% ($p<0.05$)。咀嚼性用于描述将固体食品咀嚼到可吞咽时需做的功,这表明无糖明日叶曲奇的韧性较小,更容易被嚼碎。总体来看,无糖明日叶曲奇的质构品质优于蔗糖明日叶曲奇,Olinger等^[23]研究了用麦芽糖醇替代蔗糖后曲奇感官、结构的变化,也得到了相似的结果,麦芽糖醇曲奇的硬度类似于蔗糖曲奇,但口感更松脆、风味更佳。

3 结论

本实验通过模糊评判法对感官进行评定,以模糊感官评分为响应值设计无糖明日叶曲奇的最佳配方。利用Box-Behnken建立二次多项式模型,该实验模型拟合度好。各因素对无糖明日叶曲奇感官评分的影响由大到小为:蛋液添加量>麦芽糖醇添加量>明日叶粉添加量>黄油添加量。最佳配方:以低筋小麦粉添加量100.0 g为计,黄油添加量为71.3 g,麦芽糖醇添加量为38.5 g,蛋液添加量为

13.2 g,明日叶粉添加量为2.0 g。所得产品色泽均匀,表面呈黄绿色,外形完整形态一致,清甜不腻,酥脆可口,具有明日叶特殊香味,采用模糊评判-感官评价法所得感官评分结果为 (81.92 ± 2.14) 分,与预测值基本一致,用最佳配方制备的无糖明日叶曲奇与蔗糖明日叶曲奇相比具有更佳的质构品质,模糊评判-响应面法用于优化曲奇饼干配方切实可行。

参考文献

- [1] Kimtwa Y, Taniguchi M, Baba K. Antitumor and antimetastatic activities of 4-hydroxyderricin isolated from *Angelica keiskei* roots [J]. *Planta Medica*, 2004, 70(3): 211-219.
- [2] Toshihiro A, Harukuni T, Motohiko U. Chalcone, coumarins and flavanones from the exudate of *Angelica keiskei* and their chemopreventive effects [J]. *Cancer Letters*, 2003, 201: 133-137.
- [3] Tatsuji E, Hiromu O, Kinuko N, et al. Antidiabetic activities of chalcones isolated from a Japanese herb, *Angelica keiskei* [J]. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 2007, 55(15): 6013-6017.
- [4] Kyuichi K, Keisuke S, Kazunori I, et al. Prenylated chalcones 4-hydroxyderricin and xanthoangelol stimulate glucose uptake in skeletal muscle cells by inducing GLUT4 translocation [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2011, 55(3): 467-475.
- [5] Kwon D, Yoon S, Carter O, et al. Antioxidant and antigenotoxic activities of *Angelica keiskei*, *Oenanthe javanica* and *Brassica oleracea* in the *Salmonella* mutagenicity assay and in HCT116 human colon cancer cells [J]. *Biofactors*, 2010, 26(4): 231-244.
- [6] Kim S J, Cho J Y, Wee J H, et al. Isolation and characterization of antioxidative compounds from the aerial parts of *Angelica Keiskei* [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2005, 14(1): 58-63.
- [7] Inamori Y, Baba K, Tsujibo H, et al. Antibacterial activity of two chalcones, xanthoangelol and 4-hydroxyderricin, isolated from the root of *Angelica keiskei* Koidzumi [J]. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, 1991, 39(6): 1604-1605.
- [8] Sugamoto K, Kurogi C, Matsushita Y I, et al. Synthesis of 4-hydroxyderricin and related derivatives [J]. *Tetrahedron Letters*, 2008, 49(47): 6639-6641.
- [9] Mata S A, Mate T D. *Cookie and cracker technology* [M]. Second edition USA: The AVI Publishing Company, INC, 1978: 147-165.
- [10] Levin G V, Zehner L R, Saunders J P, et al. Sugar substitutes: Their energy values, bulk characteristics, and potential health benefits [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1995, 62(5): S1161.
- [11] Mäkinen K K. *Sugar Alcohols* [M]. US: Springer, 1994: 219-241.
- [12] Zadeh L A. Fuzzy sets [J]. *Information & Control*, 1965, 8(3): 338-353.
- [13] 邹同华, 陈见兴, 易小红, 等. 真空冷冻干燥技术及其在火龙果冻干中的应用 [J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(5): 159-162.
- [14] 何平, 王鸿绪. 模糊控制器的设计及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [15] Johnson K A. Flour protein content and fat and sugar replacers: Effects on wire-cut cookie spread and texture and sensory perception of cookie attributes [C]. Knoxville: The University of Tennessee, 2001: 28-33.
- [16] 陈凤莲, 贾冰心. 小麦麸皮膳食纤维饼干的单因素研究 [J]. *食品科技*, 2011, 36(12): 167-169.
- [17] 项雷文, 林欣欣, 陈文韬. 响应面法在花生粕曲奇饼干研制中的应用 [J]. *食品研究与开发*, 2014(8): 41-45.
- [18] 法国罗盖特公司. MALTISORB® 结晶麦芽糖醇享受无糖的味觉体验 [J]. 2005(9): 40-41.
- [19] Baek M H, Yoo B, Lim S T. Effects of sugars and sugar alcohols on thermal transition and cold stability of corn starch gel [J]. *Food Hydrocolloids*, 2004, 18(1): 133-142.
- [20] 王小英, 方真. 响应面法优化紫薯曲奇饼干配方 [J]. *食品工业*, 2016, 37(7): 137-141.
- [21] 王颖周, 仰振中, 潘阳, 等. 玉米曲奇饼干配方优化及其质构研究 [J]. *包装与食品机械*, 2013(3): 22-24.
- [22] 陈健, 孙爱东, 高雪娟. 响应面分析法优化超声波提取槟榔原花青素工艺 [J]. *食品科学*, 2011, 32(4): 82-86.
- [23] Olinger P M, Velaseo V S. Opportunities and advantages of sugar replacement [J]. *Cereal Foods World*, 1996, 41: 110-117.

因本刊已被《中国知网》
(包括“中国知网”优先数字出版库)
独家全文收录,所以所付稿酬中
已包含该网站及光盘应付的稿酬。