

响应面法优化苦荞蛋糕配方工艺的研究

王改芳,王涛

(吕梁学院 生命科学系,山西 吕梁 033000)

摘要: 苦荞富含蛋白质,主要成份芦丁有降血脂和胆固醇、增强血管弹力、扩张血管等功效。该研究以面粉和苦荞面粉为主要原材料制作苦荞蛋糕,探究苦荞蛋糕的最优配方及添加苦荞对蛋糕品质的影响。采用单因素试验及响应面优化试验,选取苦荞面粉添加量、白砂糖添加量以及蛋糕油添加量为自变量,以感官评分为响应值,探究不同添加量对苦荞蛋糕质构和感官特性的影响。结果表明,最佳配方为以面粉质量为100%,当苦荞面粉添加量为20%、白砂糖添加量为80%、蛋糕油添加量为12%时,按此配方制作的蛋糕表面黄褐色,无焦斑,气孔分布较均匀,苦荞香味较浓郁,组织柔软较有弹性,整体品质较好。

关键词: 苦荞;蛋糕;响应面;配方工艺;研究

Optimization of the Formulation of Tartary Buckwheat Cake by the Response Surface Method

WANG Gai-fang, WANG Tao

(Department of Life Science, Luliang University, Lvliang 033000, Shanxi, China)

Abstract: Tartary buckwheat is rich in protein, the main ingredient rutin has blood lipids and cholesterol, enhance blood vessel elasticity, dilating blood vessels and other effects. The tartary buckwheat cake was made from flour and tartary buckwheat flour, to explore the optimal formulation for cake quality, single factor experiments and response surface optimization were used to select the optimal quantity of buckwheat, granulated sugar and oil cake to determine the effect of different amounts of these ingredients on cake texture and organoleptic properties. The results showed that the optimum formulation (per weight of flour) was 20% buckwheat, 80% sugar and 12% oil cake. The resulting cake was uniformly tan with no spots with a good buckwheat flavor and had a uniform pore distribution, giving a rich, soft, and more flexible organization and better overall quality.

Key words: tartary buckwheat; cake; response surface; formulation process; research

引文格式:

王改芳,王涛. 响应面法优化苦荞蛋糕配方工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(15): 152-157.

WANG Gaifang, WANG Tao. Optimization of the Formulation of Tartary Buckwheat Cake by the Response Surface Method[J]. Food Research and Development, 2022, 43(15): 152-157.

荞麦目前主要有2种栽培种,一种叫甜荞,另一种叫苦荞^[1]。云南省、贵州省、四川省等西南省份为苦荞麦主要种植地区^[2]。目前已知的品种且贮存于国家种质资源库的有2785份,其中苦荞有879份,甜荞有1896份,野生荞有10份^[3]。苦荞富含膳食纤维,苦荞籽粒中的膳食纤维含量更高。膳食纤维在改善糖尿病、预防动脉粥样硬化和预防肥胖方面具有积极作用^[4]。

苦荞种子中主要含有4种蛋白,其中含量从大到小依次为清蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白和球蛋白^[5]。苦荞中具有保健功能的主要成分是黄酮类化合物芦丁,芦丁有降血脂和胆固醇、增强血管弹力、扩张血管等功效^[6]。

传统蛋糕主要是以小麦粉为原料,烘烤后制成的一种点心^[7],长期食用易导致肥胖、血糖升高等问题,影响身体健康^[8]。苦荞如今已成为有机、无公害、绿色

作者简介:王改芳(1975—),女(汉),副教授,硕士研究生,研究方向:食品生物学。

食品的代表,消费需求正在不断上升^[9-10]。苦荞风味蛋糕不仅丰富烘焙食品的品种,而且对苦荞附加值的提高和功能性食品的研发具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

低筋面粉:山东省济宁湖里人家面粉厂;苦荞面粉:四川凉山州春生阳光食品有限公司;Puratos 焙乐道使必达双效泡打粉:广州焙乐道有限公司;蛋糕油:广州市科惠谷食品科技有限公司;白砂糖:佛山市层层高食品有限公司;鲜鸡蛋:市售;牛奶:内蒙古蒙牛乳业股份有限公司;白醋:佛山市海天(高明)调味食品有限公司;发酵粉:河南安锐生物科技有限公司。

1.2 设备与仪器

YCD-2D 型烤箱:重庆莱欧机械设备有限公司;TT002 型电动迷你打蛋器:中山市德和电机有限公司;JD200-3 型电子天平:沈阳龙腾电子有限公司;BLJBB 型玻璃棒:江苏好奇教学有限公司;TMS-PRO 型质构仪:美国 FTC 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 苦荞蛋糕的工艺流程

鸡蛋打发→加入面粉、苦荞面粉,搅拌→加入少量蛋糕油,搅拌均匀→装模烘烤→出炉冷却。

1.3.2 苦荞蛋糕的操作要点

1) 从蛋壳中分离出蛋黄和蛋白。在蛋白中加白砂糖,持续搅打,直至成为如鲜奶油般的雪白泡沫。在此过程中,蛋白不应与蛋黄和油脂混合,否则会影响蛋白打发效果。

2) 加入牛奶、白砂糖、蛋黄、蛋糕油后沿着一个方向搅拌,直至蛋液细腻,过筛后混入苦荞面粉、低筋面粉和发酵粉,搅拌成蛋黄糊。在这个过程中不要过度搅拌以防止面筋的形成。

3) 将蛋白霜依次拌入蛋黄糊中,使其混合均匀。此过程应尽量快速完成,以防止蛋糊消泡。

4) 在蛋糕模具表面刷一层蛋糕油,把蛋糕糊倒入蛋糕模具中,注模时蛋糊不宜超过模具高度的 60%,蛋糊注模后要及时烤制,长时间放置会消泡,造成蛋糕质地粗硬。

5) 将烤箱预热,焙烤温度为底火 210 ℃、面火 200 ℃,焙烤时间为 16 min^[11]。蛋糕烘烤时,不要打开烤箱门,以免受到热胀冷缩影响。

1.4 单因素试验设计

1.4.1 苦荞添加量对蛋糕品质的影响

以面粉质量为 100%,添加泡打粉 1.5%、白砂糖添

加量 100%、蛋糕油添加量 12%、鸡蛋添加量 150%、牛奶 20%,考察苦荞添加量(10%、15%、20%、25%、30%)对蛋糕品质的影响。

1.4.2 糖添加量对蛋糕品质的影响

以面粉质量为 100%,苦荞添加量 20%、泡打粉 1.5%、蛋糕油添加量 12%、鸡蛋添加量 150%、牛奶 20%,考察白砂糖添加量(60%、70%、80%、90%、100%)对蛋糕品质的影响。

1.4.3 蛋糕油添加量对蛋糕品质的影响

以面粉质量为 100%,苦荞添加量 20%、白砂糖添加量 100%、泡打粉 1.5%、鸡蛋添加量 150%、牛奶 20%,考察蛋糕油添加量(6%、9%、12%、15%、18%)对蛋糕品质的影响。

1.4.4 鸡蛋添加量对蛋糕品质的影响

以面粉质量为 100%,苦荞添加量 20%、白砂糖添加量 100%、泡打粉 1.5%、蛋糕油添加量 12%、牛奶 20%,考察鸡蛋添加量(90%、120%、150%、180%、210%)对蛋糕品质的影响。

1.5 响应面试验设计

在单因素试验的基础上,根据影响大小选取苦荞添加量、白砂糖添加量、蛋糕油添加量 3 个因素进行三因素三水平响应面设计,因素水平设计见表 1。

表 1 试验因素水平与编码

Table 1 Coding of experimental factors and levels

| 水平 | 因素 | | |
|----|---------------|----------------|----------------|
| | X_1 苦荞添加量/% | X_2 白砂糖添加量/% | X_3 蛋糕油添加量/% |
| -1 | 15 | 70 | 9 |
| 0 | 20 | 80 | 12 |
| 1 | 25 | 90 | 15 |

1.6 蛋糕品质指标的测定

1.6.1 蛋糕感官评定

由 10 名专业人士对蛋糕风味、外观、弹性、硬度和咀嚼性进行打分,评价标准见表 2。

表 2 评分标准

Table 2 Scoring criteria

| 项目 | 评分标准 | 分值 |
|---------|--------------------|-------|
| 风味(20分) | 苦荞香味浓郁 | 16-20 |
| | 有香味 | 9-15 |
| | 有异味 | 0-8 |
| 外观(30分) | 表面黄褐色,无焦斑,气孔分布均匀 | 21-30 |
| | 表面褐色,有少许焦斑,气孔分布较均匀 | 11-20 |
| | 表面深褐色,有焦斑气孔分布不均匀 | 0-10 |

续表2 评分标准

Continue table 2 Scoring criteria

| 项目 | 评分标准 | 分值 |
|----------|-----------|-------|
| 弹性(10分) | 轻压能迅速恢复原状 | 8~10 |
| | 不能完全恢复 | 5~7 |
| | 不能恢复 | 0~4 |
| 硬度(10分) | 绵软 | 8~10 |
| | 较硬 | 5~7 |
| | 非常硬 | 0~4 |
| 咀嚼性(30分) | 容易咀嚼 | 21~30 |
| | 较难咀嚼 | 11~20 |
| | 难咀嚼 | 0~10 |

1.6.2 蛋糕的质构测定

采用质构仪分析蛋糕的弹性、咀嚼性、硬度指标^[13-14]。

质构仪参数设定为探头 TA25、起始力 0.04 N、测前速度 30 mm/min、测中速度 120 mm/min,最大位移和最大力分别为 20 mm 和 25 N^[15]。取外形完整的蛋糕,切成长、宽、高分别为 3 cm 的小立方块,水平放于载物台上。对每个试样做 3 次平行试验,取平均值。

1.7 数据处理

采用 Design-Expert.V8.06.1 和 SPSS 22.0 进行数据处理分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 苦荞添加量对蛋糕质构及感官评分的影响

苦荞添加量对蛋糕质构及感官评分的影响见表 3。

表3 苦荞添加量对蛋糕质构及感官评分的影响

Table 3 Effect of tartary buckwheat on cake texture and sensory scoring

| 苦荞添加量/% | 硬度/g | 弹性 | 咀嚼性/g | 感官评分 |
|---------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------|
| 10 | 568.64±2.02 ^a | 0.74±0.01 ^a | 463.37±2.98 ^a | 80.64 |
| 15 | 574.50±2.60 ^d | 0.69±0.01 ^b | 499.52±1.76 ^d | 82.18 |
| 20 | 593.38±2.19 ^c | 0.65±0.00 ^c | 576.96±6.12 ^c | 84.31 |
| 25 | 656.67±2.32 ^b | 0.63±0.01 ^d | 664.97±1.20 ^b | 81.68 |
| 30 | 695.46±3.36 ^e | 0.53±0.01 ^e | 811.27±2.40 ^e | 80.78 |

注:不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

由表 3 可知,不同苦荞添加量对苦荞蛋糕的弹性、硬度、咀嚼性影响差异显著($P<0.05$)。随着苦荞粉添加量的增加,蛋糕的弹性随之减少,硬度和咀嚼性随之增大,蛋糕的感官得分先上升后下降。当苦荞添加量为 10%和 15%时,苦荞的风味较淡,感官得分较低;当苦荞添加量为 25%和 30%时,蛋糕会松散,外观受到影响。苦荞添加量为 20%时感官得分最高,蛋糕品质

较佳。因此,20%为最佳苦荞添加量。

2.1.2 白砂糖添加量对蛋糕质构及感官评分的影响

白砂糖添加量对蛋糕质构及感官评分的影响见表 4。

表4 白砂糖添加量对蛋糕质构及感官评分的影响

Table 4 Effect of sugar addition on cake texture and sensory scoring

| 白砂糖添加量/% | 硬度/g | 弹性 | 咀嚼性/g | 感官评分 |
|----------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------|
| 60 | 597.40±2.01 ^d | 0.63±0.01 ^d | 578.75±2.65 ^b | 79.81 |
| 70 | 598.04±2.16 ^c | 0.63±0.01 ^d | 578.37±4.32 ^c | 81.33 |
| 80 | 598.86±2.46 ^b | 0.64±0.00 ^c | 578.88±1.54 ^a | 83.84 |
| 90 | 598.90±3.16 ^b | 0.66±0.00 ^b | 578.53±3.39 ^b | 80.84 |
| 100 | 599.15±3.28 ^a | 0.68±0.01 ^a | 578.86±3.37 ^b | 79.95 |

注:不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

由表 4 可知,当白砂糖添加量为 80%和 90%时,蛋糕硬度差异不显著($P>0.05$);当白砂糖添加量为 60%和 70%时,蛋糕弹性差异不显著($P>0.05$);当白砂糖添加量为 90%和 100%时,蛋糕咀嚼性差异不显著($P>0.05$)。随着白砂糖添加量的增加,感官评分先增大后减小。当白砂糖添加量为 80%时,蛋糕的感官评分达到最大值,而当添加量超过 80%时,蛋糕的感官评分逐渐减小。因此,80%为最佳白砂糖添加量。

2.1.3 蛋糕油添加量对蛋糕质构及感官评分的影响

蛋糕油添加量对蛋糕质构及感官评分的影响见表 5。

表5 蛋糕油添加量对蛋糕质构的影响及感官评分的影响

Table 5 Effect of cake oil content on cake texture and sensory scoring

| 蛋糕油添加量/% | 硬度/g | 弹性 | 咀嚼性/g | 感官评分 |
|----------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-------|
| 6 | 639.44±2.21 ^a | 0.51±0.01 ^e | 643.57±2.61 ^a | 79.01 |
| 9 | 587.05±2.63 ^b | 0.61±0.01 ^d | 578.18±4.42 ^b | 80.34 |
| 12 | 578.87±2.54 ^c | 0.64±0.00 ^c | 552.32±1.52 ^c | 82.82 |
| 15 | 554.91±2.73 ^d | 0.67±0.00 ^b | 536.56±3.91 ^d | 79.85 |
| 18 | 535.06±0.59 ^e | 0.72±0.01 ^a | 476.56±3.23 ^e | 78.98 |

注:不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

由表 5 可知,蛋糕油添加量对蛋糕的弹性、硬度、咀嚼性影响差异显著($P<0.05$)。随着蛋糕油添加量的增加,蛋糕的硬度和咀嚼性减小,弹性增大,蛋糕的感官评分先增大后减小。蛋糕油添加量为 12%评分最高。因此,12%为最佳蛋糕油添加量。

2.1.4 鸡蛋添加量对蛋糕质构及感官评分的影响

鸡蛋添加量对蛋糕质构及感官评分的影响见表 6。

表6 鸡蛋添加量对蛋糕质构及感官评分的影响

Table 6 Effect of egg addition on cake texture and sensory scoring

| 鸡蛋添加量/% | 硬度/g | 弹性 | 咀嚼性/g | 感官评分 |
|---------|---------------------------|------------------------|--------------------------|-------|
| 90 | 739.44±2.21 ^a | 0.56±0.01 ^d | 683.57±2.61 ^a | 82.08 |
| 120 | 687.05±2.63 ^b | 0.61±0.01 ^c | 598.18±4.42 ^b | 83.46 |
| 150 | 578.87±2.54 ^c | 0.67±0.00 ^b | 562.32±1.52 ^c | 84.04 |
| 180 | 554.91±2.73 ^{cd} | 0.68±0.00 ^b | 536.56±3.91 ^d | 82.95 |
| 210 | 535.06±0.59 ^d | 0.71±0.01 ^a | 476.56±3.23 ^e | 82.05 |

注:不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

由表6可知,鸡蛋添加量为150%和180%、180%和210%时,蛋糕硬度和弹性差异不显著($P>0.05$);鸡蛋添加量对蛋糕咀嚼性的影响差异显著($P<0.05$)。当鸡蛋添加量为90%和120%时,苦荞蛋糕比较硬而且容易开裂;当鸡蛋添加量为180%和210%时,蛋糕腥味太重,风味比较差;随着鸡蛋添加量的增加,蛋糕的硬度和咀嚼性减小,弹性增大,蛋糕的感官得分先增大后减小,鸡蛋添加量为150%评分最高。因此,150%为最佳鸡蛋添加量。

2.2 响应面试验

2.2.1 显著性检验

在单因素试验的基础上,以感官评分(Y)为响应值,以对苦荞蛋糕影响显著的3个因素(X_1 苦荞添加量、 X_2 白砂糖添加量、 X_3 蛋糕油添加量)为考察因素,Box-Behnken试验结果见表7,方差分析见表8。

表7 Box-Behnken 试验结果

Table 7 Box-Behnken test results

| 序号 | X_1 苦荞添加量/% | X_2 白砂糖添加量/% | X_3 蛋糕油添加量/% | Y 感官评分 |
|----|---------------|----------------|----------------|----------|
| 1 | 15 | 70 | 12 | 80.52 |
| 2 | 25 | 70 | 12 | 82.10 |
| 3 | 15 | 90 | 12 | 81.79 |
| 4 | 25 | 90 | 12 | 82.04 |
| 5 | 15 | 80 | 9 | 80.71 |
| 6 | 25 | 80 | 9 | 81.14 |
| 7 | 15 | 80 | 15 | 81.55 |
| 8 | 25 | 80 | 15 | 81.72 |
| 9 | 20 | 70 | 9 | 80.93 |
| 10 | 20 | 90 | 9 | 80.70 |
| 11 | 20 | 70 | 15 | 80.88 |
| 12 | 20 | 90 | 15 | 81.88 |
| 13 | 20 | 80 | 12 | 84.53 |
| 14 | 20 | 80 | 12 | 84.20 |
| 15 | 20 | 80 | 12 | 84.30 |
| 16 | 20 | 80 | 12 | 84.43 |
| 17 | 20 | 80 | 12 | 84.63 |

表8 试验方差分析

Table 8 Analysis of test variance

| 方差源 | 平方和 | 自由度 | 均方 | F 值 | P 值 | 显著性 |
|-----------------------|-------|--|-------|-----------|----------|-----|
| 模型 | 37.08 | 9 | 4.12 | 84.1 | <0.000 1 | ** |
| X_1 苦荞添加量 | 0.74 | 1 | 0.74 | 15.07 | 0.006 0 | * |
| X_2 白砂糖添加量 | 0.49 | 1 | 0.49 | 10 | 0.015 9 | * |
| X_3 蛋糕油添加量 | 0.81 | 1 | 0.81 | 16.59 | 0.004 7 | * |
| X_1X_2 | 0.44 | 1 | 0.44 | 9.03 | 0.019 8 | * |
| X_1X_3 | 0.017 | 1 | 0.017 | 0.34 | 0.575 4 | |
| X_2X_3 | 0.38 | 1 | 0.38 | 7.72 | 0.027 4 | * |
| X_1^2 | 7.24 | 1 | 7.24 | 147.84 | <0.000 1 | ** |
| X_2^2 | 9.4 | 1 | 9.4 | 191.85 | <0.000 1 | ** |
| X_3^2 | 14.05 | 1 | 14.05 | 286.75 | <0.000 1 | ** |
| 残差 | 0.34 | 7 | 0.049 | | | |
| 失拟项 | 0.22 | 3 | 0.075 | 2.51 | 0.197 9 | |
| 误差项 | 0.12 | 4 | 0.03 | | | |
| 总和 | 37.42 | 16 | | | | |
| R ² =0.991 | | R ² _{adj} =0.979 1 | | 信噪比=22.54 | | |

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

利用 Design-Expert 8.0.6.1 软件对表7数据进行多元回归拟合,得到响应值回归方程为 $Y = 84.42 + 0.30X_1 + 0.25X_2 + 0.32X_3 - 0.33X_1X_2 - 0.065X_1X_3 + 0.31X_2X_3 - 1.31X_1^2 - 1.49X_2^2 - 1.83X_3^2$ 。

由表8可知,模型的 F 值为84.10,而且 P 值极显著^[6]。失拟项 $F=2.51$, P 值不显著,证明模型可靠。 $R^2_{adj}=0.979 1$,表明苦荞蛋糕的感官评分变化有97.91%来源于4个因素。信噪比为22.536,远远大于4,表明这个模型具有可靠性。各因素对苦荞蛋糕感官评分的影响大小排序为 X_3 蛋糕油添加量 $>X_1$ 苦荞添加量 $>X_2$ 白砂糖添加量。

2.2.2 响应面分析

经过 Design Expert 软件整理分析,各因素交互作用见图1~图3。

由图1~图3可知,感官评分的响应面趋向抛物线形,即存在最高点,所以回归方程存在极大值^[6]。而且回归方程中二次项系数为负,说明抛物线一定开口向下,也就是说该方程有极大值点。

利用 Design Expert 软件对多组试验结果进行分析计算,得出苦荞蛋糕的最佳工艺配方为以面粉质量为100%,苦荞添加量20.52%、白砂糖添加量80.08%、蛋糕油添加量12.28%,这时蛋糕的感官评分的预测值为84.4584。为方便实际操作,将最佳工艺参数改为苦荞添加量20%,白砂糖添加量80%,蛋糕油添加量12%,

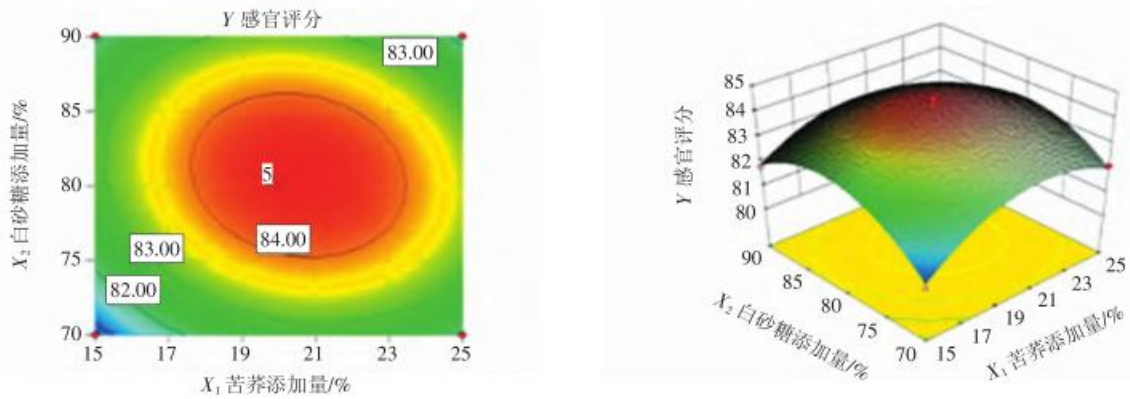


图1 苦荞和白砂糖添加量交互作用的等高线及响应面图

Fig.1 Contour lines and response surface diagram of the interaction between tartary buckwheat and white granulated sugar

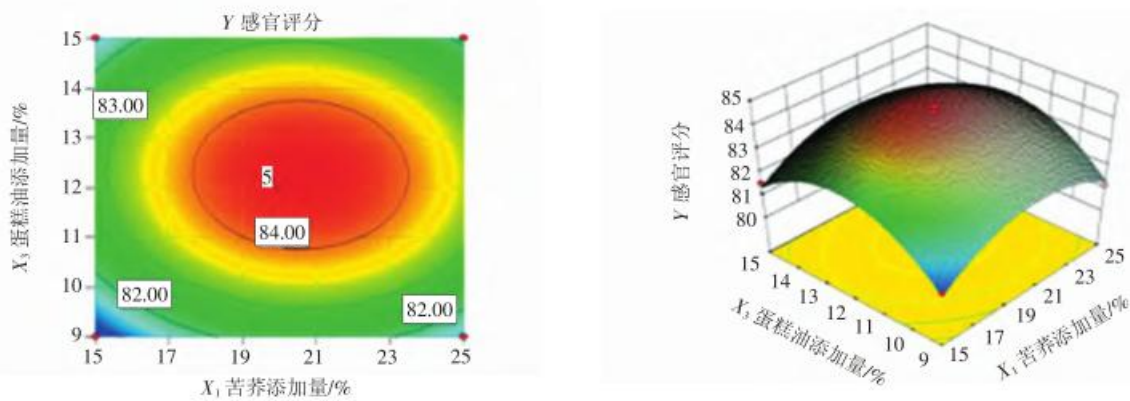


图2 苦荞和蛋糕油添加量交互作用的等高线及响应面图

Fig.2 Contour lines and response surface diagram of the interaction between tartary buckwheat and cake oil

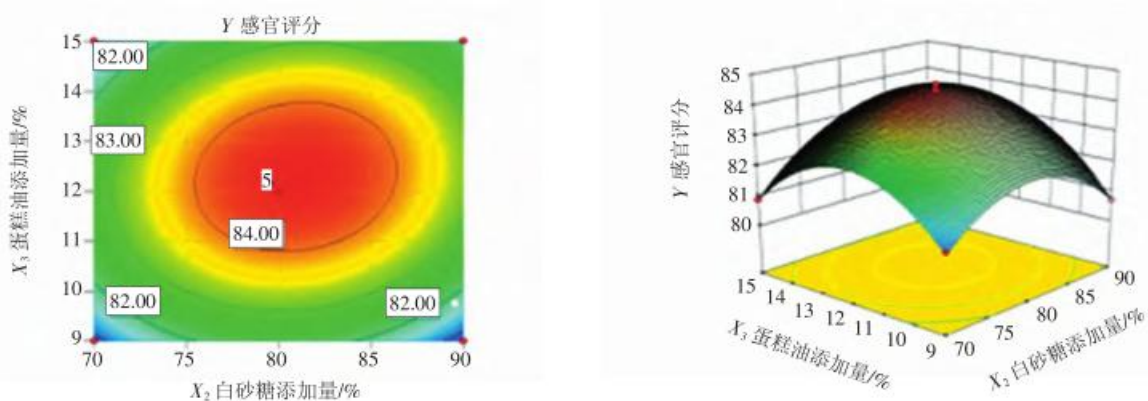


图3 白砂糖和蛋糕油添加量交互作用的等高线及响应面图

Fig.3 Contour line and response surface diagram of the interaction between sugar and cake oil

在这条件下苦荞蛋糕的感官评分为 84.43, 和预测值较为一致, 说明该模型的设计具有一定的可靠性^[17-18]。

3 结论

本文通过单因素试验与响应面优化法对苦荞风味蛋糕配方进行优化, 确定苦荞蛋糕最佳工艺配方为以面粉质量为 100%, 当苦荞添加量 20%、白砂糖添加

量 80%、蛋糕油添加量 12%, 按此配方制作的蛋糕表面黄褐色, 无焦斑, 气孔分布较均匀, 组织柔软较有弹性, 整体品质较好。

参考文献:

- [1] 张迪, 韩俊杰. 苦荞麦芽中黄酮类化合物提取工艺的优化[J]. 农产品加工, 2017(15): 24-25, 28.

- ZHANG Di, HAN Junjie. Optimization of extraction process of flavonoids in Tartary buckwheat malt[J]. *Farm Products Processing*, 2017(15): 24–25, 28.
- [2] 王红育, 李颖. 荞麦的研究现状及应用前景[J]. *食品科学*, 2004, 25(10): 388–391.
- WANG Hongyu, LI Ying. Research status and applied prospect of buckwheat[J]. *Food Science*, 2004, 25(10): 388–391.
- [3] 左光明, 谭斌, 王金华, 等. 苦荞米与苦荞粉加工中营养成分的评价及利用[J]. *食品科学*, 2009, 30(14): 183–187.
- ZUO Guangming, TAN Bin, WANG Jinhua, et al. Direction and utilization evaluation of nutritional and functional components in processing of Tartary buckwheat rice and flour[J]. *Food Science*, 2009, 30(14): 183–187.
- [4] 邹春虹. 苦荞营养保健成分及其食品开发分析[J]. *食品界*, 2020(8): 121.
- ZOU Chunhong. Nutritional and health components of tartary buckwheat and its food development analysis[J]. *Food Industry*, 2020(8): 121.
- [5] 路长喜, 吕少芳, 王衍生, 等. 苦荞麦馒头工艺与品质的研究[J]. *粮油加工*, 2009(12): 111–113.
- LU Changxi, Shaofang, WANG Yansheng, et al. Technology and quality of buckwheat steamed bread[J]. *Cereals and Oils Processing*, 2009(12): 111–113.
- [6] 王婧宜, 金越, 郭慧青, 等. 苦荞的营养保健功能及其在航天食品中的应用展望[J]. *食品安全导刊*, 2019(6): 176–179, 184.
- WANG Jingyi, JIN Yue, GUO Huiqing, et al. The nutrition and health function of tartary buckwheat and its application prospect in space food[J]. *China Food Safety Magazine*, 2019(6): 176–179, 184.
- [7] 程琳娟. 荞麦面包、蛋糕的研制及其营养价值的研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2010.
- CHENG Linjuan. Development of buckwheat bread and cake and study on their nutritional value[D]. Wuhan: Polytechnic University, 2010.
- [8] 郭晓娜, 姚惠源, 陈正行. 苦荞粉蛋白质的分级制备及理化性质[J]. *食品与生物技术学报*, 2006, 25(3): 88–92.
- GUO Xiaona, YAO Huiyuan, CHEN Zhengxing. Fractionation and physicochemical properties of Tartary buckwheat protein[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2006, 25(3): 88–92.
- [9] 卢凯玲, 崔娜, 韦靓, 等. 响应面法优化马蹄戚风蛋糕工艺的研究[J]. *现代食品*, 2020(22): 102–107.
- LU Kailing, CUI Na, WEI Liang, et al. Study on water chestnut chiffon cake technology by response surface methodology[J]. *Modern Food*, 2020(22): 102–107.
- [10] SADIQ I S, DURUMINIYA N I, BALOGUN J B. Nutritional and anti-nutritional value of tamarind fruit (*Tamarindus indica*)[J]. *International Journal of Applied Research and Technology*, 2016, 5(3): 50–56.
- [11] 闫宏宇, 李君, 李红梅, 等. 添加低聚木糖生产南瓜蛋糕的工艺研究[J]. *农产品加工(学刊)*, 2009(3): 157–160.
- YAN Hongyu, LI Jun, LI Hongmei, et al. The study on processing technique of pumpkin cake with oligosexylose[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2009(3): 157–160.
- [12] 王颖, 李明娟, 张雅媛, 等. 木薯全粉对蛋糕品质及其质构特性的影响[J]. *食品与机械*, 2017, 33(10): 179–183, 189.
- WANG Ying, LI Mingjuan, ZHANG Yayuan, et al. Effect of the cassava flour on the qualities and texture characteristics of cake[J]. *Food & Machinery*, 2017, 33(10): 179–183, 189.
- [13] 魏跃胜, 李茂顺, 易中新. 质构剖面分析与感官评定的相关性分析[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(24): 34–37.
- WEI Yuesheng, LI Maoshun, YI Zhongxin. Correlation analysis of texture profile analysis and sensory evaluation[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(24): 34–37.
- [14] 刘兆芳, 李曦吴, 孔繁东. 橘皮粉蛋糕的制作及其质构特性[J]. *大连工业大学学报*, 2015, 34(3): 167–171.
- LIU Zhaofang, LI Xihao, KONG Fandong. Texture characteristics of orange peel powder cakes[J]. *Journal of Dalian Polytechnic University*, 2015, 34(3): 167–171.
- [15] 姚妙爱. 无糖荞麦蛋糕的研究[J]. *粮油加工*, 2010(7): 97–99.
- YAO Miaoi. Study on sugar-free buckwheat cake[J]. *Cereals and Oils Processing*, 2010(7): 97–99.
- [16] 苏伟, 邓山鸿, 陈钢. 脐橙果酒低温发酵工艺优化及挥发性风味物质分析[J]. *中国酿造*, 2021, 40(1): 133–137.
- SU Wei, DENG Shanong, CHEN Gang. Optimization of low temperature fermentation process and analysis of flavor compounds in navel orange wine[J]. *China Brewing*, 2021, 40(1): 133–137.
- [17] 吕银德, 赵俊芳. 响应面法分析保水剂对蛋糕品质的影响[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(4): 30–32.
- LÜ Yinde, ZHAO Junfang. Effect of water retention agent on the quality of cake with response surface methodology[J]. *Cereals & Oils*, 2017, 30(4): 30–32.
- [18] WANG Y J, MO Q, LI Z N, et al. Effects of degree of carboxymethylation on physicochemical and biological properties of pachyman[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2012, 51(5): 1052–1056.
- [19] DEMIRKESEN I, SUMNU G, SAHIN S. Quality of gluten-free bread formulations baked in different ovens[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(3): 746–753.
- [20] 王雪梅, 郑倩云, 卢芸, 等. 苦荞可可蛋糕的研制[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(8): 89–92.
- WANG Xuemei, ZHENG Qianyun, LU Yun, et al. Processing method of cake made from Tartary buckwheat and cocoa[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(8): 89–92.

加工编辑:张璐

收稿日期:2021-07-11