

响应面优化海绵蛋糕的蒸烤箱烹饪工艺研究

Optimization study on the cooking process of sponge cake using steam-oven by response surface method

熊明洲 石磊 汪春节 丁烁火 王钟黎 赵娟红
XIONG Mingzhou SHI Lei WANG Chunjie DING Luohuo WANG Zhongli ZHAO Juanhong
珠海格力电器股份有限公司 广东珠海 519070
GREE ELECTRIC APPLIANCES, INC. OF ZHUHAI Co., Ltd. Zhuhai 519070

摘要

以海绵蛋糕为研究对象,在单因素实验的基础上,采用响应面法Box-Behnken中心组合原理对蒸烤箱的海绵蛋糕烹饪工艺进行优化。考查烘烤时间、烘烤温度、蒸汽使用量三个因素对蛋糕质地、色泽、感官评分和丙烯酰胺含量的影响,建立了该工艺的回归模型。结果表明海绵蛋糕的最佳工艺为:烘烤温度167℃,烘烤时间25min,蒸汽量17%。在此条件下海绵蛋糕的品质感官较好,实际测得的海绵蛋糕感官评分为82,亮度L*为52.11,丙烯酰胺含量为0.0302mg/kg。

关键词

蒸烤箱; 海绵蛋糕; 响应面; 最佳工艺

Abstract

Sponge cake was seen as the research object in this study. On the basis of single factor experiments, the response surface method Box-Behnken center combination principle was used to optimized the processing technology of the sponge cake. Regression model was established to investigate the effect of baking time, baking temperature and steam on cake texture, color, sensory score and acrylamide content. The results showed that the process of sponge cake was optimized as follows: baking temperature of 167℃, baking time for 25min, steam period for 17%. The actual sensory score of sponge cake was 82, the brightness is 52.11, and the acrylamide content is 0.0302mg/kg with this condition.

Keywords

Steam oven; Sponge cake; Response surface; Optimal technology

中图分类号: TB47

DOI:10.19784/j.cnki.issn1672-0172.2020.03.018

大量空间,使厨房更加整洁,带给用户更加优质的烹饪体验。据中怡康统计,2019年上半年嵌入式一体机零售额为10.0亿元,同比增长27.2%,零售量为16.7万台,同比增长35.1%。

烤箱在食品加工领域应用广泛,一般为自然、强制对流电加热烤箱。蒸汽烤箱由于蒸汽的加入可有效抑制食物水分的散失,保证其口感^[2],其较高的比热可强化传热过程,减少加热时间,而且几种典型烤箱的对比研究表明蒸汽辅助烤箱产生的丙烯酰胺浓度最低^[3],具有最高的安全性。因此将蒸汽加热与先进烤箱技术结合成为一个重要的发展方向^[4]。

目前,国内外关于蒸烤箱烹饪过程中的烹饪工艺控制,尤其是蒸汽控制的研究较少。海绵蛋糕作为烘焙食品中的一个主要品种,具有质地口感柔软、甜度适中、气味的色泽诱人、老少皆宜等特点,备受人们喜爱^[5]。本文对海绵蛋糕的制作工艺进行优化,设计单因素实验,以质地、色泽、感官评分、丙烯酰胺的含量为指标,选出较优的参数。在单因素实验的基础上,利用响应面法Box-behnken中心组合设计,以烘烤温度、烘烤时间、蒸汽使用量三个因素为自变因素,海绵蛋糕的质地、色泽、感官评分和丙烯酰胺为评价指标,对海绵蛋糕的蒸烤工艺进行优化,以期对蒸烤箱的产品开发提供参考。

1 引言

随着人们健康意识的日益加强,越来越多的人选择自己在家动手制作各种健康美食。蒸烤箱是一款集蒸、烤功能于一体的厨房电器,近两年,电蒸烤箱的市场普及率迅速提升,逐渐成为消费者选购厨电的新宠^[1]。蒸烤箱将蒸烤功能合二为一,不仅能烹饪出美食佳肴,还能节省

2 原料与方法

2.1 材料

2.1.1 实验材料

低筋面粉、细砂糖、鸡蛋、牛奶、玉米油、柠檬片;购自格力南沙湾新友谊超市。

如果您对本文内容感兴趣
请联系作者熊明洲
xiongmingzhou86@qq.com

2.1.2 实验仪器

蒸烤箱: 某市售蒸烤一体机; 质构仪: TMS-Touch质构仪, 美国FTC公司; 色差仪: CM-600d型, 日本美能达仪器有限公司; JA5003N电子天平, 上海精密科学仪器有限公司; DDQ-A01G1打蛋器: 小熊电器股份有限公司。

2.2 方法

2.2.1 海绵蛋糕制作方法

在无水产油的盆中打入3个鸡蛋, 加入细砂糖80g, 挤入少许柠檬汁除腥, 将打蛋盆坐浴在50℃的热水中, 用打蛋器先中速后高速打发蛋液, 蛋液打发至提起打蛋器时滴落下的蛋糊不会马上消失; 依次加入玉米油30g, 牛奶30g, 继续搅打均匀; 加入过筛的低筋面粉, 用刮刀轻柔的从底部向上部翻拌至无干粉颗粒; 蛋糕糊倒入模具, 用力震出气泡; 置于蒸烤箱内第三层烤架进行烘烤^[6], 烘烤结束, 晾凉后脱模, 对其感官、质构、色泽丙烯酸胺进行测定。

2.2.2 单因素实验

保持蛋糕的制作配方不变, 探讨蒸烤箱蒸汽量(0%、3%、13%、22%、31%、40%)、烹饪温度(140℃、155℃、170℃、185℃、200℃)、烹饪时间(15min、25min、35min、45min、55min)3个因素对海绵蛋糕感官品质、质构特性、色泽和丙烯酸胺的影响。

2.2.3 响应面实验

响应面分析法(Response Surface Methodology, RSM), 是利用合理的实验设计方法并通过实验得到一定数据, 采用多元二次回归方程来拟合因素与响应值之间的函数关系, 通过对回归方程的分析来寻求最优工艺参数, 解决多变量问题的一种统计方法。

在单因素实验研究的基础上, 选取温度、时间、蒸汽量3个因素为自变量, 感官评分(G)、硬度(Y)、弹性(T)、亮度(L)、丙烯酸胺(B)为响应值, 根据Design-Expert Software 8.0.6软件中的Box-Behnken实验设计原理, 进行3因素三水平共17个实验点的响应面分析实验, 优化海绵蛋糕的烹饪工艺。实验因素及水平编码如表1所示。

2.3 海绵蛋糕品质测定

2.3.1 感官的测定

选取10位对于食品具有专业知识的人员, 依据蛋糕的品尝项目和评分标准对产品进行评分, 总分100分, 其

中色泽20分, 外观形状20分, 内部结构20分, 弹韧性20分, 气味和滋味20分, 具体评定标准如表2所示^[7]。

2.3.2 质构的测定

将蛋糕切成2×2×2cm的正方块, 置于质构仪载物台上进行测定, 测试探头选择TMS-50mm型圆柱形压缩探头。采用TPA模式, 形变量50%, 起始力0.2N, 测试速度60mm/min。每个样品做6个平行实验, 取平均值。

2.3.3 色度的测定

L*的测定用手持色差仪, 测定前先进行白板校正。

2.3.4 海绵蛋糕丙烯酸胺的测定

参考GB 5009.204-2014第二法。

2.3.5 数据处理

实验所得数据由SPSS 17.0和Design-Expert 8.0软件处理。

3 结果与分析

3.1 蒸烤箱单因素实验结果

3.1.1 蒸汽量对海绵蛋糕品质的影响

由图1可知, 在蒸汽量0%~40%中, 海绵蛋糕感官得分先增加后减小, 当蒸汽量为22%时, 感官评分最高(86.8分), 且弹性最大硬度最低, 此时的蛋糕内部结构良好, 香味纯正, 有蛋糕特有的风味。与不加蒸汽量相比, 海绵蛋糕在烘焙过程中加了蒸汽, 硬度显著降低(置信概率 $p<0.05$), 弹性显著增加($p<0.05$), 其原因可能是

表1 实验设计因素水平及编码

变量	代码	编码水平		
		-1	0	1
温度(℃)	X_1	155	170	185
时间(min)	X_2	25	35	45
蒸汽量(%)	X_3	3	22	40

表2 海绵蛋糕感官评分标准

评分	感官标准				
	色泽 (20分)	外观 (20分)	内部结构 (20分)	弹韧性 (20分)	气味滋味 (20分)
16~20分	表面湿润, 色泽自然, 和谐, 均匀一致, 无焦糊, 无斑点	块形丰满周正, 薄厚均匀, 表面富有光, 有细密小麻点, 均匀不沾边, 无破损, 无崩顶	切面呈细密蜂窝状, 无大空洞, 无硬块, 孔泡细密均匀	口感松软细腻, 香甜不黏牙, 发起均匀柔和, 弹性不干硬	香味纯正, 绵软细腻, 甜度适中, 有蛋糕特有风味
12~15分	表面稍硬, 颜色较和谐, 勉强可以接受, 较均匀, 有一些斑点或部分焦糊	表面和顶部有少量破损	孔泡稍粗略有不均匀	口感稍粗, 发起有部分不均, 弹性稍差	较爽口, 稍黏牙, 或稍有坚韧, 略有松散发干
1~11分	颜色很难接受, 不均匀, 斑点很多或严重变糊	表面粗糙, 严重收缩变形	气孔大而均匀	弹性差, 不发干, 干硬	不爽口, 发粘或明显坚实, 粗糙松散发干

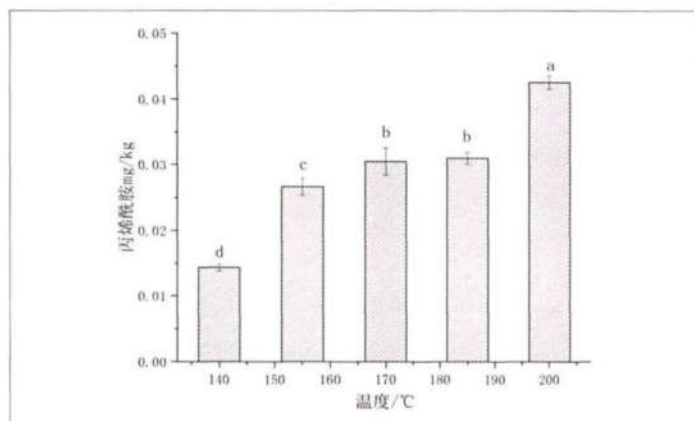
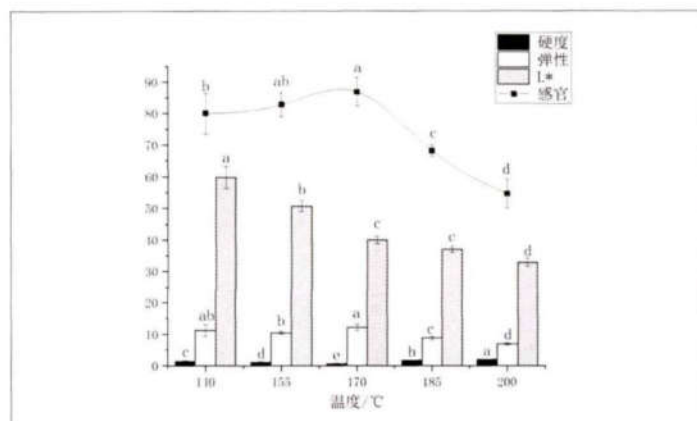
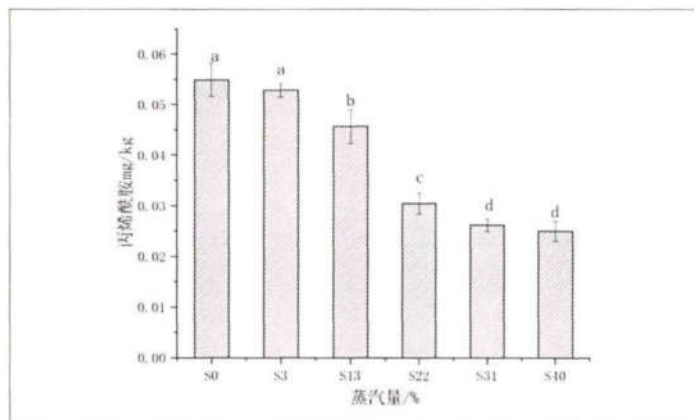
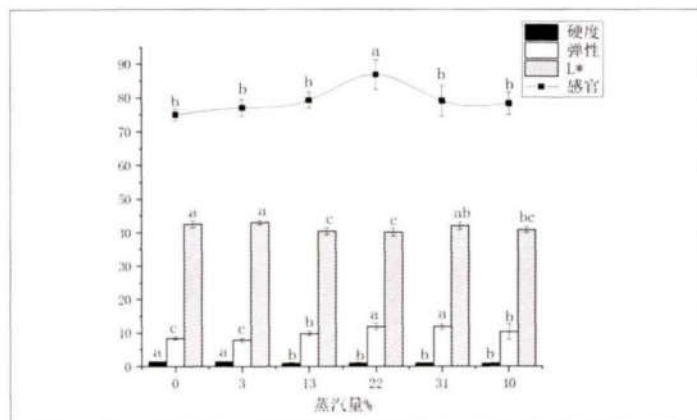


图1
蒸汽量对海绵
蛋糕品质的
影响

图2
蒸汽量对海绵
蛋糕丙烯酰胺
的影响

图3
温度对海绵蛋
糕品质的影响

图4
温度对海绵蛋
糕丙烯酰胺的
影响

蛋糕表面吸收了水分,从而变得湿润,蛋糕的水分蒸发形成疏松结构,弹性变大。当蒸汽量超过22%时,蛋糕表面粗糙,感官评分降低,品质逐渐变差。

在富含脂肪的体系中,丙烯酰胺的形成主要通过油脂热解产生的丙烯醛或丙烯酸与游离氨反应或者是一些羰基化合物与3-氨基丙酰胺反应产生^[8]。由图2可知,蛋糕在不加蒸汽的情况下烘焙之后,丙烯酰胺的含量为0.0549mg/kg,随着蒸汽量的增加,丙烯酰胺的生成量逐渐减少,可能的原因是水蒸气具有洗脱食物中油脂的作用,因此也降低了食物中丙烯酰胺的含量。综上所述,选择蒸汽量为22%。

3.1.2 烹饪温度对海绵蛋糕品质的影响

由图3可知,随着烘焙温度的增加,蛋糕的L*显著降低 ($p<0.05$),弹性逐渐降低,硬度先减小后增大 ($p<0.05$),蛋糕在烘焙过程中糖类发生焦糖化反应生成深色物质,色泽变暗,随着烘焙温度的增加,蛋糕的表面开始发生焦糊,亮度逐渐降低。打发好的蛋糕糊置入

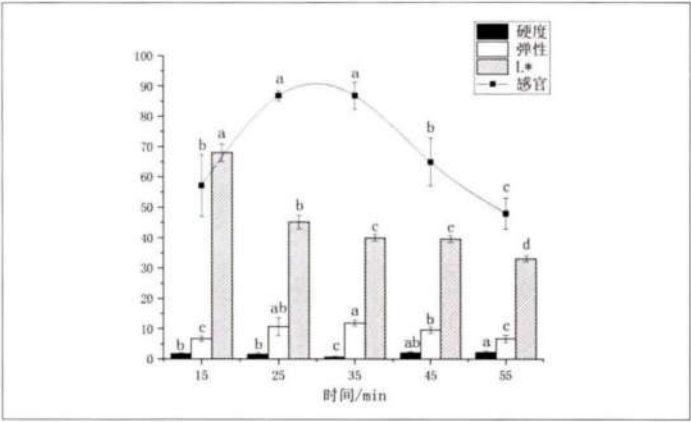
烤箱,黏稠状的乳化液会转变成固相的胶体,蛋糕内部组织形成多孔结构,使蛋糕的弹性逐渐增加,但是随着时间的延长,蛋糕质地坚韧,弹性逐渐降低,硬度变大。

丙烯酰胺是高碳水化合物食物加热到120℃以上逐渐发生美拉德反应形成的,由图4可知,随着烘焙温度的增加,海绵蛋糕丙烯酰胺的含量显著增加 ($p<0.05$),当烘焙温度控制的较低时,蛋糕中生成的丙烯酰胺的量很少,当温度升高到一定阶段时,蛋糕表面的水分减少,表面温度越来越高,生成的丙烯酰胺的量也越来越多。因此在一定范围内,丙烯酰胺的生成量与烘焙温度成正比。

综上所述,当蒸烤箱温度设定为170℃时,蛋糕质地均匀,感官评分最高,因此蒸烤箱温度设定为170℃。

3.1.3 烹饪时间对海绵蛋糕品质的影响

由图5可知,感官评分随着烘焙时间的延长先增加后减小,当烘焙时间为35min时感官评分最高,此时蛋糕的弹性最大、硬度最小。当继续烘焙时,蛋糕的水分逐渐蒸发,蛋糕的表面开始发生焦糊,蛋糕变干硬,因此硬



度显著增大 ($p<0.05$)。随着烘焙时间的延长,蛋糕的 L^* 显著降低 ($p<0.05$),蛋糕表面越来越糊,颜色也越来越难以接受。烘焙时间为35min时蛋糕的色泽适中,口感松软细腻,不干硬,感官评分最高,因此选择烘焙时间为35min。

由图6可知,烘焙时间越长,蛋糕中丙烯酰胺的含量越高;水分含量是影响丙烯酰胺形成的重要因素,烘焙时间越长,水分减少越多,丙烯酰胺生成越多。

3.2 烤箱响应面优化实验结果

由Box-Behnken设计的实验方案如表3所示,选择温度、时间、蒸汽量为实验因素,设置感官评分、硬度、弹性、亮度和丙烯酰胺含量为响应值来筛选最佳工艺。17个实验点分为析因点和零点,1~12号是析因实验,13~17号是中心实验。其中析因点为自变量取值在 X_1 、 X_2 、 X_3 所构成的三维顶点;零点为区域的中心点,零点实验重复5次,用以估计实验误差。

利用Design-Expert 8.0统计软件对表3数据进行多项拟合回归。研究一个因变量与一个或多个自变量间多项式的回归分析方法,称为多项式回归(Polynomial Regression)。由于任一函数都可以用多项式逼近,因此多项式回归有着广泛应用。如果自变量只有一个时,称为一元多项式回归;如果自变量有多个时,称为多元多项式回归。在一元回归分析中,如果依变量y与自变量x的关系为非线性的,但是又找不到适当的函数曲线来拟合,则可以采用一元多项式回归。以感官评分(G)、硬度(Y)、弹性(T)、亮度(L)和丙烯酰胺(B)为因变量,温度(X_1)、时间(X_2)、蒸汽量(X_3)为自变量,建立回归方程如下:

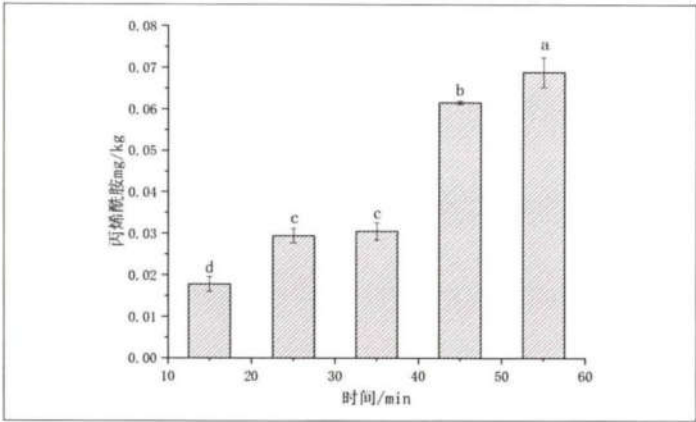


图5
时间对海绵蛋糕品质的影响

图6
时间对海绵蛋糕丙烯酰胺的影响

$$\begin{aligned} G &= -1612.16333 + 17.90390X_1 + 9.69678X_2 + 1.52483X_3 - \\ &0.052X_1X_2 - 4.86486 \times 10^{-3}X_1X_3 - 2.70270 \times 10^{-4}X_2X_3 - \\ &0.047228X_1^2 - 0.017264X_2^2 - 0.014248X_3^2; \\ Y &= -0.12486 + 0.012815X_1 - 0.017681X_2 + 3.70495 \times 10^{-3}X_3; \\ T &= 61.66727 - 1.01522X_1 + 1.82802X_2 + 0.53089X_3 + \\ &6.77679 \times 10^{-4}X_1X_2 - 3.22860 \times 10^{-3}X_1X_3 + 2.68412 \times 10^{-3} \\ &X_2X_3 + 2.98707 \times 10^{-3}X_1^2 - 0.027698X_2^2 - 2.79129 \times 10^{-3}X_3^2; \\ L &= 128.92232 - 0.36717X_1 - 0.50328X_2 - 0.21753X_3; \\ B &= 0.59329 - 6.87626 \times 10^{-3}X_1 - 1.52541 \times 10^{-3}X_2 - \end{aligned}$$

表3 Box-Behnken实验设计与结果

实验 编号	因素			响应值				
	X_1 温度 (°C)	X_2 时间 (min)	X_3 蒸汽量 (%)	G感官 评分	Y硬度 (N)	T弹性 (mm)	L 亮度	B丙烯酰胺 (mg/kg)
1	155	25	22	65.40	2.13	8.44	54.03	0.0271
2	185	25	22	80.20	2.16	6.23	47.41	0.0529
3	155	45	22	78.00	1.20	9.04	46.69	0.0508
4	185	45	22	61.60	1.42	7.23	33.08	0.0640
5	155	35	3	68.40	0.99	11.40	56.10	0.0302
6	185	35	3	67.20	1.54	12.48	42.25	0.0400
7	155	35	40	71.80	1.27	8.41	42.33	0.0393
8	185	35	40	65.20	2.01	5.91	32.36	0.0505
9	170	25	3	80.20	1.38	5.00	54.52	0.0297
10	170	45	3	69.00	2.01	5.70	40.98	0.0422
11	170	25	40	85.20	1.78	5.53	46.01	0.0292
12	170	45	40	73.80	1.41	8.21	40.96	0.0685
13	170	35	22	82.80	1.32	10.92	41.17	0.0318
14	170	35	22	81.80	1.26	8.24	45.89	0.0326
15	170	35	22	81.06	1.25	8.17	45.47	0.0426
16	170	35	22	85.95	1.30	10.79	40.68	0.0410
17	170	35	22	86.65	1.33	11.05	41.67	0.0301

表4 回归方程可信度分析

项目	G感官评分	Y硬度(N)	T弹性(mm)	L亮度	B丙烯酰胺(mg/kg)
平均值	75.54	1.51	8.40	44.21	0.041
R^2 (%)	93.23	28.05	64.60	83.42	91.39
校正后的 R^2 (%)	84.53	11.45	19.08	79.60	80.32
标准差SE	3.23	0.34	2.07	2.96	5.516×10^{-3}
Y的变异系数CV (%)	4.28	22.40	24.64	6.70	13.35

$$1.05327 \times 10^{-3} X_1 - 2.11111 \times 10^{-5} X_1 X_2 + 1.29129 \times 10^{-6} X_1 X_3 + 3.61261 \times 10^{-5} X_2 X_3 + 2.37889 \times 10^{-5} X_1^2 + 7.74417 \times 10^{-5} X_2^2 - 2.86584 \times 10^{-6} X_3^2$$

回归方程可信度分析如表4所示, 其中感官评分、亮

度和丙烯酰胺的 R^2 分别为93.23%、83.42%和91.39%。表明超过90%的实验数据可用该模型进行解释, 说明方程可靠性较高。CV值越低, 显示实验稳定性越好, 本实验中CV值分别为4.28%、6.70%和13.35%, 说明实验操作可信度较高。综上说明了该回归方程为优化海绵蛋糕工艺条件提供了一个良好的模型。

采用Design Expert 8.0程序对实验结果进行方差分析, 分析结果如表5-表9所示。表中的Pr为置信概率, Pr>F值项表示大于F值的概率, 从中可以看出感官评分 X_2 、 X_3^2 对G值的影响显著(Pr>F的值小于0.05), $X_1 X_2$ 、 X_1^2 对G值的影响高度显著(Pr>F的值小于0.005)。影响海绵蛋糕感官评分的3个因素的主次因素依次为: 时间(X_2)>蒸汽量(X_3)>温度(X_1); 硬度和弹性的模型不显著; 亮度 X_1 、 X_2 、 X_3 对Y值的影响高度显著(Pr>F的值小于0.005)。影响海绵蛋糕亮度的3个因素的主次因素依次为: 时间(X_2)>温度(X_1)>蒸汽量(X_3); 丙烯酰胺 X_1 、 X_3 、 $X_2 X_3$ 、 X_2^2 对B值的影响显著(Pr>F的值小于0.05), X_2 对B值的影响高度显著(Pr>F的值小于0.005), 影响海绵蛋糕丙烯酰胺含量的3个因素的主次因素依次为: 温度(X_1)>时间(X_2)>蒸汽量(X_3)。

温度和时间、温度和蒸汽量、时间和蒸汽量分别对感官评分的影响如图7-图9所示; 对弹性的影响如图10-图12所示; 对丙烯酰胺的影响如图13-图15所示。

应用design expert 8.0中Box-Behnken中Optimization Choises的Numerical Optimization对感官评分(maximize)、亮度(maximize)和丙烯酰胺(minimize)进行最优化设计。得到在同一烹饪条件下, 感官评分、亮度和丙烯酰胺最佳的烹饪工艺条件, 如表10所示。

烹饪温度为167.11℃, 时间为25min, 蒸汽量为16.74%时, 海绵蛋糕的烹饪效果达到最好, 感官评分的理论值可达83.0638, 亮度的理论值可达51.3438, 丙烯酰胺的理论值可达0.0308783mg/kg, 其合意性(Desirability)为0.853665。各因素对海绵蛋糕的综合影响的合意性(Desirability), 可见图16。但考虑到实际情况, 将最佳烹饪工艺条件修正为烹饪温度为167℃, 时间为25min, 蒸汽量为17%。分别按以上最优条件, 重复验证实验结果。在此条件下实际测得的海绵蛋糕感官评分为82, 亮度 L^* 为52.11, 丙烯酰胺含量为0.0302mg/kg, 与理论预测值相比

表5 感官评分回归模型的方差分析

来源	平方和	自由度	均方值	F	Pr>F	显著性
模型	1008.193	9	112.0215	10.71348	0.0025	显著
X_1 -温度	11.045	1	11.045	1.056319	0.3383	——
X_2 -时间	102.245	1	102.245	9.778485	0.0167	——
X_3 -蒸汽量	15.68	1	15.68	1.4996	0.2603	——
$X_1 X_2$	243.36	1	243.36	23.27441	0.0019	——
$X_1 X_3$	7.29	1	7.29	0.697199	0.4313	——
$X_2 X_3$	0.01	1	0.01	0.000956	0.9762	——
X_1^2	475.4524	1	475.4524	45.47121	0.0003	——
X_2^2	12.549	1	12.549	1.200159	0.3095	——
X_3^2	100.1225	1	100.1225	9.575489	0.0175	——
残差	73.19283	7	10.45612	——	——	——
失拟项	48.07	3	16.02333	2.551199	0.1937	不显著
纯误差	25.12283	4	6.280708	——	——	——
总值	1081.386	16	——	——	——	——

表6 硬度回归模型的方差分析

来源	平方和	自由度	均方值	F	Pr>F	显著性
模型	0.583275	3	0.194425	1.68972	0.2181	不显著
X_1 -温度	0.295603	1	0.295603	2.569041	0.1330	——
X_2 -时间	0.250089	1	0.250089	2.173485	0.1642	——
X_3 -蒸汽量	0.037584	1	0.037584	0.326634	0.5774	——
残差	1.495825	13	0.115063	——	——	——
失拟项	1.490283	9	0.165587	119.5317	0.0002	显著
纯误差	0.005541	4	0.001385	——	——	——
总值	2.0791	16	——	——	——	——

表7 弹性回归模型的方差分析

来源	平方和	自由度	均方值	F	Pr>F	显著性
模型	54.66895	9	6.074328	1.419178	0.3295	不显著
X_1 -温度	3.695315	1	3.695315	0.863357	0.3837	——
X_2 -时间	3.084064	1	3.084064	0.720546	0.4240	——
X_3 -蒸汽量	5.3138	1	5.3138	1.241492	0.3020	——
$X_1 X_2$	0.041332	1	0.041332	0.009657	0.9245	——
$X_1 X_3$	3.210816	1	3.210816	0.75016	0.4151	——
$X_2 X_3$	0.986297	1	0.986297	0.230434	0.6458	——
X_1^2	1.901923	1	1.901923	0.444356	0.5264	——
X_2^2	32.3019	1	32.3019	7.546869	0.0286	——
X_3^2	3.842675	1	3.842675	0.897785	0.3749	——
残差	29.96121	7	4.280173	——	——	——
失拟项	21.08136	3	7.027118	3.16542	0.1474	不显著
纯误差	8.879856	4	2.219964	——	——	——
总值	84.63016	16	——	——	——	——

表8 亮度回归模型的方差分析

来源	平方和	自由度	均方值	F	Pr>F	显著性
模型	574.8457	3	191.6152	21.80942	<0.0001	显著
X_1 -温度	242.6605	1	242.6605	27.61932	0.0002	——
X_2 -时间	202.6286	1	202.6286	23.06294	0.0003	——
X_3 -蒸汽量	129.5567	1	129.5567	14.74599	0.0020	——
残差	114.2166	13	8.785895	——	——	——
失拟项	89.28354	9	9.920393	1.591522	0.3456	不显著
纯误差	24.9331	4	6.233274	——	——	——
总值	689.0624	16	——	——	——	——

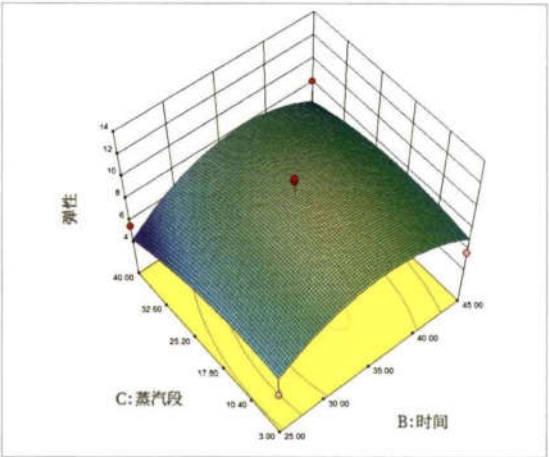
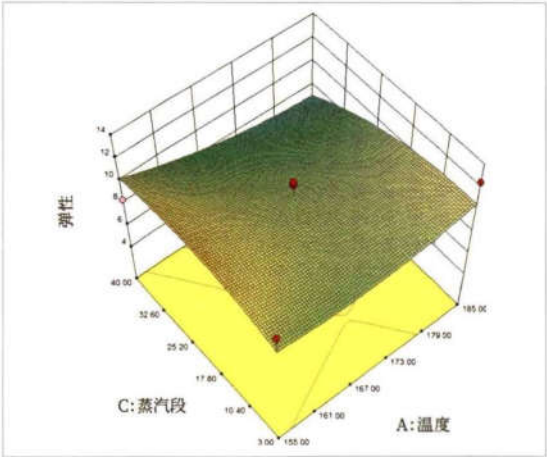
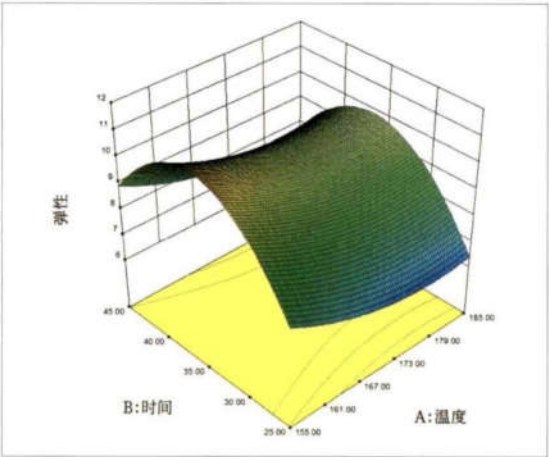
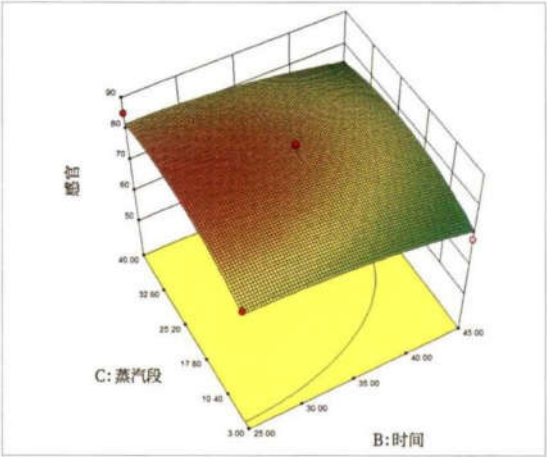
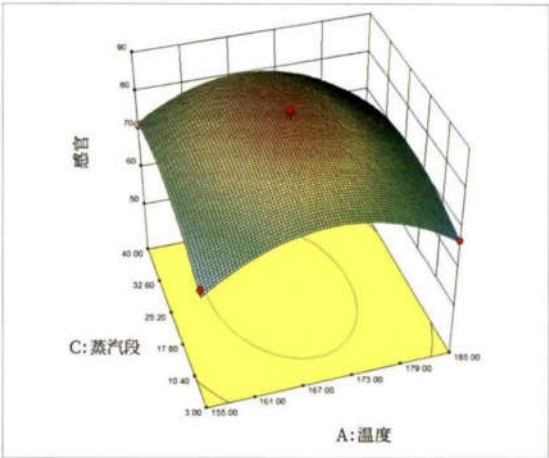
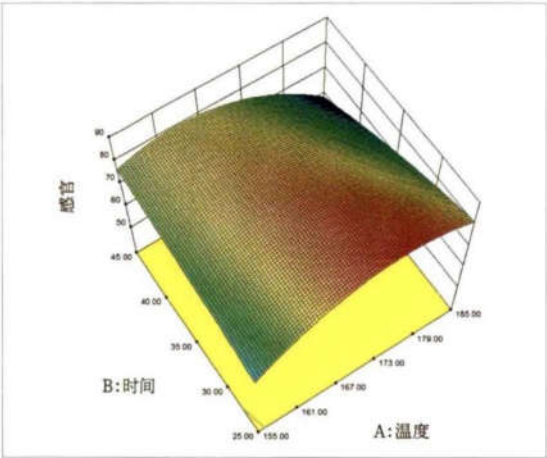


图7
温度和时间对
感官评分的
影响

图9
时间和蒸汽量
对感官评分的
影响

图11
温度和蒸汽量
对弹性的影响

图8
温度和蒸汽量
对感官评分的
影响

图10
温度和时间对
弹性的影响

图12
时间和蒸汽量
对弹性的影响

接近,由此证明实验模式合理,结果理想。

4 结论

本实验采用蒸烤双能机对海绵蛋糕的烹饪工艺进行

了优化。与传统烤箱烹饪方法不同,本实验在烹饪过程中引入了蒸汽因素。采用响应面优化方法,对蒸烤双能机烹饪温度、时间和蒸汽量进行了优化,最终优化工艺参数为温度167℃,时间25min,蒸汽量17%。在此条件下海绵

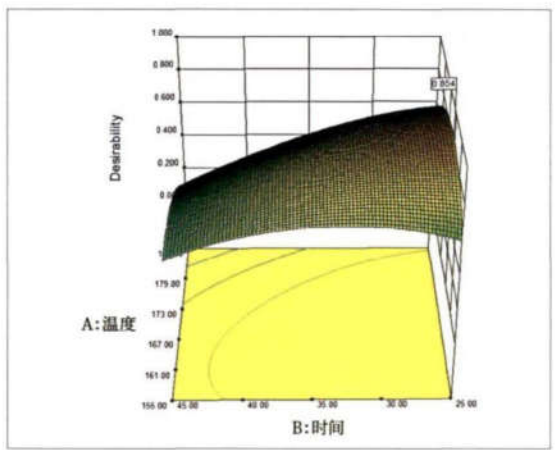
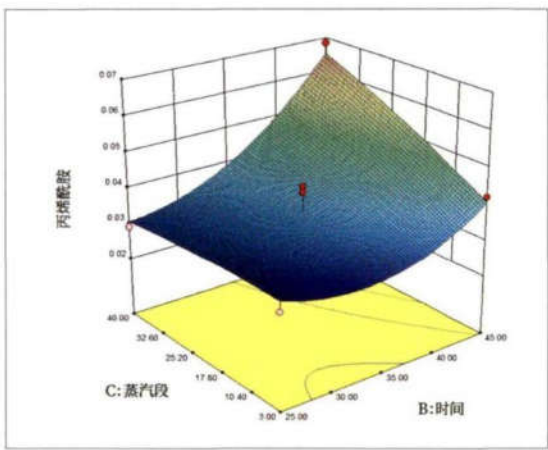
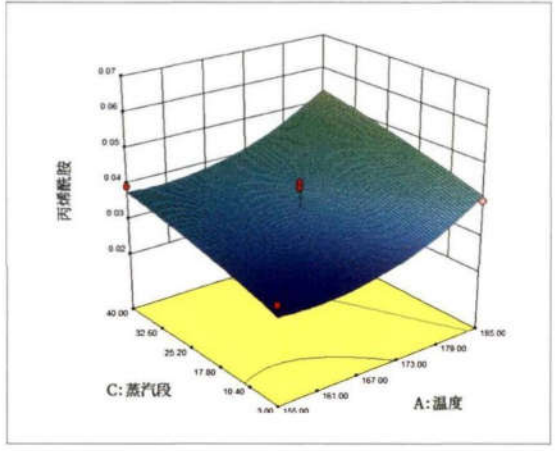
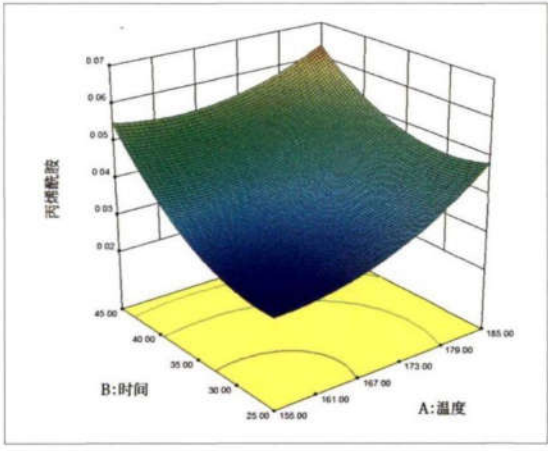


图13
温度和时
间对
丙烯酰胺
的影响

图14
温度和蒸
汽量对
丙烯酰胺
的影响

图15
时间和蒸
汽量对
丙烯酰胺
的影响

图16
各因素对海
绵蛋糕感官
评分、亮度
和丙烯酰胺
的合意性的
响应面和
等高线

表9 丙烯酰胺回归模型的方差分析

来源	平方和	自由度	均方值	F	Pr>F	显著性
模型	0.002261	9	0.000251	8.257686	0.0055	显著
X_1 -温度	0.000452	1	0.000452	14.83865	0.0063	—
X_2 -时间	0.000939	1	0.000939	30.85672	0.0009	—
X_3 -蒸汽量	0.000259	1	0.000259	8.504883	0.0225	—
X_1X_2	4.01E-05	1	4.01E-05	1.318257	0.2886	—
X_1X_3	5.14E-07	1	5.14E-07	0.01688	0.9003	—
X_2X_3	0.000179	1	0.000179	5.871942	0.0459	—
X_1^2	0.000121	1	0.000121	3.964471	0.0668	—
X_2^2	0.000253	1	0.000253	8.298915	0.0236	—
X_3^2	4.05E-06	1	4.05E-06	0.133126	0.7260	—
残差	0.000213	7	3.04E-05	—	—	—
失拟项	8.11E-05	3	2.7E-05	0.820577	0.5465	不显著
纯误差	0.000132	4	3.3E-05	—	—	—
总值	0.002474	16	—	—	—	—

表10 最优设计推荐方案

方案编号	温度(℃)	时间(min)	蒸汽量(%)	感官	亮度	丙烯酰胺(mg/kg)	合意性
1	167.11	25.00	16.74	83.0638	51.3438	0.0308783	0.853665
2	167.04	25.00	16.92	83.0596	51.3263	0.0308372	0.853656
3	167.09	25.00	16.48	82.9918	51.4064	0.0308775	0.853652
4	166.95	25.00	16.49	82.8877	51.456	0.030796	0.853621
5	167.13	25.00	16.08	82.926	51.4774	0.0309102	0.853585
6	166.72	25.00	17.60	82.9582	51.2991	0.0306337	0.853436

蛋糕的品质感官较好,实际测得的海绵蛋糕感官评分为82,亮度L*为52.11,丙烯酰胺含量为0.0302mg/kg。

参考文献

[1] 侯婷婷. 电烤箱能蒸善烤,带给你更优异的烹饪效果[J]. 家用电器, 2018(7): 86-87.

[2] Bowers L.J, Dikeman M.F, Murray L, Stroda S.L. Cooked yields, color, tenderness, and sensory traits of beef roasts cooked in an oven with steam generation versus a commercial convection oven to different endpoint temperatures[J]. Meat science, 2012,92(2): 97-106.

[3] SAKIN-YILMAZER M, KEMERELI T, ISLEROGLU H, et al. Baking kinetics of muffins in convection and steam assisted hybrid ovens (baking kinetics of muffin) [J]. Journal of Food Engineering, 2013,119(3): 483-489.

[4] 黄宜坤, 张会生. 蒸汽辅助烤箱内蒸汽行为与温度分布研究[J]. 食品工业, 2015,38(10): 256-261.

[5] 曹森, 贾君, 化志秀, 等. 猴头菇海绵蛋糕的研制[J]. 食品研究与开发, 2017(01): 56-60.

[6] 郭玲玲, 高海燕, 李刚, 等. 海绵蛋糕的研制[J]. 粮油加工, 2009(12): 147-149.

[7] 马腾飞, 林雪婷, 王丽霞, 等. 魔芋紫薯海绵蛋糕工艺优化及品质检验[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2016,13(9):54-60.

[8] 李飞, 李想. 低分子添加剂法抑制焙烤食品中丙烯酰胺的研究现状[J]. 食品与发酵工业, 2012,38(8): 141-145.