

响应面分析法对长汀灯盏糕加工工艺的优化

黎英,陈雪梅,陈小红,石小琼

(龙岩学院,福建 龙岩 364012)

摘要:长汀灯盏糕主要以大米和大豆为原料加工而成,在单因素试验基础上,采用响应面分析法,考察米豆比、加水量、油炸温度和油炸时间对其感官评分的影响。最佳工艺条件为:米豆比 1:0.31,加水量为米豆总质量的 2.78 倍,油炸温度 169.68℃,油炸时间 166.31 s。此条件下长汀灯盏糕的感官评分理论值为 9.351 47 分,验证值为 9.27,与模型预测值基本相符。

关键词:长汀灯盏糕;工艺优化;响应面分析法

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

DOI:10.11861/j.issn.1000-9841.2014.03.0438

Process Optimization of Changting's Fried Pastry by Response Surface Methodology

LI Ying, CHEN Xue-mei, CHEN Xiao-hong, SHI Xiao-qiong

(Longyan University, Longyan 364012, China)

Abstract: Changting's deep-fried white radish cake is the traditional food of Hakkas, mainly made of rice and soybean. Based on the single factor experiment, response surface methodology was applied to study the influence of the ratio of rice to soybeans, the amount of water, fried temperature and fried time on the sensory score of Changting's deep-fried white radish cake. Results showed that the optimum processing conditions were as follows: the ratio of rice and soybeans was 1:0.31, the amount of water was 2.78 times of the total mass of rice and soybeans and fried 166.31 s at 169.68℃. Under the condition, the theoretical value of sensory score was 9.351 47, verification value was 9.27, which was consistent to the model predicted value.

Key words: Changting's deep-fried white radish cake; Process optimization; Response surface methodology

长汀灯盏糕是长汀客家人的传统食品,因其外形扁圆,中空而隆起,形似两个旧式灯盏吻合一起,故称“灯盏糕”。产品主要选用大米和大豆,经打浆、油炸等工序加工而成。

长汀灯盏糕营养丰富,其主要原料大米中约含 76% 淀粉和 8% 蛋白质,大米淀粉是所有植物淀粉中颗粒最小的(2~8 μm),很容易被糖化和消化吸收;且蛋白中的 18 种氨基酸组成近似母乳。此外,大米还含有丰富的维生素 B1 和无机盐(含钙、磷、铁等微量元素),对预防脚气病和维持人体血糖平衡有重要作用。中医认为大米性味甘平,具有补中益气、健脾养胃等功效^[1-2]。大豆中含有大量的不饱和脂肪酸、多种矿物质、维生素及优质蛋白质,其所含氨基酸较为全面,尤其富含赖氨酸,可以补充大米中赖氨酸不足的缺陷。现代医学研究证实:大豆在抗氧化、抑制癌细胞、预防和治疗贫血及心血管疾病等方面有显著的作用^[14]。

长汀灯盏糕目前依然停留在家庭纯手工制作,生产效率低且产品质量不稳定,满足不了市场需求。本试验选用优质大米与大豆为原料,在单因素

试验的基础上采用响应面分析法对长汀灯盏糕的加工技术进行优化,旨在提高长汀灯盏糕的品质及生产效率,为其大面积市场推广奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

优质大米、大豆(市售);水、食盐、味精、葱花,均符合食品卫生标准。

JM-L65 型胶体磨(南宁市昌雄机械设备有限公司);DK-1000 型电加热油炸机(诸城市鼎康机械有限公司);ACS-10 型电子秤(上海奕宇电子科技有限公司);WSC-S 型色差仪(上海精密科学仪器有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 加工工艺 大米漂洗干净后加入其质量 1.5 倍左右的自来水进行浸泡(水温 20℃,浸泡 2 h);大豆清洗后加入其质量 2 倍左右的自来水进行浸泡(水温 20℃,浸泡 5 h,中间换水 1 次)。将浸泡好的大米和大豆混合加入适量水后用胶体磨打浆。浆液中加入适量的葱花、食盐及味精搅拌均匀,取打

收稿日期:2013-09-22

基金项目:福建省教育厅科研项目(JA13310)。

第一作者简介:黎英(1974-),女,硕士,高级实验师,主要从事食品科学研究。E-mail:liyong213fjly@163.com。

浆液约 10 mL 置于特制的平面圆铁勺上,晃动使浆液漫溢成圆状后浸入炸油机中,炸至金黄后捞出滤油。

质地、风味及口感等感官指标标准^[5-6](表 1),由 15~20 位评价小组成员对样品进行感官评价,进行 2 组平行试验后取平均值作为最终评价结果。

1.2.2 成品感官评价指标 根据最终成品的色泽、

表 1 感官评定标准
Table 1 Standards of sensory evaluation

评定指标 Evaluation index	评定标准 Evaluation criteria	分值 Score
色泽(2.0) Color and lustre	色泽正面金黄均匀,背面淡黄,有光泽	1.6~2.0
	色泽正面深黄,背面暗黄	0.8~1.5
	色泽正面褐黄,背面深黄	≤0.7
质地(2.5) Texture	外形完整,表面光滑,质地细腻	1.8~2.5
	外形较完整,质地欠细腻	0.9~1.7
	外形不完整,质构粗糙	≤0.8
风味(2.5) Flavor	具有浓郁的米香味,略带豆香味	1.8~2.5
	有米香味,但豆香味不足	0.9~1.7
	豆味过浓,米香味不足	≤0.8
口感(3.0) Mouthfeel	松嫩香软,弹性好	2.0~3.0
	较软或较硬,弹性较大或较小,口感较粗糙	1.1~1.9
	很松或很硬软,弹性过大或过小,口感粗糙	≤1.0

1.2.3 色差的测定 将炸好的长汀灯盏糕冷却后置于色差计上直接测定 L 值^[7-9]。

1.2.4 单因素试验 分别考察不同米豆比、加水量、油炸温度及油炸时间对长汀灯盏糕色差及感官评分的影响,每次试验 3 次重复。

1.2.5 响应面分析试验 在单因素试验的基础上,以米豆比(A)、加水量(B)、油炸温度(C)和油炸时间(D)为自变量,感官评分 R 为响应值,采用 Design-Expert 软件中心组合设计原理,设计 4 因素 3 水平共 29 个试验。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 米豆比 产品中加入大豆量过多,产品着色慢,虽然豆香味重,但过于松软,且豆渣含量高、口感粗糙;大豆量加入过少,产品着色快,但口感不佳。如图 1 所示,随着大豆比例提高,所得产品的感官评分及色差均先增加后降低。综合衡量,选择米豆比 1:0.25、1:0.30、1:0.35 为较优水平。

2.1.2 加水量 加水量多少直接关系到浆液的稀稠度,过多则浆液过稀,产品不易着色,正面隆起高度也低,油炸时间延长;过少则浆液过稠,产品着色迅速,但松软度下降,适口性差。如图 2 所示,随着加水量倍数的提高,所得到的产品的感官评分先增加后降低,而色差则逐渐增加。根据试验结果综合衡量,选择加水量 2.6、2.8、3.0 倍为较优水平。

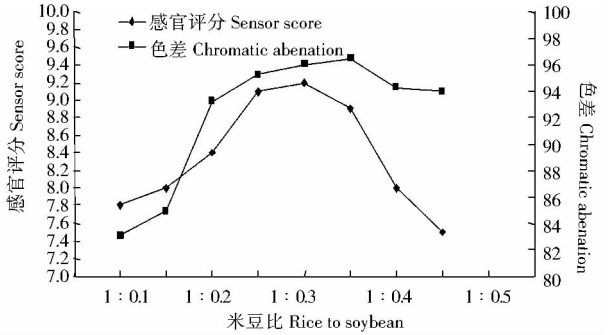


图 1 米豆比对感官评分和色差的影响
Fig. 1 The influence of rice to soybeans on sensory score and chromatic abenation

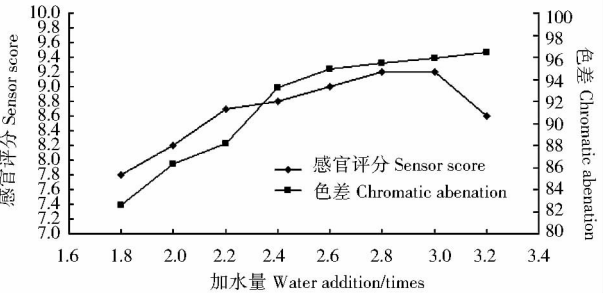


图 2 加水量对感官评分和色差的影响
Fig. 2 The influence of water addition on sensory score and chormatic abenation

2.1.3 油炸温度 油炸温度越高,产品着色越快且深,造成熟化过度易焦,硬度增加,弹性、适口性下降;油炸温度越低,产品着色越慢,且熟化时间延长。从图 3 可知,随着油炸温度的升高,得到的产品感官评

分先增加后降低,而色差则随着温度的升高而降低。综合衡量,选择 165,170,175℃ 为较优水平。

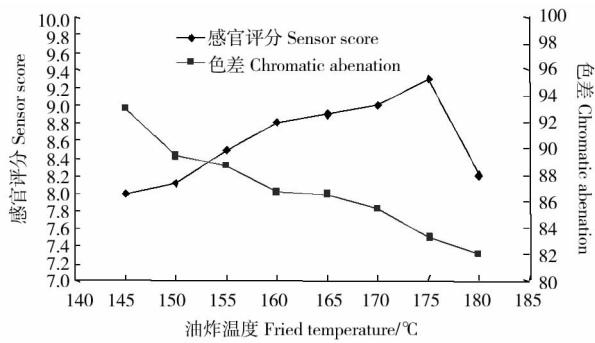


图3 油炸温度对感官评分和色差的影响

Fig. 3 The influence of fried temperature on sensory score and chormatic abenation

2.1.4 油炸时间的确定 在生产过程中,考虑到加工的效率 and 成本,往往需尽量缩短油炸时间,但同

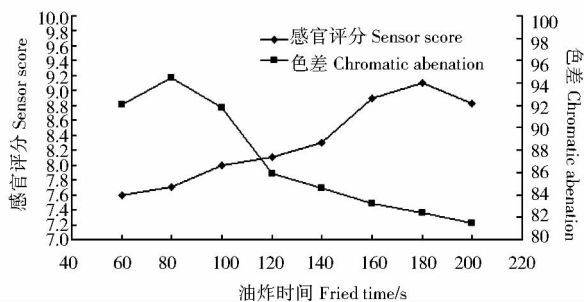


图4 油炸时间对感官评分和色差的影响

Fig. 4 The influence of fried time on sensory qualities and chroma value

时也需考虑产品的熟化度和口感。如图4所示,随着油炸时间的增加,所得到的产品的感官评分先增大后减小,而色差则随着油炸时间的增加而降低,综合衡量,选择 140,160,180 s 为较优水平。

2.2 响应面试验设计及分析

在单因素试验基础上进行响应面试验,试验因素与水平编码见表2,具体试验设计见表3。使用响应面分析法对表3中的试验数据进行分析,可得到相关回归系数,其回归方程为:

$$Y = -152.39169 + 2.23598A + 31.07133B + 4.90958C + 0.89279D - 0.27300AB + 0.014000AC + 0.014750AD + 0.15500BC - 0.095000BD - 1.25000E - 0.03CD - 0.019653A^2 - 2.65033B^2 - 0.15283C^2 - 0.063771D^2$$

进一步对回归方程进行分析,由表4可知,该回归模型 F 检验极显著 ($P < 0.0001$),其失拟项不显著 ($P = 0.5025 > 0.05$),表明该模型与实际情况拟合程度很好,可用此模型对试验进行分析和预测,其决定系数 $R^2 = 0.9940$,校正决定系数 $Adj. R^2 = 0.9881$,说明预测值与实测值之间具有高度相关性。变异系数为 0.67%,说明试验有较好的精确度和可靠性,可以用回归方程对长汀灯盏糕的感官评定进行预测和分析。

而反应 A、B、C、D、AB、AC、AD、BC、BD 以及二次项中的 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 都属于影响极显著的因素。也说明该模型在研究选定的因素水平范围内,实际应用是可行的。

表2 因素与水平编码

Table 2 Factors and levels of central composite design experiments

水平 Levels	因素 Factors			
	A 米豆比 Rice:soybean	B 加水量 Water addition/times	C 油炸温度 Fried temperature/℃	D 油炸时间 Fried time/s
-1	1:0.25	2.6	165	140
0	1:0.30	2.8	170	160
1	1:0.35	3.0	175	180

表3 响应面试验设计方案及结果

Table 3 The experimental design and results

实验号 Experiment No.	A 米豆比 Rice to soybean	B 加水量 Water addition	C 油炸温度 Fried temperature	D 油炸时间 Fried time	感官评分 Sensory score
1	0	0	0	0	9.28
2	0	0	0	0	9.28
3	1	0	0	1	8.94
4	0	1	-1	0	7.96
5	0	-1	0	-1	8.11
6	-1	0	-1	0	8.32
7	0	0	1	-1	8.31
8	1	0	1	0	8.39

续表 3

实验号	A 米豆比	B 加水量	C 油炸温度	D 油炸时间	感官评分
Experiment No.	Rice to soybean	Water addition	Fried temperature	Fried time	Sensory score
9	-1	0	0	1	8.47
10	0	0	1	1	8.49
11	1	-1	0	0	8.92
12	0	1	0	-1	8.41
13	0	0	0	0	9.39
14	0	-1	0	1	8.58
15	-1	1	0	0	8.85
16	1	0	0	-1	8.35
17	0	0	-1	-1	8.48
18	-1	0	1	0	7.96
19	0	0	-1	1	8.68
20	0	0	0	0	9.38
21	0	-1	1	0	7.79
22	0	1	0	1	8.50
23	1	1	0	0	7.61
24	-1	-1	0	0	7.43
25	0	0	0	0	9.30
26	0	-1	-1	0	8.14
27	1	0	-1	0	8.19
28	0	1	1	0	8.23
29	-1	0	0	-1	8.47

表 4 回归方程各项的方差分析

Table 4 Variance analysis of parameters in regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	Prob > F	显著性
Variance source	Sum of square	DF	Mean square	F value		Significance
模型 Modle	7.50	14	0.540	166.95	<0.0001	**
A	0.067	1	0.067	21.05	0.0004	**
B	0.029	1	0.029	9.05	0.0094	**
C	0.030	1	0.030	9.36	0.0085	**
D	0.20	1	0.200	60.83	<0.0001	**
AB	1.86	1	1.860	581.03	<0.0001	**
AC	0.078	1	0.078	24.45	0.0002	**
AD	0.087	1	0.087	27.14	0.0001	**
BC	0.096	1	0.096	29.97	<0.0001	**
BD	0.036	1	0.036	11.26	0.0047	**
CD	1 × 10 ⁻⁴	1	1 × 10 ⁻⁴	0.031	0.8624	
A ²	1.570	1	1.570	488.31	<0.0001	**
B ²	2.850	1	2.850	888.02	<0.0001	**
C ²	2.420	1	2.420	755.95	<0.0001	**
D ²	0.420	1	0.420	131.61	<0.0001	**
残差 Residual	0.045	14	3.207 × 10 ⁻³			
失拟项 Lack-of-fit test	0.033	10	3.297 × 10 ⁻³	1.11	0.5025	不显著 No sig.
纯误差 Pure error	0.012	4	2.980 × 10 ⁻³			
总和 Total	7.54	28				

* 和 ** 分别表示 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 。
* and ** indicate $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

2.3 响应面分析与优化

图 5 直观反映不同交叉因素间对长汀灯盏糕感官评分的交互作用影响趋势。响应面的曲面倾斜度越陡,及等高线的形状越接近椭圆形,因素间交互作用越显著;反之则交互作用不显著。可以看出,AB、AC、AD、BC、BD 因素间的交互作用显著,CD 因素间的交互作用不显著。依据方程系数的估计值 $A = 2.235\ 98$, $B = 31.071\ 33$, $C = 4.909\ 58$, $D = 0.892\ 79$,可知各因素对响应值影响的主次顺序为:油炸时间 > 米豆比 > 油炸温度 > 加水量。

2.4 工艺优化

由软件分析得长汀灯盏糕的最佳加工工艺参数为:米豆比 1:0.31,加水量 2.78 倍,油炸温度 169.68℃,油炸时间 166.31 s,长汀灯盏糕的感官评分理论值为 9.351 47 分,在实际操作中将加工工艺参数适当调整为米豆比 1:0.3,加水量 2.8 倍,油炸温度 170℃,油炸时间 166 s,在此条件下做 3 次平行试验,感官评分为 9.27,实际值与预测值无显著差异。因此,采用响应面法优化得到的加工工艺参数基本准确可靠,具有一定的实用价值。

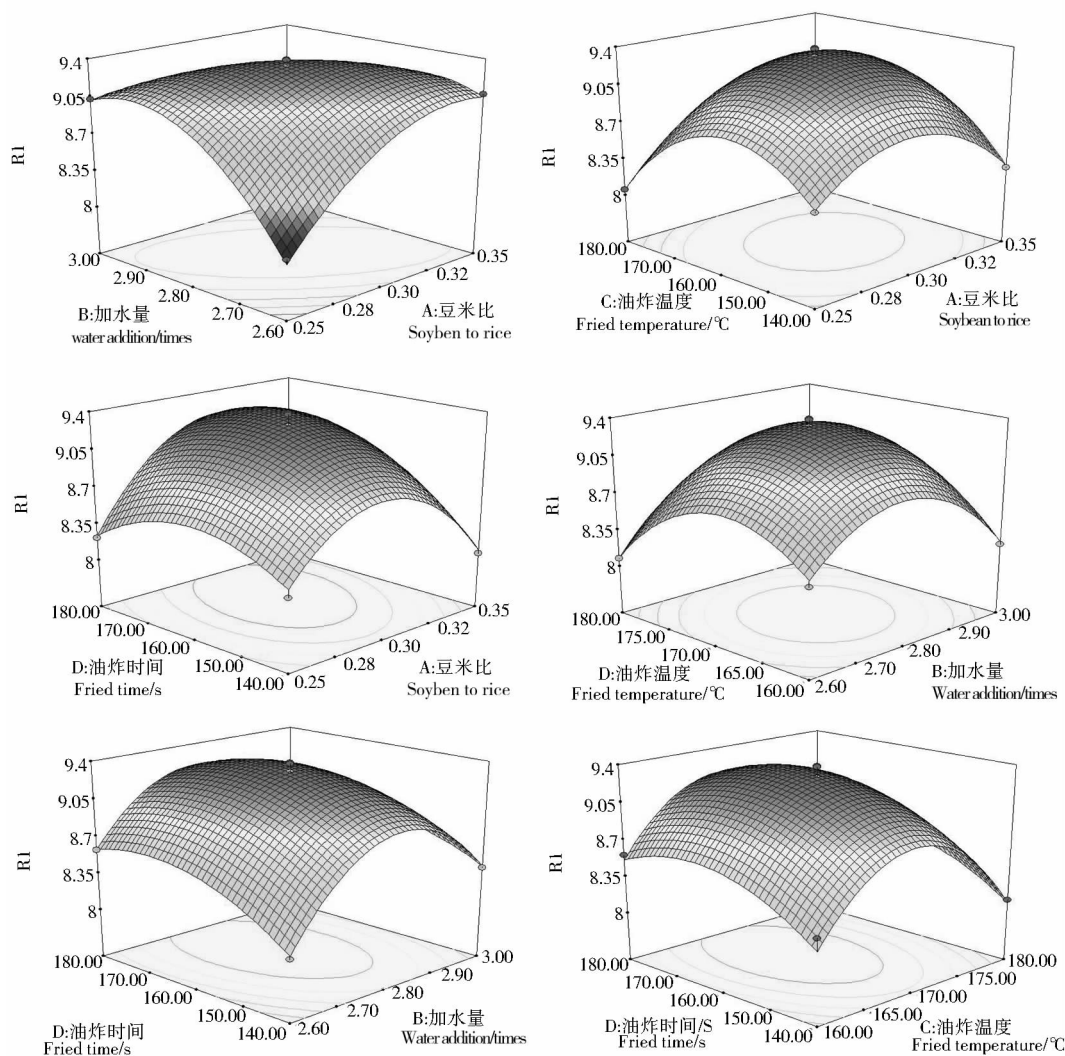


图5 各因素交互作用对感官评分影响的等高线及响应面图
Fig.5 Response surface plot and contour plot of effect of interactions between every two factors on the sensory scores

3 结论

根据多项式二次回归模型,可知各因素对响应值影响的主次顺序为:油炸时间 > 米豆比 > 油炸温度 > 加水量。

通过单因素试验和响应面法优化得到的最佳加工工艺参数为:米豆比 1:0.31,加水量 2.78 倍,油炸温度 169.68℃,油炸时间 166.31 s,长汀灯盏糕的感官评分理论值为 9.351 47 分,验证值为 9.27,与模型预测值基本相符。

参考文献

- [1] 任顺成. 食品营养与卫生[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2011. (Ren S C. Food nutrition and health[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011.)
- [2] 翁维健. 中医饮食营养学[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1992. (Weng W J. Chinese medicine diet nutrition[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1992.)
- [3] 李红梅,赵丽颖. 大豆膳食纤维的生理功能及研制应用[J]. 大豆通报, 2002(2): 21-22. (Li H M, Zhao L Y. The physiological function and the development and application of soybean dietary fiber[J]. Soybean Bulletin, 2002(2): 21-22.)
- [4] 沈志平,吴美云. 豆类食品的营养[M]. 北京:北京师范大学出版社, 1998. (Shen Z P, Wu M Y. Legume food nutrition[M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 1998.)
- [5] 斯通. 感官评定实践[M]. 3 版. 北京:中国轻工业出版社, 2007. (Si T (U. S.). Practice of sensory evaluation (Third Edition, Reprint Edition) [M]. 3rd ed. Beijing: China Light Industry Press, 2007.)
- [6] 食品官能检查手册[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1991: 178-195. (Food sensory function examination handbook[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1991: 178-195.)
- [7] 丁武,魏益民. 色彩色差计在肉品新鲜度检验中的应用[J]. 肉类工业, 2003(6): 22-24. (Ding W, Wei Y M. The application of tristimulus colorimeter in the freshness of meat inspection[J]. Meat Industry Journal, 2003(6): 22-24.)
- [8] Oliver J R, Blakeney A B, Alien H. Measurement of flour color in color space parameters [J]. Cereal Chemistry, 1992, 69 (5): 738-742.
- [9] 孙向东,王乐凯,任红波,等. 色彩色差计在面粉色泽测定上的应用[J]. 粮油食品科技, 2002, 12(2): 31-33. (Sun X D, Wang L K, Ren H B, et al. The application of tristimulus colorimeter in the determination of flour color[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2002, 12(2): 31-33.)