

刘赵, 顾佳丽, 钱程, 等. 基于模糊数学感官和响应面法研制豆渣麻花及品质分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 203-211. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090071

LIU Zhao, GU Jiali, QIAN Cheng, et al. Development and Quality Analysis of Okara Fried Dough Twist Based on Fuzzy Mathematics Sensory and Response Surface Methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 203-211. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090071

· 工艺技术 ·

基于模糊数学感官和响应面法研制豆渣麻花及品质分析

刘 赵, 顾佳丽, 钱 程, 施林懿, 曹仲文*
(扬州大学旅游烹饪学院, 江苏扬州 225127)

摘 要: 本文以豆渣粉和中筋粉为主要原料, 辅以泡打粉、植物油、蔗糖、全蛋液进行豆渣麻花的研制。在单因素实验的基础上, 利用模糊数学感官评价法和响应面优化法对影响豆渣麻花感官品质的蔗糖添加量、植物油添加量、豆渣粉添加量进行优化, 并对最后成品的营养成分、理化指标和微生物指标进行相关测定。豆渣麻花的最佳工艺配方为: 豆渣粉添加量 14% (豆渣在复合粉中的占比)、蔗糖添加量为 24%、植物油添加量为 8%、泡打粉添加量为 1.2%、全蛋液添加量为 44% (以中筋粉和豆渣粉所组成的复合粉总质量 100 g 计)。使用此配方制成的豆渣麻花蛋白质含量为 (12.4%±0.8%)、脂肪含量为 (25.5%±2.2%)、膳食纤维含量为 (4.31%±0.38%)、模糊感官综合评分 (89.73±0.35)。质构特性测定结果为: 硬度 (40.98±5.7) N、破裂力 (32.38±8.13) N、咀嚼性 (0.47±0.12)。结果表明最优配方制成的豆渣麻花不仅色香味形质俱佳, 而且蛋白质和膳食纤维含量丰富。

关键词: 豆渣, 麻花, 模糊数学感官评价法, 响应面法, 品质分析

中图分类号: TS213.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)09-0203-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090071



本文网刊:

Development and Quality Analysis of Okara Fried Dough Twist Based on Fuzzy Mathematics Sensory and Response Surface Methodology

LIU Zhao, GU Jiali, QIAN Cheng, SHI Linyi, CAO Zhongwen*

(College of Tourism and Cooking, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: In this paper, soybean dregs powder and all-purpose flour were used as the main raw materials, supplemented with baking powder, vegetable oil, sucrose, and whole egg liquid to develop the okara fried dough twist. On the basis of single-factor experiments, the fuzzy mathematical sensory evaluation method and response surface optimization method were used to optimize the addition of sucrose, vegetable oil, and soybean dregs powder that affect the sensory quality of okara fried dough twist. And related determinations were made on the nutritional components, physical and chemical indicators and microbiological indicators of the final product. The best recipe for okara fried dough twist were: bean dregs powder at 14% (the proportion of bean dregs in the compound powder), sucrose at 24%, vegetable oil at 8%, baking powder at 1.2%, whole egg liquid addition amount was 44% (based on the total mass of 100 g composite powder composed of all-purpose flour and bean dregs powder). The okara fried dough twist made with this formula had a protein content of (12.4%±0.8%), a fat content of (25.5%±2.2%), a dietary fiber content of (4.31%±0.38%), and sensory score of (89.73±0.35). The texture measurement data were: hardness (40.98±5.7) N, breaking force (32.38±8.13) N, chewiness (0.47±0.12). The results show that the okara fried dough twist made with the optimal formula not only has good color, flavor, and quality, but also has rich protein and dietary fiber content.

Key words: okara; fried dough twist; fuzzy mathematical sensory evaluation method; response surface method; quality analysis

收稿日期: 2021-09-06

基金项目: 扬州大学大学生科创项目 (X20210930)。

作者简介: 刘赵 (1996-), 男, 硕士, 研究方向: 食品加工技术, E-mail: lz10010@126.com。

* 通信作者: 曹仲文 (1973-) 男, 博士, 副教授, 研究方向: 轻工技术与工程及传统烹饪产业化研究, E-mail: caozhongwen@126.com。

大豆又称黄豆,为蝶形花科一年生草本植物。据文献记录和考古资料,中国先民在五千多年前已经开始栽培大豆,是世界上最早种植大豆的国家^[1]。据资料显示,2018年我国食品行业大豆用量为1260t^[2]。如果按每加工1kg大豆产生2kg湿豆渣计算,目前我国每年的湿豆渣产量在2500万吨以上。由于其水分含量高、易腐烂、口感粗糙等问题,目前主要作为肥料或者饲料使用,还有一部分被直接丢弃造成了巨大的经济损失和严重的环境污染^[3]。研究表明,豆渣富含膳食纤维(约占干基的60.25%左右)、蛋白质(约占干基的18.18%)等营养成分和大豆异黄酮、大豆皂苷等功能性成分,有促进排便预防结肠癌、降低血浆中胆固醇含量、控制心血管病以及减肥的功效^[4-7]。将豆渣应用到食品中不仅能提高产品的营养价值,还能降低“富贵病”的发病风险^[8]。

麻花是中国传统油炸面食小吃之一,外形呈铰链形,又称“铰链棒”。其外形独特,色泽金黄,口感香脆,有甜、咸两种口味,深受广大人民群众喜爱^[9]。发展至今,麻花的种类已十分繁多,但是普遍具有脂肪含量高而蛋白质和膳食纤维含量相对较少的特点,与现今所提倡的低脂、高膳食纤维的健康饮食理念不符。目前,国内外已有不少研究者利用豆渣开发出具有营养保健功能的食品。如:Lee等^[10]用处理后的豆渣粉代替部分面粉制作出的饼干具有更高的膳食纤维含量和抗氧化成分且饼干的血糖生成指数明显降低;Voss等^[11]利用豆渣开发出的新型保健饮料可有效预防便秘的发生;张雅娜等^[12]、田俊等^[13]、崔少宁等^[14]研制出了豆渣蛋糕、豆渣桃酥、豆渣丸子等富含膳食纤维的豆渣新产品。

然而,以豆渣为主要原料进行麻花的研究还未见报道。因此,本文在传统麻花的制作基础上通过模糊数学感官评价法和响应面优化法进行豆渣麻花的研制,并对豆渣麻花的营养成分、质构、色泽等品质进行测定与分析。以期对豆渣产品的开发和豆渣的高值利用提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

湿豆渣 扬州大学扬子津东区餐厅;蔗糖、中筋粉、葵花子调和油、无铝双效泡打粉、鸡蛋等 天猫超市购买;糯米小麻花、椒盐小麻花、十八街麻花、陈昌银麻花、葱油咸味麻花 京东超市;盐酸、硫酸、石油醚、无水乙醚、硫酸铜、硫酸钾、硼酸、甲基红、溴甲酚绿、亚甲基蓝、氢氧化钠、乙醇、丙酮、重铬酸钾、三羟甲基甲烷、2-(N-吗啉代)乙烷磺酸、冰乙酸 分析纯,国药集团化学试剂有限公司; α -淀粉酶(2000 U/g)、蛋白酶(200 U/mg)、淀粉葡萄糖苷酶液(10万 U/mL) 上海麦克林生化科技有限公司;

欧式102V恒温油炸炉 道升有限公司;DHG-9240型恒温鼓风干燥机、生化培养箱 上海精宏实验设备有限公司;RHP-600高速多功能粉碎机 浙

江荣浩工贸有限公司;TMS-Pro物性测定仪 美国FTC公司;BS210S电子天平 北京赛多斯仪器系统有限公司;NH310高品质便携式电脑色差仪 深圳市三恩时科技有限公司;YXQ-50G高压灭菌锅 上海楚工实业有限公司;SE-A6全自动脂肪测定仪 济南阿尔瓦仪器有限公司;KDN-20C消化炉、KDN-1000自动凯氏定氮仪 上海昕瑞仪器仪表有限公司;HH-4A恒温水浴锅 国华电器有限公司;TNX1200-20马弗炉 上海北向实业有限公司;HD-3A型智能水分活度测量仪 无锡市华科仪器仪表有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 豆渣粉制作工艺 挑选无霉变、无杂质、无不良气味的新鲜大豆渣均匀的铺放于托盘内(厚度应在0.3cm以下),在70℃的恒温鼓风干燥箱中烘干。冷却至室温后置于高速粉碎机(2500 r/min)粉碎成粉末,再经40目钢筛筛去粒径过大的豆渣颗粒。

1.2.2 麻花制作工艺 取中筋粉、豆渣粉、泡打粉、植物油,按配方精准称重后揉擦均匀。再将称好的鸡蛋液和与蔗糖混合液搅打至蔗糖完全融化为止。最后,将鸡蛋混合液少量多次的加入揉擦好的混合粉中,揉成均匀光滑的面团盖上保鲜膜醒发50min,以确保豆渣粉和面粉充分吸水形成质地均匀的面团。将醒发好的面团擀成1cm厚10cm宽的长方形,再改刀切成重9g左右的面坯,面坯揉搓成直径0.3cm长度60cm的长条,长条上劲自然缠绕成绳子状收口刷油后即成生坯。待恒温油炸炉的油温达到160℃时将生坯放入,炸制5min色呈金黄色后捞出,冷却至室温。

1.2.3 单因素实验 经预实验后选定对豆渣麻花品质影响较大的三个因素进行单因素实验,即蔗糖、植物油和豆渣粉。

1.2.3.1 蔗糖添加量优选 中筋粉90g、豆渣粉10g、泡打粉1.2g、植物油6g(8%)、全蛋液44g为基础配方,研究质量分数为18%、21%、24%、27%、30%的蔗糖添加量(以中筋粉和豆渣粉的总质量100g计)对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响。

1.2.3.2 植物油添加量优选 以中筋粉90g、豆渣粉10g、泡打粉1.2g、蔗糖20g、全蛋液44g为基础配方,研究质量分数为4%、6%、8%、10%、12%的植物油添加量(以中筋粉和豆渣粉的总质量100g计)对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响。

1.2.3.3 豆渣粉添加量优选 以中筋粉和豆渣粉总质量为100g、泡打粉1.2g、植物油6g、蔗糖20g、全蛋液44g为基础配方,研究7.5%、10.0%、12.5%、15.0%、17.5%的豆渣添加量(豆渣粉在复合粉(中筋粉加豆渣粉)中的占比)对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响。

1.2.4 响应面优化试验 在单因素实验的基础上,使

用 Box-Behnken 试验设计,以蔗糖添加量(A)、植物油添加量(B)、豆渣粉添加量(C)为自变量,豆渣麻花的模糊感官综合评分为响应值(Y),用-1、0、1 分别表示上述各变量的变化水平,采用软件 Design Expert V13 建立 3 因素 3 水平的试验。设计因素和水平编码见表 1。

表 1 Box-Behnken 试验因素与水平编码
Table 1 Factors and coded levels of Box-Behnken design

因素	水平		
	-1	0	1
A 蔗糖添加量(%)	21	24	27
B 植物油添加量(%)	6	8	10
C 豆渣粉添加量(%)	10.0	12.5	15.0

1.2.5 感官评定 参考吕新河^[15]的方法并稍作修改,感官评价组成员由 10 名学习过食品感官评价课程的学生组成,男女各 5 名。模糊数学感官评价标准参考张芝^[16]和李小月等^[17]稍作修改,从口感及质地、色泽及形态、气味与甜度以及可接受度四个方面对豆渣麻花进行评分,具体见表 2。

1.2.6 模糊数学模型的建立 参考杨雪欣等^[18]的方法稍作修改,评定因素集的确立:影响麻花品质的因素集 $U=\{\text{口感及质地 } u_1, \text{色泽及形态 } u_2, \text{气味与甜度 } u_3, \text{可接受度 } u_4\}$;评语集的确立:评语集 $V=\{\text{很好 } v_1, \text{较好 } v_2, \text{一般 } v_3, \text{较差 } v_4, \text{差 } v_5\}$,以 100 分为满分、81~100 分为很好、61~80 分较好、41~60 分为一般、21~40 分较差、0~20 分为差。

权重集的确立:由 10 位感官评定员对麻花的口感及质地、色泽及形态、气味与甜度、可接受度 4 个方面在整体感官评价中的重要程度进行评分,每个感官因素满分为 10 分,各感官因素的权重比等于各感官因素总得分除以总分 100 分;

模糊综合评价集:根据模糊变换原理 $Y=R*A$,其中, R 为权重集、 A 为模糊矩阵。

1.2.7 营养指标的测定 蛋白质含量的测定参考 GB 5009.05-2016《食品中蛋白质的测定》^[19],采用全自动凯氏定氮仪;脂肪含量的测定参考 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》^[20],采用全自动脂肪测定

仪;膳食纤维的测定参考 GB 5009.88-2014《食品中膳食纤维的测定》^[21]。

1.2.8 理化指标的测定 水分含量和水分活度的测定参考 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》^[22],使用智能型水分活度仪测定水分活度;灰分含量的测定参考 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》^[23]。

1.2.9 色泽的测定 参考朱文政等^[24]的方法稍作修改,普通麻花和豆渣麻花各随机挑选 3 根,分别在麻花表面的不同部位进行测定 5 次,结果取其平均值。每换一个样品色差仪需经标准白板校正,测定时色差仪的测试孔垂直于样品表面且与样品表面紧贴。

1.2.10 质构测定 参考 Yang 等^[25]的方法稍作修改,随机挑选 3 根完整的豆渣麻花,每根取直径 0.5 cm 长 1 cm 的圆柱状单股,在 ATP 模式下使用 TA4/100 探头,触发力 1 N,测试速度 30 mm/min,返回速度 30 mm/min,压缩形变量 30% 的条件下进行测定,测定结果取其平均值。

1.2.11 微生物指标的测定 菌落总数的测定参考 GB 4789.2-2016《食品微生物学检验菌落总数测定》^[26];大肠菌群的测定参考 GB 4789.3-2016《食品微生物学检验大肠菌群计数》^[27];沙门氏菌的测定参考 GB 4789.4-2016《食品微生物学检验沙门氏菌检验》^[28]。金黄色葡萄球菌的测定参考 GB 4789.10-2016《食品微生物学检验金黄色葡萄球菌检验》^[29]。

1.3 数据处理

使用 Excel、Origin2018 进行数据处理和折线图的制作,利用 Design Expert 13 进行响应面分析。数据用平均值±标准差表示。

2 结果和分析

2.1 权重集结果

10 位感官评定员对麻花的口感及质地、色泽及形态、气味与甜度、可接受度 4 个方面在整体感官评价中重要程度的评分结果见表 3。从表 3 可知,不同的感官因素在整体感官评价中的重要程度有很大差异,口感及质地>色泽及形态>气味与甜度>可接受度,故权重集 $R=\{\text{口感及质地,色泽及形态,气味与甜度,可接受度}\}=(0.41, 0.25, 0.215, 0.125)$ 。

表 2 模糊数学感官评价标准

Table 2 Fuzzy mathematical sensory evaluation standard

评语集(分)	口感及质地	色泽及形态	气味与甜度	可接受度
很好(81~100)	口感酥脆,质地均匀,咀嚼性强	表面油润光亮,色呈均匀的金黄色,形态规则、完整	香气浓郁,甜度适中	非常喜欢
较好(61~80)	口感较酥脆,质地均匀,咀嚼性较好	表面油润,色呈金黄色,形态较为规则、完整,外表稍显不光滑	香味较为浓郁,稍偏甜或稍偏淡	喜欢
一般(41~60)	口感酥脆度一般,质地稍软,咀嚼性一般	表面油润度较低,呈淡黄色,形态一般,外表不光滑	香味一般,偏甜或偏淡	较好,可以接受
较差(21~40)	硬度不适,酥脆度和咀嚼性较差	表面光泽度较差,色泽偏白或偏暗,形态规则度和完整度较差	无香味,过甜或稍苦	不太接受
差(0~20)	口感硬或过软,咀嚼性很差	表面无光泽,颜色发白或发黑,形态不规则、不完整	有焦糊味,发苦	不接受

表3 麻花感官质量因素的权重分布情况

Table 3 The weight distribution of fried dough twist sensory quality factors

编号	口感及质地	色泽及形态	气味与甜度	可接受度
1	3.5	2	2	0.5
2	5	3	3	2
3	4.5	3	2	1.5
4	4	2	1.5	1
5	3.5	3	2.5	1.5
6	4	1.5	2	0.5
7	3	3	1.5	1
8	3.5	2	2.5	1
9	5	2.5	1.5	1.5
10	5	3	3	2
总得分	41	25	21.5	12.5

2.2 单因素实验结果

2.2.1 蔗糖添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响 蔗糖是面点中不可或缺的辅料之一,主要起到三个作用:一是改进成品组织状态使成品酥脆;二是增加甜味;三是在加热过程中糖自身会发生的焦糖化反应使成品呈现出诱人的色泽^[30]。从图1可以看出,蔗糖添加量为18%时,麻花的甜度偏淡,口感发硬。蔗糖添加量为30%时,麻花甜度过高,成品发软发黑。当蔗糖添加量为24%时,成品甜度适宜、色泽金黄、口感酥脆,麻花的模糊感官综合评分最高,因此选择24%作为蔗糖的最佳添加量。

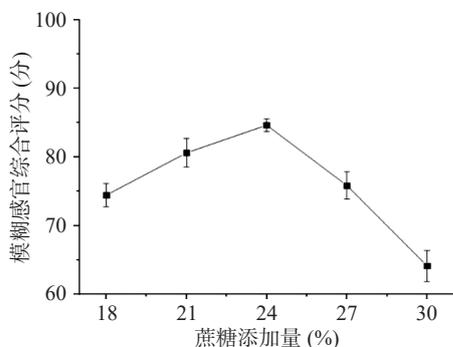


图1 蔗糖添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响
Fig.1 The effect of sucrose addition on fuzzy sensory comprehensive score of okara fried dough twist

2.2.2 植物油添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响 油脂具有良好的疏水性和乳化性,可减少面团中面筋网络的形成,是赋予麻花酥松度的重要因素之一^[31]。从图2可以看出随着植物油添加量的增加,麻花的模糊感官综合评分呈先上升后下降的趋势。当植物油添加量达到8%时,麻花吃口酥脆、外表金黄油润、香气浓郁,麻花的模糊感官评分达到最高值。当植物油添加量小于6%时不足以阻隔面筋网络的生成,成品酥性不够,表面无光泽。而当植物油添加量大于10%时面团中有足够的油脂在淀粉和面筋蛋白间形成隔膜^[32],阻碍两者相结合使麻花质地偏酥软,吃后略感发腻。因此,选择植物油添加量为8%。

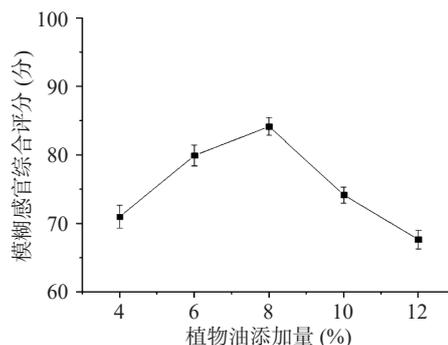


图2 植物油添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响
Fig.2 The effect of vegetable oil addition on fuzzy sensory comprehensive score of okara fried dough twist

2.2.3 豆渣粉添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响 豆渣富含膳食纤维和蛋白质,添加量的多少直接关系着麻花的最终品质。从图3可以看出随着豆渣粉添加量的增加模糊感官综合评分先升高后下降。添加量为12.5%时,麻花豆香味四溢、成品色泽佳、口感酥脆,此时豆渣麻花的模糊感官综合评分达到最高值。当豆渣粉继续增加时,麻花的硬度随之升高,颜色加深,粗糙的口感也愈发明显。硬度增加是麻花中膳食纤维比重增大的缘故^[33],同时,豆渣中含有丰富的氨基酸和蛋白质在高温条件下与糖类发生美拉德反应生成大量拟黑素使成品颜色变暗^[34]。因此,豆渣粉的添加量应选择12.5%为宜。

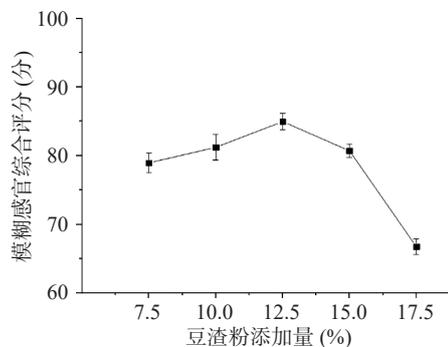


图3 豆渣粉添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响
Fig.3 The effect of soybean dregs powder addition on fuzzy sensory comprehensive score of okara fried dough twist

2.3 响应面优化实验

2.3.1 模糊感官矩阵的建立和模糊关系综合评价集的计算结果 依照试验设计让10位拥有专业背景的感官评定员对响应面优化试验的17组实验成品进行感官评价,然后统计评价结果获得各实验组的模糊感官矩阵A,再通过模糊原理变换公式: $Y=R \times A$ 计算得到模糊关系综合评价集。以响应面优化试验的第1组为例,感官评定果见表4。

由表4可知,有1位感官评定员认为实验组1的豆渣麻花口感及质地一般,5位认为较好,4人认为很好,无较差和差评价。将实验组1各个感官因素不同等级的票数除以总人数,即为实验组的模糊感官矩阵 A_1 。

表 4 实验组 1 的感官评定结果

Table 4 Sensory evaluation results of experimental group 1

编号	等级	口感及质地	色泽及形态	气味与甜度	可接受度
1	很好	4	0	2	0
	较好	5	6	2	5
	一般	1	4	6	5
	较差	0	0	0	0
	差	0	0	0	0

$$A_1 = \begin{vmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

根据模糊原理变换公式: $Y=R \times A$, 可计算出实验组 1 的模糊关系综合评价集为:

$$Y_1 = (0.41, 0.25, 0.215, 0.125) \times \begin{vmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{vmatrix} = (0.207, 0.4605, 0.3325, 0, 0)$$

同理, 可知实验组 2~17 的模糊关系综合评价集。

2.3.2 响应面优化试验结果 感官评价一共分为 5 个等级: 很好、较好、一般、较差、差, 分别对应: 100 分、80 分、60 分、40 分、20 分。模糊感官综合评分等于模糊关系综合评价集乘以对应的各等级分值, 然后相加即为模糊感官综合评分。由此, 可知实验组 1 的模糊感官综合评分是 77.49 分, 其余组的模糊感官综合评分同理可得, 具体见表 5。

表 5 响应面试验设计方案及结果

Table 5 Design and results of response surface analysis

试验号	因素			模糊感官综合评分 (分)
	A	B	C	
1	-1	1	0	77.49
2	0	-1	1	77.75
3	0	0	0	92.99
4	1	0	-1	81.13
5	0	1	1	83.35
6	1	1	0	80.17
7	-1	0	1	78.53
8	0	0	0	93.96
9	-1	0	-1	85.96
10	0	0	0	91.14
11	0	0	0	91.39
12	1	-1	0	79.06
13	0	1	-1	79.31
14	-1	-1	0	85.96
15	1	0	1	78.29
16	0	0	0	91.86
17	0	-1	-1	88.43

2.3.3 模型的建立及显著性分析 将表 5 的实验数据通过 Design-Expert 13.0 的 Box-Behnken 进行多元回归拟合, 得到以模糊感官综合评分 Y 与蔗糖添加量 A、植物油添加量 B、豆渣粉添加量 C 的二元多次回归模型, 即 $Y=92.27-1.16A-1.36B-2.11C+2.39AB+1.15AC+3.68BC-6.42A^2-5.18B^2-4.88C^2$ 。

从表 6 回归模型方差分析结果可以看出, F 值为 48.72, P 值 <0.0001 , 表明该模型具有极显著性。而失拟项不显著 ($F=0.8535, P=0.5332$), 说明该回归方程对实验数据拟合度较好, 能用于豆渣麻花配方的工艺优化。模型相关系数 $R^2=0.9843$, 表明豆渣麻花模糊感官综合评分的变化有 98.43% 来源于蔗糖、植物油和豆渣粉的添加量, 说明蔗糖、植物油、豆渣粉对模糊感官综合评分有显著影响。由模型回归方程系数的显著性表明 3 个因素对豆渣麻花模糊感官综合评分影响的重要程度为 $C>B>A$, 即豆渣粉添加量 $>$ 植物油添加量 $>$ 蔗糖添加量, 其中蔗糖添加量、植物油的添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响显著 ($P<0.05$), 豆渣粉添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响极其显著 ($P<0.01$), 交互项 AC 对麻花模糊感官综合评分的影响不显著 ($P>0.05$), 交互项 AB、BC 以及二次项 $A^2、B^2、C^2$ 对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响均极显著 ($P<0.01$)。

表 6 回归模型方差分析结果

Table 6 Analysis of variance results of regression model

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	574.70	9	63.86	48.72	<0.0001	**
A	10.79	1	10.79	8.23	0.0240	*
B	14.80	1	14.80	11.29	0.0121	*
C	35.74	1	35.74	27.27	0.0012	**
AB	22.94	1	22.94	17.51	0.0041	**
AC	5.27	1	5.27	4.02	0.0850	
BC	54.17	1	54.17	41.33	0.0004	**
A^2	173.29	1	173.29	132.21	<0.0001	**
B^2	113.10	1	113.10	76.36	<0.0001	**
C^2	100.08	1	100.08	76.36	<0.0001	**
残差	9.17	7	1.31			
失拟项	3.58	3	1.19	0.8535	0.5332	
纯误差	5.59	4	1.40			
总变异	583.87	16				
R^2	0.9843					

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

2.3.4 响应面交互作用分析 响应曲面弯曲的程度和等高线的形状能反映出各因素不同的添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响, 曲面弯曲的幅度越大说明影响越显著, 等高线图如呈椭圆形表明两因素之间交互作用明显, 呈圆形则表明两因素间交互作用不明显^[35]。

由图 4 可知, 当豆渣粉添加量固定不变时, 随着蔗糖和植物油添加量的增多, 豆渣麻花的模糊感官综合评分呈现先上升后下降的趋势, 其中植物油添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分影响稍大一些。响应曲面呈凸起状且投射的等高线为椭圆形, 表明蔗糖添加量和植物油添加量两者交互作用明显且有极大值。

由图 5 可知, 当植物油添加量固定时, 随着蔗糖和豆渣粉添加量的增多, 豆渣麻花的模糊感官综合评分呈现先增加后下降的趋势, 其中豆渣粉添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响较大, 相应的等高线

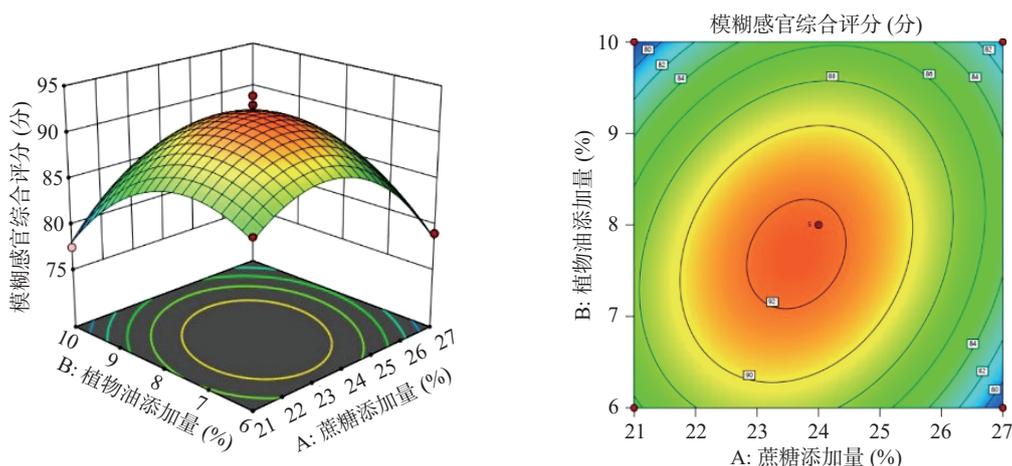


图4 蔗糖和植物油添加量交互对豆渣麻花模糊感官综合评分影响的响应面与等高线

Fig.4 Response surface and contour lines of the interaction of sucrose and vegetable oil addition on the fuzzy sensory comprehensive score of okara fried dough twist

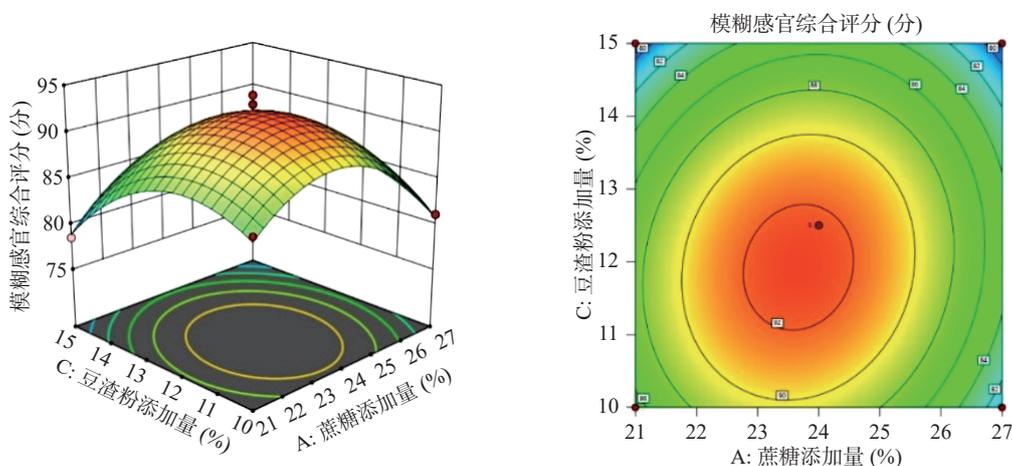


图5 蔗糖和豆渣粉添加量交互对豆渣麻花模糊感官综合评分影响的响应面与等高线

Fig.5 Response surface and contour lines of the interaction of sucrose and soybean dregs powder addition on the fuzzy sensory comprehensive score of okara fried dough twist

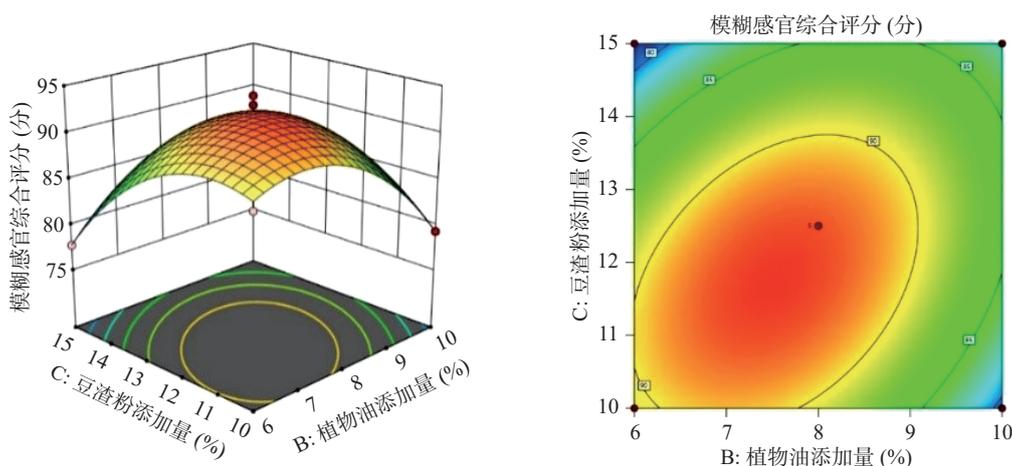


图6 植物油和豆渣粉添加量交互对豆渣麻花模糊感官综合评分影响的响应面与等高线

Fig.6 Response surface and contour lines of the interaction of vegetable oil and soybean dreg powder addition on the fuzzy sensory comprehensive score of okara fried dough twist

趋于圆形,表明两者交互作用不显著。

由图6可知,在蔗糖添加量不变时,随着植物油和豆渣粉添加量的增多,豆渣麻花模糊感官综合评分呈先升高后降低的趋势。响应面呈突状且下方的等

高线呈椭圆形,说明植物油和豆渣粉添加量对豆渣麻花模糊感官综合评分的影响较强,交互作用显著。

2.3.5 最优工艺配方确定及验证实验 利用 Design-Expert 13 中的“Optimization”模块,以豆渣粉添加量

和模糊感官综合评分最大为目标,得到豆渣麻花的最优配方:蔗糖 23.923%、植物油 8.137%、豆渣粉 13.952%,模糊感官综合评分预测为 89.428 分。

为了生产实践的便利性,将豆渣麻花的最优配方修改为蔗糖 24%、植物油 8%、豆渣粉添加量 14%、泡打粉 1.2%、全蛋液 44%,并进行 3 组平行实验进行验证,取其平均值得到豆渣麻花的模糊感官综合评分为(89.73±0.35)分,与模型预测值接近,说明该模型具有较高的可靠性和实用价值。

2.4 指标测定结果

2.4.1 麻花营养指标的测定 如表 7 所示,通过调查市场上所出售的 5 个不同品牌的麻花产品发现,其蛋白质含量在(6.8±1.3)g/100 g、脂肪含量在(33.2±5.3)g/100 g、膳食纤维含量在(0.39±0.03)g/100 g 左右,而按照最佳工艺配方制作的豆渣麻花,其蛋白质含量约为市售麻花的 1.8 倍,膳食纤维含量约为市售麻花的 11 倍,脂肪含量较市售麻花降低了 23%,因此所开发的豆渣麻花具有较高的营养价值和保健功能。

表 7 麻花中营养指标测定结果

Table 7 Determination results of nutritional indicators of fried dough twists

品牌	名称	蛋白质 (g/100 g)	脂肪 (g/100 g)	总膳食纤维 (g/100 g)
良品铺子	糯米小麻花	6.2	26.7	0.41
比比赞	椒盐味小麻花	5.4	38.2	0.37
天津桂发祥	十八街麻花	7.3	38.0	0.35
瓷器口陈麻花	陈昌银麻花	6.3	28.5	0.39
众望	葱油咸味麻花	8.8	34.4	0.42
平均值		6.8±1.3	33.2±5.3	0.39±0.03
豆渣麻花	样品1	11.6	27.8	3.95
	样品2	13.2	23.5	4.71
	样品3	12.4	25.2	4.27
平均值		12.4±0.8	25.5±2.2	4.31±0.38

2.4.2 豆渣麻花理化指标的测定 理化指标可客观的反映出产品品质的好坏,因此选取水分、水分活度、灰分、色差、质构 5 个指标对其进行测定,结果见表 8、表 9、表 10。

表 8 豆渣麻花中水分、水分活度和灰分含量测定结果

Table 8 Determination results of moisture, water activity and ash content of okara fried dough twist

项目	限量标准	测定结果
水分(%)	≤8	5.36
水分活度(A_w)		0.635
灰分(%)		1.2

表 9 豆渣麻花色差测定结果

Table 9 Determination result of color difference of okara fried dough twist

项目	L^*	a^*	b^*
豆渣麻花	46.80±1.53	19.23±0.52	30.88±0.77
对照样品	56.86±1.44	15.17±0.65	35.22±0.51

表 10 豆渣麻花的质构测定结果

Table 10 Determination results of texture of okara fried dough twist

项目	硬度(N)	破裂力(N)	内聚性	弹性	咀嚼性
豆渣麻花	40.98±5.70	32.38±8.13	0.03±0.01	0.31±0.02	0.47±0.12
对照样品	73.94±9.55	61.62±6.76	0.03±0.02	0.43±0.03	0.74±0.19

从表 8 可以看出豆渣麻花符合地方标准 DBS50/012-2014《麻花》^[36]中关于水分含量的要求。

由表 9 可知,由于豆渣粉中的蛋白质含量约为中筋粉的 2 倍^[37-38],因此,同样的成熟条件下豆渣粉产生的美拉德反应和焦糖化反应相对中筋粉更加强,所以豆渣麻花的色泽较对照样品(即最优配方中的豆渣粉换成中筋粉其余不变)显稍暗、微红,与 Gallagher 等^[39]和 O'Brien 等^[40]的研究结论一致。即:在相同的成熟条件下蛋白质含量与 L^* 值呈负相关。

由表 10 的硬度、破裂力、咀嚼性的数据对比可知,豆渣麻花与对照样品相比更加酥脆,说明添加适量的豆渣不仅不会损害麻花的口感还能提高麻花的酥脆性。

2.4.3 豆渣麻花的微生物指标测定 由表 11 可知,豆渣麻花的微生物指标符合地方标准 DBS50/012-2014《麻花》^[36]中关于菌落总数、大肠菌群和霉菌的要求以及 GB 29921-2013《食品中致病菌限量》^[41]中对于熟制粮食制品(含焙烤类)关于沙门氏菌和金黄色葡萄球菌的限量标准。

表 11 豆渣麻花的微生物指标测定结果

Table 11 Determination results of microbial indicators of okara fried dough twist

项目	限量标准	测定结果
菌落总数(CFU/g)	≤1500	55
大肠菌群(MPN/g)	≤3.0	0
霉菌计数(CFU/g)	≤100	20
沙门氏菌	0	0
金黄色葡萄球菌(CFU/g)	≤100	13

3 结论

本文基于传统麻花制作工艺和现代化烹饪技术,进行豆渣麻花的研制。以模糊感官综合评分为响应值,通过单因素实验和响应面优化试验对影响豆渣麻花感官品质的蔗糖、植物油、豆渣粉三个因素进行优化,得到豆渣麻花的最佳配方为:豆渣粉 14%、蔗糖添加量 24%、植物油添加量 8%、泡打粉添加量 1.2%、全蛋液添加量 44%(以中筋粉和豆渣粉总质量 100 g 计),使用此配方制成的麻花色香味形质俱佳且营养丰富。

此外,研究证明了添加适量豆渣不仅能提高麻花中蛋白质和膳食纤维的含量,而且能使麻花更加酥脆,然而其提升麻花酥脆度的机制尚不清楚。接下来将探究不同的豆渣添加量对麻花面团性质及成品质构的影响,进而为豆渣麻花的大规模生产提供依据。

参考文献

- [1] 朱秋广, 高晨光, 初敬华. 大豆的栽培历史及利用价值的研究[J]. 白城师范高等专科学校学报, 1999(4): 53-55. [ZHU G Q, GAO C G, CHU J H. Research on the cultivation history and utilization value of soybean[J]. Journal of Baicheng Teachers College, 1999(4): 53-55.]
- [2] 徐玉环, 吴月芳. 2019 大豆食品重点加工企业调研报告[J]. 大豆科技, 2019(6): 37-40. [XU Y H, WU Y F. 2019 Research report on key soybean food processing enterprises[J]. Soybean Technology, 2019(6): 37-40.]
- [3] 姜慧燕, 邹礼根, 翁丽萍, 等. 豆渣营养成分分析及蛋白质营养价值评价[J]. 食品工业, 2020(6): 325-328. [JIANG H Y, ZHOU L G, WENG L P. Analysis of nutrient components of bean dregs and evaluation of protein nutritional value[J]. Food Industry, 2020(6): 325-328.]
- [4] LEVI F, PASCHE C, LUCCHINI F, et al. Dietary fiber and the risk of colorectal cancer[J]. *European Journal of Cancer*, 2001, 37(16): 2091-2096.
- [5] FUKUDA M, SUGIHARA Y, ITOU M, et al. Effects of feeding with okara on plasma and liver lipid levels in rats[J]. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 2007, 53(4): 195-199.
- [6] PÉREZ L E, CELA D, COSTABILE A, et al. *In vitro* fermentability and prebiotic potential of soyabean okara by human faecal microbiota[J]. *British Journal of Nutrition*, 2016, 116(6): 1116-1124.
- [7] ELLEUCH M, BEDIGIAN D, ROISEUX O, et al. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review [J]. *Food Chemistry*, 2010, 124(2): 411-421.
- [8] 喻远东, 张喻. 豆渣的价值及加工利用分析探讨[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(6): 114-11. [YU Y D, ZHANG Y. Analysis and discussion on the value and processing and utilization of bean dregs[J]. *Food Science and Technology and Economy*, 2018, 43(6): 114-11.]
- [9] 张国治. 油炸食品生产技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. [ZHANG G Z. Fried food production technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.]
- [10] LEE D P S, GANA X, KIM J E. Incorporation of biovalorised okara in biscuits: Improvements of nutritional, antioxidant, physical, and sensory properties[J]. *LWT*, 2020, 134: 109902.
- [11] VOSS G B, MONTERIO M J P, JAUREGI P, et al. Functional characterisation and sensory evaluation of a novel symbiotic okara beverage[J]. *Food Chemistry*, 2021, 340: 127793.
- [12] 张雅娜, 张春华, 周媛媛, 等. 紫薯皮豆渣膳食纤维蛋糕配方的研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(22): 139-145. [ZHANG Y N, ZHANG C H, ZHOU Y Y, et al. Study on the recipe of dietary fiber cake with purple sweet potato skin and bean dregs[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(22): 139-145.]
- [13] 田俊, 项健. 豆渣桃酥的工艺配方研究[J]. 现代食品, 2020(21): 82-84. [TIAN J, XIANG J. Study on the recipe of soybean dregs and peach crisp[J]. *Modern Food*, 2020(21): 82-84.]
- [14] 崔少宁, 付双超, 逢小凯. 紫薯豆渣丸子的研制[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(9): 53-56. [CUI X N, FU S C, FENG X K. Development of purple sweet potato okara balls[J]. *Cereals & Fats*, 2020, 33(9): 53-56.]
- [15] 吕新河. 模糊评定法结合混料设计优化全蛋糊配方[J]. *美食研究*, 2018, 35(1): 24-27. [LYU X H. Fuzzy evaluation method combined with mixture design to optimize the formula of whole egg paste[J]. *Food Research*, 2018, 35(1): 24-27.]
- [16] 张芝. 小麻花制作工艺及优化设计[J]. 现代食品, 2019, 4(10): 74-77. [ZHANG Z. Small twist production technology and optimized design[J]. *Modern Food*, 2019, 4(10): 74-77.]
- [17] 李新月, 郑建仙. 基于美拉德反应优化传统麻花工艺的研究[J]. 食品工业, 2017, 38(3): 113-118. [LI X Y, ZHENG J X. Research on optimization of traditional twist technology based on Maillard reaction[J]. *Food Industry*, 2017, 38(3): 113-118.]
- [18] 杨雪欣, 陈可靖. 基于模糊数学评价法优化蛋清糊配方设计[J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 147-153. [YANG X X, CHEN K J. Optimizing egg white paste formula design based on fuzzy mathematics evaluation method[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2021, 42(16): 147-153.]
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. Determination of protein in food: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. Determination of fat in food: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中膳食纤维的测定: GB 5009.88—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of dietary fiber in food: GB 5009.88—2014[S]. Beijing: China Standard Press, 2015.]
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中水分的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of moisture in food: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of ash in Food: GB 5009.4—2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [24] 朱文政, 徐艳, 刘薇, 等. 烹制时间对狮子头营养品质和挥发性风味物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(4): 208-214. [ZHU W Z, XU Y, LIU W, et al. The effect of cooking time on the nutritional quality and volatile flavor compounds of lion head[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(4): 208-214.]
- [25] YANG H J, LI L, YIN Y P, et al. Effect of ground ginger on dough and biscuit characteristics and acrylamide content[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2019, 28(5): 1359-1366.

- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中食品微生物学检验菌落总数测定的测定: GB 4789.2—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. Microbiological examination of food in food, determination of the total number of colonies: GB 4789.2—2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [27] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中食品微生物学检验大肠菌群计数: GB 4789.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. Microbiological examination of food in food, coliform count: GB 4789.3—2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [28] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中食品微生物学检验沙门氏菌检验: GB 4789.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. Microbiological examination of food in food, *Salmonella* examination: GB 4789.4—2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [29] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中食品微生物学检验金黄色葡萄球菌检验: GB 4789.10-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. Microbiological examination of food in food, *Staphylococcus aureus* examination: GB 4789.10-2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [30] 吴丽萍, 金雅娟, 金晶. 荞麦饼干品质改良工艺优化及品质分析[J]. 食品工业, 2017, 38(11): 79-83. [WU L P, JIN Y X, JIN J. Quality improvement process optimization and quality analysis of buckwheat biscuits[J]. Food Industry, 2017, 38(11): 79-83.]
- [31] 王妍, 张丽, 牛璐, 等. 响应面试验优化牛肝荞麦复合营养酥性饼干的制备工艺[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(2): 74-81. [WANG Y, ZHANG L, NIU J, et al. Response surface experiment to optimize the preparation process of beef liver and buckwheat compound nutrient crisp biscuits[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2017, 53(2): 74-81.]
- [32] GHOTRA B S, DYAL S D, NARINE S S. Lipid shortenings: A review[J]. *Food Research International*, 2002, 35(10): 1015-1048.
- [33] SUDHA M L, VETRIMANI R, et al. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality[J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(4): 1365-1370.
- [34] FUSTIER P, CASTAIGNE F, TURGEON S L, et al. Semi-sweet biscuit making potential of soft wheat flour patent, middle-cut and clear mill streams made with native and reconstituted flours[J]. *Journal of Cereal Science*, 2007, 46(2): 119-131.
- [35] 惠小洋, 龙海霞, 郭列娥, 等. 响应面试验优化牛皮膨化食品的制备工艺[J]. 食品与发酵科技, 2018, 204(2): 34-39, 95. [HUI X Y, LONG H X, GUO L E, et al. Response surface test to optimize the preparation process of puffed cowhide food[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2018, 204(2): 34-39, 95.]
- [36] 食品安全地方标准麻花 DBS50/012-2014[S]. 重庆: 重庆市卫生和计划生育委员会, 2014. [Local food safety standard, twist DBS50/012-2014[S]. Chongqing: Chongqing Municipal Health and Family Planning Commission, 2014.]
- [37] 陈晓柯, 常虹, 郭卫芸, 等. 豆渣的综合利用现状及其研究进展[J]. 河南农业科学, 2015, 44(12): 1-5. [CHEN X K, CHANG H, GUO W Y, et al. Current status and research progress of comprehensive utilization of bean dregs[J]. Henan Agricultural Science, 2015, 44(12): 1-5.]
- [38] 佚名. 面粉的种类[J]. 粮食加工, 2019, 44(4): 64. [ANONYMOUS. Types of flour[J]. Grain Processing, 2019, 44(4): 64.]
- [39] GALLAGHER E, KENNY S, ARENDT E K. Impact of dairy protein powders on biscuit quality[J]. *European Food Research and Technology*, 2005, 221(3-4): 237-243.
- [40] O'BRIEN CM, CHAPMAN D, NEVILLE D P, et al. Effect of varying the microencapsulation process on the functionality of hydrogenated vegetable fat in short dough biscuits[J]. *Food Research International*, 2003, 36(3): 215-221.
- [41] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中致病微生物限量: GB 29921—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Limits of pathogenic microorganisms in food: GB 29921—2013[S]. Beijing: China Standard Press, 2013.]