

张璐, 熊双丽, 李安林, 等. 响应面-主成分分析法优化小酥肉糊料配方 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(4): 133–141. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030216

ZHANG Lu, XIONG Shuangli, LI Anlin, et al. Optimization of Small Crispy Meat Paste Formulation by Response Surface-Principal Component Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(4): 133–141. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030216

· 工艺技术 ·

响应面-主成分分析法优化小酥肉糊料配方

张璐¹, 熊双丽^{2,*}, 李安林², 熊得全³, 唐丹³

(1.西南科技大学生命科学与工程学院, 四川绵阳 621010;

2.四川旅游学院教务处, 四川成都 610100;

3.成都武侯实验中学, 四川成都 610100)

摘要:为降低小酥肉油脂含量, 本实验在小酥肉糊料基础配方中添入葛根粉, 以感官评分、含水率、含油率、色差为指标, 对油炸后小酥肉的品质进行单因素实验, 结合响应面-主成分分析法优化小酥肉糊料配方。结果表明, 以糊料总重为基准, 小麦粉添加量 20%、葛根粉添加量 4%、泡打粉添加量 0.6%、水分添加量为 59% 时, 感官评分为 88, 肉芯含水率为 62.24%, 含油率为 4.38%, 整体含水率为 50.16%, 含油率为 14.22%, 较未加葛根粉含水率提高了 80.62%, 含油率降低了 61.46%, 规范化综合得分为 1.60, 与预测的数值基本一致。该糊料配方对开发高营养、低脂油炸挂糊类产品有指导意义。

关键词:配方, 葛根, 含油率, 小酥肉, 主成分分析

中图分类号: TS251.5

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2024)04-0133-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023030216

本文网刊:



Optimization of Small Crispy Meat Paste Formulation by Response Surface-Principal Component Analysis

ZHANG Lu¹, XIONG Shuangli^{2,*}, LI Anlin², XIONG Dequan³, TANG Dan³

(1.School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;

2.Sichuan Tourism College Academic Affairs Office, Chengdu 610100, China;

3.Chengdu Wuhou Experimental Middle School, Chengdu 610100, China)

Abstract: In order to reduce the fat content of small crispy chicken, this experiment was conducted by adding *Kudzu* root powder to the basic formulation of small crispy chicken batter, and the quality of small crispy pork after deep-frying was tested by single factor experiments with sensory score, water content, oil content and color difference as indicators. The batter formulation was optimized by combining response surface-principal component analysis. The results showed that, based on the total weight of the paste, when the amount of wheat flour added was 20%, the amount of kudzu flour added was 4%, the amount of baking powder added was 0.6%, and the amount of water added was 59%, the sensory score was 88, the moisture content of meat core was 62.24%, the oil content was 4.38%, the overall moisture content was 50.16%, the oil content was 14.22%, and the moisture content increased by 80.62% compared with that without adding *Kudzu* root powder, and the oil content decreased by 61.46%, with a normalized composite score of 1.60, which was basically consistent with the predicted values. This batter formulation was a guideline for the development of highly nutritious, low-fat fried batter products.

Key words: formulation; *Kudzu* root; oil content; small crispy meat; principal component analysis

收稿日期: 2023-03-21

基金项目: 四川旅游学院科研团队项目 (21SCTUTY03)。

作者简介: 张璐 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品加工与安全, E-mail: 2799410675@qq.com。

* 通信作者: 熊双丽 (1977-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 功能性食品加工与安全, E-mail: lxberry225@163.com。

油炸食品因其独特的香味、诱人的颜色和质地而风靡全球。过去 50 年,全球油炸食品消费呈现指数增长^[1]。据统计,我国餐饮行业年食用油消费总量为 1000 万吨,其中 1/3 用于食品的煎炸^[2]。然而,油炸食品的含油量超过 30%,会导致一系列健康问题^[3]。挂糊是一种称为“着衣”的中国烹调技法^[4],在油炸之前选择合适的挂糊可以作为水分损失的屏障,并且还可以减少油炸期间的脂肪渗透。面糊在高温下会迅速硬化,这可以防止原材料渗出水分,从而产生酥脆的外部纹理^[5]。面糊系统中常用面粉是小麦粉,小麦蛋白不仅可以改善油炸制品的色泽和风味,也能提高面糊黏度,降低油炸制品的含油率^[6-7]。同时,由于淀粉分子的结晶度、颗粒的大小会影响淀粉的糊化程度、吸水能力和成膜性,也对面糊的黏度和挂糊油炸制品外壳的水分含量和油脂含量有一定的影响^[8-9]。红苕淀粉因低廉的价格和较好的着色特性、丰富的膳食纤维,常被用于面糊系统中,以提高面糊的黏性和粘稠度,增加面糊的拉伸性和弹性,使面糊性能俱佳。

葛根是中国卫生部第一批批准的药食同源植物^[10],是开发新型保健食品的优良天然材料^[11]。现代药理研究证明,葛根具有改善心脑血管循环,降糖、降脂,解痉等作用。目前,已被用于面包、馒头、蛋糕等食品当中^[12],也可作为药物成分和膳食补充剂(淀粉)^[13]。Sun 等^[14]指出葛根淀粉具有良好的保健性能和成膜性。李悦等^[15]研究表明相较于普通的挂糊材料玉米淀粉,葛根淀粉具有更弱的凝沉性,更好的冷糊黏度,以及更好的成膜性能。但关于葛根淀粉在面糊制作中的应用研究鲜有报道。

本研究在糊料原有配方的基础上,添加葛根粉,旨在利用其良好的成膜性能,开发一款新型健康的挂糊材料。本文主要通过单因素实验,响应面-主成分分析法,确定小酥肉最佳配比,以期开发低脂营养健康的小酥肉提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

麦芯多用途小麦粉 中粮国际(北京)有限公司;红苕淀粉 成都达恒毛实业有限公司;无铝害双效泡打粉 安琪酵母股份有限公司;雅士亨鸡大胸(冷冻)

山东雅士亨肉类食品有限公司;周氏纯葛根粉 桂林周氏顺发食品有限公司;千禾特级酱油 千禾味业股份有限公司;海天上等蚝油 佛山市海天(高明)调味食品有限公司;

DC-P3 新型全自动测色色差仪 北京兴光测色仪器有限公司;GL224I-1SCN 电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;WL-02FG 冠亚自动水分测定仪 深圳冠亚水分仪科技有限公司;SOX606 海能脂肪测定仪 山东海能科学仪器有限公司;BGZ-140 电热恒温干燥箱 上海博迅医疗生

物仪器股份有限公司;DF25A 油炸锅 中山市斯乐得电器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 小酥肉制作工艺 小酥肉的制作流程如图 1 所示。

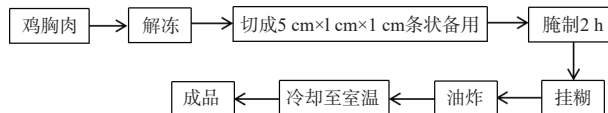


图 1 小酥肉制作工艺

Fig.1 Production process of mall crispy meat

操作要点:取出冷冻鸡胸肉后,在流水下解冻 2 h,后用定制模具制成 5 cm×1 cm×1 cm 的条状,并用吸水纸吸干表面水分。以每 100 g 鸡胸肉为基准,加入 5 mL 酱油,4 mL 蚝油,抓拌均匀后,放入冰箱冷藏室(4 ℃)中腌制 2 h。期间进行面糊调配,将面糊搅拌均匀后,将切好的肉条放入面糊中,保证肉条外侧与面糊全部接触,将肉条展平浸没 10 s 缓慢取出,取出后稍淋 2~5 s,待面糊不成股滴下,放入菜籽油中油炸,油炸过程中要不断翻动肉条,使肉条受热均匀。

1.2.2 单因素实验 根据基础配方(以 100% 为基准,小麦粉 17%、红苕淀粉 20%、葛根粉 5%、泡打粉 0.5%、水分添加量 57.5%),固定其他条件,分别研究小麦粉添加量(15%、20%、25%、30%、35%)、葛根粉添加量(4%、8%、12%、16%、20%)、泡打粉添加量(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%)和水分添加量(40%、45%、50%、55%、60%)对油炸小酥肉品质的影响。

1.2.3 响应面试验设计 在单因素实验基础上,根据 Box-Behnken 试验设计原理,选择小麦粉添加量(A)、葛根粉添加量(B)、泡打粉添加量(C)、水分添加量(D)四个影响因子作为因素,根据预实验结果确定油炸温度 190 ℃,油炸时间 210 s,以含水率、含油率、感官评分的规范化综合评分为响应值,进一步优化糊料配方,响应面实验因素及水平见表 1。

表 1 Box-Behnken 设计因素与水平
Table 1 Factors and levels designed by Box-Behnken

水平	因素			
	A小麦粉添加量 (%)	B葛根粉添加量 (%)	C泡打粉添加量 (%)	D水分添加量 (%)
-1	20	4	0.4	50
0	25	8	0.6	55
1	30	12	0.8	60

1.2.4 主成分分析 参考李娜等^[16]的方法。将含水率、含油率、感官评分、色差同趋势化后的数据进行主成分分析,得出特征值、贡献率、累计贡献率、成份矩阵。按照公式(1)计算得出综合评分(Y),再按照(2)计算规范化综合评分(Z),以其为响应值,优化

腌制剂配方。

$$Y = Y_1C_1 + Y_2C_2$$

式 (1)

$$Z = \frac{Y - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}}$$

式 (2)

式中: Y 为综合评分; Y_1 为第一主成分得分; C_1 为第一主成分贡献率; Y_2 为第二主成分得分; C_2 为第二主成分贡献率; Z 为规范化综合得分; $Y_{\min}$ 为综合评分最小值; $Y_{\max}$ 为综合评分最大值。

1.2.5 小酥肉品质测定

1.2.5.1 感官评分标准 由 8 人组成专业评定小组(男女比例 1:1), 评价每个样品后用清水漱口, 2 min 后再进行下一个样品的评定。综合文献 [17–18], 结合本实验实际情况, 制定小酥肉感官评分标准与细则(表 2)。

表 2 小酥肉感官评分标准与细则

Table 2 Sensory scoring standards and rules for crispy meat

指标	评价标准	得分(分)
色泽(20分)	外表呈现焦黄或棕色	0~5
	外表呈现浅黄色	6~10
	外表呈现黄色	11~15
	外表呈现金黄色	16~20
外观(25分)	表面较规整, 有较多气泡, 轻微脱糊现象	0~5
	表面较规整, 有较少气泡, 无脱糊现象	6~11
	表面规整, 有个别气泡, 无脱糊现象	12~18
	表面规整, 无气泡, 无脱糊现象	19~25
气味(30分)	单一肉香味油炸气味弱	0~7
	协调的熟肉葛根味道	8~15
	协调的油炸肉制品葛根香味	16~23
	浓郁协调的油炸葛根香气	24~30
口感(25分)	硬度适中油炸感较弱汁液不丰富	0~5
	硬度适中油炸感强烈汁液不丰富	6~11
	硬度适中油炸感较弱汁液丰富	12~18
	硬度适中油炸感强烈汁液丰富	19~25
总分		100

1.2.5.2 含水率的测定 将小酥肉的肉芯和整体分别用刀切成粉末状之后, 准确称取 2.5 g(精确至 0.0001 g), 进行 3 次平行测定, 取平均值。

1.2.5.3 含油率的测定 将小酥肉的肉芯和整体分别切成粉末状之后进行 3 次平行测定, 取平均值。

$$X(\%) = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100$$

式中: X 为样品中脂肪的含量(g/100 g); m_1 为溶剂杯和脂肪的含量(g); m_0 为干燥溶剂杯的质量(g); m 为样品质量(g)。

1.2.5.4 色差的测定 将小酥肉肉芯和外壳分离开来, 对仪器进行标准化校正之后, 分别在小酥肉表面及中心部位约 0.05 cm 内不同位置重复进行三次测定样品颜色, 分别记录外壳和肉芯的 L^* 、 a^* 、 b^* , 取平均值。

1.3 数据处理

每组实验均取 3 次平行值, 数据结果均以平均值±标准偏差表示。采用 Microsoft Excel 2016 整理数据, Origin 2023 软件绘图, SPSS 17.0 对数据进行主成分分析及显著性分析($P<0.05$), Design-Expert V8.0.6.1 对数据进行响应面试验设计与分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 小麦粉添加量对小酥肉品质的影响 小麦粉添加量对小酥肉感官和含水率含油率的影响如图 2 所示。从图 2A 中可以看出, 小麦粉添加量对小酥肉感官品质的影响不显著($P>0.05$), 在添加量为 25% 时, 感官评分最高。由图 2B 可知, 挂糊处理之后, 随着小麦粉添加量的增加, 肉芯的含水率显著高于整体的含水率($P<0.05$), 在小麦粉添加量为 30% 时达到最大, 推测因为小麦粉中含有的蛋白质具有改善挂糊的黏度, 增强其凝胶的性能, 从而可以提高酥肉的持水力, 同时能起到控油的作用^[19]; 当小麦粉添加量低于 20% 时, 肉芯的含油率高于整体, 因为面糊过稀, 挂糊率低, 导致肉芯大量失水引起大量孔洞, 从而致使吸油更多^[20]。之后随着小麦粉添加量的增加, 整体的含油率高于肉芯的含油率, 主要是因为面糊的黏度随小麦粉添加量的增加而增大, 挂糊率随之增大, 肉条表面形成的外壳硬度增大, 从而有效抑制了油脂进入肉芯当中^[21], 但当小麦粉含量在 35% 左右时, 面糊过于粘稠, 导致糊的表面不光滑, 外壳产生裂缝, 加速

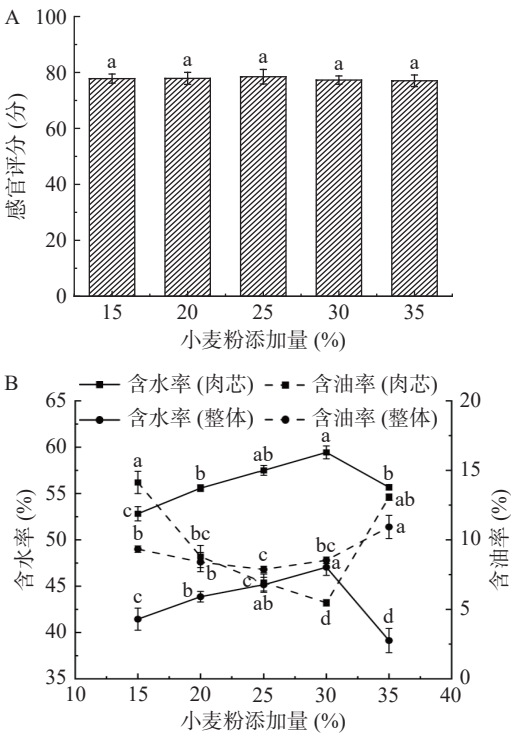


图 2 小麦粉添加量对小酥肉感官评分、含水率和含油率的影响

Fig.2 Effects of wheat flour addition on sensory evaluation, moisture content, and oil content of crispy meat
注: 同一折线图或同一柱状图中标注不同字母表示数据具有显著性差异($P<0.05$), 图 3~图 5 同。

了水分的蒸发和油脂的渗入^[21]。

色泽是评价肉品外观的重要指标之一,油炸食品的色泽主要由美拉德反应,焦糖化反应等非酶褐变引起,并且主要是在美拉德反应的第二、第三阶段生成的^[22]。 L^* 、 a^* 和 b^* 值分别反映了酥肉表面折射光亮度、红度和黄度变化,其中 L^* 的值越大,越明亮; a^* 的值越大,越发红; b^* 值表示黄蓝值,值越大,越发黄。表3反映了小麦粉添加量对酥肉色差的影响,对酥肉整体的 L^* 值来说,亮度越大越发白,因此, L^* 值越低表明色泽越好,在一定范围内, a^* 值、 b^* 值越大表明酥肉色泽越好,表面越是金黄诱人。对肉芯而言, L^* 值越大,表明其颜色越发白,吸油越少,证明此时挂糊效果越好,外壳的包裹性越好。综合来看,小麦粉添加量选在20%~30%最佳。

2.1.2 葛根粉添加量对小酥肉品质的影响 葛根粉添加量对小酥肉感官和含水率含油率的影响变化规律如图3所示。从图3A中可以看出,小酥肉感官品质随葛根粉添加量的增加呈现先增加后减少的趋势(16%时感官评分最高),且均显著高于不添加葛根粉($P<0.05$)。由图3B可知,糊料中加入葛根粉后能显著提高小酥肉的含水率,降低其含油率($P<0.05$),

肉芯的含水率显著高于整体,含油率显著低于整体,说明挂糊处理对增加肉芯的含水率,增加保水性效果明显^[23]。由图3B中可以看出肉芯和整体的含水率呈现先升高后趋于平稳再保持降低的趋势,可能是因为面糊过于粘稠,挂糊不均匀,从而破坏了外壳的致密性,导致失水增多。肉芯和整体的含油率在葛根粉添加量为12%左右保持稳定,可能是葛根淀粉的直链淀粉高达18.2%^[11],直链淀粉含量越高,所形成的油炸制品外壳的孔洞越细,越均匀^[24],之后又呈现增加的趋势,因为含淀粉量过高,油炸时表面会鼓泡或者出现裂痕,当面糊遇到热油后,水分会被热油迅速蒸发并形成气泡,这个过程中,水分进入热油中,而热油也在压力差的作用下进入小酥肉中^[25],从而导致含油率显著升高($P<0.05$),这与尹茂文等^[26]的研究结果一致。

葛根粉添加量对小酥肉色差的影响见表4,随着葛根粉添加量的增加,小酥肉整体的 L^* 值呈现先降低后增加的趋势,当葛根粉添加量为16%时 L^* 增加,可能是面糊黏度过大导致挂糊太多,油炸过程中外壳发白,这与彭麒麟等^[27]的研究结果一致。 a^* 、 b^* 值均表现出先增加后减小的趋势,可能是因为淀粉

表3 小麦粉添加量对小酥肉色差的影响

Table 3 Effect of wheat flour addition on color difference of small crispy meat

小麦粉添加量(%)	L^* (整体)	L^* (肉芯)	a^* (整体)	a^* (肉芯)	b^* (整体)	b^* (肉芯)
15	55.52±5.89 ^{bc}	64.93±4.52 ^c	11.67±1.42 ^a	9.41±1.63 ^a	22.11±1.46 ^b	22.64±2.72 ^a
20	57.03±1.84 ^b	72.40±3.74 ^a	13.53±0.43 ^a	8.55±1.38 ^a	25.82±1.12 ^a	21.83±1.63 ^{ab}
25	63.04±2.42 ^a	71.20±3.33 ^{ab}	8.15±1.40 ^b	8.40±1.70 ^a	24.52±2.28 ^a	21.91±2.36 ^{ab}
30	62.82±3.21 ^a	70.82±1.51 ^b	7.58±0.75 ^c	8.34±0.45 ^a	23.21±1.23 ^{ab}	22.11±1.11 ^a
32	60.71±1.35 ^{ab}	71.98±3.06 ^{ab}	8.93±1.13 ^b	8.75±0.05 ^a	23.03±2.20 ^{ab}	23.37±1.13 ^a

注:表中肩注不相同字母表示同列差异显著($P<0.05$),表4~表6同。

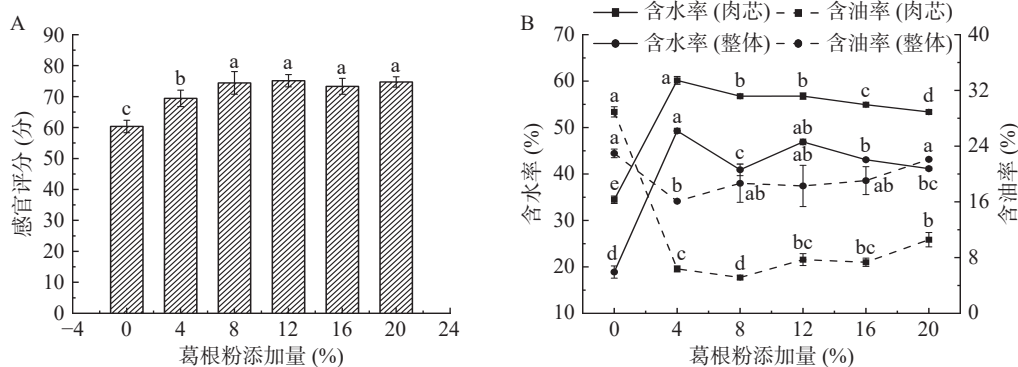


图3 葛根粉添加量对小酥肉感官评分、含水率和含油率的影响

Fig.3 Effects of kudzu powder addition on sensory evaluation, moisture content, and oil content of crispy meat

表4 葛根粉添加量对小酥肉色差的影响

Table 4 Effect of wheat flour addition on color difference of small crispy meat

葛根粉添加量(%)	L^* (整体)	L^* (肉芯)	a^* (整体)	a^* (肉芯)	b^* (整体)	b^* (肉芯)
4	53.31±0.55 ^a	73.57±1.18 ^{ab}	13.63±0.69 ^{ab}	6.87±0.56 ^{ab}	16.40±0.85 ^b	19.78±1.16 ^a
8	50.62±0.81 ^{ab}	73.90±1.63 ^{ab}	14.60±1.89 ^{ab}	6.82±0.11 ^{ab}	19.25±1.74 ^{ab}	18.32±1.16 ^{ab}
12	49.14±1.00 ^b	76.14±1.19 ^a	15.75±1.01 ^a	6.73±0.38 ^{ab}	20.69±1.87 ^a	17.91±0.65 ^c
16	50.97±2.53 ^{ab}	75.56±1.52 ^a	12.87±0.96 ^b	7.38±0.75 ^a	19.78±1.61 ^{ab}	18.65±1.03 ^{ab}
20	54.02±2.80 ^a	75.15±2.86 ^a	12.58±0.32 ^b	7.47±0.58 ^a	14.75±2.60 ^c	19.41±1.42 ^a

添加量在一定范围内时,面糊包裹性良好,淀粉发生美拉德反应,表面金黄^[28]。随着葛根粉添加量的增加, a^* 、 b^* 值增大,但超过一定范围添加量后,外壳会开裂,肉芯暴露,肉质在高温下氧化变色,导致 a^* 、 b^* 值下降。对于小酥肉肉芯而言, L^* 的值呈现先增加后减少的趋势, a^* 值、 b^* 值均呈现先减小后增加的趋势,均与小酥肉整体色泽表现相反。综合而言,葛根粉的最佳添加范围为 4%~12%。

2.1.3 泡打粉添加量对小酥肉品质的影响 泡打粉是一种膨松剂,它的加入可以使面粉糊变得疏松多孔,口感酥脆^[29]。泡打粉添加量对小酥肉感官和含水率含油率的影响变化规律如图 4 所示,从图 4A 中可以看出,泡打粉添加量对小酥肉感官品质的影响有显著差异($P<0.05$),呈现先降低后持续增加的趋势,在泡打粉添加量为 1.0% 时,感官评分最高。由图 4B 中可以看出,小酥肉整体的含水率呈现先增加后减少再增加的趋势(0.4%、0.8% 时出现拐点),主要是因为泡打粉含量越多,面粉糊的空隙越多,导致含油率

的增加^[30]。含水率呈现先减少后基本保持不变的规律,可能是因为油炸过程中,泡打粉会吸收一定量的水分,水分在高温下会迅速蒸发,释放出气体导致含水率降低,之后保持稳定可能是由于泡打粉与淀粉、蛋白质等形成保护层,可以阻止水分的流失。

泡打粉添加量对小酥肉色差的影响见表 5,随着泡打粉添加量的增加,小酥肉整体的 L^* 、 a^* 、 b^* 值之间差异不显著($P>0.05$),小酥肉整体 L^* 值、 a^* 值逐渐增加, b^* 值稍有降低的趋势,可能是因为当面糊中添加了更多的泡打粉时,泡打粉中的碳酸氢钠与面糊中的酸性物质反应产生二氧化碳气体,使小酥肉外壳膨胀,在膨胀的同时,小酥肉也会变得更松软、呈现出更加明亮的颜色,致使 L^* 值增加。肉芯 L^* 值总体呈现降低的规律, a^* 值、 b^* 值呈现增加的规律,可能是因为随着小酥肉外壳膨胀度的增加,外壳出现很多孔洞,致使油脂渗入造成明亮度的减小, a^* 值、 b^* 值的增加。综合来看,泡打粉最佳的添加范围为 0.4%~0.8%。

2.1.4 水分添加量对小酥肉品质的影响 水分添加

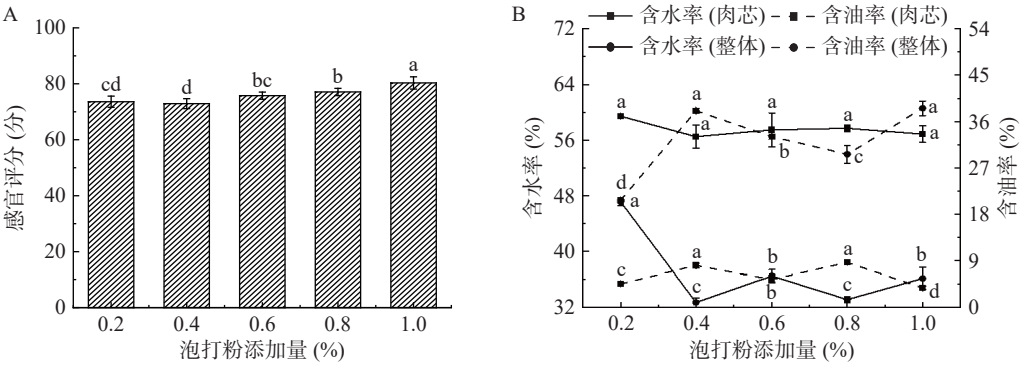


图 4 泡打粉添加量对小酥肉感官评分、含水率和含油率的影响

Fig.4 Effects of pueraria lobata powder addition on sensory evaluation, moisture content, and oil content of crispy meat

表 5 泡打粉添加量对小酥肉色差的影响

Table 5 Effect of baking powder addition on color difference of small crispy meat

泡打粉添加量(%)	L^* (整体)	L^* (肉芯)	a^* (整体)	a^* (肉芯)	b^* (整体)	b^* (肉芯)
0.2	61.16±5.94 ^{ab}	75.22±1.32 ^a	10.74±2.21 ^a	7.24±0.33 ^b	23.82±5.16 ^{ab}	19.23±0.60 ^b
0.4	67.00±4.94 ^a	70.70±5.41 ^{ab}	9.47±1.63 ^b	9.14±1.29 ^{ab}	25.16±4.31 ^a	21.85±3.10 ^{ab}
0.6	64.12±3.07 ^{ab}	70.57±1.61 ^{ab}	11.75±0.90 ^a	7.46±0.70 ^b	26.15±1.34 ^a	20.41±1.78 ^{ab}
0.8	65.45±3.56 ^a	72.73±1.17 ^{ab}	10.18±1.61 ^{ab}	7.25±1.13 ^b	21.19±2.31 ^b	18.25±1.43 ^b
1.0	65.56±6.96 ^a	67.39±4.45 ^b	10.81±2.12 ^a	10.67±1.54 ^a	23.41±3.97 ^{ab}	24.05±2.50 ^a

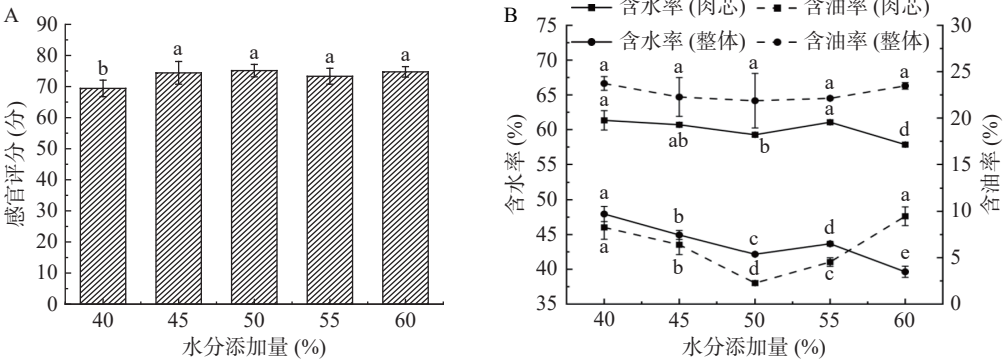


图 5 水分添加量对小酥肉感官评分、含水率和含油率的影响

Fig.5 Effects of water addition on sensory evaluation, moisture content, and oil content of crispy meat

量对小酥肉感官和含水率及含油率的影响如图 5 所示,从图 5A 中可以看出,水分添加量为 40% 时显著低于其他组($P<0.05$),在水分添加量为 50% 时,感官评分最高。从图 5B 中可以看出,小酥肉的含水率呈现先降低后增加再降低的趋势,主要是因为随着水分添加量的增加,面糊粘稠性下降,挂糊率明显降低,肉芯暴露比较严重,因而,小酥肉整体失水比较严重。小酥肉含油率呈现先减小后增加的趋势(50% 时出现拐点),因为水分含量低于 50% 时,面糊粘稠,热油作用下,会迅速成膜,阻止煎炸油的进入,当水分含量超过 50% 时,面糊粘度由适中到过稀,成膜性能越来越差,导致含油率升高。综合而言,水分添加量最合适的范围是 50%~60%。

水分添加量对小酥肉色差的影响见表 6,随着水分添加量的增加,小酥肉整体的 L^* 值总体表现为减小的规律, a^* 值表现为增加的规律, b^* 值表现持续减

小的规律,主要是面糊中的水分会影响小酥肉表面的水分,产生气泡和水汽导致亮度降低,随着水分添加量的增加,小酥肉中有一些水溶性的色素被溶解,由于色素溶解度的不同导致红绿值,黄蓝值表现不同。对于小酥肉肉芯而言, L^* 值呈现减小的规律, a^* 、 b^* 值呈现增加的趋势,主要是挂糊完整性所导致,随着水分含量增大,挂糊不完整,肉芯暴露在热油中,直接被氧化,导致 L^* 值降低, a^* 值、 b^* 值增加。综合而言,水的最佳添加范围为 50%~60%。

2.2 响应面试验结果分析

2.2.1 响应面试验设计及结果 根据以上单因素实验结果,以小麦粉添加量(A)、葛根粉添加量(B)、泡打粉添加量(C)、水分添加量(D)为因素,以感官评分、含水率(肉芯)、含水率(整体)、含油率(肉芯)、含油率(整体)作为响应值,采用 Box-Behnken 试验设计,其设计水平和结果如表 7 所示。

表 6 水分添加量对小酥肉色差的影响

Table 6 Effect of water addition on color difference of small crispy meat

水分添加量(%)	L^* (整体)	L^* (肉芯)	a^* (整体)	a^* (肉芯)	b^* (整体)	b^* (肉芯)
40	63.90±3.71 ^a	70.99±3.74 ^{ab}	9.55±1.69 ^b	7.93±0.54 ^{ab}	22.88±2.25 ^a	18.83±0.55 ^{ab}
45	55.65±3.55 ^b	72.95±2.50 ^a	13.68±1.06 ^a	7.67±0.42 ^{ab}	22.45±1.80 ^a	19.88±1.03 ^a
50	54.89±0.75 ^b	73.04±1.87 ^a	14.58±1.52 ^a	8.41±1.89 ^a	21.47±1.61 ^{ab}	19.51±1.64 ^a
55	57.37±2.55 ^b	72.08±1.21 ^a	11.32±0.23 ^{ab}	8.42±0.83 ^a	20.96±2.47 ^{ab}	19.40±1.37 ^a
60	52.33±3.83 ^b	70.15±0.52 ^{ab}	11.40±0.52 ^{ab}	8.49±0.31 ^a	17.37±2.38 ^b	19.32±0.92 ^a

表 7 响应面试验设计及结果

Table 7 Design and results of response surface test

实验号	小麦粉添加量	葛根粉添加量	泡打粉添加量	水分添加量	感官评分(分)	含水率(肉芯)(%)	含水率(整体)(%)	含油率(肉芯)(%)	含油率(整体)(%)
1	-1	-1	0	0	84.75	65.38	48.39	4.43	13.61
2	0	-1	0	-1	80.00	64.12	49.44	4.16	11.84
3	0	0	-1	1	80.4	66.65	47.55	4.83	14.02
4	-1	0	-1	0	78.8	62.82	45.04	4.20	13.87
5	0	1	0	-1	76.00	61.98	45.21	6.20	16.29
6	-1	0	0	1	73.75	54.62	46.54	7.23	13.47
7	-1	0	0	-1	80.20	63.81	48.22	6.21	13.77
8	1	-1	0	0	80.75	64.12	48.61	5.28	12.97
9	0	0	1	-1	75.43	56.45	43.18	6.81	14.6
10	1	1	0	0	73.50	55.35	42.98	7.46	13.61
11	0	0	0	0	74.60	58.47	45.92	4.34	13.35
12	0	-1	1	0	76.75	60.85	48.94	6.43	12.22
13	1	0	0	1	77.00	63.26	52.82	2.91	12.8
14	-1	1	0	0	74.00	59.19	48.81	3.59	13.68
15	0	0	0	0	74.53	58.47	45.19	4.05	13.39
16	0	-1	-1	0	75.00	59.79	48.81	4.46	13.65
17	0	1	0	1	75.00	58.07	48.85	4.92	13.16
18	0	0	0	0	74.64	58.34	45.94	4.39	13.23
19	0	0	-1	-1	83.8	63.23	50.50	5.57	14.15
20	0	0	0	0	74.53	58.03	45.89	4.03	13.37
21	0	0	0	0	74.60	58.62	45.24	4.19	13.14
22	1	0	1	0	72.29	60.47	44.55	3.81	14.82
23	0	1	1	0	71.67	55.71	44.84	6.83	14.42
24	0	-1	0	1	83.00	63.39	47.83	4.09	14.44
25	1	0	-1	0	73.71	58.30	50.87	2.81	14.61
26	0	0	1	1	73.33	63.75	49.42	4.75	12.84
27	0	1	-1	0	76.20	63.36	49.93	2.85	15.61
28	1	0	0	-1	75.75	62.03	47.45	5.40	15.31
29	-1	0	1	0	73.60	60.85	47.24	5.01	15.59

2.2.2 主成分分析 对表 7 响应值感官评分、含水率(肉芯)、含水率(整体)、含油率(肉芯)、含油率(整体)作同趋势化处理后进行主成分分析,其特征值与累计贡献率如表 8 所示,第一、二、三主成分累计贡献率 88.837%>85%,说明提取前三个主成分能够全面反映酥肉品质。

表 8 主成分特征值与累计贡献率
Table 8 Principal component eigenvalues and cumulative contribution rate

成份	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差贡献率 (%)	累积贡献率 (%)	合计	方差贡献率 (%)	累积贡献率 (%)
1	2.304	46.077	46.077	2.304	46.077	46.077
2	1.122	22.446	68.523	1.122	22.446	68.523
3	1.016	20.314	88.837	1.016	20.314	88.837
4	0.398	7.950	96.787			
5	0.161	3.213	100.000			

由于数据差异化较大,为消除量纲,将表 7 的数据同趋势化处理后再进行标准化,再利用表 9 成分矩阵计算得出第一、第二、第三主成分得分,根据式(1)计算出综合评分(F),根据式(2)计算规范化综合评分(Z),第一、二主成分得分、综合评分及规范化综合评分如表 10。

表 9 成分矩阵
Table 9 Matrix of composition

指标	成分		
	第一主成分	第二主成分	第三主成分
肉芯含水率	0.897	0.323	0.020
整体含水率	0.793	-0.380	0.027
感官评分	0.772	0.489	-0.265
肉芯含油率	-0.149	0.567	0.792
整体含油率	-0.503	0.560	-0.564

为了更加直观地评价面条的综合质量,采用因子综合得分对主成分得分的数据进一步分析。根据指标在主成分上的载荷量,计算出各指标在不同主成分上的线性组合系数,并利用方差贡献率权重得到综合模型系数,归一化处理得到酥肉质量评价模型:三个主成分表达式分别为 F_1 、 F_2 、 F_3 , A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 分别代表感官评分、含水率(肉芯)、含水率(整体)、含油率(肉芯)、含油率(整体)的标准化值。

$$\begin{aligned} F_1 &= 0.509A_1 + 0.591A_2 + 0.522A_3 - 0.098A_4 - 0.331A_5 \\ F_2 &= 0.462A_1 + 0.305A_2 - 0.359A_3 + 0.535A_4 + 0.529A_5 \\ F_3 &= -0.263A_1 + 0.020A_2 + 0.027A_3 + 0.756A_4 - 0.560A_5 \end{aligned} \tag{3}$$

根据主成分分析的结果,以规范化综合得分 Z 为响应值,设计 N=29 的 Box-Behnken 的试验(表 7 和表 10),考察小麦粉添加量、葛根粉添加量、泡打粉添加量和水分添加量这四个因素的交互作用和最佳水平。

2.2.3 响应面方差分析 利用 Design-Expert 8.0.6.1 软件对规范化综合评分进行分析,方差分析结果如

表 10 主成分得分及规范化综合评分
Table 10 Principal component scores and standardized scores

实验号	F1	F2	F3	综合得分F	规范化综合得分Z
1	1.05	1.24	0.77	0.92	0.94
2	-2.61	1.24	0.56	-2.22	0.00
3	-2.40	0.58	-4.80	0.58	0.84
4	-2.66	1.02	1.96	-0.60	0.49
5	-0.94	-0.23	0.13	-0.46	0.53
6	0.63	1.25	1.89	0.95	0.95
7	2.09	-0.89	-0.54	0.66	0.86
8	-0.28	-1.15	-0.43	-0.47	0.52
9	-1.10	-0.28	-0.08	-0.58	0.49
10	0.67	1.15	1.44	0.86	0.92
11	-0.31	-0.32	0.59	-0.10	0.63
12	-0.93	-0.17	0.21	-0.42	0.54
13	1.85	0.80	-0.04	1.02	0.97
14	-1.02	-0.43	-0.07	-0.58	0.49
15	-0.99	-0.08	0.13	-0.45	0.53
16	-1.55	-1.02	-0.78	-1.10	0.34
17	-2.61	-0.10	1.31	-0.96	0.38
18	1.22	0.34	-1.08	0.42	0.79
19	-0.25	-2.37	-1.34	-0.92	0.39
20	0.80	0.03	0.80	0.54	0.83
21	0.55	-1.88	-1.95	-0.56	0.50
22	-0.43	-0.43	-0.23	-0.34	0.56
23	-1.03	-1.07	-0.47	-0.81	0.42
24	1.05	1.24	0.77	0.92	0.94
25	1.58	1.24	0.56	1.12	1.00
26	-2.40	0.58	0.94	-0.78	0.43
27	-2.66	1.02	1.96	-0.60	0.49
28	-0.94	-0.23	0.13	-0.46	0.53
29	0.63	1.25	1.89	0.95	0.95

表 11 方差分析
Table 11 Analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	17.35	14	1.24	10.45	< 0.0001	**
A-小麦粉添加量	0.0271	1	0.0271	0.2284	0.6401	
B-葛根粉添加量	0.0027	1	0.0027	0.0228	0.8822	
C-泡打粉添加量	0.0003	1	0.0003	0.0025	0.9606	
D-水分添加量	3.11	1	3.11	26.24	0.0002	**
AB	2.00	1	2.00	16.89	0.0011	**
AC	2.27	1	2.27	19.10	0.0006	**
AD	0.3540	1	0.3540	2.99	0.1060	
BC	0.1980	1	0.1980	1.67	0.2172	
BD	3.31	1	3.31	27.94	0.0001	**
CD	0.4225	1	0.4225	3.56	0.0800	
A ²	2.66	1	2.66	22.44	0.0003	**
B ²	1.48	1	1.48	12.52	0.0033	**
C ²	0.4081	1	0.4081	3.44	0.0847	
D ²	0.0580	1	0.0580	0.4894	0.4956	
残差	1.66	14	0.1186			
失拟项	0.6703	10	0.0670	0.2709	0.9573	
纯误差	0.9896	4	0.2474			
总和	19.01	28				
R ²	0.9127					
R ² _{Adj}	0.8254					

注: “*”表示显著(P<0.05), “**”表示极显著(P<0.01)。

表 11, 并得到二次多项回归模型: $Z = -0.03 - 0.0475A - 0.015B - 0.005C + 0.509D + 0.706AB - 0.752AC + 0.298AD - 0.223BC - 0.910BD - 0.325CD + 0.640A^2 - 0.478B^2 - 0.251C^2 - 0.095D^2$, 由表 11 可知, 模型 $P < 0.01$, 表明此模型极显著, 失拟项 $P = 0.1255 > 0.05$, 失拟项不显著, 表明该回归方程拟合度较好。该模型决定系数 $R^2 = 0.9127$, 校正决定系数 $R^2_{Adj} = 0.8254$, 表明该模型的实际值与预测值具有良好的相关性, 具有统计学意义, 可以预测面糊配比的规范化综合评分。由 F 值可以看出, 对面糊配比规范化综合评分的影响大小为 $D > A > B > C$ 。

2.2.4 验证试验 根据响应面试验模型分析, 确定四种添加剂最优添加量为小麦粉添加量 20%、葛根粉添加量 4%、泡打粉添加量 0.6%、水分添加量为 59% 时, 感官评分为 88, 肉芯含水率为 62.24%, 含油率为 4.38%, 整体含水率为 50.16%, 含油率为 14.22%, 得到规范化综合评分为 1.60, 与预测值 1.66 基本一致, 说明运用响应面法优化小酥肉糊料配方准确可行。

3 结论

本文以小麦粉添加量、葛根粉添加量、泡打粉添加量和水分添加量为变量, 以感官评价、肉芯含水率、含油率、整体含水率、含油率为评价指标, 利用单因素实验和响应面-主成分结合分析确定小酥肉糊料最佳配比为: 小麦粉添加量 20%、葛根粉添加量 4%、泡打粉添加量 0.6%、水分添加量为 59%, 在此条件下制作的小酥肉感官品质最佳, 肉芯和整体的含水率和含油率均能达到最佳范围, 实验中添加了药食同源材料葛根粉, 不但改善了小酥肉的风味口感, 提高了小酥肉的营养价值, 有效降低了小酥肉中的油脂含量, 同时也为新型糊料的开发提供了一定的数据支持和理论依据, 为葛根粉的开发利用提供了一种新思路。但关于此种新型糊料增加含水率, 降低油脂含量的具体机制尚不明确, 此问题将为下一步的研究重点。

参考文献

- [1] 厉玉婷, 于艳艳, 杨振东, 等. 食用植物油煎炸过程中的品质变化[J]. 中国油脂, 2022, 47(2): 47-50. [LI Y T, YU Y Y, YANG Z D, et al. Quality changes in the frying process of edible vegetable oils[J]. China Fats and Oils, 2022, 47(2): 47-50.]
- [2] ALAM Z. Food frying: Chemistry biochemistry and safety [M]. New Jersey: Wiley-blackwell, 2019.
- [3] HUANG X Y, YOU Y, ZHANG H, et al. Effect of moderate electric field voltage on the quality and heat transfer characteristics of potato strips during deep-frying process[J]. Food Chemistry: X, 2023, 2: 100605.
- [4] 陈文卓, 邓勇, 张炜祥, 等. 响应面法优化油炸挂糊肉片的减脂工艺[J]. 食品安全导刊, 2022(23): 126-132, 138. [CHEN W Z, DENG Y, ZHANG W X, et al. Optimization of fat reduction process for deep-fried battered meat slices by response surface methodology[J]. Food Safety Guide, 2022(23): 126-132, 138.]
- [5] 李改, 赵改名, 李苗云, 等. 油炸条件对鸡胸肉剪切力的影响

- [J]. 江苏农业学报, 2011, 27(3): 648-651. [LI G, ZHAO G M, LI M Y, et al. Effect of frying conditions on the shear force of chicken breast[J]. Journal of Jiangsu Agriculture, 2011, 27(3): 648-651.]
- [6] ZENG H, CHEN J W, ZHAO J L, et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 73: 425-431.
- [7] PONGSAWATMANIT R, KETJARUT S, CHOOSUK P, et al. Effect of carboxymethyl cellulose on properties of wheat flour-tapioca starch-based batter and fried, battered chicken product[J]. Agriculture and Natural Resources, 2018, 52(6): 565-572.
- [8] ZHANG L W, YANG M D, JI H F, et al. Some physicochemical properties of starches and their influence on color, texture, and oil content in crusts using a deep-fat-fried model[J]. CyTA Journal of Food, 2014, 12(4): 347-354.
- [9] PARK S Y, KIM H Y. Effect of lyophilized chive (*Allium wakegi* Araki) supplementation to the frying batter mixture on quality attributes of fried chicken breast and tenderloin[J]. Food Chemistry: X, 2022, 13: 100216.
- [10] 邱婧然, 张孟, 蔡双天, 等. 模糊数学结合响应面法优化葛根红枣饼干配方[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(4): 86-92. [QIU J R, ZHANG M, CAI S T, et al. Fuzzy mathematics combined with response surface methodology to optimize the formulation of *Pueraria mirifica* red date biscuits[J]. Food and Fermentation Science and Technology, 2022, 58(4): 86-92.]
- [11] YANG Y F, LI M X, LIU Q S, et al. Starch from *Pueraria lobata* and the amylose fraction alleviates dextran sodium sulfate induced colitis in mice[J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 302: 120329.
- [12] 王娜, 武桢峰, 王晶晶, 等. 葛根粉在面点制品中的应用[J]. 农产品加工, 2022(6): 77-79. [WANG N, WU Z H, WANG J J, et al. Application of *Pueraria mirifica* powder in pastry products[J]. Agricultural Product Processing, 2022(6): 77-79.]
- [13] ANDREI M, SIMONE C, MARCELLO L, et al. Bioactive isoflavones from *Pueraria lobata* root and starch: Different extraction techniques and carbonic anhydrase inhibition[J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 112: 441-447.
- [14] SUN Y J, CAO S J, LIANG F N, et al. Puerol and pueroside derivatives from *Pueraria lobata* and their anti-inflammatory activity[J]. Phytochemistry, 2022, 205: 113507.
- [15] 李悦, 李晓娇, 张云娟, 等. 葛根淀粉可食膜的制备及其性能研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(12): 108-115. [LI Y, LI X J, ZHANG Y J, et al. Preparation of kudzu starch edible film and its performance study[J]. Food Research and Development, 2021, 42(12): 108-115.]
- [16] 李娜, 陈前, 贺晓光, 等. 响应面结合主成分分析优化燕麦饼干配方[J]. 现代食品, 2020(5): 76-82. [LI N, CHEN Q, HE X G, et al. Response surface combined with principal component analysis to optimize oatmeal cookie formulations[J]. Modern Food, 2020(5): 76-82.]
- [17] 刘雅宁, 张莹, 袁波, 等. 不同淀粉浆配方对小酥肉产品的影响研究[J]. 肉类工业, 2021(8): 42-47. [LIU Y N, ZHANG Y, YUAN B, et al. Study on the effect of different starch slurry formulations on small crispy meat products[J]. Meat Industry, 2021(8): 42-47.]
- [18] 王林. 微波复热对预调理小酥肉食用品质的影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(4): 124-128. [WANG L. Effect of microwave reheating on the edible quality of preconditioned small crispy meats[J]. China Seasoning, 2021, 46(4): 124-128.]
- [19] 计红芳, 张令文, 王方, 等. 糊的组成成分对挂糊油炸肉制品

- 品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(4): 384-389.
- [19] JI H F, ZHANG L W, WANG F, et al. Research progress on the influence of batter composition on the quality of battered fried meat products[J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38(4): 384-389.]
- [20] 苏宗祧, 何定兵, 徐斐, 等. 油炸食品吸油过程的机制分析[J]. 食品工业科技, 2010, 31(5): 157-159, 163. [SU Z T, HE D B, XU F, et al. Analysis of the mechanism of oil absorption process of fried food[J]. Food Industry Science and Technology, 2010, 31(5): 157-159, 163.]
- [21] 张令文, 王方, 计红芳, 等. 小麦面筋蛋白对挂糊油炸猪肉片外壳食用品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(9): 13-18. [ZHANG L W, WANG F, JI H F, et al. Effect of wheat gluten protein on the edible quality of battered and fried pork shells[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2018, 33(9): 13-18.]
- [22] 杨雪欣, 陈可靖. 降低挂糊油炸制品含油量的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(22): 376-382. [YANG X X, CHEN K J. Research progress in reducing the oil content of battered fried products[J]. Food Industry Science and Technology, 2021, 42(22): 376-382.]
- [23] 张令文, 计红芳, 马汉军, 等. 油炸过程中挂糊油炸猪肉片外壳食用品质的变化[J]. 现代食品科技, 2016, 32(5): 180-185. [ZHANG L W, JI H F, MA H J, et al. Changes in the edible quality of fried pork casing with batter during deep-frying[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(5): 180-185.]
- [24] 龙锦鹏, 刘金星, 罗丹, 等. 不同淀粉对传统小酥肉品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2019, 55(6): 30-34. [LONG J P, LIU J X, LUO D, et al. Effect of different starch on the quality of traditional small crispy meat[J]. Food and Fermentation Science and Technology, 2019, 55(6): 30-34.]
- [25] PEDRESCHI F, HERANADEZ P, FIGUEROA A C, et al. Modeling water loss during frying of potato slices[J]. International Journal of Food Properties, 2005, 8(2): 289-299.
- [26] 尹茂文, 宋蕾, 马瑞雪, 等. 涂膜对油炸猪肉丸品质的影响研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(13): 87-89, 102. [YIN M W, SONG L, MA R X, et al. Study on the effect of coating on the quality of deep-fried pork balls[J]. Food Industry Science and Technology, 2015, 36(13): 87-89, 102.]
- [27] 彭麒麟, 任美玲, 王博, 等. 不同预处理对甘薯片油炸特性的影响[J/OL]. 食品与发酵工业, 1-14[2024-01-11] <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034424>. [PENG Q Y, REN M L, WANG B, et al. Effect of different pretreatments on the frying characteristics of sweet potato chips[J/OL]. Food and Fermentation Industry, 1-14[2024-01-11] <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034424>.]
- [28] 陈雅恬, 蔡雪梅, 朱开宪, 等. 开花蚕豆烹饪工艺优化及品质分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 219-229. [CHEN Y T, CAI X M, ZHU K X, et al. Optimization of cooking process and quality analysis of flowering broad beans[J]. Food Industry Science and Technology, 2023, 44(11): 219-229.]
- [29] MANZOOR S, MASOODI F A, RASHID R, et al. Quality assessment and degradative changes of deep-fried oils in street fried food chain of Kashmir, India[J]. Food Control, 2022, 141: 1-9.
- [30] 崔莹莹. 挂糊油炸猪肉片嫩化工艺优化及机理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2020. [CUI Y Y. Optimization of the tenderization process and mechanism of hanging batter fried pork slices[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2020.]