

响应面法优化锅包肉炸制工艺

王敬涵, 邱万发, 滕浩, 杜密英, 戴瑞*

(桂林旅游学院休闲与健康学院, 桂林 541006)

摘要: **目的** 优化锅包肉炸制工艺。**方法** 以质构、色差、理化、感官为评价指标, 采用单因素试验考查淀粉种类、初炸温度、初炸时间、复炸温度、复炸时间对锅包肉品质的影响, 通过响应面法优化锅包肉的最佳工艺参数。**结果** 各影响因素对锅包肉的影响顺序为: 复炸温度>初炸时间>初炸温度>复炸时间, 初炸温度与复炸温度、初炸温度与复炸时间、初炸时间与复炸温度交互作用对感官评分的影响显著。最佳工艺条件为: 选用马铃薯淀粉, 通过初油炸温度 175 °C、初炸时间 100 s、复炸温度 210 °C、复炸时间 50 s, 在此条件下油炸锅包肉颜色均匀金黄、香气浓郁、软硬适中、具有良好的脆性和感官品质, 感官评分为 98.40 分。**结论** 优化后的工艺具有可行性, 可为锅包肉的工业化加工提供一定的理论依据。

关键词: 锅包肉; 油炸; 工艺优化; 响应面法

Optimization of fried processing of pot-wrapped meat by response surface method

WANG Jing-Han, QIU Wan-Fa, TENG Hao, DU Mi-Ying, DAI Rui*

(College of Leisure and Health, Guilin Tourism University, Guilin 541006, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the fried processing of pot-wrapped meat. **Methods** Taking texture, color difference, physical and chemical, and sensory as evaluation indicators, the effects of starch type, initial frying temperature, initial frying time, refrying temperature and refrying time on the quality of pot-wrapped meat were studied by single-factor experimental method, and the optimal process parameters of pot-wrapped meat were optimized by response surface methodology. **Results** The order of the influence factors on the pot-wrapped meat quality was refrying temperature>initial frying time>initial frying temperature>refrying time, the interaction between initial frying temperature and refrying temperature, initial frying temperature and refrying time, and initial frying time and refrying temperature had significant effects on sensory scores of pot-wrapped meat. The optimal process conditions were potato starch, initial frying temperature 175 °C, initial frying time 100 s, refrying temperature 210 °C, and refrying time 50 s, under these conditions, the pot-wrapped meat had uniform golden color, rich aroma, and had good crispness protection and sensory quality, and the sensory score was 98.40 points. **Conclusion** The optimized process is feasible, and provides a theoretical basis for the industrial processing of pot-wrapped meat.

KEY WORDS: pot-wrapped meat; fry; process optimization; response surface analysis

基金项目: 广西壮族自治区本级财政科技计划项目广西重点研发计划项目(2018AB49021)、2018 年度广西高校中青年教师基础能力提升项目(2018KY0680)

Fund: Supported by the Guangxi Zhuang Autonomous Region Financial Science and Technology Program at the Same Level (2018AB49021), and the 2018 Guangxi Colleges and Universities Young and Middle-aged Teachers Basic Ability Promotion Project (2018KY0680)

*通信作者: 戴瑞, 硕士, 讲师, 主要研究方向为大宗农产品加工。E-mail: 243589771@qq.com

*Corresponding author: DAI Rui, Master, Lecturer, College of Leisure and Health, Guilin Tourism University, No.26, Liangfeng Road, Yanshan District Guilin 541006, China. E-mail: 243589771@qq.com

0 引言

淀粉种类繁多, 有小麦淀粉、玉米淀粉、土豆淀粉、木薯淀粉、豌豆淀粉等, 在食品和菜肴烹调过程中, 添加一定量淀粉会显著影响菜品的感官品质^[1]。锅包肉是中国名菜之一, 口感酥脆、外焦里嫩, 深受人们喜爱, 其脆度由猪肉外表皮所包裹的淀粉糊经高温油炸产生, 受挂糊原料淀粉种类、炸制时间、炸制温度等因素的影响^[2]。挂糊油炸是烹调工艺的一道重要加工工序, 根据烹制菜品的特点和要求, 将经过预处理的原料表面均匀地涂上一层淀粉糊, 油脂作为传热介质, 通过炸、煎烹调方法使其成熟, 采用复炸法制更能使成品达到外酥里嫩、色泽金黄的效果^[3]。ZHANG 等^[4]研究了马铃薯、木薯、红薯、玉米、绿豆淀粉制糊, 对挂糊油炸猪肉片外壳糊脆度和硬度的影响, 结果显示, 豌豆淀粉制糊的样品硬度最高, 木薯淀粉的脆性最低。王方等^[5]研究响应面法优化挂糊油炸猪肉片外壳的面糊组成, 利用 Box-Behnken 试验设计和响应面分析法对影响产品外壳的 3 个主要因素进行优化, 最终得出感官评分最高的工艺条件为添加淀粉 40%、泡打粉 1%、食盐 1.5%、水粉质量比为 1.3:1。李兴武等^[3]通过感官评价对锅包肉品质进行研究, 发现玉米淀粉挂糊炸制品品质最佳。以上研究主要集中在淀粉种类及炸制工艺对挂糊油炸猪肉片品质的影响方面, 而针对锅包肉炸制工艺条件的系统研究和优化尚未见报道, 且随着食品工业现代化、标准化生产技术的提高, 传统菜肴逐渐从餐桌走向预包装食品, 这个过程需要大量研究对相关生产工艺条件进行优化^[6-7]。因此, 本研究通过响应面法优化锅包肉生产关键工艺中的油炸条件, 考察裹糊种类、2 次油炸时间及温度对锅包肉的品质影响, 以期对锅包肉的规范化、标准化及工业化生产提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

马铃薯淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉(新乡良润全谷物食品有限公司); 芋头粉(徐州大自然食品有限公司)。

TMS-Pilot 质构仪(美国 FTC 公司); CM-5 分光测色计(日本柯尼卡美能达公司); JHD-262 红外炸炉(伊诺机械设备有限公司); DHG-9030A 鼓风干燥箱(上海一恒仪器有限公司); ME204E 电子天平(上海梅特勒托利多公司); UV759 紫外可见光光度计(上海精密科学仪器有限公司); I-350 L 索氏抽提器(上海秉越电子仪器有限公司); HH-4 恒温水浴锅(江苏杰瑞尔电器有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

里脊肉切片浸泡→(葱、姜、料酒、盐)腌制→调糊(淀

粉充分吸水溶胀)→肉片裹糊→初炸、复炸→成品→冷却室温, 进行分析。

操作要点: 选择猪里脊肉切成厚 0.5 cm×长 6 cm×宽 3 cm 的片; 浸泡出血水; 加适量料酒、盐等腌制 5 min 备用^[2]。分别将 300 g 马铃薯淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉、芋头粉和 1000 g 水充分混合成水淀粉^[8], 让淀粉充分吸水膨胀, 静置 1 h 后, 取淀粉糊备用。升油温, 将淀粉均匀包裹肉片进行挂糊下锅中进行初炸、复炸, 成品检验^[9]。

1.2.2 单因素试验设计

(1) 淀粉种类对锅包肉品质影响

在初炸温度为 175 °C、初炸时间为 110 s、复炸温度为 205 °C、复炸时间为 35 s 的条件下, 以马铃薯淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉、芋头粉调糊炸制, 冷却至室温后对锅包肉进行感官评价、质构及色差分析。

(2) 初炸温度对锅包肉的品质影响

以马铃薯淀粉为原料, 设定初炸温度分别为 165、175、185、195 °C, 初炸时间为 110 s、复炸温度为 205 °C、复炸时间为 35 s, 炸制冷却至室温后对锅包肉进行感官评价、质构及色差分析。

(3) 初炸时间对锅包肉的品质影响

以马铃薯淀粉为原料, 设定初炸温度为 175 °C, 初炸时间分别为 90、100、110、120 s, 复炸温度为 205 °C、复炸时间为 35 s 的条件下进行炸制, 冷却至室温后对锅包肉进行感官评价、质构及色差分析。

(4) 复炸温度对锅包肉的品质影响

以马铃薯淀粉为原料, 初炸温度为 175 °C、初炸时间为 110 s, 复炸温度分别为 185、195、205、215 °C、复炸时间为 35 s 的条件下进行炸制, 冷却至室温后对锅包肉进行感官评价、质构及色差分析。

(5) 复炸时间对锅包肉的品质影响

以马铃薯淀粉为原料, 初炸温度为 175 °C、初炸时间为 110 s, 复炸温度分别为 205 °C、复炸时间为 15、25、35、45 s 的条件下进行炸制, 冷却至室温后对锅包肉进行感官评价、质构及色差分析。

1.2.3 炸制工艺优化

以感官评分为评价指标^[3], 初炸温度(A)、初炸时间(B)、复炸温度(C)、复炸时间(D)为自变量, 感官总评分 Y 为响应值, 对以上因素水平指标进行应用 Design-Expert 软件分析, 利用 Box-Behnken 进行 4 因素 3 水平的试验设计^[10-12], 因素水平见表 1。

表 1 试验因素水平表

Table 1 Test factor level table

试验水平	A 初炸温度 /°C	B 初炸时间 /s	C 复炸温度 /°C	D 复炸时间 /s
-1	165	90	195	35
0	175	100	205	50
1	185	110	215	65

1.2.4 指标测定

(1) 感官评定

组织 10 人组成评定小组, 从色泽、香味、口感、膨胀度方面对锅包肉不同炸制工艺进行感官评定, 评分标准参照表 2^[2-3]。

表 2 感官评分标准
Table 2 Sensory evaluation criteria

指标	评分标准	分值
色泽(30)	表面呈诱人金黄色泛微红	21~30
	肉片收缩, 表面呈浅黄色	11~20
	肉片卷缩, 表面呈黄褐色	0~10
香味(20)	有锅包肉特有香气, 无异味	15~20
	有锅包肉香气, 不够浓郁, 无异味	8~14
	味道不香, 带有焦糊味, 有异味	0~7
口感(30)	外壳酥脆, 肉质软嫩, 容易咀嚼	21~30
	外壳口感较酥脆, 肉质软嫩	11~20
	外壳过硬, 肉质较老, 咀嚼困难	0~10
膨胀度(20)	表面适度膨胀, 形状规则, 肉片平整	15~20
	表面有所膨胀, 形状较规则	8~14
	不膨胀或过度膨胀, 表面形状不规则	0~7

(2) 脆度测定

脆性是影响油炸食物品质的重要因素, 它是通过质构仪模拟人咬碎样品所需要的力, 剪切力越小脆性越好, 可通过测定样品的质构特性计算得出^[13-14]。质构仪仪器设定为单刀剪切程序, 力量感应元量程为 300 N, 起始力为 0.3 N, 测试速度为 30 mm/min, 回程速度为 100 mm/min, 将马铃薯淀粉、玉米淀粉、木薯淀粉、芋头粉 4 种淀粉糊制成的锅包肉分别放置仪器台上测试, 测试样品统一规格为(厚 0.5 cm×长 3 cm×宽 1 cm), 测试最大剪切力^[15]。

(3) 色差测定

黑白版校准, 利用色差仪测定样品的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值, 平行测量 3 次, 求平均值。 L^* 表示黑白或者亮暗, +表示偏亮, -表示偏暗; a^* 表示红绿, +表示偏红, -表示偏绿; b^* 表示黄蓝, +表示偏黄, -表示偏蓝^[16]。

(4) 其他指标测定

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中 105 °C 直接干燥法对样品进行水分含量的测

定; 参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索式提取法进行脂肪含量测定; 参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的分光光度法进行蛋白质含量测定。

1.3 数据处理

数据采用 Microsoft Excel 2007 软件与 Statistix 8.0 软件进行处理, Duncan 多重分析检验显著性, $P < 0.05$ 表示具有统计学差异。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 淀粉种类对锅包肉品质影响

玉米淀粉、马铃薯淀粉、木薯淀粉、芋头粉对锅包肉品质和色差影响结果见表 3 和表 4。由表 3 可知, 裹糊后的水分、脂肪、蛋白质含量均大于空白样($P < 0.05$), 4 种淀粉均能较好地保持锅包肉的水分和营养物质(脂肪和蛋白质)。由表 4 可知, 经过挂糊处理后, 锅包肉裹糊亮度、黄红色差均高于干炸空白样($P < 0.05$)。其中, 以玉米淀粉裹糊的色泽金黄明亮, 芋头粉较暗, 但是玉米淀粉脆度及炸后膨胀度较马铃薯及木薯淀粉欠佳。

淀粉、水分、蛋白质、脂肪经高温油炸后结构会发生改变, 在内部空间形成网格, 从而影响产品的脆性^[17-18]。脆度对应的剪切力的高低可直接反应其内部肉质嫩度, 剪切力越小, 内部肉质嫩度越高。嫩度测定结果为马铃薯淀粉 > 木薯淀粉 > 玉米淀粉 > 芋头淀粉 > 空白样, 马铃薯淀粉与玉米淀粉、芋头粉、空白样之间的嫩度存在显著性差异($P < 0.05$), 脆度最低为 24.01 N, 肉质最嫩; 玉米淀粉、芋头粉剪切力较大, 样品肉质发柴, 肉片表面干硬, 这可能与淀粉性质有关^[1]。感官评分结果显示, 马铃薯淀粉 > 玉米淀粉 > 木薯淀粉 > 芋头淀粉 > 空白样。玉米淀粉感官评分略高于木薯淀粉($P > 0.05$), 这是由于玉米淀粉在炸制锅包肉后虽然表面干、脆度差但是体系状态维持较好, 而木薯淀粉炸制锅包肉放置 5 min 后表面回软、酥脆度下降, 影响评分。综上, 后续试验选择马铃薯淀粉为原料进行裹糊炸制。

表 3 不同淀粉对锅包肉品质影响
Table 3 Effects of different starches on the quality of pot-wrapped meat

淀粉	感官评分/分	脆度/N	水分/%	脂肪/%	蛋白质/%
玉米淀粉	83.80±2.14 ^b	30.46±2.88 ^{bc}	54.16±0.36 ^a	2.98±0.02 ^b	19.26±0.46 ^c
马铃薯淀粉	89.00±2.21 ^a	24.01±2.01 ^d	53.05±1.04 ^{ab}	3.45±0.22 ^a	22.09±1.67 ^a
木薯淀粉	81.20±4.98 ^b	26.19±1.63 ^{cd}	50.71±0.34 ^c	2.98±0.07 ^b	21.67±2.3 ^a
芋头粉	71.70±4.71 ^c	34.68±3.28 ^b	52.62±0.38 ^b	2.87±0.06 ^b	20.58±2.09 ^b
空白(不挂糊)	67.30±3.46 ^d	79.81±3.5 ^a	36.31±1.33 ^d	2.57±0.10 ^c	16.21±0.62 ^d

注: a~d, 相同字母表示无显著性差异($P > 0.05$); 标注不同字母表示具有显著性差异($P < 0.05$), 下同。

表 4 不同淀粉对锅包肉色差影响

Table 4 Effects of different starches on color difference of pot-wrapped meat

淀粉	L^* 值	a^* 值	b^* 值
玉米淀粉	56.84±0.84 ^a	4.18±0.10 ^b	17.29±0.34 ^a
马铃薯淀粉	52.83±0.66 ^b	3.16±0.15 ^c	10.46±0.39 ^b
木薯淀粉	47.31±0.58 ^c	2.45±0.22 ^d	10.60±0.52 ^b
芋头粉	52.13±0.74 ^b	3.03±0.02 ^{cd}	10.79±0.57 ^b
空白(不挂糊)	40.96±0.34 ^d	5.89±0.355 ^a	8.07±0.21 ^c

2.1.2 初炸温度对锅包肉的品质影响

初炸温度对锅包肉品质和色差的影响结果见表 5~6。炸制温度在 165、175、185 °C 时, 温度升高, 感官评分增加, 175 与 185 °C 之间无显著性差异($P>0.05$)。随着炸制温度的升高, 锅包肉外壳颜色从黄变褐, 黄度下降。另外, 初炸油温过低难以使面糊定型和膨胀, 油温过高会使淀粉微晶粒中的水分大量流失^[9], 对于锅包肉来说, 含水量越高, 咀嚼时产生鲜香味越足, 但是随着炸制温度升高, 含水率显著下降($P<0.05$), 165 与 175 °C 炸制锅包肉的含水率显著高于 185

和 195 °C ($P<0.05$)。随着油炸温度的升高, 锅包肉中的脂肪含量被榨出而显著降低($P<0.05$), 油炸温度在 185~195 °C 时, 锅包肉中的脂肪含量继续降低, 但未达到显著性水平($P>0.05$), 蛋白质也随炸制温度得升高有所降低。锅包肉嫩度呈现先升高到降低趋势($P>0.05$), 以 175 °C 炸制的脆度最好, 肉质嫩度最高。这可能由于壳膜内的肉条随着温度的升高也逐渐失水, 肌肉组织逐渐紧实, 硬度变大所致^[19]。综上, 选择初炸温度 165、175、185 °C 进行响应面试验。

2.1.3 初炸时间对锅包肉的品质影响

初油炸时间对锅包肉的品质评价结果见表 7~8, 初炸 100 s 时感官品质最佳, 评分为 89.6 分, 研究表明油炸时间对色泽、水分、脂肪和蛋白质含量影响较大; 但是对脆度影响不显著; 初炸时间为 100 s 时的锅包肉的外观色泽最好; 随着初炸时间的增加, 硬度和咀嚼性不断减小, 感官评分下降。这是由于初炸时间过长, 颜色逐渐发焦, 肉内部组织失水使肉质逐渐变硬^[20]。综上, 选择初炸时间 90、100、110 s 进行响应面试验。

表 5 初炸温度对锅包肉品质影响

Table 5 Effects of initial frying temperature on the quality of pot-wrapped meat

初炸温度/°C	感官评分/分	脆度/N	水分/%	脂肪/%	蛋白质/%
165	82.10±3.28 ^b	26.80±6.29 ^a	57.38±1.02 ^a	3.81±0.58 ^a	19.86±0.45 ^a
175	87.30±2.75 ^a	21.61±5.02 ^a	56.52±0.71 ^a	3.03±0.06 ^b	18.74±0.48 ^b
185	88.90±3.81 ^a	23.16±1.17 ^a	51.74±0.92 ^b	3.09±0.17 ^b	17.00±0.79 ^c
195	86.00±3.12 ^a	23.59±1.08 ^a	47.22±0.83 ^c	2.81±0.14 ^b	18.11±0.22 ^b

表 6 初炸温度对锅包肉色差影响

Table 6 Effects of initial frying temperature on color difference of pot-wrapped meat

初炸温度/°C	L^* 值	a^* 值	b^* 值
165	61.05±0.04 ^a	4.44±0.03 ^b	18.82±0.27 ^a
175	48.03±0.49 ^{bc}	4.44±0.01 ^b	11.49±0.04 ^c
185	45.15±0.13 ^c	4.94±0.04 ^a	11.18±0.10 ^c
195	55.09±0.09 ^{ab}	3.29±0.13 ^c	15.75±0.29 ^b

表 7 不同初炸制时间对锅包肉品质影响

Table 7 Effects of initial frying time on the quality of pot-wrapped meat

初炸时间/s	感官评分/分	脆度/N	水分/%	脂肪/%	蛋白质/%
90	82.0±3.29 ^b	26.80±6.29 ^a	57.45±1.16 ^a	3.59±0.27 ^a	18.63±0.48 ^a
100	89.60±3.74 ^a	21.61±5.02 ^a	54.44±0.48 ^b	3.70±0.02 ^a	17.29±0.52 ^b
110	88.30±3.09 ^a	23.16±1.17 ^a	52.14±0.43 ^c	3.19±0.22 ^b	17.14±0.27 ^b
120	84.60±1.22 ^b	23.59±1.08 ^a	47.42±0.66 ^d	2.77±0.11 ^c	18.69±0.38 ^a

表 8 不同初炸制时间对锅包肉色差影响

Table 8 Effects of initial frying time on color difference of pot-wrapped meat

初炸时间/s	L^* 值	a^* 值	b^* 值
90	42.95±0.12 ^c	3.44±0.03 ^c	9.90±0.05 ^d
100	53.75±0.59 ^a	1.55±0.3 ^d	13.50±0.16 ^a
110	46.80±0.55 ^b	4.28±0.25 ^b	11.39±0.45 ^b
120	37.64±0.40 ^d	4.92±0.20 ^a	11.76±0.40 ^b

2.1.4 复炸温度对锅包肉的品质影响

初炸是将挂糊肉片炸熟、定型, 复炸可以逼出多余油

脂及水分, 形成外酥脆里嫩的特点并且口感进一步提升^[21]。表 9~10 是复炸温度对锅包肉的品质影响结果, 结果显示, 复炸温度在 205 °C 时口感及脆度最佳, 复炸温度对色泽、水分的影响较大, 温度升高, 锅包肉外壳色泽变化差异性显著, 复炸温度在 195 °C 时, 锅包肉色泽金黄, 215 °C 时, 锅包肉外壳明显变褐; 因随着温度升高失水率显著升高($P<0.05$), 造成感官上肉质、滋味、咀嚼性变差、表面硬度升高等, 感官评分下降^[22]。综上, 选择复炸温度 195、205、215 °C 进行响应面试验。

2.1.5 复炸时间对锅包肉的品质影响

复炸时间对锅包肉的品质影响结果见表 11~12, 结果显示, 随着复炸时间增长, 感官评分先增大后降低, 复炸时间在 25 s 时口感及脆度最佳, 复炸时间在 45 °C 时, 锅包肉内部失水过多, 口感变硬发柴。水分随着复炸时间增长显著降低; 脂肪、蛋白质在复炸 15、25、35 s 时差异性变化不显著($P>0.05$), 炸制时间继续延长, 脂肪和蛋白质含

量开始显著降低($P<0.05$), 营养价值下降; 炸制 35 s 时色泽品质最佳。锅包肉在贮藏期会吸收内部肉质的水分, 使脆度逐渐下降, 最终与外界环境趋于平衡, 其脆性劣变受到其自身水分迁移和外界环境的双重影响^[2], 为了满足锅包肉具有良好的色泽及贮藏期, 在不较大影响锅包肉色泽及风味的基础上, 选择更为较长时间进行复炸。综上, 选择复炸时间 35、50、65 s 进行响应面试验。

表 9 复炸温度对锅包肉品质影响

Table 9 Effects of re-frying temperature on the quality of pot-wrapped meat

初炸温度/°C	感官评分/分	脆度/N	水分/%	脂肪%	蛋白质%
185	80.30±2.7 ^c	19.99±1.70 ^a	58.21±0.3 ^a	3.40±0.05 ^a	20.45±0.52 ^a
195	86.90±2.88 ^b	18.55±2.70 ^a	54.10±0.11 ^b	3.50±0.16 ^a	17.97±0.85 ^b
205	90.20±3.04 ^a	16.98±2.49 ^a	52.69±0.68 ^c	3.11±0.09 ^b	18.24±0.31 ^b
215	84.30±3.02 ^b	19.75±2.11 ^a	48.00±0.11 ^d	3.05±0.04 ^b	17.34±0.23 ^b

表 10 复炸制温度对锅包肉色泽影响

Table 10 Effects of re-frying temperature on color difference of pot-wrapped meat

初炸温度/°C	L^* 值	a^* 值	b^* 值
185	51.91±0.02 ^a	2.84±0.02 ^b	12.65±0.08 ^b
195	57.32±0.12 ^b	2.78±0.02 ^b	13.70±0.08 ^a
205	51.04±0.41 ^d	2.80±0.16 ^b	11.25±0.16 ^c
215	53.74±0.18 ^b	3.16±0.07 ^a	12.56±0.12 ^b

表 11 复炸时间对锅包肉品质影响

Table 11 Effects of re-frying time on the quality of pot-wrapped meat

复炸时间/s	感官评分/分	脆度/N	水分/%	脂肪/%	蛋白质/%
15	82.30±3.02 ^c	26.09±1.09 ^a	58.55±0.54 ^a	3.73±0.16 ^a	21.08±0.08 ^a
25	90.90±3.28 ^a	20.35±1.16 ^a	54.14±0.12 ^b	3.77±0.11 ^a	18.25±0.36 ^a
35	87.30±2.90 ^b	23.96±8.47 ^a	52.54±0.40 ^c	3.59±0.35 ^a	17.92±0.14 ^a
45	82.50±3.10 ^c	29.09±12.66 ^a	48.143±0.56 ^d	2.83±0.05 ^b	17.27±0.56 ^b

表 12 复炸时间对锅包肉色差影响

Table 12 Effects of different refrying time on color difference of pot-wrapped meat

复炸时间/s	L^* 值	a^* 值	b^* 值
15	48.24±0.09 ^a	1.83±0.04 ^c	9.75±0.10 ^c
25	47.45±0.31 ^d	2.11±0.2 ^b	11.26±0.44 ^b
35	53.10±0.144 ^a	2.62±0.14 ^a	12.33±0.1 ^a
45	51.05±0.02 ^b	1.09±0.11 ^d	9.70±0.27 ^c

表 13 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 13 Box-Behnken experimental design and result

试验号	初炸温度/°C	初炸时间/s	复炸温度/°C	复炸时间/s	感官评分/分
1	1	0	1	0	76.99
2	1	0	0	1	72.19
3	-1	0	1	0	89.32
4	0	0	-1	1	68.75
5	0	0	0	0	99.66
6	-1	0	0	1	74.64
7	1	-1	0	0	72.09
8	1	0	0	-1	79.08
9	1	0	-1	0	77.85
10	0	0	1	1	85.87
11	0	0	0	0	98.07
12	0	1	0	-1	71.96
13	0	0	1	-1	79.08
14	-1	-1	0	0	65.76
15	0	-1	1	0	86.30
16	0	1	1	0	74.68
17	0	-1	0	-1	66.14
18	-1	0	-1	0	66.06
19	-1	0	0	-1	63.8
20	0	0	0	0	96.95

2.2 响应面分析

2.2.1 响应面分析结果

响应面试验结果和模型方差分析见表 13、14, 由表 14 可知, F 值为 30.8, 模型的 $P<0.0001$, 表示该模型具有极显著性。失拟项 F 值为 3.07, 失拟度($P=0.1456>0.05$)不显著, 即模型能很好地预测结果。由 F 值大小可知, 各因素对响应值的影响强弱顺序为: 复炸温度>初炸时间>初炸温度>复炸时间。 C 、 AD 、 AC 、 BC , 以及 A 、 B 、 C 、 D 二次项对锅包肉炸制工艺影响极显著($P<0.01$)。采用 Design Expert V8.0.6 对数据进行处理, 经回归方程拟合后, 得到回归方程为: $Y=97.68+1.5A+1.74B+4.31C-0.53D-1.73AB-6.03AC-4.43AD-7.08BC-0.59BD+3.78CD-12.41A^2-15B^2-6.08C^2-14.19D^2$ 。

表 13(续)

试验号	初炸温度 /°C	初炸时间 /s	复炸温度 /°C	复炸时间 /s	感官评分/分
21	0	-1	-1	0	67.05
22	0	-1	0	1	62.96
23	0	0	0	0	98.75
24	0	1	0	1	66.40
25	0	0	0	0	94.95
26	1	1	0	0	71.89
27	0	1	-1	0	83.75
28	-1	1	0	0	72.47
29	0	0	-1	-1	77.06

2.2.2 交互作用分析

三维图和等高线能够检验自变量与其响应值之间的关系^[23-24]。由图 1 可知, AC、AD、BC、CD 两两交互作用响应面图坡度陡峭, 等高线密集, 与方差分析结果一致。

2.2.3 响应面模型验证

通过回归方程得到最佳工艺条件为初炸油温 174.56 °C、初炸时间 99.62 s、复炸油温 209.12 °C、复炸时间 50.67 s, 在此条件下油炸工艺的感官评分为 98.48 分; 方便工业化生产改进工艺条件为初油炸温度 175 °C、初炸时间 100 s、复炸温度 210 °C、复炸时间 50 s, 最终得分 98.40 分,

能更好的用于工业生产, 对锅包肉生产具有指导意义。

表 14 回归模型方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	显著性
模型	3526.95	14	251.92	30.8	<0.0001	**
A-初炸温度	27.12	1	27.12	3.32	0.0900	
B-初炸时间	36.23	1	36.23	4.43	0.0539	
C-复炸温度	222.91	1	222.91	27.26	0.0001	**
D-复炸时间	3.32	1	3.32	0.41	0.5344	
AB	11.94	1	11.94	1.46	0.2470	
AC	145.44	1	145.44	17.78	0.0009	**
AD	78.59	1	78.59	9.61	0.0078	**
BC	200.51	1	200.51	24.52	0.0002	**
BD	1.42	1	1.42	0.17	0.6836	
CD	57	1	57	6.97	0.0194	*
A ²	998.92	1	998.92	122.14	<0.0001	**
B ²	1458.66	1	1458.66	178.36	<0.0001	**
C ²	239.95	1	239.95	29.34	<0.0001	**
D ²	1305.34	1	1305.34	159.61	<0.0001	**
残差	114.49	14	8.18			
失拟	101.29	10	10.13	3.07	0.1456	
纯误差	13.2	4	3.3			
总和	3641.44	28				

注: **表示极显著(P<0.01); *表示显著(P<0.05)。

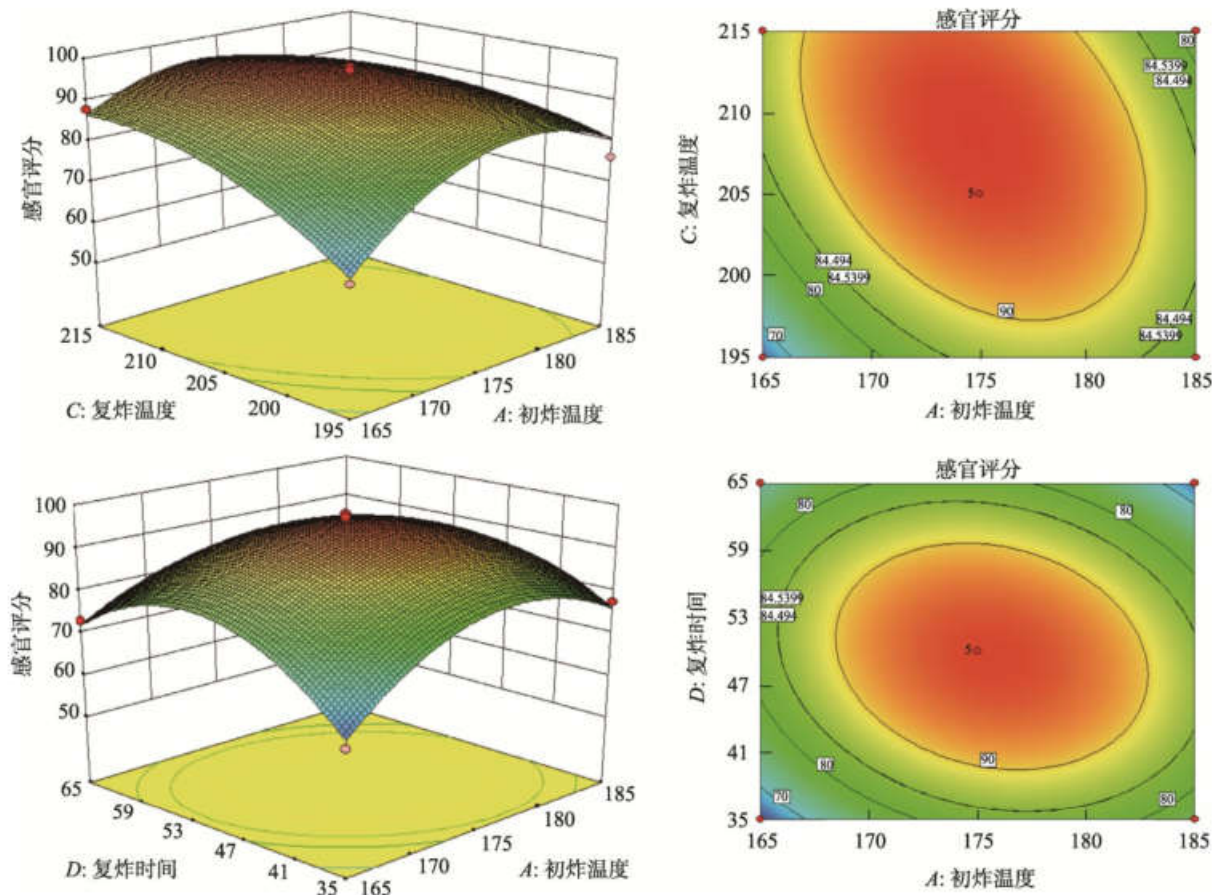


图 1 因素交互作用对感官评分影响的响应面及等高线图

Fig.1 Response surface and contour plots of the interaction of factors on the sensory scores

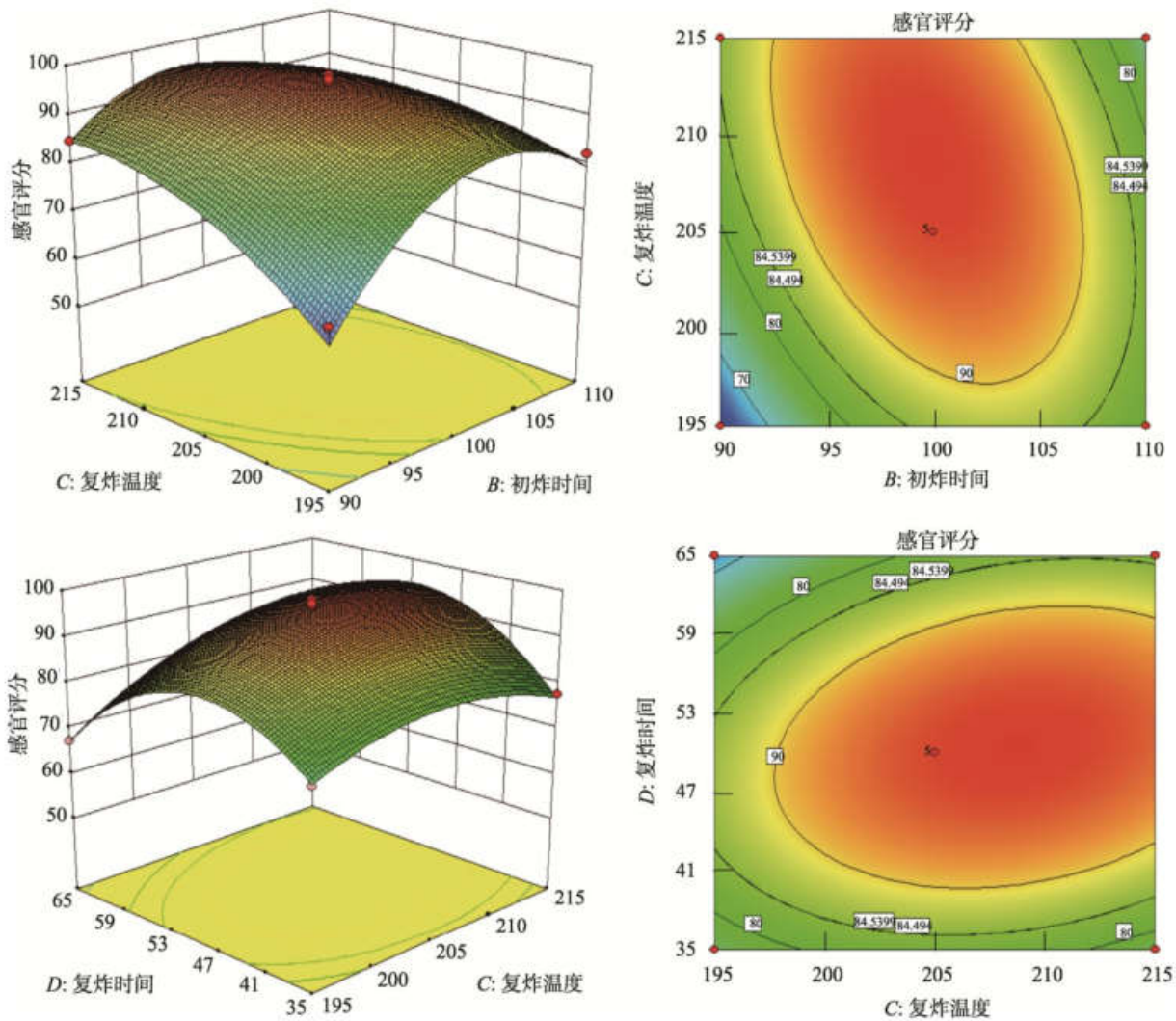


图1(续) 因素交互作用对感官评分影响的响应面及等高线图

Fig.1 Response surface and contour plots of the interaction of factors on the sensory scores

3 结论

挂糊油炸可使锅包肉达到色泽金黄、外酥里嫩的效果。其中不同淀粉糊包裹油炸对锅包肉品质影响较大,马铃薯淀粉糊对锅包肉的色泽、口感、滋味等感官品质较优,玉米淀粉糊、芋头粉糊炸制锅包肉外壳较硬,口感较差,但是芋头粉糊使得锅包肉带有芋香,香气较好;通过单因素试验设计以及 Box-Behnken 响应面分析原理建立以脆度、色泽、感官评分等为指标的锅包肉炸制工艺优化模型,该模型模型拟合度好,工艺具有可行性。最终确定了油炸工艺为初炸油温 175 °C、初炸时间 100 s、复炸油温 210 °C、复炸时间 50 s,在此条件下油炸锅包肉的感官评分为 98.40 分,具有良好的感官、质构特性与理化性质。

参考文献

[1] 杨雪欣, 陈可靖. 降低挂糊油炸制品含油量的研究进展[J/OL]. 食品工

业科技: 1-11. [2021-02-18]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020010222>

YANG XX, CHEN KJ. Research progress of reducing oil content of fried products after being coated with batter [J/OL]. *Sci Technol Food Ind*: 1-11. [2021-02-18]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020010222>

[2] 姚恒喆, 赵钜阳. 锅包肉短期贮存过程中的脆性劣变研究[J]. *包装工程*, 2020, 41(19): 22-30.

YAO HJ, ZHAO JY. Crispness deterioration of pot-wrapped meat in short-term storage [J]. *Pack Eng*, 2020, 41(19): 22-30.

[3] 李兴武, 章黎黎, 汪淳. 锅包肉的烹饪工艺及其影响因素研究[J]. *四川烹饪高等专科学校学报*, 2014, (1): 21-23.

LI XW, ZHANG LL, WANG C. Cooking techniques for guobao pork slices and their evaluation indexes [J]. *J Sichuan Tourism Univ*, 2014, (1): 21-23.

[4] ZHANG L, YANG M, JI H, *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-J Food*, 2014, 12(4): 347-354.

[5] 王方, 张令文, 计红芳, 等. 响应面法优化挂糊油炸猪肉片外壳的面糊

- 组成[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2016, 44(5): 21-27.
- WANG F, ZHANG LW, JI HF, *et al.* Optimization of batter composition of crusts from deep-fat-fried battered pork slices by response surface analysis [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2016, 44(5): 21-27.
- [6] 吴东和. 在挂糊工艺中淀粉的应用规律研究[J]. 扬州大学烹饪学报, 2005, (3): 43-46.
- WU DH. Study of the application regularity of starch in starching technology [J]. *J Res Diet Sci Cult*, 2005, (3): 43-46.
- [7] 赵廉. 烹饪用淀粉的种类、质量及用途[J]. 扬州大学烹饪学报, 2005, (4): 32-35.
- ZHAO L. Kinds, quality and uses of cooking starch [J]. *J Res Diet Sci Cult*, 2003, (4): 32-35.
- [8] 蔡雷雷. 淀粉在烹饪中的合理应用[J]. 现代食品, 2019, (13): 35-36.
- CAI LL. Rational application of starch in cooking [J]. *Mod Food*, 2019, (13): 35-36.
- [9] 张宇晴, 刘树萍, 邱雅楠, 等. 基于电子鼻分析油炸工艺对挂糊里脊风味的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(20): 5308-5312.
- ZHANG YQ, LIU SP, QIU YN, *et al.* Influence of frying technology on the flavor of the battered tenderloin based on the electronic nose analysis [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(20): 5308-5312.
- [10] SUN S, WANG S, LIN R, *et al.* Effect of different cooking methods on proton dynamics and physicochemical attributes in Spanish Mackerel assessed by low-field NMR [J]. *Foods*, 2020, 9(3): 364.
- [11] 王颖, 施瑞城. 响应面法优化罗非鱼干制汤汁速酿鱼露工艺[J]. 中国酿造, 2016, 35(4): 69-73.
- WANG Y, SHI RC. Fast-fermentation technology of fish sauce from remained soup with tilapia-drying process by response surface analysis [J]. *China Brew*, 2016, 35(4): 69-73.
- [12] 张文莉, 陈瑞, 苗敬芝. 响应面法优化油炸豌豆饼的加工工艺[J]. 中国调味品, 2021, 46(1): 107-111.
- ZHANG WL, CHEN R, MIAO JZ. Optimization of processing technology of fried pea cake by response surface method [J]. *China Cond*, 2021, 46(1): 107-111.
- [13] UPASANA Y, RAM R BS, SHALINI A. Evaluation of quality changes in nutritionally enriched extruded snacks during storage [J]. *J Food Sci Technol*, 2018, 55(10): 3939-3948.
- [14] KITA A. The influence of potato chemical composition on crisp texture [J]. *Food Chem*, 2002, 76: 173-179.
- [15] 陈伟, 陈建设. 食品的质构及其性质[J]. 中国食品学报, 2021, 21(1): 377-384.
- CHEN W, CHEN JS. Food texture and properties [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2021, 21(1): 377-384.
- [16] 朱莉莉, 傅茂润, 王新策, 等. 基于色差的冬枣甜度无损预测研究[J]. 中国果菜, 2021, 41(1): 26-32, 55.
- ZHU LL, FU MR, WANG XC, *et al.* Prediction research on non-destructive prediction of sweetness of jujube based on color difference [J]. *China Fruit Veget*, 2021, 41(1): 26-32, 55.
- [17] 杨铭铎, 邓云, 石长波, 等. 油炸过程与油炸食品品质的动态关系研究[J]. 中国粮油学报, 2006, (5): 93-97.
- YANG MZ, DENG Y, SHI CB, *et al.* Dynamic relationship between deep-frying process and quality of fried food [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2006, (5): 93-97.
- [18] JACOB TL, JALAL D, MICHAEL ON. Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2019, 92: 172-183.
- [19] 刘树萍, 邱雅楠, 张宇晴, 等. 油炸对挂糊里脊肉品质影响的研究[J]. 肉类工业, 2017, (8): 27-32.
- LIU SP, QIU YN, ZHANG YQ, *et al.* Study on the effect of frying on the quality of pork tenderloin with batter [J]. *Meat Ind*, 2017, (8): 27-32.
- [20] 李春红, 潘家荣, 张波. 物性测试仪对休闲食品酥脆性的测量[J]. 现代科学仪器, 2008, (6): 59-62.
- LI CH, PAN JR, ZHANG B. The crispness measurements of snack foods using texture analyzer [J]. *Mod Sci Inst*, 2008, (6): 59-62.
- [21] 张令文, 计红芳, 马汉军, 等. 油炸过程中淀粉功能特性的变化[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(9): 64-68.
- ZHANG LW, JI HF, MA HJ, *et al.* Study of oily compositions and antioxidant capacity in apocarya [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2016, 31(9): 64-68.
- [22] 杨丽红, 刘政权. 响应面法优化绿茶荞麦酥配方[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(4): 555-560.
- YANG LH, LIU ZQ. Optimization of the buckwheat tea crisp formula with response surface methodology [J]. *J Anhui Agric Univ*, 2015, 42(4): 555-560.
- [23] 徐响, 孙丽萍, 董捷. 响应面法优化蜂胶超临界二氧化碳萃取工艺的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(8): 86-89.
- XU X, SUN LP, DONG J. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of effective components from propolis using response surface methodology [J]. *Food Sci*, 2009, 30(8): 86-89.
- [24] 吴均, 黄传书, 赵珮, 等. 响应面法优化桑葚果酒发酵工艺及其品质分析[J]. 中国酿造, 2021, 40(1): 98-104.
- WU J, HUANG CS, ZHAO P, *et al.* Optimization of fermentation technology of mulberry wine by response surface methodology and quality analysis [J]. *China Brew*, 2021, 40(1): 98-104.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

作者简介



王敬涵, 硕士, 讲师, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。
E-mail: 827565278@qq.com



戴瑞, 硕士, 讲师, 主要研究方向为大宗农产品加工。
E-mail: 243589771@qq.com