

基于感官评价的预制回锅肉配料及其工艺优化

黄锐函¹, 雷春晓¹, 邢亚阁^{1*}, 周巧丽², 许青莲¹, 刘洪¹

(1. 西华大学食品与生物工程学院, 四川成都 611743) (2. 成都全益食品有限公司, 四川成都 611743)

摘要: 以预制回锅肉为原料, 探究预制回锅肉配料及其最佳工艺条件。为了提升预制回锅肉的感官品质并实现工业化生产的标准化, 该研究通过模糊数学评价法和响应面法, 系统优化了其配料及工艺参数。实验以炒料时间、配菜添加量、油添加量和酱料添加量为关键变量, 通过单因素实验确定各因素的适宜范围, 并采用响应面法分析其交互作用。结果表明, 最佳工艺条件为: 炒料时间 154 s、配菜添加量 54% (体积分数)、油添加量 22%、酱料添加量 24%, 并对预制回锅肉的感官品质进行权重分析, 权重集 $K=(\text{色泽 } 0.19, \text{香味 } 0.22, \text{滋味 } 0.32, \text{口感 } 0.27)$, 此时模糊数学感官评分为 89.72。验证实验证实了模型的可靠性。该研究为预制回锅肉的工业化生产提供了科学的工艺参数和理论依据, 对提升产品品质和标准化生产具有重要意义。

关键词: 预制回锅肉; 配料优化; 工艺优化; 模糊数学评价法; 响应面法

文章编号: 1673-9078(2026)6-305-314

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.6.0344

Optimization of Ingredients and Processing Technology for Prefabricated Twice-cooked Pork Based on Sensory Evaluation

HUANG Ruihan¹, LEI Chunxiao¹, XING Yage^{1*}, ZHOU Qiaoli², XU Qinglian¹, LIU Hong¹

(1.College of Food and Biological Engineering, Xihua University, Chengdu 611743, China)

(2.Chengdu Quanyi Food Co. Ltd., Chengdu 611743, China)

Abstract: Using pre-prepared twice-cooked pork as the raw material, the ingredients and optimal processing conditions for pre-prepared twice-cooked pork were investigated. To enhance the sensory quality of pre-prepared twice-cooked pork and achieve standardization in industrial production, this study systematically optimized its ingredients and process parameters using fuzzy mathematical evaluation and response surface methodology with stir-frying time, the amount of added side dishes, the amount of added oil, and the amount of added sauce as key variables. The appropriate ranges of each factor were determined through single-factor experiments, and their interactions were analyzed using the response surface methodology. The results indicated that the optimal processing conditions were as follows: stir-frying time, 154 s; side dish addition amount, 54% (volume fraction); oil addition amount, 22%; and sauce addition amount, 24%. A weight analysis was conducted on the sensory quality of pre-prepared twice-cooked pork, with the weight set $K=(\text{color } 0.19, \text{aroma } 0.22, \text{taste } 0.32, \text{and texture } 0.27)$. Under these conditions, the fuzzy mathematical sensory score was 89.72. The validation experiments confirmed model reliability. This study provides scientific process parameters and theoretical foundations for the industrial production of pre-prepared twice-cooked pork, holding significant

引文格式:

黄锐函,雷春晓,邢亚阁,等.基于感官评价的预制回锅肉配料及其工艺优化[J].现代食品科技,2026,42(6):305-314.

HUANG Ruihan, LEI Chunxiao, XING Yage, et al. Optimization of ingredients and processing technology for prefabricated twice-cooked pork based on sensory evaluation [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(6): 305-314.

收稿日期: 2025-03-11; 修回日期: 2025-07-07; 接受日期: 2025-07-08

基金项目: 四川省科技计划项目 - 跨区域创新合作项目 (2024YFHZ0207)

作者简介: 黄锐函 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: Huangr_h@163.com

通讯作者: 邢亚阁 (1980-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: xingyagel@163.com

importance for improving product quality and achieving standardized production.

Key words: prefabricated twice-cooked pork; ingredient optimization; processing optimization; fuzzy mathematics evaluation; response surface methodology

回锅肉作为川菜中极具代表性的经典菜肴，凭借其咸甜微辣、色泽红亮诱人、肥而不腻的独特风味，长久以来深受广大消费者的青睐与喜爱^[1]。在传统饮食文化中，回锅肉不仅是家庭餐桌上的常客，更是川菜馆中备受推崇的招牌菜品，承载着深厚的地域饮食文化内涵。然而，传统回锅肉的烹饪方式高度依赖厨师的个人经验，从食材的初步处理、火候的精准把控，到调料的添加时机与用量，每一环节都蕴含着厨师的技艺与心得。这种依赖经验的生产模式，使得回锅肉的制作工艺变得极为复杂，且缺乏统一、明确的标准，进而导致不同厨师甚至同一厨师在不同时间制作出的回锅肉风味存在较大差异，产品质量难以保持稳定^[5]。这种不稳定性严重制约了回锅肉从传统烹饪向工业化生产的转变，使其难以满足大规模、标准化生产的需求。预制菜肴的出现为解决这一问题提供了新的思路。它借助工业化设备进行生产，经过科学的包装处理后，消费者只需简单加热即可食用，极大地降低了烹饪的难度与时间成本^[2,3]。但我国方便菜肴产业起步相对较晚，与欧美、日本等发达国家相比，在生产技术、产品种类以及市场占有率等方面仍存在一定差距^[4]。中式菜肴种类繁多、工艺复杂，要实现其工业化转型，关键在于建立一套完善的标准化生产体系，涵盖工艺参数量化、设备自动化改造等多个关键环节^[5,6]。在调味料研究领域，热反应法制备的调味料在感官品质上展现出优于传统炒制法的优势，能够呈现出更为浓郁醇厚的风味^[7]。舒立新等^[8]学者开发的回锅肉风味复合调味料，不仅简化了烹饪流程，还成功保留了传统回锅肉的独特风味。此外，调味料的作用不仅局限于赋予菜肴独特风味，还能在一定程度上抑制有害物质的

生成^[9]。在感官评价方法方面，模糊数学评价法通过将感官特征进行量化处理，有效提高了评价结果的客观性与科学性，但在川菜调味料研发中的应用仍有待进一步深入研究^[10,11]。本研究选取典型配料，采用现代优化方法，旨在开发具有稳定优良感官品质的方便回锅肉调味配方，为相关产品的工业化生产提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猪五花肉，成都市红光镇沃尔玛有限公司；惠宜大豆油一级，成都市红光镇沃尔玛有限公司；耐高温纯铝箔真空袋（15×20 cm）22 丝，弘琦；二荆条青椒，成都市红光镇沃尔玛有限公司；蒜苗，成都市红光镇沃尔玛有限公司；回锅肉风味调味料料包，四川新希望味业有限公司。

1.2 仪器与设备

VF10TS 真空低温油炸机，成都世纪方舟科技有限公司；WF32-16MM 色差仪，深圳市福威光电科技有限公司；TW-BZJ-2-4 真空包装机，上海沃迪智能装备股份有限公司；DK-98- II 电热恒温水浴锅，天津市泰斯特仪器有限公司；ZG-8010 中心温度计，宁波赵记电器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

方便回锅肉制作流程如图 1。

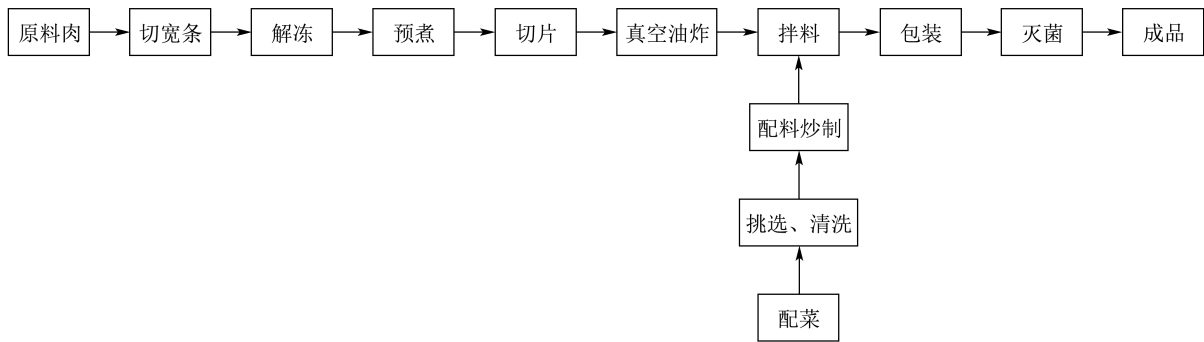


图 1 工艺流程
Fig.1 Process flow

1.3.2 操作要点

(1) 切宽条：洗净新鲜三元杂交商品猪腹部下五花部位的猪五花肉，分割成 5 cm 宽长条。

(2) 预煮：按肉料与水 1:3 质量比，将切好的肉块放入蒸煮锅，煮至肉块中心无血水渗出后捞出冷却，切割肉条宽度为 6 cm，预煮时长 30 min^[12]。

(3) 切片：把冷却肉料切成 1~5 mm 薄片，剔除肥瘦分离或无皮的肉片。

(4) 真空油炸：向真空油炸锅倒入约 30 L 执行标准 Q-02A3211S、质量等级一级的惠宜牌大豆油至油位 2/3 处，分批将五花肉片放入油炸框，设真空压力 0.086 MPa，油外静停 3 s，油炸框上升 2 s，油内静置 5 s，油炸温度 80~120 ℃，时间 1~5 min，炸后脱油 1 min。

(5) 配料炒制：锅中加油，加热至 160 ℃，加入酱料炒香，再放入二荆条、蒜苗等配菜拌匀。

(6) 拌料：将炒香的配料与油炸后的五花肉片按比例放入搅拌器拌匀。

(7) 包装：用真空包装机，以抽真空 50 s、热封温度档位 2、热封时间 100 s 的参数^[13]，将样品装入 22 丝耐高温纯铝箔（15×20 cm）真空袋。

(8) 灭菌：将包装好的回锅肉放入恒温水浴锅，80 ℃灭菌 30 min。

1.3.3 单因素实验设计

预设炒料时间 150 s，肉料比 1:1，配菜、秘制油、酱料在总配料中占比分别为 54%、28%、18%。在此基础上，探究炒料时间（60、90、120、150、180 s）、肉料比（1:1、1:2、1:3、1:4、1:5）、配菜添加量（42%、48%、54%、60%、66%）、秘制油添加量（16%、22%、28%、34%、40%）、酱料添加量（6%、12%、18%、24%、30%）等变量对方便回锅肉色泽和感官评分的影响，各添加物用量均为占总配料重量的百分比。

1.3.4 响应面试验设计

以单因素实验为基础，以炒料时间、配菜添加量、油添加量、酱料添加量为考察因素，以模糊综合感官评分为响应值，设计四因素三水平的响应面优化试验，确定方便回锅肉配料的最佳工艺条件^[14]，试验因素及因素水平如表 1。

1.3.5 色泽的测定

参考黄本婷等^[15]的方法，略微修改。经与标准色板进行校准后，将色差仪垂直于瘦肉的外表面，镜口紧贴肉面，分别记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值作为所测样品的亮度、红度和黄度。将同一条件下的 5 片样品随机选取 10 个不同位置进行测量，取其平均值进行记录。

表 1 应面试验设计因素和水平
Table 1 Factors and levels of response surface methodology

水平	因素			
	A 炒料时间/s	B 配菜添加量/%	C 油添加量/%	D 酱料添加量/%
+1	165	57	25	27
0	150	54	22	24
-1	135	51	19	21

1.3.6 模糊数学评价方法

1.3.6.1 感官评定小组的建立

参考高涛等^[16]的方法，稍作修改。感官评定小组由十位接受过感官评定专项培训的食品专业硕士研究生组成。评定时，将回锅肉样品置于白色餐盘，从色泽、香味、滋味、口感这 4 个感官指标进行评价^[17-19]。为保证评定独立、客观，每位品评人员间用白色隔板隔开，禁止交流。品评前 1 小时，品评人员严禁食用或饮用烟、酒、咖啡等刺激性食物和饮品。每组样品评价时间间隔为 10 min，以确保评定有序进行。

1.3.6.2 确定感官评定对象集

评定对象集是研究中需进行感官评定的样品集合，设为 $X, X=\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_i\}$ ， x_i 指不同条件处理的待测样品。

1.3.6.3 确定感官评定因素集

回锅肉的 4 个感官指标为色泽、香味、滋味、口感，因素集由这 4 个指标组成。设因素集为 $U, U=(u_1, u_2, u_3, \dots, u_i)$ ， u_i 为第 i 个因素。为方便回锅肉， u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 分别代表色泽、香味、滋味、口感。

1.3.6.4 确定感官评价评语集

评语集表示为 $V, V=(v_1, v_2, v_3, \dots, v_i)$ ， v_i 为第 i 级评定语。回锅肉评语等级设为 4 个， v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 分别表示优秀、良好、一般、较差，对应感官评定标准^[20]见表 2。

1.3.6.5 确定质量因素权重集

设定权重表示为 $K, K=(k_1, k_2, k_3, \dots, k_i)$ 。本实验采用用户调查法，从食品专业硕士研究生中随机抽取 30 人，让他们依据喜好，从色泽、香味、滋味、口感四方面按 10 分制打分，各因素分数与总分比值即为该因素权重值。

1.3.6.6 建立模糊矩阵

感官评定小组成员按评语集，对回锅肉样品的 4 个感官指标逐一评价，统计各因素在各等级的票数，用各等级票数除以参评人数，得出 4 个因素对 4 项评语的隶属度^[21]。依据模糊变换原理，建立所有评定样品从 U 到 V 的模糊关系矩阵 R 。

表 2 方便回锅肉感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation standards for convenient twice-cooked pork

等级	色泽 u_1	香味 u_2	滋味 u_3	口感 u_4
较差 v_4	色泽不均匀、暗淡，红黑色	回锅肉香味不足，微弱	无鲜香滋味，有异味或某种味道不足或太过突出	口感差，油水含量少或过多，缺乏鲜味
一般 v_3	色泽不均匀，暗淡，深红褐色	回锅肉香味淡，有点异味	回锅肉滋味一般，咸味或甜味略微不足或稍有突出，风味一般	口感一般，汁水较少或稍多，鲜味略淡
良好 v_2	色泽均匀，略暗，红褐色	回锅肉香味浓，无异味	回锅肉滋味较鲜，咸甜基本适口，有较佳风味	口感较好，汁水较可口，有一定鲜味
优秀 v_1	色泽均匀，红润、油亮	回锅肉香味浓郁、纯正	回锅肉醇厚鲜美，有独特鲜香风味	口感细腻，鲜香味足

1.3.6.7 计算模糊综合评价值

设定样品对各个因素的综合隶属度为 T ，用矩阵乘法有界算子计算 T ， $T=K\times R$ ，其中 K 是权重集， R 是模糊关系矩阵。设定回锅肉感官评定满分为 100，回锅肉评价等级优秀（ v_1 ）、良好（ v_2 ）、一般（ v_3 ）、较差（ v_4 ）分别赋予 100、80、60、40 分的分值，评语集 $V=(v_1,v_2,v_3,v_4)=(100,80,60,40)$ 。

1.3.7 数据分析

采用 Excel 2010 软件对试验数据进行统计分析，SPSS 26.0 进行显著性分析，用 Design-Expert 10.0.1 软件对响应面数据作图和优化分析，OriginPro 2021 软件对单因素数据作图。结果均以平均值 $\pm$ 标准差（ $n\geq 3$ ）表示，显著性水平 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 感官评定指标权重结果分析

采用模糊数学法评估食品感官质量，评定结果准确性受权重分配有效性直接影响。为确定回锅肉感官指标主观权重，实验用强制决定法分配权重。30 名食品专业硕士研究生对方便回锅肉感官评定，4 个感官指标（色泽、香味、滋味、口感）权重统计结果见表 3。参考刘丽雅等^[22]的权重集方法，即色泽 19 分、香味 22 分、滋味 32 分、口感 27 分作为权重系数的分配依据，色泽、香味、滋味、口感的权重系数分别为 0.19，0.22，0.32 和 0.27，总和为 1。表中显示，滋味权重最大，依次为口感、香味、色泽，权重集 $K=(\text{色泽 } k_1, \text{香味 } k_2, \text{滋味 } k_3, \text{口感 } k_4)=(0.19, 0.22, 0.32, 0.27)$ 。滋味是风味与味觉综合感知，Andersen 等^[23]分析水果饮料感官指标发现，消费者更关注风味喜好，对香味喜好关注最少，表明消费者更重视产品滋味，对色泽、香味关注少。类似地，王小玉等^[24]用模糊数学评价法给脆豌豆感官评价指标赋权时，也认为滋味权重应最高。

表 3 感官评价权重分布统计结果

Table 3 Statistical results of the weight distribution of sensory evaluation

学生序号	色泽 k_1	香味 k_2	滋味 k_3	口感 k_4
1	2	3	3	2
2	2	2	3	3
3	1	2	4	3
4	2	2	3	3
5	3	3	2	2
6	2	2.5	3	2.5
7	2	2	4	2
8	1	3	3	3
9	2.5	2	3	2.5
10	1	3	3	3
11	1	2	4	3
12	2	2	3	3
13	2	2.5	3.5	2
14	1	2	4	3
15	2	2	3	3
16	2	2	3	3
17	3	2	3	2
18	2	2.5	2.5	3
19	2	2	3	3
20	2	3	3	2
21	2.5	2.5	3	2
22	2	3	3	2
23	1	1	4	4
24	2	1	3	4
25	2	2	3	3
26	2	3	3	2
27	1.5	2	3.5	3
28	2	1	4	3
29	2	2	3	3
30	2	3	2	3
总计	56.5	67	94.5	82
权重	0.19	0.22	0.32	0.27

2.2 单因素实验结果分析

2.2.1 炒料时间对方便回锅肉感官品质的影响

炒制时长对方便回锅肉感官品质影响关键。炒制时水分蒸发并生成风味物质,不同时长对其感官品质影响如图2可知。随炒料时长增加,回锅肉亮度值 L^* 变化明显,先升后降,从60 s的38.13增至90 s的41.94,再降至180 s的36.01,或因炒制过久致酱料颜色变深^[25-27]。亮度减弱影响品质,各组红度值 a^* 与黄度值 b^* 无显著差。因炒料时油脂氧化产生醛类增风味^[28],炒料过长,酱料色深黏稠影响受欢迎度;炒料过短,调味料风味难形成致品质下降。综合考虑,取150 s炒料时间用于后续优化试验。

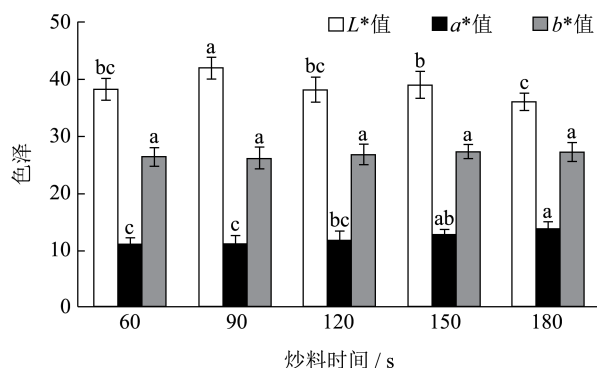


图2 炒料时间对方便回锅肉感官品质的影响

Fig.2 Effect of frying time on the sensory quality of convenient twice-cooked pork

注: 字母a、b、c、bc、ab之间表示显著性差异, a、b、c之间没有共有字母, 因此a、b、c存在显著性差异; 而a、b和ab存在共有字母a和b, 因此a、b和ab之间无显著性差异; 同理b、c和bc之间无显著性差异。下同。

2.2.2 肉料比对方便回锅肉感官品质的影响

肉料比指方便回锅肉拌料时五花肉片与配料比例。综合消费者偏好、成本等因素, 调研市面回锅肉菜品后, 选取1:1、1:2、1:3、1:4、1:5的肉料比进行单因素实验, 其对感官品质影响如图3可知。肉料比对 L^* 值、 b^* 值影响不显著, L^* 值随肉料比减小先增后略减, 1:2时为 42.78 ± 1.84 , 与1:3、1:4的 L^* 值无显著差异; 肉料比对 a^* 值影响较为显著, a^* 值随肉料比减小递增, 从11.70增至15.12, 各组间差异显著。肉有独特香气, 青椒、蒜苗有特征风味, 配料过多掩盖肉香, 过少会失去回锅肉特有滋味, 需合理搭配。综合考虑, 选1:4肉料比用于后续优化试验较合适。

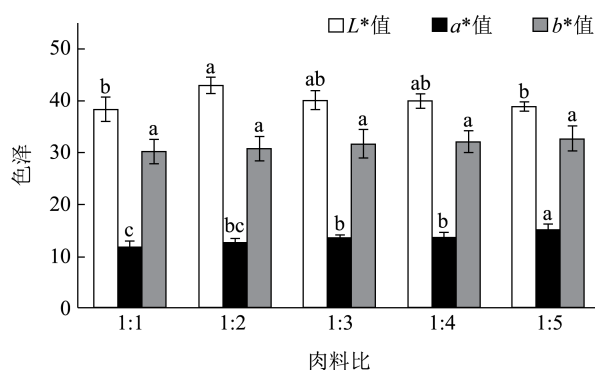


图3 肉料比对方便回锅肉感官品质的影响

Fig.3 Effect of meat to material ratio on the sensory quality of convenient twice-cooked pork

2.2.3 配菜添加量对方便回锅肉感官品质的影响

传统回锅肉经典配菜多为二荆条青椒与蒜苗, 改良研发方便回锅肉延续此选择, 本次实验主要配菜定为二者。实验探究不同配菜添加量对方便回锅肉感官品质影响, 结果如图4可知。 L^* 值随配菜添加量增加先增后趋缓, 42%、48%、54%添加量时 L^* 值分别为30.87、35.13、41.12, 差异显著; a^* 值先增后减, 54%时最高为14.94, 各处理组间差异显著; b^* 值下降, 从36.98降至29.41, 表明配菜直接影响酱体色泽。添加量偏离54%, 香味降低, 适量配菜增独特风味, 超范围则压制肉香、使色泽变浅, 或引消费者负面评价。综合考虑, 确定54%为较合适的配菜添加量。

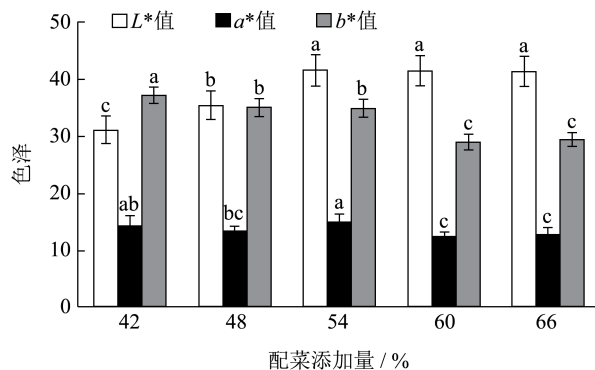


图4 配菜添加量对方便回锅肉感官品质的影响

Fig.4 Effect of side dishes addition on the sensory quality of convenient twice-cooked pork

2.2.4 油添加量对方便回锅肉感官品质的影响

回锅肉风味调味料的秘制油由菜籽油与猪油按特定比例熬制, 其添加量影响方便回锅肉感官品质如图5可知。 L^* 值与 a^* 值变化趋势一致, 随油添加量增加先增后趋缓, 油添加量16%时, L^* 值为33.62、 a^* 值为9.55, 与其余四组差异显著, 其余四组间差异

不显著。 b^* 值随油添加量增加而上升, 从 16% 时的 27.14 增至 40% 时的 44.22, 表明油添加量对配料黄度影响大。此时配料色泽、香味佳, 油添加量偏离 22%, 香味降低, 可能因热加工中油脂充当交换介质赋予食物风味与质地。综合考虑, 选油添加量 22% 为宜。

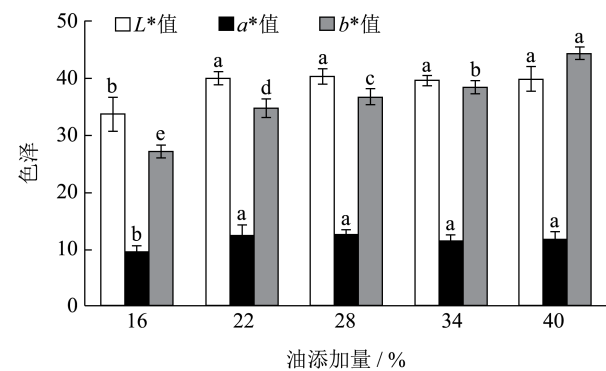


图 5 油添加量对方便回锅肉感官品质的影响
Fig.5 Effect of oil addition on the sensory quality of convenient twice-cooked pork

2.2.5 酱料添加量对方便回锅肉感官品质的影响

不同酱料添加量对方便回锅肉感官品质的影响如图 6 可知。 L^* 值随酱料添加量增加而下降, 从 6% 时的 47.10 降至 30% 时的 36.71, 各组间差异显著; a^* 、 b^* 值变化趋势相似, a^* 值从 6% 时的 8.61 增至 30% 时的 13.46, b^* 值从 31.80 增至 41.97, 表明酱料添加量对配料整体色泽影响显著, 豆瓣酱作用关键。酱料添加量为 24% 此时配料香味、滋味、口感俱佳; 超过 24%, 料体流动性差, 酱香味过浓。食盐和白糖添加量是影响滋味的重要因素^[29], 直接影响风味。综合考虑, 酱料添加量选 24% 为宜。

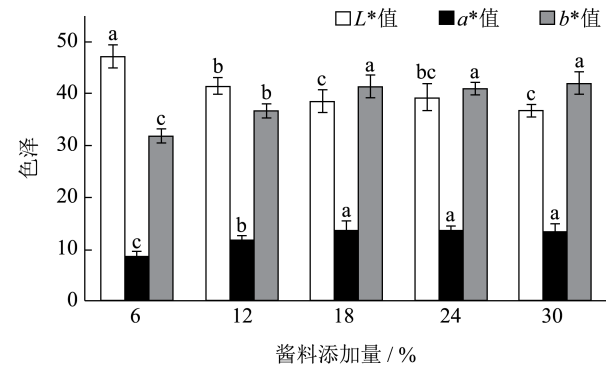


图 6 酱料添加量对方便回锅肉感官品质的影响
Fig.6 Effect of sauce addition on the sensory quality of convenient twice-cooked pork

2.3 响应面优化试验结果分析

2.3.1 模糊数学感官评价结果

感官评定小组针对响应面试验的 29 组回锅肉样

品, 从色泽、香味、滋味、口感这 4 个指标展开评定。经统计, 各等级票数分布结果详见表 4。

表 4 响应面试验感官评定票数分布
Table 4 Distribution of votes for sensory evaluation of response surface test

试验号	色泽				香味				滋味				口感			
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄
1	7	2	1	0	7	2	1	0	5	5	0	0	6	3	1	0
2	0	6	4	0	0	5	5	0	0	4	6	0	0	6	4	0
3	1	8	1	0	0	7	3	0	0	1	8	1	0	2	6	2
4	1	5	4	0	0	6	3	0	1	5	3	1	0	7	2	1
5	2	4	4	0	1	6	3	0	3	5	1	1	1	7	1	1
6	0	5	5	0	0	3	5	2	0	3	5	2	0	1	8	1
7	2	6	2	0	1	6	3	0	3	7	0	0	4	5	1	0
8	1	8	1	0	1	6	3	0	0	9	1	0	2	6	2	0
9	0	4	6	0	0	5	5	0	0	4	6	0	0	5	5	0
10	0	6	4	0	2	6	2	0	3	7	0	0	1	4	4	1
11	0	4	6	0	1	2	7	0	0	4	5	1	0	4	4	2
12	5	3	2	0	6	3	1	0	6	3	1	0	5	2	3	0
13	0	5	5	0	0	5	5	0	0	2	5	3	0	3	5	2
14	4	5	1	0	2	7	1	0	3	7	0	0	6	3	1	0
15	1	6	3	0	2	5	3	0	1	6	3	0	1	6	3	0
16	0	7	3	0	1	5	4	0	0	8	2	0	1	6	3	0
17	0	4	6	0	0	3	7	0	0	3	5	2	0	2	7	1
18	1	7	2	0	1	6	3	0	1	4	5	0	1	9	0	0
19	0	3	4	3	0	4	4	2	0	2	4	4	0	4	3	3
20	0	2	8	0	0	3	7	0	0	3	7	0	0	2	7	1
21	5	5	0	0	2	8	0	0	6	4	0	0	4	6	0	0
22	2	4	4	0	1	6	3	0	1	5	4	0	0	6	2	2
23	1	6	3	0	0	7	3	0	0	6	4	0	0	7	3	0
24	2	7	1	0	0	5	5	0	0	3	6	1	0	4	6	0
25	1	6	3	0	2	7	1	0	4	6	0	0	3	7	0	0
26	0	3	5	2	0	2	5	3	0	2	6	2	0	4	4	2
27	1	4	5	0	2	5	3	0	1	6	3	0	5	5	0	0
28	2	8	0	0	1	7	2	0	3	7	0	0	5	5	0	0
29	1	7	2	0	0	6	4	0	0	2	6	2	0	3	6	1

参考刘军等^[30]的计算方法,根据表4的感官评定票数分布结果,29组样品的各个感官指标的不同等级的得票数除以感官评定小组人数10,建立模糊矩阵 R_1 到 R_{29} 。则1号样品为:在色泽方面,7人评优秀、2人评良好、1人评一般、0人评较差,则 $R_{色泽}=(0.7,0.2,0.1,0)$,同理可知, $R_{香味}=(0.7,0.2,0.1,0)$, $R_{滋味}=(0.5,0.5,0,0)$, $R_{口感}=(0.6,0.3,0.1,0)$,即可得到 R_1 如下:

$$R_1=\begin{bmatrix}0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0\end{bmatrix}$$

(1)

结合表3中的权重集 $K=(0.19, 0.22, 0.32, 0.27)$,计算得出1号方便回锅肉样品的综合隶属度 T_1 为:

$$T_1=K\times R_1=(0.19, 0.22, 0.32, 0.27)\times\begin{bmatrix}0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0\end{bmatrix}$$

$$=(0.609, 0.323, 0.068, 0)$$

(2)

根据综合评定结果集 $Y=T\times V$,计算得到1号方便回锅肉样品的模糊数学综合感官评分 $Y_1=0.609\times100+0.323\times80+0.068\times60+0\times40=90.82$ 。同理可逐一计算出2~29号回锅肉样品的模糊数学综合感官评分,具体结果见表5。

2.3.2 响应面试验设计

运用Box-Behnken实验设计,将炒料时间(A)、配菜添加量(B)、油添加量(C)、酱料添加量(D)设为自变量,以模糊数学感官评分(Y)作为响应值,开展响应面优化分析。实验设计详情及结果见表5。

利用Design Expert 10.0.1数据分析软件对表中的实验数据进行分析,建立模型,经回归拟合得出模糊数学感官评分(Y)为目标函数的A、B、C和D四因素的二次多项回归方程:

$$Y=87.67+3.49A+2.45B+2.51C+2.50D+5.60AB+2.26AC+0.10AD-5.29BC+7.26BD-0.05CD-11.14A^2-10.34B^2-5.68C^2-5.55D^2$$

(3)

2.3.3 回归方差分析

方差分析可证明模型准确性^[31]。由表6方差分析结果,回归方程模型 $P<0.0001$,表明模型极其显,能准确体现响应值模糊数学感官评分(Y)与A、B、C、D的关联。模型失拟项P值为 $0.6593>0.05$,说明回归模型与实际试验拟合程度高,可信度高,可运用该回归方程预测方便回锅肉配料的最优工艺参数。

表5 响应面试验设计和结果
Table 5 Response surface design and results

试验	炒料时间 (A)	配菜添加 量(B)	油添加量 (C)	酱料添加 量(D)	感官评分 (Y)
1	0	0	0	0	90.82
2	0	1	1	0	70.28
3	-1	0	1	0	66.88
4	0	0	-1	-1	72.06
5	0	-1	1	0	77.28
6	-1	1	0	0	62.98
7	0	0	1	1	82.66
8	0	0	-1	1	78.48
9	-1	-1	0	0	67.84
10	1	1	0	0	77.70
11	-1	0	-1	0	66.28
12	0	0	0	0	87.62
13	0	1	0	-1	64.00
14	0	0	0	0	86.20
15	0	0	1	-1	76.44
16	0	1	-1	0	75.18
17	-1	0	0	-1	64.02
18	1	0	0	1	76.72
19	1	-1	0	0	60.14
20	0	-1	0	1	64.54
21	0	0	0	0	88.78
22	1	0	0	-1	73.20
23	0	-1	0	-1	73.74
24	1	0	-1	0	69.82
25	0	1	0	1	83.86
26	0	-1	-1	0	61.02
27	1	0	1	0	79.46
28	0	0	0	0	84.94
29	-1	0	0	1	67.14

该模型相关系数 $R^2=0.9724$,调整后决定系数 $R^2_{Adj}=0.9447$,表明模型能解释94.47%响应值的变化,回归模型可靠性和准确度较高。由表中系数显著性检验分析,一次项A、B、C、D,交互项AB、BC、BD及二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 对方便回锅肉感官评分影响极显著;交互项AC对感官评分影响显著;其他项影响不显著。

表 6 回归模型方差分析

Table 6 Variance analysis of regression equation

方差来源	均方差	自由度	平方差	F 值	P 值	显著性
回归模型	2 156.97	14	154.07	35.17	<0.000 1	**
A	146.30	1	146.30	33.40	<0.000 1	**
B	72.23	1	72.23	16.49	0.001 2	**
C	75.80	1	75.80	17.30	0.001 0	**
D	74.70	1	74.70	17.05	0.001 0	**
AB	125.66	1	125.66	28.69	0.000 1	**
AC	20.43	1	20.43	4.66	0.048 6	*
AD	0.04	1	0.04	9.131E-003	0.925 2	—
BC	111.94	1	111.94	25.55	0.000 2	**
BD	211.12	1	211.12	48.19	<0.000 1	**
CD	0.01	1	0.01	2.283E-003	0.962 6	—
A ²	804.27	1	804.27	183.59	<0.000 1	**
B ²	693.19	1	693.19	158.24	<0.000 1	**
C ²	209.10	1	209.10	47.73	<0.000 1	**
D ²	199.81	1	199.81	45.61	<0.000 1	**
残差	61.33	14	4.38			
失拟检验	40.56	10	4.06	0.78	0.659 3	—
纯误差	20.77	4	5.19			
总方差	2 218.30	28				
R ² =0.972 4 R ² _{Adj} =0.944 7						

注：“***” 差异极显著 ($P<0.01$)；“*” 差异显著 ($P<0.05$)；“—” 为差异不显著。

2.3.4 两因素间交互分析

根据表 6 回归模型方差分析结果，炒料时间与配菜添加量、配菜添加量与酱料添加量对模糊数学感官评分的影响最为显著，这与方差分析中显著性检验的结果相同，表明在预制回锅肉的生产过程中，需要精确控制这些关键因素的组合，以实现最佳的感官品质。各因素及因素间交互作用对响应值的影响显著程度，可通过响应曲面图陡峭程度与等高线图形状判断。两因素间交互作用见图 7~10。

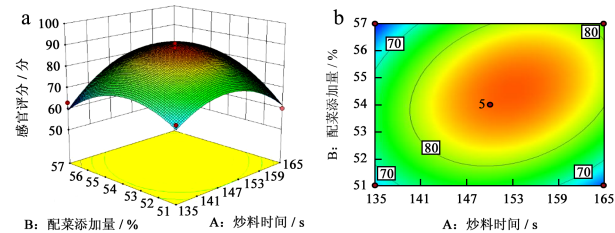


图 7 炒料时间与配菜添加量对方便回锅肉模糊数学感官评分影响的响应面和等高线

Fig.7 Response surface and contours of the effect of frying time and side dishes addition on the fuzzy mathematical sensory scores of convenient twice-cooked pork

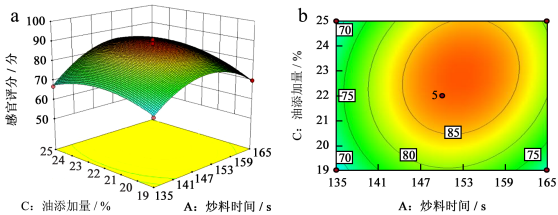


图 8 炒料时间与油添加量对方便回锅肉模糊数学感官评分影响的响应面和等高线

Fig.8 Response surface and contours of the effect of frying time and oil addition on fuzzy mathematical sensory scores of convenient twice-cooked pork

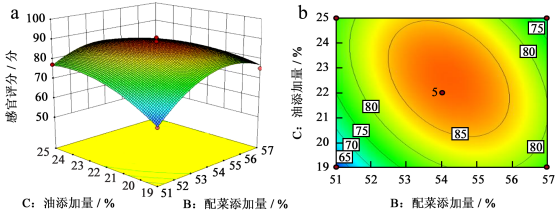


图 9 配菜添加量与油添加量对方便回锅肉模糊数学感官评分影响的响应面和等高线

Fig.9 Response surface and contours of the effect of side dishes addition and oil addition on fuzzy mathematical sensory scores of convenient twice-cooked pork

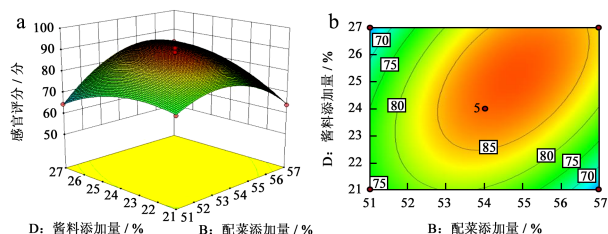


图 10 配菜添加量与酱料添加量对方便回锅肉模糊数学感官评分影响的响应面和等高线

Fig.10 Response surface and contours of the effect of side dishes addition and sauce addition on fuzzy mathematical sensory scores of convenient twice-cooked pork

从图 7 可清晰看出炒料时间与配菜添加量的交互作用。响应面图陡峭,随着两者上升,模糊数学感官评分先升后降。等高线密集且呈椭圆形,表明二者交互作用极为显著。

从图 8 能清晰看出炒料时间与油添加量的交互作用。响应面图坡度较陡,随二者增多,模糊数学感官评分先升后降。等高线呈均匀椭圆形,表明二者交互作用明显。

从图 9 可看到炒料时间与配菜添加量的交互作用。响应面图走势陡峭,随着添加量增加,模糊数学感官评分先升后降,等高线密集呈椭圆形,表明二者交互作用极其显著。

从图 10 能看到配菜与酱料添加量的交互作用。响应面图陡峭,随添加量提升,模糊数学感官评分先升后降,等高线密集呈椭圆形,表明二者存在极显著的交互作用。

2.4 验证试验

经响应面优化分析,方便回锅肉配料最佳工艺为:炒料时间 153.72 s,配菜添加量 54.91%,油添加量 22.38%,酱料添加量 25.27%,该条件下模糊数学感官评分模型预测值达 89.17。为验证,采用优化工艺开展实验,结合实际操作便利性,微调参数为:炒料时间 154s,配菜添加量 54%,油添加量 22%,酱料添加量 24%。实际测得模糊数学感官评分为 89.72,表明响应面法优化方便回锅肉配料工艺参数的结果精准可靠。

3 结论

该研究基于模糊数学评价法对预制回锅肉的感官品质进行评价,得到色泽、香味、滋味、口感 4 个感官指标的权重,分别为 0.19、0.22、0.32、0.27。通过单因素实验和响应面法分析了炒料时间、配菜添加量、油添加量、酱料添加量对感官评分的影响,建立了感官评价结果与各工艺参数的回归模型。结果表明:配

菜添加量对感官品质的影响最为显著,炒料时间次之,油添加量和酱料添加量的影响相对较小;各因素交互作用分析显示,炒料时间与配菜添加量、配菜添加量与酱料添加量的交互效应尤为突出。通过回归模型优化得到预制回锅肉的最佳工艺条件为:炒料时间 154 s、配菜添加量 54%、油添加量 22%、酱料添加量 24%,实际测得感官评分为 89.72,验证实验证实,该工艺条件下预制回锅肉的感官品质稳定优良,利用模糊数学-响应面法优化的工艺参数真实可靠,为预制回锅肉的工业化生产提供了科学依据。

参考文献

- [1] 咎博文,唐丽,白婷,等.预调理回锅肉在不同灭菌及贮藏条件下挥发性风味物质的变化分析[J].中国食品添加剂,2023,34(3):42-55.
- [2] 王卫,张锐,张佳敏,等.预制菜及其研究现状、存在问题和发展展望[J].肉类研究,2022,36(9):37-42.
- [3] MATHIAS K C, NG S W, POPKIN B. Monitoring changes in the nutritional content of ready-to-eat grain-based dessert products manufactured and purchased between 2005 and 2012 [J]. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 2015, 115(3): 360-368.
- [4] CHANDRASEKARAN S, RAMANATHAN S, BASAK T. Microwave food processing-A review [J]. Food Research International, 2013, 52(1): 243-261.
- [5] PENG C J, LIN C Y, GUO H R. A comparison of food supply from 1984 to 2009 and degree of dietary westernization in Taiwan with Asian countries and world continents [J]. Biomed Research International, 2015, 2015: 628586-628598.
- [6] CANDELIER R, BOIS A, TRONCHE S, et al. A semi-automatic dispenser for solid and liquid food in aquatic facilities [J]. Zebrafish, 2019, 16(4): 401-407.
- [7] YILDIRIM S, ROCKER B, PETTERSEN M K, et al. Active packaging applications for food [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018, 17(1): 165-199.
- [8] 舒立新,李清,高宇思,等.回锅肉风味复合调味料的研制[J].中国调味品,2020,45(4):132-135.
- [9] 张静,张迪,车振明,等.调味料对鱼香肉丝风味品质的影响[J].美食研究,2023,40(1):80-87.
- [10] KWON J, KIM I, MOON B, et al. The effects of different cooking methods and spices on the formation of 11 HCAs in chicken wing and pork belly [J]. Food Control, 2023, 147: 109572.
- [11] 徐赵萌,王明,丁洁,等.复合调味料对真空包装海鲈鱼片的保鲜性能[J].中国调味品,2022,47(8): 106-110,114.
- [12] 黄锐函,潘洪杰,杨爽,等.响应面-主成分分析法优化五花肉片真空油炸工艺研究[J].食品工业科技,2023,44 (18):225-234.
- [13] 郭娅慧,吴海玥,胡蓉,等.不同包装方式对牛排预制品的品质影响[J].青海畜牧兽医杂志,2024,54(4):17-23.
- [14] 谢兰心.响应面法优化黑布林皮色素提取工艺[J].农产品加工,2021,19:56-58.
- [15] 黄本婷,张佳敏,王卫,等.不同加工工艺对预调理回锅肉的品质影响[J].中国调味品,2020,45(3):11-14.

- [16] 高涛,罗黄洋,吴韧,等.主客观组合权重法在食品感官评价中的应用[J].食品工业科技,2021,42(18):300-307.
- [17] GAO H, CHAI H K, CHENG N, et al. Effects of 24-epibrassinolide on enzymatic browning and antioxidant activity of fresh-cut lotus root slices [J]. Food Chem, 2017, 217: 45-51.
- [18] ALI S, KHAN AS, ANJUM MA, et al. Effect of postharvest oxalic acid application on enzymatic browning and quality of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root slices [J]. Food Chem, 2020, 312: 126051.
- [19] WONG J X, RAMLI S, DESA S, et al. Use of Centella asiatica extract in reducing microbial contamination and browning effect in fresh cut fruits and vegetables during storage: A potential alternative of synthetic preservatives [J]. LWT-Food Science Technol, 2021, 151: 112229.
- [20] CANDELIER R, BOIS A, TRONCHE S, et al. A semi automatic dispenser for solid and liquid food in aquatic facilities [J]. Zebrafish, 2019, 16(4): 401-407.
- [21] YU Y, WANG G, SUN Y, et al. Changes in physicochemical parameters, free fatty acid profile and water-soluble compounds of Yunnan dry-cured beef during processing [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(4):e14380.
- [22] 刘丽雅,裴广众,裴硕磊,等.模糊综合评判法在梨罐头感官评价中的应用[J].食品工业,2022,43(8):151-154.
- [23] ANDERSEN B V, BROCKHOFF P B, HYLDIG G. The importance of liking of appearance, -odour, -taste and -texture in the evaluation of overall liking. A comparison with the evaluation of sensory satisfaction [J]. Food Quality and Preference, 2019, 71: 228-232.
- [24] 王小玉,王亚兰.模糊数学分析优化以干豌豆为原料的脆豌豆的加工工艺[J].中国调味品,2023,48(3):142-145.
- [25] 萨日盖.驼肝酱配方、加工工艺优化及贮藏过程中的品质变化[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [26] ZHAO J, WANG M, XIE J, et al. Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig [J]. Food Chemistry, 2017, 226: 51-60.
- [27] BASSAM S M, NOLETO-DIAS C, FARAG M A. Dissecting grilled red and white meat flavor: Its characteristics, production mechanisms, influencing factors and chemical hazards [J]. Food Chemistry, 2022, 371: 131139.
- [28] 姚凌,徐立荣,蔡志鹏,等.11种煎炸油煎炸薯条挥发性成分的组成[J].中国油脂,2022,47(2):39-46,57.
- [29] LIU L, CHEN X Q, HAO L L, et al. Traditional fermented soybean products: Processing, flavor formation, nutritional and biological activities [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 6(11): 11-19.
- [30] 刘军,段月,张喜康,等.模糊数学评价结合响应面法优化枸杞真空微波干燥工艺[J].食品与发酵工业,2019,45(15):127-135.
- [31] MAJDI H, ESFAHANI J A, MOHEBBI M. Optimization of convective drying by response surface methodology [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 156, 574-584.