

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241109002

引用格式: 郭双霜, 陈亚兰, 邵佳华, 等. 红烧肉配方及加工工艺优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(3): 293–302.
GUO SS, CHEN YL, SHAO JH, *et al.* Optimization of formula and processing technology of braised pork [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(3): 293–302. (in Chinese with English abstract).

红烧肉配方及加工工艺优化

郭双霜*, 陈亚兰, 邵佳华, 李 幸, 于清利

(南京工业大学浦江学院国际酒店与饮食文化学院, 南京 211200)

摘要: **目的** 优化红烧肉配方及加工工艺。**方法** 采用超声腌制 30、45、60 min、静态腌制对猪五花肉进行腌制, 以腌制吸收率、出品率、滴水损失率、蒸煮损失率为指标比较超声和静态腌制对腌制效率和品质的影响。通过测定水分含量、热加工损失、感官评分比较传统工艺和真空低温慢煮工艺制作的红烧肉在感官特性上的变化。以感官评分为指标, 采用单因素和正交实验优化红烧肉配方。**结果** 与静态腌制相比, 不同时间超声处理有助于肉品腌制吸收率和出品率的提升, 且蒸煮损失率和滴水损失率显著低于静态腌制组。超声 60 min, 腌制吸收率最高, 超声 45 min 和 60 min 出品率无显著差异。随着超声处理时间的延长, 滴水损失率逐渐增加, 最高到 6.20%, 超声 45 min 和 60 min 蒸煮损失率均较低。整体来看, 超声波腌制 45 min 效果较好; 真空低温慢煮工艺方面, 65 °C、70 °C 处理 6 h 和 70 °C 处理 8 h 感官评分总分均较高。当慢煮温度设定为 70 °C, 持续 6 h 状态下, 红烧肉的色泽、香气、味道、口感均得到显著改善。与传统工艺相比, 蒸煮损失率显著降低, 水分含量显著提高; 配方优化方面, 结合各配料配比对红烧肉感官评分的影响, 糖油水质量比对感官评分的影响最为显著, 其次是香辛料和老抽。确定最优配方为: 五花肉 250 g, 糖液 30 g(其中白砂糖 15 g、植物油 6 g、水 9 g), 老抽 6 g, 花雕酒 5 g, 水 400 g, 八角 2 g, 香叶 0.2 g, 桂皮 1.2 g。**结论** 超声波辅助腌制和真空低温慢煮技术可有效改善红烧肉品质, 改良后的配方工艺使得红烧肉综合感官评价最好。

关键词: 红烧肉; 超声波辅助腌制; 真空低温慢煮; 配方优化

Optimization of formula and processing technology of braised pork

GUO Shuang-Shuang*, CHEN Ya-Lan, SHAO Jia-Hua, LI Xing, YU Qing-Li

(International Hospitality & Dietary Culture College, Nanjing Tech University Pujiang Institute, Nanjing 211200, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the formula and processing technology of braised pork. **Methods** The pork belly was cured by ultrasonic treatment for 30, 45 and 60 min and static curing as the control. The marinade uptake, production rate, drip loss rate and cooking loss rate were used as indicators to compare the effects of ultrasonic and static curing on curing efficiency and quality. The sensory characteristics of braised pork made by traditional and vacuum low-temperature slow cooking techniques were compared by measuring the moisture content, thermal processing loss and sensory scores. The formula of braised pork was optimized by using sensory scores as the index and conducting single factor and orthogonal experiments. **Results** Compared with static curing, different ultrasonic

收稿日期: 2024-11-09

基金项目: 2023 年度南京工业大学浦江学院科研创新团队建设项目(NJPJ20230304)

第一作者/*通信作者: 郭双霜(1986—), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为农产品加工及贮藏。E-mail: gssunny@126.com

treatment times were beneficial to the improvement of the marinade uptake and production rate of the meat, and the cooking loss rate and drip loss rate were significantly lower than those of the static curing group. The marinade uptake was the highest after 60 min of ultrasonic treatment, and there was no significant difference in the production rate between 45 min and 60 min of ultrasonic treatment. With the extension of ultrasonic treatment time, the drip loss rate gradually increased, reaching a maximum of 6.20%, and the cooking loss rate was relatively low after 45 min and 60 min of ultrasonic treatment. Overall, ultrasonic curing for 45 min was the most effective. In terms of vacuum low-temperature slow cooking technology, the total sensory scores of 65 °C and 70 °C for 6 h and 70 °C for 8 h were relatively high. When the slow cooking temperature was set at 70 °C for 6 h, the color, aroma, taste and texture of braised pork were significantly improved. Compared with the traditional process, the cooking loss rate was significantly reduced and the moisture content was significantly increased. In terms of formula optimization, the sugar-oil-water mass ratio had the most significant effect on the sensory score, followed by spices and dark soy sauce. The optimal formula was determined as follows: 250 g of streaked pork, 30 g of sugar solution (including 15 g of white granulated sugar, 6 g of vegetable oil, and 9 g of water), 6 g of soy sauce, 5 g of Huadiao wine, 400 g of water, 2 g of anise, 0.2 g of fragrant leaves, and 1.2 g of cinnamon. **Conclusion** The ultrasonic assisted curing and sous-vide technology can effectively improve the quality of braised pork, and the improved formula technology makes the comprehensive sensory evaluation of braised pork the best.

KEY WORDS: braised pork; ultrasonic assisted pickling; sous-vide; formula optimization

0 引言

红烧肉,作为中国烹饪艺术中的经典佳肴,已广泛流传于千家万户,并在中国饮食文化中占据了举足轻重的地位。其色泽红润、香气四溢、肥而不腻、入口即化的独特风味,赢得了广大消费者的青睐^[1]。随着现代社会生活节奏的加速,加之红烧肉制作工艺繁杂,普通家庭很难制作出感官品质俱佳的菜肴,预制红烧肉因其便捷性而逐渐成为市场的新宠^[2]。然而,传统红烧肉制作工艺存在诸多不足,如烹饪时间长、口感油腻、营养成分易流失等,这些问题在一定程度上影响了其品质和市场适应性^[3]。

超声波技术在肉类加工领域主要应用于辅助冷藏保存、加工前的准备以及热处理阶段,在提升肉质、促进冻结、加快解冻速度和辅助腌制等方面显示出了显著的效果^[4]。肉类腌制过程中需要添加较多的盐分,原料在长时间腌制浸泡中可能会变软,导致其组织结构受损,进而影响产品的质量和风味。为了克服盐分分布不均和腌制时间过长的的问题,提高腌制效率,一些创新的腌制技术,如超高压辅助腌制、脉动真空腌制^[5]、超声波腌制^[6]等高效、新型的腌制技术被广泛研究和应用。其中,超声波作为一种新型绿色非破坏性技术,在食品加工领域具有广阔的应用前景。超声波是大于 20 kHz 的机械震动波,超声波的频率高、穿透能力强,在液体中传播的效果最好^[7]。在液体中传播产生热、空化及机械效应,加速物质传输,促进渗透与扩散,提高腌制效率,缩短腌制时间,并确保腌制过程的均匀性^[8]。超声时间短达不到理想的效果,时间长可能会导致肌肉蛋白发生变性,导致肌原纤维组织松散,从而降低肉制品的品质特性,

因此在肉类加工中需要对超声波时间加以控制。

在配方优化方面,传统红烧肉配方可能无法充分满足现代工业化生产的需要,或在口感和风味的稳定性上存在不足。随着消费者对健康和食品品质要求的日益提高,配方的优化显得尤为必要,以减少油腻感和营养成分的流失。酱油和糖是红烧肉最重要的调味料,酱油添加量,糖、油、水的比例对红烧肉的口感至关重要。闵二虎等^[9]添加白砂糖采用水炒糖色法,经单因素与响应面优化得焦糖色最佳配方工艺;项丰娟等^[10]经单因素与正交实验确定了以感官评价为标准的红烧肉最佳配方。国外也有相关的研究,GUI 等^[11]通过评估几种甜味剂对红烧肉的风味、脂肪酸组成和品质的影响,结果显示添加甜味剂烹制的红烧肉有别于一般的红烧肉。

真空低温慢煮技术是一种创新的烹饪方法,其过程涉及将未经或仅轻微加工的食材置于真空密封袋中,通过长时间的低温处理,随后在恒温水浴锅中进行低温烹制,或利用低温慢煮机完成烹饪过程^[12]。在肉类加工中,肉的中心温度控制在 55~75 °C 左右,加热时间长达数小时,产品结束加热后应立即贮藏于冷藏环境中^[13]。这种真空低温慢煮能有效减少水分和营养素的流失,保持肉的鲜嫩多汁,从而在品质上实现显著的提升^[14-18]。降低红烧肉的加热温度来减少氧化、保证营养价值的方法也越来越有待研究。

基于此,本研究以超声时间为影响因素,研究其对五花肉腌制过程中腌制吸收率、出品率、滴水损失率、蒸煮损失率的影响,以期解决传统腌制方法中腌制时间长、效率低和腌制不均匀等问题。从配料对其品质的关键影响因素加以探讨,设置了 3 个单因素实验(熬糖色时糖油水质量比、调味时老抽和香辛料用量),以三因素三水平正交实验

优化红烧肉配比,最后通过感官评定得出最佳配方。以感官评价、蒸煮损失率、水分含量为指标研究红烧肉真空低温烹饪工艺,以期了解低温慢煮加工特性、改善加工肉制品品质及开发新加工工艺提供新思路 and 理论参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

精致猪带皮五花肉购于南京石湫怡购万家冷鲜肉;葱、姜、八角、桂皮、酱油(海天调味食品股份有限公司);料酒(千和味业食品股份有限公司);鸡精(上海太太乐食品有限公司);吴越稽山花雕酒、食用盐、糖、植物调和油等佐料购于南京溧水区怡购万家超市。

1.2 仪器与amp;设备

C22-IH9E32S 多功能电磁炉、EJ28RP03 不锈钢炒锅(浙江苏泊尔家电制造有限公司);CHS-D 电子称(3 kg/0.01 g, 深圳市安衡衡器电子有限公司);KH-100E 超声波清洗器(昆山禾创超声仪器有限公司);PMK224ZH/E 万分之一电子天平(南京诺丹工程技术有限公司);HH 8 恒温水浴锅(上海力辰邦西仪器科技有限公司);DZQ400ID 真空包装机(上海百振包装机械有限公司);DHG-9123A 恒温干燥箱(上海鲨珍仪器制造有限公司);BCD-216STPT 冰箱(海尔智家股份有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

红烧肉加工工艺流程如图 1 所示。

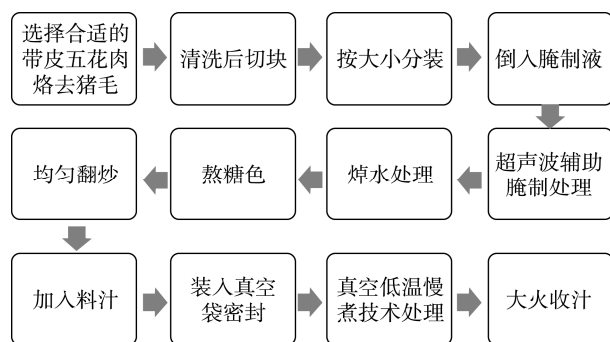


图 1 工艺流程图
Fig.1 Process flow diagram

1.3.2 超声波辅助腌制处理

(1) 腌制液配制

腌制液参照焦慎江等^[19]的腌制液配方并加以改进。以 1000 g 肉为基准,质量百分比按照葱 2%,姜 2%,糖 2%,八角 2%,桂皮 2%,香叶 2%,酱油 5.2%,料酒 1%,食盐 0.4%,味精 0.2%,油 4%,水 40%配制腌制液。所有材料混合后煮开煮制 5 min,冷却后备用。

(2) 腌制处理

选取新鲜五花肉,将其切割成尺寸为 30 mm×30 mm×

30 mm 的肉块。将肉块按每袋 500 g 的规格进行分装,并随机分为 3 组:空白组(未进行任何处理)、对照组(仅添加腌制液并静置腌制,腌制时间分别为 30、45 和 60 min),超声波处理组(在腌制液中施加 40 kHz、100 W 的超声波处理,持续超声 30、45 和 60 min)。所有腌制过程均在 10 °C 以下的环境中进行,确保腌制液能够充分覆盖肉块。

(3) 腌制吸收率的测定

称取腌制前的肉块质量,经腌制后用厨房用纸擦干表面汁液,再次称重量,腌制后质量与腌制前质量之差除以腌制前质量即为腌制吸收率,如公式(1)。

$$\text{腌制吸收率}/\% = \frac{\text{腌制后质量}/\text{g} - \text{腌制前质量}/\text{g}}{\text{腌制前质量}/\text{g}} \times 100\% \quad (1)$$

(4) 滴水损失率的测定

将腌制中间品及红烧后的成品肉块表面水分用厨房用纸擦干,称质量 m_0 ,然后用线悬空挂于 4 °C 冰箱中静置 24 h,再次称质量 m_1 ^[20]。滴水损失率按公式(2)进行计算。

$$\text{滴水损失率}/\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (2)$$

(5) 出品率的测定

将原料肉进行称重(并去除表面水分)以获得初始质量 c_0 ,炖煮完成后,将肉品取出,使用吸水性厨房用纸进行表面水分的去除,并在室温条件下自然冷却至环境温度,随后再次称重,质量为 c_1 。出品率的计算依据公式(3)进行。

$$\text{出品率}/\% = \frac{c_1}{c_0} \times 100\% \quad (3)$$

(6) 蒸煮损失率的测定

称取腌制处理后的肉块的初始质量 w_0 ,进行烧制后,取出冷却至室温,擦干表面水分,再称其重量 w_1 ,蒸煮损失率按公式(4)计算。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \times 100\% \quad (4)$$

1.3.3 配方优化

(1) 糖油水比对红烧肉感官评分的影响

采用水油混合法制备糖色,以 250 g 红烧肉为基准,添加 2.55 g 香辛料(其中包含 1.5 g 八角、0.15 g 香叶、0.9 g 桂皮),5 g 花雕酒,8 g 老抽容易混淆后面糖油水概念,翻炒后加水 400 g。在保持糖油水总量一致的前提下,设置不同的糖油水质量比(5:2:3、4:3:3、4:2:4、5:1:4、6:2:4),进行单因素实验,通过感官评分确定最佳的糖油水配比。

(2) 老抽用量对红烧肉感官评分的影响

在设定糖油水比例为 5:2:3,香辛料用量为 2.55 g、花雕酒 5 g 的条件下,探究不同老抽用量(分别为 4、8、12、16 g)对产品感官特性的影响,并通过感官评分确定最佳的老抽添加量。

(3) 香辛料用量对红烧肉感官评分的影响

设定糖油水比例为 5:2:3,添加老抽 8 g、花雕酒 5 g,

八角、香叶、桂皮按质量比 10:1:6 配比添加的条件下,分别设置不同量级的香辛料(1.7、3.4、5.1 和 6.8 g),并通过感官评分来确定最佳的香辛料用量。

(4)正交实验设计

在单因素实验结果的基础上,在参考文献[20-23]的基础上,以糖油水质量比(A)、老抽用量(B)和香辛料用量(C)为实验因素,设计正交实验,根据感官评价标准,通过数据处理分析优化预制菜红烧肉配方。

(5)感官评定

参考相关文献[21,24]制定红烧肉感官评分表,邀请 10 位相关专业的感官评价人员对预制菜红烧肉进行感官评价,分别从色泽、香气、口感和味道 4 个方面进行评分,取其平均值作为最终结果。感官评分表如表 1 所示。

表 1 红烧肉感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation standard of braised pork

项目	感官评分标准
色泽 (25 分)	肉皮色泽红亮,肥膘半透明,瘦肉色泽酱红有光泽 (16~25 分)
	肉皮红色,肥膘不透明,瘦肉色泽酱红,无光泽 (11~15 分)
	色泽淡红或红黑,无光泽(1~10 分)
香气 (25 分)	红烧肉特有的香气,香气四溢,颊齿留香(16~25 分)
	有红烧肉香气,不够浓郁,无异味(11~15 分)
	味道不好,没有猪肉香气,有异味(1~10 分)
口感 (25 分)	瘦而不柴,软烂适度,肥肉入口即化,肉皮软糯 (16~25 分)
	瘦肉干柴或软烂(11~15 分)
	瘦肉不够软烂,肥肉口感肥腻(1~10 分)
味道 (25 分)	红烧肉特有的醇厚鲜美,滋味丰满,余味缭绕 (16~25 分)
	有滋味,不够醇厚(11~15 分)
	红烧肉味淡薄,有异味(1~10 分)

1.3.4 真空低温慢煮技术

猪五花肉洗净后切成均匀方块,每 250 g 分装一袋。超声波腌制 45 min。沥干后,锅中加 15 g 糖、6 g 油、9 g 水炒糖色,加入肉块翻炒,加水煮沸,再加 5 g 料酒、8 g 老抽、1.5 g 八角、1 g 桂皮、0.2 g 香叶、5 g 花雕酒混匀装真空袋后放入水浴锅慢煮。于 65、70、75 °C 下分别加热 6、7、8 h,测定红烧肉的感官评价、蒸煮损失率、水分含量指标。各处理组为传统方式烹饪(CT),65 °C 低温慢煮 6 h (SV1),70 °C 低温慢煮 6 h (SV2),75 °C 低温慢煮 6 h (SV3),65 °C 低温慢煮 7 h (SV4),70 °C 低温慢煮 7 h (SV5),75 °C 低温慢煮 7 h (SV6),65 °C 低温慢煮 8 h (SV7),70 °C 低温慢煮 8 h (SV8),75 °C 低温慢煮 8 h (SV9)。

(1)蒸煮损失率的测定

参照陈丽丽等^[22]的方式计算蒸煮损失率。

(2)水分含量的测定

采用干燥法^[23]测红烧肉水分含量变化。

1.4 数据处理

采用 Excel 2022 与 SPSS 26.0 软件对实验数据进行统计分析,所得结果以平均值±标准偏差的形式呈现。为保证实验结果的可靠性,每组实验均进行随机抽样,并且每项实验重复进行 3 次。方差分析采用 Duncan 多重比较法,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 超声波辅助腌制结果分析

2.1.1 超声波腌制对腌制吸收率的影响

腌制是改善肉类感官品质和烹饪特性的有效手段,也是延长食品保质期、影响肉类微生物特性的重要方法^[25]。如表 2 所示,相较于静置腌制,超声腌制组的腌制吸收率显著提升,随着超声处理时间的延长,腌制吸收率的变化趋势亦表现出显著性差异($P<0.05$)。此结果与田其英等^[20]的研究相吻合,即超声波处理能够破坏猪肉组织结构,增强细胞膜的通透性,从而促进腌制液的渗透速率,进而提升腌制效率。另外,通过诱导空化加速传质过程、缩短腌制时间。BAI 等^[26]研究也发现,超声波有利于鲈鱼腌制过程中肌原纤维间隙的扩大,增强了氯化钠的渗透,缩短了腌制时间。

表 2 不同腌制处理对腌制吸收率的影响

Table 2 Effects of different marination treatments on the marinade uptake

组别	腌制吸收率/%
超声波 30 min	1.75±0.07 ^c
超声波 45 min	3.95±0.64 ^b
超声波 60 min	5.55±0.49 ^a
对照 30 min	1.38±0.19 ^d
对照 45 min	1.22±0.06 ^d
对照 60 min	1.67±0.12 ^c

注:不同小写字母表示不同组间差异显著($P<0.05$)。

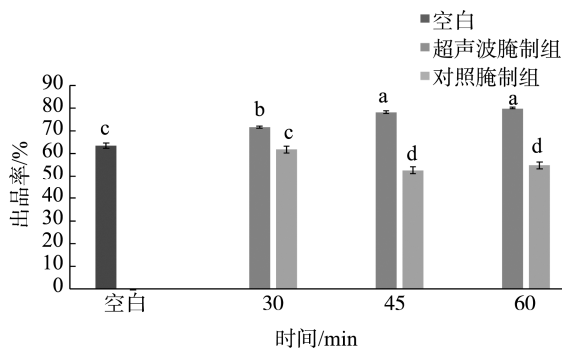
2.1.2 超声波腌制对出品率的影响

如图 2 所示,相较于空白组与对照腌制组,超声波腌制组的红烧肉出品率显著提升 ($P<0.05$)。超声波腌制组的平均出品率达到 76.50%,相较于对照组提升了 30.54%,与空白组相比增加了 20.40% ($P<0.05$)。此现象可能归因于超声波技术促进了腌制液的渗透作用,进而增强了肉类的吸收能力,腌制吸收率与出品率之间存在正相关关系。

2.1.3 超声波腌制对滴水损失率的影响

如图 3 所示,与空白组相比,超声处理样品滴水损失率显著降低($P<0.05$)。这表明在腌制过程中超声处理对肌肉组织的保水性有积极作用。随着超声处理时间的延长,样品的滴水损失率显著增加($P<0.05$),在 60 min 时达到 6.20%。可能由于高强度超声波作用导致组织结构受损,从而降低了肌肉的保水能力。但相比于静态腌制组,超声波组滴水损失率在 30 min 和 45 min 显著降低。超声处理对肌肉保水性的影响可以从两个不同的角度来解释:(1)机械/

物理前体。空化效应引起的加速盐分渗透改善了纤维间的静电排斥和蛋白质溶解, 这就是所谓的盐溶入现象^[27]; (2) 化学改性和氧化后果。超声波腌制对脂质和蛋白质氧化具有促进作用, 增加了蛋白质聚集, 空化效应产生的自由基导致蛋白质氧化的发生^[28]。在超声处理过程中的适度氧化促进了蛋白质与水的相互作用以及肌纤维之间的毛细管效应, 从而增加了保水能力^[29]。PAN 等^[30]也提出, 超声波能够促进盐离子在宰后肌肉中的快速扩散, 并且提高肌肉蛋白质的氧化敏感度。



注: 不同字母表示组间具有显著性差异($P < 0.05$), 下同。

图 2 不同腌制处理对红烧肉出品率的影响
Fig.2 Effects of different marination treatments on the production rates of braised pork

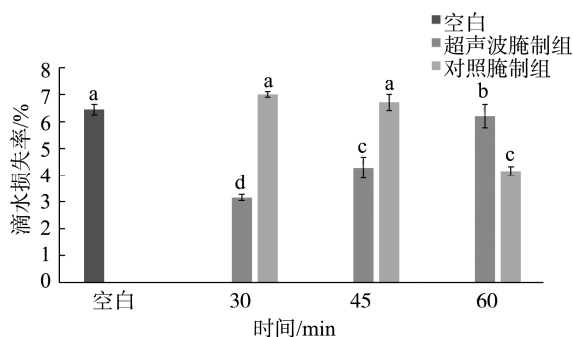


图 3 不同腌制处理对红烧肉滴水损失率的影响
Fig.3 Effects of different marination treatments on the drip loss rates of braised pork

2.1.4 超声波腌制对蒸煮损失率的影响

由图 4 可知, 超声波处理对蒸煮损失率有显著影响 ($P < 0.05$)。未经超声处理的对照样品的蒸煮损失率最高, 而超声波腌制的肉样蒸煮损失率逐渐下降, 显著低于对照组 ($P < 0.05$)。前人研究也发现了类似的趋势, MEHRABANI 等^[31]将牛肉样品超声 20 min, 蒸煮损失显著减少。NAZHCAN 等^[29]研究发现, 与对照样品相比, 超声波腌制降低了鸡肉样品的蒸煮损失率并改善了持水性能。当前实验的结果与这些发现一致, 可能因为超声波的空化效应使肌肉组织松散, 肌原纤维蛋白能容纳更多水分。对照组蒸煮损失率差异不明显 ($P > 0.05$), 表明传统腌制方式保水性提升有限。超声波处理时间越长, 蒸煮损失降低越多, 保水性越好。

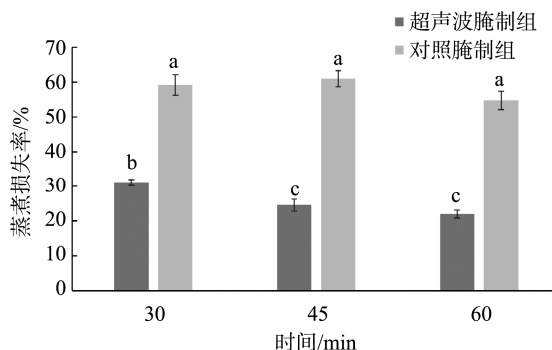


图 4 不同腌制处理对红烧肉蒸煮损失率的影响
Fig.4 Effects of different marination treatments on the cooking loss rates of braised pork

2.2 配方优化结果分析

2.2.1 糖油水质量比对红烧肉感官品质的影响

由图 5 可知, 当糖油水质量比为 5:2:3 时, 红烧肉的颜色、香气和味道感官评价最优; 而在糖油水质量比为 4:3:3 时, 口感最佳。糖油水质量比对红烧肉的颜色、香气、口感、味道均有显著影响 ($P < 0.05$), 其影响程度依次为 5:2:3 > 4:3:3 = 4:2:4 = 6:2:4 > 5:1:4 (色泽), 5:2:3 > 4:2:4 = 4:3:3 > 6:2:4 = 5:1:4 (香气), 4:3:3 = 5:2:3 = 4:2:4 > 6:2:4 = 5:1:4 (口感)。糖色制作中, 白砂糖、水和植物油的量需适中, 过多或过少均会影响红烧肉的品质, 如产生苦味、甜味过重、无法形成焦糖色或糖色粘锅等。因此, 糖油水质量比 5:2:3 是制作红烧肉时色泽、香气和口感较好的选择。

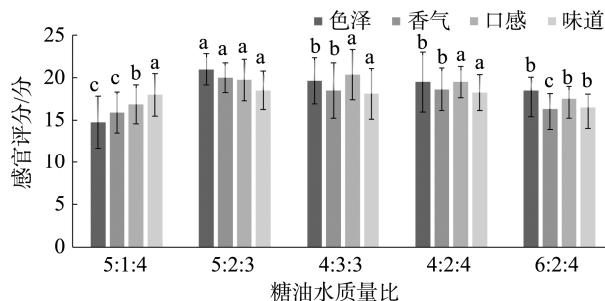


图 5 糖油水质量比对红烧肉感官评价的影响
Fig.5 Effects of sugar oil water quality ratio on sensory evaluation of braised pork

2.2.2 老抽用量对红烧肉感官品质的影响

如图 6 所示, 当老抽用量为 8 g 时, 红烧肉的颜色、香气和口感感官评价最优; 而用量为 4 g 时, 味道感官评价最好。老抽用量对红烧肉的颜色和口感有显著影响 ($P < 0.05$)。随着老抽用量增加, 色泽和口感评分先升后降, 8 g 时达到最高。过多老抽会使肉质过柴, 色泽偏黑; 过少则色泽不够酱红。因此, 8 g 老抽可使红烧肉的颜色和口感达到最佳。

2.2.3 香辛料用量对红烧肉感官品质的影响

如图 7 所示, 香辛料如八角、桂皮等在红烧肉烹饪中可增强香气和滋味^[32]。经研究发现八角具有一定抗氧化的

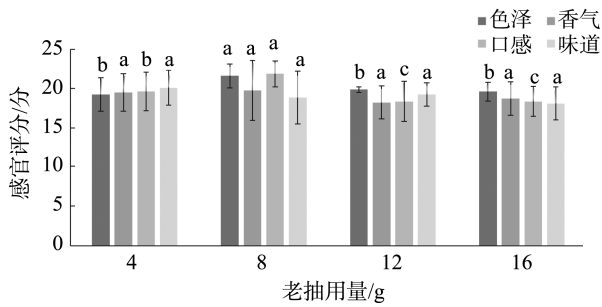


图 6 老抽用量对红烧肉感官评价的影响

Fig.6 Effects of the amount of soy sauce on sensory evaluation of braised pork

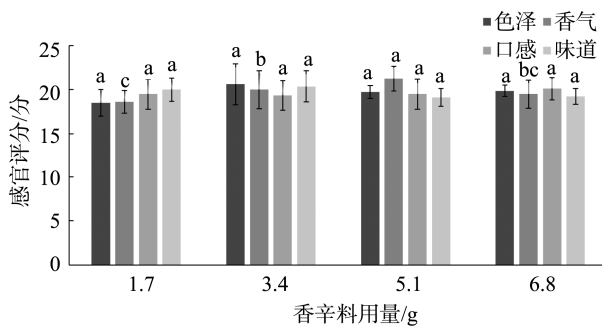


图 7 香辛料用量对红烧肉感官评价的影响

Fig.7 Effects of the amount of spicy on sensory evaluation of braised pork

效果, 在食物的保存中发挥一定的作用^[33]。当香辛料用量为 3.4 g 时色泽和味道最佳, 5.1 g 时香气最优, 6.8 g 时口感最好。其中, 香辛料用量对香气影响显著($P < 0.05$), 最佳香气效果对应的用量为 5.1 g, 但用量过多会掩盖肉香, 过少则难以掩蔽异味。综合考虑, 3.4 g 香辛料用量时, 预制菜红烧肉的香气表现良好。

2.2.4 正交实验结果

正交实验因素与水平表如表 3 所示, 直观结果如表 4 所示, 方差分析如表 5 所示。

表 3 正交实验因素与水平

Table 3 Orthogonal experimental factors and levels

水平	因素			
	A(糖油水质量比)	B(老抽用量)/g	C(香辛料用量)/g	D(空列)
1	5:2:3	6	2.55	D1
2	4:3:3	8	3.40	D2
3	4:2:4	10	4.25	D3

由表 9 可知, 综合平衡法与直观分析法均得出 $A_1B_1C_2$ 组合较优。综合平衡法显示: 色泽、香气、味道上 $A > C > B$, 最优组合分别指向 $A_1B_1C_2$ 、 $A_1B_3C_2$ 、 $A_1B_3C_3$; 口感上 $A > B > C$, 最优 $A_1B_1C_3$ 。综合考量, 影响因素主次为 $A > C > B$, 即糖油水质量比最关键, 其次是香辛料用量, 老抽用量最末。直观分析法亦证实此顺序。因此, 调整红烧肉配方时, 糖油水质量比最为关键。

表 4 正交实验结果

Table 4 Results of orthogonal experiment

实验号	A	B	C	D(空列)	y_1 (色泽)	y_2 (香气)	y_3 (口感)	y_4 (味道)	Y(总分)
1	1	1	1	1	21.4	20.1	20.4	20.7	82.6
2	1	2	2	2	21.7	21.8	20.9	20.2	84.6
3	1	3	3	3	21.2	20.8	20.2	20.2	82.4
4	2	1	2	3	19.2	16.5	15.8	15.3	66.8
5	2	2	3	1	18	17.6	15.6	16.4	67.6
6	2	3	1	2	18.6	15.7	17.1	16	67.4
7	3	1	3	2	18.8	17.6	21.1	18.4	75.9
8	3	2	1	3	17.1	16.6	14.6	15.8	64.1
9	3	3	2	1	19.1	19.6	17.7	18.4	74.8
k_1	21.4	19.8	19.0	19.5					
k_2	18.6	18.9	20.0	19.7	色泽		$A > C > B > D$		
k_3	18.3	19.6	19.3	19.2					
R	3.1	0.9	1.0	0.5					
k_1	20.9	18.1	17.5	19.1					
k_2	16.6	18.7	19.3	18.4	香气		$A > C > D > B$		
k_3	17.9	18.7	18.7	18.0					
R	4.3	0.6	1.8	1.1					
k_1	20.5	19.1	17.4	17.9					
k_2	16.2	17.0	18.1	19.7	口感		$A > D > B > C$		
k_3	17.8	18.3	19.0	16.9					
R	4.3	2.1	1.6	2.8					
k_1	20.4	18.1	17.5	18.5					
k_2	15.9	17.5	18.0	18.2	味道		$A > D > C > B$		
k_3	17.5	18.2	18.3	17.1					
R	4.5	0.7	0.8	1.4					
k_1	83.2	75.1	71.4	75.0				总分	
k_2	67.3	72.1	75.4	76.0					
k_3	71.6	74.9	75.3	71.1					
R	15.9	3.0	4.0	4.9					

由表 5 可知, 糖油水质量比对红烧肉感官评分有显著影响($P < 0.05$), 而老抽用量和香辛料用量对红烧肉感官评分影响不显著($P > 0.05$)。综合考虑感官评分及成本因素, 选择 $A_1B_1C_2$ 组合为预制菜红烧肉的最佳基础配料组合, 即糖油水质量比 5:2:3、老抽用量 6 g、香辛料用量 3.4 g。采用 $A_1B_1C_2$ 组合所烹饪的红烧肉, 其色泽、香气、口感和味道的感官评分都高于 20 分, 且感官评分总分最高, 为 91 分。

表 5 方差分析
Table 5 Analysis of variance

因素	离差平方和	自由度	均方	F	P	显著性
A(糖油水质量比)	17.709	2	8.854	40.658	0.024	*
B(老抽用量)/g	1.269	2	0.634	2.913	0.256	-
C(香辛料用量)/g	1.469	2	0.734	3.372	0.229	-
D(误差)	0.436	2	0.218			

注: *表示有显著性($P < 0.05$), -表示无显著性($P > 0.05$)。

2.3 真空低温慢煮技术结果分析

2.3.1 真空低温慢煮处理对感官评分的影响

如图 8 所示, 在 65 °C 的条件下, 随着煮制时间的延长, 感官评分总分显著下降, 但 7 h 和 8 h 之间的差异并不显著; 而在 70 °C 条件下, 煮制 6 h 与 8 h 的样品获得了最高的感官评分, 且两者之间评分相近。图 8 揭示了在低温慢煮处理组中, SV1、SV2、SV3、SV8 组感官评分总分均高于传统烹饪(CT)组。

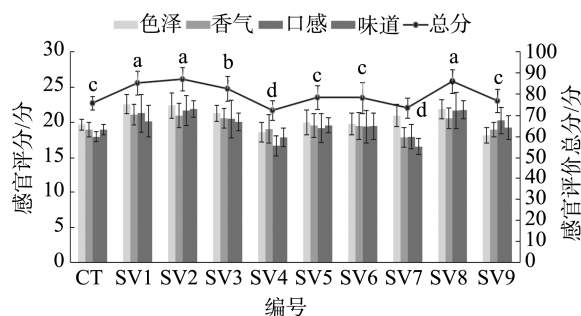


图 8 真空低温慢煮处理对感官评分的影响
Fig.8 Effects of sous-vide on sensory evaluation

(1)不同蒸煮时间对感官评分的影响

时间因素对真空低温慢煮红烧肉的感官品质具有显著影响。如图 9 所示, 烹饪时间的延长对红烧肉的色泽和口感产生积极效应, 随着烹饪时间的增加, 色泽、香气及口感的评分均呈现上升趋势。当烹饪时间达到 6 h 时, 各项感官评价指标达到峰值。若烹饪时间少于 6 h, 红烧肉的质地则显得不够软, 鲜味亦显不足; 而烹饪时间超过 6 h 时, 水分的过度流失导致风味化学反应过度, 色泽加深, 香气减弱, 口感亦随之下降。综合考量, 6 h 的烹饪时间能

够制备出品质最佳的红烧肉。

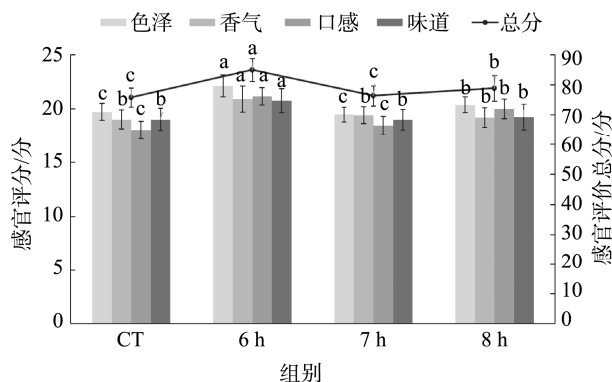


图 9 蒸煮时间对感官评分的影响
Fig.9 Effects of cooking time on sensory evaluation

(2)不同蒸煮温度对感官评分影响

真空低温烹饪技术通过低于正常烹饪温度加热肉类, 减少水分和营养流失。如图 10 所示, 感官评分在 70 °C 时最高, 65 °C 时肉表颜色偏红, 感官评分最低; 温度升至 70 °C 时, 红烧肉红色减少, 嫩度适中, 香味浓。75 °C 时, 膻味减弱, 味道较 70 °C 略微下降。综合考量, 选择蒸煮温度为 70 °C。

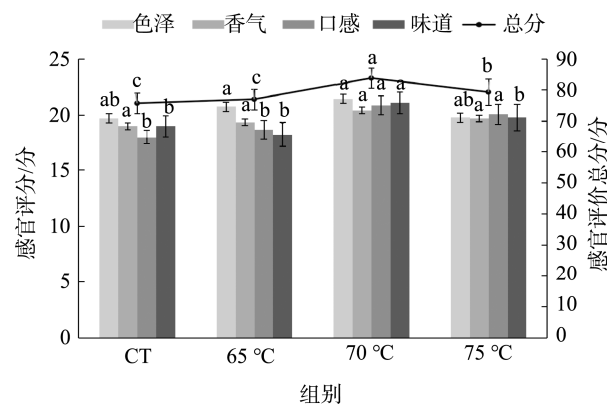


图 10 蒸煮温度对感官评分的影响
Fig.10 Effects of cooking temperature on sensory evaluation

2.3.2 真空低温慢煮处理对蒸煮损失率的影响

(1)不同蒸煮时间对蒸煮损失率的影响

如图 11 所示, 低温慢煮组中蒸煮损失率随加热时间延长而上升。与 CT 对照组比, SV 组损失率更低, 可能由于 CT 高温使水分汽化, 肉质失水, 而真空低温慢煮能增强持水性^[34]。由于脂肪融化流出也会造成热加工损失, 研究报道, 随着加热温度的升高, 脂肪含量逐渐下降, 在相同温度下随着时间延长脂肪含量也下降^[35-37]。

(2)不同蒸煮温度对蒸煮损失率的影响

如图 12 所示, 经 CT 处理的红烧肉在蒸煮过程中的损失率显著高于经过低温慢煮处理的样品, 这表明低温加工

技术能够有效降低蒸煮损失率, 进而提升产品的出品率。研究发现, SV 技术能降低损失率, 然而随着温度的升高, 损失率亦呈现上升趋势^[38]。高温处理会导致肌纤维收缩和水分流失, 从而使得蒸煮损失率增加。此外, 疏水基团的暴露亦可能是导致损失率上升的一个因素。在本研究中, 随着蒸煮温度增加, 损失率没有显著变化。

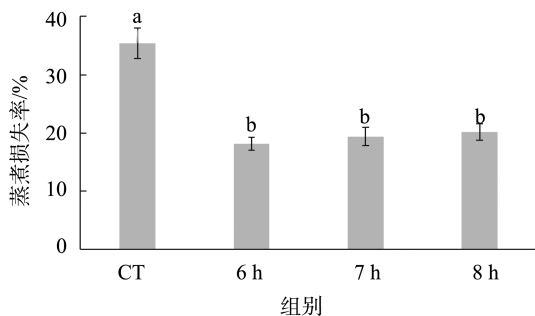


图 11 蒸煮时间对蒸煮损失率的影响

Fig.11 Effects of cooking time on cooking loss rate

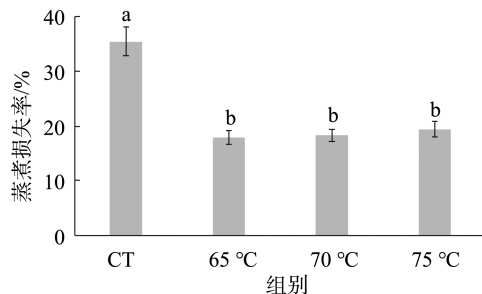


图 12 蒸煮温度对蒸煮损失率的影响

Fig.12 Effects of cooking temperature on cooking loss rate

2.3.3 真空低温慢煮对水分含量的影响

(1)不同蒸煮时间对水分含量的影响

如图 13 所展示, 相较于 CT 组, 低温慢煮处理的红烧肉样本水分含量显著提高, 并在加热 6 h 后达到峰值。随着时间的推移, 水分含量的下降趋势逐渐减缓。研究结果表明, 低温慢煮技术能够有效提升食品的水分含量, 从而增强其多汁性。然而, 长时间的处理可能会对食品的持水性产生不利影响。

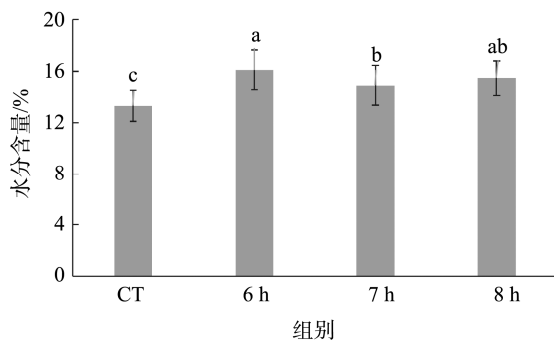


图 13 蒸煮时间对水分含量的影响

Fig.13 Effects of cooking time on moisture content

(2)不同蒸煮温度对水分含量的影响

如图 14 所示, 相较于 CT 组, 低温慢煮组红烧肉的水分含量较高, 且水分含量随加热温度的升高呈现先增加后减少的趋势。在 70 °C 时, 水分含量达到峰值, 此时肉质口感适宜; 然而, 当温度超过 70 °C 时, 蛋白质发生变性, 导致水分保持能力下降, 进而水分含量减少, 对肉质口感产生不利影响。

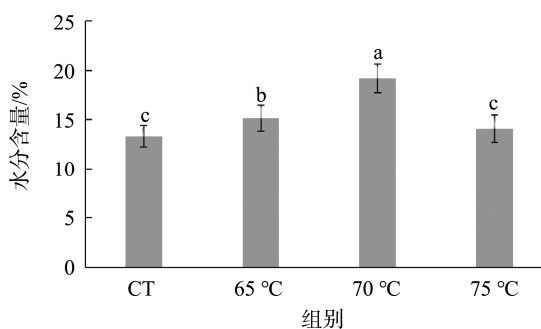


图 14 煮制温度对水分含量的影响

Fig.14 Effects of cooking temperature on moisture content

3 结论

本研究针对红烧肉预制菜的品质提升, 通过改良配方、应用超声波腌制技术以及真空低温慢煮技术, 实现了显著的品质改善。超声波腌制技术的应用显著提升了腌制过程中的腌制吸收率, 并有效减少了滴水损失, 腌制 45 min 腌制效果最好。在配方优化方面, 通过实验确定了糖油水质量比的最佳比例为 5:2:3, 以达到最佳的色泽、香气和味道; 而口感最佳的比例为 4:3:3。此外, 确定了老抽的最佳用量为 6 g, 以实现色泽和口感的最优化; 香辛料的最佳用量为 3.4 g, 以最大化释放香气。真空低温慢煮技术的应用则有效降低了红烧肉在烹饪过程中的水分损失, 与传统工艺相比, 蒸煮损失率显著降低。研究发现, 在 70 °C 条件下慢煮 6 h 可使红烧肉保持最高的水分含量, 同时达到适宜的口感。本研究为红烧肉预制菜的工业化生产提供了科学的技术支持, 并有望满足消费者对高品质预制菜红烧肉追求。

参考文献

- [1] 刘登勇, 谭阳, 董丽. 红烧肉的传承、挖掘与提升[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(13): 134-138.
LIU DY, TAN Y, DONG L. The inheritance, exploration and advance of stewed pork with brown sauce [J]. Food Research and Development, 2015, 36(13): 134-138.
- [2] 赵钜阳, 石长波, 张琪. 微波复热功率及时间对速冻红烧肉品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(9): 3519-3525.
ZHAO JY, SHI CB, ZHANG Q. Effects of different microwave re-heating

- powers and time on quality of quick-frozen pork braised in brown sauce [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2017, 8(9): 3519–3525.
- [3] 陈燕娜. 传统红烧肉的研发及其加工现代化概况[J]. *福建轻纺*, 2021(4): 49–53.
- CHEN YN. Research and development of traditional braised pork belly and its processing modernization [J]. *The Light Textile Industries of Fujian*, 2021(4): 49–53.
- [4] 黄荣秋, 臧明伍, 李海花, 等. 超声波技术在肉品加工中的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(20): 431–439.
- HUANG RQ, ZANG MW, LI HH, *et al.* Research advance of application of ultrasonic treatment in meat processing [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(20): 431–439.
- [5] 徐薇薇, 王振宇, 倪娜, 等. 羊肉脉动真空腌制工艺参数优化及腌制模型建立[J]. *食品科学*, 2015, 36(14): 29–33.
- XU WW, WANG ZY, NI N, *et al.* Optimization of salting of lamb meat under pulsed vacuum pressure by response surface methodology [J]. *Food Science*, 2015, 36(14): 29–33.
- [6] 周亚军, 张漫漫, 李宗坪, 等. 腌制方式对腌制过程中山黑猪肉肌原纤维蛋白特性及其叉烧肉食用品质的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(23): 86–94.
- ZHOU YJ, ZHANG MM, LI ZP, *et al.* Effect of curing method on myofibrillar protein characteristics of mountain black pork during curing process and eating quality of barbecued pork [J]. *Food Science*, 2023, 44(23): 86–94.
- [7] 董园园. 超声波辅助处理对牛肉干品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022.
- DONG YY. Effect of ultrasonic assisted treatment on beef jerky quality [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022.
- [8] ZHENG HS, LI LL, HUANG CB, *et al.* Evaluation of ultrasound-assisted tomato sour soup marination on beef: Insights into physicochemical, sensory, microstructural, and flavour characteristics [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2024, 110: 107028.
- [9] 闵二虎, 彭旭东, 陈正荣, 等. 焦糖色配方的工艺优化[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(3): 219–225, 188.
- MIN ERH, PENG DX, CHEN ZR, *et al.* Process optimization for caramel color formulation [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(3): 219–225, 188.
- [10] 项丰娟, 苏磊, 吴志成, 等. 红烧肉的烹饪工艺研究[J]. *河南科技学院学报(自然科学版)*, 2021, 49(5): 32–40, 46.
- XIANG FJ, SU L, WU ZC, *et al.* Study on the cooking technology of braised pork in brown sauce [J]. *Journal of Henan Institute of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2021, 49(5): 32–40, 46.
- [11] GUI ZH, YING Z, DUO MY, *et al.* Effect of different sweeteners on the quality, fatty acid and volatile flavor compounds of braised pork [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 961998.
- [12] 粘颖群, 周光宏, 李春保, 等. 低温慢煮对红烧肉食用品质及其蛋白消化率的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(1): 93–100.
- NIAN YQ, ZHOU GH, LI CB, *et al.* Effects of sous-vide on the eating quality and protein digestibility of braised pork in brown sauce [J]. *Food Science*, 2021, 42(1): 93–100.
- [13] 陈美玉, 周雅琪, 黄佳茵, 等. 真空低温加热制品的品质及安全性研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(5): 1408–1413.
- CHEN MY, ZHOU YQ, HUANG JY, *et al.* Research progress on quality and safety of sous vide cooking food [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(5): 1408–1413.
- [14] 周寅涛, 冯绍彪, 水珊珊, 等. 真空低温慢煮加工对中华管鞭虾肌肉品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(7): 108–118.
- ZHOU YT, FENG SB, SHUI SS, *et al.* Effects of sous vide on the quality properties of red shrimp (*Solenocera crassicornis*) muscle during cooking process [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(7): 108–118.
- [15] 王树军, 刘敬斋, 刘淑杰, 等. 低温慢煮盐鸭生产工艺[J]. *食品工业*, 2024, 45(7): 19–22.
- WANG SJ, LIU JZ, LIU SJ, *et al.* Production process of salted duck by slow-cook [J]. *The Food Industry*, 2024, 45(7): 19–22.
- [16] 刘树萍, 赵钜阳. 真空低温慢煮牛排的工艺优化研究[J]. *食品工业*, 2017, 38(11): 28–32.
- LIU SP, ZHAO JY. Research on processing optimization of sous vide cooked beef steak [J]. *The Food Industry*, 2017, 38(11): 28–32.
- [17] LESTER DAVEY C, GILBERT KV. Temperature-dependent cooking toughness in beef [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1974(25): 931–938.
- [18] 张泽, 赵迪, 粘颖群, 等. 低温慢煮对红烧肉食用品质及其蛋白消化率的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(1): 93–100.
- ZHANG Z, ZHAO D, NIAN YQ, *et al.* Effects of sous-vide on the eating quality and protein digestibility of braised pork in brown sauce [J]. *Food Science*, 2021, 42(1): 93–100.
- [19] 焦慎江, 赵志磊, 张良, 等. 腌制预处理对红烧肉品质的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(15): 72–79.
- JIAO SJ, ZHAO ZL, ZHANG L, *et al.* Effect of marination pretreatment on the quality of braised pork in brown sauce [J]. *Food Science*, 2018, 39(15): 72–79.
- [20] 田其英, 王静. 超声波辅助腌制鲟鱼片的工艺优化研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(23): 219–221, 227.
- TIAN QY, WANG J. Optimization of ultrasonic assisted marinated process for sturgeon fillet [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(23): 219–221, 227.
- [21] 笄丹丹. 电磁感应加热与调味料对红烧肉风味的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2021.
- DA DD. Effect of electromagnetic induction heating and seasoning on the flavor of braised pork [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2021.
- [22] 陈丽丽, 张树峰, 袁美兰, 等. 不同烹饪方式对脆肉鲩鱼肉营养品质的影响[J]. *中国调味品*, 2019, 44(10): 40–45.
- CHEN LL, ZHANG SF, YUAN ML, *et al.* Effects of different cooking methods on the nutritional quality of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *China*

- Condiment, 2019, 44(10): 40–45.
- [23] 卓学就, 罗秋桃, 邓伟. 直接干燥法测定牛肉中水分含量的不确定度评定[J]. 今日畜牧兽医, 2019, 35(8): 18–19.
ZHUO XJ, LUO QT, DENG W. Uncertainty evaluation of direct drying method for determining moisture content in beef [J]. Today Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2019, 35(8): 18–19.
- [24] 刘登勇, 董丽, 刘欢, 等. 红烧肉感官描述属性与各分指标测定值之间的相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(3): 199–204.
LIU DY, DONG L, LIU H, *et al.* Correlation analysis between sensory descriptive attributes and analysis indexes of stewed pork with brown sauce [J]. Food and Fermentation Industry, 2017, 43(3): 199–204.
- [25] LATOCH A, CZARNIECKA-SKUBINA E, MOCZKOWSKA-WYRWISE M. Marinades based on natural ingredients as a way to improve the quality and shelf life of meat: A review [J]. Foods, 2023, 12: 3638.
- [26] BAI HL, LI LH, WU YY, *et al.* Ultrasound improves the low-sodium salt curing of sea bass: Insights into the effects of ultrasound on texture, microstructure, and flavor characteristics [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2023, 100: 106597.
- [27] ZHANG D, LI H, EMARA AM, *et al.* Effect of *in vitro* oxidation on the water retention mechanism of myofibrillar proteins gel from pork muscles [J]. Food Chemistry, 2020, 315: 126226.
- [28] KANG DC, ZOU YH, CHENG YP, *et al.* Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing [J]. Ultrason Sonochem, 2016, 33: 47–53.
- [29] NAZHCAN Ç, KUVRA U, HALIME A. Effects of ultrasound-assisted marination on spent hen meats: Microstructure, textural and technological properties [J]. Food Bioscience, 2024, 61: 104563.
- [30] PAN JJ, LI CL, LIU XJ, *et al.* A multivariate insight into the organoleptic properties of porcine muscle by ultrasound-assisted brining: Protein oxidation, water state and microstructure [J]. LWT, 2022, 159: 113136.
- [31] MEHRABANI A, JAVAN AJ, HESA MA, *et al.* The combined effect of ultrasound treatment and leek (*Allium ampeloprasum*) extract on the quality properties of beef [J]. Food Bioscience, 2022, 47: 101622.
- [32] 朱琨, 刘春娟. 一种使用便捷红烧肉调味料的研制[J]. 中国调味品, 2021, 46(3): 118–121.
ZHU K, LIU CJ. Development of a kind of convenient braised pork seasoning [J]. China Condiment, 2021, 46(3): 118–121.
- [33] 吴思榆. 预制毛氏红烧肉的研制[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
WU SY. Development of Prefabricated Mao's braised pork [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2022.
- [34] 李锐, 崔晓婷. 真空低温烹饪甜皮鸭工艺优化研究[J]. 现代食品, 2021(6): 99–103.
LI R, CUI XT. Study on optimization of vacuum low temperature cooking sweet skin duck [J]. Modern Food, 2021(6): 99–103.
- [35] LI Y, LI C, LI H, *et al.* Physicochemical and fatty acid characteristics of stewed pork as affected by cooking method and time [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2016, 51(2): 359–369.
- [36] 沈清, 闻海珍, 王梦婷, 等. 蒸制方式和时间对梅干菜扣肉感官和营养品质的影响[J]. 中国食品学报, 2019(9): 9.
SHEN Q, WEN HZ, WANG MT, *et al.* Effects of steaming methods and time on the sensory and nutritional qualities of steamed pork with pickled and dried mustard [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019(9): 9.
- [37] 张泽. 低温慢煮对红烧肉食用品质及蛋白消化率的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
ZHANG Z. Effects of sous-vide on the eating quality and protein digestibility of braised pork [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020.
- [38] BECKER A, BOULAABA A, PINGEN S, *et al.* Low temperature cooking of pork meat-physicochemical and sensory aspects [J]. Meat Science, 2016, 118: 82–88.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)