

超声辅助卤制鸡肉制品及响应面法工艺优化

谷河馨¹ 满子意¹ 赵青青¹ 吴祥庭^{1,2*}

1. 浙江温州大学生命与环境科学学院 浙江温州 325027

2. 浙江温州大学苍南研究院 浙江温州 325800

摘 要 为改进传统静置卤制工艺,改善鸡肉制品的品质,利用超声辅助卤制实现鸡腿肉的精细加工。通过单因素实验,研究了超声波功率、温度、时间和中药汁浓度对鸡腿蒸煮损失、剪切力和感官评分等品质的影响;采用四变量、三水平的 Box – Benhnken 实验设计和响应面法,以鸡腿卤制中的剪切力为指标,获得鸡腿剪切力的优化条件。结果表明,影响卤制后产品剪切力的先后顺序为:超声温度 > 超声功率 > 超声时间 > 中药液浓度。确定了超声辅助锅炖工艺的最佳条件为:超声功率 254 W、超声温度 56℃、超声时间 41 min、中药汁浓度 0.07 g/mL;其中鸡腿剪切力最大为 18.99 N,实际剪切力为 19.12 N,与预测值接近。响应面法能很好地对卤鸡腿加工工艺进行优化,超声腌制可以显著改善卤鸡制品的品质。

关键词 超声 卤制品 鸡制品 响应面法 优化

Optimization of response surface methodology and technology of ultrasonic assisted bittern chicken products

GU Hexin, MAN Ziyi, ZHAO Qingqing, WU Xiangting

Abstract In order to improve the traditional static bitterntechonology and improve the quality of chicken products, the ultrasonic assisted bittern was adopted to realize the fine processing of chicken leg meat. Through single factor experiment, the effects of ultrasonic power, temperature, time and concentration of Chinese medicine juice on cooking loss, shear force and sensory score of chicken leg were studied. The four variable, three level Box – Benhnken experimental design and response surface methodology were adopted, and shearing force of bittern chicken leg was used as index, and the optimum conditions of chicken leg shear force were obtained. The results showed that the order of influencing the shearing force of bittern products was ultrasonic temperature, ultrasonic power, ultrasonic time and concentration of Chinese medicine juice. The optimum condition of ultrasonic assisted saucing technology was determined and it was as follows: the ultrasonic power was 254 W, and the ultrasonic temperature was 56℃, and the ultrasonic time was 41 min, and the concentration of Chinese medicine juice was 0.07 g/mL, and the maximum shearing force of chicken leg was 18.99 N, and the actual shear force was 19.12 N, which was closed to predicted value. The processing technology of bittern chicken leg was optimized by response surface methodology, and the quality of bittern chicken products was improved by ultrasonic salting.

Key words ultrasound; bittern product; chicken products; response surface methodology; optimization

基金项目: 浙江苍南科技项目(2018N03)(名称: 超声卤制微波杀菌处理卤肉制品技术研发)

作者简介: 谷河馨(2000-),女,本科生,研究方向为肉品科学, E-mail: 3042241652@qq.com

* 通讯作者: 吴祥庭(1965-),男,副教授,硕士,研究方向为肉品科学, E-mail: wux222@163.com

浙南特色酱卤鸡肉制品具有风味浓郁、酥脆可口而深受消费者喜爱。酱卤时各种调味料和香辛料会让鸡腿肉更加鲜嫩美味,但在慢火卤制过程中会

使肌肉中的蛋白变性、肉质收缩而变硬。超声波属于绿色非热物理肉品加工技术^[1],其空化作用、机械作用和热效应等特点可使肉品达到嫩化效果,减少蒸煮损失^[2,3],改善肉品口感,明显提高肉制品腌制效率,降低生产成本^[4],如 YEUNG^[5](2017)等研究超声处理使卤料更容易渗透到肉质中达到入味,陈丽艳^[6](2018)等和张建梅^[7](2019)等研究发现超声波处理后能改善肉品质和蒸煮损失,ZHANG^[8](2017)等和 XIONG^[9](2020)等研究表明不仅可以提高肉质嫩度,还能有效促进各调味品的渗透使得产品风味均匀;但是目前超声波嫩化法应用于鸡肉等尚未深入研究。由于传统制法对肉品品质的影响有较大变动性,所以采用响应面探索改进传统卤制工艺,以期获得稳定的工艺参数。卤制温度、时间不适宜都会造成产品品质不足^[10],因此,本研究以超声波的功率、温度、时间和中药汁作为参考因素,鸡腿肉剪切力、蒸煮损失、感官评价作为在卤制过程中响应值,得出最佳工艺参数;肉品嫩度是影响肉制品营养、口感、风味和消化的重要因素,而剪切力能量化肉品嫩度,再重点对超声波在肉品嫩化及中药汁肉品加工应用的影响进行响应面分析,为超声波改善传统卤制工艺提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

鸡翅根:温州人本超市。

罗汉果、当归、孜然、香叶、八角、桂皮、小茴香、肉桂、花椒、白芷、肉蔻:均为温州市庆元堂药品零售有限公司。

1.2 仪器与设备

TMS-PRO 质构仪,美国 FTC 公司;

B2512DT 超声波清洗机,宁波恒科超声波设备有限公司;

BS-223S 型电子天平,北京赛多利斯仪器系统公司;

BXM-30R 高压蒸汽灭菌锅,上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;

HH-S 型数显水浴锅,苏州市国飞实验室仪器

有限公司;

DZQ400/2D 多功能真空包装机,上海锦屏仪器仪表有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺与配方

(1) 工艺流程。

配制盐卤→腌制鸡腿→制备中药汁→超声卤制→出锅包装。

(2) 操作要点及配方。

①配制盐卤:控制盐水比为 10:7,煮沸成饱和溶液(新卤);使用后的新卤,经多次加葱、姜(每 1kg 盐卤加 2g 葱、3g 姜)即成老卤。

②腌制鸡腿:将鸡腿放入盐卤中腌制 0.5h。

③制备中药汁:小中药包(10g)配方,小茴香 0.5g、肉桂 0.8g、罗汉果 0.9g、白芷 0.7g、肉蔻 1.0g、当归 0.5g、桂皮 1.5g、香叶 1.0g、孜然 1.0g、花椒 1.1g、八角 1.0g。将体积过大中药用破壁机磨成粉,用纱布包扎剪成小中药包,实验时 10 袋小中药包加入 0.5L 水熬制 30min 得卤液。

④超声卤制:将盐卤好的鸡腿捞出,加入中药汁后放入超声清洗机中。超声完毕后放入锅中,加入适量料酒 5%、酱油 1%、白糖 2%、味精 2%,熬煮至熟。

⑤出锅包装:熟制的鸡腿出锅沥干后进行真空包装。

1.3.2 卤制单因素实验设计

结合超声预实验和肉制品主要影响因素,以超声功率、超声温度和超声时间和中药汁浓度作为对鸡腿肉口感与嫩度影响的主要因素,以鸡腿肉的感官品质、剪切力和蒸煮损失率为响应值,分别探究了超声功率(180、200、220、240、260W)、超声温度(65、70、75、80、85℃)、超声时间(25、30、35、40、45min)、中药汁浓度(0.05、0.06、0.07、0.08、0.09g/mL),四个因素对鸡腿肉品质的影响。

1.3.3 单因素卤制响应面设计

根据前期单因素结果,以 A、B、C、D 分别表示超声功率、超声温度、超声时间和中药汁浓度为单因素考察变量,剪切力 R 作为响应值进行响应面实验,具体见表 1。

表 1 响应面实验设计

Table 1 Response surface experiment design

水平	A 超声 功率/W	B 超声 温度/℃	C 超声 时间/min	D 中药汁 浓度/g · mL ⁻¹
-1	220	50	35	0.05
0	260	60	40	0.07
1	300	70	45	0.09

1.3.4 指标的测定与方法

(1) 感官评价。

邀请 10 位食品专业的本科生组成评定小组,先明确本实验的目的意义及感官评定的指标和注意事项。分析各个评价人员的结果,去掉最低分和最高分后得出算术平均值,评分标准见表 2 所示。

表 2 鸡腿肉感官品质评分标准表

Table 2 Standard table for sensory quality
evaluation of chicken leg meat

感官 分值/分	口感	色泽	风味	质地
8~10	口感细嫩,肉质不老化成渣,味道适宜	肉质内外呈均匀红棕色,表面具有光泽	浓香,明显具有卤制品特有的风味	嫩度高,咀嚼时无异物附着
5~7	口感较细嫩,肉质不老化成渣	颜色偏深,光泽度下降,内部颜色基本均匀	有中药汁香味,风味协调,卤制风味比较明显	嫩度适中,有弹性,咀嚼性较好
3~4	口感偏干,肉质偏硬,咸度基本合适	颜色深红,表面及内部颜色分布不均	有一定香味,没有卤制品独特的风味	嫩度偏干,咀嚼性中等
1~2	口感较差,肉质成渣,咸度不合适	颜色偏淡,无光泽,内部中药汁未浸入	缺乏肉特有的香味,只有较淡的中药汁味	肉质偏硬,有异物附着感,咀嚼性较差

(2) 剪切力测定。

参照 Li^[1] (2016) 等方法并作修改。取 2cm × 1cm × 0.5cm 鸡腿肉,质构仪剪切力参数: HDP/BS 型燕尾刀测试速率都为 10、2、10mm/s,距离为 10mm,测定时剪切刀前进与顺肌纤维方向垂直,每样品都平行测 6 组取平均值。

(3) 蒸煮损失率测定。

鸡腿焯水后先沥水 15min 称重(m_1 ,g),卤制后沥水 15min 称重(m_2 ,g),计算蒸煮损失率^[2]。

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = [(m_1 - m_2) / m_1] \times 100\%$$

1.4 数据处理

采用 SPSS17.0 软件对结果进行显著性分析,利用 Design Expert V8 软件进行响应面分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果及分析

2.1.1 超声功率对感官分值、剪切力和蒸煮损失影响

由表 3 可知,感官分值随着超声功率的增大而增加,而剪切力和蒸煮损失总趋势都随着功率的增大而减少,其中剪切力随超声功率增加下降明显,鸡腿肉的嫩度更好,可见鸡腿肉的卤制效果和保水性,随着超声功率的增加均变得更好。

表 3 超声功率对感官分数、剪切力和蒸煮损失的影响

Table 3 The influence of ultrasonic power on sensory score, shear force and cooking loss

超声功率/W	感官分值/分	剪切力/N	蒸煮损失/%
180	6.81 ± 0.43 ^c	23.94 ± 0.11 ^a	14.84 ± 0.34 ^a
200	7.01 ± 0.89 ^c	23.11 ± 0.09 ^a	13.61 ± 0.2 ^{6b}
220	7.98 ± 0.67 ^{bc}	22.18 ± 0.05 ^b	12.01 ± 0.48 ^{bc}
240	8.44 ± 1.01 ^b	21.04 ± 0.02 ^c	11.68 ± 0.21 ^c
260	9.44 ± 0.82 ^a	19.03 ± 0.29 ^d	11.36 ± 0.56 ^c

注:同行数据后的小写字母表示差异达显著水平($p > 0.05$)。

感官分值在超声功率为 180W 和 200W、240W 和 260W 之间差异不显著($P > 0.05$),220W 与其他组相比有显著差异($p < 0.05$)。其原因是超声波产生的空穴效应使肌原纤维断裂、多种蛋白酶被破坏,减少了水分流失,使得鸡肉剪切力降低而起到嫩化作用,咀嚼没肉质老化的汁,口感更好^[3];剪切力在超声 180W 与 200W 之间差异不显著($P > 0.05$),200、220、240、260W 之间变化显著($p < 0.05$),剪切力越低肉质的嫩度越好,超声波促使肉质变得松软,增加了肌肉间的空隙,促使中药汁浸入更快而减少了卤制时间;蒸煮损失在超声功率为 200、220、240W 和 260W 间差异不显著($p > 0.05$),180W 与其他处

理组相比显著升高 ($p < 0.05$), 这与 Kang^[4] (2016) 和 STADNIK^[5] (2008) 等的结论一致, 一定强度的超声波处理可以促使肌肉纤维的断裂以及提高保水性。

2.1.2 超声温度对感官分值、剪切力和蒸煮损失影响

由表 4 可知, 感官分值随着超声温度的升高而降低, 而剪切力和蒸煮损失总趋势都随着温度的升高而增大, 可见鸡腿肉的卤制效果和保水性随着温度增加而下降。感官分值在温度为 65、70、75℃ 之间与 80、85℃ 之间差异不显著 ($p > 0.05$), 而在 75℃ 与 80℃ 之间有显著差异 ($p < 0.05$), 可见温度过低或过高, 对肉品嫩度都有影响, 咀嚼产生熟度不透或老化, 而口感下降; 剪切力在温度 65℃ 时显著小于其他组 ($p < 0.05$), 在 70℃ 和 75℃、80℃ 和 85℃ 之间差异不显著 ($p > 0.05$), 75℃ 和 80℃ 之间差异显著 ($p < 0.05$), 温度升高使肌纤维之间肉汁析出, 肌肉间空隙变少使得剪切力升高; 蒸煮损失在温度 65℃ 与 70℃ 显著增加 ($p < 0.05$), 70、75、80℃ 和 85℃ 间差异不显著 ($p > 0.05$), 魏心如^[6] (2014) 等水浴处理鸡胸肉的蒸煮损失在不同温度下也不同相一致。

表 4 超声温度对感官分数、剪切力和蒸煮损失的影响

Table 4 The influence of ultrasonic temperature on sensory score, shear force and cooking loss

超声温度/℃	感官分值/分	剪切力/N	蒸煮损失/%
65	8.86 ± 1.21 ^a	20.43 ± 0.37 ^c	11.47 ± 0.56 ^c
70	8.21 ± 0.36 ^a	22.14 ± 0.12 ^b	12.18 ± 0.48 ^b
75	7.99 ± 0.18 ^a	22.91 ± 0.04 ^b	13.04 ± 0.72 ^{ab}
80	7.48 ± 1.10 ^b	23.96 ± 0.34 ^a	13.79 ± 0.35 ^a
85	7.37 ± 0.16 ^b	24.33 ± 0.43 ^a	14.44 ± 0.61 ^a

注: 同行数据后的小写字母表示差异达显著水平 ($p > 0.05$)。

2.1.3 超声时间对感官分值、剪切力和蒸煮损失影响

由表 5 可知, 感官分值随着超声时间的增长呈现先增大后降低, 而剪切力和蒸煮损失都随着时间的增长呈现先降低后增加, 可见鸡腿肉的卤制效果和保水性在合适的超声时间有较好的效果。感官分值在时间为 25min 与 30min 之间差异显著 ($p < 0.05$), 在 30、35、40、45min 之间差异不显著 ($p >$

0.05), 超声时间为 45min 时, 感官分值又下降, 可能是由于剪切力增加导致肉质咀嚼起来较老; 剪切力在超声时间 25min 与 30min 差异显著 ($p < 0.05$), 30min 与 35min 差异显著 ($p < 0.05$), 35min 与 40min 差异不显著 ($p > 0.05$), 40min 与 45min 差异显著 ($p < 0.05$), 超声时间的延长对鸡腿肉肌肉组织造成破坏使剪切力下降, 而过长时间使温度控制不到位, 导致鸡腿肉剪切力出现上升趋势, 这与任海伟^[7] (2019) 等提出的过长时间的超声处理会产生热效应和剪切力下降相一致; 蒸煮损失在超声时间 25min 与 30min 差异显著 ($p < 0.05$), 在 30、35、40min 之间差异不显著 ($p > 0.05$), 40min 与 45min 差异显著 ($p < 0.05$), 龙锦鹏^[8] (2018) 和李博文^[9] (2012) 等也有类似结果。

表 5 超声时间对感官分数、剪切力和蒸煮损失的影响

Table 5 The influence of ultrasonic time on sensory score, shear force and cooking loss

超声时间/min	感官分值/分	剪切力/N	蒸煮损失/%
25	7.76 ± 0.49 ^b	23.84 ± 0.04 ^a	13.76 ± 0.18 ^a
30	8.34 ± 1.01 ^{ab}	20.78 ± 0.41 ^c	11.68 ± 0.73 ^{bc}
35	9.48 ± 0.21 ^a	19.34 ± 0.29 ^d	11.04 ± 0.44 ^c
40	9.79 ± 0.19 ^a	19.01 ± 0.17 ^d	10.64 ± 0.38 ^c
45	8.99 ± 0.69 ^a	22.71 ± 0.09 ^b	12.12 ± 0.15 ^b

注: 同行数据后的小写字母表示差异达显著水平 ($p > 0.05$)。

2.1.4 超声浓度对感官分值、剪切力和蒸煮损失影响

由表 6 可知, 感官分值随着中药汁浓度的增多而增加但变化不大, 而剪切力随着中药汁浓度的增多呈现先增加后下降, 蒸煮损失随着中药汁浓度的增多变化不大, 中药汁浓度对肉品三个评定标准的影响较小, 感官分值和蒸煮损失在不同中药汁浓度各组之间差异都不显著 ($p > 0.05$), 这是由于中药汁浓度的变化对风味和老化程度的影响均较小, 使感官分值变化比较平缓, 由于中药汁渗透到肉纤维中抵消了肉汁大渗出, 使蒸煮损失影响较小, 这与苑瑞生^[10] (2011) 等超声处理食盐浓度对肌肉感官和蒸煮损失影响不显著相一致, 剪切力在中药汁浓度 0.07/g · mL⁻¹ 前后差异显著 ($p < 0.05$), 这是由于中药汁浓度渗透到肉纤维中而改变了剪切力的

大小。

表 6 中药汁浓度对感官分数、剪切力和蒸煮损失的影响

Table 6 The influence of ultrasonic concentration on sensory score, shear force and cooking loss

中药汁浓度 /g · mL ⁻¹	感官分值/分	剪切力/N	蒸煮损失/%
0.05	8.01 ± 0.14 ^a	22.41 ± 0.31 ^c	12.12 ± 0.45 ^a
0.06	8.23 ± 0.31 ^a	23.59 ± 0.11b ^c	12.24 ± 0.41 ^a
0.07	8.23 ± 0.31 ^a	23.67 ± 0.17 ^{ab}	11.34 ± 0.18 ^a
0.08	8.39 ± 0.18 ^a	24.81 ± 0.13 ^a	12.02 ± 0.19 ^a
0.09	8.43 ± 0.24 ^a	23.92 ± 0.14 ^a	12.12 ± 0.23 ^a

注: 同行数据后的小写字母表示差异达显著水平($p > 0.05$)。

2.2 响应面法结果与分析

2.2.1 响应面实验剪切力(R) 拟合模型的建立与模型方差分析

响应面实验设计及结果见表 7,对表 7 数据进行回归拟合,得到自变量与卤鸡腿剪切力(Y) 的二次多项回归方程为:

$$R = 19.1718 + 0.4174A + 0.6615B + 0.3566C - 0.4393D + 0.7529AB + 0.1928AC - 0.5172AD + 0.5153BC - 0.4722BD - 1.5222CD + 0.0992A^2 + 0.6654B^2 + 0.4979C^2 + 1.1416D^2$$

表 7 响应面分析实验及结果

Table 7 Analysis of the results of experiments and response surface

序号	因素				R 剪切力/N
	A/W	B/°C	C/min	D/g · mL ⁻¹	
1	(300) 1	(50) -1	(40) 0	(0.07) 0	19.44
2	(220) -1	(60) 0	(35) -1	(0.07) 0	19.51
3	(260) 0	(60) 0	(40) 0	(0.07) 0	19.21
4	(260) 0	(70) 1	(40) 0	(0.05) -1	22.56
5	(260) 0	(60) 0	(40) 0	(0.07) 0	19.16
6	(220) -1	(60) 0	(45) 1	(0.07) 0	19.39
7	(260) 0	(50) -1	(45) 1	(0.07) 0	19.88
8	(260) 0	(60) 0	(35) -1	(0.09) 1	21.75

续表 7

序号	因素				R 剪切力/N
	A/W	B/°C	C/min	D/g · mL ⁻¹	
9	(260) 0	(50) -1	(40) 0	(0.05) -1	19.93
10	(220) -1	(50) -1	(40) 0	(0.07) 0	19.79
11	(300) 1	(60) 0	(40) 0	(0.05) -1	21.68
12	(260) 0	(70) 1	(35) -1	(0.07) 0	19.63
13	(260) 0	(70) 1	(40) 0	(0.09) 1	20.81
14	(220) -1	(60) 0	(40) 0	(0.05) -1	19.58
15	(300) 1	(70) 1	(40) 0	(0.07) 0	21.91
16	(300) 1	(60) 0	(45) 1	(0.07) 0	20.14
17	(260) 0	(60) 0	(35) -1	(0.05) -1	19.71
18	(260) 0	(60) 0	(45) 1	(0.05) -1	23.32
19	(260) 0	(60) 0	(40) 0	(0.07) 0	19.20
20	(260) 0	(70) 1	(45) 1	(0.07) 0	22.23
21	(260) 0	(60) 0	(45) 1	(0.09) 1	19.01
22	(260) 0	(50) -1	(35) -1	(0.07) 0	19.08
23	(300) 1	(60) 0	(40) 0	(0.09) 1	19.82
24	(220) -1	(60) 0	(40) 0	(0.09) 1	20.05
25	(260) 0	(60) 0	(40) 0	(0.07) 0	19.25
26	(260) 0	(50) -1	(40) 0	(0.09) 1	20.33
27	(220) -1	(70) 1	(40) 0	(0.07) 0	19.33
28	(300) 1	(60) 0	(35) -1	(0.07) 0	19.75
29	(260) 0	(60) 0	(40) 0	(0.07) 0	19.30

对模型的方差分析结果见表 8。分析结果表明,由表 8 可知,剪切力的回归模型极显著($p < 0.0001$);失拟值中 F 值 = 79.92, $P = 0.0004 < 0.01$,影响高度显著,该模型很重要,模型拟合度很好。A、B、C、D、AB、AD、BC、BD、CD、B²、C²、D² 是重要的模型项,值大于 0.1000 表示模型项不重要,比较四个因素对剪切力的影响性:超声温度 > 超声功率 > 超声时间 > 中药汁浓度。模型的回归系数 $R^2 = 0.9375$,方程对实验拟合结果很好,误差较小。

表 8 回归模型方差分析
Table 8 Variance analysis of regression mode

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值	显著性
A	1	2.16	2.16	13.30	0.0026	**
B	1	5.36	5.36	33.01	<0.0001	***
C	1	1.72	1.72	10.58	0.0038	**
D	1	2.09	2.09	12.88	0.0030	**
AB	1	2.15	2.15	13.22	0.0027	**
AC	1	0.065	0.07	0.40	0.5370	
AD	1	1.36	1.36	8.36	0.0118	*
BC	1	0.81	0.81	4.99	0.0423	*
BD	1	1.16	1.16	7.12	0.0184	*
CD	1	10.08	10.08	62.09	<0.0001	***
A ²	1	0.04	0.04	0.24	0.6333	
B ²	1	2.69	2.69	16.54	0.0012	**
C ²	1	1.33	1.33	8.21	0.0125	*
D ²	1	7.81	7.81	48.09	<0.0001	***
模型	14	36.60	2.61	16.10	<0.0001	***
残差	14	2.27	0.16			
失拟项	10	2.26	0.23	79.92	0.0004	***
纯误差	4	0.01	0.003			
总差	28	38.87				

 $R^2 = 0.9375$

注: 影响极显著 ($p < 0.001$); 影响高度显著 ($p < 0.01$); 影响显著 ($p < 0.05$)。

2.2.2 响应面法实验结果分析

回归模型的响应面结果如图 1 所示。根据响应曲面的陡峭程度和等高线的等高形状可判断单因素对响应面影响情况, 以及两种单因素之间的交互作用所形成的响应面越平缓, 单因素对响应面影响越小, 等高形状越趋向圆形, 则两种单因素交互作用越不显著; 反之则相反^[24]。由图 1-a 可知, 随超声功率和超声温度的增加, 剪切力均呈现趋于平缓趋势, 且等高线呈微椭圆形, 证明两因素交互较不显著; 由 1-b 可知, 随超声功率和超声时间的增加, 剪切力均呈现较为平缓的趋势, 且等高线呈椭圆形, 证明两因素交互显著; 由图 1-c 可知, 随超声功率和中药汁浓度的增加, 剪切力分别呈现逐渐增加和先平缓增加后减少趋势, 等高线趋向微椭圆形, 证明两因素交

互较显著; 由图 1-d 可知, 随超声温度和超声时间的增加, 剪切力分别呈现平缓上升趋势, 等高线呈圆形, 证明两因素交互不显著; 由图 1-e 可知, 随超声温度和中药汁浓度的增加, 剪切力均呈现上升趋势, 超声温度较为明显, 等高线呈圆形, 证明两因素交互不显著; 由图 1-f 可知, 随超声时间和中药汁浓度的增加, 剪切力均呈现上升较快趋势, 等高线呈椭圆形, 证明两因素交互比较显著。

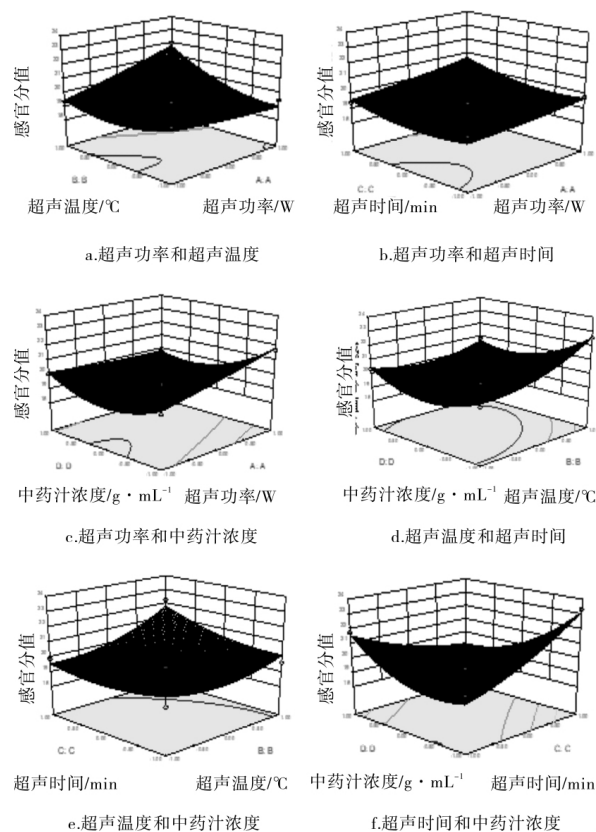


图 1 剪切力响应面图

Fig 1 Response surface graph of shear force

2.3 响应面实验最优工艺及其验证

通过 Design Expert V8 软件所得的最佳条件: 超声的最佳功率为 253.60W, 最佳温度为 55.82℃, 最佳时间为 41.17min, 中药汁的最佳浓度为 0.0745g/mL, 此时响应面所得的预测剪切力为 18.99N。根据实际情况取值超声的最佳功率为 254W, 最佳温度为 56℃, 最佳时间为 41min, 中药汁的最佳浓度为 0.07g/mL, 平行做 5 次验证实验, 鸡腿肉的剪切力为 19.13N, 实际所得值与理论预测值的相对误差分别为 0.74%, 由此可见该工艺条件的可靠性较高。

3 结论

(1) 鸡腿肉卤制最佳超声腌制工艺以嫩度指标的剪切力为响应值的回归方程为: $R = 19.1718 + 0.4174A + 0.6615B + 0.3566C - 0.4393D + 0.7529AB + 0.1928AC - 0.5172AD + 0.5153BC - 0.4722BD - 1.5222CD + 0.0992A^2 + 0.6654B^2 + 0.4979C^2 + 1.1416D^2$; 其最佳工艺参数: 超声功率为 254W、温度为 56℃、时间为 41min、中药汁浓度为 0.07g/mL, 鸡腿肉的剪切力为 19.13N。

(2) 结合单因素和响应面结果, 四因素对鸡腿肉感官品质、嫩度剪切力和蒸煮损失影响显著, 其主次顺序为: 超声温度 > 超声功率 > 超声时间 > 中药汁浓度。

(3) 在合适中药汁浓度卤制鸡腿肉中通过适当强度的超声处理能改善鸡肉品质。

参考文献

- 1 González - gonzález L, Luna - rodríguez L, Carrillolópez L M, et al. Ultrasound as an alternative to conventional marination: acceptability and mass transfer [J]. Journal of Food Quality, 2017, 12(2): 1 - 8.
- 2 龙锦鹏, 唐善虎, 李思宁等. 超声波辅助腌制法对牦牛肉腌制速率和品质影响的研究 [J]. 食品科技, 2018, 43(12): 131 - 137.
- 3 Saleem R, Ahmad R. Effect of ultrasonication on secondary structure and heat induced gelation of chicken myofibrils [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(8): 3340 - 3348.
- 4 张坤, 邹烨, 王道营等. 肉品嫩化方法及超声波技术应用于肉品嫩化的研究进展 [J]. 江苏农林科学, 2019, 47(2): 33 - 37.
- 5 Yeung C K, Huang S C. Effects of ultrasound pretreatment and ageing processing on quality and tenderness of pork loin [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2017, 5(11): 809 - 816.
- 6 陈丽艳, 潘道东, 曹锦轩等. 超声波处理对鹅肉蛋白结构及品质的影响 [J]. 核农学报, 2018, 32(12): 2363 - 2372.
- 7 张建梅, 历建军, 孙晓红等. 超声波辅助腌制对肉制品的影响 [J]. 农产品加工, 2019, (15): 11 - 14.
- 8 Zhang Z, Regenstien J M, Zhou P, et al. Effects of high intensity ultrasound modification on physicochemical property and water in myofibrillar protein gel [J]. Ultrasonics Sono-

chemistry, 2017, 34(8): 960 - 967.

- 9 Xiong G Fu X, Pan D, et al. Influence of ultrasound - assisted sodium bicarbonate marination on the curing efficiency of chicken breast meat [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2020, 60(9): 1 - 7.
- 10 Li K, Kang Zi, Zou Y, et al. Effect of ultrasound treatment on functional properties of reduced - salt chicken breast meat batter [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 52(5): 2622 - 2633.
- 11 Li Z, Jia C, Wang X, et al. Nondestructive determination of beef textural properties by near infrared spectroscopy [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(16): 286 - 292.
- 12 Karakaya M, Saricoban C, Yilmaz M T. The effect of various types of poultry pre - and post - rigor meats on emulsification capacity, water - holding capacity and cooking loss [J]. European Food Research and Technology, 2005, 220(3/4): 283 - 286.
- 13 Inguglia E S, Burgess C M, Kerry J P, et al. Ultrasound assisted marination: role of frequencies and treatment time on the quality of sodium - reduced poultry meat [J]. Foods, 2019, 8(10): 473 - 484.
- 14 Kang D C, Zou Y H, Cheng Y P, et al. Effects of power ultrasound on oxidation and structure of beef proteins during curing processing [J]. Ultrasonics - Sonochemistry, 2016, 33: 47 - 53.
- 15 Stadnik J, Zbagniew J D, Hannam B. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (m. semimembranosus) during ageing [J]. LWT - Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2151 - 2158.
- 16 魏心如, 韩敏义, 王鹏等. 热处理对鸡胸肉剪切力与蒸煮损失的影响 [J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3): 629 - 633.
- 17 任海伟, 石菊芬, 蔡亚玲等. 响应面法优化超声辅助酶解制备藏系羊胎盘肽工艺及抗氧化能力分析 [J]. 食品科学, 2019, 40(24): 265 - 273.
- 18 李博文, 孔保华, 杨振等. 超声波处理辅助腌制对酱牛肉品质影响的研究 [J]. 包装与食品机械, 2012, 30(1): 1 - 4, 40.
- 19 苑瑞生, 张佳, 王秀江等. 滚揉时间和食盐水浓度对鸡肉调理制品食用品质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(8): 184 - 189.
- 20 蒋春啟, 周然. 可食性包装膜及其制备工艺优化研究 [J]. 湖北农业科学, 2017, 56(21): 4119 - 4123.

(收稿日期 2020 - 10 - 19)