

改良醋酸浸渍法对牛肉嫩化效果影响的研究

陈武东, 杜险峰*, 周舟

(哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院, 哈尔滨 150028)

摘要:以牛腱肉为原材料,研究了醋酸用量、醋酸浸渍时间、醋酸浸渍温度对牛肉品质的影响。实验研究表明,醋酸添加量、浸渍时间、浸渍温度对肉样的含水量、pH值、剪切力以及感官评价均有显著影响;响应面实验优化后的醋酸浸渍嫩化牛肉的最佳工艺为:醋酸添加量1.53%、浸渍时间3.04 h和浸渍温度20.49℃,该工艺条件下牛肉的感官评分为85.98。

关键词:牛腱肉;醋酸浸渍法;感官评价;嫩化;响应面

中图分类号:TS202.3

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1000-9973.2022.04.010

文章编号:1000-9973(2022)04-0051-06

Study on the Effect of Improved Acetic Acid Impregnation Method on Beef Tenderization

CHEN Wu-dong, DU Xian-feng*, ZHOU Zhou

(School of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: Using beef shank as the raw material, the effects of acetic acid additive amount, acetic acid impregnation time and acetic acid impregnation temperature on the quality of beef are studied. The experimental results show that the additive amount of acetic acid, impregnation time and impregnation temperature have significant effects on the moisture content, pH value, shear force and sensory evaluation of the meat samples. The optimal technology for acetic acid impregnated and tenderized beef after optimization by response surface test is as follows: the acetic acid additive amount is 1.53%, the impregnation time is 3.04 h and the impregnation temperature is 20.49℃. The sensory score of beef under such process conditions is 85.98.

Key words: beef shank; acetic acid impregnation method; sensory evaluation; tenderization; response surface

牛肉的优质蛋白含量高,脂肪含量较低,铁、钙、锰、锌的含量高^[1],仅次于猪肉,成为中国人民消费比重第二大的肉类^[2]。牛肉的肌氨酸和肉毒碱含量远高于禽肉,可促进脂肪的代谢速度并产生支链氨基酸,对人体有增肌健体作用^[3]。牛腱肉即牛的前、后腿肉,细分为前腱肉和后腱肉,筋膜和肉相间分布,适合炖、烧、焖、酱等^[4]烹饪方式。对于我国消费者而言,消费观念已经从吃得饱向吃得好进阶,消费者在购买牛肉制品的过程中,趋向于挑选肉质柔软适中、鲜嫩且适口性强的产品。因此,改善牛肉的基础硬度,提升牛不同部位肉的质构和适口性,成为了国内外肉类研究科学的热点问题之一。

国内外有许多学者对牛肉嫩化方法做了相应的基

础研究,比如赵改名等^[5]研究的单一盐类嫩化技术;杨鸿基等^[6]研究的木瓜蛋白酶复合盐类嫩化技术;孙海磊等^[7]、陈一萌等^[8]研究的超声波结合外源酶或钙盐嫩化技术;也有学者利用有机酸发酵物改善食物的质地和风味,比如许凌志^[9]利用乳酸发酵物改变牛肉干的口感;赵福建^[10]对比传统方法以及乳酸发酵工艺制作酱牛肉,加入乳酸的酱牛肉质地和风味有明显改善;肖付才等^[11]通过添加1%的柠檬酸处理泡菜,使得泡菜整体感官评分提高;但利用有机酸嫩化牛肉的研究相对较少,且大多数研究者认为有机酸浸渍处理耗时长,嫩化过程缓慢,从而选择有机酸注射法提高嫩化效率,但是有机酸注射法的嫩化时间依旧很长,效率相对较低,王可等^[12]研究发现乳酸注射法嫩化牦牛肉的最

收稿日期:2021-10-20

基金项目:省级其他类项目(省部级)(SJGY20170060)

作者简介:陈武东(1995-),男,硕士,研究方向:烹饪科学。

* 通讯作者:杜险峰(1974-),男,副教授,硕士,研究方向:中餐烹饪技术、传统烹饪工业化、复配调味。

引文格式:陈武东,杜险峰,周舟.改良醋酸浸渍法对牛肉嫩化效果影响的研究[J].中国调味品,2022,47(4):51-56.

佳静置时间是 12 h;张宝珣等^[13]研究不同浓度乳酸对不同年龄秦川牛肉的嫩化效果时所需静置时间为 24 h;汤高奇等^[14]研究发现醋酸注射法嫩化牛通脊肉的最佳醋渍时间为 6 h。本实验运用全温度振荡培养箱,采用固定的振荡频率,以期在改良醋酸浸渍法、减少醋酸浸渍时间的同时保证牛肉的嫩化效果。研究表明,弱有机酸的使用让蛋白质表面静电荷发生变化,肌原纤维蛋白吸水膨胀,肌纤维间隙变大,从而保留更多的水分^[15];弱有机酸的处理会使肌束膜中结缔组织变弱;通过弱有机酸调节 pH 值使得维系肌原纤维结构完整的蛋白质和其他相关的蛋白质发生降解^[16],在这些因素的综合作用下改善牛肉的嫩度。肉类嫩化过程中经常使用的有机酸有醋酸^[17]、柠檬酸、乳酸以及苹果酸,有机酸嫩化法安全有效、风味独特、操作简单、成本相对较低。

本文以醋酸这种成本最低、风味浓厚^[18]的有机酸对牛腱肉进行嫩化,通过单因素实验比较不同醋酸添加量、浸渍时间和浸渍温度下牛肉的含水量、剪切力、pH 值和感官评价^[19]等指标的变化,使用 Design Expert 软件对实验模型进行优化,以感官评价为优化目标,研究醋酸对牛腱肉嫩化的最佳条件。

1 材料与仪器

1.1 实验材料

牛腱肉:重庆恒都农业集团有限公司;宝鼎天鱼 30°醋:上海宝鼎酿造有限公司。

1.2 主要仪器与设备

TMS-Touch 250 N 质构仪 美国 Food Technology Corporation;JD200-3 电子天平 福州华志科学仪器有限公司;DGG-9000 电热恒温鼓风干燥箱 上海森信实验仪器有限公司;DC-12H 恒温水浴锅 上海安谱科学仪器有限公司;Ultra-Turrax T25 Basic 高速匀浆器 德国 IKA-Werke 公司;PHS-3C pH 计 上海雷磁仪器厂;BC/BD-317HEF 电冰箱 青岛海尔电冰箱有限公司;HZQ-F160 全温度振荡培养箱 常州金坛精达仪器制造有限公司。

2 实验方法与设计

2.1 实验方法

2.1.1 样品处理

将牛腱肉在 0~4 °C 环境下解冻后切成 3 cm³ 的方块状;将表面脂肪和可见结缔组织剔除,用松肉器在牛肉块每个表面刺入 1 cm 后分别放入对应量的醋酸溶液中,把容器盖上盖子后,放入全温度振荡培养箱中,设定相应的温度和时间,振荡速度固定为 100 r/min。

2.1.2 剪切力的测定

参照 NY/T 1180—2006《肉嫩度的测定 剪切力测定法》,将待测肉样放在真空蒸煮袋中,放在恒温水浴锅中 83 °C 加热,用热电偶实时监测肉样中心温度,当肉样中心温度达到 70 °C 时,将肉样取出冷却至室温,将肉样切成 1 cm³ 的长条状,用单刀剪切复合探头测定,探头型号为 HDP/BS。参数设置为:起始力为 0.3 N,测试速度为 30 mm/s,回程速度为 60 mm/s,回程距离为 40 mm,再进行剪切力测定,样品重复测定 3 次。

2.1.3 pH 值的测定

参照 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》,精确称取牛肉 5 g 用小型绞肉机将肉样绞碎后,加入 10 倍于待测样品质量的氯化钾溶液(0.1 mol/L),用均质仪进行均质,用 PHS-3C pH 计进行测定,待读数稳定后,直接读数,精确至 0.01,重复测定 3 次。参考标准:一级鲜度 5.8~6.2,二级鲜度 6.3~6.6,变质肉 >6.7。

2.1.4 水分含量的测定

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法测定。

2.1.5 感官评价

把用醋酸嫩化处理后的牛腱肉烹饪加工成红烧牛肉,为防止辅料对牛腱肉的感官评价产生影响,选择最简单的配方对牛腱子肉进行烹饪加工,并对空白对照组的牛肉肉样进行相同的烹饪加工。感官评定小组由 15 名烹饪专业人员组成,感官评价前进行严格训练,学习和确认牛肉的感官评价标准,通过对样品的仔细观察、品尝和触摸,对各指标进行评分,最后算出各项样品的综合得分,具体评价标准见表 1。

表 1 红烧牛腱肉感官评分标准

Table 1 The sensory scoring standards for braised beef shank

项目	标准	感官评分
色泽	肉的表面和内部呈淡红色,色泽均匀,表面光泽度高	14~20 分
	肉的表面和内部呈灰褐色或黑褐色,色泽比较均匀,表面有光泽	7~13 分
	色泽不均,没有红烧牛肉的色泽	0~6 分
滋味	味道纯正饱满,余味适中,无刺激性异味	14~20 分
	味道较浓或较淡,余味较浓或较淡,酸味较淡	7~13 分
	味道不纯正,饱满度不足,没有余味或者过浓,有强烈的酸味	0~6 分
嫩度	口感细腻,咀嚼性佳,多汁性佳	21~30 分
	口感较粗劣,咀嚼性良好,汁水较少	11~20 分
	口感过硬过嫩,咀嚼性差,无咀嚼性,干涩	0~10 分
组织状态	横切面结构紧密,切面肌纤维清晰,弹性佳	21~30 分
	横切面结构较致密,切面肌纤维比较清晰,弹性良好	11~20 分
	横切面结构松散,切面肌纤维模糊,弹性差	0~10 分

2.2 实验设计

2.2.1 不同醋酸添加量对牛腱肉的嫩化实验

固定肉样质量为 15 g,浸渍温度为 20 °C、浸渍时

间为 2 h、振荡转速为 100 r/min,在容器 1~6 中分别加入 200 mL 的蒸馏水,分别加入 0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5% 的醋酸溶液,以 0% 的牛腱肉作为对照,初步确定适合牛腱肉嫩化的醋酸添加量,每个添加量平行实验 3 次。

2.2.2 不同浸渍时间对牛腱肉的嫩化实验

固定肉样质量为 15 g、浸渍温度为 20 ℃、醋酸添加量为 1.5%、振荡转速为 100 r/min,在容器 1~6 中分别加入 200 mL 的蒸馏水,置于全温度振荡培养箱中分别振荡浸渍 1,2,3,4,5 h,以不进行振荡浸渍的牛腱肉作为对照组,初步确定适合牛腱肉嫩化的振荡浸渍时间,每个振荡浸渍时间点重复实验 3 次。

2.2.3 不同浸渍温度对牛腱肉的嫩化实验

固定肉样质量为 15 g、浸渍时间为 2 h、醋酸添加量为 1.5%、振荡转速为 100 r/min,在容器 1~6 中分别加入 200 mL 的蒸馏水,置于全温度振荡培养箱中以 4,10,20,30,40,50 ℃ 分别振荡浸渍处理,初步确定适合牛腱肉嫩化的振荡浸渍温度,每个振荡浸渍温度重复实验 3 次。

2.2.4 BBD 响应曲面优化实验

根据单因素实验结果,选取醋酸添加量(A)、浸渍时间(B)和浸渍温度(C)3 个因素中嫩化效果较好的范围,以牛腱肉的感官评价得分作为响应值,采取三因素三水平的响应曲面分析法对牛腱肉的嫩化方案进行优化,得到最佳的嫩化方案,实验因素水平见表 2。

表 2 响应面实验因素水平表

Table 2 The factors and levels of response surface experiment

水平	因素		
	A 醋酸添加量/%	B 浸渍时间/h	C 浸渍温度/℃
-1	1.25	2.5	15
0	1.50	3.0	20
1	1.75	3.5	25

2.3 数据处理

所有数据均为 3 次平行实验后所得结果,以平均值±标准差表示;所有实验数据均采用 Microsoft Excel 2007 进行数据收集和前期处理;采用 SPSS 26.0 统计分析软件中的 One-Way ANOVA 进行方差分析和显著性检验,P<0.05 表示差异显著;采用 Design-Expert 8.0.6 进行实验设计和处理。

3 结果与分析

3.1 醋酸添加量对牛腱肉嫩化效果的影响

3.1.1 醋酸添加量对牛腱肉含水量、pH 值与剪切力的影响

肉的含水量在一定程度上可以代表肌纤维蛋白吸水膨胀的程度以及肌纤维间隙的持水能力,但肉的含水量并不是越高越好,因此,我们需要结合烹饪后牛肉制品的感官评价进行综合分析,剪切力是通过仪器模拟口腔咬合测量肉的嫩度。

表 3 醋酸添加量对牛腱肉含水量、pH 值与剪切力的影响
Table 3 The effect of acetic acid additive amount on the water content, pH value and shear force of beef shank

醋酸用量/%	含水量/%	pH 值	剪切力/N
0	70.51±0.76 ^d	6.71±0.01 ^a	54.13±1.20 ^a
0.5	82.69±0.63 ^a	5.80±0.01 ^b	36.25±1.13 ^b
1.0	84.49±0.82 ^b	5.45±0.01 ^c	28.62±0.39 ^c
1.5	84.46±0.35 ^b	5.27±0.01 ^d	22.13±0.82 ^d
2.0	85.92±0.27 ^{ab}	4.96±0.00 ^e	11.47±0.47 ^e
2.5	86.31±0.57 ^a	4.77±0.01 ^f	10.14±0.21 ^e

注:同列不同小写字母表示牛腱肉不同醋酸用量处理组间差异显著(P<0.05)。

由表 3 可知,在浸渍温度为 20 ℃、浸渍时间为 2 h 的条件下,随着醋酸添加量的增加,肉样含水量显著提高(P<0.05),在添加量为 1.0%、1.5% 和 2.0% 时差异并不显著(P>0.05),在 0.5%、1.0% 和 2.5% 时含水量显著增加(P<0.05);样品的剪切力值在醋酸添加量为 0.5%、1.0% 和 1.5% 时显著降低(P<0.05),嫩化效果明显。用弱有机酸处理牛肉后,随着牛肉 pH 值的下降,肉的 pH 开始偏离肌原纤维蛋白质等电点,蛋白质表面会形成更多和水分子结合的氢键位点,使得肌原纤维蛋白吸水膨胀;随着蛋白质表面负电荷的增加,蛋白质分子间的静电斥力随之增加,导致肌丝相互排斥,肌纤维间隙增大,保水性增加。随着醋酸添加量的增加,肉样的 pH 值显著下降,肉样的剪切力值也显著减小,说明醋酸调节 pH 值也是牛肉嫩化的一个重要因素,这与汤高奇等的研究结果一致。

3.1.2 醋酸添加量对红烧牛腱肉感官评价的影响

表 4 不同醋酸添加量下红烧牛腱肉的感官评分

Table 4 The sensory scores of braised beef shank with different additive amount of acetic acids

醋酸用量/%	色泽评分	滋味评分	嫩度评分	组织状态评分	总分
0	18.34±1.00 ^a	18.71±0.64 ^a	12.10±0.66 ^e	25.41±1.05 ^a	74.56±1.73 ^a
0.5	18.29±1.15 ^a	17.91±0.22 ^a	16.65±0.27 ^c	24.45±0.08 ^a	77.30±1.56 ^a
1.0	15.49±0.53 ^b	17.13±1.23 ^{ab}	21.67±0.87 ^b	20.72±0.41 ^b	75.01±1.47 ^a
1.5	15.46±0.35 ^b	15.47±0.78 ^b	25.73±0.70 ^a	20.07±0.48 ^b	76.73±1.31 ^a
2.0	10.92±0.27 ^c	10.96±0.59 ^c	14.59±0.92 ^d	13.69±0.66 ^c	50.15±0.63 ^b
2.5	7.64±0.89 ^d	8.72±0.71 ^d	11.64±0.70 ^e	11.35±0.73 ^d	39.36±1.23 ^c

注:同列不同小写字母表示牛腱肉不同醋酸用量处理组间差异显著(P<0.05)。

由表 4 可知,随着醋酸添加量的增加,肉品的色泽、滋味和组织状态评分逐步降低,嫩度评分呈先升高后降低的趋势,色泽、滋味和组织状态评分在醋酸用量为 2.0% 和 2.5% 时显著下降(P<0.05),与此同时,总分也显著降低(P<0.05),这说明随着醋酸添加量的增加,嫩度显著提高的同时也破坏了牛肉结缔组织和蛋白结构的完整性,导致牛肉缺少了咀嚼性,入口即化的口感使得肉样嫩度得分显著下降;色泽和滋味评分显著下降主要和醋酸浓度过高导致的色泽不均、褐变以及醋酸味过于浓烈有关。综合表 3 和表 4,1.5% 的醋酸添加量在有效改善牛腱肉嫩度的同时,保持相对较好的感官状态。

3.2 浸渍时间对牛腱肉嫩化效果的影响

3.2.1 浸渍时间对牛腱肉含水量、pH 值与剪切力的影响

表 5 浸渍时间对牛腱肉含水量、pH 值与剪切力的影响

Table 5 The effect of impregnation time on the water content, pH value and shear force of beef shank

浸渍时间/h	含水量/%	pH 值	剪切力/N
0	72.99±0.71 ^a	6.48±0.00 ^a	46.58±0.92 ^a
1	82.84±0.44 ^b	5.24±0.00 ^b	32.54±0.99 ^b
2	84.11±0.84 ^b	5.24±0.01 ^b	23.14±1.02 ^c
3	86.22±0.28 ^a	5.19±0.01 ^c	17.01±0.93 ^d
4	87.46±0.71 ^a	5.16±0.01 ^d	14.42±0.36 ^e
5	87.36±0.60 ^a	5.11±0.01 ^e	14.35±1.05 ^e

注:同列不同小写字母表示牛腱肉不同浸渍时间处理组间差异显著(P<0.05)。

由表 5 可知,在醋酸添加量为 1.5%、浸渍温度为 20℃的条件下,随着浸渍时间的延长,肉样含水量在逐渐增大,pH 值逐渐减小,剪切力值相应减小,这表明随着浸渍时间的增加,嫩化效果随之增强;而在浸渍时间为 4 h 和 5 h 时,肉样剪切力差异并不显著(P>0.05),说明浸渍时间达到 4 h 之后,肉样已经过度嫩化,浸渍时间对肉样嫩度的影响程度显著下降。

3.2.2 浸渍时间对红烧牛腱肉感官评价的影响

表 6 不同浸渍时间下红烧牛腱肉的感官评分

Table 6 The sensory scores of braised beef shank under different impregnation time

浸渍时间/h	色泽评分	滋味评分	嫩度评分	组织状态评分	总分
0	18.95±0.40 ^a	18.98±0.16 ^a	12.07±1.53 ^{de}	23.68±0.78 ^a	73.68±0.72 ^a
1	17.64±0.47 ^{ab}	16.49±1.01 ^b	14.60±1.12 ^{cd}	21.31±0.15 ^b	70.03±1.96 ^a
2	16.62±0.63 ^{bc}	15.09±0.16 ^b	19.97±1.34 ^b	21.09±0.78 ^b	72.78±0.32 ^a
3	15.76±0.24 ^c	15.02±0.40 ^b	23.59±0.65 ^a	18.79±0.94 ^c	73.16±1.80 ^a
4	12.80±1.47 ^d	13.04±0.73 ^c	15.75±0.18 ^c	11.89±0.50 ^d	53.48±1.32 ^b
5	11.95±0.68 ^d	12.73±0.91 ^c	11.75±1.32 ^e	8.60±0.45 ^e	45.02±2.03 ^c

注:同列不同小写字母表示牛腱肉不同浸渍时间处理组间差异显著(P<0.05)。

由表 6 可知,随着浸渍时间的延长,牛肉肉样的色泽、滋味以及组织状态评分逐步下降,嫩度评分呈现先缓慢上升随后快速下降的趋势;当浸渍时间达到 3 h 与 4 h 时,肉样的色泽、滋味、嫩度以及组织状态评分差异显著(P<0.05);当浸渍时间从 3 h 增加到 4 h 时,总分显著下降(P<0.05),由此可见,在醋酸浸渍时间达到 3 h 时,肉样嫩度已经达到相对较好的水平,再进一步增加浸渍时间,肉样嫩化过度,组织结构被过度破坏,含水量即使相对较高,但持水性相对下降,且对牛腱肉的色泽和适口性影响较大。因此,综合表 5 和表 6,醋酸浸渍时间为 3 h 时,可有效改善牛腱肉嫩度,而且保持相对较好的感官品质。

3.3 浸渍温度对牛腱肉嫩化效果的影响

3.3.1 浸渍温度对牛腱肉含水量、pH 值与剪切力的影响

表 7 浸渍温度对牛腱肉含水量、pH 值与剪切力的影响

Table 7 The effect of impregnation temperature on water content, pH value and shear force of beef shank

浸渍温度/℃	含水量/%	pH 值	剪切力/N
4	76.14±0.21 ^{de}	5.94±0.01 ^a	34.50±0.46 ^a
10	78.47±0.28 ^c	5.87±0.01 ^b	28.72±1.00 ^b
20	84.89±0.98 ^a	5.74±0.01 ^c	24.18±1.05 ^c
30	82.30±0.13 ^b	5.57±0.00 ^d	16.95±0.97 ^d
40	75.07±0.56 ^e	5.62±0.01 ^d	23.68±0.61 ^c
50	76.48±0.21 ^d	5.69±0.00 ^{cd}	30.30±0.69 ^b

注:同列不同小写字母表示牛腱肉不同浸渍温度处理组间差异显著(P<0.05)。

由表 7 可知,在醋酸添加量为 1.5%、浸渍时间为 3 h 的条件下,随着浸渍温度的升高,肉样含水量大体呈现先上升后下降的趋势,剪切力呈现先缓慢下降后快速上升的整体趋势,pH 值在 20℃后变化差异不显著(P>0.05),其中肉样的含水量在 20℃后显著降低(P<0.05),剪切力值在 30℃时达到最低值,随后显著上升,这说明浸渍温度在 20℃和 30℃之间时,醋酸的嫩化效果相对明显,能够达到较好的嫩化效果,随后温度继续升高,肉样的嫩度随剪切力值的缓慢升高而显著变小。

3.3.2 浸渍温度对红烧牛腱肉感官评价的影响

表 8 不同浸渍温度下红烧牛腱肉的感官评分

Table 8 The sensory scores of braised beef shank under different impregnation temperatures

浸渍温度/℃	色泽评分	滋味评分	嫩度评分	组织状态评分	总分
4	18.05±0.16 ^a	14.74±0.64 ^b	8.65±0.33 ^f	25.08±0.58 ^a	66.52±1.32 ^c
10	16.02±0.56 ^b	14.95±0.15 ^b	15.81±0.60 ^e	23.63±0.40 ^{ab}	70.41±1.38 ^b
20	14.97±0.55 ^{bc}	16.80±0.73 ^a	21.56±0.90 ^a	23.15±0.56 ^b	76.48±1.01 ^a
30	13.76±0.78 ^c	14.57±0.35 ^b	18.67±0.53 ^b	22.12±0.48 ^b	69.12±0.67 ^{bc}
40	10.95±0.51 ^d	12.13±0.27 ^c	13.99±1.02 ^d	19.55±1.06 ^c	56.62±0.69 ^d
50	10.88±0.49 ^d	11.92±0.69 ^c	11.46±0.37 ^e	17.35±1.17 ^d	51.61±2.13 ^c

注:同列不同小写字母表示牛腱肉不同浸渍温度处理组间差异显著(P<0.05)。

由表 8 可知,随着浸渍温度的升高,肉样的色泽与组织状态评分逐渐降低,嫩度和滋味评分呈先上升后下降的趋势,色泽评分在 4℃之后显著下降(P<0.05),在 40℃之后趋于一致;组织状态评分在 30℃之后显著下降(P<0.05);嫩度、滋味评分和总分在浸渍温度为 20℃时达到最高水平,随后继续升温至 30℃,嫩度、滋味评分和总分显著下降(P<0.05),在浸渍温度为 20℃时,醋酸扩散已经相对均匀,因此嫩化效果明显,评分相对较高,随着浸渍温度继续升高,逐渐接近肉样的蛋白质变性温度,综合评分显著降低(P<0.05)。综合表 7 和表 8 可知,浸渍温度为 20℃可有效改善牛腱肉的嫩度,并保持相对更好的感官品质。

3.4 响应面实验方案及其结果

表 9 Box-Behnken 实验设计方案及结果
Table 9 Box-Behnken experiment design scheme and results

序号	A 醋酸添加量/%	B 浸渍时间/h	C 浸渍温度/℃	感官评分
1	1.25	2.5	20	82.14
2	1.75	2.5	20	83.75
3	1.25	3.5	20	83.43
4	1.75	3.5	20	83.69
5	1.25	3	15	82.33
6	1.75	3	15	82.77
7	1.25	3	25	83.19
8	1.75	3	25	83.36
9	1.5	2.5	15	82.56
10	1.5	3.5	15	82.32
11	1.5	2.5	25	82.51
12	1.5	3.5	25	83.53
13	1.5	3	20	85.23
14	1.5	3	20	85.89
15	1.5	3	20	86.06
16	1.5	3	20	86.13
17	1.5	3	20	86.39

使用 Design Expert 10.0.7 软件对表 9 中的数据进行多元回归拟合,得到感官评价得分对醋酸添加量(A)、浸渍时间(B)和浸渍温度(C)的回归方程: $Y = 85.94 + 0.31A + 0.25B + 0.33C - 0.34AB - 0.067AC + 0.32BC - 1.25A^2 - 1.44B^2 - 1.77C^2$ 。

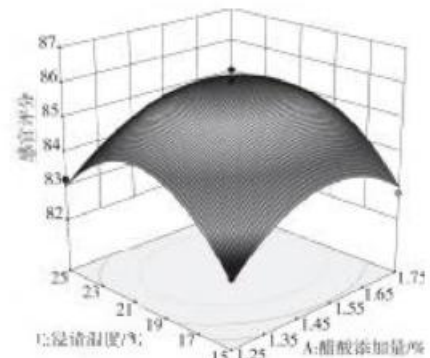
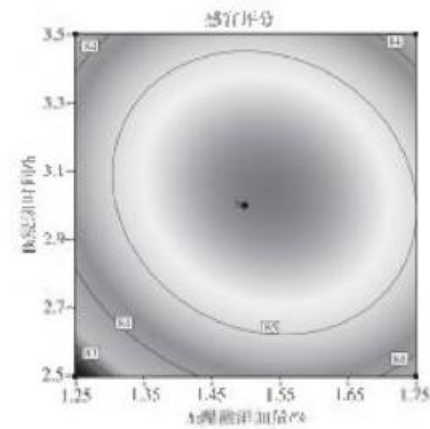
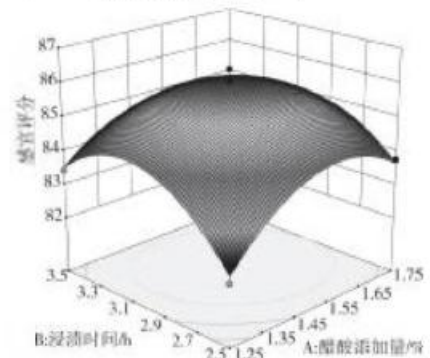
表 10 回归方程模型方差分析及其系数显著性检验
Table 10 Analysis of variance of regression equation model and significance test of coefficient

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	34.80	9	3.87	27.23	0.0001	**
A	0.77	1	0.77	5.41	0.0528	ns
B	0.51	1	0.51	3.56	0.1013	ns
C	0.85	1	0.85	6.00	0.0442	*
AB	0.46	1	0.46	3.21	0.1163	ns
AC	0.018	1	0.018	0.13	0.7307	ns
BC	0.40	1	0.40	2.80	0.1385	ns
A ²	6.61	1	6.61	46.52	0.0002	**
B ²	8.67	1	8.67	61.07	0.0001	**
C ²	13.27	1	13.27	93.43	<0.0001	**
残差	0.99	7	0.14			
失拟项	0.23	3	0.078	0.41	0.7544	ns
纯误差	0.76	4	0.19			
合计	35.79	16				

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

由表 10 可知,模型的 F 值=27.23, $P < 0.0001$,说明该方程模型极显著;失拟项的 F 值=0.41, $P = 0.7544 > 0.05$,表明该模型失拟不显著,二元多项回归方程拟合效果优良。在回归模型中,一次项 C 对感官评分影响为显著水平($P < 0.05$),二次项 A²、B²、C²对总体感官评分影响为极显著水平($P < 0.01$)。根据多

元二次回归方程的各个系数绝对值的大小可判断 3 个因素对感官评分的影响顺序为 $C > A > B$,即浸渍温度 > 醋酸添加量 > 浸渍时间。回归模型的决定系数 $R^2 = 0.9722$,说明各因素对感官评分的解释度高达 97.22%,模型拟合优度大; $R_{\text{Pred}}^2 = 0.8621, R_{\text{Adj}}^2 = 0.9365$,说明调整后的 R^2 和预测的 R^2 差异小于 0.2,即该模型的决定系数可信度高;模型的信噪比为 12.911 > 4,说明模型的拟合度和可信度较高;变异系数越小,实验可信度越高,本实验的变异系数为 0.45,说明实验的准确性和可信度较高。使用 Design Expert 10.0.7 软件对以上实验结果进行响应曲面分析,可以得到该方程模型的响应面图和等高线图,结果见图 1。由回归模型分析可知,醋酸嫩化牛腱肉的最佳工艺为:醋酸添加量 1.53%、浸渍时间 3.04 h 和浸渍温度 20.49 ℃,感官评分为 85.98。



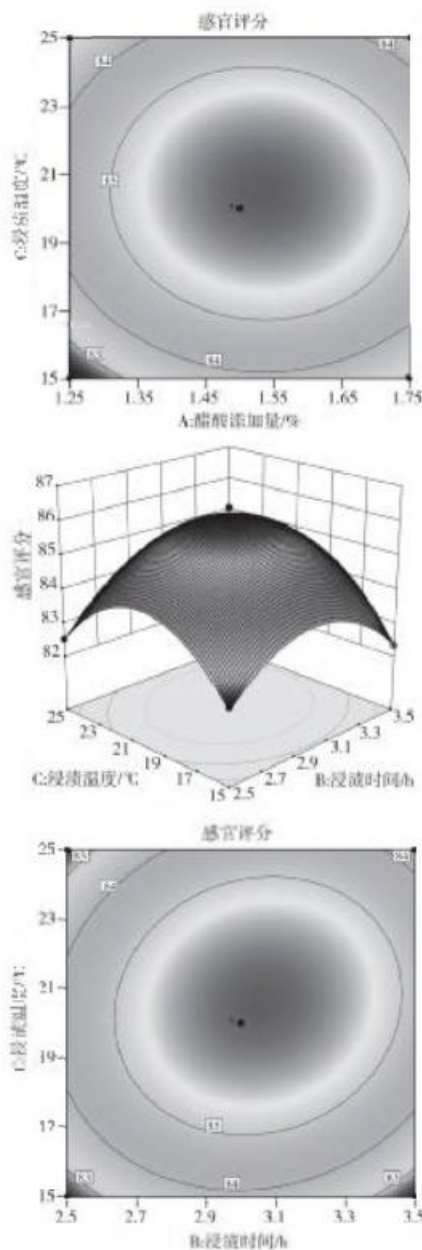


图 1 响应面和等高线图

Fig. 1 The response surface and contour diagrams

4 结论

对传统的醋酸浸渍方法^[20]做了一定的改进,在实验过程中,使用全温度振荡培养箱,增加固定功率和振荡速率进行恒温振荡的步骤,促进了醋酸对牛腱肉的均匀渗透和嫩化效果,还大幅度减少了有机酸浸渍嫩化法所需的时间。本实验以感官评分为评价指标,以单因素实验为基础,运用响应面实验优化醋酸嫩化牛腱肉的工艺,得出醋酸嫩化牛腱肉的最佳工艺为:醋酸添

加量 1.53%、浸渍时间 3.04 h 和浸渍温度 20.49 ℃,感官评分为 85.98,各因素对总体感官评分的影响程度依次为浸渍温度>醋酸添加量>浸渍时间。

参考文献:

- [1]郝涤非,孙婷婷.枸杞黄豆牛肉酱的加工[J].中国调味品,2019,44(6):140-143.
- [2]王可,祝超智,赵改名,等.牛肉制品加工现状与发展趋势[J].食品科技,2019,44(10):122-129.
- [3]顾思远,刘达玉,杨长平,等.松茸牛肉调味酱加工工艺研究[J].中国调味品,2019,44(12):108-110,116.
- [4]石奇磊,任红涛,余秋颖,等.二次正交旋转组合设计优化红烧肉酱汁加工工艺[J].中国调味品,2020,45(8):87-91.
- [5]赵改名,郝婉名,祝超智,等.碳酸钠在嫩化型风干牛肉中的应用效果研究[J].食品科学技术学报,2020,38(4):103-110.
- [6]杨鸿基,韩玲,孔祥颖,等.氯化钙-木瓜蛋白酶-碳酸氢钠嫩化体系改善原切牦牛排嫩度[J].食品科学,2019,40(20):261-268.
- [7]孙海磊,罗欣,朱立贤,等.超声波技术在牛肉嫩化中的应用研究进展[J].食品与发酵工业,2020,46(20):282-286.
- [8]陈一萌,唐善虎,李思宁,等.超声波辅助木瓜蛋白酶及发酵处理对牦牛肉的理化和质构特性[J].食品与发酵工业,2019,45(23):183-188.
- [9]许凌志.基于多时变算法的半干型牛肉干生产风味变化分析[J].中国调味品,2020,45(6):157-159.
- [10]赵福建.酱卤牛肉的质地及风味改良研究[J].中国调味品,2020,45(2):121-123.
- [11]肖付才,刘凯,陈凤仪,等.有机酸对泡菜亚硝酸盐和生物胺的抑制作用[J].中国调味品,2020,45(10):80-84.
- [12]王可,祝超智,赵改名,等.乳酸嫩化牦牛肉的工艺优化[J].肉类研究,2019,33(4):13-18.
- [13]张宝翔,管林森,李林强,等.乳酸对不同年龄秦川牛肉的嫩化效果[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(3):30-34,42.
- [14]汤高奇,王彦平,周志强,等.醋渍处理对牛肉嫩化效果的影响研究[J].食品科技,2016,41(7):126-130.
- [15]郝婉名,祝超智,赵改名,等.肌肉嫩度的影响因素及 pH 调节牛肉嫩化技术研究进展[J].食品工业科技,2019,40(24):349-354.
- [16]吕东坡,胡永金,朱仁俊,等.宰后肉的嫩化机制及其影响因素[J].食品科学,2008(8):704-709.
- [17]陈程鹏,邱晓曼,洪厚胜.食醋液态发酵工艺的研究现状[J].中国调味品,2020,45(1):189-192.
- [18]秦伟军,王建云.食醋酿造中酯类生成及酯化酶的应用研究[J].中国调味品,2020,45(10):126-129.
- [19]殷晓,谢定源.襄阳牛肉面感官特征的模糊综合评价及其汤汁的风味分析[J].中国调味品,2019,44(9):1-8,18.
- [20]谭阳阳,马微,牛墨.不同条件对腌渍蔬菜生产过程中丙酸产生的影响[J].中国调味品,2020,45(11):67-69,80.