

木瓜蛋白酶嫩化调理猪排工艺条件的优化

柳艳霞, 张豪, 赵莉君, 赵改名, 段萍

(河南农业大学食品科学技术学院, 河南省肉制品加工与质量安全控制重点实验室, 河南郑州 450002)

摘要: 本文以猪后肘肉为原料, 制备调理猪排, 采用响应面回归设计探究木瓜蛋白酶嫩化调理猪排的最佳工艺条件。以木瓜蛋白酶添加量、嫩化时间和嫩化温度为嫩化因子, 以剪切力和感官评价为主要衡量指标, 通过单因素试验和响应曲面试验, 确定调理猪排的木瓜蛋白酶最佳嫩化工艺参数。结果表明, 酶添加量、嫩化时间、嫩化温度对调理猪排的剪切力、感官评价、持水力、质构均有显著性影响 ($p < 0.05$), 木瓜蛋白酶可以有效降低调理猪排的剪切力, 提高肉的食用品质; 确定了木瓜蛋白酶嫩化调理猪排的最佳工艺: 酶添加量 340.00 U/g, 嫩化时间 15.00 min, 嫩化温度 49.00 °C, 在此条件下制作的调理猪排嫩度适宜, 且无苦味等异味, 感官评价较好, 剪切力 2.48 kg, 感官评分 90.14, 为调理肉制品工业化生产中的酶嫩化技术应用奠定基础。

关键词: 调理猪排; 酶; 嫩化; 响应面法; 工艺; 优化

文章编号: 1673-9078(2018)08-172-179

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.8.025

Optimization for Tenderization Process of Conditioning

Pork Chop by Papain

LIU Yan-xia, ZHANG Hao, ZHAO Li-jun, ZHAO Gai-ming, DUAN Ping

(College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Henan Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This manuscript took swine elbow meat as raw material to prepare conditioning pork chops. Response surface methodology was used to investigate the optimum conditions of pork chops-tenderizing by papain. Three parameters including enzyme addition, tenderization time and tenderization temperature were selected as the main tenderization conditions. Taking shear force and sensory properties as the main indexes, the best process parameters of pork chops-tenderizing by papain were determined by single factor experiment and response surface analysis. The results showed that enzyme addition, tenderization time and tenderization temperature had significant effects on the shear force, sensory properties, water holding capacity and texture of pork chops ($p < 0.05$). Shear force could be reduced remarkably by using papain, and the quality of meat was improved. The optimal process of pork chops processing by papain tenderization was determined: enzyme dosage 340.00 U/g, tenderization time 15.00 min, tender temperature 49.00 °C. Under these conditions, the conditioning pork chops were tender and had no bitter taste or other sensory properties, with a shear force of 2.48 kg and a sensory score of 90.14, which lay foundation for the application of enzyme tenderization technology to the industrialized production of meat products.

Key words: conditioning pork chops; enzymes; tender; response surface methodology; process; optimization

近年来, 随着我国经济的发展, 人民生活水平的提高, 消费理念的转变, 调理肉制品市场前景广阔^[1]。其中调理猪排是以生鲜猪肉为主要原料, 切制后添加调味料, 经过滚揉、搅拌、调味等工艺加工而成, 需在冻藏条件下贮藏、运输及销售, 食用前需经二次加工的非即食肉类制品^[2]。

收稿日期: 2018-03-07

基金项目: 河南省重大科技专项 (161100110800)

作者简介: 柳艳霞 (1978-), 女, 副教授, 研究方向: 肉制品加工与质量控制

通讯作者: 赵改名 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 肉制品加工与质量控制

调理猪排的食用品质指标主要包括滋味、嫩度、多汁性和气味等, 其中肉的嫩度是评价肉制品质量的重要指标, 也是消费者最重视的食用品质之一^[3], 因此如何提高肉的嫩度是生产加工中的关键技术^[4-7]。改善调理猪排嫩度的方法有很多, 主要包括物理嫩化法、化学嫩化法和生物嫩化法^[8], 国内外科学家们对生物嫩化法中外源酶嫩化法研究较多, 尤其以植物性蛋白酶中木瓜蛋白酶为主^[9-15]。木瓜蛋白酶主要对肌肉中肌动球蛋白、胶原蛋白和弹性蛋白组织起作用, 既能将肌动球蛋白分解为肌动蛋白和肌球蛋白, 又能将肉中结缔组织结构特异性水解, 使其变为无定型的肉块, 进而提高肉的嫩度, 肌动蛋白溶水性较好, 使肉的保

水性增强^[16]。在研究中大多注重木瓜蛋白酶对产品嫩度的影响,往往忽略了处理过程中木瓜蛋白酶可能会使肉中某些蛋白质降解过度,导致肉制品产生苦味等异味^[17],因此限制了酶嫩化技术在企业的应用。

本文以猪后肘肉为原料,研究木瓜蛋白酶添加量、嫩化时间、嫩化温度对调理猪排食用品质的影响,并采用响应面法对木瓜蛋白酶嫩化调理猪排的工艺参数进行优化,使调理猪排嫩度适宜,感官评价较好,且无苦味等异味,旨在为企业调理肉制品生产中酶嫩化技术的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猪后肘肉购于郑州市双汇连锁店,质量为32 kg,保存于-40℃的冰箱中进行后续实验;食盐、黑胡椒、鸡精粉等购于郑州市丹尼斯超市。

木瓜蛋白酶购于南宁庞博生物工程有限公司,为固体,酶活力为100000 U/g。

1.2 仪器与设备

MODEL235 沃-布剪切力仪,英国 G-R Manufacturing 公司;TA-XT2i 质构仪,英国 Stable Microsystem 公司;UV-2600 紫外分光光度计,岛津企业管理有限公司;ALLEGRA-64A 型高速离心机,美国 Beckman Coulter 公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

原料选择→修整→嫩化→注射→滚揉→灌装→静置→冷冻→切片→包装

1.3.2 原料处理

选择新鲜猪后肘肉,去除表面的脂肪和结缔组织,顺着肌纤维方向修整为宽4 cm,厚4 cm,长6 cm的肉块,置于4℃的冰箱中备用。

1.3.3 单因素试验

用pH为7.0的磷酸缓冲液分别配制酶活力为50、200、350、500 U/g的木瓜蛋白酶溶液100 mL,按照酶嫩化处理方法,每100 g肉注射10 mL,其中所含酶活力大小分别为0.5、2.0、3.5、5.0 U/mL,固定嫩化时间和嫩化温度,考察不同酶的添加量对调理猪排品质的影响;固定酶添加量和嫩化温度,嫩化时间分别为4、12、20、28 min,考察不同作用时间对调理猪排品质的影响;固定酶添加量和嫩化时间,嫩化温度分别为30、40、50、60℃,考察不同温度处理对调

理猪排品质的影响。

1.3.4 酶嫩化处理方法

用pH为7.0的磷酸缓冲液配制一定酶活力的木瓜蛋白酶溶液100 mL,将木瓜蛋白酶溶液按每100 g肉注射10 mL的量,均匀注射到肉块中,将肉块放入烧杯中,置于恒温水浴锅内按设定的温度与时间进行嫩化处理,同时做空白对照^[18]。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 感官评定

参考张维益等^[19]的方法制定了油煎猪排感官评分标准,感官评定人员由15人组成,按表1油煎猪排感官评分标准进行感官评定。

表1 油煎猪排感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria of fried pork chop

指标	评分标准	分值
外观	金黄色,色泽均匀,肉质紧密	8~10
	颜色正常,有光泽,肉质不松散	5~8
	颜色不正,有褐变,色泽不均,肉质松散	1~5
嫩度	肉质较嫩,富有弹性,容易咀嚼,鲜嫩多汁	40~50
	硬度适中,弹性正常,易咀嚼,咀嚼后残渣少	20~40
滋味	肉质较硬,无弹性,不易咀嚼,咀嚼后残渣多	1~20
	肉香味浓郁,滋味鲜美、纯正,咸淡适中	30~40
总体评价	有肉香味,滋味正常,无异味	15~30
	无肉香味,滋味差,有异味,偏咸或偏淡	1~15
总体评价	对产品各方面进行综合评价。	1~100

1.4.2 剪切力的测定

将平底锅放在电磁炉上,电磁炉烹调模式设定为煎炸模式,温度设定为100℃,将食用油铺满平底锅底,等待3 min,放入调理猪排,同时用秒表计时,每30 s翻面一次,煎制5 min后取出,冷却至室温备用。将煎好的猪排室温下切取2 cm×0.5 cm×0.7 cm相同大小的肉块,置于剪切仪上测定结果,测定三次取平均值^[20]。

1.4.3 木瓜蛋白酶活力的测定

参照GB/T 23527-2009的方法测定酶活力^[21]。

1.4.4 持水力的测定

采用离心法^[22,23]称取5.0 g肉样,利用水分测定仪测定肉样含水量。

另外,同等条件下称取5.0 g肉样,用定性滤纸将肉样包裹好,放入50 mL的离心管中(内放有脱脂棉,脱脂棉高度5.5 cm~6.0 cm),在转速为9000 r/min的离心机中离心10 min后,取出样品,剥去滤纸,再次称重。按下式计算持水力:

$$\text{持水力}(\%) = \frac{\text{肉样含水量} - \frac{\text{离心前重量} - \text{离心后重量}}{10}}{\text{肉样含水量}} \times 100\%$$

1.4.5 质构的测定

将样品切成长、宽、高均为 1 cm 大小的肉块, 采用质构仪 TPA 模式进行测定^[18]。测定参数: 探头型号: P50; 测定程序: TPA; 测前速度: 1 mm/s; 测试速度: 5 mm/s; 压缩比: 50%。

1.5 数据处理

本实验中采用 SPSS 16.0 软件对试验结果进行差异显著性分析, 采用 Design-Expert 6.0 软件进行响应面试验设计与分析。

2 结果与讨论

2.1 木瓜蛋白酶添加量对调理猪排品质的影响

木瓜蛋白酶添加量对调理猪排感官评价和品质指标的影响见表 2 和表 3。

由表 2 和表 3 可知, 随着木瓜蛋白酶添加量的增多, 调理猪排的感官评分、持水力呈现先增大后减小

的趋势 ($p < 0.05$), 剪切力、硬度、弹性、凝聚力和咀嚼性呈现先减小后增大的趋势 ($p < 0.05$), 出品率呈现增大趋势 ($p < 0.05$)。其中, 木瓜蛋白酶添加量在 350 U/g 时, 调理猪排的感官评价最高, 剪切力最小, 产品嫩度适宜, 滋味最佳。当木瓜蛋白酶添加量为 500 U/g 时, 肉中蛋白质过度酶解导致产品有苦味, 感官评价不佳^[23-25], 确定木瓜蛋白酶的适宜添加量为 350 U/g。

表 2 木瓜蛋白酶添加量对调理猪排感官评价的影响

Table 2 Effect of papain added on sensory evaluation of conditioning pork chop

木瓜蛋白酶添加量/(U/g)	感官评价		
	嫩度/分	滋味/分	总分/分
对照	29.86±2.67 ^c	23.14±1.35 ^d	60.71±2.43 ^e
50	32.71±1.80 ^d	27.00±3.37 ^c	66.00±1.41 ^d
200	37.43±1.81 ^b	30.14±3.44 ^b	75.71±1.98 ^b
350	41.86±1.95 ^a	33.14±2.04 ^a	84.57±2.07 ^a
500	35.00±0.82 ^c	25.29±2.06 ^{cd}	71.57±1.51 ^c

注: 平均值±标准差, 同一列英文字母上标不同表示均值之间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。

表 3 木瓜蛋白酶添加量对调理猪排品质指标的影响

Table 3 Effect of papain added on quality index of conditioning pork chop

测试指标	木瓜蛋白酶添加量/(U/g)				
	对照	50	200	350	500
剪切力/kg	5.73±0.15 ^a	5.10±0.36 ^b	3.23±0.25 ^d	2.37±0.35 ^e	4.50±0.30 ^c
持水力/%	32.30±2.03 ^d	36.58±1.09 ^c	39.42±0.90 ^b	44.23±1.23 ^a	35.63±0.96 ^c
出品率/%	123.67±1.53 ^d	125.67±1.53 ^{cd}	127.33±1.53 ^{bc}	129.67±2.08 ^{ab}	132.00±2.65 ^a
硬度/g	5599.84±308.17 ^a	4702.19±153.35 ^b	3630.27±96.34 ^c	2495.04±343.27 ^e	3148.05±65.72 ^d
弹性	0.93±0.02 ^a	0.84±0.02 ^b	0.76±0.02 ^c	0.65±0.03 ^e	0.71±0.03 ^d
凝聚力	0.81±0.01 ^a	0.73±0.03 ^b	0.61±0.02 ^d	0.58±0.01 ^e	0.67±0.01 ^c
咀嚼性	3345.10±76.62 ^a	2924.54±86.03 ^b	2310.46±43.56 ^c	1476.67±17.04 ^e	1917.83±49.62 ^d

注: 平均值±标准差, 同一列英文字母上标不同表示均值之间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.2 嫩化时间对调理猪排品质的影响

嫩化时间对调理猪排感官评价和品质指标的影响见表 4 和表 5。随着嫩化时间的增大, 调理猪排的感官评分呈现先增大后减小的趋势 ($p < 0.05$), 剪切力呈现先减小后增大的趋势 ($p < 0.05$), 持水力逐渐增大, 硬度、弹性、凝聚力、咀嚼性逐渐减小, 出品率无明显变化 ($p > 0.05$)。其中, 嫩化时间在 20 min 时, 调理猪排的感官评价最高, 剪切力最小, 产品嫩度适宜, 滋味最佳。当嫩化时间大于 20 min 后, 剪切力值变化不显著 ($p > 0.05$), 木瓜蛋白酶作用完全^[26,27]。确定木

瓜蛋白酶的适宜嫩化时间为 20 min。

表 4 嫩化时间对调理猪排感官评价的影响

Table 4 Effect of tenderization time on sensory evaluation of conditioning pork chop

嫩化时间/min	感官评价		
	嫩度/分	滋味/分	总分/分
对照	29.86±2.67 ^c	23.14±1.35 ^e	60.71±2.43
4	32.43±2.82 ^d	25.71±1.80 ^d	64.43±1.99 ^d
12	36.00±1.83 ^c	28.29±2.50 ^c	73.43±1.72 ^c
20	41.43±1.81 ^a	33.71±1.50 ^a	84.57±1.99 ^a
28	38.86±2.12 ^b	31.00±2.94 ^b	79.71±1.60 ^b

表 5 嫩化时间对调理猪排品质指标的影响

Table 5 Effect of tenderization time on quality index of conditioning pork chop

测试指标	嫩化时间/min				
	对照	4	12	20	28
剪切力/kg	5.73±0.15 ^a	4.43±0.25 ^b	3.63±0.25 ^c	2.47±0.35 ^d	2.83±0.25 ^d
持水力/%	32.30±2.03 ^d	36.85±1.52 ^c	41.73±2.12 ^b	46.70±1.40 ^a	48.42±0.72 ^a
出品率/%	123.67±1.53	125.00±1.73	127.33±1.53	128.67±2.08	126.00±2.65
硬度/g	5599.84±308.17 ^a	5027.02±189.05 ^b	4592.65±346.17 ^c	3838.42±133.77 ^d	3415.46±122.90 ^d
弹性	0.93±0.02 ^a	0.83±0.02 ^b	0.75±0.03 ^c	0.66±0.03 ^d	0.61±0.02 ^e
凝聚力	0.81±0.01 ^a	0.76±0.03 ^b	0.65±0.02 ^c	0.61±0.01 ^d	0.58±0.02 ^d
咀嚼性	3345.10±76.62 ^a	3089.34±40.36 ^b	2861.17±43.06 ^c	2385.40±35.02 ^d	2256.83±123.88 ^d

注: 平均值±标准差, 同一列英文字母上标不同表示均值之间存在显著性差异 ($p<0.05$)。

2.3 嫩化温度对调理猪排品质的影响

嫩化温度对调理猪排感官评价和品质指标的影响见表 6 和表 7。

由表 6 和表 7 可知, 随着嫩化温度的上升, 调理猪排的感官评分、持水力、出品率呈现先增大后减小的趋势 ($p<0.05$), 剪切力、硬度、弹性、凝聚力、咀嚼性呈现先减小后增大的趋势 ($p<0.05$)。其中, 嫩化温度在 50 °C 时, 调理猪排的感官评价最高, 剪切力最小, 产品嫩度适宜, 滋味最佳。当嫩化温度为 60 °C 时, 肉中蛋白质酶解过度, 部分蛋白质变性, 保水性下降且肉的完整性被破坏, 导致产品有苦味, 感官评价不佳^[28,29]。确定木瓜蛋白酶的适宜嫩化温度为 50 °C。

表 6 嫩化温度对调理猪排感官评价的影响

Table 6 Effect of tenderization temperature on sensory evaluation of conditioning pork chop

嫩化温度/°C	感官评价		
	嫩度/分	滋味/分	总分/分
对照	29.86±2.67 ^d	23.14±1.35 ^e	60.71±2.43 ^e
30	32.86±2.12 ^c	25.43±1.72 ^d	63.29±2.36 ^d
40	37.29±2.14 ^b	30.14±2.12 ^b	71.57±2.64 ^b
50	41.57±2.64 ^a	32.57±2.64 ^a	85.86±1.77 ^a
60	34.43±2.44 ^c	27.86±1.86 ^c	68.57±1.99 ^c

注: 平均值±标准差, 同一列英文字母上标不同表示均值之间存在显著性差异 ($p<0.05$)。

表 7 嫩化温度对调理猪排品质指标的影响

Table 7 Effect of tenderization temperature on quality index of conditioning pork chop

测试指标	嫩化温度/°C				
	对照	30	40	50	60
剪切力/kg	5.73±0.15 ^a	5.07±0.15 ^b	4.43±0.12 ^c	2.17±0.35 ^e	3.80±0.30 ^d
持水力/%	32.30±2.03 ^d	36.89±1.51 ^c	40.06±0.73 ^b	43.55±0.62 ^a	34.10±1.89 ^d
出品率/%	123.67±1.53 ^b	125.33±1.15 ^{ab}	128.00±1.00 ^a	129.33±0.58 ^a	119.00±3.61 ^b
硬度/g	5599.84±308.17 ^a	4730.51±152.80 ^b	4004.38±165.86 ^c	2480.66±135.77 ^e	3353.92±207.91 ^d
弹性	0.93±0.02 ^a	0.87±0.03 ^b	0.79±0.03 ^c	0.70±0.04 ^c	0.74±0.02 ^d
凝聚力	0.81±0.01 ^a	0.77±0.02 ^b	0.71±0.02 ^c	0.63±0.02 ^e	0.68±0.01 ^d
咀嚼性	3345.10±76.62 ^a	2952.24±38.58 ^b	2466.09±33.16 ^c	1546.81±33.47 ^e	2042.59±51.48 ^d

注: 平均值±标准差, 同一列英文字母上标不同表示均值之间存在显著性差异 ($p<0.05$)。

2.4 响应面试验设计

在单因素试验基础上, 根据 Box-Behnken 中心设计原理, 以酶的添加量 (A)、嫩化时间 (B)、嫩化温度 (C) 为因素, 以调理猪排的剪切力和感官评分为响应值, 采用 Design-Expert6.0 统计分析软件, 进行响应面试验设计。

响应面因素设计如表 8 所示。

表 8 响应面设计因素及水平

Table 8 Factors and levels of response surface design

水平	A 酶的添加量/(U/g)	B 嫩化时间/min	C 嫩化温度/°C
-1	275	12	45
0	325	16	50
+1	375	20	55

2.5 响应面回归方程的建立及方差分析

在单因素试验基础上, 利用 Design-Expert 6.0 软件按照 Box-Behnken 原理进行响应面试验设计, 试验结果见表 9。调理猪排的剪切力响应面回归模型方差分析结果见表 10, 由表 10 可知, 酶添加量、嫩化时

间、嫩化温度、对剪切力都有极显著影响 ($p<0.01$), 并且都以指数形式影响剪切力 ($p<0.01$), 此外, 嫩化温度与嫩化时间之间存在明显的交互作用 ($p<0.01$), 经逐步回归分析, 取得最佳二次回归方程 ($p<0.01$)。

表 9 响应面试验设计与结果

Table 9 Experimental design and results for response surface analysis

编号	因素			剪切力 /kg	感官评分/分
	A 酶添加量/(U/g)	B 嫩化时间/min	C 嫩化温度/°C		
1	325	16	50	2.44	89.00
2	375	16	45	2.60	80.00
3	275	20	50	2.70	60.50
4	325	16	50	2.49	88.50
5	275	12	50	3.18	65.00
6	325	20	55	2.35	71.00
7	325	16	50	2.48	89.50
8	375	12	50	2.98	85.00
9	325	16	50	2.47	90.50
10	325	20	45	2.75	81.00
11	375	20	50	2.72	80.50
12	325	12	55	2.76	77.00
13	275	16	55	2.80	58.50
14	375	16	55	2.75	77.50
15	325	16	50	2.48	91.00
16	275	16	45	3.21	70.50
17	325	12	45	2.90	86.00

表 10 剪切力响应面回归模型方差分析结果

Table 10 ANOVA results of shear force response surface regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	1.230	8	0.150	122.24	< 0.0001	**
A 酶的添加量	0.640	1	0.640	511.20	< 0.0001	**
B 嫩化时间	0.099	1	0.099	78.58	< 0.0001	**
C 嫩化温度	0.120	1	0.120	95.28	< 0.0001	**
BC	0.017	1	0.017	13.41	0.0064	**
A ²	0.190	1	0.190	154.11	< 0.0001	**
B ²	0.032	1	0.032	25.44	0.0010	**
C ²	0.088	1	0.088	70.02	< 0.0001	**
残差	0.010	8	0.001			
失拟方差	0.008	4	0.002	4.36	0.0914	
误差	0.002	4	0.000			
总和	1.240	16				

R²=0.9919 Adj.R²=0.9838 Adeq.Precision=31.80

注: **极显著 ($p<0.01$)。

回归诊断表明, 取得的回归方程良好, 由模型极显著 ($p<0.01$), $R^2=0.9919$, $Adj.R^2=0.9838$ 和

$Adeq.Precision=31.80$ (信噪比) 值远大于 4, 失拟项不显著 ($p>0.05$) 可知, 回归方程拟合度很高, 能够

很好地对剪切力进行预测。利用 Design-Expert6.0 软件对表 9 得到的数据进行二次多元逐步回归拟合, 得到剪切力二次多项回归方程如下:

剪切力=29.28906-0.06471×酶添加量-0.10762×嫩化时间-0.54925×嫩化温度+0.00020×酶添加量×嫩化时间-0.00325×嫩化时间×嫩化温度+0.00009×酶添加量²+0.00545×嫩化时间²+0.00563×嫩化温度²。

调理猪排的感官评分响应面回归模型方差分析结果见表 11, 由表 11 可知, 酶添加量、嫩化时间、嫩化温度、对感官评分都有极显著影响 ($p<0.01$), 并且都以指数形式影响感官评分 ($p<0.01$), 此外, 酶添加量与嫩化温度之间存在明显的交互作用 ($p<0.01$), 经

逐步回归分析, 取得最佳二次回归方程 ($p<0.01$)。回归诊断表明, 取得的回归方程良好, 由模型极显著 ($p<0.01$), $R^2=0.9864$, $Adj.R^2=0.9758$ 和 $Adeq.Precision=29.57$ (信噪比) 值远大于 4, 失拟项不显著 ($p>0.05$) 可知, 回归方程拟合度很高, 能够很好地对感官评分进行预测。利用 Design-Expert6.0 软件对表 9 得到的数据进行二次多元逐步回归拟合, 得到感官评分二次多项回归方程如下:

感官评分 =-950.64063+2.82600×酶添加量+9.20000×嫩化时间+20.22500×嫩化温度+0.00950×酶添加量×嫩化温度-0.00482×酶添加量²-0.30703×嫩化时间²-0.24150×嫩化温度²

表 11 感官评分响应面回归模型方差分析结果

Table 11 ANOVA results of sensory evaluation score response surface regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	1745.65	7	249.38	93.08	< 0.0001	**
A 酶的添加量	586.53	1	586.53	218.92	< 0.0001	**
B 嫩化时间	50.00	1	50.00	18.66	0.0019	**
C 嫩化温度	140.28	1	140.28	52.36	< 0.0001	**
AC	22.56	1	22.56	8.42	0.0175	*
A ²	610.11	1	610.11	227.72	< 0.0001	**
B ²	101.61	1	101.61	37.93	0.0002	**
C ²	153.48	1	153.48	57.29	< 0.0001	**
残差	24.11	9	2.68			
失拟方差	19.81	5	3.96	3.69	0.1152	
误差	4.30	4	1.08			
总和	1769.76	16				

$R^2=0.9864$ $Adj.R^2=0.9758$ $Adeq.Precision=29.57$

注: **极显著 ($p<0.01$), *显著 ($p<0.05$)。

2.6 各因素交互作用分析

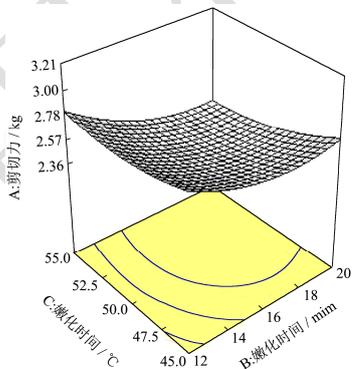


图 1 嫩化温度和嫩化时间对剪切力的影响

Fig.1 Effect of tenderization temperature and tenderization time on shear force

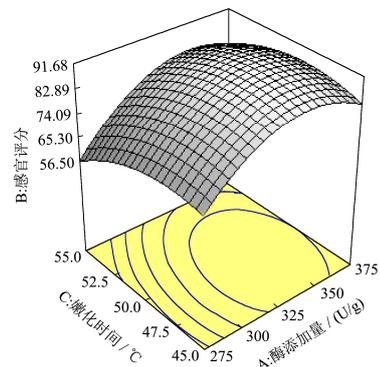


图 2 酶添加量和嫩化温度对感官评分的影响

Fig.2 Effect of enzyme addition and tenderization temperature on sensory score

根据二次多项式回归方程, 利用 Design-Expert 6.0 对表 9 中的数据进行多元回归拟合, 得到各因素交互

作用的响应曲面图, 见图 1 和图 2。

由图 1 可知, 在等高线中心区域, 剪切力值最低, 由中心向边缘逐渐升高。当酶添加量一定时, 嫩化温度与嫩化时间交互作用对剪切力值有极显著影响 ($p < 0.01$), 响应曲面呈现明显的先降后升的趋势。在一定的嫩化时间下, 剪切力随着嫩化温度的升高先下降后上升, 在嫩化温度为 49.00 °C 时达到最小值; 在一定的嫩化温度下, 剪切力随着嫩化时间的增加先下降后上升, 在嫩化时间为 15.02 min 时达到最小值。

由图 2 可知, 在等高线中心区域, 感官评分最高, 由中心向边缘逐渐降低。当嫩化时间一定时, 酶添加量与嫩化温度交互作用对感官评分值有显著影响 ($p < 0.05$), 响应曲面呈现明显的先升后降的趋势。在一定的酶添加量下, 感官评分随着嫩化温度的升高先上升后下降, 在嫩化温度为 49.00 °C 时达到最大值; 在一定的嫩化温度下, 感官评分随着酶添加量的增大先上升后下降, 酶添加量为 339.46 U/g 时达到最大值。

2.7 最佳工艺参数确定及验证

通过软件 Design-Expert 6.0 进行数据分析, 以感官评分最高, 剪切力适宜为最终评定依据, 得到木瓜蛋白酶嫩化调理猪排的最优嫩化工艺条件为木瓜蛋白酶添加量 339.46 U/g、嫩化时间 15.02 min、嫩化温度 49.00 °C。为了方便实际操作, 将实验条件修正为酶添加量 340.00 U/g、嫩化时间 15.00 min、嫩化温度 49.00 °C。选取该组合进行验证试验, 试验结果如表 12 所示, 从表中可以看出, 剪切力和感官评分的实际值与预测值相对误差分别为 2.42% 和 1.36%。实际值与预测值吻合良好, 说明实验得到的模型有效, 可以确定该结果为最优结果。与未嫩化的调理猪排相比, 剪切力降低了 3.26 kg, 感官评分增加了 27.14, 所以木瓜蛋白酶具有很好的嫩化效果, 提高了调理猪排的食用品质。

表 12 验证试验结果

Table 12 Experiment data for test validation

指标	剪切力/kg	感官评分/分
预测值	2.54	91.37
实际值	2.48	90.14
相对误差/%	2.42	1.36

3 结论

本实验采用木瓜蛋白酶对调理猪排进行嫩化处理, 确定了木瓜蛋白酶的最适作用条件。在单因素试验的基础上, 通过响应面 Box-Behnken 试验设计, 建立了二次多项式数学模型, 优化木瓜蛋白酶嫩化调理

猪排的最佳工艺条件为酶添加量 340.00 U/g、嫩化时间 15.00 min、嫩化温度 49.00 °C, 在此条件下, 调理猪排的剪切力为 2.48 kg, 感官总分为 90.14。通过验证试验, 建立的二次多项式数学模型有效, 产品嫩度适宜, 且无苦味等异味, 感官评价较好, 这为企业调理肉制品生产中酶嫩化技术的应用提供了理论参考。

参考文献

- [1] 高可蒙, 梅林, 薛秀恒, 等. 无磷保水剂对冷冻调理猪肉的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 257-261
GAO Ke-meng, MEI Lin, XUE Xiu-heng, et al. Influence of non-phosphate additive on water-holding capacity of frozen prepared pork [J]. Food Science, 2015, 36(6): 257-261
- [2] NY/T 2073-2011, 调理肉制品加工技术规范[S]
NY / T 2073-2011, Conditioning meat products processing technical specifications [S]
- [3] 刘昭, 宋江良, 安凤平. 均匀试验设计法在木瓜蛋白酶嫩化牛肉中的应用研究[J]. 福建轻纺, 2010, 25(3): 51-53
LIU Zhao, SONG Jiang-liang, AN Feng-ping. Application of uniform test design method in papain tenderization of beef [J]. Fujian Textile Industry, 2010, 25(3): 51-53
- [4] 施帅, 杨士章, 牛林. 木瓜蛋白酶对牦牛肉嫩化效果的研究[J]. 现代食品科技, 2007, 23(10): 37-39
SHI Shuai, YANG Shi-zhang, NIU Lin. Effect of papain on the tenderness of bos grunniens meat [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 23(10): 37-39
- [5] 高天, 李蛟龙, 张林, 等. 调理猪排制品滚揉腌制工艺的优化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(12): 211-215
GAO Tian, LI Jiao-long, ZHANG Lin, et al. Optimization of tumbling marinade conditions for prepared pork chops [J]. Food Industry Technology, 2015, 36(12): 211-215
- [6] 刘熙, 武军, 胡铁军, 等. 高压处理技术在牛肉嫩化中的应用研究[J]. 肉类工业, 2001, 245(21): 88-91
LIU Xi, WU Jun, HU Tie-jun, et al. Application of high-pressure treatment in beef tenderization [J]. Materials Industry, 2001, 245(21): 88-91
- [7] 胡鹏, 丁玉, 蔡荣宝, 等. 电刺激对牛背最长肌中钙激活酶活性及嫩度的影响[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(8): 162-167
HU Peng, DING Yu, CAI Rong-bao, et al. Effect of electrical stimulation on calpain system activities and the tenderness of bovine M. longissimus [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(8): 162-167
- [8] 林志民, 游立怡. 几种牛肉嫩化方法的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(7): 127-129
LIN Zhi-min, YOU Li-yi. Study on several methods of beef

- tenderization [J]. Food Industry Science, 2006, 27(7): 127-129
- [9] Chaurasiya R S, Sakhare P Z, Bhaskar N, et al. Efficacy of reverse micellar extracted fruit bromelain in meat tenderization [J]. Journal of Food Science & Technology, 2015, 52(6): 3870-3880
- [10] Zhang B, Sun Q, Liu H J, et al. Characterization of actinidin from Chinese kiwifruit cultivars and its applications in meat tenderization and production of angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 78(5): 1-7
- [11] 胡永金,杨华松,吕东坡,等.氯化钙和木瓜蛋白酶复合处理对羊肉嫩度影响的研究[J].现代食品科技,2010,26(4):389-391
HU Yong-jin, YANG Hua-song, LV Dong-po, et al. Effect of calcium chloride and papain on the mutton tenderness [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(4): 389-391
- [12] 杨丽虹,吴琴琴,唐旭,等.木瓜蛋白酶水解海洋鱼鳞蛋白的工艺研究[J].现代食品科技,2011,27(12):1484-1486
YANG Li-hong, WU Qin-qin, TANG Xu, et al. Hydrolysis process of sea-fish scale protein catalyzed by papain [J]. Food Science and Technology, 2011, 27(12): 1484-1486
- [13] Barekat S, Soltanizadeh N. Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 39(5): 223-229
- [14] Abdel-Naeem H H S, Mohamed H M H. Improving the physico-chemical and sensory characteristics of camel meat burger patties using ginger extract and papain [J]. Meat Science, 2016, 118(7): 52-53
- [15] Bekhit A A, Hopkins D L, Geesink G, et al. Exogenous proteases for meat tenderization [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2014, 54(8): 1012-31
- [16] Himonides A T, Taylor A K D, Morris A J. A study of the enzymatic hydrolysis of fish frames using model systems [J]. Food & Nutrition Sciences, 2011, 2(6): 575-585
- [17] Fernandez-Lucas J, Castañeda D, Hormigo D. New trends for a classical enzyme: Papain, a biotechnological success story in the food industry [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 68(6): 91-101
- [18] 明建,李洪军.不同酶嫩化处理对牛肉物性的影响[J].食品科学,2008,29(12):156-159
MING Jian, LI Hong-jun. Effect of proteinase-induced tenderization on physical properties of beef [J]. Food Science, 2008, 29(12): 156-159
- [19] 张维益,李春保,徐幸莲,等.油煎过程中猪排质构及感官品质的变化[J].食品科学,2010,31(13):23-26
ZHANG Wei-yi, LI Chun-bao, XU Xing-lian, et al. Changes in texture and sensory quality of pork chops during frying process [J]. Food Science, 2010, 31(13): 23-26
- [20] 韩建春,邢明伟.枯草芽孢杆菌产弹性蛋白酶对肉嫩化的工艺研究[J].食品工业科技,2011,32(2):166-168
HAN Jian-chun, XING Ming-wei. Study on application of extracellular elastase by *Bacillus subtilis* in meat [J]. Food Industry Science and Technology, 2011, 32(2): 166-168
- [21] GB/T 23527-2009,蛋白酶制剂[S]
GB / T 23527-2009, Protease preparation [S]
- [22] 周光宏.肉品加工学[M].北京:中国农业出版社,2008
ZHOU Guang-hong. Meat processing [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2008
- [23] 明建,曾凯芳,李洪军.木瓜蛋白酶嫩化牛肉效果的研究[J].食品科学,2009,30(7):210-214
MING Jian, ZENG Kai-fang, LI Hong-jun. Study on effects of papain treatment on tenderness of beef [J]. Food Science, 2009, 30(7): 210-214
- [24] Wang J, Liu H, Wang H, et al. Isolation and characterization of a protease from the *Actinidia arguta*, fruit for improving meat tenderness [J]. Food Science & Biotechnology, 2016, 25(4): 1059-1064
- [25] 周丹,文连奎,董周永,等.响应面优化超声波辅助木瓜蛋白酶嫩化河蚌肉工艺[J].食品科学,2016,37(4):62-67
ZHOU Dan, WEN Lian-kui, DONG Zhou-yong, et al. Optimization of ultrasound-assisted papain treatment for tenderization of freshwater mussel [J]. Food Science, 2016, 37(4): 62-67
- [26] 李阳,刘楚怡,薛文通.响应面优化鳊鱼致敏蛋白的木瓜蛋白酶水解工艺[J].食品科学,2012,33(19):199-204
LI Yang, LIU Chu-yi, XUE Wen-tong. Using response surface methodology to optimize hydrolysis of allergic protein from mandarin fish with papain [J]. Food Science, 2012, 33(19): 199-204
- [27] 陶瑞,汤晓艳,龚艳,等.响应面法优化木瓜蛋白酶-复合磷酸盐嫩化低档部位牛肉工艺[J].食品科学,2016,37(20):13-18
TAO Rui, TANG Xiao-yan, GONG Yan, et al. Response surface methodology for optimization of tenderization conditions for low-grade beef using papain and composite phosphate [J]. Food Science, 2016, 37(20): 13-18
- [28] 金惠玉,张筠,王欢欢.木瓜蛋白酶对牛肉干嫩化的影响[J].中国调味品,2013,38(8):27-29
JIN Hui-yu, ZHANG Jun, WANG Huan-huan. Effect of

- papain on tenderization of beef jerky [J]. China Condiment, 2013, 38(8): 27-29
- [29] Takahashi K, Kurose K, Okazaki E, et al. Effect of various protease inhibitors on heat-induced myofibrillar protein degradation and gel-forming ability of red tilefish (*Branchiostegus japonicus*) meat [J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 68(12): 717-723

现代食品科技