

滚揉里程对牛排品质影响及工艺优化

李雪蕊¹, 徐宝才^{*1,2}, 徐学明¹

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 雨润集团 肉品加工与质量控制国家重点实验室, 江苏 南京 211806)

摘要:以牛后臀肉为原料,对牛排生产中滚揉腌制这一关键点进行优化研究。实验结果表明:滚揉里程对牛肉 pH 值、色度、蒸煮损失率、低场核磁(NMR)的横向弛豫时间 T_2 、肌原纤维蛋白溶解度、硬度、弹性以及剪切力都影响显著($P<0.05$),在滚揉里程为 3 000~5 000 m 时,有较好的品质。再结合滚揉转速和滚揉方式,进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,以蒸煮损失、剪切力为考察指标,得出牛排滚揉腌制的最佳工艺参数为:运行 20 min,暂停 10 min,间歇滚揉 3 000 m,转速 10 r/min。此工艺可以使蒸煮损失率降低 8.44%,剪切力降低 18.53%。

关键字:牛排;滚揉里程;工艺优化;保水性;嫩度

中图分类号:TS 251.55 文献标志码:A 文章编号:1673—1689(2018)04—0417—07

Effects of Different Tumbling Mileages on Beef Steak Quality and Process Optimization

LI Xuerui¹, XU Baocai^{*1,2}, XU Xueming¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. State key Laboratory of Meat Processing & Quality Control of Yurun Group, Nanjing 211806, China)

Abstract: Beef rump was used as raw material in this study to optimize the tumbling marinating process in steak production. Results showed that tumbling mileages significantly affected color, cooking lose, transverse relaxation time T_2 , myofibrillar protein solubility, hardness, elasticity and shear force of beef. Different rotation speeds, rotation methods, along with selected tumbling mileages were chosen to implement a $L_9(3^4)$ orthogonal test. Cooking lose and shear force were measured to evaluate their effects, and results indicated that the optimal condition was tumbling 3000m, run 20 min, pause 10 min, and tumbling speed was 10r/min. Beef had better edible quality under above condition by the cooking lose reduced 8.44% and shear force increased 18.53%, compared to beef which were not tumbled.

Keywords: beef steaks, process optimization, tumbling mileages, water-holding capacity, tenderness

收稿日期: 2016-01-08

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD28B04)。

* 通信作者: 徐宝才(1973—),男,安徽颍上人,工学博士,研究员,主要从事肉品加工与质量控制研究。E-mail:baocaixu@163.com

引用本文: 李雪蕊,徐宝才,徐学明. 滚揉里程对牛排品质影响及工艺优化[J]. 食品与生物技术学报,2018,37(04):417-423.

市售牛排种类繁多,可以满足不同消费者的需求,但由于检测方法和监控体系相对落后,牛排的生产没有统一的标准化模式,造成牛排的品质参差不齐^[1]。原料肉的选择以及产品加工的工艺决定了消费者对产品的喜好和接受程度^[2],因此牛排生产的加工工艺和工艺对产品特性的影响十分重要。

滚揉是牛排生产中一项关键加工工艺,通过对肉施加机械作用力,达到改善肉制品品质和风味,提高保水性嫩度的目的^[3-4],是机械嫩化中最有效、最有效的嫩化技术^[5]。国内外学者对滚揉腌制工艺在肉制品加工中的应用做了许多研究^[6-10]。Gaston^[10]等认为,滚揉时间对煮制火腿的物理特性,如色泽和质构,影响显著,而对化学特性影响较小。Elidiane^[11]等的实验结果表明真空滚揉可以显著提高腌制液的吸收率。陈金彦等^[12]通过注射-滚揉工艺的研究得出,滚揉时间对低注射率的鸡腿制品产品出品率影响显著,对高注射率的鸡腿品质影响不显著。作者拟探讨在牛排生产加工过程中,滚揉里程对牛排品质的影响及可能的机制,并通过正交试验对真空滚揉工艺进行优化,为调理牛排的标准化生产和品质保证提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

牛后臀肉:产地为乌拉圭;谷氨酰胺转移酶(TG酶)I型:泰州一鸣生物制品有限公司产品;BCA蛋白浓度测定试剂盒:碧云天生物技术有限公司产品。

1.2 试验仪器与设备

VT-20 真空滚揉机:瑞士 Suhner AG 公司产品;TA.XT.Plus 物性仪:英国 SMS 公司产品;Testo105 食品温度计:德国 Testo 公司产品;CR-400 色差计:日本柯尼卡美能达产品;Seven Easy 酸度计:梅特勒托利多仪器(上海)有限公司产品;NMR PQ001 低场核磁共振分析仪:上海纽迈电子有限公司产品;CR21G III 型高速冷冻离心机:日本 Hitachi Koki 公司产品;Multiskan MK3 型酶标仪:赛默飞世尔(上海)仪器有限公司产品。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程与操作要点

工艺流程如下:

腌制液配制

↓

牛后臀肉解冻→剔除油脂、肌膜→切片→盐水注

射→滚揉腌制→冷冻→真空包装→冷冻贮藏

主要操作要点:剔除脂肪和结缔组织,将牛肉修整成约 2 cm 厚,200 g 重的肉块备用。

腌制液配制:腌制液中各辅料与总肉质量的比例为:食盐质量分数为原料肉质量的 2.5%,碳酸钠为 0.4%,碳酸氢钠 0.6%,柠檬酸钠 0.6%,异抗坏血酸钠 0.12%,白砂糖 0.4%。

滚揉前,腌制液注射到牛肉中,注射率为原料肉重的 20%。滚揉温度为 0~4 ℃,真空度<-0.7 bar,根据试验条件进行滚揉。

1.3.2 单因素试验 按照 1.3.1 操作流程准备好样品,倒入滚揉机内。滚揉里程设计为 600、1 000、2 000、3 000、4 000、5 000、6 000 m,按照计算公式 $L=U \times N \times T$ ^[13] 计算滚揉所需时间,其中 L 为滚揉总里程、 U 为滚揉机内周长、 T 为滚揉总时间、 N 为转速。本试验所使用的真空滚揉机内周长为 1 m,转速设定为 10 r/min,滚揉方式设定为运转 20 min,暂停 10 min。

1.3.3 正交试验 在单因素试验的基础上,以滚揉里程、转速和滚揉方式为变量因素,进行 $L_9(3^4)$ 的正交试验,对牛排生产的滚揉工艺参数进行优化。

表 1 正交试验因素水平表设计

Table 1 Factors and levels in orthogonal array design

试验号	滚揉里程 A/m	转速 B/ (r/min)	滚揉方式 C
1	3 000	5	连续
2	4 000	10	运行 20 min, 暂停 5 min
3	5 000	20	运行 20 min, 暂停 10 min

1.4 指标测定方法

1.4.1 pH 值的测定 按照 GB9695.5-2008 所描述的方法进行测定。

1.4.2 蒸煮损失率的测定 取解冻后的样品,放入蒸煮袋中,在(85±2) ℃水浴中加热至中心温度为 72 ℃,准确称量蒸煮前后牛排的质量,按下式计算蒸煮损失率^[14]。每个处理测 3 次平行。

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100\%$$

式中: W_1 为蒸煮前牛排质量(g); W_2 为蒸煮后牛排质量(g)。

1.4.3 剪切力值的测定 按照 Pivotto^[15]描述的方法修改测定。沿着肌肉纤维的方向切 1 cm×1 cm×1 cm 的小块,用 HDP/BS 刀具沿肌纤维纵向切割,用物性

仪测定剪切力值。测量参数为:测前速度 1.50 mm/s,测中速度 1.50 mm/s,测后速度 10.00 mm/s,触发力 10 g,每秒采集数据 200 个,每个样品测 6 次平行。

1.4.4 色差的测定 牛肉解冻后用滤纸吸取表面水分,用 CR400 色差仪测定牛肉表层颜色。仪器测定前用白板校准,D65 光源,8 mm 测量区域,测定结果用 CIE L^* , a^* , b^* 表示,测 6 个观测点的均值,测 4 次平行。

1.4.5 质地剖面分析(TPA) 沿着肌肉纤维的方向切 1 cm×1 cm×1 cm 的小块,以“二次压缩模式”进行质地剖面分析。测量参数为:压缩比 75%,测量速度 1 mm/s,测中速和测后速为 5 mm/s,P/50 探头,触发力 5 g。分析指标为硬度和弹性。每个样品测 6 次平行。

1.4.6 肌纤维蛋白溶解度测定 按照 JOO 等^[16]的方法,测定肌原纤维蛋白、肌浆蛋白和肌肉全蛋白的溶解性,操作步骤如下:

肌浆蛋白质含量:称取 1 g 肉样,放入 50 mL 离心管中,加入 10 mL 预先冷却的磷酸钾缓冲液(0.025 mol/L,pH 7.2),低速匀浆 30 s。在 4 ℃条件下抽提 1 h,对抽提液进行离心分离(4 ℃,1 500 g,20 min),分离上清液,蛋白质试剂盒测定上清液中蛋白质含量。

全蛋白质含量:称取 0.5 g 肉样,放入 50 mL 离心管中,加入 10 mL 预先冷却的碘化钾提取液(1.1 mol/L 碘化钾溶于 0.1 mol/L 磷酸钾缓冲液,pH 7.2),按照以上步骤重复进行匀浆、抽提、离心上清液,测定蛋白含量。

肌原纤维蛋白溶解度=(全蛋白溶解度-肌浆蛋白溶解度)。以吸光度为纵坐标,牛血清蛋白浓度为横坐标绘制标准曲线,得到回归方程为 $y=2.443x+0.1297$ ($R^2=0.9913$)。

1.4.7 LF-NMR 自旋-自旋弛豫时间 (T_2) 测定 12 mm 样品管中称取肉样 2.0~2.1 g,放入直径 15 mm 的核磁管,而后放入分析仪中。质子共振频率为 22 MHz,测量温度为 32 ℃。自旋-自旋弛豫时间 T_2 用 CPMG 序列进行测量。

1.5 数据处理与分析

数据处理采用 SPSS19.0 软件分析系统,各单因素对实验指标的影响采用方差分析(Factorial ANOVA),各处理组间的差异显著性采用 Duncan's Multiple Comparison($p<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 滚揉里程对牛排色度和 pH 值的影响

表 2 结果表明,滚揉里程对 L^* 、 a^* 和 b^* 的影响是显著地($p<0.05$)。 L^* 随里程的延长有增大的趋势($p<0.05$)。0 到 1 000 m, a^* 降低,差异显著($P<0.05$),超过 2 000 m, a^* 虽有回升,但差异不显著($P>0.05$)。Pancrazio^[10]的实验结果显示,滚揉 9 h 比滚揉 18 h 的鸡肉火腿, L^* 和 a^* 值显著降低。由图 1 为牛肉 pH 值随滚揉里程的变化,统计学分析可知,滚揉里程对牛肉 pH 值影响显著($P<0.05$),在滚揉里程为 3 000 m 时,pH 值最低为 7.29。

表 2 滚揉里程对牛排 L^* 、 a^* 和 b^* 的影响

Table 2 Effects of tumbling mileages on L^* , a^* and b^*

里程/m	色度		
	L^*	a^*	b^*
0	29.83±1.24 ^a	18.06±0.26 ^a	5.73±0.30 ^a
600	30.63±1.27 ^b	16.08±0.24 ^{ab}	7.99±1.02 ^c
1 000	32.42±0.61 ^c	16.21±0.69 ^{bc}	6.65±0.95 ^{ab}
2 000	32.49±0.34 ^c	16.92±0.29 ^{bc}	7.48±0.77 ^{bc}
3 000	32.46±1.02 ^a	16.68±0.42 ^c	5.86±0.76 ^a
4 000	34.22±0.73 ^b	16.95±0.61 ^c	6.50±0.52 ^a
5 000	35.45±1.50 ^b	17.55±1.17 ^{bc}	7.39±0.79 ^{bc}
6 000	32.34±1.25 ^b	16.65±1.05 ^{bc}	6.06±0.72 ^a

注:平均值±标准差,同一列上标字母不同为差异显著($P<0.05$)

2.2 滚揉里程对肌原纤维蛋白溶解度的影响

肌原纤维蛋白是主要的肌肉蛋白质,影响凝胶保水性、质构、流变学特性和肉制品的功能特性。Krause^[17]等认为滚揉有利于盐溶性蛋白向肉的表面富集,提高肉表面阻止水分向外扩散的能力。

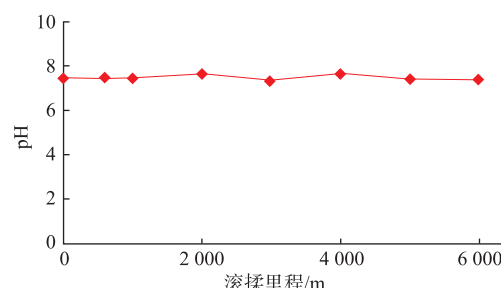


图 1 滚揉里程对牛肉 pH 值的影响

Fig. 1 Effects of tumbling mileages on beef pH value

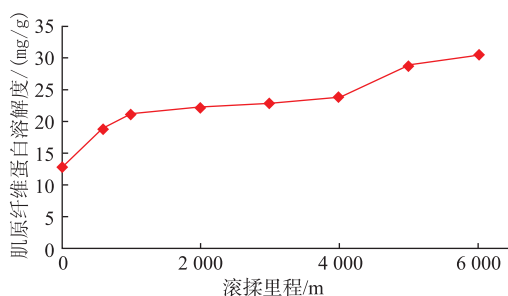


图2 滚揉里程对肌原纤维蛋白溶解度的影响

Fig. 2 Effects of tumbling mileages on myofibril protein solubility

图2表明,随着滚揉里程的增大,肌原纤维蛋白质溶解度不断增大,滚揉后,肌原纤维蛋白溶解度显著增大,在1 000~4 000 m内,较平稳,差异不显著($P>0.05$)。滚揉里程为5 000 m和6 000 m,肌原纤维蛋白的溶解度显著增大。滚揉加速了腌制液在牛肉组织内的扩散,并分散均匀,在腌制液的作用下,蛋白质结构膨润,降解并抽提出肌原纤维蛋白,而机械作用使细胞的通透性增强,促进了肌原纤维蛋白的溶解抽提^[18],从而对蒸煮损失、色泽、嫩度等产生影响。

2.3 滚揉里程对蒸煮损失率的影响

图3显示,与未滚揉相比,滚揉后,牛肉蒸煮损失率显著降低,随着滚揉里程的增大,蒸煮损失率先减小后增大,600~2 000 m和3 000~5 000 m内差异不显著($P>0.05$),由2 000 m到3 000 m和5 000 m到6 000 m差异显著($P<0.05$)。在4 000 m处蒸煮损失最小为9.45%,与未滚揉时的25.06%相比,保水性提高了15.61%。

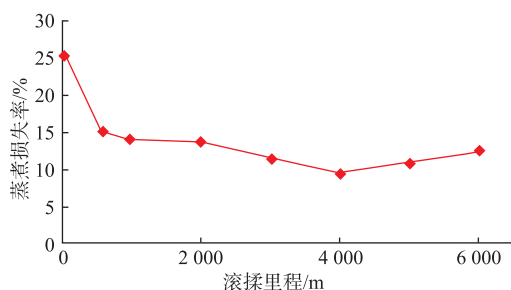


图3 滚揉里程对蒸煮损失率的影响

Fig. 3 Effects of tumbling mileages on cooking loss

通过以上数据分析可知,一定程度的滚揉能够降低牛肉的蒸煮损失,提高保水性,但滚揉时间过长,反而会使蒸煮损失率增大。这种现象可能是由于长时间的滚揉后,肌原纤维蛋白溶解和抽提出来

后会形成乳油状且胶黏的渗出液当肌原纤维蛋白处于打开的状态时,形成三维网状结构,吸收大量的水分,肌肉空间网状机构形成一种大的包埋水分的能力^[19]。Müller^[20]通过试验证明了较长时间的滚揉后蒸煮损失反而增大,他认为长时间的滚揉使肌肉结构过度破坏,导致蛋白质系水能力下降。

2.4 滚揉里程对剪切力和质构的影响

剪切力是最常用来衡量嫩度的指标,嫩度指肉制品在食用时口感的老嫩,反映了肉的质地,由肌肉中各种蛋白质特性决定^[21]。滚揉促使肌纤维断裂和肌细胞的物理损伤,引起加工、贮藏过程中肌细胞对外界作用力抵抗的下降和提高蛋白质的溶解性从而使滚揉后肉的嫩度得到改善^[22]。滚揉里程或时间的增加,需要肌肉细胞中有足够的盐水使盐溶蛋白溶解和抽提,从而导致出品率的增加,嫩度的提高,这一点在牛肉中尤为重要^[5]。

表3 滚揉里程对牛排剪切力和质构的影响

Table 3 Effects of tumbling mileages on shear force and

里程/m	剪切力/(kgf)	硬度/(kgf)	弹性
0	4.38±0.21 ^a	15.35±1.57 ^a	0.732±0.020 ^a
600	4.17±0.26 ^{ab}	14.20±1.71 ^a	0.745±0.011 ^{ab}
1 000	4.00±0.25 ^b	13.73±2.28 ^{ab}	0.757±0.020 ^{ab}
2 000	3.53±0.21 ^c	10.39±0.51 ^c	0.767±0.032 ^{ab}
3 000	3.55±0.14 ^c	10.94±1.18 ^c	0.775±0.032 ^{bc}
4 000	3.59±0.41 ^c	11.74±1.10 ^c	0.807±0.026 ^c
5 000	3.49±0.43 ^c	12.16±0.83 ^{bc}	0.774±0.036 ^{bc}
6 000	3.60±0.39 ^c	12.19±1.97 ^{bc}	0.763±0.032 ^{ab}

注:平均值±标准差,同一列上标字母不同为差异显著($P<0.05$)

表3表明,随着滚揉里程的增加,剪切力有先减小后增大的趋势,这与GaoTian、马芙俊等研究人员的^[23-26]实验结果一致。在5 000 m处,剪切力有最小值为3.49 kgf,但在滚揉里程大于2 000 m后,变化趋势减小,差异并不显著($P>0.05$)。硬度与剪切力类似的变化趋势,滚揉里程在1 000 m到2 000 m时,硬度显著减小,超过2 000 m后,继续增大里程并不能显著地降低牛肉的硬度($P>0.05$)。滚揉里程在3 000~5 000 m时,牛肉具有较好的质构特性和嫩度。

2.5 滚揉里程对横向弛豫时间 T_2 的影响

横向弛豫时间可以表明水分的自由度,利用H质子的弛豫时间分布变化可以表征肌肉组织中存在的多个水分群以及它们的分布和流动。研究结果

表明^[27-29],肌肉中有3个与保水性有关的 T_2 弛豫成分,1~5 ms为 T_{2b} ;接下来30~100 ms为 T_{21} ;最后100~80 ms为 T_{22} 。 T_{2b} 反映了和大分子紧密相连的水, T_{21} 反映了位于高度组织化的蛋白质结构内的水(例如三级和四级结构空间,含肌动蛋白和肌球蛋白纤维结构),而 T_{22} 为肌原纤维蛋白外部含肌浆蛋白组织的水。

不同处理组的 T_2 弛豫图(图4)所示,滚揉腌制后, T_{22} 的峰信号很小。由表4可知,随着滚揉里程的增加, T_{21} 先增大后减小,但差异并不显著($P>0.05$),这可能是由于不易流动水的含量增加(减小),使水分流动性增大(减小)。 T_{2b} 、 P_{2b} 组间差异不显著,表明真空滚揉以及滚揉里程对肌肉结合水的流动性和含量影响不大($P>0.05$)。滚揉与未滚揉相比, P_{21} 增大, P_{22} 减小,并且差异显著($P<0.05$),说明真空滚揉会增大不易流动水的含量,降低自由水含量,但滚

揉里程的延长并未对不易流动水和自由水产生影响($P>0.05$),即滚揉时间的增加并不能增加水分与肌肉的结合能力。在4 000 m时,不易流动水的含量最高,水分流动性也最大。

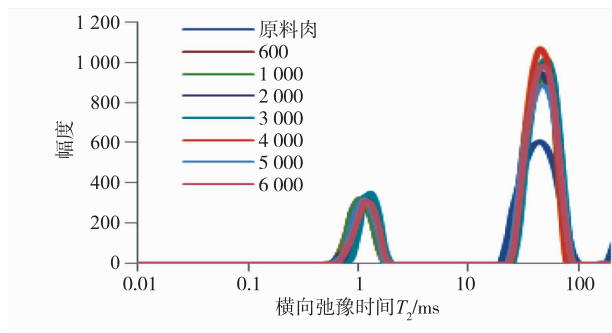


图4 滚揉里程处理的牛肉 T_2 弛豫图
Fig. 4 Effects of tumbling mileages on T_2

表4 滚揉里程对横向 T_2 弛豫时间的影响

Table 4 Effects of tumbling mileages on the T_2 relaxation time

里程/m	T_2/ms			$P_2/\%$		
	T_{2b}	T_{21}	T_{22}	P_{2b}	P_{21}	P_{22}
0	1.27±0.21	41.41±3.26 ^a	278.87±22.97 ^a	18.95±1.49	65.78±1.42 ^a	15.27±0.07 ^a
600	1.01±0.14	45.45±3.74 ^{abc}	467.18±65.04 ^b	20.74±1.48	78.98±2.16 ^b	0.27±0.03 ^b
1 000	1.05±0.09	47.61±3.74 ^{bc}	464.16±0 ^b	19.91±1.16	78.63±0.94 ^b	0.26±0.04 ^b
2 000	1.16±0.16	47.61±3.74 ^{bc}	411.23±91.67 ^{bc}	19.67±1.99	80.06±2.00 ^b	0.28±0.04 ^b
3 000	1.26±0.10	49.77±0 ^c	357.67±79.73 ^{abc}	18.33±0.74	81.40±0.78 ^b	0.27±0.05 ^b
4 000	1.11±0.19	43.29±0 ^{ab}	354.54±69.52 ^{abc}	19.27±1.06	80.50±0.97 ^b	0.31±0.11 ^b
5 000	1.10±0.09	45.45±3.74 ^{abc}	328.25±32.34 ^{ac}	20.27±1.19	79.51±1.28 ^b	0.27±0.02 ^b
6 000	1.26±0.10	45.45±3.74 ^{abc}	305.39±0 ^{ac}	18.63±0.40	81.06±0.55 ^b	0.26±0.08 ^b

注:平均值±标准差,同一列上标字母不同为差异显著($P<0.05$)

滚揉使肌纤维的机械强度削弱,甚至发生断裂,同时肌纤维之间的结合也变得松弛并产生间隙,在真空状态下,压力的变化进一步促使了肌纤维的结构松弛,这就导致了弛豫时间的延长。

2.6 正交试验与验证结果

由表5可看出,就蒸煮损失率而言,3个因素影响大小顺序依次为: B (转速) $>A$ (滚揉里程) $>C$ (滚揉方式),其中滚揉里程对蒸煮损失率的影响显著($P<0.05$)。最佳参数组合为 $A_1B_1C_3$ 。就剪切力方面,3个因素的影响大小顺序依次为: C (滚揉方式) $>A$

(滚揉里程) $>B$ (转速),最佳参数组合为 $A_1B_2C_3$ 。

对表5中以蒸煮损失率和剪切力为指标得到的两个最佳组合和未滚揉的对照组进行验证。滚揉后的牛排蒸煮损失率和剪切力显著降低($P<0.05$), $A_1B_1C_3$ 处理后蒸煮损失率最低, $A_1B_2C_3$ 处理后的剪切力最低,但两处理组间差异不显著($P>0.05$)。按照公式 $L=U \times N \times T$ 计算,滚揉里程相同,转速越小,滚揉有效时间越长,故选择 $A_1B_2C_3$ 作为最佳滚揉工艺参数,即滚揉里程3 000 m,转速10 r/min,滚揉方式为运行20 min,暂停10 min的间歇式滚揉。

表 5 滚揉工艺正交试验结果

Table 5 Tumbling results of orthogonal array design

试验号		A	B	C	蒸煮损失率 $y_1/\%$	剪切力 y_2/kgf
1		1	1	1	12.52	3.48
2		1	2	2	10.58	3.20
3		1	3	3	15.35	2.54
4		2	1	2	14.74	3.79
5		2	2	3	13.70	2.81
6		2	3	1	12.23	3.96
7		3	1	3	10.12	2.76
8		3	2	1	14.62	3.38
9		3	3	2	15.46	3.71
蒸煮损失率/%	K_{11}	38.45	40.65	40.20	因素主次: $B > A > C$ 最优组合: $A_1B_1C_3$	
	K_{12}	40.67	38.89	40.78		
	K_{13}	40.20	43.04	39.17		
	k_{11}	12.81	12.46	13.12		
	k_{12}	13.56	12.96	13.59		
	k_{13}	13.40	14.35	13.06		
	R	0.74	1.89	0.53		
剪切力/kgf	K_{21}	9.22	10.03	10.83	因素主次: $C > B > A$ 最优组合: $A_1B_2C_3$	
	K_{22}	10.56	9.39	10.69		
	K_{23}	9.85	10.21	8.11		
	k_{21}	3.07	3.34	3.61		
	k_{22}	3.52	3.13	3.56		
	k_{23}	3.28	3.40	2.70		
	R	0.45	0.27	0.86		

3 结 语

滚揉工艺对色度、肌原纤维蛋白溶解度、横向弛豫时间都有显著地影响($p < 0.05$), 表现为保水性增大、嫩度和弹性提高、硬度降低。滚揉里程的延长使不易流动水含量和弹性先增大后减小, 蒸煮损失、剪切力和硬度先减小后增大。进行正交试验和验证试验后, 按照实际生产要求筛选出牛排的最佳

滚揉工艺参数是: 滚揉里程 3 000 m, 转速 10 r/min, 运行 20 min, 暂停 10 min。按照此参数进行滚揉, 与未滚揉的对照组相比, 蒸煮损失率降低了 8.44%, 剪切力降低了 18.53%。

致谢: 本文得到了江苏雨润肉类产业与加工质量安全控制协同创新中心有关人员的帮助与支持, 谨在此表示感谢。

参考文献:

- [1] WANG Chunxiao, SUN Baozhong, LUO Xin, et al. Study on quality properties of prepared beef [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(21): 77-85. (in Chinese)
- [2] GRUNERT K G, VERBEKE W, KUGLER J O, et al. Use of consumer insight in the new product development process in the meat sector[J]. *Meat Science*, 2011, 89(3): 251-258.
- [3] 詹文圆. 肉制品加工中变压滚揉腌制技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [4] DIAA S, Pierre-Sylvain Mirade, Annie Venien, et al. Analysis of salt penetration enhancement in meat tissue by mechanical treatment using a tumbling simulator[J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 166: 377-383.
- [5] PIETRASIK Z, SHAND P J. Effects of moisture enhancement, enzyme treatment, and blade tenderization on the processing

- characteristics and tenderness of beef semimembranosus steaks[J]. **Meat Science**, 2011, 88(1): 8-13.
- [6] ZHANG Guozhi, GAO Cao, ZHAO Hongzhao, et al. Tumbling process research on the effects of quality of honey chicken wings [J]. **Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)**, 2010, 31(1): 33-36. (in Chinese)
- [7] QIAN Lingyan, HUAN Yanjun, LIU Chenglin. Effect of different tumbling crafts on the color in pork curing process [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2010, 31(4): 125-128. (in Chinese)
- [8] 苑瑞生. 滚揉工艺对鸡肉调理制品食用品质影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [9] GAO Tian, LI Jiaolong, ZHANG Lin. Optimization of tumbling marinade conditions for prepared pork chops [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2015, 36(12): 1-9. (in Chinese)
- [10] PANCRAZIO, Gaston, Cunha, Sara C, DePinho, Paula Guedes. Physical and chemical characteristics of cooked ham: effect of tumbling time and modifications during storage[J]. **Journal of Food Quality**, 2015, 38(5): 350-368.
- [11] ELIDIANE L, JULIANA A, HELEN T, et al. Brine absorption in seasoned chicken pieces [J]. **Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit**, 2015, 10(4): 331-340.
- [12] CHEN Jinyan, LIU Dengyong, ZHOU Guanghong. Effect of injection-tumbling process on the quality of chicken legs' products [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2012, 33(14): 120-123. (in Chinese)
- [13] 汤春辉. 滚揉腌制对调理鸭胸肉制品品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [14] LI Miaoyun, ZHAO Gaiming, ZHANG Qihui. Optimization of compound phosphates on water holding capacity in processing of meat products[J]. **Food Science**, 2009, 30(8): 80-85. (in Chinese)
- [15] PIVOTTO L M, CAMPBELL C P, SWANSON K, et al. Effects of hot boning and moisture enhancement on the eating quality of cull cow beef[J]. **Meat Science**, 2013, 96(1): 237-246.
- [16] JOO S, KAUFFMAN R, KIM B, et al. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to color and water-holding capacity in porcine longissimus muscle[J]. **Meat Science**, 1999, 52(3): 291-297.
- [17] KRAUSE R J. Influence of tumbling and sodium tripolyphosphate on quality, yield and cure distribution in hams [D]. Columbus: The Ohio State University, 1976.
- [18] SZERMAN N, GONZALEZ C B, SANCHO A M, et al. Effect of whey protein concentrate and sodium chloride addition plus tumbling procedures on technological parameters, physical properties and visual appearance of sousvide cooked beef [J]. **Meat Science**, 2007, 76(3): 463-473.
- [19] 杨勇胜. 滚揉腌制条件对肉块类西式火腿品质影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [20] MULLER W D. The technology of cooked cured products[J]. **Fleischwirtschaft**, 1989, 69: 1524-1528.
- [21] TANG Yiyu, ZHANG Min, TANG Wenlin. Effect of combined treatment on the tenderness of pork [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2015, 34(6): 584-591. (in Chinese)
- [22] XIE Mei, CAO Jinxuan, PAN Daodong. Influence of different tumbling methods on meat quality and protein structure of goose muscle during postmortem aging[J]. **Modern Food Science and Technology**, 2014, 30(10): 205-210. (in Chinese)
- [23] Tian Gao, Jiaolong Li, Lin Zhang, et al. Effect of different tumbling margination methods and time on the quality characteristics of prepared pork chops[J]. **Food Science and Technology**, 2015, 35(3): 445-451.
- [24] MA Fujun, KONG Baohua. Effect of tumbling time and applied water quantity on quality of restructured beef [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2011, 32(2): 123-126. (in Chinese)
- [25] TENIN D, ADEMOLA O. Effects of rigor state and tumbling time on quality of goat hams [J]. **Journal of Food Engineering**, 1999, 42(2): 103-107.
- [26] PIETRASIKA Z, SHAND P J. Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef[J]. **Meat Science**, 2004, 66(4): 871-879.
- [27] Hanne Christine Bertram, Ida K. Straadt, Jens A. Jensen et al. Relationship between water mobility and distribution and sensory attributes in pork slaughtered at an age between 90 and 180 days[J]. **Meat Science**, 2007, 77(2): 190-195.
- [28] Tian Gao, Jiaolong Li, Lin Zhang et al. Effect of different tumbling marinade treatments on the water status and protein properties of prepared pork chops[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2015, 95(12): 2494-2500.
- [29] CIARA K McDonnell, PAUL A, ELAINE D. The effect of salt and fibre direction on water dynamics, distribution and mobility in pork muscle: A low field NMR study[J]. **Meat Science**, 2013, 95(1): 51-58.