

超声波-微波设备联合嫩化淘汰蛋鸡鸡胸肉

李莹¹, 周剑忠¹, 黄开红¹, 刘懋成², 刘小莉¹, 胡根河², 梅芳²

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.常熟市江南王四食品有限公司, 江苏 常熟 215582)

摘要:一种新型的超声-微波设备应用在淘汰蛋鸡的嫩化。对超声波、微波及超声-微波联合作用3种不同嫩化淘汰蛋鸡的方法进行探讨, 结果表明, 超声波-微波联合作用较任何单一方法的嫩化效果均好。在超声-微波的基础上, 结合复合嫩化剂处理淘汰蛋鸡。采用 $L_9(3^4)$ 正交试验对处理条件进行优化, 以探讨超声-微波与嫩化剂对蛋鸡嫩化效果的影响。结果表明: 各因素对蛋鸡剪切力的影响主次顺序为超声-微波时间>木瓜蛋白酶>氯化钙>复合磷酸盐; 最佳组合为功率400W、超声-微波10min, 超声/间隙时间4s/4s、1.5% CaCl_2 、1.0%复合磷酸盐、450U/g木瓜蛋白酶, 可达到较好的嫩化效果。此时蛋鸡肉的剪切力为 $2.09\text{kg}/\text{cm}^2$ 。方差分析表明, 超声-微波及木瓜蛋白酶对淘汰蛋鸡嫩化效果显著, 而复合磷酸盐嫩化效果不显著。嫩化后的蛋鸡口感大大提高, 经感官评定与肉鸡口感接近。

关键词: 超声波/微波; 嫩化; 淘汰蛋鸡

Optimization of Ultrasonic/Microwave Assisted Enzymatic Tenderization of Spent Hen Breast Meat

LI Ying¹, ZHOU Jian-zhong¹, HUANG Kai-hong¹, LIU Min-cheng², LIU Xiao-li¹, HU Gen-he², MEI Fang²

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014, China;

2. Jiangnan Wangsi Food Co. Ltd., Changshu 215582, China)

Abstract: In this study, the combined use of ultrasonic and microwave was found to be more effective in intensifying the enzymatic tenderization of spent hen breast meat than their single use. Chicken breast meat was tenderized by injection of papain solution, phosphate solution containing sodium tripolyphosphate, sodium pyrophosphate and sodium hexametaphosphate (2:2:1, *m/m*) and calcium chloride solution after ultrasonic/microwave treatment. An $L_9(3^4)$ orthogonal array design was used to optimize ultrasonic/microwave treatment time and the doses of the meat tenderizers. Ultrasonic/microwave treatment time had the most important effect on meat shear force followed by papain, calcium chloride and phosphates. The best tenderization results were obtained by ultrasonic/microwave treatment at a power level of 400 W under a working/intermission mode of 4 s/4 s followed by injection of 450 U/g papain, 1.0% mixed phosphates and 1.5% calcium chloride. After tenderization treatment under these conditions, the shear force of chicken breast meat was $2.09\text{ kg}/\text{cm}^2$. Analysis of variance (ANOVA) showed that ultrasonic/microwave treatment rather than phosphates had a significant effect on chicken tenderization. Moreover, the taste of tenderized hen meat was greatly improved and similar to that of broiler meat in sensory evaluation.

Key words: ultrasonic/microwave; tenderization; spent hens

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)02-0083-05

我国是蛋鸡养殖大国, 但产蛋能力退化的老龄鸡都要被养鸡场所淘汰。随着我国养禽业的迅猛发展, 被淘汰蛋鸡的出路已成为养鸡者面临的一大问题。淘汰蛋鸡肉富含蛋白质、维生素、矿物质等营养素, 国外的一些研究还表明^[1]: 淘汰蛋鸡富含的三价不饱和脂肪酸有利于人体的健康。但蛋鸡由于生产需要, 其体型小, 饲养时间长, 加之在产蛋期间体内能量消耗大, 导致蛋鸡的肌肉中结缔组织含量较高, 即胶原蛋白含量高, 从而使得肉质老化、嫩度较差, 难于烹调, 研究结果显示淘汰蛋鸡与普通肉鸡在水分、蛋白质、脂肪等指标之间有显著

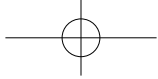
差异, 淘汰鸡胸肉和腿肉之间的各项肉质指标有显著差异, 这在一定程度上限制了蛋鸡养殖业的发展^[2]。因此, 采用一定的嫩化方法来处理淘汰鸡是提高其可食性和经济利用性的有效手段。

目前, 国内外对于肉类的嫩化已进行了广泛的研究, 对淘汰蛋鸡的嫩化多采用酶和盐类处理法^[3-4], 这些方法都有各自的不足之处。酶制剂成本较高, 钙盐嫩化效果不如酶嫩化法。近年来超声波在食品加工中应用日趋广泛, 低频超声波的主要特性在于“空化效应”和“机械效应”。所谓“空化效应”是指当声波在媒质传

收稿日期: 2011-11-07

基金项目: 常熟市科技计划项目(CN201010)

作者简介: 李莹(1981—), 女, 助理研究员, 博士, 研究方向为食品生物技术。E-mail: hijoly@163.com



播时,若声强足够大,液体所受的负压足够强,媒质分子间的平均距离就会超过极限值,液体结构的完整性会遭到破坏并出现空穴。在肉制食品加工中,超声波可以用于破坏肉的肌原纤维,有助于肉食品的嫩化加工^[5-6]。微波法也是一种有效的嫩化方法,具有方便、快速的优点。但就目前而言,微波的应用对象还较少,其应用研究还处于初始阶段^[7],Garg等^[8]应用微波对猪肉进行处理,发现微波能够明显提高猪肉的嫩化效果。本实验对比研究微波、超声波及超声-微波法3种方法对淘汰蛋鸡的嫩化效果。通过单因素及正交试验对淘汰蛋鸡的嫩化工艺做了筛选,并且创新性地使用新型的超声波和微波联合处理设备。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

淘汰蛋鸡由常熟市王四酒家提供。

木瓜蛋白酶(活力为 10^6 U/g, BR)、焦聚磷酸钠、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠、氯化钙(AR) 国药集团化学试剂有限公司。

超声波和微波联合设备 格派微波科技发展有限公司; JJ500型精密电子天平 常熟市双杰测试仪器厂; DZQ4001SL T8型真空封口机 上海人民包装股份有限公司; SW-CJ-1C型超净工作台 苏州净化有限公司; ZD-2型pH计 上海雷磁仪器厂; SHZ-2型电子恒温振荡水浴槽 太仓华美生化仪器厂; C-LM型嫩度计。

1.2 方法

1.2.1 肉样预处理

将毛质量相近的淘汰蛋鸡宰杀后,分割出鸡胸肉,去除脂肪和肌腱后置于袋中,4℃冷藏备用。

1.2.2 嫩度的测定

鸡胸肉用蒸煮袋盛装、封口,于80℃水浴锅中加热至肉的中心温度达70℃时,取出冷却至25℃,然后将肉样切成 2cm^3 的方块状,测定时,用取样器顺着肌纤维方向取样,每组6个平行样,然后用嫩度计测定剪切值,取其平均值。

1.2.3 不同嫩化方式对淘汰蛋鸡剪切力的影响

1.2.3.1 3种机械嫩化方法的比较

将经过预处理后的相同质量量的鸡胸肉放入袋中,每组100g,往内加入鸡胸肉一倍质量的蒸馏水,排除袋内空气后密封。超声波-微波法:超声功率400W,超声/间隙时间4s/4s,微波功率400W,运作总时间10min;超声法:超声功率400W,超声/间隙时间4s/4s,运作总时间10min;微波法:400W,运作总时间10min;对照组在同样的蒸馏水中浸泡10min,然后分别将肉取出,沥干水分,再次塑料包装,尽量排出包装内气体,置于0~4℃的冰箱中成熟24h后待测。

1.2.3.2 木瓜蛋白酶使用对淘汰蛋鸡剪切力的影响

将经过预处理后的相同质量的鸡胸肉放入袋中,每组100g,分别均匀注射含有不同酶活力单位的木瓜蛋白酶溶液10mL,木瓜蛋白酶酶活单位/鸡肉用量梯度为:0、100、200、300、400、500U/g。注射后真空包装,置于0~4℃的冰箱中处理12h后待测。

1.2.3.3 复合聚磷酸盐对淘汰蛋鸡剪切力的影响

将经过预处理后的相同质量的鸡胸肉放入袋中,每组100g,分别均匀注射含有不同比例的复合磷酸盐溶液(复合磷酸盐的质量配比为:三聚磷酸钠:焦磷酸钠:六偏磷酸钠=2:2:1)10mL,复合磷酸盐注入量/鸡肉用量梯度为:0%、0.3%、0.7%、1.0%、1.2%、1.5%。注射后真空包装,置于0~4℃的冰箱中处理12h后待测。

1.2.3.4 氯化钙对淘汰蛋鸡剪切力的影响

将经过预处理后的相同质量的鸡胸肉放入袋中,每组100g,分别均匀注入不同含量的 CaCl_2 溶液10mL, CaCl_2 注入量/鸡肉用量梯度为:0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%。注射后真空包装,置于0~4℃的冰箱中处理12h后待测。

1.2.4 感官评定

分别选取淘汰蛋鸡、嫩化后的淘汰蛋鸡和三月龄肉鸡的鸡胸肉进行编号,放入蒸煮袋后,在80℃的水浴锅中加热1h。以肉鸡鸡胸肉的口感为100分,其余样品根据色泽、质地及风味的优劣在1~100分范围内进行综合评定打分,感官评价标准如表1所示,以此评定淘汰鸡肉嫩化前后的口感差异^[9]。

表1 感官评价标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of cooked chicken

项目	满分	评分标准
色泽	30	色泽棕红,油润光亮20~30分;色淡或棕黑色10~20分;色差或黑色0~10分
质地	40	鸡肉酥嫩30~40分;鸡肉可咀嚼15~30分;鸡肉粗糙无味0~15分
风味	30	鲜香扑鼻,鸡香浓郁20~30分;鸡香味淡10~20分;无明显鸡香气或有异味0~10分
评价值	100	

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 3种机械嫩化方法比较

表2 超声波、微波及超声-微波法嫩化淘汰蛋鸡的比较

Table 2 Effect of ultrasonic, microwave and their combination on chicken shear force

组别	对照组	超声法	微波法	超声-微波法
剪切力/(kg/cm ²)	5.9±0.17	4.01±0.15	4.50±0.24	3.04±0.10

肉品嫩度是肉的主要食用品质之一,它是消费者评判肉质优劣的最常用指标。肉类的嫩化方法包括:物

理、化学和生物方法。超声波法为物理方法中目前最常用方法,可改变引起肉品硬度的蛋白成分及其链接键,明显减低了肉品硬度,从而达到嫩化作用。但是超声波法对肉品的质构、风味、多汁性没有任何影响,微波加热可以弥补这些缺陷,同时,改善鸡肉对舌或颊的柔软性,从而改善肉的嫩度。表2结果显示:相同条件下,超声波和微波联合嫩化效果最好。

2.1.2 木瓜蛋白酶用量对淘汰蛋鸡剪切力的影响

木瓜蛋白酶是半胱氨酸基蛋白酶,能够对肉类的纤维蛋白和胶原蛋白起到水解和断裂作用,它将肌动球蛋白和胶原蛋白降解成为小分子的多肽甚至氨基酸,令肌肉肌丝和筋腱丝断裂。使肉类变得嫩滑爽脆,并简化蛋白质结构而使食用后易于人体消化吸收,经烹调后鲜嫩爽滑,可口宜人。由图1可以看出:木瓜蛋白酶对鸡肉具有显著的嫩化效果,当木瓜蛋白酶用量从0增加到400U/g时,鸡肉剪切力随木瓜蛋白酶用量的增加而下降,当木瓜蛋白酶用量超过400U/g时,鸡肉的剪切力有上升的趋势。原因可能是当酶的用量过多时,就会使肌肉的肌原蛋白和肌原纤维的分解过度,导致失水严重,尽管此时的剪切力很低,但嫩化效果却较差。考虑到生产成本和嫩化效果的综合影响,选取木瓜蛋白酶的适用量为400U/g左右。

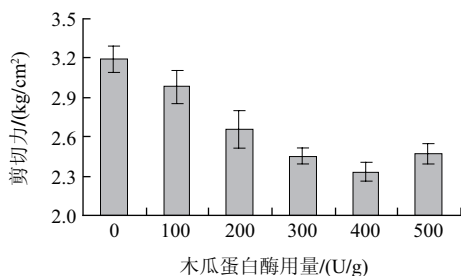


图1 木瓜蛋白酶用量对淘汰蛋鸡剪切力的影响
Fig.1 Effect of papain on chicken shear force

2.1.3 氯化钙用量对淘汰蛋鸡剪切力的影响

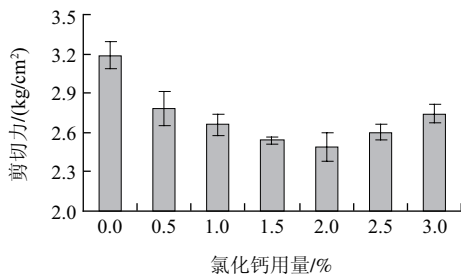


图2 氯化钙用量对淘汰蛋鸡剪切力的影响
Fig.2 Effect of calcium chloride on chicken shear force

氯化钙对钙激酶具有激活作用,钙离子可以促进肉品成熟、提高肉品嫩度已是品科学工作者和肉品加工者的共识^[10]。由图2可以看出:鸡肉的剪切力随氯化钙用量

的增加而发生变化。当氯化钙的添加量为0%~1%时,鸡肉的剪切力随氯化钙用量的增加而减小;氯化钙用量为1%~2%时,剪切力随用量的增加而减少的幅度减小;用量超过2%时,鸡肉的剪切力随氯化钙用量的增加而增加,这种趋势与李正英^[11]的研究结果一致,氯化钙对淘汰蛋鸡的适用量在1.5%左右。

2.1.4 复合聚磷酸盐用量对淘汰蛋鸡剪切力的影响

磷酸盐是一种保水剂,可以增加肉制品的持水性,改善肉品的嫩度^[12-13]。一般情况下,复合磷酸盐的作用效果优于单一任何一种磷酸盐的作用效果,实验选取复合磷酸盐的配比为:三聚磷酸钠:焦磷酸钠:六偏磷酸钠为2:2:1。由图3可以看出:当复合磷酸盐的用量为0%~1%时,鸡肉的剪切力随复合磷酸盐用量的增加而减小;复合磷酸盐的用量超过1%时,剪切力逐渐上升。分析原因可能是:(1)由于多聚磷酸盐的作用,猪肉肌原纤维中的肌球蛋白和肌动蛋白溶解,当磷酸盐溶液浓度过高时,高浓度的盐溶液可能会导致这些蛋白产生盐析,这导致了与水结合的蛋白质减少,肉的持水性下降,嫩度下降。(2)因为磷酸盐能与肌肉中肌原纤维结合的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 整合,使肌原纤维蛋白在失去 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 后释放出带负电的羧基,负电荷之间的相互排斥使肌肉网状结构遭到破坏,使肌肉组织可包容更多水分达到嫩化效果。但是当磷酸盐浓度过高时,这种整合金属离子的效应可能会使肌肉网状结构破坏严重,导致鸡肉截留不住水分、收缩严重而造成剪切力上升^[14]。复合磷酸盐的使用量可以控制在1.0%。

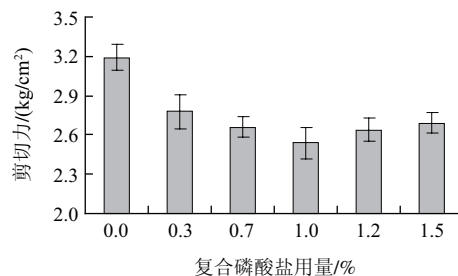


图3 复合聚磷酸盐用量对淘汰蛋鸡剪切力的影响
Fig.3 Effect of phosphates on chicken shear force

2.2 正交试验

为了使蛋鸡达到较好的嫩化效果及持水性,将超声波-微波法与复合嫩化剂结合起来对淘汰蛋鸡进行处理,在单因素试验基础上,选取超声-微波时间、氯化钙用量、复合磷酸盐用量(复合磷酸盐的配比为:三聚磷酸钠:焦磷酸钠:六偏磷酸钠为2:2:1)及木瓜蛋白酶添加量为主要因素,固定其他因素超声功率400W、超声/间隙时间4s/4s,用四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交试验,以寻求各因素之间的最佳组合。极差分析见表3、方差分析见表4。

表3 超声波-微波法结合复合嫩化剂对淘汰蛋鸡剪切力影响的L₉(3⁴)正交试验
Table 3 L₉(3⁴) orthogonal array design and results

试验号	A超声-微波时间/min	B氯化钙用量/%	C复合聚磷酸盐用量/%	D木瓜蛋白酶用量/(U/g)	剪切力/(kg/cm ²)
1	1(5)	1(1.0)	1(0.7)	1(350)	3.08
2	1	2(1.5)	2(1.0)	2(400)	2.91
3	1	3(2.0)	3(1.2)	3(450)	2.78
4	2(10)	1	2	3	2.54
5	2	2	3	1	2.65
6	2	3	1	2	2.70
7	3(15)	1	3	2	2.96
8	3	2	1	3	2.43
9	3	3	2	1	2.77
K ₁	8.31	8.11	7.80	7.92	
K ₂	7.36	7.26	7.45	8.05	
K ₃	7.45	7.53	7.87	7.15	
k ₁	2.77	2.70	2.60	2.64	
k ₂	2.45	2.42	2.48	2.68	
k ₃	2.48	2.51	2.62	2.38	
R	0.32	0.28	0.14	0.30	
主次顺序: A>D>B>C					最优组合: A ₂ B ₂ C ₂ D ₃

从表3可知,影响剪切力的因素主次顺序为A>D>B>C;最优水平为A₂B₂C₂D₃,即400W超声波处理10min、超声/间隙时间4s/4s、CaCl₂用量1.5%、复合磷酸盐用量1.0%、木瓜蛋白酶用量450U/g,此时淘汰蛋鸡的嫩化效果最好,通过验证,剪切力值为2.09kg/cm²。

由表4超声-微波结合嫩化剂处理淘汰蛋鸡剪切力影响的方差分析可知:超声-微波时间的F=49.06, P=0.00<0.01,差异极显著;氯化钙的F=13.41, P=0.02<0.05,差异显著;复合磷酸盐的F=0.27, P=0.77>0.01,差异不显著;木瓜蛋白酶的F=32.55, P=0.00<0.01,差异极显著,表明超声-微波及木瓜蛋白酶处理,对淘汰蛋鸡嫩化效果有极显著影响,氯化钙有显著影响,而复合磷酸盐无显著影响。

表4 L₉(3⁴)正交试验方差分析表
Table 4 Analysis of variance for the experimental results of orthogonal array design

方差来源	偏差平方和	自由度	方差估计值	F值	显著性
A超声-微波时间	0.347	2	0.174	49.055	0.00
B氯化钙用量	0.095	2	0.004	13.408	0.02
C复合磷酸盐用量	0.002	2	0.001	0.268	0.77
D木瓜蛋白酶用量	0.230	2	0.047	32.553	0.00
试验误差	0.032				

超声波在液体中传播时,使液体介质不断受到拉伸和压缩,而液体耐压不耐拉,当液体不能承受这种拉力时,就会断裂而形成暂时的近似真空的空洞,到压缩阶段,这些空洞发生崩溃,崩溃时空洞内部最高瞬间可达几万个大气压,促使肌肉组织中的细胞破裂,同时溶液的水分快速渗透。微波被称为“超高频电磁波”,该波穿透性极强,对肌纤维蛋白产生机械的物理破坏作用,

并且对线粒体、肌质网和溶酶体膜产生破坏作用,使肌质网释放Ca²⁺,溶酶体释放组织蛋白酶和钙蛋白酶,钙蛋白酶活性增加,降解肌纤维结构蛋白和肌纤维间联结蛋白的功能增强,同时组织蛋白酶也发挥降解蛋白的功能,使可溶性蛋白增加。

2.3 感官评分

按照最佳工艺条件对淘汰鸡肉进行嫩化处理,然后进行感官鉴评实验(表5)。结果证实淘汰鸡肉嫩化前后的口感具有显著差异,嫩化后的淘汰鸡肉的咀嚼口感基本达到了肉鸡的水平,达到了嫩化目的。

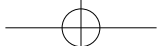
表5 淘汰蛋鸡嫩化前后同肉鸡的感官比较
Table 5 Effect of tenderization under optimized conditions on sensory quality of spent hen breast meat

评员	肉鸡	淘汰鸡肉				嫩化后鸡肉			
		色泽	质地	风味	总分	色泽	质地	风味	总分
1	100	21	11	19	51	26	34	26	86
2	100	18	13	22	53	29	38	28	95
3	100	17	10	19	46	28	35	26	89
4	100	18	11	20	49	28	38	27	93
5	100	21	13	22	56	29	39	27	95
平均分	100	19	12	20	51	28	37	27	92

3 结 论

在超声-微波联合处理的基础上,结合复合嫩化剂处理淘汰蛋鸡。采用L₉(3⁴)正交试验对处理条件进行优化,各因素对蛋鸡剪切力的影响主次顺序为超声-微波时间>木瓜蛋白酶用量>氯化钙用量>复合磷酸盐用量。嫩化蛋鸡的最佳条件为:功率400W、超声-微波10min、超声/间隙时间4s/4s、CaCl₂用量1.5%、复合磷酸盐用量1.0%、木瓜蛋白酶用量450U/g,此时蛋鸡肉的剪切力为2.09kg/cm²。方差分析表明,超声-微波结合木瓜蛋白酶对淘汰蛋鸡嫩化效果显著。嫩化后的蛋鸡口感大大提高,基本达到了肉鸡的水平。

对比实验证明超声波和微波联合嫩化蛋鸡相比于单一方法效果更好,超声波的空化效应及机械作用联合微波的热效应,使蛋鸡达到较好的嫩度。Ma Hanjun等^[15]结合高压与热处理作用于牛肉肌肉,较好地改善了肉品的质构及嫩度。本研究运用超声和微波联合处理,增加了蛋白的断化和分裂程度,生成更多小分子的活性肽;钙离子的存在激活了内源酶-依钙蛋白酶的活性,在外源酶-木瓜蛋白酶的共同作用下,蛋白质得到降解,从而释放出更多的营养活性肽以及人体必需氨基酸,营养成分得到提高。然而,超声波-微波联合处理方式作为一种新技术应用于肉类工业,其共同作用方式、对肉质特性,例如对肉的保水性、颜色、风味等的影响还有待更深入的研究。



参考文献:

- [1] 袁丽, 陈德倡, 高瑞昌. 淘汰蛋鸡肉嫩化效果的研究[J]. 肉类工业, 2005(5): 11-13.
- [2] 高瑞昌, 彭增起, 陈德倡, 等. 淘汰蛋鸡肉糜功能特性影响因素研究进展[J]. 食品与机械, 2003(1): 12-13.
- [3] 宋玉, 诸永志, 徐幸莲, 等. 不同浓度木瓜蛋白酶和复合磷酸盐对鸡肉嫩度的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2009(5): 43-44.
- [4] 邱燕, 崔薇, 陈韬. 氯化钙处理对牛肉嫩化的研究进展[J]. 肉类研究, 2009, 23(2): 10-13.
- [5] 杨性民, 刘青梅, 罗海波, 等. 超声波结合嫩化剂对虾干嫩化效果的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 267-269.
- [6] DIETRICH K, MARCO Z, VOLKER H, et al. Applications and potential of ultrasonic in food processing[J]. Trends in Food Science & Technology, 2004, 15(5): 261-266.
- [7] 吕心泉, 安辛欣, 张键. 微波肉食品开发的初步研究[J]. 中国食品添加剂, 2001(3): 50-54.
- [8] GARG V, MENDIRATTA S K. Studies on tenderization and preparation of enrobed pork chunks in microwave oven[J]. Meat Science, 2006, 74(4): 718-726.
- [9] 杨保刚, 霍建聪, 王炜. 淘汰鸡肉嫩化方法的实验研究[J]. 肉类工业, 2006(3): 14-16.
- [10] BEHREND S J M, GOODSON K J, KOOHARAIE M, et al. Beef customer satisfaction: factors affecting consumer evaluations of calcium chloride-injected top sirloin steaks when given instructions for preparation[J]. Journal of Animal Science, 2005, 83(12): 2869-2875.
- [11] 李正英, 李钰金. 滚揉法、氯化钙法与木瓜蛋白酶对羊肉嫩化效果的比较研究[J]. 肉类工业, 2008(4): 30-33.
- [12] KEENAN D F, DESMOND E M, HAYES J E. The effect of hot-boning and reduced added phosphate on the processing and sensory properties of cured beef prepared from two forequarter muscles[J]. Meat Science, 2010, 84(4): 691-698.
- [13] LOWDER A C, GOAD C L, LOU X Q. Evaluation of a dehydrated beef protein to replace sodium-based phosphates in injected beef strip loins[J]. Meat Science, 2011, 89(4): 491-499.
- [14] 李培红, 王怀欣, 邹延军. 复合磷酸盐和木瓜蛋白酶对猪肉脯嫩化效果对比研究[J]. 肉类工业, 2011(2): 34-42.
- [15] MA Hanjun, LEDWARD D A. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle[J]. Meat Science, 2004, 68: 347-355.