

宰后成熟过程中猪肉保水性的变化

薛盼盼, 周晓燕, 王秋玉, 章海风

(扬州大学旅游烹饪学院, 江苏省淮扬菜产业化工程中心, 江苏扬州 225127)

摘要: 以三元猪背最长肌为研究对象, 在第 4、8、12、16、20、24、28、32 和 36 h 分别检测蒸煮损失率、滴水损失率、贮藏损失率、剪切力值和 pH 值的变化情况, 研究宰后成熟过程中猪肉保水性的变化规律。结果表明, 蒸煮损失率呈先升高后降低的趋势, 在第 20 h 蒸煮损失率达到最大值 32.80%; 贮藏损失率和滴水损失率呈先下降后上升再下降的趋势; 剪切力值在 4~12 h 内显著性上升 ($p<0.05$), 且在 12 h 达到最大 62.29 N; pH 值呈整体先下降后上升再下降最后趋于稳定的变化趋势; 其中, 成熟时间与剪切力值呈显著负相关 ($p<0.01$), pH 值与蒸煮损失率呈极显著负相关 ($p<0.01$), 滴水损失率与贮藏损失率呈较高的相关性 ($p<0.01$)。综合指标, 猪肉在宰后成熟 36 h 内保水性有先变弱后增强的趋势, 在 12~16 h 内进入僵直高峰点, 随后进入解僵成熟期。该研究结果可为后续深入研究宰后成熟过程中猪肉嫩度变化规律及机理提供基础指标和参考依据。

关键词: 宰后成熟; 猪肉; 保水性; 嫩度

文章编号: 1673-9078(2020)11-212-216

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0438

Changes in the Water-holding Capacity of Pork during Post-mortem Aging

XUE Pan-pan, ZHOU Xiao-yan, WANG Qiu-yu, ZHANG Hai-feng

(School of Tourism and Culinary Science, Yangzhou University, Industrial Engineering Center for Huaiyang Cuisine of Jiangsu Province, Yangzhou 225127 China)

Abstract: The longissimus dorsi muscle of Sanyuan pig was used as the research object, the changes in the cooking loss rate, drip loss rate, storage loss rate, shear force and pH value were examined at the 4 th, 8 th, 12 th, 16 th, 20 th, 24 th, 28 th, 32 th and 36 th h, and the changing trend of water-holding capacity of pork during post-mortem aging was studied. The results showed that the cooking loss rate increased first and then decreased, with the maximum value of 32.80% at the 20 th h; the storage loss rate and drip loss rate decreased first, then increased and finally decreased; the shear force increased significantly within the range of the 4 th~12 th h, with the maximum of 62.29 N at the 12 th h. The overall pH trend showed a decrease, an increase, then a decrease, and finally level-off. Among which, there were a significant negative correlation between the aging time and shear force ($p<0.01$), a very significant negative correlation between the pH value and cooking loss rate ($p<0.01$), and a strong correlation between the drip loss rate and storage loss rate ($p<0.01$). In summary, the water-holding capacity of pork showed a changing trend of a decrease followed by an increase within 36 hours of post-mortem aging, with the peak point of rigor mortis (postmortem rigidity) within the 12 th~16 th h before the post-rigor phase and maturation stage. The results of this study can provide basic indices and reference basis for further in-depth studies on the changing trend and mechanism of pork tenderness during postmortem aging.

Key words: post-mortem aging; pork; water-holding capacity; tenderness

引文格式:

薛盼盼,周晓燕,王秋玉,等.宰后成熟过程中猪肉保水性的变化[J].现代食品科技,2020,36(11):212-216

XUE Pan-pan, ZHOU Xiao-yan, WANG Qiu-yu, et al. Changes in the water-holding capacity of pork during post-mortem aging [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 212-216

收稿日期: 2020-05-10

基金项目: 教育部“蓝火计划”(德州)产学研联合创新项目; 中国营养学会-百胜餐饮健康基金项目(CNS-YUM2019A12); 扬州大学(兴化)乡村振兴研究院科研项目(XH2018414)

作者简介: 薛盼盼(1996-), 女, 硕士, 研究方向: 营养与食品卫生学

通讯作者: 章海风(1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 烹饪科学与膳食营养

猪肉含有丰富的蛋白质及脂肪、碳水化合物、钙、铁、磷等营养成分,是一种氨基酸平衡的优质蛋白质来源。随着日常生活水平的不断提高,消费者们对于猪肉的需求不再仅体现在其营养价值上,人们对于猪肉口感的需求也在逐渐提高,如:猪肉的嫩度、多汁性和风味^[1]。然而好的猪肉口感不单单只取决于好的烹调手段,其本身品质的好坏也起着主导性的作用,在猪肉本身品质不断提升的同时,辅以更加适合的烹调手段,不仅能使猪肉的口感更加丰富,还能使其营养价值得到很好的保留,更能符合消费者们的需求,从而能有效的扩大市场需求量。因而近年来,研究猪肉的品质开始受到学术界的广泛关注,通过深入研究猪肉的品质,以期能生产和供应更加美味、安全、营养、健康的优质猪肉^[2]。猪肉的保水性和其口感有着最直接的相关性,因而猪肉的保水性是衡量猪肉品质的重要指标之一,一般用滴水损失率和蒸煮损失率表示^[3]。在宰后冷却过程中,猪肉经过僵直、解僵和成熟过程实现从肌肉到肉的转变,转变过程中猪肉的保水性会发生明显的变化^[4]。

本实验通过以猪背最长肌为研究对象,通过测定宰后成熟过程中不同时间段的蒸煮损失率、滴水损失率、贮藏损失率、剪切力值和 pH 值等数值的变化,探究宰后成熟过程中猪肉保水性的变化规律并研究所测指标之间的相关性,为后续深入研究宰后成熟过程中猪肉嫩度相关变化规律及机理提供基础指标;以及为寻求既能够很大程度保留猪肉的营养价值,也能很好满足消费者们口感需求的最佳烹调方式提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 原料

采集品种与饲养管理相同,活体质量为(60±5)kg的三元猪3头,由扬州祥泰食品有限公司提供。

1.2 主要仪器和设备

205-pH 计酸碱度温度测量仪,上海醇安电子有限公司;C-LM2 型肌肉嫩度仪,北京朋利驰科技有限公司;BS210S (1/1000) 型电子天平,北京赛多斯仪器系统有限公司;HH-S6 型数显恒温水浴锅,江苏金坛市科析仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

按照GB/T 17236-2019《畜禽屠宰操作规程》进行

屠宰^[5],在胴体上取下背最长肌肉样,置4℃排酸库中进行排酸处理,记录时间,在排酸4、8、12、16、20、24、28、32和36h进行取样测定。

1.3.2 贮藏损失率的测定

猪背最长肌取出后将剔除结缔组织的肉样均匀地分成3份,用纸巾吸干表面的水分,称量,记作原始质量 M_1 。将肉样放入真空包装袋中,在0~4℃冷库内成熟。在达到不同的成熟时间时,分别将肉样取出,再次用纸巾吸干表面的水分,称量,记作最终质量 M_2 。贮藏损失计算公式如下:

$$\text{贮藏损失率}(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%$$

1.3.3 滴水损失率的测定

猪背最长肌去除脂肪和筋腱,切成3cm×2cm×2cm的肉样,称重 W_1 后,用铁丝钩住肉块的一端,悬挂于聚乙烯的塑料袋中(肉样不得与塑料袋壁接触),扎紧袋口后悬挂于4℃排酸库内,在达到不同的成熟时间时取出并用滤纸擦去肉样表面汁液,再次称重 W_2 。利用两次称量的重量差异计算肉的重量的损失百分比,每头胴体做3个平行。滴水损失(Drip Loss)计算公式如下:

$$\text{滴水损失率}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

1.3.4 蒸煮损失率的测定

参照Schmidt^[6]的方法,并稍作修改。取不同成熟时间猪背最长肌,剔除肉样表面的脂肪和筋膜,并将其切成2cm×3cm×5cm左右的肉块,擦干表面的水分,称重 G_1 后置于蒸煮袋内,保持袋口向上,在72℃水浴锅中加热到肉样中心温度为70℃(用热电偶记录中心温度变化)并保持稳定,之后取出冷却至室温,用吸水纸吸干肉样表面汁液,再次称量 G_2 。蒸煮损失计算公式如下:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100\%$$

1.3.5 剪切力值测定

参照王恒鹏^[7]的方法,并稍作修改。取不同成熟时间肉样,除去肉样表面脂肪、筋腱和膜,置于蒸煮袋内,保持袋口向上,在72℃水浴锅中加热到肉样中心温度为70℃(用热电偶记录中心温度变化)并保持稳定,之后取出冷却至室温,用吸水纸吸干肉样表面汁液,用直径1.27cm的圆形取样器沿与肌纤维平行的方向钻取肉样(避开筋腱),取样位置距离样品边缘不少于5mm,2个取样的边缘间距不少于5mm,剔除有明显缺陷孔样,测定样品数量不少于3个。

1.3.6 pH值测定

使用便携式 pH 计进行测定,测定时使 pH 计的探头与肉样充分接触,待读数稳定后记录所测得的数据,每组肉样重复测定 3 次,每次测定后用双蒸水冲洗 pH 计头并检准。

1.4 数据处理与分析

所有数据用平均值±标准差表示。采用 Microsoft Office Excel 2016 制表和绘图,采用 SPSS 19.0 全因子模型对测定结果进行显著性分析。差异显著水平 α 为 0.05。

2 结果与讨论

2.1 宰后成熟过程中猪背最长肌保水性的变化

肌肉中水分含量及肉的保水性对其品质都有一定程度的影响。肉的保水性指肌肉受到外力作用时,保持原有水分和外加水分的能力^[8]。在宰后成熟过程中,不同时间对猪背最长肌的蒸煮损失率、滴水损失率、贮藏损失率的影响如表 1 所示。

表 1 宰后成熟过程中蒸煮损失率、滴水损失率和贮藏损失率的变化

Table 1 Changes of cooking loss rate, dripping loss rate and storage loss rate in the ripening process after slaughter

成熟时间/h	蒸煮损失率/%	滴水损失率/%	贮藏损失率/%
4	26.93±0.16 ^b	1.33±0.06 ^a	0.46±0.06 ^b
8	30.22±0.78 ^a	0.43±0.03 ^c	0.25±0.06 ^d
12	30.57±2.57 ^a	1.31±0.04 ^a	0.68±0.07 ^a
16	32.16±1.61 ^a	1.28±0.05 ^a	0.46±0.04 ^b
20	32.80±1.44 ^a	1.11±0.04 ^b	0.44±0.04 ^b
24	32.27±0.16 ^a	1.07±0.03 ^b	0.42±0.04 ^{bc}
28	32.31±0.60 ^a	1.03±0.07 ^b	0.42±0.05 ^{bc}
32	31.39±2.17 ^a	1.02±0.07 ^b	0.33±0.06 ^{cd}
36	30.34±2.45 ^a	1.03±0.01 ^b	0.33±0.03 ^{cd}

注:表 1 中同一列不同字母表示不同宰后成熟时间各指标差异显著 ($p<0.05$)。

蒸煮损失率是反应肉保水能力指标之一,在蒸煮过程中,肉失去的成分主要包括水、某些肌浆蛋白和肌肉脂肪可溶性胶原蛋白,但通常用失去水分的多少来衡量蒸煮损失率,蒸煮损失率越高,系水力越小,保水性越差,食用品质越差^[9]。在本试验中,猪背最长肌的蒸煮损失呈先升高后降低的趋势,在 4~8 h 内显著性增加 ($p<0.05$),宰后 20 h 蒸煮损失率达到最大值 32.80%,这是由于猪宰杀后进入僵直期,肌肉内蛋白质过度带电,蛋白质表面会吸附水分子,pH 值降低

后,负电荷逐渐增多,会中和一些带正电的蛋白质,使蛋白质间排斥力减弱,从而使蛋白质与蛋白质之间空隙变小,降低猪肉的持水力^[10]。随着时间增加,骨架蛋白被降解,猪肉肌原纤维间空隙增加,细胞内水分增加^[11],因而蒸煮损失率在 20 h 后开始显著性下降 ($p<0.05$),此时猪肉的保水性随之增强。

细胞骨架蛋白(如中间丝蛋白、结蛋白)的降解可能与滴液产生有关,肌原纤维与细胞膜(如结蛋白)结合的蛋白质降解减少会导致肌肉细胞收缩增加,最终转化为点滴损失,这些与蛋白质分解减少相关的滴水损失差异可在宰后 24~48 h 内观察到^[12]。由表 1 可知,贮藏损失率和滴水损失率均呈先下降后上升再下降的趋势,在 4~8 h 内显著性下降 ($p<0.05$),在第 8 h 贮藏损失率和滴水损失率分别降至 0.25% 和 0.43%,可能由于中间丝蛋白的蛋白水解作用使水从细胞内流向滴灌通道的流量最小化,8~12 h 内显著性上升 ($p<0.05$),在第 12 h 贮藏损失率和滴水损失率分别上升至 0.68% 和 1.31%,这是因为骨架蛋白降解期间保留在细胞中的水已转化为点滴,此实验结果与黄明焜^[4]等研究宰后僵直过程中猪肉保水性变化中汁液损失变化趋势相一致。随着时间继续延长,可能由于 pH 的变化影响了肌原纤维网状结构和肌肉收缩,使细胞内水分产生迁移,从而使贮藏损失率和滴水损失率再次下降。

2.2 宰后成熟过程中猪背最长肌嫩度的变化

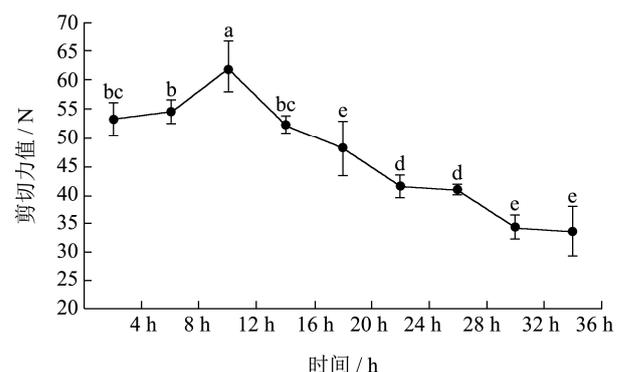


图 1 宰后成熟过程中剪切力的变化

Fig.1 Change of shear force during post-mortem maturation

注:数据间小写字母不同表示差异显著, $p<0.05$, 下同。

肉的嫩度又称柔软性,指肉在食用时口感的柔软程度,是影响猪肉品质的重要属性之一,其主要受肌原纤维结构变化、结缔组织状态和相关蛋白水解程度的影响^[13]。剪切力是反映肉质嫩度的直接指标,在一定范围内剪切力值越小,肉质的嫩度越好^[14]。宰后成熟过程中猪背最长肌的剪切力变化如图 1 所示,在成熟早期,肌节缩短导致肌肉进入僵直状态,肌肉变硬,

因而在 4~12 h 内, 背最长肌剪切力显著性上升 ($p<0.05$), 且在第 12 h 达到最大 62.29 N。12 h 之后, 随着成熟时间继续延长, 肌肉进入解僵成熟过程, 其收缩状态发生改变, 在一些内源酶的作用下, 肌原纤维逐渐被降解, 肌肉的嫩度增加^[15], 因而剪切力逐渐减小且差异显著 ($p<0.05$)。该变化趋势与黄明焜等^[16]研究的变化趋势相一致, 但剪切力值达最大时间点不同, 这可能由于猪的品种和部位不同。

2.3 宰后成熟过程中pH值的变化

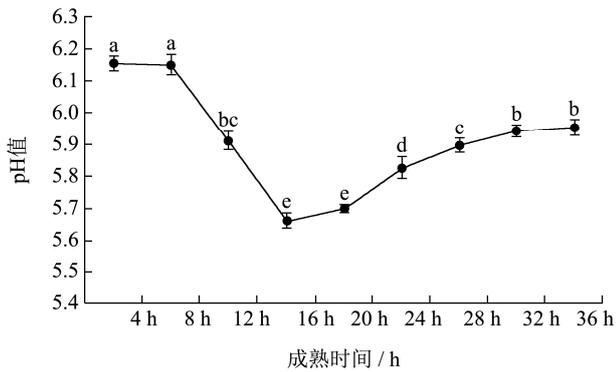


图2 宰后成熟过程中 pH 值的变化

Fig.2 Change of pH value during post-mortem maturation

pH 值是判断宰后成熟进程的重要指标之一。从图 2 可以看出, 猪背最长肌的 pH 值呈整体先下降后上升再下降最后趋于稳定的变化趋势。在 4~16 h, pH 值显著降低 ($p<0.05$), 在 16 h 达到最低值 5.66, 即极限 pH 值, 这是由于猪在刚屠宰后, 肌肉中氧气供应中断,

表 2 宰后成熟过程中猪肉 pH、剪切力、贮藏损失、滴水损失、蒸煮损失的相关性

Table 2 Correlation of pH value, shear force, storage loss, dripping loss and cooking loss in post-mortem ripening of pork

项目	时间	pH	剪切力值	贮藏损失率	滴水损失率	蒸煮损失率
时间	1	-0.339	-0.868**	-0.303	0.034	0.417*
pH 值		1	-0.080	0.279	-0.407*	-0.649**
剪切力值			1	0.507**	0.143	-0.143
贮藏损失率				1	0.674**	-0.020
滴水损失率					1	0.071
蒸煮损失率						1

注: *代表显著相关; **代表极显著相关。

3 结论

3.1 通过以上分析, 我们可以得出以下结论: 猪背最长肌的蒸煮损失率呈先升高后降低的趋势, 在 4~8 h 内显著性增加 ($p<0.05$), 在 20 h 后开始显著性下降 ($p<0.05$); 贮藏损失率和滴水损失率呈先下降后上升再下降的趋势, 在 4~8 h 内显著性下降 ($p<0.05$), 8~12 h 内显著性上升 ($p<0.05$); 剪切力值在 4~12 h 内显著性上升 ($p<0.05$), 12 h 之后逐渐减小且差异显著

从肌肉向肉转化的过程中发生糖酵解反应, 产生乳酸, 该变化趋势与黄明焜等^[4]研究的变化趋势相一致。随着成熟时间的延长, 肉中微生物大量繁殖增长分解了肉中的蛋白质及氮化合物被生成碱性的含氮物质, 因而 pH 值呈缓慢上升的趋势。

2.4 指标相关性分析

表 2 反映了宰后成熟过程中, 成熟时间与猪背最长肌的 pH 值、剪切力值、贮藏损失率和滴水损失率相互之间的相关性。由表 2 可以看出, 宰后成熟过程中, 成熟时间与剪切力值呈显著负相关 ($p<0.01$), 与蒸煮损失率呈正相关 ($p<0.05$), 说明宰后成熟时间对猪背最长肌的嫩度有影响, 蒸煮损失率和剪切力值均可作为评价猪肉宰后成熟过程和成熟程度的重要指标。其中, pH 值与蒸煮损失率呈极显著负相关 ($p<0.01$), 此结果与辜雪冬等^[18]研究结果相一致; pH 值与滴水损失率呈显著负相关 ($p<0.05$), pH 值与肌肉的保水性密切相关, 当 pH 值下降时, 保水性也随之下降, 在极限 pH 值时肌肉的保水性最差, 经过适当成熟后, 肌肉的保水性有所增加。此外, 还可以看出剪切力值与贮藏损失率呈极显著正相关 ($p<0.01$), 与滴水损失率呈正相关不显著 ($p>0.05$), 说明贮藏损失率对剪切力值的影响更大。同时, 滴水损失率与贮藏损失率也呈较高的相关性 ($p<0.01$), 表示二者均可以作为评价猪肉嫩度的重要指标。

($p<0.05$); pH 值整体呈先下降后上升再下降最后趋于稳定的变化趋势, 在 4~16 h 内 pH 值显著降低 ($p<0.05$), 在 16~32 h 内增加显著 ($p<0.05$)。

3.2 其中, 成熟时间与剪切力值呈显著负相关 ($p<0.01$), 与蒸煮损失率呈正相关 ($p<0.05$); pH 值与蒸煮损失率呈极显著负相关 ($p<0.01$), 与滴水损失率呈显著负相关 ($p<0.05$); 剪切力值与贮藏损失率呈极显著正相关 ($p<0.01$), 与滴水损失率呈正相关不显著 ($p>0.05$); 滴水损失率与贮藏损失率呈较高的相关

性 ($p < 0.01$)。

3.3 以上试验结果表明猪肉在宰后成熟 36 h 内保水性有先变弱后增强的趋势, 其 12~16 h 内进入僵直顶峰, 随后进入解僵成熟期。该研究结果可为后续深入研究宰后成熟过程中猪肉嫩度变化规律及机理提供基础指标和参考依据。

参考文献

- [1] Crawford S M, Moeller S J, Zerby H N, et al. Effects of cooked temperature on pork tenderness and relationships among muscle physiology and pork quality traits in loins from Landrace and Berkshire swine [J]. *Meat Science*, 2010, 84(4): 607-612
- [2] Joo S T, Kim G D, Hwang Y H, Ryu Y C. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics [J]. *PubMed*, 2013, 95(4): 828-836
- [3] 左惠心, 殷元虎, 韩玲, 等. 宰后牦牛肉保水性变化与差异蛋白的生物信息学分析[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(7): 325-331
ZUO Hui-xin, YIN Yuan-hu, HAN Lin, et al. Changes of postmortem water-holding capacity in yak muscle and bioinformatic analysis of differentially abundant proteins [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(7): 325-331
- [4] 黄明焜, 易永红, 龙达嘉, 等. 宰后僵直过程中猪肉保水性变化及冷却工艺优化[J]. *食品科技*, 2019, 44(1): 166-173
HUANG Ming-kun, YI Yong-hong, LONG Da-jia, et al. Water holding capacity change of pork during rigor and optimization of cooling process [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 44(1): 166-173
- [5] GB/T 17236-2019, 畜禽屠宰操作规程 生猪[S]
GB/T 17236-2019, Code of Practice for Slaughtering of Livestock and Poultry-pigs [S]
- [6] Heinar Schmidt, Rico Scheier, David L. Hopkins. Preliminary investigation on the relationship of Raman spectra of sheep meat with shear force and cooking loss [J]. Elsevier Ltd, 2013, 93(1): 138-143
- [7] 王恒鹏, 王引兰, 吴鹏, 等. 排酸牛肉的品质变化规律及其烹煮时机的优选[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(1): 222-228
WANG Heng-peng, WANG Yin-Lan, WU Peng, et al. Analysis of quality changes and preferred choice of cooking time of beef during aging [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(1): 222-228
- [8] 祝超智. 生鲜鸡肉保水机制及控制技术研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2011
ZHU Chao-zhi. Studying on water-holding capacity and its controlling methods of fresh chicken meat [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2011
- [9] 屈文娜. 宰后成熟程度对扒鸡特征品质形成的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2019
QU Wen-na. Effect of postmortem ageing on the formation of characteristic quality of braised chicken [D]. Jinzhou: Bohai University, 2019
- [10] 胡胜杰, 刘萌, 程佳佳, 等. 宰后成熟时间与冷冻对猪肉品质的影响[J]. *肉类工业*, 2018, 5: 20-24
HU Sheng-jie, LIU Meng, CHENG Jia-jia, et al. Effect of maturation time after slaughter and freezing on pork quality [J]. *Meat Industry*, 2018, 5: 20-24
- [11] 余小领, 周光宏, 李学斌, 等. 不同宰后时间冷冻对肉糜质量的影响[J]. *食品科学*, 2008, 29(12): 202-205
YU Xiao-ling, ZHOU Guang-hong, LI Xue-bin, et al. Effects of freezing at different postmortem time on quality of ground meat [J]. *Food Science*, 2008, 29(12): 202-205
- [12] Pearce Kelly L, Rosenvold Katja, Andersen Henrik J, Hopkins David L. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes—a review [J]. *PubMed*, 2011, 89(2): 111-124
- [13] Christensen Mette, Ertbjerg Per, Failla Sebastiana, et al. Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds [J]. *Pubmed*, 2011, 87(1): 61-65
- [14] 师希雄, 余群力, 党欣. 宰后牦牛肉成熟过程中钙激活酶与嫩度指标的相关性分析[J]. *肉类研究*, 2013, 27(6): 1-4
SHI Xi-xiong, YU Qun-li, DANG Xin. Correlation analysis between calpains and tenderness indexes during postmortem aging of yak meat [J]. *Meat Research*, 2013, 27(6): 1-4
- [15] Brooks J C, Savell J W. Perimysium thickness as an indicator of beef tenderness [J]. *PubMed*, 2004, 67(2): 329-334
- [16] 黄明焜, 易永红, 龙达嘉, 等. 宰后猪肉冷却过程中品质变化及冷却工艺优化[J]. *食品科技*, 2018, 43(10): 149-157
HUANG Ming-kun, YI Yong-hong, LONG Da-jia, et al. Quality change of pork during cooling and optimization of cooling process [J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(10): 149-157

(下转第 295 页)