

超声波联合处理改善牛肉嫩度的研究进展

邵建航¹, 咎林森^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 国家肉牛改良中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:近年来,牛肉消费量逐年上涨,高端牛肉产品走向人民生活。为提高牛肉质量和牛肉品质,超声波技术在牛肉加工中开始应用。本文通过对超声波在牛肉嫩化方面,结合化学嫩化方法联合处理分析总结,以期为超声波技术更好地在肉品生产加工上应用提供参考依据。

关键词:牛肉;嫩度;超声波;联合处理

中图分类号:TS251.5⁺2

文献标识码:A

文章编号:1001-9111(2019)06-0059-03

改革开放 40 年来,我国牛肉产销两旺,牛肉品质逐渐开始被广大消费者所重视,通过科学合适的方法对牛肉进行必要处理以改善其嫩度、提高其品质,一直是国内外研究的热点。

1 牛肉嫩度

牛肉是由肌肉组织、结缔组织、脂肪组织及骨组织等各部分组成。其大致比例为:肌肉组织 50% ~ 60%,脂肪组织 20% ~ 30%,骨组织 15% ~ 20%,结缔组织 9% ~ 11%。牛肉组成比例依品种、年龄、性别、营养状况等不同差异较大^[1]。由于各部分所占比例的差异,肉的嫩度主要取决于肌肉组织和结缔组织的含量和性质。

对肉品的嫩化方法包括宰前嫩化和宰后嫩化,宰前嫩化主要通过品种的改良和饲养管理技术的改进来达到嫩化的目的,一般需要的年限比较长,是一个系统、长期的过程。宰后嫩化是现在比较常用的嫩化方法,可以在短期内改善牛肉的品质,取得良好的经济效益。嫩化的方法也多种多样,主要可以分为物理嫩化法、化学嫩化法、酶嫩化法和基因工程嫩化法^[2]。

1.1 肌原纤维的性质与嫩度的关系

肌肉的基本构造单位是肌纤维。肌原纤维结构中的蛋白质主要有肌球蛋白、肌动蛋白和肌动球蛋白。肌原纤维的直径、肌节的长度以及肌细胞的骨架蛋白均会对肌肉的嫩度造成影响^[3]。

肌节的长度不是恒定的,它取决于肌肉所处的

状态。肌肉的收缩或松弛是通过粗丝和细丝的相对滑动,使肌节变短或变长。肌肉冷收缩与肌节长度和嫩度之间的关系最早由 Herring 阐明,他认为冷收缩时肌节长度、肌纤维直径和肉的嫩度直接相关,冷收缩肌肉的肌纤维变粗,直径增加到原来的 2 倍,肌节长度由 3 μm 缩短到 1.3 μm ,肉的硬度增加,对剪切作用产生较大的抵抗力。动物宰后肌肉冷收缩的研究结果反映了肌节长度、肌纤维直径与嫩度的关系^[4]。有研究表明双肌臀基因牛肌纤维较细,其肉质也较嫩。Koohmaraie 等^[5]发现,注射 β -agonists 的家畜肌肉的肌纤维较粗,宰后 1 d 的硬度也较大。另外大量研究也表明,肌节长度的长短和肌纤维直径的粗细决定牛肉硬度。

目前常见的通过影响肌纤维进而影响肌肉嫩度的处理方式分为物理处理、化学处理和酶处理法。物理处理方式分为高压、冲击波、电击、超声等方式^[6],主要机理是通过机械力对肌肉的破坏作用。目前应用较为广泛的化学处理方法为钙离子和磷酸盐处理等方法^[7],通过激活内源蛋白酶进而发挥其嫩化作用。加入外源蛋白酶可以通过肌纤维和胶原纤维蛋白的水解来改善肉品嫩度,常见的外源蛋白酶来源可分为植物、真菌和微生物。

大量研究发现,肌原纤维骨架蛋白的生物化学特性对肌肉嫩度具有重要作用,宰后采用的一些嫩化技术主要就是影响这些骨架蛋白的结构而起到嫩化效果的。目前研究中常采用钙激活酶(calpains)的活性表示肌纤维蛋白水解程度,而且其活性越大,

收稿日期:2019-06-16 修回日期:2019-07-03

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0501700);国家肉牛牦牛产业技术体系建设项目(CARS-37);陕西省农业科技创新转化项目(NYKJ-2018-YL09)

作者简介:邵建航(1995—),男,河南西平人,硕士研究生,主要从事肉牛遗传改良研究。E-mail:jianhangshao@163.com

* 通讯作者:咎林森(1963—),男,陕西扶风人,博士,教授,主要从事肉牛奶牛遗传改良、健康养殖及产业化开发研究。

E-mail:zanlinsen@163.com

肌原纤维蛋白降解程度越大。钙激活酶是钙离子调控下的蛋白酶,在钙激活酶家族中,钙激活酶-1是与肉品嫩度提高最为相关和研究最广泛的^[8]。钙激活酶的靶蛋白有肌联蛋白、伴肌动蛋白、肌间线蛋白和肌钙蛋白-T,因此可以同时监控这些蛋白的变化验证钙激活酶的变化^[9]。

1.2 胶原纤维的性质与嫩度的关系

Strandine 等人^[10]根据肌束膜的组成将肌肉分为不同类型,也发现肌肉类型与嫩度有较好相关性。Sbottom 等人^[11]研究认为不同肌肉类型在剪切力值上的不同主要是由胶原蛋白的含量决定。这些经典的实验结果解释了胶原蛋白在肉品质量中的大部分功能,胶原蛋白含量和肌束厚度决定了不同肌肉类型的剪切力。也有许多研究表明,不同部位肉的嫩度与胶原蛋白含量高度相关。一般来讲,对于特定的肌肉类型,胶原蛋白含量和嫩度之间的相关性较差。结缔组织对剪切力或感官评定的肉质结构的贡献远远小于肌原纤维的构成对肉质的贡献。有研究表明,大约有 12% 的肉质结构的变化是由结缔组织的含量不同产生的^[12]。Brooks 等人^[13]报道,肌束膜的厚度对宰后 3,7,14,21 d 的牛肉剪切力变化的贡献率分别为 4.5%,9.5%,20.0% 和 4.0%,其余变化是由肌原纤维降解产生的。

胶原蛋白是一种重要的肌肉组织成分,在维持肌肉结构、柔韧性、强度、肌肉质地等方面起着重要作用^[14]。有研究表明胶原蛋白含量与肉的嫩度呈现负相关,而热溶解胶原蛋白含量与肉的嫩度呈正相关。肌间结缔组织的稳定性不仅与胶原蛋白分子内交联有关,还有胶原纤维的大小和分布以及肌肉中膜的网架结构有关。动物随着年龄的增长,肌束膜和肌内膜变厚,一些研究中发现肌束膜的厚度是影响其对动物宰后肌肉剪切力贡献值的主要因素^[15]。另外,从一些嫩化方法也可以看出,胶原蛋白结构的变化的确影响了肉的嫩度。

2 超声波嫩化

超声波是一种由纵向机械波产生的能量形式,其振动频率大于每秒 20 000 次(20 kHz),高于人类的可听限度。声音被认为是具有一维传播的压力波。超声波脉冲的速度取决于介质的声学特性,声音传播的速度在固体中比在液体中更大,在液体中比在气体中更高。在超声系统中,电能转化为振动能,即机械能已通过超声介质传播。部分输入能量通过转换为热量而损失,其余部分可能产生气穴现象。一部分空化能产生化学、物理或生物效应,而其他部分在声音的重新发射中被反射和消耗。超声波的范围为 20 ~ 10 000 kHz,分为三类:高强度(>5

W/cm² 或 10 ~ 1 000 W/cm²) 和低频(20 ~ 100 kHz);中等强度和中频(100 ~ 1 000 kHz);低强度(<1 W/cm²) 和 高频(1 000 ~ 10 000 kHz)。低强度、高频超声波具有分析应用,可提供有关食品物理化学性质的信息,如成分、结构和条件。此外,与传统的分析技术不同,它是非侵入性和非破坏性的,测量快速、自动化,易于在实验室和生产线中使用。高功率超声波也称为高强度超声波,会引起食物的物理、化学或机械特性的变化^[16]。

超声波中频率为 20 ~ 100 kHz,强度超过 1 W/cm² 的低频高强度超声,可以有效改善肉品品质,提高加工效率。肉的嫩度在很大程度上影响了其口感,嫩度主要是在放血后肌肉成为食用肉过程中,各种生物化学物质相互作用的结果,其主要取决于肌肉纤维收缩、肌纤维骨架蛋白和结缔组织含量。高强度超声对于肌肉僵直后期的嫩化有积极作用^[17]。

近些年相关研究表明,在宰后牛肉向食用牛肉转化的过程中,细胞凋亡酶能够影响牛肉的嫩化程度,而采用超声波对宰后牛肉进行处理具有杀灭细胞的作用,因此超声波处理能够加速细胞的凋亡,同时可有效提高 capase-3 和钙激活酶活性^[18]。

3 联合化学嫩化

盐水和腌泡汁中最常见的两种成分是 NaCl 和某些类型的磷酸盐,最常见的是三聚磷酸钠(STP)。盐(NaCl 或 KCl)是最古老、最有效的食品防腐剂之一。肌肉组织液的离子强度低于盐水的离子强度,并且通过渗透过程,盐水溶液将被肉吸收直至达到平衡状态。肉制品的盐含量不是受管制的成分,而是自限性的。由于饮食限制盐摄入量,KCl、磷酸盐和其他高离子强度化合物等成分可以帮助提高持水能力(WHC),同时保持低水平的盐。然而,KCl 不容易用于进一步加工的产品,因为它可能导致产品中的涩味。除盐含量外,盐的纯度也很重要,因为不纯的盐可能会影响产品的质量。

很多研究证实碱性物质被用于肉类腌制中起到很好的嫩化作用,如磷酸盐和碳酸氢钠 1:8 复配而成的腌制剂对重组牛排有很好的嫩化效果;李劼等^[19]分别把碳酸钠和碳酸氢钠溶液涂抹在牛肉上进行腌制来研究碱对酱牛肉的嫩化作用,证实了碳酸钠和碳酸氢钠在提高肌肉 pH 值和保水性的同时,还可以降低蒸煮损失。同浓度的纯碱对酱牛肉嫩化都有一定的作用,对酱牛肉的品质有一定影响,0.4% 的纯碱处理的酱牛肉剪切力值最低,嫩度最大,嫩化效果最好^[20]。通过加碱提高肉的 pH 值和保水能力,降低烹饪损失,改善热制肉色泽并使结缔组织热变性提高,而使肌原纤维蛋白对热变性有

较大的抗性,从而使肉的嫩度提高。碳酸钠能够对蛋白质有一定腐蚀作用,可破坏肉类的组织结构,促使结构发生改变。而碳酸氢盐的功效归因于其溶解肌纤维蛋白和增强静电排斥作用的能力,碳酸氢钠作为一种常见的无磷食品添加剂,可提高产品多汁性、整体适口性,减少蒸煮损失和剪切力来提高肉制品的营养质量,有效改善产品嫩度。

超声导致气泡形成,其撞击组织,这可能导致盐水显微注入样品中。这种效应可能有助于解释观察到的超声波肉中NaCl含量的增加^[21]。最终的NaCl和水分含量以及超声应用促进了肉质结构的变化,这可以通过显微结构观察得到证实。而超声波与CaCl₂联合处理后,与单独处理组相比嫩度和持水性得到了显著提高,表明超声可以通过和CaCl₂的相互作用使得嫩化效果更为显著^[22]。张坤等发明了一种通过牛胰蛋白酶与超声波联用快速成熟嫩化牛肉的方法,既保持了牛肉的特有风味、营养,又加快了成熟速度,生产效率高,极大地满足了人们对优质牛肉的需求^[23]。

传统上,肉被腌制以改善风味,改善嫩度并增加产品保质期。腌制的-一个重要方面是提高生肉的产量,这可以为生产者和消费者带来益处。腌制对肉质的有益效果包括多汁的质地和减少烹饪过程中的水分损失^[24]。有3种生产腌制产品的方法,包括浸泡、注射和真空翻滚。沉浸,最古老的方法,包括将淹没在腌料中的肉,并允许成分随着时间的推移通过扩散渗透肉。这种方法对于肉类工业来说是不可靠的,因为它不能提供成分分布的规律性,并且它不实用,因为它需要很长的加工时间,并且限制了腌料的添加量^[25]。多针注射腌制可能是最广泛使用的方法,因为它允许加入精确数量的腌料,确保产品的规律性,而不需要浸泡所需的时间损失。为了注入腌泡汁,插入针头或探针,并在取出探针或针头时注射腌泡汁,将腌泡汁散布在整个片中。真空翻滚是一种腌制禽肉的方法,在食品加工厂或超市或肉店提供即食,增值产品。按摩和翻滚导致蛋白质渗出物(主要由盐溶性蛋白质肌动蛋白和肌球蛋白组成)的提取,其促进热处理期间的内聚力。翻滚产生的产品具有改善的多汁性和更好的切片特性。研究报告指出,将肌原纤维蛋白质提取到肉的表面有2个功能:首先,蛋白质在加热时凝固以改善结合特性;其次,提取的蛋白质在热处理时起到密封剂的作用,从而有利于保留肉组织中含有的水分^[26]。

3 小 结

超声波处理是一种健康方便的处理方法,从现有的研究结果来看,这项技术在改善牛肉嫩度、提高

牛肉品质方面有显著效果。随着研究的不断深入,超声波联合化学制剂、生物酶等处理牛肉的研究成果会越来越多,必将对肉品加工生产发挥重要作用。

参考文献:

- [1] 咎林森. 秦川牛选育改良理论与实践[M]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学出版社,2007.
- [2] Sun X, Chen K J, Maddock-Carlin K R, et al. Predicting beef tenderness using color and multispectral image texture features[J]. Meat Science, 2012, 92: 386-93.
- [3] Takahashi K. Structural weakening of skeletal muscle tissue during post-mortem ageing of meat; The non-enzymatic mechanism of meat tenderization[J]. Meat Science, 1996, 43: 67-80.
- [4] Shackelford S D, Wheeler T L, Koohmaraie M. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle[J]. Journal of Animal Science, 1995, 73(11): 3333-3340.
- [5] Koohmaraie M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat[J]. Meat Science, 1996, 43(12): 193-201.
- [6] Warner R D, McDonnell C K, Bekhit A E D, et al. Systematic review of emerging and innovative technologies for meat tenderisation[J]. Meat Science, 2017, 132: 72-89.
- [7] Gao J P, Wang Y, Liu L, et al. Effects of ultrasound, CaCl₂ and STPP on the ultrastructure of the milk goat longissimus muscle fiber observed with atomic force microscopy[J]. Scanning, 2016, 38: 545-553.
- [8] Carlin K R M, Huff-Lonergan E, Rowe L J, et al. Effect of oxidation, pH, and ionic strength on calpastatin inhibition of μ - and m-calpain[J]. Journal of Animal Science, 2006, 84: 925-937.
- [9] Colle M J, Nasados J A, Rogers J M, et al. Strategies to improve beef tenderness by activating calpain-2 earlier postmortem[J]. Meat Science, 2017, 135: 36.
- [10] Strandine E J, Koonz C H, Ramsbottom J M. A study of variations in muscles of beef and chicken[J]. Journal of Animal Science, 1949, 8(4): 483-494.
- [11] Locker R H. Cold-induced toughness of meat[M] // Pearson A. M, Dutson T R. Advances in meat research. Springer Dordrecht, 1985: 1-44.
- [12] Beal A M, Budtz-Olsen O E, Clark R C, et al. Renal and salivary responses to infusion of potassium chloride, bicarbonate and phosphate in Merino sheep[J]. Quarterly Journal of Experimental Physiology and Cognate Medical Sciences, 1973, 58(3): 251-265.
- [13] Brooks J C, Savell J W. Perimysium thickness as an indicator of beef tenderness[J]. Meat Science, 2004, 67: 329-334.
- [14] Quigley A S, Veres S P, Kreplak L. Bowstring stretching and quantitative imaging of single collagen fibrils via atomic force microscopy[J]. Plos One, 2016, 11: e0161951.
- [15] McKenna D R, Lorenzen C L, Pollok K D, et al. Interrelationships of breed type, USDA quality grade, cooking method, and degree of doneness on consumer evaluations of beef in Dallas and San Antonio, Texas, USA[J]. Meat Science, 2004, 66(2): 399-406.
- [16] Jayasooriya S D, Bhandari B R, Torley P, et al. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review[J]. Int. J. Food Prop., 2004, 7: 301-319.

(下转第90页)

和肌肉神经损伤性瘫痪。典型生产瘫痪产后3~12 h出现,患牛食欲废绝瘤胃蠕动、反刍、排粪、排尿停止,昏睡,角膜反射弱体温下降,心跳加快,呼吸深慢,心率不齐,不及时治疗,1~2 d内容易死亡。非典型生产瘫痪与低钙低磷性产后瘫痪,患牛头颈部扭曲,由头部到肩胛部呈“S”状弯曲,皮肤及四肢末端发凉。肌肉神经损伤性瘫痪,患牛频频试图站立,但其后肢不能完全伸直,后肢向后移位或呈犬坐姿势,针刺痛觉迟钝,体温正常或略低,心率加快,后躯明显瘫痪,补充钙磷元素无效。治疗原则:补益气血,舒畅气机,镇痛消炎补钙。中药处方:加味归芪

益母汤;钙磷镁注射液。灌服,每日1剂。

14 结 语

母牛产后疾病类型多而复杂。注意鉴别诊断,四诊“望、闻、问、切”并用。用药时需辨证施治,定出治疗原则、中药处方,标本兼治。科学饲养管理,预防为主,防治结合,降低母牛产后疾病的发病率,减少本病造成养牛的经济损失。

参考文献:

- [1] 刘永明,赵四喜.牛病临床诊疗技术与典型医案[M].北京:化学工业出版社,2015.

Postpartum Disease in Cows from the Perspective of Chinese Veterinary Medicine

HUANG Hao-sheng

(Mengshan County Animal Husbandry Management Station, Mengshan, Guangxi 546700)

Abstract: In cattle diseases, cows have a higher proportion of postpartum diseases, which have the characteristics of high incidence and cause greater harm to cattle breeding. This article focuses on the types of postpartum disease, etiology, clinical symptoms, treatment principles and prescriptions of Chinese medicines from the perspective of Chinese veterinary medicine.

Key words: cattle; Chinese veterinarian; postpartum disease; treatment; prescription

(上接第61页)

- [17] 顾思远.超声波在肉品加工中应用研究[J].现代食品,2019(12):95-97,104.
- [18] 张坤,邹烨,王道营.肉品嫩化方法及超声波技术应用于肉品嫩化的研究进展[J].江苏农业科学,2019,47(2):33-37.
- [19] 李劫,汤高奇.碱对酱牛肉嫩化效果的研究[J].陕西农业科学,2015,61(5):48-51.
- [20] 孙红男,卢义伯,赵立庆,等.肉类嫩化机制及嫩化方法的研究进展[J].肉类工业,2010(2):22-25.
- [21] Ozuna C, Puig A, García-Pérez J V, et al. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations[J]. J. Food Eng., 2013, 119:84-93.
- [22] 万云飞.超声与氯化钙联合处理影响牛肉超微结构与嫩度的机理研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2019.
- [23] 张坤,邹烨,王道营,等.肉品嫩化方法及超声波技术应用于肉品嫩化的研究进展[J].江苏农业科学,2019,47(2):33-37.
- [24] 付丽,高雪琴,申晓琳,等.牛肉湿腌及超声波辅助湿腌过程中腌制液渗透速率的研究[J].食品科技,2019,44(4):104-109.
- [25] 肖夏,袁先铃.加酶腌制对牛肉品质的影响[J].四川理工学院学报(自然科学版),2018,31(2):7-13.
- [26] Fu Q Q, Liu R, Wang H O, et al. Effects of oxidation *in vitro* on structures and functions of myofibrillar protein from beef muscles[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019-05-07, doi:10.1021/acs.jafc.9b01239.

Advances in Research on Improving Beef Tenderness by Ultrasonic Combined Treatment

SHAO Jian-hang¹, ZAN Lin-sen^{1,2*}

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. National Beef Cattle Improvement Center, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In recent years, beef consumption has increased year by year, and high-end beef products have gone to people's lives. In order to improve the quality of beef, ultrasonic technology has begun to be applied in beef processing. This paper provided a reference for the application of ultrasonic technology in meat production and processing by analyzing and summarizing the ultrasonic treatment of beef in the tenderization of beef in combining with the chemical tenderization method.

Key words: beef; tenderness; ultrasonic; joint processing