

9-11-2024

Effects of ultrasonic treatment time on meat quality of Yanbian yellow cattle

SIMA Shengxue

College of Agriculture, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China; Engineering Research Center of North-East Cold Region Beef Cattle Science & Technology Innovation, Ministry of Education, Yanji, Jilin 133002, China

HAO Beibei

College of Agriculture, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China; Engineering Research Center of North-East Cold Region Beef Cattle Science & Technology Innovation, Ministry of Education, Yanji, Jilin 133002, China; College of Integration Science, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China

WU Zewen

College of Agriculture, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China; Engineering Research Center of North-East Cold Region Beef Cattle Science & Technology Innovation, Ministry of Education, Yanji, Jilin 133002, China

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://www.ifoodmm.cn/journal>

Recommended Citation

Shengxue, SIMA; Beibei, HAO; Zewen, WU; Jiahui, ZHANG; and Guangjun, XIA (2024) "Effects of ultrasonic treatment time on meat quality of Yanbian yellow cattle," *Food and Machinery*. Vol. 40: Iss. 7, Article 25.

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2023.80865

Available at: <https://www.ifoodmm.cn/journal/vol40/iss7/25>

This Development & Application is brought to you for free and open access by Food and Machinery. It has been accepted for inclusion in Food and Machinery by an authorized editor of Food and Machinery.

Effects of ultrasonic treatment time on meat quality of Yanbian yellow cattle

Authors

SIMA Shengxue, HAO Beibei, WU Zewen, ZHANG Jiahui, and XIA Guangjun

超声时间对延边黄牛肉品质的影响

Effects of ultrasonic treatment time on meat quality of Yanbian yellow cattle

司马胜雪^{1,2} 郝贝贝^{1,2,3} 武泽文^{1,2} 张佳惠^{1,2} 夏广军^{1,2,3}

SIMA Shengxue^{1,2} HAO Beibei^{1,2,3} WU Zewen^{1,2} ZHANG Jiahui^{1,2} XIA Guangjun^{1,2,3}

(1. 延边大学农学院, 吉林 延吉 133002; 2. 东北寒区肉牛科技创新教育部工程研究中心,

吉林 延吉 133002; 3. 延边大学融合学院, 吉林 延吉 133002)

(1. College of Agriculture, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China; 2. Engineering Research Center of North-East Cold Region Beef Cattle Science & Technology Innovation, Ministry of Education, Yanji, Jilin 133002, China; 3. College of Integration Science, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China)

摘要: [目的] 提高延边黄牛肉在贮藏过程中的品质。 [方法] 以延边黄牛眼肉和臀肉为试验材料, 采用低频高强度 (功率 360 W, 频率 40 kHz) 超声技术处理牛肉, 探究不同超声时间 (0, 40, 60, 80 min) 对牛肉贮藏 10 d 过程中理化特性的影响。 [结果] 增加超声时间可显著降低牛肉的剪切力和红度值 ($P < 0.05$)。此外, 对经超声处理过的牛肉中肌原纤维进行分析后发现, 肌原纤维小片化指数随超声时间的增加而明显升高 ($P < 0.05$)。 [结论] 超声处理 80 min 时, 宰后牛肉的剪切力最低, MFI 最高, 嫩度最佳。

关键词: 超声; 肉质; 延边黄牛

Abstract: [Objective] This study aimed to improve the quality of Yanbian yellow beef during storage. [Methods] Yanbian yellow cattle eye meat and buttocks were used as experimental materials. Low frequency and high intensity (power 360 W, frequency 40 kHz) ultrasound technology was used to treat beef, and the effects of different ultrasound treatment time (0, 40, 60, 80 min) on the physical and chemical properties of beef during 10 days of storage were investigated. [Results] Extending ultrasonication treatment time significantly decreased the shear stress and redness value of beef ($P < 0.05$). Moreover, the analysis of myofibrils in beef after ultrasonic treatment showed that the microfibril fragmentation index increased significantly with the extension of ultrasonic time ($P < 0.05$). [Conclusion] Ultrasonic treatment for 80 min resulted in the lowest shear stress, the highest MFI and the best tenderness.

Keywords: ultrasonic treatment; meat quality; Yanbian yellow cattle

超声波被定义为频率在 20 kHz 或 20 kHz 以上的声波, 人耳无法探测到。超声波是一种非电离、非侵入、非污染的机械能形式^[1]。在液体介质中传播时, 会产生一系列压缩波和膨胀波, 从而形成小的空化泡 (声空化)。这些气泡在随后的超声波循环中不断扩大, 最终内爆, 产生巨大的热量和压力 (冲击波)^[2]。超声波在不损害食品质量的情况下, 具有控制、改进加工过程的巨大潜力, 被认为是一种“绿色食品加工”技术。

低频 (20~100 kHz) 和高强度 ($> 10 \text{ W/cm}^2$) 的超声波, 也被称为功率超声波, 能够在宏观和微观尺度上干扰肉类^[3]。在鲜肉产品中, 这种效果通常被认为是有益的。Chang 等^[4]报道超声处理后牛肉胶原溶解性和半腱肌的纹理特性增强。Caraveo 等^[5]研究发现, 对贮藏于 4 °C 条件下的牛肉半腱肌进行高强度超声可以减少细菌生长, 且不会影响牛肉的物理特性。高强度的超声处理可以调节牛肉中的钙蛋白酶和蛋白质降解, 进而改善嫩度^[6]。位列中国五大优质地方品种之一的延边黄牛, 因其卓越的肉质、独有的口感和出色的肉质表现, 展现出了强劲的市场竞争能力和巨大的消费前景^[7]。目前超声处理对延边黄牛肉品质的影响暂无报道。基于此, 研究拟探究超声对延边黄牛肉品质的影响, 以期为实际生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验样品

黄牛肉: 龙井市牧乐牧业有限公司。

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 32160774); 吉林省科技发展规划重大科技专项 (编号: YDZJ202203CGZH037)

作者简介: 司马胜雪, 女, 延边大学在读硕士研究生。

通信作者: 夏广军 (1973—), 男, 延边大学教授, 博士。

E-mail: ybuac@ybu.edu.cn

收稿日期: 2023-09-03 **改回日期:** 2024-04-19

1.1.2 主要仪器与设备

胴体肌肉 pH 值测定仪: pH-STAR 型, 德国 Matthauss 公司;

胴体肉质颜色测定仪: OPTO-LAB 型, 德国 Matthauss 公司;

数显式肌肉嫩度仪: C-LM3B 型, 南农畜牧技术(北京)有限公司;

台式高速冷冻离心机: 5810R 型, 德国 Eppendorf 公司;

超声波清洗机: KQ2200DE 型, 昆山市超声仪器有限公司;

酶标仪: Cmax plus 型, 美谷分子仪器(上海)有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品准备 采集同一批次 3 头营养条件相同的延边黄牛的眼肉和臀肉, 保证每头牛取样部位保持一致。除去牛肉表面多余的结缔和脂肪组织, 保存在 4 ℃ 条件下。将肉样分割成 3 cm×3 cm×5 cm 的小块。试验包括 3 个处理组(40, 60, 80 min; 40 kHz; 功率 360 W)和一个对照组 CON(0 min)。每组处理均为 3 个平行。

1.2.2 测定方法 在试验开始后的第 1、3、5、7、10 天, 取延边黄牛眼肉和臀肉部分, 分别测定牛肉的肉色、pH 等物理特性。

(1) pH: 参照杜燕^[8]的方法, 并稍作修改。用 pH 值测定仪测定 pH 值, 探头插入深度 2 cm, 每个样品测定 3 次 pH, 最后结果取平均值。

(2) 肉色: 参照金海莉等^[9]的方法, 并稍作修改。使用便携式色差仪测定肉样表面的颜色, 分别对每组肉块的不同部位进行 3 次测定, 每次测定前进行校正, 最后结果取其平均值。

(3) 滴水损失率: 参照赵婉竹等^[10]的方法, 并稍作修改。将各样品称量并记录质量。肉样用塑料瓶装好, 并用消毒过的夹子固定, 确保肉样不与塑料瓶壁接触, 然后

放入(4±1) ℃ 的冰箱中, 每 24 h 称重一次。按式(1)计算滴水损失率。

$$R = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R ——滴水损失率, %;

W_1 ——测定前样品质量, g;

W_2 ——测定后样品质量, g。

(4) 蒸煮损失率: 参照高晓平等^[11]的方法, 并稍作修改。将处理好的牛肉称取约 100 g, 记为 m_1 , 自封袋装好后煮至中心达 85 ℃, 取出并冷却, 待其表面的水分被定性滤纸完全吸收后, 再进行称重, 记为 m_2 , 按式(2)计算蒸煮损失率。

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

X ——蒸煮损失率, %;

m_1 ——测定前样品质量, g;

m_2 ——测定后样品质量, g。

(5) 嫩度: 参照 Neath 等^[12]的方法, 并稍作修改。将处理好的牛肉称取 100 g, 自封袋装好后煮至中心达 85 ℃, 取出并冷却, 待其表面的水分被定性滤纸完全吸收后取大小为 6 cm×3 cm×3 cm 的肉样, 使用 C-LM3B 型肌肉嫩度仪测定, 按实际情况每个肉样做 10 个重复。

(6) 肌原纤维小片化指数(MFI): 参照邵建航^[13]的方法。

1.3 数据处理

用 Excel 2019 整理, SPSS 26.0 进行单因素方差分析和 Duncan 氏法多重比较, 最终以平均值±标准误表示, GraphPad Prism 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 超声时间对延边黄牛肉 pH 的影响

由图 1 可知, 随着贮藏时间的延长, 眼肉和臀肉的

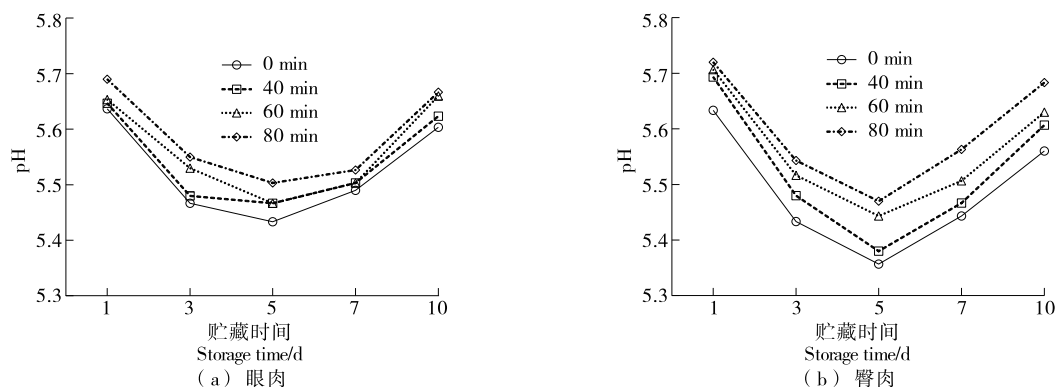


图 1 超声时间对延边黄牛肉贮藏期 pH 值的影响

Figure 1 Effects of ultrasonic treatment time on pH values of Yanbian yellow beef during storage

pH 值先降低后升高。超声处理可以提高延边黄牛肉的 pH 值,并且随着超声处理时间的延长,pH 值呈上升的趋势,但是差异不显著($P>0.05$)。试验中,延边黄牛肉贮藏期 pH 值随着贮藏时间的延长在第 5 天达到最低后呈上升趋势。这是由于牛被宰杀后,牛肉组织细胞即开始进行无氧呼吸,细胞内的糖类物质经生化反应生成乳酸,刚宰杀后的牛肉细胞内有很多糖类物质,乳酸以持续较快的速率生成,使得牛肉的 pH 值持续下降,在屠宰后第 5 天 pH 值下降至最低,与刘佳东等^[14]的结果一致。

2.2 超声时间对延边黄牛肉肉色的影响

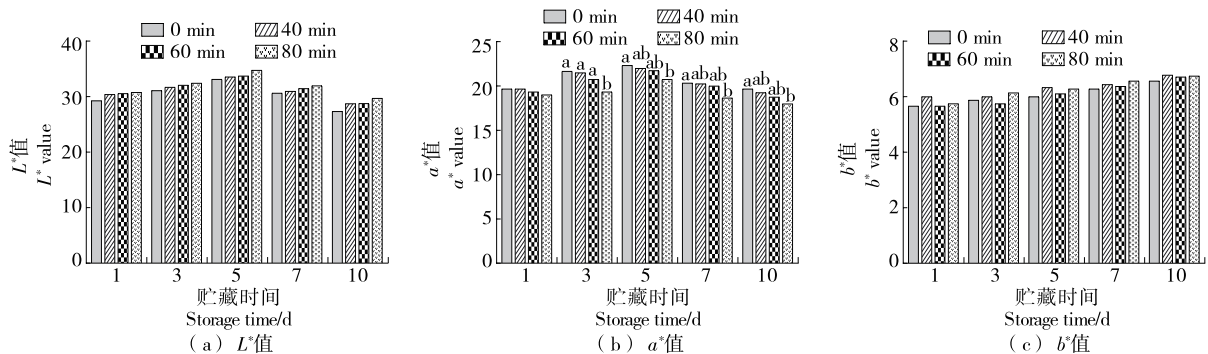
由图 2 可知,随着贮藏时间的延长,眼肉肉色 L^* 呈先上升后下降的趋势。超声处理组与对照组相比,肉色 L^* 值升高,但差异不显著($P>0.05$),超声处理组各组之间差异不显著($P>0.05$);肉色 a^* 呈先上升后下降的趋势。贮藏第 3 天,超声处理 80 min 组与其他组相比,肉色 a^* 值显著降低($P<0.05$),其他组之间无显著差异($P>0.05$)。贮藏第 5、7、10 天,超声处理 80 min 组与 0 min 组相比,肉色 a^* 值显著降低($P<0.05$),其他组之间无显著差异($P>0.05$);肉色 b^* 值整体呈上升的趋势。各组之间肉色 b^* 值无明显差异($P>0.05$)。

由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,臀肉肉色 L^* 呈

先上升后下降的趋势。超声处理组与对照组相比,肉色 L^* 值升高,但差异不显著($P>0.05$),超声处理组各组之间差异不显著($P>0.05$);肉色 a^* 值呈先上升后下降的趋势。贮藏第 3 天,超声处理 80 min 组与其他组相比,肉色 a^* 值显著降低($P<0.05$),其他组之间无显著差异($P>0.05$)。贮藏第 5 天,超声处理 60 min 和 80 min 组的肉色 a^* 值显著低于对照组($P<0.05$),超声处理 80 min 组肉色 a^* 值显著低于 40 min 组($P<0.05$),其他组之间无显著差异($P>0.05$);贮藏第 7、10 天,超声处理 80 min 组与 0 min 组相比,肉色 a^* 值显著降低($P<0.05$),其他组之间无显著差异($P>0.05$);肉色 b^* 值整体呈上升的趋势。各组之间肉色 b^* 值无明显差异($P>0.05$)。经过 80 min 的超声处理后,牛肉在贮藏第 3、5、7、10 天的 a^* 值显著下降,而与对照组相比,处理组的 L^* 值和 b^* 值无显著差异($P>0.05$)。这可能是由于超声处理使氧合肌红蛋白氧化,变为高铁肌红蛋白, a^* 值下降;此外,超声波的空化效应会引起局部的热效应,使肌红蛋白变性,引起 a^* 值降低^[15]。

2.3 超声时间对延边黄牛肉滴水损失率的影响

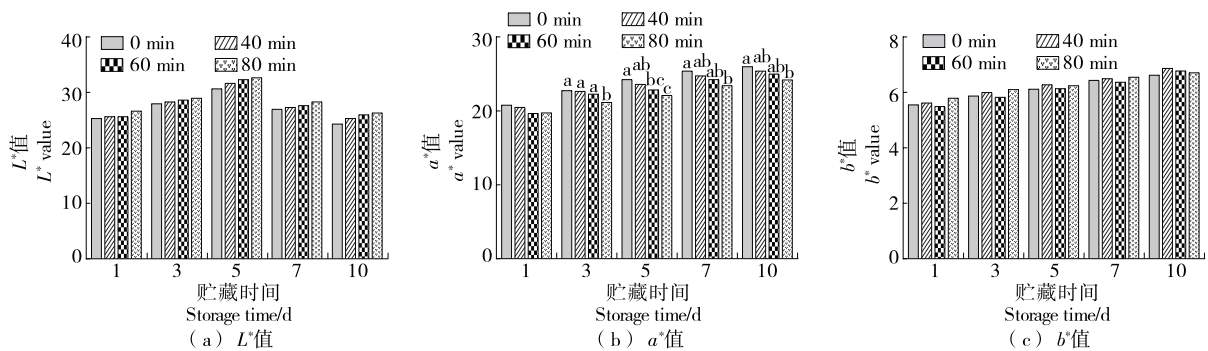
由图 4 可知,随着贮藏时间的增加,眼肉和臀肉的滴水损失率呈逐渐上升的趋势。与对照组相比,超声处理



同一贮藏时间字母不同表示有显著差异($P<0.05$)

图 2 超声时间对延边黄牛眼肉贮藏期肉色的影响

Figure 2 Effects of ultrasound time on meat color of Yanbian yellow cattle eye meat during storage period



同一贮藏时间字母不同表示有显著差异($P<0.05$)

图 3 超声时间对延边黄牛臀肉贮藏期肉色的影响

Figure 3 Effects of ultrasound treatment time on meat color of Yanbian yellow cattle buttock during storage

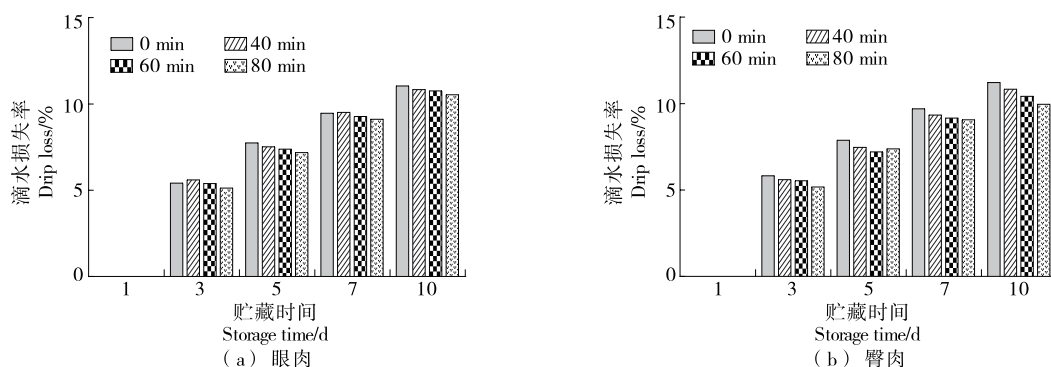


图 4 超声时间对延边黄牛肉贮藏期滴水损失率的影响

Figure 4 Effects of ultrasonic treatment time on drip loss rate of Yanbian yellow beef during storage

组的滴水损失率有所降低,但是差异不显著($P>0.05$)。随着超声处理时间的增加,滴水损失率呈逐渐下降的趋势,但是差异不显著($P>0.05$)。Jayasooriya 等^[16]和 Caraveo-Suarez 等^[17]也得到了类似的结果。这可能是由于超声波具有空化效应,肌纤维结构遭受损害进而膨胀,水分子停留在肌原纤维蛋白分子之间,增加了牛肉的保水性能^[18]。

2.4 超声时间对延边黄牛肉蒸煮损失率的影响

由图 5 可知,随着贮藏时间的增加,眼肉和臀肉的蒸煮损失率呈逐渐上升的趋势。超声处理组在蒸煮过程中的损失率相对对照组有所降低,但差异不显著($P>0.05$)。当超声处理时间增加时,蒸煮损失率呈下降的趋势,但是无显著差异($P>0.05$)。Chang 等^[19]研究表明,利用低频大功率(40 kHz、1 500 W)超声处理牛肉的半腱肌,对蒸煮损失率无影响。万云飞^[20]研究表明,不同功率的超声处理对牛肉的蒸煮损失率无显著影响。也有研究^[21]发现,超声处理会降低牛肉的蒸煮损失率。这可能是由于超声引起肌原纤维蛋白的结构变化程度,与其物种、肌肉、纤维类型、纤维取向、生化因素和超声特征有关^[22]。

2.5 超声时间对延边黄牛肉剪切力的影响

由图 6 可知,眼肉的剪切力随着贮藏时间的延长呈下降的趋势。贮藏第 5、7、10 天,超声处理 40、60、

80 min 组与对照组相比剪切力均显著降低($P<0.05$),其中眼肉在贮藏第 7、10 天以及臀肉在贮藏第 10 天,超声处理 60、80 min 的剪切力显著低于超声处理 40 min 组的($P<0.05$)。其他组之间差异不显著($P>0.05$)。超声处理组在贮藏第 5、7、10 天期间表现出明显的剪切力降低,嫩度增加,与 Stadnik 等^[23]的研究结果一致。这可能是超声处理破坏了肌细胞,使肌细胞释放 Ca^{2+} 并活化钙激活酶,蛋白质发生降解、提高了嫩度。此外,超声可能会破坏溶酶体膜,导致组织蛋白酶 B+L 释放增加,增加细胞内或细胞外蛋白质的水解,从而提高嫩度^[24]。但也有研究^[25]指出,超声波处理对肉类的嫩度并无显著影响,可能是因为原料肉类、超声波设备的不同,以及超声波参数的不同所致。

2.6 超声时间对延边黄牛肉 MFI 的影响

由图 7 可知,眼肉的 MFI 随着贮藏时间的延长呈上升的趋势。臀肉在贮藏第 3 天,超声处理 80 min 组的 MFI 显著高于对照组的($P<0.05$)。贮藏第 5、7、10 天,超声处理 40、60、80 min 组与对照组相比眼肉和臀肉的 MFI 均显著升高($P<0.05$),其中贮藏第 7 天和第 10 天,超声 60、80 min 组的 MFI 显著高于超声 40 min 组的($P<0.05$)。其他组之间无显著差异($P>0.05$)。眼肉的超声处理组在贮藏第 5、7、10 天的 MFI 均显著高于对照

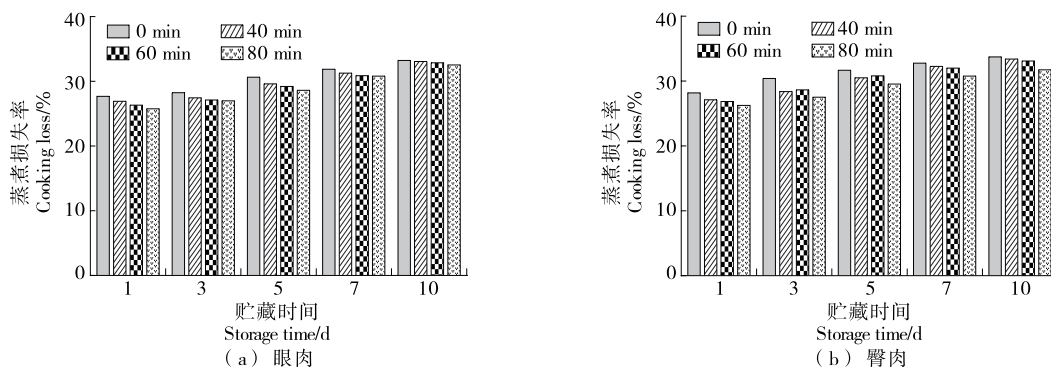
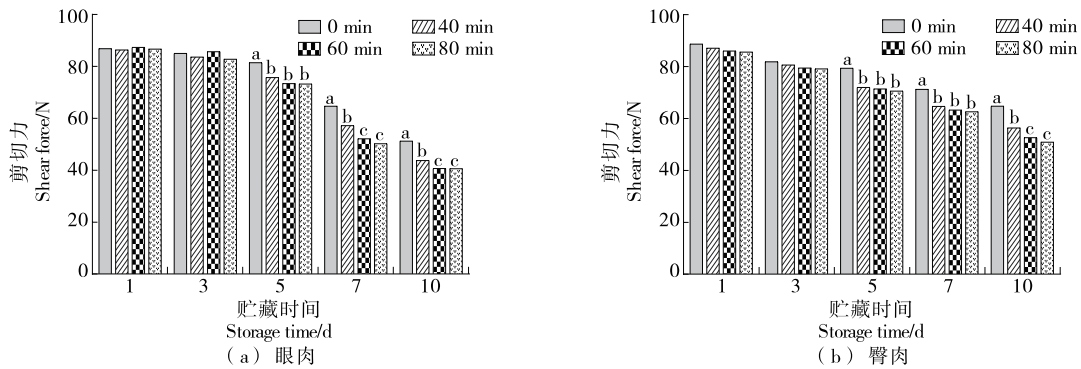


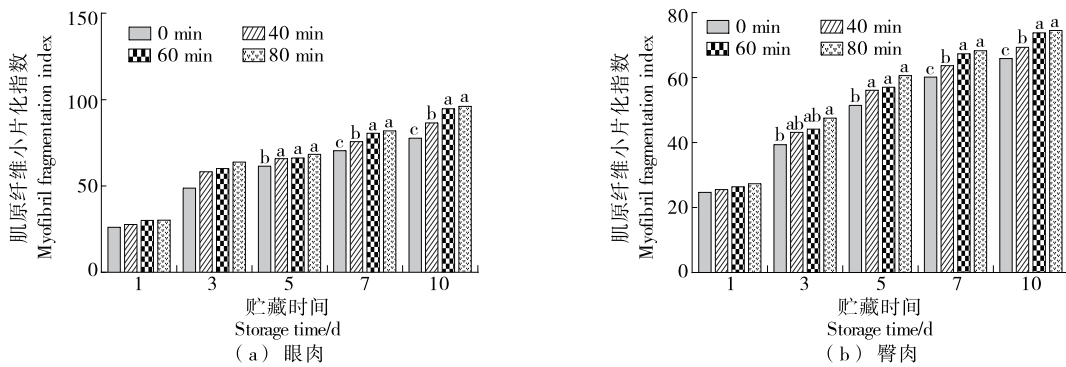
图 5 超声时间对延边黄牛肉贮藏期蒸煮损失率的影响

Figure 5 Effects of ultrasonic treatment time on cooking loss rate of Yanbian yellow beef during storage



同一贮藏时间字母不同表示有显著差异 ($P < 0.05$)
图 6 超声时间对延边黄牛肉贮藏期剪切力的影响

Figure 6 Effects of ultrasonic treatment time on shear force of Yanbian yellow beef during storage



同一贮藏时间字母不同表示有显著差异 ($P < 0.05$)
图 7 超声时间对延边黄牛肉贮藏期肌原纤维小片化指数的影响

Figure 7 Effects of ultrasonic treatment time on MFI Yanbian yellow beef during storage

组的。臀肉的超声处理组在贮藏第 3、5、7、10 天的 MFI 也均显著高于对照组的。并且 MFI 与超声时间呈正相关。董智铭等^[26]和 Wang 等^[6]也得到了类似结果。超声处理具有强大的机械效应,可以施加强烈的剪切作用,导致肌原纤维蛋白结构断裂,降低剪切力,嫩度增加^[23]。

3 结论

研究探究了不同超声时间对延边黄牛宰后牛肉物理特性(pH、肉色、滴水损失率等)的影响。结果表明:超声处理可以使牛肉的剪切力和 a^* 值显著降低 ($P < 0.05$),肌原纤维小片化指数显著升高 ($P < 0.05$),在各处理组中,超声处理 80 min 时,宰后牛肉的剪切力最低,肌原纤维小片化指数最高,嫩度最佳。但导致这种改变的机制还需进一步研究。

参考文献

[1] CHEMAT F, ZILL E H, KHAN M K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(4): 813-835.
[2] SUSLICK K S, FLANNIGAN D J. Inside a collapsing bubble: sonoluminescence and the conditions during cavitation [J]. Annu

Rev Phys Chem, 2008, 59: 659-683.
[3] ALARCON-ROJO A D, CARRILLO-LOPEZ L M, REYES-VILLAGRANA R, et al. Ultrasound and meat quality: a review[J]. Ultrason Sonochem, 2019, 55: 369-382.
[4] CHANG H J, XU X L, ZHOU G H, et al. Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle during ultrasonic processing [J]. Food & Bioprocess Technology, 2012, 5(1): 285-297.
[5] CARAVEO O, ALARCON-ROJO A D, RENTERIA A, et al. Physicochemical and microbiological characteristics of beef treated with high-intensity ultrasound and stored at 4 °C [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2015, 95(12): 2 487-2 493.
[6] WANG A R, KANG D C, ZHANG W G, et al. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound [J]. Food Chemistry, 2018, 245: 724-730.
[7] 张珈溯, 郭思玮, 张馨心, 等. 延边黄牛脂蛋白脂肪酶基因多态性及其与肉质性状的关联分析 [J]. 中国畜牧兽医, 2021, 48(7): 2 530-2 538.
ZHANG J S, GUO S W, ZHANG X X, et al. Genetic polymorphism of LPL gene and its correlation analysis of meat quality traits in

- Yanbian yellow cattle[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2021, 48(7): 2 530-2 538.
- [8] 杜燕. 宰前因素对牛肉品质影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009: 13-14.
- DU Y. Effect of pre-slaughter conditions on beef quality[D]. Taian: Shangdong Agriculture University, 2009: 13-14.
- [9] 金海莉, 王海丽, 梁成云, 等. 葡萄柚籽提取物对延边黄牛牛肉保鲜效果的影响[J]. 肉类研究, 2013, 27(6): 29-32.
- JIN H L, WANG H L, LIANG C Y, et al. Effect of grapefruit seed extract in preserving meat quality of Yanbian yellow cattle[J]. Meat Research, 2013, 27(6): 29-32.
- [10] 赵婉竹, 高毅刚, 王增凯, 等. 富硒锗酵母对延边黄牛牛肉贮藏品质影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 136-140.
- ZHAO W Z, GAO Y G, WANG Z K, et al. Effects of selenium-enriched germanium yeast on quality of Yanbian cattle beef meat during storage[J]. Food & Machinery, 2017, 33(9): 136-140.
- [11] 高晓平, 黄现青, 金迪, 等. 水煮中心温度对鸡胸肉食用品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 49-51, 58.
- GAO X P, HUANG X Q, JIN D, et al. Effect of different core temperature of boiled on eating quality of chicken breast[J]. Food & Machinery, 2012, 28(3): 49-51, 58.
- [12] NEATH K E, BARRIO A N D, LAPITAN R M, et al. Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging[J]. Meat Science, 2007, 75(3): 499-505.
- [13] 邵建航. 超声波联合碳酸钾处理对牛肉品质及微观结构的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021: 8-9.
- SHAO J H. Effect of ultrasonic combined with potassium carbonate treatment on quality and microstructure of beef[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2021: 8-9.
- [14] 刘佳东, 余群力, 李永鹏. 宰后冷却牦牛肉排酸过程中肉用品质的变化[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(2): 111-114.
- LIU J D, YU Q L, LI Y P. Quality changes of chilled yak meat during discharge acid process[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2011, 46(2): 111-114.
- [15] CARLEZ A, VECIANA-NOGUES T, CHEFTEL J C. Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing[J]. Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie, 1995, 28(5): 528-538.
- [16] JAYASOORIYA S D, TORLEY P J, D'ARCY B R, et al. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine semitendinosus and longissimus muscles[J]. Meat Science, 2007, 75(4): 628-639.
- [17] CARAVEO-SUAREZ R O, GARCIA-GALICIA I A, SANTELLANO-ESTRADA E, et al. High-frequency focused ultrasound on quality traits of bovine triceps brachii muscle[J]. Foods, 2021, 10(9): 2 074.
- [18] 李佳麒. 超声波辅助腌制对牛肉干制品嫩度的影响及其机制探讨[D]. 郑州: 河南农业大学, 2022: 13-14.
- LI J Q. Effect of ultrasonic-assisted pickling on tenderness of beef jerky products and its mechanism [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2022: 13-14.
- [19] CHANG H J, WANG Q, TANG C H, et al. Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef semitendinosus muscle[J]. Journal of Food Quality, 2015, 38(4): 256-267.
- [20] 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]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2023: 25-26.
- WAN Y F. The effect of ultrasound combined with calcium chloride on the ultrastructure and tenderness of beef[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2023: 25-26.
- [21] 王安然. 超声处理对牛肉品质的影响及机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2023: 24-25.
- WANG A R. Study on the effects and mechanism of ultrasonic treatment on beef quality [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2023: 24-25.
- [22] STADNIK J, DOLATOWSKI Z J, BARANOWSKA H M. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (M. semimembranosus) during ageing[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2 151-2 158.
- [23] STADNIK J, DOLATOWSKI Z J. Influence of sonication on warner-bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (M. semimembranosus) [J]. European Food Research & Technology, 2011, 233(4): 553-559.
- [24] 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: 223-229.
- [25] LYNG J G, ALLEN P, MCKENNA B M. The effect on aspects of beef tenderness of pre- and post-rigor exposure to a high intensity ultrasound probe [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1998, 78(3): 308-314.
- [26] 董智铭, 么紫瑶, 姜菽婉, 等. 超声功率对牛肉干品质及牛肉肌原纤维蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(19): 27-34.
- DONG Z M, YAO Z Y, JIANG Q W, et al. Effect of ultrasonic power on the quality and myofibrillar protein structure of beef jerky[J]. Food Science, 2023, 44(19): 27-34.