

超声加工技术对牛肉及其制品品质影响的研究进展

周建伟^{1,2}, 孟倩^{1,2,3}, 高德^{1,2}, 刘东红^{2,3,4}, 丁甜^{2,3,4}

(1. 浙江大学宁波理工学院, 浙江宁波 315100) (2. 浙江大学宁波研究院, 浙江宁波 315100)

(3. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江杭州 310058)

(4. 智能食品加工技术与装备国家地方联合工程实验室, 浙江杭州 310058)

摘要: 超声波是一项新兴的节能高效食品加工技术, 将其单独或与其它加工方式协同应用于宰后牛肉成熟或牛肉制品的加工, 可改善牛肉及其制品的质量特性。本文从感官品质、蛋白质性质、营养与安全性三个角度, 分析阐述了国内外牛肉超声加工技术的研究进展, 总结了超声波对新鲜牛肉的嫩度、牛肉蛋白的理化性质、功能性质及牛肉制品的脂肪酸特性、胺类物质生成、杀菌效果、风味物质的影响, 探讨了超声技术改善牛肉及其制品感官品质、理化性质、营养和安全性的作用机理, 展望了超声加工技术在牛肉工业中的应用前景, 并提出了此技术的进一步研究方向。

关键词: 超声波; 食品加工; 牛肉; 品质; 嫩度; 营养与安全; 色泽与风味

文章编号: 1673-9078(2020)01-296-302

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.1.041

Research Progress on the Effects of Ultrasonic Technology on the Quality of Beef and Its Derived Products

ZHOU Jian-wei^{1,2}, MENG Qian^{1,2,3}, GAO De^{1,2}, LIU Dong-hong^{2,3,4}, DING Tian^{2,3,4}

(1.Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China)

(2.Ningbo Research Institute, Zhejiang University, Ningbo 315100, China)

(3.College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

(4.National-Local Joint Engineering Laboratory of Intelligent Food Technology and Equipment, Hangzhou 310058, China)

Abstract: Ultrasound is an emerging energy-efficient food processing technology that can be used alone or in combination with other processing methods to improve the quality of beef and its derived products. In this paper, the research progress of ultrasonic processing technology applied to beef worldwide was elaborated in terms of sensory quality, protein properties, nutrition and safety. The effects of ultrasonic technology on the tenderness of fresh beef, physicochemical and functional properties of beef protein, as well as the fatty acid profile, amine generation, sterilization, flavor substances of beef products were summarized. Furthermore, this paper discusses the mechanisms of ultrasonic technology to improve the quality of beef as well as the sensory quality, physicochemical properties, nutrition and safety of its derived products, provides prospect on the application of ultrasonic processing technology in beef industry and indicates further research directions associated with this technology.

Key words: ultrasonic; food processing; beef; quality; tenderness; nutrition and safety; color and flavor

牛肉是仅次于猪肉的第二大肉类食品, 具有丰富的营养价值。随着人民消费水平的提高, 牛肉的年消费量不断增加, 人们对牛肉的品质要求也越来越高^[1,2]。牛肉及其制品的品质特性主要包括感官品质、蛋

收稿日期: 2019-07-18

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0400301); 宁波市公益类科技计划重点项目 (2019C10088)

作者简介: 周建伟 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工技术与装备

通讯作者: 高德 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工技术与装备

白质性质、营养与安全性。屠宰用牛的性别、年龄、饲养条件以及原料生牛肉的部位影响牛肉及其制品的品质, 但具体的加工工艺决定了牛肉制品的最终品质。牛肉的感官品质包括嫩度、风味、色泽, 嫩度是决定牛肉食用品质的最重要指标, 决定着食用牛肉的市场可接受性, 肌纤维类型及密度和结缔组织强度决定牛肉的初始嫩度^[3], 牛肉宰后成熟过程中肌肉蛋白的变化决定生鲜牛肉的最终嫩度^[4]; 风味是品尝牛肉制品过程中味觉、嗅觉和三叉神经感觉相结合而形成的一种复杂的意识, 是决定消费者是否购买的主导因素, 牛肉制品的风味主要来自加工过程中的脂肪氧化、蛋

白质水解、美拉德反应和香辛料作用^[5,6]；色泽是消费者选择商品最直接的感官指标，牛肉及其制品的色泽与具体的加工工艺有关；牛肉的理化和功能性质包括pH、蛋白质微粒尺寸和溶解性、氧化稳定性和牛肉蛋白的乳化性能、凝胶能力等；营养与安全性是良好食品的基本要求，良好的牛肉制品既要保留牛肉的营养又要有一定的保藏期。

超声波是振动频率超过人类可听极限的波产生的能量形式，近年来超声波作为一种高效节能的新兴加工技术，已广泛应用于食品加工领域^[7]。与传统单独加热加工相比，超声波技术具有能耗低、营养成分破坏小、可控性强、效率高的优点^[8]。高强度(>5 W/cm²或10~1000 W/cm²)、低频率(20~100 kHz)的超声波作用于食品时，通过空穴、机械和热力学效应影响食品体系的质量特性^[9]。高强度低频率超声波(HIU)可应用于肉类的冷冻、解冻、腌制、烹饪、抑菌、嫩化^[10]。HIU单独或辅助其他加工技术处理新鲜牛肉或用于牛肉的加工熟制会影响牛肉及其制品的质量特性，本综述对高强度超声单独处理或与其他方式结合处理对牛肉及其制品质量特性的影响进行概述，以期优化超声波处理牛肉的工艺提供参考，根据期望目标和牛肉类型制定适宜的超声强度、功率和时间，提高超声处理的效率；探讨超声技术与不同加工方式结合时对牛肉及其制品品质改善的效果及可能机理，实现超声波与各种加工方式的有效结合，在提高牛肉品质的同时降低生产耗能，同时为开发与超声波技术结合的牛肉制品加工设备提供研究方向。

1 超声波处理对牛肉及其制品品质的影响

1.1 超声处理对牛肉及其制品感官品质的影响

1.1.1 超声处理对牛肉嫩度的影响

新鲜牛肉的嫩度是决定牛肉的食用品质和消费者可接受度的关键指标。嫩度的评价指标有沃-布剪切力法(Warner-Bratzler shear force, WBSF)、质构剖面分析(texture profile analysis, TPA)、肌原纤维小片化指数(myofibril fragmentation index, MFI)，其中WBSF是研究中常用的直接反映肉质嫩度的指标^[11]。牛肉在加工过程中肌纤维和结缔组织的含量及微观结构变化会引起嫩度的改变。超声嫩化牛肉的机理主要有超声破坏牛肉的微观结构、增强蛋白酶活性，因此在研究超声波的应用对牛肉嫩度的影响时需要观察牛肉的微观结构和蛋白水解酶活性的变化^[12]。透射电子显微镜

常用来观察牛肉微观结构的变化，具体表现为肌原纤维的微观结构变化，此外肌原纤维蛋白组成的变化可反应肌肉蛋白水解酶(内源酶和外源酶)的水解情况。

高强度超声波的空穴效应会使肌肉内部的压力和冲力急剧增加，破坏蛋白质的空间结构和完整性，一定程度上会降低肌肉蛋白的机械性能。Anran Wang^[13]、Da-cheng Kang^[14,15]分别研究了不同超声功率和时间对宰后牛肉成熟和卤制过程中的微观结构、MFI指数和剪切力的变化，超声处理后的生牛肉随老化时间延长微观结构变化明显，表现为肌肉的A-带区肿胀、Z-线断裂增加、肌节连接模式改变、肌肉纤维间距变大；超声辅助卤制对牛肉的微观结构的影响表现为随超声功率增加Z-线和肌原纤维的断裂增加，这是由于卤汁中NaCl提供的Cl⁻与蛋白丝结合，增加了肌纤维间的斥力，所以超声辅助卤制后的肌肉纤维间的距离变大、蛋白质展开增加，进一步提高了水分子和NaCl的扩散效率。MFI是衡量肌原纤维平均长度的指标，较高的MFI值表示较大程度的肌原纤维断裂。超声处理后的老化牛肉和超声辅助卤制牛肉的MFI值均增加，从而牛肉的剪切力下降，嫩度增加，这与Ye Zou^[16]的研究结果一致，C.K. Yeung等^[17]将15 kHz、2200 W的超声作用于猪肉时也改善了其嫩度，以上的研究标明超声波通过降低肌肉纤维的剪切力来提高牛肉的嫩度。综合其他研究结果^[18]，频率20~60 kHz、时间10~60 min的单独或辅助超声处理可以改变宰后牛肉成熟和烹饪过程中肌肉纤维的完整性和空间结构，改善牛肉嫩度，蛋白质结构的变化会影响其持水力(WHC)，一般超声波处理后嫩度提高的牛肉有较好的WHC^[19]。

宰后的牛肉需经过成熟才能成为食用牛肉，目的是打散肌肉内的结缔组织使其具有良好的嫩度。宰后牛肉肌纤维蛋白水解是牛肉成熟初期嫩度增加的主要原因^[20]。使用超声波处理熟成期的牛肉是通过提高增加蛋白水解来改善嫩度。超声的机械作用破坏肌肉细胞的完整性，加速细胞凋亡，增加Ca²⁺释放，从而加快内源蛋白水解系统活化^[21]。超声作用下肌肉蛋白疏水基暴露，内源酶与肌肉蛋白接触机会增加，同时引起肌肉pH改变，有利于蛋白酶发挥水解作用；超声波辅助外源酶处理牛肉时，增加了外源酶与肌肉的接触，提高了嫩化效率。Anran Wang^[13]观察到超声后的牛肉随储藏时间的延长，牛肉肌线间蛋白和肌钙蛋白-T的降解显著增加，表明水解肌肉蛋白的酶的活性增加，这与μ-钙激活蛋白酶的自溶有关，激活后的钙激活蛋白酶系统通过调控蛋白质的水解影响牛肉的嫩度。Esmeralda Peña-Gonzalez等^[22]对4℃真空冷藏不

同时牛肉进行高强度超声(40 kHz, 11 W/cm²)处理,结果表明超声对牛肉的嫩化来自超声的机械作用和肌原纤维蛋白水解,此外超声引起牛肉的pH升高使钙蛋白酶的活性增强^[23]。Anran Wang^[13]和Esmeralda Peña-Gonzalez^[22]的研究结果表明,在牛肉低温储藏熟成前后进行超声处理可显著改善牛肉嫩度。Ying Wang等^[23]用40 kHz、100 W的超声浴处理宰后24 h、质量为0.06±0.005 g牛右腰长肌5 min,与注射氯化物相比,牛肉嫩度改善效果更好。但也有研究表明超声对牛肉嫩度无显著影响,Yunfei Wan等^[24]的研究表明单独低频低强度的超声波(40 kHz, <3300 W/m²)不能有效嫩化牛肉, Anita等^[25]用高频超声(2 MHz、600 kHz)分别处理僵直前后的西冷牛排,与对照组相比高频超声没有显著改善牛排的嫩度, Lyng等^[26]用20 kHz的低频超声探针处理僵直前后牛胸肌和半腰肌,嫩度也无显著改善。不同超声处理条件对牛肉嫩度的影响不同,上述不同研究的结论无法准确比较,因为超声对嫩度的影响效果与肌肉的类型、动物的年龄、牛肉宰后状态、超声波处理频率、强度和持续时间,以及超声波释放的方式有关。理论上高强度超声波的机械和空穴作用可以通过破坏肌肉纤维蛋白结构、加快肌肉蛋白的水解来嫩化牛肉,但需要根据牛肉的特点设计有效的条件参数。

超声波还可作为辅助技术嫩化牛肉。Yunfei Wan等^[24]用40 kHz的超声波处理未烹饪的牛小腿肌肉6 min,然后用氯化钙溶液浸泡24 h,获得的牛肉剪切力降低、肌节长度增加,这表明,低强度超声波与氯化钙浸泡可以通过钙蛋白酶系统促进钙离子的跨膜转运,从而改善肉质嫩度。外加酶嫩化是提高牛肉嫩度的有效方法,嫩化酶可用于宰后成熟的牛肉也可用于烹饪中的牛肉。Sorour Barekat等^[27]用20 kHz、100 W的超声波辅助0.01%木瓜蛋白酶溶液浸泡公牛腰长肌肉块,得到最高的蛋白水解活性和牛肉嫩度。王清波^[28]用51 °C,酶用量16 U/g,超声强度151 W,处理时间20 min的处理条件辅助木瓜蛋白酶嫩化牛肉,显著改善了嫩化效果,缩短了嫩化时间;张婷等^[29]探究了微波法、酶解法、超声波法、超声波辅助酶解法和微波辅助酶解法5种嫩化工艺对牛肉粒嫩度的影响,结果表明超声辅助酶解法制得的牛肉干的嫩度最佳,超声辅助酶解嫩化牛肉过程中超声波的空穴效应和机械效应破坏了肌肉纤维的紧密结构,使蛋白酶结合位点暴露,另一方面超声振动加快了蛋白酶向肉组织内的均匀渗透,从而使嫩化更快更均匀。

1.1.2 超声处理对牛肉风味和色泽的影响

食物的风味是决定消费者是否愿意回购的决定因

素,影响牛肉制品的风味物质包括挥发性的香气成分和肉内的风味物质。烹调方法是影响食物产生香气成分的最重要的外部因素,烹调可以改变肉的化学组成和营养价值,产生独特的风味,改善肉的感官品质。在烹调中由热诱导反应产生的香气的过程包括脂肪的氧化、降解、蛋白质和多肽的降解、氨基酸与还原糖的美拉德反应,影响牛肉制品风味的物质包括氯化钠、糖、游离氨基酸、脂肪氧化产物、5'-核糖核苷酸。因此,开发一种有效的烹调技术,在改善产品风味的同时提高加工效率,将对提高牛肉产品的市场竞争力具有重要意义。肉的颜色是消费者用以判断鲜肉货架期和可接受性的最常用标准,也是决定消费者购买欲最主要的外观因素。新鲜牛肉的颜色由肌红蛋白的氧化状态决定,牛肉宰后储藏过程中高铁肌红蛋白还原酶活力和各种内源性抗氧化成分影响肌红蛋白氧化状态及肉色稳定性^[30]。高温烹饪后的牛肉的肌红蛋白氧化变性,牛肉呈暗褐色。开发能稳定新鲜牛肉颜色的工艺、提高牛肉的色泽质量将促进我国牛肉质量的升级。

Yunhe Zou等^[31]人用20 kHz不同功率的超声波辅助煮制酱牛肉120 min,研究超声辅助蒸煮对酱牛肉味道和风味的影响,超声波作用显著增加了牛肉中的氯化钠含量,超声功率小于1000 W时,牛肉中的糖和5'-核糖核苷酸含量显著增多,脂肪氧化程度、必需氨基酸含量、挥发性风味物质的种类和含量均显著增加,这些风味物质的增加与热诱导引发的化学反应有关,不同超声功率间无显著差异。E. M. Peña-González^[32,22]分别研究了宰后牛肉低温储藏前和低温储藏后超声处理对其感官品质的影响,结果表明单独超声处理新鲜牛肉,可以改善牛肉的味道、风味、色泽和口感,此过程中超声加快和诱发了脂肪和蛋白质的降解、氧化,此外,超声波通过影响肌肉细胞代谢提高了肌肉内代谢产物和其他糖酵解产物的浓度,如糖、5'-核糖核苷酸,进一步改善新鲜牛肉的风味。Anita L. Sikes^[25]用高频率超声分别处理僵直前后的牛肉,超声处理没有显著改善僵直前后牛肉的色泽, K Shikha Ojha^[33]等发现超声预处理对发酵牛肉干制品的色泽无显著影响, Tiago Luis Barrettoa等^[34]用20 kHz处理含盐量为0.75%的猪火腿得到类似结果。超声波可用于改善新鲜牛肉和牛肉制品的色泽和风味,但是超声条件参数、加工方式、牛肉特点都会影响超声对色泽和风味的影响效果,进一步研究不同条件下超声影响牛肉风味和色泽的机理将有助于实现特定阶段以适宜超声处理来获得具有良好风味和色泽的牛肉产品。

1.2 超声处理对牛肉蛋白质性质的影响

蛋白质是加工肉制品的主要成分和功能化合物,也是肉制品的质构和外观的决定因素。蛋白质的性质包括理化性质(微粒尺寸、溶解性、pH)和功能性质(持水力、乳化、凝胶、黏度)。对超声处理后牛肉的理化性质和功能性质进行分析以明确不同超声处理方式对牛肉品质的影响,从而制定新的加工工艺以提高现有制品的质量,此外研究超声对牛肉蛋白质功能性质的影响,以实现蛋白质特性良好的牛肉及其制品的生产。如 1.1 的论述,超声波降低肌肉蛋白机械强度^[35]、提高肌肉蛋白的水解,因此超声处理后牛肉的微粒尺寸分布降低,蛋白质溶解性增加^[15]。pH 是肉类理化性质的主要指标之一,与 WHC、色泽、肌肉质地等密切相关,牛肉 pH 的改变是由细胞中的离子释放到细胞质中或蛋白质结构的改变引起,这可能导致离子功能位置的改变,从而改变肌肉的酸碱度,在牛肉宰后成熟过程中、僵直前后使用超声波对 pH 有不同的影响。S.D. Jayasooriya 等^[36]用 24 kHz 的超声波处理宰后 24 h 的牛肉 240 s,成熟 8.5 d 后 pH 升高, J. Stadnik 等人^[37,38]研究发现 45 kHz 的超声对宰后 24 h、48 h、72 h、96 h 牛肉的 pH 变化无显著影响。超声波对牛肉蛋白理化性质的影响与具体的超声条件和牛肉本身的性质和状态有关,需要根据预期的目标设定超声条件。

不同结构和组成的蛋白质在食品中的功能不同,可分为三类:保湿特性,这取决于蛋白质-水的相互作用,如粘附、分散、溶解性、粘度和和保水能力;界面特性,包括乳化和发泡性;凝胶特性,主要由蛋白质-蛋白质相互作用产生。超声波对肉类蛋白功能性质影响的研究越来越深入, Sorour Barekat^[39]等用超声波单独、联合木瓜蛋白酶处理冷冻储藏一周后的牛肉,与单独超声相比,超声与木瓜蛋白酶联合处理对牛肉的持水力、乳化能力和乳化稳定性、凝胶性能的改善作用更好。Amir A 等^[40]研究了频率为 20 kHz 时,超声功率对牛肉肌原纤维蛋白功能性质的影响,超声波产生的局部压力和高温,会引起肌原纤维蛋白结构破坏、变性和自由基的产生,随着超声功率和时间的增加,超声处理使肌原纤维蛋白的持水力、乳化性能和凝胶性能显著提高,黏度下降,将高强度超声应用于鸡肉肌原纤维蛋白时得到相似的结果^[41-43]。超声处理通过改变蛋白质的理化性质来影响其功能性质进而对牛肉制品的外观和质构产生影响。蛋白质是牛肉的主要成分,可以从超声波对蛋白质性质影响的角度研究适于牛肉制品加工的超声工艺,需要进一步研究超声处理与更多加工方式结合改善牛肉蛋白功能性质的同时对牛肉感官品质、营养和安全性的影响,从而实现

超声作为改善牛肉品质的辅助手段在牛肉加工工业中广泛应用。

1.3 超声处理对牛肉制品营养与安全性的影响

牛肉制品的氨基酸和脂肪酸的组成特征影响其营养特性,加工过程中氨基酸和脂肪酸的生成和变化影响牛肉的风味和营养,过量的脂质氧化会对消费者健康有不利影响。K Shikha Ojha 等^[33]用化学计量法评估超声波频率对牛肉干氨基酸组成的影响,主成分分析结果表明超声波频率影响牛肉干的真蛋白和游离氨基酸含量,并且发现超声处理后的样品中含有更多的牛磺酸,可能是超声的声化学机制促进牛磺酸的释放。Karolina M. Wójciak 等^[44]用超声波处理酸性乳清浸泡的牛肉,分析未腌制发酵过程中牛肉的脂肪酸组成和氧化稳定性(TBARS 值,硫代巴比酸反应物,mg 丙二醛/kg),结果发现超声处理后的发酵牛肉有最低的饱和脂肪酸含量和最高的多不饱和脂肪酸含量,超声处理产生的自由基能加快脂肪酸的氧化,所以超声后的发酵牛肉干有高的 TBARS,但随着成熟时间的延长 TBARS 值降低,可能由于部分丙二醛与蛋白质分解产生的氨基酸和残余亚硝酸盐共价结合。De Lima Alves 等^[45]用超声处理意大利香肠也发现了类似的结果。超声处理在一定程度上改变了蛋白质的理化性质和营养组成,使蛋白质更易变性和酶解,Zuhaib F. Bhat 等^[46]研究证明脉冲电场通过改变肉中蛋白质特征而对蛋白质的体外消化动力学产生积极影响,但尚缺乏超声处理对牛肉的消化吸收的影响,今后需推进此方面的研究。

牛肉及其制品的安全问题主要来自肉本身残留的有害物质(兽药、重金属等)、加工过程引入有害物质(亚硝酸盐、生物胺等)以及致病性微生物污染,后两个因素与牛肉的加工和储藏条件有关,是牛肉加工中需要重视的因素。牛肉中生物胺主要由游离氨基酸在细菌脱羧酶催化下脱去羧基而产生^[47],生物体内适量生物胺可以维持正常的生理代谢、促进生长发育,但过量的生物胺会使人体产生头疼、恶心、呼吸紊乱等过敏性症状^[48],因此控制牛肉加工过程中生物胺类的生成量是必要的。Karolina M. Wojciak 等^[49]探究了在酸性乳清浸泡下超声时间对未腌制干发酵牛肉生物胺形成的影响,40 kHz、480 W、10 min 的超声处理显著降低了组胺、酪胺、尸胺和腐胺含量,一方面超声波快速变化的大应力破坏了脱羧酶阳性的微生物细胞膜;另一方面超声引起的 pH 升高降低了细菌的脱

羧酶活性, 超声联合乳清蛋白的栅栏技术将有助于降低牛肉干发酵中生物胺的形成风险。控制牛肉加工过程中的致病菌及其孢子的数量也是提高肉制品安全性的重要措施, 超声的空化作用破坏细菌的细胞膜同时产生的自由基损坏细菌的DNA, 从而降低牛肉中的有害菌数量^[50]。Luis Manuel Carrillo-Lopez 等对 4 °C 冷藏条件下的牛背长肌进行不同功率(16、28、90 W/cm²)、不同超声时间(20 min、40 min)的超声处理, 结果证明 90 W/cm² 的超声强度能有效控制嗜温细菌的数量增长, 28 W/cm² 能有效控制嗜冷细菌的数量, 且对大肠杆菌的抑制效果与超声强度无关。Luis Manuel Carrillo-Lopez 等的研究为超声用于控制冷藏牛肉菌群数量提供了借鉴。不同的菌种和细菌状态, 如革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌、孢子对超声的耐受能力不同, 在使用超声波抑菌时应根据主要有害菌的特点选择超声强度和ación, 必要时可考虑改变超声强度阶段性抑制有害菌增长。Evelyn 等^[51]探究了超声(24 kHz、0.33 W/g)结合热处理对牛肉浆中产气荚膜梭状芽孢杆菌的孢子灭活效果的影响, 超声和加热(75 °C)同时处理 60 min 不适合用来灭活牛肉浆中的芽孢, 然而, 相同温度下的热处理后进行超声处理 1 min 能使牛肉浆中芽孢的耐热性降低一半, 这种组合效果产生的原因可能是高温能激活休眠孢子并诱导孢子萌发^[32], 降低了孢子过渡到萌发阶段的热稳定性, 从而增加了孢子对后续超声处理的敏感性, 此方法的研究应用将在缩短芽孢热处理的时间的同时提高食品的微生物安全性, 为超声辅助热杀菌在牛肉加工中的应用提供了借鉴。

2 总结与展望

2.1 牛肉及其制品的加工需要重视处理工艺对其感官品质、蛋白质性质和营养与安全性的影响, 新兴加工技术如超声技术、高压加热、真空低温烹饪等在牛肉工业中应用。超声波技术具有清洁、节能、高效的优点, 在食品工业中的应用越来越多, 高强度超声技术可作为改善新鲜牛肉和牛肉制品品质的有效技术。超声波用于宰后牛肉的成熟、牛肉卤制和腌制过程可以改善嫩度。超声波技术与其他加工技术结合可用于改善牛肉及其制品的色泽、风味、营养、安全性。此外, 超声波通过改变牛肉蛋白的理化性质提高其功能性质。超声波技术对牛肉及其制品品质的作用效果与具体的应用条件有关, 超声波的频率、功率、作用时间、作用方式等参数需要根据牛肉的性质、辅助加工技术的特点、预期的目标确定。超声波一定程度上改变了牛肉的营养特征, 超声对牛肉消化吸收影响的研

究有待推进。

2.2 超声波在牛肉加工领域具有广泛的应用前景, 目前超声技术在宰后牛肉成熟嫩化过程中应用较多, 对超声辅助加工的研究范围较小, 超声波作为一种高效、节能、破坏性小的技术与多种牛肉加工方式结合, 如腌制、卤制、宰后冷藏成熟、酶嫩化、真空烹饪、高温灭菌、巴氏杀菌等, 进一步研究超声波与更多牛肉加工方式结合时对牛肉感官品质、蛋白质性质、营养与安全性的影响, 探究超声改善新鲜及其制品品质的机理, 实现牛肉及其制品品质的高效精准化改善, 为超声加工设备的研发提供理论参考。

参考文献

- [1] 王文智. 质量与安全我国城镇居民肉类需求[D]. 北京: 中国农业大学, 2014
WANG Wen-zhi. Quality and safety and meat demand of urban residents in China [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014
- [2] 刘克. 消费者对牛肉及其制品消费模式以及喜好度的调查研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017
LIU Ke. Consumers' research on consumption patterns and preferences of beef and its products [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017
- [3] 郎玉苗. 肌纤维类型对牛肉嫩度的影响机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016
LANG Yu-miao. Study on the influence mechanism of muscle fiber type on beef tenderness [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016
- [4] Koohmaraie M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat [J]. Meat Science, 1996, 43(12): 193-201
- [5] B Sitz, C R Calkins, D M Feuz, et al. Consumer sensory acceptance and value of domestic, Canadian, and Australian grass-fed beef steaks [J]. Animal Science, 2005, 83: 2863-2868
- [6] G MacLeod. The Flavor of Beef [M]. Springer US: Flavor of Meat and Meat Products, 1994: 34-37
- [7] Feng H, Yang W, Zhang H Q, et al. Ultrasonic Processing [M]. UK: Nonthermal Processing Technologies for Food, 2011
- [8] Chemat F, Zille Huma, Khan M K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(4): 813-835
- [9] Wang A, Kang D, Zhang W, 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
- [10] A D Alarcon-Rojo, L M Carrillo-Lopez, R Reyes-Villagrana, et al. Ultrasound and meat quality: A Review [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 55: 369-382
- [11] 严伟,李淑芬,田松江.超声波协助提取技术[J].化工进展,2002,21(9):649-651
YAN Wei, LI Shu-fen, TIAN Song-jiang. Ultrasonic assisted extraction technology [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2002, 21(9): 649-651
- [12] Gerelt B, Ikeuchi Y, Suzuki A. Meat tenderization by proteolytic enzymes after osmotic dehydration [J]. Meat Science, 2000, 56(3): 311-318
- [13] Wang A, Kang D, Zhang W, 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
- [14] Kang D C, Gao X Q, Ge Q F, et al. Effects of ultrasound on the beef structure and water distribution during curing through protein degradation and modification [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 38: 317-325
- [15] Kang D C, Wang A R, Zhou G H, et al. Power ultrasonic on mass transport of beef: Effects of ultrasound intensity and NaCl concentration [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 35: 36-44
- [16] Zou Ye, Yang Heng, Zhang Mu-han, et al. The influence of ultrasound and adenosine 5'-monophosphate marination on tenderness and the structures of myofibrillar proteins of beef [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2019, 32(10): 1611-1620
- [17] C.K. Yeung, S.C. Huang. Effects of ultrasound pretreatment and ageing processing on quality and tenderness of pork loin [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2017, 5(11): 809-816
- [18] H.-J. Chang, Q. Wang, C.-H. Tang, et al. Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef semitendinosus muscle [J]. Food Quality, 2015, 38: 256-267
- [19] Huff-Lonergan E, Lonergan S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes [J]. Meat Science, 2005, 71: 194-204
- [20] Huff L E, Zhang W, Lonergan S M. Biochemistry of postmortem muscle-lessons on mechanisms of meat tenderization [J]. Meat Science, 2010, 86(1): 184-195
- [21] Got F, Culioli J, Berge P, et al. Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef [J]. Meat Science, 1999, 51: 35-42
- [22] Esmeralda Peña-Gonzalez, Alma Delia Alarcon-Rojo, Ivan Garcia-Galicia, et al. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2019, 53: 134-141
- [23] Wang Y, Wu H, Yi Y, et al. Effects of chloride injections and ultrasonic treatment on the microstructure of longissimus lumborum muscle fibers from beef cattle as investigated by atomic force microscopy [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 2671-2680
- [24] Wan Y, Wang H, Wang W, et al. Effect of ultrasound and calcium chloride on the ultrastructure and the warner-bratzler shear force value of beef shank muscle fibers [J]. Food Biophysics, 2018, 13(4): 396-403
- [25] Sikes A L, Mawson R, Stark J, et al. Quality properties of pre- and post-rigor beef muscle after interventions with high frequency ultrasound [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2014, 21(6): 2138-2143
- [26] 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
- [27] S. Barekat, N. Soltanizadeh, Effects of ultrasound on microstructure and enzyme penetration in beef longissimus lumborum muscle [J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11: 680-693
- [28] 王清波,张慇,杨朝晖.响应面法优化超声波辅助木瓜蛋白酶嫩化牛肉[J].山东农业科学, 2018,50(321):141-147
WANG Qing-bo, ZHANG Min, YANG Zhao-hui. Optimization of ultrasonic-assisted papain tenderized beef by response surface methodology [J]. Shandong Agricultural Science, 2018, 50(321): 141-147
- [29] 张婷,刘永峰,翟希川,等.牛肉粒的嫩化及其品质评价[J].食品与发酵工业,2015,41(11):169-175
ZHANG Ting, LIU Yong-feng, ZHAI Xi-chuan, et al. Tenderization and quality evaluation of beef granules [J]. Food and Fermentation Industry, 2015, 41(11): 169-175
- [30] 李永鹏,韩玲,张丽,等.宰后牛肉色泽稳定性及其影响因素[J].肉类研究,2012,26(6):38-41
LI Yong-peng, HAN Ling, ZHANG Li, et al. The stability of beef color after slaughter and its influencing factors [J]. Meat

- Research, 2012, 26(6): 38-41
- [31] Zou Y, Kang D, Liu R, et al. Effects of ultrasonic assisted cooking on the chemical profiles of taste and flavor of spiced beef [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, 45: 36-45
- [32] Peña-González Em, Alarcón-Rojo Ad, Rentería A, et al. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef [J]. *Italian Journal of Food Science*, 2017, 29(3): 463-475
- [33] K Shikha Ojha, Daniel Granato, Gaurav Rajuria, et al. Application of chemometrics to assess the influence of ultrasound frequency, *Lactobacillus sakei* culture and drying on beef jerky manufacture: Impact on amino acid profile, organic acids, texture and colour [J]. *Food Chemistry*, 2017, 239: 544-550
- [34] Luis B T, Rodrigues P M A, Javier T R, et al. Improving sensory acceptance and physicochemical properties by ultrasound application to restructured cooked ham with salt (NaCl) reduction [J]. *Meat Science*, 2018, 145: 55-62
- [35] 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
- [36] S D Jayasooriya, P J Torley, B R D Arcy, et al. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine semitendinosus and longissimus muscles [J]. *Meat Science*, 2007, 75: 628-639
- [37] J Stadnik, Z J Dolatowski, H M Baranowska. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (m. semimembranosus) during ageing [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41: 2151-2158
- [38] J Stadnik, Z J Dolatowski. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (m. semimembranosus) [J]. *Europe Food Research and Technology*, 2011, 233: 553-559
- [39] Barekat S, Soltanizadeh N. Application of high-intensity ultrasonic radiation coupled with papain treatment to modify functional properties of beef *Longissimus lumborum* [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 56(1): 224-232
- [40] Amiri A, Sharifian P, Soltanizadeh N. Application of ultrasound treatment for improving the physicochemical, functional and rheological properties of myofibrillar proteins [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 111: 139-147
- [41] Ke Li, Lei Fu, Ying-Ying Zhao, et al. Use of high-intensity ultrasound to improve emulsifying properties of chicken myofibrillar protein and enhance the rheological properties and stability of the emulsion [J/OL]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 98. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105275>
- [42] Xue S, Xu X, Shan H, et al. Effects of high-intensity ultrasound, high-pressure processing, and high-pressure homogenization on the physicochemical and functional properties of myofibrillar proteins [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 45: 354-360
- [43] Jing-yu Wang, Yu-ling Yang, Xiao-zhi Tang, et al. Effects of pulsed ultrasound on rheological and structural properties of chicken myofibrillar protein [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017, 38: 225-233
- [44] Wójciak, Karolina M, Stasiak D M, et al. The influence of sonication on the oxidative stability and nutritional value of organic dry-fermented beef [J]. *Meat Science*, 2019, 148: 113-119
- [45] Larissa de Lima Alves, Marianna Stefanello da Silva, Diego Rafael Martins Flores, et al. Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami [J]. *Food Research International*, 2017, 106: 363-373
- [46] Zuhair F. Bhat, James D. Morton, Susan L. Mason, et al. Pulsed electric field: A new way to improve digestibility of cooked beef [J]. *Meat Science*, 2019, 155: 79-84
- [47] Ozogul F, Çiğdem KACAR, Hamed I. Inhibition effects of carvacrol on biogenic amines formation by common food-borne pathogens in histidine decarboxylase broth [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 64(1): 50-55
- [48] 李志军, 吴永宁, 薛长湖. 生物胺与食品安全 [J]. *食品与发酵工业*, 2004, 30(10): 84-91
- LI Zhi-jun, WU Yong-ning, XUE Chang-hu. Bioamine and food safety [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2004, 30(10): 84-91
- [49] Karolina M. Wójciak, Dariusz M. Stasiak, Joanna Stadnik, et al. The influence of sonication time on the biogenic amines formation as a critical point in uncured dry-fermented beef manufacturing [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2019, 549(1): 75-83
- [50] J Chandrapala, C Oliver, S Kentish M. Ashokkumar. Ultrasonics in food processing [J]. *Ultrasonic Sonochemistry*, 2012, 19: 975-983
- [51] Evelyn, Silva F V M. Use of power ultrasound to enhance the thermal inactivation of *Clostridium perfringens* spores in beef slurry [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2015, 206: 17-23

现代食品科技