

超高压对肉制品中微生物及品质的影响

洪岩, 党苗苗, 费楠, 夏秀芳*

(东北农业大学食品学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 超高压技术凭借其明显的诸多优点应用于肉制品加工中越来越多, 它能够有效地延长食品的贮藏期, 这与其能够杀死肉中的微生物有关。同时, 经高压处理后的肉制品的品质会有所变化, 不同动物的肉经过高压处理后的颜色变化不同; 代表肉嫩度的剪切力也会改变, 适当的高压会提高肉品的嫩度, 用不同的压力水平和时间处理肉制品时, 肌肉蛋白所产生的凝胶的硬度也不同。超高压技术也存在一些缺点, 诸如肉制品在经过不同的压力水平和持续时间的高压处理时会引发脂质氧化, 导致肉制品的货架期变短。本文从超高压技术在肉制品加工中对于肉制品中微生物以及肉制品品质方面的影响进行综述, 为超高压技术可以更好地应用于肉制品加工提供一定的理论依据。

关键词: 超高压技术; 肉制品; 微生物; 肉制品品质

Effect of ultra-high pressure technology on microbial and quality of meat products

HONG Yan, DANG Miao-Miao, FEI Nan, XIA Xiu-Fang*

(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

ABSTRACT: The ultra-high pressure technology was used in the meat processing more and more popular, which could effectively prolong the storage period by killing the microorganisms in meat. At the same time, after high pressure processing, there were different meat color changes from different kinds of animal, as well as the changes of shear force which stood for the tenderness of meat, and the appropriate high pressure would improve meat tenderness. With different levels of pressure and time processing, the gel hardness produced by the muscle protein was different. There were some disadvantages of ultra-high pressure technology, such as lipid oxidation, leading to shorter shelf life of meat products after different stress level and duration of high pressure processing. This article summarized the change of microorganisms in meat and meat products quality after ultra-high pressure technology, and provided certain theoretical basis for ultra-high voltage which could be better applied to meat products processing.

KEY WORDS: ultra-high pressure; meat products; microbe; meat quality

1 引言

超高压技术是目前在食品的杀菌技术中比较热门的非热杀菌技术之一。它用于肉制品加工, 不但可以延长食品的货架期, 还可以在不影响肉类风味和营养因素的前提

下, 达到改变肉类的色泽, 改善肉类嫩度的效果。

超高压技术(ultra high pressure processing, UHPP), 又称静水压技术(high hydrostatic pressure, HHP)或称为高压技术(high pressure processing, HPP), 超高压技术在食品中的应用原理就是先将食品原料包装好, 然后密封在超高压

*通讯作者: 夏秀芳, 副教授, 主要研究方向为食品科学。E-mail: xxfang524@163.com

*Corresponding author: XIA Xiu-Fang, Associate Professor, College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China. E-mail: xxfang524@163.com

的容器中(超高压通常选用传递压力的媒介物是水或其他的流体),同时采用 100 MPa 以上的压力(通常采用的压力范围为 100 ~ 1000 MPa),并在一定温度下加工适当时间,最终会引起食品的成分,以及非共价键(疏水键、离子键、氢键等)的形成或破坏,从而使食品中的蛋白质、淀粉、酶等生物大分子物质分别变性、糊化或失活,进而杀死食品中细菌等微生物,最终达到食品的灭菌保藏和加工的目的^[1]。

超高压技术应用于研究和开发具有良好特性的新型肉制品时,会对肉类产生一系列的影响,其中就包括对肉及肉制品中微生物,以及对肉制品的品质产生影响。对微生物产生影响能达到杀菌的效果,对肉制品品质的影响有些是有益的,而有些则是有害的,只有将这些影响以及要达到的效果综合考虑才能真正生产出货架期较长、更安全、美味的食品。

2 超高压对肉及肉制品中微生物的影响

肉及肉制品中含有极其丰富的营养物质,这也促使其易于在加工、贮藏、运输以及销售过程中受到微生物的污染,发生腐败变质^[2]。研究表明,利用高压处理,可以有效减少肉及肉制品中的微生物数量^[3]。王志江等^[4]发现白切鸡经过超高压处理后,存放于 4 °C 条件下保藏 60 d 时,其微生物总量才达到国家卫生标准的规定值(4.90 Log CFU / mL),而 70 d 时会完全腐败。目前国内外对微生物在超高压下致变机制的研究比较多,普遍认为超高压对微生物有多方面的影响。肉或肉制品中微生物在超高压下的灭活或致死程度与很多因素有关,包括超高压对微生物的处理时间、压力、食品成分、水分活度、pH 值、温度以及微生物的种类等有关,一般来说微生物的致死率会随着压力的升高而提高^[5]。邱伟芬等^[6]认为超高压能够杀菌的基本原理是压力通过影响 DNA 等遗传物质的复制,抑制酶的活性以及破坏细胞膜达到对微生物的致死作用。

但大多数研究人员普遍认同,超高压能够杀菌根本原因是其对细胞膜的破坏。超高压会致使细胞膜损伤和使关键酶失活从而杀死微生物^[7]。细胞膜在超高压下的破坏下常表现为通透性和流动性的改变。当细胞的通透性被改变以后,会影响到细胞膜内外物质的交换,致使细胞的新陈代谢无法完成,吸收营养的功能下降,进而造成细胞的死亡^[8]。而 Hoover 等^[7]研究发现微生物在经过超高压处理后,会发生诸如液泡收缩、细胞收缩、细胞延长、细胞膜上出现气孔以及细胞膜和细胞壁的分离等形态变化。此外, Lerasle 等^[9]还认为超高压还可以看作是化学防腐剂一种替代物,例如,应用高压处理可能会避免添加乳酸盐的需要。

3 超高压对肉品质影响

超高压技术能够应用于各种各样的肉类产品,如腌肉,加工的肉或者要进一步处理肉以及即食肉制品中。在

使用的过程中,控制压力的水平非常重要,压力水平会影响肉品质改善的效果。例如,增大压力可以提高肌肉蛋白质的功能特性,如凝胶性和持水性^[10]。但超高压技术虽然有优点,同样存在不足,如对肉中脂质氧化的影响。

3.1 超高压对肉品氧化性的影响

研究表明,肉制品在经过不同的压力水平和持续时间的高压处理时会引发脂质氧化^[11]。而且研究显示,300~600 MPa 之间的压力是引起脂质氧化的压力范围^[12,13]。马汉军等^[14]认为主要是金属离子在热和高压处理而造成的肌肉氧化中起催化作用。因此,为了得到安全的肉类,使肉类产品具有更长的货架期,研究高压技术应用于肉类加工中,由于压力而引起的脂质氧化机制以及如何预防是基本。Bolumar 等^[15]发现储存在 5 °C 的经过高压(800 MPa, 10 min, 5 °C)处理的剁碎鸡胸肉和大腿肉饼的脂质氧化的水平取决于施加压力的位置和包装。在鸡肉饼的脂质氧化主要发生在表面部分,抗氧化活性包装能够延缓高压处理所导致的氧化,高压处理形成自由基可以通过自旋捕获集被截留,并因此延长了货架期。高压处理和改性气调包装,可以延长“菜肯”切片(一种熟化的肉制品)的保质期^[16]。

肉类产品正在全球范围内增加,使用高压处理,是一种温和的防腐技术,用以控制一大类即食肉类产品烹调的二次污染,包括熟食(火腿,香肠,火鸡,鸡),干腌制品(火腿,里脊),发酵制品(意大利腊肠,香肠),腌制肉制品(牛肉,猪肉)和原料肉(生牛肉片)^[17-19]。徐胜^[20]在实验中得出,当压力为 400 MPa、时间 20 min、Nisin 浓度 0.01% 和乳酸钠 3%,能够将低温火腿肠贮藏期延长至 36 d。超高压在压力为 400 MPa 或更高的水平时,也减少了肉的内源性蛋白酶如钙蛋白酶和组织蛋白酶^[17]的活性,并影响肉和肉制品品质,如嫩度,颜色,蒸煮损失和脂质氧化^[10]。

3.2 超高压对肉品颜色的影响

尽管肉颜色对于肉的营养价值和风味并没有太大的影响,但是它也是一项很重要的评价肉品质指标。这是由于肉品的颜色是肌肉生理学变化、生物化学及微生物学的外部表现,肉颜色的不同会直接反应肌肉中不同的白肌纤维和红肌纤维含量^[21]。

肉类最重要的特性之一就是肉的颜色,更是消费者评判肉质好坏的标准。研究表明,压力会致使肉品的颜色改变,例如在某些条件下,肉经过压力的处理后颜色会变亮,其中的红色会变弱或增强^[22]。肉中肌红蛋白含量会决定肉品颜色的强度,因为肉中的高铁肌红蛋白(褐色)、肌红蛋白(紫红色)和氧合肌红蛋白(鲜红色)之间的相互比例不同会导致肉的颜色不同^[23]。高压会改善肉品色泽,但并不是越高越好,肉品在过高的压力下会失去良好的色泽。当马汉军等^[24]对牛肉在高压处理下的颜色变化进行研究时,发现了随着压力的逐渐上升,肉品的亮度 L^* 值会增加,红

色度 a^* 值会下降, 而且肌肉会逐渐失去红色变成灰棕色。而王志江等^[25]发现对熟制鸡肉所施加的超高压压力水平越大时, 其亮度 L^* 值会显著减少, 红度 a^* 值和黄度 b^* 值会显著上升。锥莎莎^[26]在实验中发现用超高压处理鳙鱼鱼肉会改变其色度, 其中 L^* 值和 b^* 值升高, a^* 值下降。有报道称, 碎牛肉在温度为 10 °C 下, 经过 500 MPa, 10 min 的高压处理, 而碎猪肉在 25 °C 下经 350 MPa 10~20 min 的高压处理, 红色会下降^[27]。这也与常海军^[28]在实验中发现高压处理牛肉的过程中, 肉的 L^* 值和 b^* 值均增加, 但 a^* 值下降的结果相一致。孙新生等^[29]的实验结果表明, 与明显褪色的未经超高压处理组相比, 经过超高压处理的样品仍能够保持其原有鲜亮色泽。

3.3 超高压对肉品嫩度的影响

肉品的嫩度可以通过化学和物理方法进行改善或提高, 然而超高压技术就是其中的一种物理改善方法。肉的嫩度按照不同的组成成分分为“背景嫩度”和“肌动球蛋白嫩度”^[30]。“背景嫩度”中起作用的是肌肉的结缔组织及其他的基质蛋白成分, 而“肌动球蛋白硬度”中起作用的主要成分是肌动球蛋白^[31]。常海军等^[32]通过实验发现, 超高压处理后的牛半腱肌肉的剪切力均呈下降的趋势, 特别是当高压处理 20 min 时剪切力的下降更显著。而且剪切力下降会在一定程度上说明高压处理起到肌肉嫩化的作用。白艳红等^[33]就发现经过高压处理的牛肉和羊肉剪切力下降, 这也说明了高压处理有利于牛肉和羊肉的嫩化。

从 1973 年的 Macfarlane 第一次报道出压力会提高牛肉的嫩度开始, 人们就对高压技术应用于肉品工业中产生了很大的兴趣^[34]。国内在关于高压技术会提高肉品的嫩度方面做了很多的研究, 而且得到了其机制, 即机械作用会使肌肉的体积在高压作用下收缩, 肌膜和肌原纤维破裂, 而肌动蛋白和肌球蛋白之间也会发生一定的错位, 引起肌肉结构松散最终提高了肉质的嫩度, 从而起到嫩化的效果; 第二个就是蛋白酶作用, 肌肉中的溶酶体通过高压作用会破裂, 进而组织蛋白酶会释放, 同时肌质网在高压下的破坏会导致 Ca^{2+} 浓度的升高, 激活了钙肌活酶系统, 最终利用酶的水解作用达到了嫩化的目的^[35]。

3.4 超高压对肌肉蛋白凝胶性的影响

肌肉的凝胶性对于肌肉的品质具有很重要的意义, 它会直接影响到肉品的保水性、组织结构等功能性质, 所以也一直是肉类研究员的研究热点。马力量^[36]就在低盐的前提下, 用超高压技术处理鸡肉的肉糜, 发现施加 100 MPa 与 300 MPa 的压力会提高鸡肉凝胶的出品率; 而高于 200 MPa 的超高压可改善鸡肉凝胶的质构。高压技术已经越来越多地作为研究改变大分子功能特性的方法, 它是调节蛋白质和酶的活性的一个强大工具^[37]。超高压过程导致了肉蛋白质从溶解性到集合性发生一系列理化变化, 这取

决于加工条件和系统特性^[38], 可以提高肉的结合性能同时部分减少 NaCl 的添加量^[39]。几项研究表明, 由高压获得肉的凝胶通常比热诱导形成的凝胶更软^[40]。

Trespacios 和 Pla^[41]发现同时用微生物转谷氨酰胺酶和高压在 40 °C 处理低盐含量和不添加磷酸盐的鸡肉, 产生的凝胶比那些仅受到压力或通过传统的加热处理得到的样品的结构特性更强。在 500 MPa 得到的凝胶在所有中是最脆也是最软的。在较高的压力(700~900 MPa)所得的凝胶硬度值相当于热处理(75 °C, 30 min)所得的凝胶, 但这些仍比用微生物转谷氨酰胺酶和高压共同作用获得的软。Tokifuji 等^[42]测试热处理、压力处理、压力和热处理并用对于加水猪肉凝胶的质地特性和凝胶结构之间的差异。扫描电镜成像的结果表明, 1:1 高压热处理凝胶是由肌球蛋白纤丝组成的网格引起的, 它改进了结构特性, 感官特性和咀嚼特性。吞咽动态实验也表明, 1:1 高压热处理凝胶是一种易于吞咽的形式。因此, 高压热处理凝胶在吞咽困难饮食的实际应用是必要的。

有研究表明, 高压和温度对肌肉凝胶的影响有着密切的关系。即高温高压会限制凝胶的形成, 凝胶的硬度在中温高压条件下会增加, 而低温高压条件则有利于凝胶形成^[43]。郝磊勇等^[44]用高压和热结合的方法处理鱼糜, 来研究凝胶的质构性质。最终的研究表明, 样品在经 400 MPa 的压力和热结合方法处理比单独用热处理的形成的凝胶强度提高 36.1%, 压出的水减少 6%, 硬度提高 13.7%, 而且凝胶化的时间缩短了。然而用 600 MPa 的压力处理时, 发现凝胶的质构特性不如热处理。而祖海珍^[45]等发现, 高压处理的条件和蛋白系统本身的特性会影响凝胶的稳定作用, 温度和压力是两个相互关联的条件, 当作用的顺序不同和作用的压力以及温度不同时, 就会产生不同的影响。1997 年 Cheftel 和 1999 年 Angsupanich^[46]发现, 高压处理后的肌动球蛋白和肌动蛋白的凝胶性会发生变化, 这是因为高压处理会解聚肌动球蛋白和肌动蛋白, 而且能使肌原纤维蛋白的溶解性提高。高压下的肌原纤维蛋白的凝胶特性受压力、温度、蛋白质种类等因素的影响。高压(100~500 MPa, 10~30 min) 在低于 10 °C 条件下对凝胶的形成利于, 并会增强凝胶的强度^[47]。

4 超高压技术的未来发展

超高压技术应用于肉类加工中, 可以实现杀菌、成型和嫩化。同时, 它也是一种可以在包装后处理的技术, 特别是在改善肉质、节能和抑菌等方面能表现出独特的潜力和优势, 并会防止产品发生二次污染, 能为肉制品的加工提供一个新的途径^[48]。但超高压技术仍然存在一些不足, 段旭昌等^[49]用超高压处理牛肉样品后发现, 牛肉中仍会残存一些革兰氏阳性杆菌的微生物, 这也说明超高压是有选择性的杀灭某些细菌。

超高压技术虽然有很多优点,但超高压技术若真想正得到有效的工业化应用,必须解决许多问题,该技术批次作用样品少,成本较高,而且需要将多种因素共同考虑到才能将超高压技术应用于工业化生产中^[50]。

随着人们对健康、安全的食用加工肉制品产生越来越大的兴趣,高压技术有望作为一种替代传统技术或产生协同作用,以产生新的肉制品,因为在低温或中等温度的压力会影响肉制品中微生物的活性,同时更少的改变肉制品的感官品质,从而提高了保质期。此外,产品可能会获得能够被消费者认同新的感官属性。在未来的发展趋势中高压技术可能会为肉类行业提供最新信息。

参考文献

- [1] 曹莹莹. 超高压结合热处理对肌球蛋白凝胶特性的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
Cao YY. Study on effects of ultra-high pressure combining with heating on myosin gel properties [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [2] 李勇, 李洪军. 肉类超高压处理的研究进展[J]. 肉类研究, 2010, (12): 26-30.
Li Y, Li HJ. Development in researches on ultra high pressure treatments of meats [J]. Meat Res, 2010, (12): 26-30.
- [3] Simonin H, Duranton F, De Lamballerie M. New insights into the high-pressure processing of meat and meat products [J]. Food Sci, 2012, (11): 285-306.
- [4] 王志江, 何瑞琪, 蒋爱民, 等. 超高压处理白切鸡在冷藏过程中微生物和品质的变化[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 43-46.
Wang ZJ, He RQ, Jiang AM, *et al.* Microorganisms and quality variety of pressurized boiled chicken during cold storage [J]. Food Mach, 2010, 26(2): 43-46.
- [5] 陈韬, 周光宏, 徐幸莲. 高压技术在肉制品加工中的作用[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(9): 64-68.
Chen T, Zhou GH, Xu XL. The application of high pressure on meat and meat products [J]. Food Ferment Ind, 2003, 29(9): 64-68.
- [6] 邱伟芬, 江江湖. 食品超高压杀菌技术及其研究进展[J]. 食品科学, 2001, 22(5): 81-84.
Qiu FW, Jiang HH. Food superhigh pressure sterilization technology and its research progress [J]. Food Sci, 2001, 22(5): 81-84.
- [7] Hoover DG, Metrick C, Papineau AM, *et al.* Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms [J]. Food Technol, 1989, 43(3): 99-106.
- [8] 王春芳, 毛明, 王为民, 等. 微生物在超高压下的致变机理和影响因素研究现状[J]. 中国食品学报, 2013, 13(7): 164-169.
Wang CF, Mao M, Wang WM, *et al.* Research status of Micro-organisms, mutagenic mechanism and influencing factors by the ultra-high pressure[J]. J Chin Instit Food Sci Technol, 2013, 13(7): 164-169.
- [9] Lerasle M, Guillou S, Simonin H, *et al.* Assessment of Salmonella and Listeria monocytogenes level in ready-to-cook poultry meat: Effect of various high pressure treatments and potassium lactate concentrations [J]. Int J Food Microbiol, 2014, (186): 74-83.
- [10] Sun XD, Holley RA. High hydrostatic pressure effects on the texture of meat and meat products [J]. J Food Sci, 2010, (75): 17-23.
- [11] Orlie V, Hansen E, Skibsted LH. Lipid oxidation in high-pressure processed chicken breast muscle during chill storage: Critical working pressure in relation to oxidation mechanism [J]. Eur Food Res Technol, 2000, (211): 99-104.
- [12] Beltran E, Pla R, Yuste J, *et al.* Use of antioxidants to minimize rancidity in pressurized and cooked chicken slurries [J]. Meat Sci, 2004, (66): 719-725.
- [13] Mariutti LR, Orlie V, Bragagnolo N, *et al.* Effect of sage and garlic on lipid oxidation in high-pressure processed chicken meat [J]. Eur Food Res Technol, 2008, (227): 337-344.
- [14] 马汉军, 潘润淑, 周光宏. 不同温度下高压处理牛肉 TBARS 值的变化及抗氧化剂和螯合剂的抑制作用研究[J]. 食品科技, 2006, (9): 126-130.
Ma HJ, Pan RS, Zhou GH. Changes of TBARS values in beef subjected to high pressure at different temperatures and inhibition of antioxidants and chelator on lipid oxidation [J]. Food Sci Technol, 2006, (9): 126-130.
- [15] Bolumar T, Andersen ML, *et al.* Antioxidant active packaging for chicken meat processed by high pressure treatment [J]. Food Chem, 2011, (129): 1406-1412.
- [16] Olmo A, Calzada J, Nuñez M. Effect of high-pressure-processing and modified-atmosphere-packaging on the volatile compounds and odour characteristics of sliced ready-to-eat "lacón", a cured-cooked pork meat product [J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2014, (26): 134-142.
- [17] Campus M. High pressure processing of meat, meat products and seafood [J]. Food Eng Rev, 2010, (2): 256-273.
- [18] Hereu A, Dalgaard P, Garriga M. *et al.* Modeling the high pressure inactivation kinetics of Listeria monocytogenes on RTE cooked meat products [J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2012, (16): 305-315.
- [19] Vercammen A, Vanoirbeek KGA, Lurquin I. *et al.* Shelf-life extension of cooked ham model product by high hydrostatic pressure and natural preservatives [J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2011, (12): 407-415.
- [20] 徐胜. 超高压和天然抑菌剂对低温火腿肠保鲜效果的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学. 2009.
Xu S. Effect of high pressure processing and natural antimicrobials on preservation of low-temperature sausage [D]. Hefei: Hefei University of Technology. 2009.
- [21] 杨慧娟, 邹玉峰, 徐幸莲, 等. 超高压对肉及肉制品组织结构和主要化学成分影响的研究进展[J]. 肉类研究, 2013, 27(6): 33-38.
Yang HJ, Zou YF, Xu XL, *et al.* A review of the effect of high hydrostatic pressure processing on tissues and main chemical components of meat and meat products [J]. Meat Res, 2013, 27(6): 33-38.
- [22] 施忠芬, 肖蓉. 高压技术在肉品加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(4): 177-181.
Shi ZF, Xiao F. The application of high pressure on processing of meat and meat products [J]. Food Res Dev, 2007, 28(4): 177-181.
- [23] 竺尚武. 肉的超高压处理的研究进展[J]. 广州食品工业科技, 2004, 20(3): 127-129.
Zhu SW. Development in researches on ultra high pressure treatments of meat [J]. Guangzhou Food Sci Technol, 2004, 20(3): 127-129.
- [24] 马汉军, 周光宏, 徐幸莲, 等. 高压处理对牛肉肌红蛋白及颜色变化的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 36-39.
Ma HJ, Zhou GH, Xu XL, *et al.* Effects of high pressure treatment on myoglobin changes and color changes in minced beef [J]. Food Sci, 2004, 25(12): 36-39.
- [25] 王志江, 郭善光, 蒋爱民, 等. 超高压处理对熟制鸡肉品质的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 78-82.
Wang ZJ, Guo SG, Jiang AM, *et al.* Effects of ultra-high pressure treatment

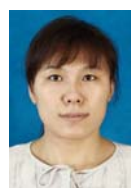
- on quality of cooked chicken breast [J]. *Food Sci*, 2008, 29(9): 78–82.
- [26] 雒莎莎. 超高压处理对鱈鱼品质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
Luo SS. Impact of high pressure processing on the quality of *Aristichthys nobilis* muscle [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [27] Jung S, Ghoul M, De Lamballerie-Anton M. Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat [J]. *Lebensmittel Wissenschaft Technol*, 2003, 36(6): 625–631.
- [28] 常海军. 不同加工条件下牛肉肌内胶原蛋白特性变化及其对品质影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
Chang HJ. Studies on effects of different processing conditions on characteristics changes of collagen and meat quality of beef muscle [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.
- [29] 孙新生, 韩衍青, 徐幸莲, 等. 超高压处理对烟熏火腿色泽、游离脂肪酸及脂肪氧化指标的影响[J]. *食品工业科技*, 2011(7): 122–125.
Sun XS, Han YQ, Xu XL, *et al.* Effect of high pressure processing on color, free fatty acids and lipid oxidation of sliced smoked cooked ham [J]. *Food Sci Technol*, 2011(7): 122–125.
- [30] 周光宏. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
Zhou GH. Meat Science and Technology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2008.
- [31] Chang HJ, Xu XL, Zhou GH, *et al.* Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle during ultrasonic processing [J]. *Food Bioprocess Technol*, 2012, 5(1): 285–297.
- [32] 常海军, 周文斌, 余小颖, 等. 超高压处理对牛肉主要理化品质的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(7): 16–19.
Chang HJ, Zhou WB, Yu XL, *et al.* Effects of high pressure processing on physical and chemical quality of beef [J]. *Food Sci*, 2013, 34(7): 16–19.
- [33] 白艳红, 赵电波, 德力格尔桑, 等. 牛、羊肌肉的显微结构及剪切力在高压处理下的变化[J]. *食品科学*, 2004, 25(9): 27–31.
Bai YH, Zhao DB, Deligeersong, *et al.* Changes of microscopic structure of myofibrils and shear force value of bovine and mutton skeletal muscle under hydrostatic high-pressure (HHP) treatment [J]. *Food Sci*, 2004, 25(9): 27–31.
- [34] Macfarlane JJ. Pre-rigor pressurization of muscle: Effects on pH, shear value and taste panel assessment [J]. *J Food Sci*, 1973, 38(2): 294–298.
- [35] 李增利. 肉类嫩化技术研究[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(11): 195–198.
Li ZL. Researching progress of techniques for improving meat tenderness [J]. *Food Res Dev*, 2006, 27(11): 195–198.
- [36] 马力量. 超高压及亲水胶体对鸡肉凝胶品质的影响[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
Ma LL. Effects of ultra high pressure and hydrocolloids on the properties of chicken meat gels [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2007.
- [37] Mozhaev VV, Heremans K, FrankJ, *et al.* High pressure effects on protein structure and function [J]. *Proteins: Struct Funct Genet*, 1996, 24(1): 81–91.
- [38] Chapleau N, Mangavel C, Compoint JP, *et al.* Effect of high-pressure processing on myofibrillar protein structure [J]. *J Sci Food Agric*, 2004, 84(1): 66–74.
- [39] De Lamballerie-Anton M, Taylor R, Culioli J. High pressure processing of meat [J]. *Meat Process*, 2002, 313–331.
- [40] Colmenero FJ. Muscle protein gelation by combined use of high pressure/temperature [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2002, 13(1): 22–30.
- [41] Trespalacios P, Pla R. Synergistic action of transglut aminase and high pressure on chicken meat and egg gels in absence of phosphates [J]. *Food Chem*, 2007, 104: 1718–1727.
- [42] Tokifuji A, Matsushima Y, Hachisuka K, *et al.* Texture, sensory and swallowing characteristics of high-pressure-heat-treated pork meat gel as a dysphagia diet [J]. *Meat Sci*, 2013, 93(4): 843–848.
- [43] Colmenero FJ. Muscle protein gelation by combined use of high pressure/temperature [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2002, 13: 22–30.
- [44] 郝磊勇, 李沛生, 阮征, 等. 高压与热结合处理对鱼糜凝胶质构特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(7): 35–38.
Hao LY, Li BS, Ruan Z, *et al.* The effect of combined processes of high pressure and heat on surimi gel texture [J]. *Food Ferment Ind*, 2005, 31(7): 35–38.
- [45] 祖海珍, 徐幸莲. 高压对肌肉蛋白凝胶性的影响[J]. *食品科技*, 2004, (1): 19–20.
Zu HZ, Xu XL. Gelation of muscle proteins influenced by high pressure [J]. *Food Sci Technol*, 2004, (1): 19–20.
- [46] Angsupanich K, Edde M, Ledward D A. Effects of high pressure on the myofibrillar proteins of cod and turkey muscle [J]. *J Agric Food Chem*, 1999, 47(1): 92–99.
- [47] 靳焯, 南庆贤, 车荣征. 高压处理对牛肉中主要酶活性的影响[J]. *肉类研究*, 2001, (3): 13–16.
Jin Y, Nan QX, Che RZ. Effects of high-pressure treatment on the enzymatic activities of beef [J]. *Meat Res*, 2001, (3): 13–16.
- [48] 金文刚, 白杰. 高静压技术对肉类品质的影响[J]. *肉类研究*, 2009, (1): 63–68.
Jin WG, Bai J. The influence of high hydrostatic pressure technology on meat quality [J]. *Meat Res*, 2009, (1): 63–68.
- [49] 段旭昌, 李绍峰, 张建新, 等. 超高压处理对牛肉加工特性的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(10): 62–66.
Duan XC, Li SF, Zhang JX, *et al.* Effect of ultra-high pressure treatment on processing peculiarity of beef [J]. *J Northwest Sci-Tech Univ of Agric For (Nat Sci Edit)*, 2005, 33(10): 62–66.
- [50] 陆红佳, 郑龙辉. 超高压技术在肉品加工中的应用[J]. *肉类研究*, 2010, 11: 24–28.
Lu HJ, Zheng LH. Application of meat products with ultra high pressure processing [J]. *Meat Res*, 2010, 11: 24–28.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



洪 岩, 硕士, 主要研究畜产品加工方向。
E-mail: 1362714186@qq.com



夏秀芳, 副教授, 主要研究畜产品加工方向。
E-mail: 524197792@qq.com