

肉类保藏技术(七)

Meats Preservation()



高静压技术对肉类品质的影响

金文刚¹, 白杰^{1,2}

(1. 宁夏大学农学院 食品科学系 银川 750021; 2. 宁夏食品检测中心 银川 750020)

摘要: 高静压技术是目前关注较多的食品物理加工技术之一。本文介绍了高静压技术原理, 综述了高静压技术对肉类品质的各种影响, 总结了一些关于改善高静压处理效果的措施, 最后还对高静压技术在肉类工业中的应用作了展望。

关键词: 肉品; 高静压技术

The Influence of High Hydrostatic Pressure Technology on Meat Quality

JIN Wengang¹, BAI Jie^{1,2}

(1. Department of food science Agricultural school of Ningxia University Yinchuan 750021;

2. Food Inspection Center of Ningxia Hui Autonomous Region Yinchuan 750020)

Abstract: High Hydrostatic pressure technology is one of the attention-paying physical food processing methods nowadays. In this article, principles of high hydrostatic pressure technology were briefly introduced; various influences of high hydrostatic pressure technology on quality of meat products were generally reviewed; some measures associated with enhancing high hydrostatic pressure technology performance were summarized; the application prospect of the high hydrostatic pressure technology in meat industry were also finally made.

Key words: meat product; high hydrostatic pressure technology

中图分类号: TS205 文献标识码: B 文章编号: 1001-8123(2009)01-0063-06

0 引言

肉品质量与安全已愈来愈成为消费者选购肉品的首要因素, 肉类工业不断采用高新技术来改善肉品营养、感官品质及食用安全性。高静压技术(Hydrostatic High Pressure, HHP), 亦称超高压技术(Ultrahigh Pressure Processing, UHP), 是目前新兴的纯物理食品加工高新技术之一, 一般是指用100MPa以上(100~1000MPa范围)的静水压力在常温下或低温下对已包装食品物料进行处理, 达到灭菌、物料改性和改变食品的某些理化

反应速度的效果。HHP技术处理过程中, 物料在液体介质中体积被压缩, 使生物大分子立体结构的氢键、离子键和疏水键等非共价键发生断裂或扭曲, 致使蛋白质变性、淀粉糊化、酶失活、微生物致死, 而对食物中的热敏性营养成分及色、香、味能最大限度地保护不被破坏。关于HHP技术应用肉制品、乳制品、果蔬汁和水产品已有大量报道, 本文在查阅国内外大量资料的基础上, 对肉品高静压技术的研究进展做一综述, 希望能为HHP技术在我国肉类工业中的应用提供一些借鉴。

1 HHP 技术原理

HHP 技术处理食品是一个物理过程, 在加工过程中遵循的两个基本原理如下^[1]:

(1) 帕斯卡原理: 是指食品在经过高静压处理时, 液体静水压力可以瞬间均匀地传递到整个食品体系, 与食品的几何尺寸、形状、体积等无关, 整个食品将受到均一的处理, 压力传递速度快, 不存在压力梯度, 这不仅使得食品高静压处理过程较为简单, 而且能耗明显降低。

(2) Le Chatelier 原理: 是指食品经高静压处理体系平衡状态受到影响, 食品物料体系反应平衡将朝着减少施加于系统的外部作用力 (例如加热、产品或反应物的添加等) 影响的方向移动, 外部高压会使受压系统的体积减小, 反之亦然, 因此, 食品的加压处理会使食品成分中发生的理化反应向着最大压缩状态的方向进行, 压力不仅影响食品中反映的平衡, 而且也影响反应的速率, 还包括化学反应以及分子构象的可能变化。

2 HHP 技术对肉品组织结构的影响

肌肉经过高压处理后, 会因收缩而变硬。然而与未受处理的肌肉相比, 高压处理过的肉煮制后肉的剪切力值更低, 保水性更高。感官检验也显示, 压力处理过的肉质比对照组肉样更嫩。高压处理可以降低宰后牛肉僵直程度、防止冷收缩, 加速宰后成熟过程和增加牛肉嫩度^[2]。研究表明, 鲜肉在僵硬发生前受到 100~200MPa 的短暂高压处理对于肉质嫩化足够有效。对僵硬发生后的肉进行 100~200MPa 处理, 在温度低于 30℃ 时对嫩度、多汁性和剪切力值没有改善。另一方面, 高压 (150MPa) 结合加热 (55~60℃) 对抵抗冷收缩引起的肉质硬化是很有效的。应用 500MPa 以上压力处理可以在不需附加加热处理的情况下使肉质嫩化, 但这会改变肉的颜色和外观。研究证明, 100MPa 以上的压力对僵直前后牛肉均有显著的嫩化作用, 其机理为: 一是机械力作用使肌肉肌纤维内肌动蛋白和肌球蛋白的结合解离, Z 线崩解和肌纤维小片化造成肌肉剪切力下降; 二是压力处理使肌肉中内源蛋白酶-钙激活酶活性增加, 加速肌肉蛋白水解, 加快肌肉成熟所致^[3,4]。

3 HHP 技术对肉品贮藏性能的影响

高静压处理可以有效地杀灭部分肉类中的微生物, 延缓肉中微生物的生长繁殖速度, 从而延长肉制品的保存期。段旭昌^[5]等研究了不同高压处理

对牛肉保藏性的影响, 结果表明, 高压处理可明显延长牛肉的货架期, 但无法完全杀灭牛肉中的微生物。Moerman^[6]报道, 在 50℃ 下压力处理, 猪肉制品中的芽孢菌不能有效杀灭, 需要采取其它方法结合使用才会有更好的效果。李宗军研究压力、温度共同处理灭活肉制品中的微生物效果, 试验结果表明当加压温度为 50℃ 时, 灭活微生物的效果更好^[7]。Garriga 等将切片干腌火腿和切片腌牛肉进行高压处理, 结果表明在 31℃, 600MPa 的条件下处理 6min 是避免酵母和肠细菌生长以及延缓乳酸菌生长的有效方法^[8]。高压处理与其它物理或化学贮藏方法结合, 也可起到增强贮藏效果和降低其它处理强度的作用。Yuste 在 20℃, 450MPa 的条件下, 将鸡肉与 200mg/Kg Nisin 混合处理 15min, 可得到最好的杀菌效果, 延长了货架期^[9]。但是在压力处理后的贮藏过程中, 产品中微生物、酶的稳定性及产品的品质特性需要进一步研究, 尤其压力和热结合杀菌 (特别对细菌芽孢) 是一种很有前途的杀菌方法, 值得进一步深入探讨。

4 HHP 技术对肌肉凝胶特性的影响

肌原纤维蛋白质的凝胶特性在以肌肉为主的食品中起着重要的作用, 直接影响食品的组织结构, 保水性等性质。高压对肌原纤维蛋白质凝胶特性的影响与蛋白质种类、温度、压力等因素有关。从动物种类来看, 高压条件下鱼肉蛋白要比动物蛋白对温度更敏感; 在低于 10℃ 条件下高压 (100~500MPa, 10~30min) 有利于凝胶的形成, 并能增强凝胶强度^[10,11]。很多研究报告指出, 单纯高压处理形成的凝胶比热诱导凝胶柔软, 但在热加工前进行高压处理可促进热凝胶的形成, 增强热凝胶的强度和持水性, 但也有一些学者认为, 高压对热凝胶的形成影响不大或有负作用^[12]; Angsupanich^[13]等报道, 鳕鱼和火鸡的肌原纤维蛋白和肌球蛋白的高压 (200~800MPa, 30min, 室温) 诱导凝胶强度随压力的增加而增加, 在 400MPa 时, 鳕鱼肉的凝胶硬度大于单纯热诱导凝胶或高压后热加工或热加工后高压形成的凝胶; 在温度高于 40℃ 条件下, 高压处理肌肉将限制凝胶的形成, 用 200~400MPa, 60~80℃ 处理猪、鸡肉泥 30min, 形成的凝胶结构弱于热加工或先高压后热加工处理形成的凝胶, 但保水性较好。Ashie^[12]等报道了火鸡肉泥先高压 (300MPa, 15min, 50℃) 而后热处理 (常压、90℃、20min) 形成的凝胶强度好于单纯高压或热诱导的凝胶。

5 HHP 技术对肉品风味的影响

宰后肉成熟香味的增强主要取决于氨基酸、肽等蛋白质水解物的量和次黄嘌呤核苷酸及其代谢产物含量的增加,已有研究表明高压处理对后者的影响不大^[14]。靳焱等^[15]通过试验分析了高压处理和 0~4 贮存条件对牛肉中氨基酸含量的影响,结果表明高压处理对牛肉中的氨基酸总量没有影响,氨基酸总量在成熟前后也没有多大变化,而游离氨基酸在贮存 7d 后的含量比开始要高,可以证明成熟过程对肉的风味有益,高压处理后的牛肉中游离氨基酸含量增加,但随着贮存时间的延长作用消失,到第 7d 时处理组的游离氨基酸含量与对照组没有差异。高压处理能使风味物质的形成时期提前是可以肯定地,但要得出高压处理能改善牛肉的最终风味的结论尚需要更多的证据,不过有一点是可以肯定的,高压处理对牛肉的风味没有不利影响。白艳红等^[16]研究还发现压力为 400MPa 处理下的绵羊肉样品产生轻微的类型蒸煮的风味,这种蛋白质“熟化”特征的出现可能是由于压力处理导致肌肉蛋白质的高级结构遭到破坏,使蛋白质发生变性。风味的形成可能是因为高压处理加速肌肉中的腺嘌呤核苷三磷酸(ATP)及腺嘌呤核苷二磷酸(ADP)的降解,其代谢产物次黄嘌呤核苷酸、5-鸟苷酸(GMP)、次黄嘌呤核苷和次黄嘌呤(HYP)含量在短时间内快速增加,而这些产物恰好是肌肉代谢成熟过程中产生的呈味物质。

6 HHP 技术对肉品脂肪氧化的影响^[17,18]

脂肪氧化是许多食品品质劣化的重要因素之一,肉制品通常脂肪含量较高,脂肪氧化会直接损害食品的风味和营养价值。此外,食用过氧化物值高的脂肪对人体健康也不利,因此,在应用 HHP 技术时,必须考虑高压对肉品中脂肪氧化的影响。

研究表明,经 800MPa 高压处理 20min 后,熬炼过的猪油($a_w=0.44$)在氧化过程中的诱导期变短。此外,高压处理过的样品在贮存中也显示较高的过氧化值。压力越高,这种效果越明显。在这种低水分活性条件下,压力对脂肪氧化有催化作用。猪脂肪含有 1.5ppm 的铁和 0.4ppm 的铜,高压处理后,这两种过渡金属元素的离子能够从其复合物中释放出来而成为强有力的催化剂。然而,当水分活性高于 0.55 时,会观察到相反的现象,高压抑制了脂肪氧化。总的来说,与热处理相比,加压处理所产生的脂肪氧化的增加较小,只有强度很

大的高压处理才会产生热处理诱导的脂肪氧化程度。所以,高压诱导的脂肪氧化限制了 HHP 技术应用于肉制品,除非使用适当的包装方式或抗氧化剂来防止脂肪氧化。金属螯合剂能有效消除脂肪氧化的启动,因而被证实为防止高压处理过的肉的脂肪氧化较适宜的抗氧化剂。

7 HHP 技术对肉品色泽的影响

肉品的色泽是消费者判断肉质的重要感官依据之一。肉色的稳定性是由肌红蛋白的化学状态所决定的。在某些条件下,压力处理后的肉的颜色会变亮,红色会增强或变弱。马汉军等在室温下不同压力(200MPa、400MPa、600MPa 和 800MPa, 20min)处理参数对绞碎牛肉颜色及肌红蛋白的影响进行了研究,结果显示随着压力的上升,肉表面亮度 L^* 值增加,肉的红色度 a^* 值下降,肌肉逐渐失去红色变为灰棕色^[19]。Suzuki 等也有相似结论,法兰克福香肠经 400MPa 或 600MPa (10~40, 10~30min)处理, L^* 值增加 5 个单位,而 a^* 值和肉的黄色度 b^* 值保持不变^[20]。肉表面亮度 L^* 值增加可能是由于肌球蛋白变性和亚铁血红素被取代或释放,滴水损失增加导致肉中水分含量变化或使卟啉环被破坏和蛋白质聚合等原因造成的。

8 HHP 技术对肉品中酶的影响

食品中酶的化学本质是蛋白质已被证实,其生物活性产生于由分子的三维结构产生的活性中心。高静压处理可使维持蛋白质三级结构的盐键、疏水键以及氢键等各种次级键被破坏,导致酶蛋白三级结构崩溃,使酶活性中心的氨基酸组成发生改变或丧失活性中心,从而改变其生物活性。蛋白质的二级、三级结构的改变与体积分数的变化有关,因此会受到高压的影响,而蛋白质的一级结构不受高压作用的影响。钙激活酶是一类钙激活中性半胱氨酸内肽酶,主要分布于脊椎动物细胞中,是与肌肉成熟和嫩化机理密切相关的酶类。大量研究表明,当压力小于 100MPa 时,钙激活酶的活性随压力增加而快速下降。白艳红等^[21](2002)对液态静高压下牛、羊肌肉显微结构及钙激活酶活性变化的研究发现,在 300MPa 条件下酶活性有回升现象,高压处理可以瞬间提高肌浆中 Ca^{2+} 的含量,这些 Ca^{2+} 来源于肌浆网和线粒体,从而激活了钙激活酶;当压力在 400MPa 以下范围时,随压力升高,其活性逐渐下降,400MPa 时几乎无活性。白艳红等^[16](2004)又发现压力在 400MPa 内,随着压

力的升高, Calpains 粗酶活性显著下降 ($p < 0.01$)。压力由 100Mpa 升高到 200Mpa 的过程中, Calpains 粗酶活性下降速度迅速; 当压力由 200Mpa 升到 400Mpa 时, Calpains 粗酶活性下降速度缓慢; 压力达到 400Mpa 时, Calpains 粗酶活性接近于零。压力处理后 Calpains 粗酶活性的下降, 一方面是由于高压处理瞬间提高了肌浆中钙离子浓度, Calpains 被激活, 发挥水解蛋白质的作用, 而随着钙离子浓度的继续升高, Calpains 发生自溶作用; 另一方面是由于钙离子浓度较高, 钙激活酶抑制蛋白竞争性地与酶活性中心结合, 也抑制了酶的活性。

9 HHP 对肉品冻结及解冻的影响

9.1 HHP 对肉品冻结的影响

压力不同, 水经过相变形成冰晶的密度不同。通常在大气压下水冷冻形成的冰晶, 即 I 型冰晶, 其密度低于液态水的密度; 而水在高压下冷冻后, 可以形成密度比水大的 II 型 - III 型冰晶, 结晶构造也较复杂。高压冷冻利用压力的改变控制食品中水的相变形为, 在高压下 (200-400MPa), 此时水仍不结冰, 然后迅速解除压力, 在食品内部形成粒度小而且均匀的冰晶体, 而且冰晶体体积不膨胀, 能够减少对食品组织内部的损伤, 获得能够保持原有食品品质的冷冻食品。Martino^[22]等人比较了大块猪肉分别经过高压冷冻 (200MPa、-20℃)、空气喷射冷冻和液氮冷冻后的品质和结构, 发现无论是在表面还是中心, 高压冷冻技术所获得的冰晶最小, 而且样品微观结构受热梯度、冰晶不均匀分布所形成的内应力损坏最小。目前食品高压冷冻技术已成为冷冻食品领域研究热点, 除了降低成本外, 需要进一步解决高压对食品营养成分可能存在的影响。

9.2 HHP 对冻肉解冻的影响

高压解冻是高压技术在食品工业中另一重要应用, 尽管和高压冻结相比, 对高压解冻关注较少。高压解冻是高压冷冻的逆过程, 利用高压处理, 冻结食品中的冰晶体可以在高压下转化为液态水, 从而造成快速解冻。近来一些研究表明: 高压解冻能保持食品品质, 并可缩短食品解冻时间, 显示出了在食品工业中应用的潜在可能。Makita^[23] (1992) 发现冻肉在高压下解冻只需要常压下 1/3 的时间; 牛肉在高压下解冻滴水损失太小而不能被探测, 并且解冻后对牛肉的色泽、破坏力及蒸煮损失没有负效应 ($p < 0.05$)^[24]。高压解冻应用的限制和高压冻结一样主要是成本大, 压力诱导蛋白质

变性及肉变色问题。因此, 对影响高压解冻过程及优化的基本数据进行研究对于其商业应用是很重要的。

10 改善 HHP 处理效果的措施

10.1 控制 pH 值

食品体系的 pH 值是影响微生物生长和存活的主要因素之一, 所有微生物都有一个正常生长的 pH 值范围, 并且只有在最佳 pH 值生长状态最好。食品的 pH 值对于某类微生物如果不是最佳 pH 值, 在处理过程中不仅仅能提高灭活率, 而且能抑制亚致死损伤细胞的生长。细菌芽孢通常在中性 pH 值对直接压力处理表现阻抗最强^[25]。Gao^[26] (2007) 等发现对于大部分细菌在酸性 pH 下压力诱导灭活程度会有所增强, 亚致死损伤细胞痊愈会被抑制。适宜的 pH 对于食品质量方面也有重要的影响, Guivaroc'h^[27]等发现高压处理过程中需要将 pH 值调整在 7 范围来改善柚子汁的色泽稳定性。食品的高压处理可以通过改变弱酸性或碱性食品的 pH 值来作为施加压力的函数, 研究表明高压处理可以增加金枪鱼肉糜样品的 pH 值 ($p < 0.05$)^[28]。事实上, 对于弱酸性或碱性食品, 当反应是正向时, $A(+) + B(-) \rightleftharpoons AB$ 的平衡被改变朝向反应物 $A(+)$ 和 $B(-)$; 当反应是负向时, 平衡会转向产物 AB。关于金枪鱼肉糜的报道结果可以被解释为是由于在高压条件下单独改变了氨基酸侧链可解离基团的酸平衡常数 (pK_a)。

10.2 HHP 食品包装

为了保护食品免受污染和提高操作效率, HHP 技术通常应用于已包装的产品。多聚物和共聚物被用来作为包装材料, 并发现对高压处理很适合, 因为相关的弹性允许给食品足够的压力传输, 同时维持高密封能力。共聚物多层包装膜的使用是很普遍的, 它们的拉伸强度、热封强度、氧渗透性、蒸汽障碍渗透性以及香味扩散性在高静压处理过程中已被广泛研究。对于大多数, HHP 技术已显示出对包装的机械强度有很小的效应, LeBail^[29]等通过对七种不同合成材料的研究证实如此, 他们还发现 HHP 技术仅影响低密度聚乙烯的水蒸汽渗透性, 在这种条件下, 包装的障碍特性得以加强, 而且 HHP 技术对于共聚物包装氧渗透性障碍也有小的影响。Kuebel^[30]等通过不同聚合物包装材料暴露于高芳香环境下也发现 HHP 技术对于食品组分扩散至聚合物包装材质的影响很小。尽管许多包装材料一般都经得起高静压, 但还是出

现了一些由包装弹性问题引起的挑战。Caner^[31]等(2004)已得出下面结论:薄金属层形成的包装可以为扩散提供一个很好的物理屏障,但是金属和多聚物具有不同的可压缩性质,HHP处理会使有金属层这种弹性弱的包装材料破裂。

10.3 水分活度

液体状态的水对所有生物都是必需的。对于能被微生物生长繁殖利用的水分含量通常以体系的水分活度(a_w)这一术语表达。降低食品的水分活度能明显影响食品中微生物的生长,这就是通过干燥这种古老食品保藏方式的原理所在。降低水分活度看似保护微生物免受高压杀灭,然而亚致死损伤细胞的痊愈能通过低水分活度而得到抑制(Smelt,1998)^[25]。亚致死损伤现象能导致微生物失活的过高估计,因为刚经过高压处理后得到的菌落数要比经过一段恢复期所观察到的菌落数更少(Murchie,2005)^[32]。因此,高压处理后水分活度对微生物灭活的净效应是很难预测的。

10.4 操作过程其它因素

增加处理压力、保压时间和温度将大大增加杀灭微生物的数量(细菌芽孢除外)。许多HHP处理都是在环境温度下操作的,改变处理过程的温度(升高或某种程度稍降低温度)可以有效地增加微生物的失活率。45~50 以上的温度会增加致病微生物和腐败微生物的失活率(Palou et al.2002)^[33]。高压食品加工由于盛装食品的圆柱钢筒在处理过程中温度变化缓慢而变得复杂,并且由于隔热加热食品本身在处理过程中有明显温度上升,对高脂肪含量食品,如奶油和黄油,这种温度上升是很大的。由于绝热压缩导致的温度上升一般每100MPa为3 或更高一点,同时这种温度上升通常是瞬间的,在一些操作中,绝热样品的使用可以保持这些热量,并增加至操作条件的体系热量(Ting and Marshall 2002)^[34]。加工温度的选择将会影响适宜压力传输介质的筛选。最近,经验关系作为所施加压力和产品初始温度的函数已被用来估计植物油、蜜和乳奶酪的温度上升(Patazca et al 2007)^[35]。需要考虑的参数主要是升压次数(come-up times)和卸压次数(pressure-release times),显然多次的升压将增加操作时间,并影响加工的生产能力,但是这些阶段也将影响微生物的失活动力学。因此,这些次数的连贯性和控制对于HHP技术的发展是很重要的。

11 展望

近年来我国肉类产量增长速度很快,随着人们生活水平的提高和对自身健康意识的不断增强,消费者对肉品质量和安全性提出了更高的要求,如易于选购安全性高、食用方便、营养、保持天然风味及良好感官、不含化学防腐剂等等。还有我国牛、羊肉的综合品质与国外相比存在较大差距,肉的嫩度较差,影响了肉品的可口性和消费者的购买欲望,高静压技术作为一种新兴的食品加工技术,用于肉类加工可以实现成型、杀菌、嫩化,并可以在包装后进行处理,在改善肉质、抑菌和节能等方面表现出独特的优势和潜力,同时也能防止产品的二次污染,为肉品加工提供了一个新途径。目前我国要实现把高静压技术应用于肉类加工产业化生产还需要一个过程,但随着高压处理技术和高压处理设备的不断改进以及人们对食品品质要求的不断提高,高压肉食品必将成为21世纪具有特色的新型肉类食品之一。

参考文献

- [1] 陈复生主编,食品超高压加工技术[M],北京:化学工业出版社,2005,2~3.
- [2] Cheftel J C et al. Effect of high pressure on meat: a review[J].Meat Science,1997,46(3):211~236.
- [3] Akahashi I K. Structural weakening of skeletal muscle tissue during postmortem ageing of meat: the nonenzymatic mechanism of meat tenderization[J].Meat Science, 1996,43:67.
- [4] 靳烨,南庆贤等,牛肉高压嫩化机理的研究[J].肉类工业,2001.
- [5] 段旭昌,李绍峰等,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.
- [6] Moerman F. High hydrostatic pressure inactivation of vegetative microorganisms, aerobic and anaerobic spores in pork Marengo, a low acidic particulate food product [J].Meat Science,2005,69(2):225~232.
- [7] 李宗军,压力温度处理对肉制品中微生物的影响[J].食品与机械,2006,22(3):14~16.
- [8] Garriga M et al. Microbial inactivation after high-pressure processing at 600Mpa in commercial meat products over its shelf life[J].Innovative Food Science and Emerging Technologies,2004,
- [9] Messens W et al. The use of high pressure to modify

- the functionality of food protein[J], Trends in Food Science and Technology, 1997, 8(4): 107 ~ 112.
- [10] Okazaki E, Ueda T, Kusaba R et al. High Pressure Research in the Bioscience and Biotechnology. Belgium: Leuven University Press, 1997, 371 ~ 374.
- [11] Ko WC, Tanaka M, Nagashima Y. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1990, 37: 637 ~ 642.
- [12] Ashie I N A, Lanier T C. Journal of Food Science, 1999, 64: 704 ~ 708.
- [13] Angsupanich K, Edde M, Ledward D A. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47: 92 ~ 99.
- [14] Suzuki A, Homma N, et al. Effects of high pressure treatment on the flavour-related components in meat[J]. Meat Science, 1994, 37: 369.
- [15] 靳焱, 南庆贤. 高压处理对牛肉感官特性与食品品质的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 196 ~ 198.
- [16] 白艳红, 德力格尔桑等. 超高压处理对绵羊肉嫩化机理的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 6 ~ 9.
- [17] 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, 3: 127 ~ 129.
- [18] 马汉军, 王霞等. 高压和热结合处理对牛肉蛋白质变性和脂肪氧化的影响[J]. 食品工业科技, 2004, 10: 63 ~ 65.
- [19] 马汉军, 周光宏等. 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.
- [20] 贾培起, 杜俊义等. 肉及肉制品超高压加工的研究进展[J]. 肉类工业, 2008, 2: 15.
- [21] 白艳红. 在液态静高压下牛、羊肌肉显微结构及该激活酶活性变化的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2002.
- [22] Martino M N, Otero L, et al. Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods[J]. Meat Science, 1998, 50(3): 303 ~ 313.
- [23] Makita T. Application of high pressure and thermophysical properties of water to biotechnology[J]. Fluid Phase Equilibrium, 1996, 132: 87 ~ 95.
- [24] Zhao Y Y, Fores R A & Olson D G. High hydrostatic pressure effects on rapid thawing of frozen beef[J]. Journal of Food Science, 63(2): 272 ~ 275.
- [25] Smelt, J. P. M. Recent advances in the microbiology of high pressure processing[J]. Trends in Food Science and Technology, 1998, 9: 152 ~ 158.
- [26] Gao Y L, Ju X R & Jiang H H. Investigation of the effects of food constituents on *Bacillus subtilis* reduction during high pressure and moderate temperature[J]. Food Control, 2007, 18(10): 1250 ~ 1257.
- [27] Guivarç'h Y, Segovia O et al. Purification, characterization, thermal and high-pressure inactivation of a pectin methylesterase from white grapefruit (*Citrus paradisi*) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2005, 6(4): 363 ~ 371.
- [28] Ramirez-Suarez J & Morrissey M. Effect of high pressure processing (HPP) on shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2006, 7(1-2): 19 ~ 27.
- [29] Lebal A, Hamadani N & Bahaud S. Effect of high pressure processing on the mechanical and barrier properties of selected packaging[J]. Packaging Technology and Science, 2006, 19(4): 237 ~ 243.
- [30] Kuebel J, Ludwig H et al. Diffusion of aroma compounds into packaging films under high-pressure[J]. Packaging Technology and Science, 1996, 9(3): 143 ~ 152.
- [31] Caner C, Hernandez R J et al. High-pressure processing effects on the mechanical, barrier and mass transfer properties of food packaging flexible structures: A critical review[J]. Packaging Technology and Science, 2004, 17(1): 23 ~ 29.
- [32] Murchie L W, Cruz-Romero M et al. High pressure processing of shellfish: A review of microbiological and other quality aspects[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2005, 6(3): 257 ~ 270.
- [33] Palou B, Lopez-Malo A & Welti-Chanes J. Innovative fruit preservation methods using high pressure. In J. Welti-Chanes, G. V. Barbosa-Canovas, & J. M. Aguilera (Eds), Engineering and food for the 21st century. Food preservation technology series, Chapter 44 (pp. 3-14). 2002, Boca Raton, FL, USA: CRC Press LLC.
- [34] Ting E Y & Marshall R G. Production Issues Related to UHP Food. In J. Welti-Chanes, G. V. Barbosa-Canovas, & J. M. Aguilera (Eds), Engineering and food for the 21st century. Food preservation technology series, Chapter 44 (pp. 727-738). 2002, Boca Raton, FL, USA: CRC Press LLC.
- [35] Patzka E, Koutchma T et al. Quasiadiabatic temperature increase during high pressure processing of selected foods[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 199 ~ 205.