

文章编号:1009-038X(2005)01-0105-06

高静水压联合保藏食品技术的研究进展

张 懋, 方忠祥

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214036)

摘 要: 高静水压处理技术是一种不需加热的食品保藏技术, 将它与其它食品保藏技术联合应用不仅可以提高食品的安全性和稳定性, 还可最大限度地保护食品中的营养成分. 本文综述了高静水压杀菌与加热、pH 值、抗菌素、气调包装、二氧化碳、脉冲电场及辐射联合在食品中的应用和研究进展.

关键词: 高静水压处理; 食品; 保藏联合技术

中图分类号: TS 205.9

文献标识码: A

Research Progress of Foods Preservation Using Combination with High Hydrostatic Pressure

ZHANG Ming, FANG Zhong-xiang

(School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

Abstract: High hydrostatic pressure processing is a nonthermal preservation used in food industry. Combining high hydrostatic pressure with other food preserving techniques such as heat, pH, antimicrobials, modified atmosphere packaging, carbon dioxide, pulsed electric fields and irradiation can not only improve the safety and stability but also maintain the nutritional and organoleptic properties of foods.

Key words: high hydrostatic pressure processing; foods; combined processing techniques

食物从收获开始, 由于物理的、化学的、酶的或微生物的变化, 其产品质量开始下降. 食品保藏的目的就是要防止这些不良变化, 延长食品的货架期, 保证其安全性. 大部分食品保藏技术可以抑制引起食品劣变的这种或那种因素, 然而由于贮藏环境的变化, 如冷链的断裂、食品吸水, 都有可能导导致腐败菌或致病菌生长, 使得某些单一的保藏技术并不能确保食品安全.

高静水压 (high hydrostatic pressure, HHP) 用于食品加工时其压力范围是 100~1 000 MPa, 这

一压力可以使食品中的大部分微生物和内源性酶失活而食品中的营养素和风味物质基本不受影响^[1]. 最先研究用 HHP 技术保藏食品是从 19 世纪末开始的^[2], 但真正商业应用的时间并不长. 近 10 年来人们重新对 HHP 感兴趣是因为这一技术不仅具有食品保藏的效果, 而且还可以改变食品的某些功能特性^[3], 例如猪红细胞在喷雾干燥前用高静压处理可影响红细胞蛋白质的溶解性、起泡性、泡沫稳定性、持水性及加热时形成凝胶的质构特性^[4].

收稿日期: 2004-03-08; 修回日期: 2004-10-13.

作者简介: 张 懋(1962-), 男, 浙江平湖人, 教授, 博士生导师.

总的来说, HHP 技术对抑制微生物活体细胞的效果较好, 但单一的压力处理并不能完全抑制微生物芽胞和某些耐高压酶的活性^[5]。目前市场上绝大多数 HHP 技术加工的产品是果汁和果酱等高酸性食品^[6]。这些食品之所以适合 HHP 保藏, 是因为在低 pH 值环境下, 耐高压的细菌芽胞并不能够生存, 而能够生存的微生物如酵母菌、霉菌和乳酸菌对压力又很敏感, 容易被 HHP 抑制失活。

为了扩大 HHP 的应用范围, 同时又达到足够的抑菌效果, 延长食品的保质期, 将 HHP 与其它食品保藏技术联合应用, 不仅可以提高食品的安全性和稳定性, 而且每一项技术在对食品进行处理时其处理强度可以比较温和(如 HHP 单独处理时需要 800 MPa, 而联合其它技术应用时仅用 400 MPa 就可达到同样效果), 对食品中的有效成分影响较小, 食品的整体质量较好。

1 HHP 与热处理联用方法

1.1 HHP 与热处理联用后的杀菌作用

1.1.1 细菌 在 20~30 °C 范围内, 细菌细胞对 HHP 的抵抗力最强, 在更高或更低的温度下, 它们对 HHP 的敏感性都要上升。与在室温下进行 HHP 处理相比, 在更适当的温度下, 即使使用相对较低的压力和/或相对较短的时间, 也会使腐败菌和致病菌的数量大大下降。例如, 在 45 °C 采用 200 MPa 的压力, 并不能抑制 UHT 牛奶中产单胞李斯特菌的活性, 而在 55 °C 用 200 MPa 的压力处理 15 min, 牛奶中的细菌数可以下降 6 个对数周期(6 lg cycle)^[7]。

HHP 与热处理联合的另一好处是, 当 HHP 与适当温度联合时, 不同细菌对压力耐受程度的差异也下降。在 25 °C 时, 产单胞明串珠菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌 O157:H7 和沙门氏菌之间对 345 MPa 压力的耐受力差异很大, 但在 50 °C 时, 这些细菌对 345 MPa 的压力变得同样敏感^[8]。

一般情况下, 温度较低时 HHP 对大部分微生物的抑制特点表现为刚开始时细菌数以指数形式下降, 然后有一个明显的拖尾, 即抑菌效果也下降^[9]。如果 HHP 与热处理相结合, 这种拖尾现象就会消失^[9]。Patterson 和 Kilpatrick 利用 Gompertz 方程, 绘制了在牛奶和禽肉中采用 HHP 与热处理联用技术抑制大肠杆菌 O157:H7 和金黄色葡萄球菌的抑制曲线。这一抑制曲线在商业上很有实用价值, 它可以帮助建立具体的加工参数来达到必要的灭菌水平, 以保证食品的安全性和稳定性^[10]。

万方数据

1.1.2 真菌 采用 HHP 与热处理联合技术抑制酵母菌和霉菌细胞活性的研究报道较少, 可能是这些微生物在室温下就对 HHP 处理很敏感^[11]。然而, 抑制霉菌子囊孢子却要联合 HHP 和 60~70 °C 的温度^[12]。

1.1.3 细菌芽胞 用 HHP 抑制细菌芽胞的活性要分二步才能实现。首先在一定压力下促使芽胞出芽, 然后再灭活出芽后的细胞。芽胞在室温下对 HHP 处理的耐受性很强, 有报道称它们可以抵抗 800 MPa 的压力达数小时之久。然而用 10 MPa 的压力就可以促使芽胞出芽, 出芽后的细菌对热、辐射、化学试剂和 HHP 等处理就会很敏感^[13]。

HHP 刺激细菌芽胞出芽和抑制其活性受温度的影响很大, 温度较高时的效果要好得多。当温度达到出芽后细菌的灭活温度(>60 °C)时, HHP 与热处理联用的效果最佳, 即 HHP 刺激芽胞出芽后直接被热灭活。Wuytack 等研究认为, 先将枯草芽胞杆菌的芽胞在中性 pH 值条件下用高压处理(100~600 MPa)促使出芽, 再在酸性 pH 值(<5)下高压处理 1 h 使其对热敏感, 最后进行热处理(约 40 °C), 可最大限度地使芽胞失活^[14]。然而也有报道证明, 分别在 70 °C 和 90 °C 采用 HHP 处理枯草芽胞杆菌和嗜热脂肪芽胞杆菌时, 没有观察到芽胞出芽, 细菌直接被灭活^[15]。

1.2 HHP 与热处理联用的灭酶作用

可能是由于各种酶的结构不同, HHP 处理对各种酶的作用效果也不一样。比如用 400~800 MPa 的压力在 18~22 °C 处理悬钩子和草莓中的 β -葡萄糖苷酶、过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO), 灭酶效果差异很大^[16]。一般情况下, 将压力和适当温度合用可增加灭酶的程度, 但也有两者联用时增加酶活力的报道^[17]。45~55 °C 的温度和 600~900 MPa 的压力联用可以不同程度地抑制果胶酯酶(PME)、脂肪酶、多酚氧化酶、脂肪氧化酶、过氧化物酶、乳过氧化物酶、磷酸酯酶和过氧化氢酶的活性^[18]。

Cano 等研究了采用低于 400 MPa 的压力与加热处理草莓酱和柑桔汁中 PPO、POD 和 PME 的抑制效果。最佳联用组合(230 MPa, 43 °C)仅使草莓酱中 POD 活性下降了 25%, PPO 的活性在 400 MPa, 65 °C 处理前后几乎没有差别。在柑桔汁中, 400 MPa 和 32 °C 可使 POD 的活性得到最大程度的抑制, 但抑制率也只有 50%。如果使用更高的温度, POD 的活性会更高。在同样压力下柑桔汁中 PME 的活性也随温度的升高而升高^[19]。

食品中内源性酶对 HHP 和 HHP 与热处理联用的高耐受性提醒人们在使用压力处理食品时还需考虑其它技术,比如低温,对酶进行化学修饰,使用其它酶(杀手酶, Killer Enzyme)或自然存在的蛋白质抑制剂等^[20]. 联合 HHP 与热处理特别在保藏低酸性食品时的实用价值很大. 这种联合可以使食品的巴氏杀菌或灭菌温度在较低的温度下进行. 比如将 HHP 与加热(400 MPa, 50 °C)对鸭肉进行杀菌处理,可以达到传统的巴氏杀菌效果(最迟加热点温度达 85 °C)^[21]. 这种联合的另一优点是在中等压力下进行杀菌,这在生产中更加容易实现,同时还不会导致加工产品质量的下降.

2 HHP 与其它处理联用方法

2.1 HHP 与低 pH 值联用

HHP 对微生物细胞和芽胞的作用几乎不受介质 pH 值的影响,在这方面不同的作者报道的结果互相矛盾. Maggi 等研究了 HHP 对沙门氏菌属的 4 个菌株和肠细菌属的 7 个菌株的灭活效应,发现沙门氏菌和肠细菌中的 4 个菌株,在酸性 pH 值中对压力的敏感程度反而下降,肠细菌中的另 3 个菌株在中性 pH 值时对压力却更加敏感^[22].

Raso 等报道,高压与热处理联用在中性 pH 值附近对细菌芽胞的灭活率最高^[23]. 然而将介质 pH 值 7 降至 4 时,高压与热处理联用对生孢梭菌 PA3679 的抑制效果更好^[24].

尽管降低 pH 值并不能提高细菌对 HHP 的敏感程度,这一联用的好处在于阻止了那些在 HHP 处理后存活下来的细菌的生长和形成芽胞. 比如一种大肠杆菌的耐高压菌株在经过压力处理后,在接下来的低 pH 值环境中贮藏可加速它们死亡^[25].

2.2 HHP 与抗生素联用

由于消费者越来越担心合成添加剂的安全性,天然抗生素引起了人们广泛的兴趣,特别是当这些抗生素与其它食品保藏技术联合应用时,其前景非常广阔. 研究表明, HHP 可引起微生物细胞的亚致死性伤害(sublethal injury),而后它们更容易受抗生素的影响. 这一现象特别对革兰氏阴性细菌意义重大,因为这些细菌的细胞膜在自然状态下可以作为一种抵抗高压和大分子物质(如抗生素)侵入的天然屏障^[26].

用高于 180 MPa 的 HHP 处理大肠杆菌细胞后,它们对溶菌酶和乳链球菌素会更加敏感. HHP 处理(320 MPa, 15 min, 23 °C)可将大肠杆菌数减少 4.06 个对数周期. 在压力处理的同时添加乳链

球菌素(100 IU/mL),溶菌酶(10 μg/mL)或两者都添加,大肠杆菌数可分别减少 5.7, 5.4, 6.9 个对数周期. 然而在压力处理后才添加上述抗生素并不能导致细菌数的减少. 另外,添加上述两种抗生素,用 400 MPa 的压力进行循环加压处理(3 圈/10 min),大肠杆菌 MG1615 的数量可下降 6 个对数周期,而该细菌是目前被认为最耐压力的细菌^[27].

Lee 等研究认为,单独用乳链球菌素或高静水压力处理对液态全蛋中李斯特菌的抑制作用都不明显,而在高压处理前(250~300 MPa)添加 0.5~20 mg/L 的乳链球菌素于鸡蛋液中, HHP 对李斯特菌的抑制效果可增加 5 个对数周期,说明二者具有协同抑菌作用^[28].

将乳链球菌素(100 IU/mL)和溶菌酶(100 μg/mL)与循环压力处理(550 MPa, 20 °C, 3 圈/10 min)联用,可明显增加对脱脂牛奶中 4 种大肠杆菌的致死率(MG1615 和其它 3 种耐压菌株). 与相同条件下连续处理 30 min 相比,循环压力处理至少可使 4 种菌株的细菌数量多下降 3 个对数周期^[29].

加压处理时添加醋酸片球菌素和乳链球菌素可增加 HHP 对革兰氏阳性和阴性致病菌的致死效应. 在 25 °C 用 345 MPa 压力对金黄色葡萄球菌、产单胞明串珠菌、鼠伤寒杆菌和大肠杆菌处理 10 min,同时添加醋酸片球菌素(3 000 IU/mL)和乳链球菌素(3 000 IU/mL)的混合物,细菌数量至少多下降 1.3~5.1 个对数周期^[30].

有人还研究了在中等温度条件下 HHP 与抗菌素联用对致病菌和腐败菌的作用. 在 45~50 °C,用 450 MPa 的压力,添加醋酸片球菌素 3 000 IU/mL,处理 5 min,可使金黄色葡萄球菌、产单胞明串珠菌、鼠伤寒杆菌、大肠杆菌、肠膜明串珠菌、液化沙雷氏菌和荧光假单胞菌的数量下降到 3~4 个对数周期,这种联用技术使上述各种细菌的细胞数至少下降了 8 个对数周期^[30].

2.3 HHP 与气调包装联用

气调包装(modified atmosphere packaging, MAP)是一种非常有效的保持肉品、水果、蔬菜等食品品质、延长保质期的新技术^[31,32]. 在低温下将 HHP 与 MAP 联合已被用于延长鲑鱼和对虾的货架期.

Amanatidou 等比较了在 5 °C 贮藏时的货架期,真空或 MAP(体积分数 50%CO₂+50%O₂)包装的鲑鱼;真空条件下 HHP 处理的鲑鱼;HHP 处理后 MAP(体积分数 50%CO₂+50%O₂)包装的鲑鱼以及加入气体(体积分数 50%CO₂+50%O₂)进行

HHP处理的鲑鱼,结果是最后处理更能有效地延迟微生物在鲑鱼上生长.但是既能延长鲑鱼的货架期又能保持鲑鱼感官质量的最佳处理是150 MPa处理10 min然后用MAP包装的.这种处理比起常用的真空包装然后冷藏的鲑鱼至少可以延长5 d货架期^[33].在以对虾为材料的研究中,在7 ℃真空条件下,用200 MPa和400 MPa处理对虾10 min可以分别延长真空包装对虾7 d和14 d的货架期.然而,经压力处理后的对虾在贮藏过程中表面出现了一些黑点^[34].

上述结果表明,在冷藏条件下,HHP与MAP联合技术是一种有效地延长新鲜产品货架期的手段.对于很多其它特定产品的最佳联用条件,还有待于更深入的研究.

2.4 HHP与CO₂联用

CO₂的抑菌效果是众所周知的,而且增加适当压力可提高其抑菌效果.常用的联用压力一般低于50 MPa,然而在80 ℃以下时,高压CO₂对细菌芽孢和真菌孢子的作用不明显^[35].

时间、压力、温度、水分活度和pH值是这一联用技术的重要参数.提高温度和/或提高压力以及降低pH值都能增强高压CO₂的抑菌效果.但是在低水分活度环境下,高压CO₂的抑菌效果却出现下降^[35,36].

压力CO₂的抑菌机理目前尚不十分清楚.有的作者认为压力CO₂处理后迅速减压对于降低细菌总数起着关键作用^[37],然而也有人认为这种技术的抑菌效应是在加压阶段,而不是在减压阶段实现的.他们认为,在压力状态下,有更多的CO₂分子可以通过细胞膜而降低细菌体内的pH值,继而影响到细胞代谢的一些关键酶类^[36].压力CO₂的抑菌效果还与萃取了细胞内的某些成分有关,如磷脂和疏水性化合物等^[38].

压力CO₂是一种可以抑制食品中的微生物,特别是表面微生物,继而提高食品质量的保藏技术,但是为了达到足够的抑菌效果,处理的时间往往需要很长.

2.5 HHP与脉冲电场联用

单独用HHP或脉冲电场(pulsed electric field, PEF)对红辣椒脱水前进行预处理都可以提高其干燥时的脱水速率^[39],而Heinz和Knorr设计了一种实验室规模的装置来研究HHP与PEF联用时的抑菌效果.在进行PEF处理的同时采用亚致

死强度的HHP处理(200 MPa, <1 min),枯草芽孢杆菌的死亡率比在常压下进行PEF处理时的死亡率还要低,说明采用亚致死强度的HHP处理提高了枯草芽孢杆菌对PEF处理的稳定性.但是当用200 MPa处理10 min后,减压前立即用24.7 kV/cm的PEF处理300 ms,枯草芽孢杆菌的数量比常压PEF处理要降低2个对数周期,说明一定强度的HHP与PEF处理具有协同效应^[40].

2.6 HHP与辐射联用

尽管人们还不完全了解辐射的抑菌机理,但目前主要认为辐射是通过使细胞的DNA受到损伤来抑制或杀死细菌细胞.常用的辐射源包括 γ -射线、X-射线和电子束等^[41].

在鸡胸肉中接种生孢梭菌,置于辐射剂量为2.0 kGy的环境中,再在80 ℃条件下用680 MPa的压力处理20 min,计算90%的细菌死亡时所需要的时间(D值),结果其D值只是单独用辐射处理时(4.1 kGy)的50%^[42].

Freitas等研究了HHP与紫外线联用时对猪热病毒致病性的影响^[43].高压处理并不能彻底消除病毒的致病性,而不管在压力处理(280~320 MPa)前或后用100 J/m²强度的紫外线照射20 min,可完全消除猪热病毒的致病性.

单独用辐射处理(1 kGy)或HHP处理(200 MPa, 30 min),羔羊肉中的金黄色葡萄球菌的数量仅下降1个对数周期.当两者联合应用时,细菌数量可下降4个对数周期^[44].HHP与辐射联用可以降低任何一项单独技术使用时的处理强度,还可改善肉品质感官性状的安全性.

3 展 望

高静水压杀菌技术是一种不需加热的食品保藏技术.很多实验证明它既可以抑制微生物和酶的活性,又很少造成食品营养上或感官上的损失.但是仍有一些酶和微生物(特别是产芽孢微生物),对该技术的高耐受性使其应用受到了限制.因此将高静水压杀菌技术与其它食品保藏技术联合应用,以及在上述技术之间的相互联合应用则可以弥补某项单一技术的缺陷,提高食品的安全性,延长食品的货架期.因此,静水压杀菌技术是一种具有广阔商业应用前景的新型食品保藏技术.

参考文献:

- [1] Tauscher B. Pasteurization of food by hydrostatic pressure: chemical aspect[J]. *Z Lebensm Unters Forsch*,1995,200:3—13.
- [2] Hite B H. The effects of pressure in the preservation of milk[J]. *West Virginia Agric Exp Stat Bull*,1899,58:15—35.
- [3] Tewari G,Jayas D S, Holley R A. High pressure processing of foods:an overview[J]. *Sciences Aliments*,1999,19:619—661.
- [4] Toldrà M, Elis A,Parés D,*et al.* Functional properties of a spray-dried porcine red blood cell fraction treated by high hydrostatic pressure[J]. *Food Chem*,2004,88:461—468.
- [5] Smelt J P P M. Recent advances in the microbiology of high pressure processing[Z]. *Trends Food Sci Technol*,1998,9:152—9158.
- [6] Ter Steeg P F, Hellemons J C, Kok A E. Synergistic actions of nisin,sublethal ultrahigh pressure,and reduced temperature on bacteria and yeast[J]. *Appl Environ Microbiol*,1999,65:4148—4154.
- [7] Simpson R K, Gilmour A. The resistance of *Listeria Monocytogenes* to high hydrostatic pressure in foods[J]. *Food microbial*,1997,14:567—573.
- [8] Alpas H, Kalchayanand N, Bozoglu F, *et al.* Variation in resistance to hydrostatic pressure among strains of food-borne pathogens[J]. *Appl Environ Microbiol*,1999,65:4248—4251.
- [9] Kalchayanand N,Sikes A,Dunne P,*et al.* Factors influencing death and injury of foodborne pathogens by hydrostatic pressure-pasteurization[J]. *Food microbial*,1998,15:207—214.
- [10] Patterson M F, Kilpatrick D J. The combined effect of high hydrostatic pressure and mild heat on inactivation of pathogens in milk and poultry[J]. *J Food Protect*,1998,61:432—436.
- [11] Raso J, Calderon M L,Gongora M,*et al.* Inactivation of *Zygosaccharomyces bailii* in fruit juices by heat ,high hydrostatic pressure and pulsed electric fields[J]. *J Food Sci*, 1998, 63:1042—1044.
- [12] Butz P,Funtenerger S,Haberdtz T,*et al.* High pressure inactivation of *Byssoschlamis nivea* ascospores and other heat-resistant moulds[J]. *Lebensm-Wiss-Tecno*,1995,29:404—410.
- [13] Wuytack E Y, Boven S, Michiels C W. Comparative study of pressure-induced germination of *Bacillus subtilis* spores at low and high pressures[J]. *Appl Environ Microbiol*,1998,64:3220—3224.
- [14] Wuytack E Y,Michiels C W. A study on the effects of high pressure and heat on *Bacillus subtilis* spores at low pH[J]. *Food Microbio*,2001,64:333—341.
- [15] Monch S, Heinz V, Guttman P,*et al.* X-ray microscopy of high-pressure affected spores from *B. subtilis* and *B. stearothermophilus*[Z]. European conference on emerging food science and technology. Tampere, Finland,2000.
- [16] Garcia-Palazon A, Suthanthangjai W, Kajda P,*et al.* The effects of high hydrostatic pressure on β -glucosidase, peroxidase and polyphenoloxidase in red raspberry (*Rubus idaeus*) and strawberry (*Fragaria \times ananassa*)[J]. *Food chem*,2004,88:7—10.
- [17] Hendrickx M, Ludikhuyze L, Van den Broeck I. *et al.* Effects of high pressure on the enzymes related to food quality[J]. *Trends Food Sci Technol*,1998,9:197—203.
- [18] Seyderhelm I, Boguslawski S, Michaelis G,*et al.* Pressure-induced inactivation of selected food enzymes[J]. *J Food Sci*, 1996,61:308—310.
- [19] Cano M P, Hernandez A, De Ancos B. High pressure and temperature effects on enzyme inactivation in strawberry and orange products[J]. *J Food Sci*,1997,62:85—88.
- [20] Ashie I N A,Simpson B K, Smith J P. Mechanisms for controlling enzymatic reaction in foods[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*,1996,36:1—30.
- [21] El Moueffak A, Cruz C, Antonie M, *et al.* High pressure and pasteurization effect on duck foie grass[J]. *Int J Food Sci Technol*, 1995,30:737—743.
- [22] Maggi A, Rovere P, Gola S,*et al.* Effetti delle alte pressioni su salmonelle e altri enterobatteri in funzione del pH contenuto salino del brooddi coltura[J]. *Industria Conseve*,1993,68:232—235.
- [23] Raso J,Calderon M L,Gongora M,*et al.* Influence of several environmental factors on the initiation of germination on *Bacillus cereus* by high hydrostatic pressure[J]. *Int J Food Microbiol*,1998,44:125—132.
- [24] Stewart C M,Dunne C P,Sikes A,*et al.* Sensitivity of spores of *Bacillus subtilis* and *Clostridium Sporogenes* PA3679 to combinations of high hydrostatic pressure and other processing parameters[J]. *Innovat Food Sci Emerging Technol*,2000, 万方数据

1:49-57.

- [25] Garcia-Graells C, Hauben E J A, Michiels C W. High-pressure inactivation and sublethal injury of pressure-resistant *Escherichia coli* mutants in fruit juices[J]. **Appl Environ Microbiol**, 1998, 64:1566-1568.
- [26] Halander I M, von Wright A, Mattila-asndholm T M. potential of lactic acid bacteria and novel antimicrobials against Gram-negative bacteria[J]. **Trends Food Sci Technol**, 1997, 8:151-156.
- [27] Masschalck B, Garcia-Graells C, Van Haver E, et al. Inactivation of high pressure resistant *Escherichia coli* by lysozyme and nisin under high pressure[J]. **Innovat Food Sci Emerg Technol**, 2000, 1:39-49.
- [28] Lee D U, Heinz V, Knorr D. Effects of combination treatments of nisin and high-intensity ultrasound with high pressure on the microbial inactivation in liquid whole egg[J]. **Innovat Food Sci Emerg Technol**, 2003, 4:387-393.
- [29] Garcia-Graells C, Masschalck B, Michiels C W. Inactivation of *Escherichia coli* in milk by high-hydrostatic-pressure treatment in combination with antimicrobial peptides[J]. **J Food Protec**, 1999, 62:1248-1254.
- [30] Kalchayanand N, Sikes A, Dunne P, et al. Interaction of hydrostatic pressure, time and temperature of pressurization and pediocin AcH on inactivation of foodborne bacteria[J]. **J Food Protec**, 1998, 61:425-431.
- [31] Narasimha Rao D, Sachindra N M. Modified atmosphere and vacuum packaging of meat and poultry products[J]. **Food Rev Int**, 2002, 18:263-293.
- [32] Pesis E, Aharoni D, Aharoni Z, et al. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit[J]. **Post Bio Technol**, 2000, 19:93-101.
- [33] Amanatidou A, Schluter O, Lemkau K, et al. Effect of combined application of high pressure treatment and modified atmosphere on the shelf-life of fresh Atlantic salmon[J]. **Innovat Food Sci Emerg Technol**, 2000, 1:87-98.
- [34] Lopez-Caballero M E, Perez-Mateos M, Borderias J A, et al. Extension of the shelf-life of prawns (*penaeus japonicus*) by vacuum packaging and high-pressure treatment[J]. **J Food Protec**, 2000, 63:1381-1388.
- [35] Ballestra P, Cuq J L. Influence of pressurized carbon dioxide on the thermal inactivation of bacterial and fungal spores[J]. **Lebensm-Wiss-technol**, 1998, 3:84-88.
- [36] Haas G J, Prescott J R, Hintlian C, et al. Inactivation of microorganism by carbon dioxide under pressure[J]. **J Food Safety**, 1989, 9:253-265.
- [37] Nakura K, Enomoto A, Fukushima H, et al. Disruption of microbial cells by flash discharge of high-pressure carbon dioxide[J]. **Biosci Biotech Biochem**, 1994, 58:1297-1301.
- [38] Lin H M, Yang Z, Chen L F. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by supercritical and subcritical carbon dioxide[J]. **Biotechnol Progr**, 1992, 8:458-461.
- [39] Ade-Omowaye B I O, Rastogi N K, Angersbach A, et al. Effects of high hydrostatic pressure or high intensity electrical field pulse pre-treatment on dehydration characteristics of red paprika[J]. **Innovat Food Sci Emerg Technol**, 2001, 2:1-7.
- [40] Heinz V, Knorr D. Effect of pH, ethanol addition and high hydrostatic pressure on the inactivation of *Bacillus subtilis* by pulsed electric fields[J]. **Innovat Food Sci Emerg Technol**, 2000, 1:151-161.
- [41] Loaharanu P. *New Methods of Food Preservation*[M]. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1995. 90-109.
- [42] Crawford Y J, Murano E A, Olson D G, et al. Use of high hydrostatic pressure and irradiation to eliminate *Clonostidium sporogenes* spores in chicken breast[J]. **J Food Prot**, 1996, 59:711-715.
- [43] Freitas T R P, Gaspar L P, Caldas L A, et al. Inactivation of classical swine fever virus; association of hydrostatic pressure and ultraviolet irradiation[J]. **J Virolog Meth**, 2003, 108:205-211.
- [44] Pushpa P, Chawla S P, Thomas P, et al. Effect of high hydrostatic pressure, gamma-irradiation and combination treatment on the microbiological quality of lamb meat during chilled storage[J]. **J Food Safety**, 1997, 16:263-271.

(责任编辑:杨勇)