

超高压灭菌技术在保障食品品质及安全性的应用现状与展望

吕长鑫^{1,2}, 何晓慧³, 冯叙桥^{1,2,3*}

(1. 渤海大学食品科学研究所, 辽宁省食品安全重点实验室, 锦州 121013; 2. 辽宁省食品质量与安全学会, 沈阳 110866; 3. 沈阳农业大学食品学院, 沈阳 110866)

摘 要: 超高压灭菌技术能有效对食品进行杀菌和灭酶, 是食品加工业中的一种新型的非热力加工技术。本文综述了超高压灭菌原理、主要特点以及超高压处理对食品感官品质、酶活性、微生物、营养成分的影响, 并分析了超高压处理产品的安全性及其在食品加工业中的应用前景。

关键词: 超高压; 食品灭菌; 品质; 安全性

Application and prospect of ultra-high pressure sterilization technology on food quality and safety

LV Chang-Xin^{1,2}, HE Xiao-Hui³, FENG Xu-Qiao^{1,2,3*}

(1. Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, Food Science Research Institute of Bohai University, Jinzhou 121013, China; 2. Liaoning Province Society of Food Quality and Safety, Shenyang 110866, China; 3. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

ABSTRACT: Ultra-high pressure sterilization technology is a new method as non-thermal processing in food to effectively sterilize and inactivate enzymes. In this review, the fundamental principle and the main features of ultra-high pressure technology have been introduced, and the effects of ultra-high pressure processing on factors which will affect food quality such as enzymatic activity, texture, flavor, nutrient compounds, antioxidant activity and major microorganisms have been discussed. Furthermore, the application prospect and safety of ultra-high pressure technology in food processing have also been analyzed.

KEY WORDS: ultra-high pressure; food sterilization; quality; safety

食品常容易受到微生物的作用而发生腐败变质, 因此, 能够杀灭微生物的灭菌技术也成了食品加工业一直关注的焦点。传统的热力灭菌技术虽然设备成熟, 却容易破坏食品中的生物活性物质、风味物质、营养成分等^[1], 而且加工过程会使褐变反应加剧, 影

响色泽, 为了最大限度地保留食品的色、香、味等品质并保持食品的营养价值, 现代高新灭菌技术逐渐得到开发与应用。而超高压技术是当前倍受各国重视的一项高新技术, 经超高压处理的食物在完成杀菌后, 能有效克服传统热加工法处理食品时带来的缺

基金项目: 渤海大学人才引进基金项目(BHU20120301)、辽宁省食品质量与安全学会研究项目(LSFQS201101YJ001)

Fund: Supported by Bohai University Talent Introduction Foundation (BHU20120301) and Institute of Food Quality and Safety in Liaoning Province Research Subject (LSFQS201101YJ001).

*通讯作者: 冯叙桥, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为果蔬质量与安全控制。E-mail: feng_xq@hotmail.com

*Corresponding author: FENG Xu-Qiao, Professor, Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, Food Science Research Institute of Bohai University, No.19, Technology Road, Songshan District, Jinzhou 121013, China. E-mail: feng_xq@hotmail.com

点,它不仅能确保食品在微生物方面的安全,较好地保持其原有的营养品质、风味、色泽等,且保质期延长、加工能耗低^[2]。本文着重讨论食品超高压杀菌原理和主要特点,超高压处理对果蔬中主要微生物、酶活性、色泽、质地、风味、营养活性等的影响,并分析了超高压处理食品的安全性及其应用前景,为推进我国在食品超高压杀菌技术方面的应用与研究提供依据。

1 超高压灭菌的原理和主要特点

超高压灭菌技术(ultra-high pressure technology, UHP),是指在常温或更低温度下,以水或其他液体为介质,在 100 MPa 压力以上处理食品持续一段时间后,以达到使食品中蛋白质、酶等生物大分子改变活性,并杀灭食品中微生物的目的^[3]。UHP 对微生物的有致死作用,但不会造成像高温杀菌那样破坏食品的营养成分和引起食品风味改变。超高压灭菌的基本原理是采用高压使微生物的细胞壁膜、基因机制、形态结构等方面发生变化,从而使微生物其原有的生理活动机能被破坏或发生不可逆变化进而死亡^[4]。超高压处理由于其只作用于非共价键,对维生素、风味物质和色素等低分子物质的共价键基本无影响,因此使食品较好地保持了其原有的营养品质、色泽和风味^[5]。另外,采用 UHP 处理时,随着加压,料温会逐渐升高,通常每增加 100 MPa 的压力,温度会升高 2~4 °C,因此近年来超高压对微生物的致死作用也被认为是压缩热和高压联合作用的结果^[6]。

超高压处理被认为是一种新型的冷杀菌方式,同时超高压技术不仅能起到杀灭微生物的作用,还能使食品获得一些特殊的效果,例如,使淀粉糊化、蛋白质的胶凝,达到与普通加热处理后不同的风味^[7]。超高压处理不受食品体积和形状的影响,可促使组织变性能得到新型食品,其杀菌时间一般为 5~10 min,传统热力杀菌却需要 20~30 min,因此更有利于保持食品中其原有生物活性功能,保持其色泽、风味和营养成分,延长食品的贮藏期,更利于食品的贮藏保鲜。

2 超高压灭菌对食品感官品质的影响

食品在加工过程通常会采用热处理以达到杀菌灭酶的效果。传统的热处理常会带来食品色泽、质地和风味等品质下降的弊端,而采用超高压处理则能

够最大限度地保持食品原有的色泽、质地和风味,对食品原有和特有的风味一般没有影响,对食品的色泽有改变,但有些颜色如类胡萝卜素、叶绿素、花青素等对超高压有抵抗能力^[8]。

2.1 对食品色泽的影响

食品的色泽在一定程度上是评价食品品质好坏的重要感官指标,超高压处理对食品感官色泽的影响主要取决于食品原料。Rodrigo 等^[9]通过研究超高压处理对不同 pH 值下的番茄汁、草莓汁的影响情况,证明了在 300~700 MPa, 65 °C, 60 min 的条件下,番茄汁色泽的降解动力学与新鲜番茄汁相同,并且与番茄汁的 pH 值无关;Yen 等^[10]研究表明超高压处理对番石榴果泥的色泽基本没有影响,而采用加热处理则破坏了叶绿素并引发了褐变反应。

2.2 对食品质地的影响

高压或高温一般会引起细胞壁的破裂,从而使物料结构变皱缩或松散。而细胞壁的复杂结构主要是由包埋于多糖及蛋白质中的纤维素网状结构来决定^[11]。Yen 等^[10]比较研究了热处理和超高压处理对番石榴汁的影响,结果表明:采用 95 °C 处理 5 min 后的果汁其黏度和浊度均有所改变,而采用 500 MPa 压力,25 °C 处理则对其黏度和浊度基本没有影响;且通过扫描电镜进一步进行观察,结果也表明,热处理时促进了混浊物质的凝结,而在超高压处理时则没有这种影响。

2.3 对食品风味的影响

食品在热加工处理的过程中一般会引起气味的一些改变,而采用冷加工技术处理能最大程度地保留食品原有风味,减少加工过程的风味改变。采用超高压技术,250~350 MPa, 1~3 min 不仅可以杀死牡蛎中的弧菌,还可以使新鲜牡蛎的外观和风味品质得以保持,且使得后续的加工过程变得更为容易^[12]。鳄梨调味酱采用超高压技术,在 500 MPa 处理 2 min 后即能杀死果酱中的微生物,且对其风味基本没有影响^[13]。

3 超高压灭菌对食品中酶的影响

食品在加工和贮存过程中,在其自身酶的作用下,会引起变色、变味以及变质,因此会造成巨大的损失^[14]。而食品在加工过程中就需要尽量地抑制酶的活性以达到并保证产品的质量。超高压处理可破坏

蛋白质的三级结构,导致蛋白质的变性及一些功能性质的变化,从而改变其催化活性使酶的活性被激活或抑制,进而提高食品品质^[15]。研究表明,采用超高压处理时,在较低压力时,酶活中心凝集,酶与基质较充分接触,酶活性逐渐升高;而随着压力升高,酶的分子结构和活性中心构象遭到破坏,酶活性降低,进而失去活性^[16]。

多酚氧化酶(PPO)会引起食品中酶促褐变的发生。采用超高压处理技术可以在一定程度上抑制PPO的活性,从而有效防止果蔬颜色的褐变^[17]。当压力在200~600 MPa、温度为60℃、处理10~20 min后能使新鲜荔枝中PPO的活性降至20%以下,而使荔枝果酱的PPO的活性保持在40%~60%之间^[18]。不同植物来源的PPO活性对压强的敏感性有一定的差异。红色悬钩子的PPO酶活性在压力800 MPa、18~22℃、15 min条件下,仍然保持在70%以上^[20];而在同样的温度和时间作用下,草莓的PPO酶活性在600 MPa的压力下即可实现完全钝化^[21]。过氧化物酶(POD)对产品风味也会产生不良影响。POD通常耐热性较强,是评价热烫效果的指示酶。Fang等^[23]研究表明,400 MPa以上的压力在结合热处理时可以促进猕猴桃中POD酶的钝化,但在处理15 min后,即使继续延长保压时间,对POD的活性也不会产生显著影响;采用900 MPa压力在常温下处理绿豆10 min后,其POD的活性降低了88%,而采用600 MPa压力结合热处理能够促进其POD的钝化。脂肪氧合酶(LOX)能够破坏必需脂肪酸,进而影响到产品的风味和色泽。Rodrigo等^[9]研究了土豆中LOX酶的耐压性,结果表明:当采用低于400 MPa压力、20℃处理后,LOX的活性增强;而采用550 MPa压力,处理12 min后即能将LOX酶完全钝化。果胶酯酶(PE)与果汁的稳定性和果蔬质地密切相关。Guiavarc等^[24]研究了0.1~800 MPa的压力下结合10~62℃温度对白葡萄柚处理后其PE酶的钝化效果,结果表明:当压力在0.1~300 MPa、温度 ≥ 58 ℃时二者对PE酶的钝化作用效果具有拮抗效应。有研究表明在400~600 MPa的压力下对番茄切片进行处理,可使番茄中的果胶甲基酯酶的活性有所上升^[25]。

4 超高压处理对食品中微生物的影响

超高压灭菌处理主要是采用高压使微生物的形

态结构、生化反应和细胞壁膜等发生一些变化,从而对微生物原有的生理活性机能造成一定的影响而致死^[23]。超高压处理通过对细胞膜和蛋白质的结构进行破坏、对DNA的转录和复制造成影响,进而杀死微生物^[24]。Baymdirli等^[26]分别研究了超高压结合30~50℃对苹果、柑橘和樱桃汁处理后,对其中的葡萄球菌、大肠杆菌和肠炎沙门氏菌的影响,结果表明在350 MPa压力,40℃条件下处理5 min后就可以杀死这些微生物的接种体。霉菌和酵母菌比较容易引起果蔬的腐败变质,有些霉菌还可能会产生一些毒素,进而引起一些食品的安全性问题。而细菌孢子不仅能够耐热耐辐射,而且还具有很强的耐压性,甚至在室温下能够抵抗1000 MPa压力。Lee等^[27]研究了超高压结合热处理对苹果汁中酸土芽孢杆菌的影响,结果表明,采用207 MPa的压力,在45℃处理10 min或在71℃处理1 min后就能够将活的孢子数量降低3.5个对数级。超高压处理对微生物的致死效应与压力大小、保压时间、协同温度有关,还常受到微生物的种类、生长发育的阶段等因素影响,因此在采用超高压处理食品时,需要将这些因素进行综合考虑后以保证产品的安全性和较好的品质^[28]。

5 超高压处理对食品中营养成分的影响

超高压处理不会对食品分子结构中的共价键产生作用,因此超高压处理对果蔬中的维生素、酚类物质、异硫氰酸盐等营养活性成分没有或只有微小的影响,能够较好地保留这些营养成分^[29]。超高压处理对果蔬中的水溶性维生素的影响研究较多,而对果蔬中脂溶性维生素的影响研究较少。Sancho等^[30]分别对几种水溶性维生素的耐压性进行了比较研究,结果表明:在200~400 MPa压力,常温处理30 min后,VC的保留率是87.8%~89.9%,而硫胺素的保留率为101.8%~102.4%、吡哆醛的保留率为99.4%~99.9%。有研究表明采用超高压处理对类胡萝卜素稳定性的影响较小,将采用超高压处理后的番茄汁在4℃下保存21 d后,其类胡萝卜素含量基本保持恒定;在高温条件下,采用600 MPa,75℃,处理40 min后胡萝卜产品,其胡萝卜素的损失最多为5%^[31]。Baron等^[32]的研究结果显示,采用200~400 MPa压力,对混浊苹果汁处理5~10 min后,其羟基肉桂酸的保留率是94.3%~116.0%、双氢查耳酮的保留率是95.3%~123.0%、

儿茶素的保留率为 29.7%~292.3%、原花青素的保留率为 120.3%~169.6%。Triska 等^[33]分别比较了采用超高压处理、冷冻处理和巴氏杀菌处理对包心菜、红甘蓝、青花菜中的总异硫氰酸盐含量的影响,结果发现,采用超高压处理后的青花菜汁中的异硫氰酸盐含量较高,而其他蔬菜汁采用冷冻处理其所含的异硫氰酸盐含量则较高。采用超高压处理后果蔬中的营养活性产生了变化,主要的可能是部分营养活性成分易受多种因素影响,且其本身不太稳定。一些研究结果也表明,与热处理相比,超高压处理更能有效的保留食品中的主要营养成分^[34-38]。

6 超高压处理对食品安全性的影响

超高压处理食品的安全性在目前还缺乏相关的研究报道。因此进行一些安全性评估有一定的必要性,而且有助于人们能够更全面客观的认识该技术的适用范围。Houska 等^[39]通过危害性分析、关键点控制和体外抗突变活性等方法对几种超高压果蔬汁的安全性进行了评价。超高压处理后的产品属于新型的食品,而变应原性是评价新型食品的安全性的重要组成部分。热处理后的蛋白质变性能够降低一些食品的变应原性,但是变性后的蛋白也有可能产生新的抗原位点;超高压处理能够影响氢键、离子键及疏水键,改变蛋白质的结构;因此,研究超高压产品潜在的变应原性有一定的必要性。

7 超高压处理在食品加工业中的应用

超高压处理技术是在上个世纪 80 年代时开创并发展起来的新型的食品冷杀菌技术,目前一些研究已应用于生产实践中。

7.1 超高压技术在果蔬加工中的应用

超高压技术在果蔬加工业中的应用主要用于鲜切果蔬、果蔬汁和果酱中的灭酶和杀菌作用。采用超高压技术对新鲜果蔬汁进行处理和未经超高压处理的新鲜果蔬汁进行比较研究后,结果表明,二者在颜色、风味、营养成分上几乎没有差别。赵光远等^[40]人采用超高压技术来抑制鲜榨苹果汁的褐变反应,结果显示,在 400 MPa、50℃以上温度的处理强度,能够使鲜榨苹果汁中的 PPO 活力失去 60%以上;在 750 MPa、50℃以上温度的下,处理其相应的 PPO 的失活率达到了 90%以上。对鲜榨果蔬汁采用超高

压协同热处理,能使其在相对较低的压力条件下即可获得较好的处理效果。50℃协同超高压处理后,果汁的色泽变化幅度微小;采用 320 MPa,协同 55℃保压 10 min 处理后,对混浊苹果汁的风味反而起到了增强的作用,更好地保持了混浊苹果汁的原汁原味^[41]。此外,超高压技术在果酱和鲜切果蔬中的应用也取得了较好的进展。在 400 MPa 的压力下对果酱处理 10 min 后可以有效地减少微生物的数量,产品粘度较好,Vc 保持率也较高^[42]。

7.2 超高压技术在乳制品加工中的应用

赵光远等^[43]的研究结果指出,压力大小对牛乳的杀菌效果有显著影响,且压力越高其杀菌效果越好,而保压时间对牛乳的杀菌效果影响不显著。同时其指出采用超高压处理后的牛乳,其亮度值会下降,但 pH 值不会改变。张勇等^[44]研究了超高压处理对牛乳感官和理化性质的影响。结果表明:采用超高压处理尽管降低了牛乳的白度和浊度,对牛乳的感官品质产生了一些影响,但是却增加了牛乳中游离态钙的含量,使乳清蛋白的变性程度得到了降低,在最大限度上保留了牛乳的营养价值。

7.3 超高压技术在肉类食品加工中的应用

超高压技术在肉类食品加工中有很多特有的优势,如改变钙激活酶的活性,改善凝胶性,提高嫩度,延长保藏性等^[45]。超高压技术能够对肉制品中钙激活酶的活性产生影响,而钙激活酶对肉的嫩化有重要作用,对肉的品质也有着至关重要的影响。例如,在 250 MPa,常温条件下对质粗的牛肉进行处理后,能够得到嫩化的牛肉制品^[46]。超高压处理对肉类制品的色泽、风味也具有显著的影响。如超高压处理可使鲜肉的颜色变淡,表现出色泽与煮熟肉的颜色相似^[47]。超高压处理后的绵羊肌肉的感官品质会发生一些变化,如随处理压力升高,绵羊肌肉颜色也会变浅,且会呈现出轻微类似蒸煮后的成熟风味^[47]。将超高压处理技术应用于鲜肉的保鲜加工中目前并不多见,其在肉制品加工业中的应用主要集中在香肠和火腿制品的加工中。

8 展望

超高压食品处理技术是近年来的研究热点,作为一种新型的冷加工技术,由于其高质量、高安全性目前我国开始逐渐得到发展。超高压技术不仅能够

杀菌保证食品的安全性,而且能够避免由高温杀菌引起的产品变质等不良影响。采用超高压技术处理新鲜果汁,不仅能有效地杀灭果汁中的微生物,较好地保留果汁中的热敏性营养成分和易挥发的香气成分,而且能够较好地控制果汁中的酶活性,有利于防止新鲜果汁发生酶促褐变。由于超高压处理能够在常温或较低温度下杀灭微生物并钝化酶类,且不会对产品的感官品质和营养成分造成不良影响,这也是该技术的优越性。如今如何最大限度地保留食品的营养价值及其原有风味,使灭菌过程耗能低、处理时间短、操作过程简单、易实现连续生产、且适用范围广等,成为食品加工业灭菌技术研究和生产应用的关注热点和发展方向。要大力发展具有这些优势的灭菌技术,必须首先进一步搞清现有的各种灭菌技术的机制,同时探索研究多种灭菌技术对食物进行复合灭菌,进而克服单一灭菌技术的缺陷,这必将成为未来食品加工业灭菌技术的研究和应用重点。超高压结合辐射、超声、二氧化碳等非热处理可以降低处理压力,节约成本。尽管超高压处理技术不能完全取代传统的处理方法,但是作为一种补充或辅助手段进行开发,其应用前景必将广阔。

参考文献

- [1] 张英,白杰,张海峰,等.超高压技术在食品加工中的应用与研究进展[J].保鲜与加工,2008,8(5):18-21.
Zhang Y, Bai J, ZHANG HF, *et al.* Research advance and application of ultra high pressure in food industry [J]. Storage Proc, 2008, 8(5): 18-21.
- [2] 刘延奇,吴史博.超高压对食品品质的影响[J].食品研究与开发,2008,29(3):137-141.
Liu YQ, Wu SB. The effects of ultra high pressure on the food quality [J]. Food Res Dev, 2008, 29(3): 137-141.
- [3] 赵光远,邹青松,孙鹏,等.超高压加工鲜榨苹果汁过程中的主要理化变化[J].食品与发酵工业,2007,33(11):143-146.
Zhao GY, Zhou QS, Sun J, *et al.* The physical and chemical changes during high pressure extracting processing of fresh apple juice [J]. Food Ferment Ind, 2007, 33(11): 143-146.
- [4] 高愿军,赵俊芳,吴广辉.超高压在蔬菜加工中的应用[J].食品研究与开发,2008,29(11):190-192.
Gao YJ, Zhao JF, Wu GH. The application of high pressure technology in vegetable getable etable processing [J]. Food Res Dev, 2008, 29(11): 190-192.
- [5] 薛路舟,陈淑花,夏远景,等.超高压处理对生物大分子的影响研究进展[J].食品工程,2009,25(1):19-22.
Xue LZ, Chen SH, Xia YJ, *et al.* Advances of effect on ultra-high pressure treatment on biomacromolecules [J]. Food Eng, 2009, 25(1): 19-22.
- [6] 马永昆,刘威,胡小松.超高压处理对哈密瓜汁品质酶和微生物的影响[J].食品科学,2005,26(12):144-147.
Ma YK, Liu W, Hu XS. effect of ultra high pressure treatment on quality-related enzymes and bacterium of hami melon juice [J]. Food Sci, 2005, 26(12): 144-147.
- [7] 赵光远,纵伟,杨公明.超高压处理对鲜榨苹果汁中多酚氧化酶活力的影响[J].湖北农业科学,2007,46(6):1003-1005.
Zhao GY, Zong W, Yang GM. Studies on effect of ultrahigh pressure treatment on ppo activity in fresh apple juice [J]. Hubei Agric Sci, 2007, 46(6): 1003-1005.
- [8] 姜斌,胡小松,廖小军,等.超高压对鲜榨果蔬汁的杀菌效果[J].农业工程学报,2009,25(5):234-238.
Jiang B, Hu XS, Liao XJ, *et al.* Effects of high hydrostatic pressure processing on microbial inactivation in fresh fruit and vegetable juice [J]. Trans Chin Soc Agr Eng, 2009, 25(5): 234-238.
- [9] Rodrigo D, Jolie R, Van Loey A, *et al.* Thermal and high pressure stability of tomato lipoxigenase and hydroperoxide-lyase [J]. J Food Eng, 2007, 79(2): 423-429.
- [10] Yen GC, Lin HT. Comparison of high pressure treatment and thermal pasteurization effects on the quality and shelf life of guava puree [J]. Int J Food Sci Tech, 1996, 31(2): 205-213.
- [11] 纵伟,林进平,胡华英,等.超高压处理对苹果酱质量的影响[J].食品科技,2007,(12):60-62.
Zong W, Lin JP, Hu HY, *et al.* Effect of high-pressure on quality of apple jam [J]. Food Sci Tech, 2007, (12): 60-62.
- [12] 张海峰,白杰,刘姗姗,等.超高压对食品中酶的影响[J].农业科学研究,2008,29(1):92-96.
Zhang HF, Bai J, Liu SS, *et al.* Effects of ultra-high pressure on enzyme of food [J]. J Agric Sci, 2008, 29(1): 92-96.
- [13] 白艳红,德力格尔桑,杨公明.液态静高压下羊肉中钙激活酶活性变化的研究[J].食品科技,2003,11(9):14-15.
Bai YH, De Li GS, Yang GM. Study on activity of crude calpains of mutton skeletal muscle under hydrostatic high-pressure processing [J]. Food Sci Tech, 2003, 11(9): 14-15.
- [14] 张秋勤,徐幸莲,胡萍,等.超高压处理对肉及肉制品的影响[J].食品工业科技,2008,29(12):267-270.
Zhang QQ, Xu XL, Hu P, *et al.* Effects of ultra high pressure processing on meat and meat products [J]. Sci Tech Food Ind, 2008, 29(12): 267-270.
- [15] 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 Agric Forestry, 2005, 33(10): 62–66.
- [16] 王允祥, 楼雄珍, 陈锡威, 等. 食品超高压技术机制、影响因素及辅助物的研究[J]. 食品科技, 2008, 33(9): 127–130.
- Wang YX, Lou XZ, Chen XW, *et al.* Study on mechanisms, influencing factors and assistant measures of UHPP [J]. Food Sci Tech, 2008, 33(9): 127–130.
- [17] Adrian AF, Robert VC, Susanne MH, *et al.* Bioavailability and antioxidant effects of orange juice components in humans [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(13): 5170–5178.
- [18] 蒋和体, 钟林. 超高压处理对橙汁品质影响研究[J]. 食品科学, 2009, 30(17): 24–29.
- Jiang HT, Zhong L. Influence of ultra-high pressure on quality of orange juice [J]. Food Sci, 2009, 30(17): 24–29.
- [19] 郝秦锋, 许洪高, 高彦祥. 超高压灭菌及其对食品品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 498–520.
- Hao QF, Xu HG, Gao YX. Effect of ultra-high pressure sterilization on quality of food stuff [J]. Food Sci, 2009, 30(23): 498–520.
- [20] 刘敏, 谢晶. 非热技术在果蔬保鲜体系中的应用[J]. 包装与食品机械, 2007, 25(1): 47–50, 53.
- Liu M, Xie J. Application of non-thermal technology in the system of fruits and vegetables preservation [J]. Packag Food Mach, 2007, 25(1): 47–50, 53.
- [21] 夏远景, 李志义. 超高压处理对橙汁中过氧化物酶活性的影响[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2009, 31(5): 58–62.
- Xia YJ, Li ZY. Effects of high pressure treatment on peroxidase (POD) activity in orange juice [J]. J Nanjing Univ Technol (Natural Science Edition), 2009, 31(5): 58–62.
- [22] Tomas DS. Recent advance in the use of high pressure as an processing technique in the food industry [J]. Food Bioproc Tech, 2007, 23(5): 1–28.
- [23] Fang L, Jiang B, Zhang T. Effect of combined high pressure and thermal treatment on kiwifruit peroxidase [J]. Food Chem, 2008, 109(4): 802–807.
- [24] Guaiavarc' HY, Segovia O, Hendrickx M, *et al.* Purification, characterization, thermal and high-pressure inactivation of a pectin methylesterase from white grapefruit (*Citrus paradisc*) [J]. Innov Food Sci Emerg Tech, 2005, 6(4): 363–371.
- [25] 胡友栋, 励建荣, 蒋跃明. 超高压处理影响果蔬品质的研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(9): 235–240.
- Hu YD, Li JR, Jiang YM. Research progress on effects of ultra-high pressure technology on quality of fruits and vegetables [J]. Food Sci, 2009, 30(9): 235–240.
- [26] Baymdirli A, Alpas H, Bozoglu F, *et al.* Efficiency of high pressure treatment on inactivation of pathogenic microorganisms and enzymes in apple, orange, apricot and sour cherry juices [J]. Food Contr, 2006, 17(1): 52–58.
- [27] Lee SY, Dougherty RH, Kang DH. Inhibitory effects of high pressure and heat on *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice [J]. Appl Environ Microb, 2002, 68(8): 4158–4161.
- [28] 潘见, 曾庆梅, 谢慧明, 等. 草莓汁的超高压杀菌研究[J]. 食品科学, 2004, 25(1): 31–34.
- Pan J, Zeng QM, Xie HM, *et al.* Study on UHP treatment of microflora sterilization of strawberry juice [J]. Food Sci, 2004, 25(1): 31–34.
- [29] Donsl G, Ferrari G, Maresca P. Pulsed high pressure treatment for the inactivation of *Saccharomyces cerevisiae*: The effect of process parameters [J]. J Food Eng, 2007, 34(78): 984–990.
- [30] Sancho F, Lambert Y, Demazeau G, *et al.* Effect of ultra-high hydrostatic pressure on hydrosoluble vitamins[J]. J Food Eng, 1999, 39(3): 247–253.
- [31] 张勇, 段旭昌, 李绍峰, 等. 超高压杀菌、灭酶影响因素探讨[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(7): 140–144.
- Zhang Y, Duan XC, Li SF, *et al.* Influence factors of sterilization and deactivation enzyme of ultra-high pressure processing [J]. Food Res Dev, 2007, 28(7): 140–144.
- [32] Baron A, Denes JM, Durier C. High-pressure treatment of cloudy apple juice [J]. LWT, 2006, 39(9): 1005–1013.
- [33] Triska J, Vrchotova N, Houska M, *et al.* Comparison of total isothiocyanates content in vegetable juices during high pressure treatment, pasteurization and freezing [J]. High Press Res, 2007, 27(1): 147–149.
- [34] 曹秋旭, 郭丽琼, 吴厚玖. 超高压在柑橘类果汁加工中的应用及其研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, (12): 414–421.
- Cao QX, Guo LQ, Wu HJ. The application and research advances of the ultra high pressure in the citrus juice processing [J]. Sci Tech Food Ind, 2012, (12): 414–421.
- [35] 张媛媛, 陈芳, 胡小松. 食品中大肠杆菌 O157:H7 控制新技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(1): 125–130.
- Zhang YY, Chen F, Hu XS. Progress in the Studies on Control of *E.coli* O157:H7 in Food [J]. Food Ferment Ind, 2009, 35(1): 125–130.
- [36] 薛靖, 张子德, 孙兰芳. 超高压技术及其在食品加工业中的应用[J]. 保鲜与加工, 2008, (4): 10–12.
- Xue J, Zhang ZD, Sun LF. Application of ultra-high pressure technology in food industry [J]. Stor Proc, 2008, (4): 10–12.
- [37] 郑倩, 张燕, 廖小军, 等. 超高压对果蔬颜色品质影响的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(5): 105–109.
- Zheng Q, Zhang Y, Liao XJ, *et al.* Progress in research of high pressure processing on color quality of fruit and vegetable [J]. Food Ferment Ind, 2010, 36(5): 105–109.

- [38] 曹明菊, 郑晓燕, 陈丽华. 超高压杀菌技术在果汁生产中的应用的研究进展[J]. 饮料工业, 2010, 10(12): 7-10.
Cao MJ, Zheng XY, Chen LH. Progress in research on application of ultra-high-pressure sterilization to juice processing [J]. Beverage Ind, 2010, 10(12): 7-10.
- [39] Houska M, Strohalm J, Totusek, *et al.* Food safety issues of high pressure processed fruit/vegetable juices [J]. High Press Res, 2007, 27(1): 157-162.
- [40] 赵光远, 李娜, 纵伟. 超高压处理对梨汁中多酚氧化酶活性的影响[J]. 食品与药品, 2007, 9(1): 15-18.
Zhao GY, Li N, Zong W. Study on effect of high pressure treatment of fresh pear juice on PPO activity [J]. Food Drug, 2007, 9(1): 15-18.
- [41] Torres A, Velazquez G. Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods [J]. J Food Eng, 2005, 43(67) : 95-112.
- [42] 黄嵩. 超高压灭菌技术在食品加工中的应用以及对食品品质的影响[J]. 轻工科技, 2012, (6): 7-8.
Huang S. Application of ultra-high pressure technology in food industry and the effect on quality of food stuff [J]. Light Ind Sci Tech, 2012, (6): 7-8.
- [43] 赵光远, 李亚威, 赵亚许, 等. 超高压处理对鲜牛奶主要品质影响[J]. 食品工程, 2007, (3): 54-56.
Zhao GY, Li YW, ZhaoYX, *et al.* The effect of ultra high pressure (UHP) on the main quality of fresh milk [J]. Food Eng, 2007, (3): 54-56.
- [44] 张勇, 段旭昌, 白燕红, 等. 超高压杀菌处理对牛乳感官和理化特性的影响[J]. 中国乳品工业, 2007, 35(6): 13-16.
Zhang Y, Duan XC, Bai YH, *et al.* Effect on the sense and phy-chemical characteristics of sterilization milk by ultra high pressure [J]. China Dairy Ind, 2007, 35(6): 13-16.
- [45] 刘文聪. 超高压技术在食品加工中的应用[J]. 福建轻纺, 2010, (5): 28-32.
Lu WC. Application of ultra-high pressure technology in food industry [J]. Fujian Light Textile, 2010, (5): 28-32.
- [46] 段振华. 现代高新灭菌技术及其在食品工业中的应用研究[J]. 中国食物与营养, 2006, (9): 28-30.
Duan ZH. Application of ultra high pressure in food industry [J]. China's Food Nutr, 2006, (9): 28-30.
- [47] 杨瑞学. 超高压技术在食品加工领域的应用[J]. 农业工程, 2012, 2(5): 30-36.
Yang RX. Application of ultra-high pressure technology in food processing field [J]. Agric Eng, 2012, 2(5): 30-36.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



吕长鑫, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为农产品加工与贮藏工程。
E-mail: lvchangxin6666@163.com



冯叙桥, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为果蔬质量与安全控制。
E-mail: feng_xq@hotmail.com