

超高压处理技术在水产品保鲜中的研究进展

Research progress on ultra-high pressure technology for preservation of aquatic products

陈扬易^{1,2} 谢 晶^{1,2} 钟小凡^{1,2}

CHEN Yang-yi^{1,2} XIE Jing^{1,2} ZHONG Xiao-fan^{1,2}

蓝蔚青^{1,2} 朱婉瑜^{1,2} 刘嘉璇^{1,2}

LAN Wei-qing^{1,2} ZHU Wan-yu^{1,2} LIU Jia-xuan^{1,2}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

(1. College of Food Science & Technology Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing and Preservation, Shanghai 201306, China)

摘要:超高压技术是指对食品施加 100 MPa 以上的压力,使其在常温或较低温度下达到杀菌效果的冷杀菌处理技术。文章系统阐述超高压处理技术对水产品中的微生物、酶、组织结构、色泽、风味与营养成分等方面的影响,并对超高压技术在水产品杀菌保鲜中的应用进行总结与展望。

关键词:超高压处理;水产品;保鲜;研究进展

Abstract: Ultra-high pressure is a new food processing technology, which is subjected to food with high pressure in more than 100 MPa at room temperature or low temperature in order to achieve the sterilization or to alter the food attributes. The effects of ultra high pressure on food microorganism, enzymes, structure, color, flavor and nutrition were discussed. The application of high pressure technology was summarized and the prospects were proposed.

Keywords: ultra-high pressure processing; aquatic products; fresh-keeping; research progress

超高压技术(ultra-high pressure processing, UHP)是一种新型的冷处理技术,主要利用压媒(食用油、甘油、油与水的乳液等)使食品在高压(100~1 000 MPa)条件下产生酶失活、蛋白质变性、淀粉糊化和微生物灭活等效应,从而达到灭菌和改性的物理过程^[1,2]。1899 年 Hite^[3] 开展了超高压应

用于食品的系统研究,通过对不同肉类进行超高压处理后,发现该技术可明显延长肉类的保藏期。

水产品作为低脂食品,其蛋白质含量丰富,经济价值高,但由于其水分含量高、细菌易繁殖而导致其腐败,从而影响了其进一步开发利用^[4]。因此,开展水产品的杀菌保鲜是重要的研究内容之一。传统热杀菌是目前食品加工过程中广泛应用的杀菌技术之一。其虽可达到杀死微生物、钝化酶、改善食品品质和特性等优点,但亦会对一些热敏性物料,如食品的营养成分和特性(口感、色泽等)产生不同程度的破坏,从而导致食品品质的劣变和营养损失,这与人们对食品营养安全的消费理念相悖^[5,6]。与传统热处理相比,冷杀菌可较完整保持食品加工前的营养成分、风味与色泽等。超高压处理作为冷杀菌技术之一,其具有压力传递均匀、耗能少与杀菌灭酶彻底等优点,能较大程度保持产品原有的色泽与风味,抑制某些有毒有害物质的生成或转变,使处理后的食品拥有更长的保藏期,还能获得新的口感。文章将从国内外研究的现状和发展趋势出发,通过超高压处理对水产品的杀菌灭酶作用及对水产食品理化性质等方面影响进行阐述,以进一步探讨超高压处理技术在水产品保鲜加工中的研究动态。

1 超高压技术作用原理

超高压处理主要以 Le Chatelier 原理^[7]与 Pascal 原理^[8]为理论基础,该处理能有效破坏食品中高分子物质的离子键、氢键等非共价键,而对共价键几乎不产生影响^[9,10]。其对食品中的小分子色素、氨基酸、多肽、维生素、呈味物质、果酸、果糖和果蔬中抗诱变活性成分的破坏作用较小^[1]。

1.1 超高压作用对蛋白质变性的机理分析

蛋白质是微生物主要成分之一,超高压处理能使其蛋白

基金项目:广东海洋大学广东省水产品加工与安全重点实验室开放课题(编号:GDPKLAPPS1504);上海海洋大学科技发展专项基金(编号:A2-0209-14-200061);2014 年上海海洋大学骆肇尧大学生科技创新基金(编号:A1-0204-14-0015-34)

作者简介:陈扬易(1992—),男,上海海洋大学在读本科生。

E-mail: 244865611@qq.com

通讯作者:谢晶,蓝蔚青

收稿日期:2015-03-27

质变性,继而细胞膜受到破坏,最终导致微生物死亡^[11]。该处理会对氢键造成破坏,使蛋白质的二、三、四级结构发生改变,从而对微生物中的蛋白质产生影响,但对蛋白质大分子的一级结构影响较小^[12,13]。蛋白质二级结构是由肽链内和肽链间的氢键等维持,其在较低的压力下则相对稳定。维持蛋白质三级结构的主要作用力是静电和疏水相互作用力,这些作用力的变化伴随着大量水合反应,使其蛋白质体积变小。当压力超过 200 MPa 时,蛋白质的四级结构将会发生明显变化。

1.2 超高压作用对细菌的杀菌机理分析

当细胞处于低压环境时,其形态结构只发生部分改变,不会导致细胞死亡,但当压力超过一定限值时,将会造成细胞形态的不可逆变化^[14]。微生物种类不同,其对超高压的承受能力也各不相同,有些微生物在高压作用下还能发生可逆反应,再次恢复到正常形态和运动特性。其中,革兰氏阴性细菌和酵母菌在 400 MPa 左右的压力下基本上能被杀死,而革兰氏阳性细菌被杀死的压力则需要 600 MPa,对于孢子类细菌则需要更高压力并结合适当加热与延长保压时间^[15]。

超高压主要通过对微生物的细胞膜、核糖体与酶造成巨大损伤来抑制酶的活性和 DNA 复制,继而影响微生物的正常生理功能,产生致死作用^[16]。在超高压的作用下,细菌细胞的超微结构受到严重破坏,细胞变形,细胞壁局部出现缺口,细胞膜完整性被破坏,细胞内物质皱缩,蛋白质变性^[17,18]。Ritz 等^[19]通过电镜观察到压力导致孢子的膜壁分离,表明超高压会引起其细胞形态结构的变化,这类不可逆变化将导致微生物的活性降低。超高压还会对微生物细胞膜的渗透性造成破坏,使其通透性增大,导致大分子物质、无机盐离子流出细胞外,并对其营养吸收和废物排出造成干扰^[18,20]。Shimada 等^[21]研究发现构成细胞膜结构的磷脂双分子层在超高压处理过程中,由于压力作用使其向凝胶态发生转变;卸压过程中,细胞膜单面双层的结构消失,导致细胞膜上出现孔洞,从而造成胞液外流。

2 超高压技术在水产品保鲜中的应用

2.1 对水产品杀菌灭酶效果的影响

2.1.1 对水产品的微生物杀灭作用 超高压处理技术主要应用于食品的杀菌处理,现已在水产品杀菌保鲜中得到广泛应用。Fletche 等^[22]研究发现,贻贝在 400 MPa,10~40 ℃条件下,能使单增李斯特菌数降至食品安全指数以下。王瑞等^[23]研究结果得出在 500 MPa,40 ℃条件下处理 5 min,能使毛蚶中的微生物(细菌、霉菌、杆菌与酵母菌)存活率明显下降,使其货架期得到有效延长。在贝类水产品中的脱壳工艺中进行超高压处理,也能减少其细菌污染。郝梦甄等^[24]通过 Dssign-Expert 软件分析得出超高压杀灭海参中细菌的最优条件为:300.72 MPa,30.7 min,55.16 ℃,经验证其细菌灭活率为 100%。部分学者^[25,26]研究发现,通过不同超高压工艺处理牡蛎,能对其中的 S 形霍乱菌、副溶血性弧菌与创伤弧菌等有显著影响,其微生物数量与活性均能得到有效

抑制。邓记松^[27]对牡蛎、海参进行超高压处理后,发现在 350 MPa 处理 20 min,牡蛎中的微生物灭活率高达 89.5%;在 500 MPa、10 min 下,对海参的灭菌率达 92.4%。其中,处理压力和保压时间对灭菌效果影响显著。400 MPa 以上的处理压力,能使牡蛎和海参中残留细菌的再生能力得到明显抑制,使货架期相应延长。夏远景等^[28]研究发现,在温度和保压时间一定的情况下,微生物的灭活率与压力大小呈正相关。杨华等^[29]对养殖大黄鱼进行超高压处理,发现经过超高压处理后的大黄鱼鱼肉组织中的酶活力降低,微生物也得到较好抑制。Gou Jing-yu 等^[30]在 400 MPa、20 min 的条件下对鱿鱼片进行处理,发现其可使嗜冷菌数下降 4.7 lgCFU/g 以上。通过对真空包装的半干鱿鱼进行处理,发现处理后鱿鱼的嗜冷菌与嗜中温菌数分别下降约 1.99 和 0.93 个对数值。同时,也有研究^[31]发现,超高压可有效抑制鲱鱼中微生物的生长。Gómez Estaca 等^[32]研究得出 300 MPa、20 ℃条件下处理 15 min,能使沙丁鱼中肠杆菌科微生物的菌落数明显下降,使沙丁鱼至少在 15 d 内仍可达到商业无菌的要求。

研究^[33]证明,将生鱼片进行超高压处理,能起到杀灭致病菌和寄生虫的双重目的,保持新鲜和优良口感。Teixeira 等^[34]对海鲈鱼生鱼片进行超高压处理,得出最佳工艺条件为 400 MPa、30 min,将其与加热处理工艺相结合,可代替单独高温加热处理的鱼肠杀菌工艺。超高压对海鲈鱼鱼肠中的细菌也具有较强的抑制作用^[35]。通过对金枪鱼片的超高压处理研究,相关人员^[14]还发现,压力越高,抑菌效果越明显。但在一定保压时间的处理条件下,其杀菌效果也较有限。

2.1.2 对水产品的灭酶作用 多数酶的化学本质是蛋白质,超高压处理会使其蛋白质构象发生变化,从而影响酶的活性^[11]。其中,超高压处理可使海产品中的内源酶失活,从而延缓海产品贮藏过程中的腐败变质^[13]。Fidalgo 等^[36]通过对大西洋鲑鱼进行超高压处理,发现其关键酶的活性受到抑制。杨华等^[29]发现,超高压可降低大黄鱼鱼肉组织中酶的活力。夏远景等^[28]发现压力对食品中酶的影响具有双重性,在较低压力条件下,酶活力与压力大小呈正相关,在较高的压力下,酶活力与压力大小则表现为负相关。利用超高压对酶的双重作用进行压力调节,可对有利的酶进行激活,对不利的酶进行抑制。赵伟等^[37]发现超高压可提高牡蛎中蛋白质水解酶的活性,从而使其蛋白质的水解程度增加。部分学者^[27]发现,钝酶效果与温度存在一定关联。海参自溶酶在 40 ℃左右活力最大,此时即使在 400 MPa 的高压下依然表现出较高活力。但在室温或 60 ℃以上的温度条件,其钝酶效果较好。

2.2 对水产品品质变化的影响分析

随着对超高压研究的深入,其逐渐应用于水产品加工处理与贮藏保鲜过程中,对水产品的理化特性会产生一定影响。

2.2.1 对水产品加工过程品质变化的影响 Zhu Shu 等^[38]

研究了三文鱼在超高压处理后的解冻时间,结果发现在 200 MPa 的条件下,三文鱼的解冻时间为 17 min,解冻的汁液损失能从 6.52 g/100 g 降至 3.44 g/100 g。超高压处理后的水产品具有易去壳与外观好等优点^[39]。易俊洁等^[40]将超高压应用于鲍鱼的脱壳处理中,其脱壳效率较传统手工脱壳的时间最快可缩短 72%,而鲍鱼肉得率也较手工处理得率提高了 18%;王国栋等^[11]将虾经过超高压处理,结果发现其可有效避免虾仔脱壳过程中的断尾现象,虾仁产率提高 6%~8%。

此外,超高压技术还广泛应用于水产品的其他处理中。王成忠等^[41]将超高压技术应用于刺参泡发,结果得出刺参的最佳超高压泡发条件为:300 MPa、60 ℃、10 min,此时产品的持水率最大,并能使刺参质构明显改善,超高压泡发的刺参胶原蛋白与多糖含量均比水发刺参含量高。王菁^[42]将超高压技术拓展至水产动物组织中的活性成分提取,发现该处理能明显提高单位时间内的虾青素得率。同时,水产品的色泽、弹性、硬度与内聚性等参数对消费者的选择有直接影响。王国栋等^[11]发现超高压作用于虾仁,会使其质构发生明显变化,其嫩度、硬度、内聚性和咀嚼度随着压力的升高而增加。罗晓玲等^[43]以马鲛鱼鱼糜为研究对象,分别添加不同浓度的番茄浓缩汁,在 100~500 MPa 的超高压下进行处理,研究复合马鲛鱼鱼糜的凝胶特性和色泽。结果得出 200~500 MPa 的超高压处理可显著提高复合马鲛鱼鱼糜的凝胶强度,有利于其白度值的升高。Ramirez-Suarez 等^[44]发现超高压处理可使金枪鱼的鱼肉硬度提高。Chéret 等^[45]得出压力超过 200 MPa,水产品的硬度值与压力值正相关。刘剑侠等^[46]对大菱鲆进行超高压处理,结果发现大菱鲆的肌肉硬度呈下降趋势。随着压力的升高,其质构特性表现为凝聚上升趋势,胶黏性持续上升,黏附性不断下降,硬度先降后升。杨华等^[47]对鲢鱼的研究发现,其最佳超高压工艺条件为 500 MPa、20 ℃、15 min,鲢鱼的感官变化在处理前后基本保持一致,但弹性略有下降。刘安军等^[35]对海鲈鱼鱼肠进行超高压处理,发现海鲈鱼鱼肠的硬度随着压力的升高呈现先升后降再升高的特点,而弹性则为持续升高,400 MPa 为超高压处理的最佳工艺条件。王敏等^[48]发现超高压对贻贝肉的质构影响较大,可显著提高贝肉的硬度、咀嚼性、内聚性与弹性,对其质构改善有明显影响。邓记松等^[27]研究发现,牡蛎经 500 MPa、20 min 处理后,20 d 仍能保持其形态饱满。经过 150 MPa 超高压处理后的冷冻竹荚鱼,其色差、纹理、风味与口感等都与鲜肉接近,具有较高的可接受性和营养价值^[48]。

部分学者^[49]研究还发现,超高压处理会导致虾仁通透性降低,300 MPa 以上的超高压将使虾仁变白。与对照组相比,其 L^* 值增大, a^* 值减小。王璿等^[14]对金枪鱼进行超高压处理,结果得出处理后的生鲜金枪鱼片,其硬度与压力、保压时间正相关,弹性高于对照组。超高压处理组随着贮藏时间和压力值的上升,其 L^* 值随之升高,鱼片的透明度降低。易俊洁等^[40]发现处理后的鲍鱼,水分含量显著升高,pH 值变化不明显,亮度 L^* 值明显增加。大菱鲆经过超高压处理

后,其 L^* 值上升, a^* 值下降,pH 值随压力增大而升高,且挥发性气味较对照组明显下降^[46];超高压处理冷冻的生章鱼可有效抑制其异味混合物的产生^[50]。

2.2.2 对水产品贮藏期间品质变化的影响 超高压除对水产品具有较好的杀菌效果外,还能延缓贮藏期间水产品的品质劣变,延长其贮藏货架期。Křižek 等^[51]采用超高压处理梭子鱼片,发现其可使鱼片在 3.5~12.0 ℃ 条件下的贮藏保鲜期延长至 70 d。杨华等^[29]对养殖大黄鱼进行超高压处理,发现处理后的大黄鱼在贮藏 12 d 后,其三甲胺与吲哚含量明显降低。此外,超高压处理还可降低太平洋牡蛎的 pH 值,增加其水分含量和感官分值。王国栋等^[11]发现虾仁经超高压处理后,可有效抑制其在冷藏期间 pH 值和 TVB-N 值的升高,其中 300 MPa 处理的虾仁,在经过 15 d 的冷藏后,其 TVB-N 值仍可维持在低于 30 mg/100 g 的水平。金枪鱼经超高压处理后,其在 12 d 内的 TVB-N 值始终未超过生食标准^[14]。王敏^[48]研究发现,超高压处理可使贻贝肉的保质期延长至 10 d 以上。朱兆娜^[52]研究得出,超高压可抑制冻藏鱼冻含水量的下降与 TVB-N 值的升高,使鱼冻冻藏期间持水性的下降速度明显延缓。杨华等^[53]发现鲢鱼经超高压处理后的水分含量由 83.42% 升至 85.59%,蛋白质从 9.9% 降至 7.2%,脂肪和氨基酸氮未发生变化,其基本营养成分也无较大改变。

同时,也有学者^[54]发现超高压处理可提高鱼肉的理化性质,抑制其腐败,风味优于未经处理的对照组。邓记松等^[27]分别对牡蛎与海参进行超高压处理,结果发现超高压可有效抑制牡蛎与海参 TVB-N 值的升高。其中,牡蛎在 450 MPa、10 min 的处理条件下货架期达 20 d,海参经 500 MPa、20 min 处理后的保鲜期为 38 d,且对其含水量、灰分、蛋白质与多糖等营养物质的影响不大。

2.3 超高压协同加工处理技术对水产品品质变化的影响

随着水产品保鲜技术水平的提高,部分学者还开展了超高压协同其他处理方式对水产品进行复合加工处理的研究。将其与热处理、冷冻、添加保鲜剂等方式相结合,使超高压技术更好地应用于水产品的杀菌保鲜当中^[55],起到减少能耗,提高效益的目的^[56]。童立上等^[57]将超高压与漂烫处理相结合,研究得出新鲜鲢鱼的最佳处理工艺条件为:90 ℃ 漂烫 10 min,超高压 400 MPa,保压时间 10 min。此法比单一处理对食品的杀菌效果好,且感官品质更优。雒莎莎等^[58]将超高压处理与冰温贮藏相结合,发现其对鳙鱼的品质有明显改善。陈淑花等^[59]发现超高压与低温协同处理,可保护鱼肉的微观组织,提高鱼肉的冻结质量。将超高压辅助解冻处理,能明显降低鱼肉在解冻时的汁液损失。黄小鸣等^[17]将超高压协同溶菌酶、Nisin 对虾仁进行杀菌保鲜处理。结果发现,该处理能完全杀灭虾仁中的单增李斯特菌,延缓其质构、pH 值、TVB-N 值与 TBA 值的改变,使虾仁的冷藏货架期延长至 18~20 d。胡飞华等^[60]将超高压与多种凝胶增强剂结合处理发现,超高压处理能使梅鱼鱼糜的凝结强度明显改善。

3 总结与展望

超高压技术诞生至今已有 100 多年,虽在部分食品研究领域中得到应用,但与国外相比,中国尚处于起步阶段,国内的研究机构和企业也正对超高压设备和技术进行研究和开发,但还存在一些不足^[61]。由于超高压处理装置需要较高投入,短期内不利于市场推广。同时,其对食品的外观形态也会产生影响,加之消费者对超高压技术处理后的食品形态不熟悉,在面对超高压处理后产品的生食时,常会对其能否达到生食标准产生困惑。此外,超高压处理后的食物易出现轻微熟食的状态,也会对消费者产生一定的困扰^[13];采用室温和 400 MPa 的静水高压处理,不能杀灭芽孢。压力过高,还会对食品造成不同程度的破坏;不同食品对高压的耐受性与敏感性差异也较大^[1]。但是,与传统的热处理工艺相比,超高压为环境友好型的加工技术,要达到相同的品质改变,加工所需能量只是热加工处理的 1/10^[49]。

尽管超高压处理技术存在着一定的局限性,但其在水产品中的发展前景仍十分广阔。随着消费者对食品品质与安全的重视,超高压处理技术以其冷杀菌,耗能少,能保持食品的营养价值与食用品质等优点而得到日益广泛的应用。如能将其与相关冷处理技术(食品添加剂、臭氧灭菌、超声波、pH、辐照处理等)相结合,将能弥补其单一使用带来的不足。作为冷处理技术之一,超高压技术必将成为水产品加工的基础加工工序,由超高压处理生产的水产品也将逐渐走进普通消费者的餐桌。

参考文献

1 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.

2 申海鹏. 超高压杀菌技术在食品行业的应用与发展[J]. 食品安全导刊, 2012(7): 44~46.

3 Hite B H. The effect of pressure in the preservation of milk [J]. Bull. West Virginia Univ. Agric. Exper. Stn., 1899 (58): 15~35.

4 熊建文, 张佳艳, 蔡锦源. 水产品物理保鲜技术研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2012, 33(5): 92~97.

5 巩雪, 常江, 李丹婷. 超高压保鲜包装技术的研究进展[J]. 包装工程(工程版), 2014, 35(3): 97~101,111.

6 李学鹏, 励建荣, 李婷婷, 等. 冷杀菌技术在水产品贮藏与加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(6): 173~179.

7 Bauer B A, Hartmann M, Sommer K, et al. Optical in situ analysis of starch granules under high pressure with a high pressure cell [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2004, 5(3): 293~298.

8 Trujillo A J, Capellas M, Buffa M, et al. Application of high pressure treatment for cheese production [J]. Food Research International, 2000, 33(3): 311~316.

9 Funtenberger S, Dumay E, Cheftel J C. High pressure promotes β -lactoglobulin aggregation through SH/SS interchange reactions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(3): 912~921.

10 魏静, 崔峰, 张永进, 等. 基于虾类食品的保鲜保藏技术研究进展[J]. 渔业现代化, 2013, 40(4): 55~60.

11 王国栋. 超高压处理对食品品质的影响[D]. 大连:大连理工大学, 2013.

12 Hendrickx M, Ludikhuyze L, Van den Broeck I, et al. Effects of high pressure on enzymes related to food quality [J]. Trends in Food Science & Technology, 1998, 9(5): 197~203.

13 岳进, 骆亚丽, 钟宇, 等. 高静压对水产品加工及其致敏性影响的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(2): 569~578.

14 王璵. 超高压处理生鲜金枪鱼片保鲜研究[D]. 广州:华南理工大学, 2011.

15 傅玉颖, 张卫斌. 超高压在食品保藏中的应用[J]. 山西食品工业, 2000(1): 43~44.

16 Murchie L W, Cruz-Romero M, Kerry J P, 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.

17 黄小鸣. 超高压协同溶菌酶, nisin 处理对单增李斯特菌的影响及其在鲜虾仁杀菌中的应用[D]. 杭州:浙江工商大学, 2013.

18 郝梦甄, 胡志和. 超高压技术在水产品加工中的应用[J]. 食品科学, 2012, 33(1): 298~304.

19 Ritz M, Tholozan J L, Federighi M, et al. Morphological and physiological characterization of *Listeria monocytogenes* subjected to high hydrostatic pressure [J]. Applied and environmental microbiology, 2001, 67(5): 2 240~2 247.

20 Norton T, Sun D W. Recent advances in the use of high pressure as an effective processing technique in the food industry [J]. Food and Bioprocess Technology, 2008, 1(1):32~34.

21 Shimada S, Andou M, Naito N, et al. Effects of hydrostatic pressure on the ultrastructure and leakage of internal substances in the yeast *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1993, 40(1): 123~131.

22 Fletcher G C, Youssef J F, Gupta S. Research issues in inactivation of *Listeria monocytogenes* associated with New Zealand greenshell mussel meat (*Perna canaliculus*) using high-pressure processing [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2008, 17(2): 173~194.

23 王瑞, 乔长晟, 贾鹏, 等. 生鲜毛蚶超高压杀菌工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(1): 156~158.

24 郝梦甄, 胡志和. 超高压处理对海参污染副溶血弧菌及细菌的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 218~223.

25 Lopez-Caballero M E, Pérez-Mateos M, Montero P, et al. Oyster preservation by high-pressure treatment [J]. Journal of Food Protection, 2000, 63(2): 196~201.

26 Cruz-Romero M, Smiddy M, Hill C, et al. Effects of high pressure treatment on physicochemical characteristics of fresh oysters (*Crassostrea gigas*) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2004, 5(2): 161~169.

27 邓记松. 超高压处理海珍品保鲜实验研究[D]. 大连:大连理工大学, 2009.

28 夏远景. 超高压食品处理工艺基础研究[D]. 大连:大连理工大

学, 2012.

29 杨华, 梅清清, 张慧恩. 超高压处理和贮藏对养殖大黄鱼中微生物, 酶及风味的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(21): 209~216.

30 Gou Jing-yu, Xu Hua, Choi Geun-Pyo, et al. Application of high pressure processing for extending the shelf-life of sliced raw squid [J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(4): 923~927.

31 Karim N U, Kennedy T, Linton M, et al. Effect of high pressure processing on the quality of herring (*Clupea harengus*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stored on ice [J]. Food Control, 2011, 22(3): 476~484.

32 Gómez-Estaca J, Montero P, Giménez B, et al. Effect of functional edible films and high pressure processing on microbial and oxidative spoilage in cold-smoked sardine (*Sardina pilchardus*) [J]. Food Chemistry, 2007, 105(2): 511~520.

33 杨珏青. 生鱼片的两难[J]. 食品与生活, 2014(6): 12~15.

34 Teixeira B, Fidalgo L, Mendes R, et al. Effect of high pressure processing in the quality of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets: Pressurization rate, pressure level and holding time [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 22: 31~39.

35 刘安军, 尚校兰, 郑捷, 等. 超高压与温度协同处理海鲈鱼鱼肠的工艺优化[J]. 现代食品科技, 2011, 27(9): 1 090~1 095.

36 Fidalgo L G, Saraiva J A, Aubourg S P, et al. Effect of high-pressure pre-treatments on enzymatic activities of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) during frozen storage [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 23(6): 18~24.

37 赵伟, 杨瑞金, 张文斌, 等. 超高压处理对牡蛎超微结构, 组分及蛋白质变性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(5): 7~11.

38 Zhu Shu, Ramaswamy H S, Simpson B K. Effect of high-pressure versus conventional thawing on color, drip loss and texture of Atlantic salmon frozen by different methods [J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37(3): 291~299.

39 Gustavo V, Barbosa-Canovas. 连载: 高压食品加工技术(四)——商用高压设备[J]. 张懋, 译. 中国食品, 2012(7): 48~49.

40 易俊洁, 董鹏, 丁国微, 等. 鲍鱼超高压脱壳工艺的优化及品质研究[J]. 高压物理学报, 2014, 28(2): 239~246.

41 王成忠, 夏敏敏. 超高压对刺参发泡及其品质的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2 081~2 085.

42 王菁. 超高压辅助提取虾壳中虾青素的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

43 罗晓玲, 杨瑞金, 赵伟, 等. 超高压处理复合鱼糜凝胶性能研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(4): 15~18, 38.

44 Ramirez-Suarez J C, Morrissey M T. 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): 19~27.

45 Chéret R, Chapleau N, Delbarre-Ladrat C, et al. Effects of high pressure on texture and microstructure of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fillets[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(8): 477~483.

46 刘剑侠, 李婷婷, 密娜, 等. 超高压处理对大菱鲆品质的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(20): 102~106.

47 杨华, 张李玲, 张慧恩, 等. 缢蛏超高压保鲜工艺的研究[J]. 食品科技, 2014, 39(4): 129~134.

48 王敏. 超高压对贻贝脱壳及品质的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.

49 甘晓玲. 超高压处理对南美白对虾虾仁的品质影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.

50 Hsu Chiao-ping, Huang Hsiao-wen, Wang Chung-yi. Effects of high-pressure processing on the quality of chopped raw octopus [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 56(2): 303~308.

51 Křižek M, Matějková K, Vácha F, et al. Biogenic amines formation in high-pressure processed pike flesh (*Esox lucius*) during storage [J]. Food Chemistry, 2014, 151: 466~471.

52 朱兆娜. 超高压鱼冻生产工艺及贮藏特性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.

53 杨华, 张李玲, 张慧恩, 等. 缢蛏超高压保鲜工艺的研究[J]. 食品科技, 2014, 39(4): 129~134.

54 Truong B Q, Buckow R, Stathopoulos C E, et al. Advances in high-pressure processing of fish muscles [J]. Food Engineering Reviews, 2014(6): 1~21.

55 黄小鸣, 童钰, 马君妍, 等. 耐超高压胁迫副溶血性弧菌的逆境耐受性[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 164~169.

56 Bayındırlı 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 Control, 2006, 17(1): 52~58.

57 童立上, 马莉锋, 陈军, 等. 新鲜鲑鱼超高压杀菌工艺试验[J]. 轻工机械, 2014, 32(3): 63~65.

58 雒莎莎, 童彦, 朱瑞, 等. 超高压处理对鲮品质的影响[J]. 水产学报, 2012, 35(12): 1 897~1 903.

59 陈淑花, 赵启成, 夏远景, 等. 超高压与低温协同作用对黄花鱼品质影响的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(4): 517~520.

60 胡飞华. 梅鱼鱼糜超高压凝胶化工艺及凝胶机理的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2010.

61 陈军. 超高压食品的冷链解决方案[J]. 中国调味品, 2014, 39(1): 115~119.