

超高压处理在毛蚶脱壳和减菌化中的作用研究

孟辉辉^{1,2}, 曹荣^{2*}, 刘淇², 魏玉西¹

(1. 青岛大学生物系, 青岛 266071; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

摘要: **目的** 明确超高压处理对毛蚶脱壳效果、感官品质以及细菌总数的影响, 建立超高压技术在毛蚶加工中的工艺参数。**方法** 以鲜活毛蚶为对照, 在 250~500 MPa 的压力范围内设置 6 个超高压处理组, 根据闭壳肌是否脱离以及壳的完整情况记录毛蚶脱壳效果, 通过感官评定、电子鼻气味分析, 以及 pH、TVB-N、细菌总数等指标的测定评价不同压力处理对毛蚶品质和微生物的影响。**结果** 300 MPa 及以下的处理压力对毛蚶闭壳肌作用小, 脱壳效果较差, 而 450 MPa 及以上的压力处理会造成毛蚶壳的破损。毛蚶经超高压处理后, 感官评分略有下降, 其中 350 MPa 及以下压力的处理组与对照组之间无显著性差异($P>0.05$), 而 400 MPa 及以上压力处理组由于气味的变化, 对应的感官评分显著降低($P<0.05$)。超高压处理对毛蚶 TVB-N 无显著影响($P>0.05$), 300 MPa 及以上压力处理组的 pH 显著升高($P<0.05$)。毛蚶细菌总数随处理压力的增大显著下降。**结论** 综合考虑脱壳效果、感官品质以及减菌化效果, 350~400 MPa 的区间范围比较适宜作为毛蚶的超高压处理工艺。**关键词:** 毛蚶; 超高压; 电子鼻; 细菌总数

Effects of high pressure processing on the shucking and sterilization of *Scapharca subcrenata*

MENG Hui-Hui^{1,2}, CAO Rong^{2*}, LIU Qi², WEI Yu-Xi¹

(1. Department of Biology, Qingdao University, Qingdao 266071, China; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

ABSTRACT: Objective To analyze the effect of high pressure (HP) treatment on shucking, quality and total bacteria count of *Scapharca subcrenata*, thereby establishing HP parameters in *Scapharca subcrenata* processing. **Methods** Compared with fresh *Scapharca subcrenata*, 6 groups within 250~500 MPa were designed. The detachment of adductor muscle, damage of shell, sensory evaluation, odor analysis (based on E-nose), pH value, TVB-N value, and total bacteria count were determined. **Results** Pressures of 300 MPa and below were less effective in adductor muscle detaching and shucking, and pressure of 450 MPa and above would result in shell breakage. The sensory scores of *Scapharca subcrenata* with HP treatments declined slightly. There was no significant difference between the control group and groups with HP treatment lower than 350 MPa ($P>0.05$). HP treatment higher than 400 MPa caused changes in odor, thus the sensory score decreased significantly ($P<0.05$). No significant effect of high pressure treatment on TVB-N was detected. However, pH of *Scapharca subcrenata* treated by HP of 300 MPa and above increased significantly ($P<0.05$). The total bacteria count of *Scapharca subcrenata* decreased significantly with the increase of treating pressure.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31301587)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31301587)

*通讯作者: 曹荣, 副研究员, 主要研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: caorong@ysfri.ac.cn

*Corresponding author: CAO Rong, Associate Researcher, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China. E-mail: caorong@ysfri.ac.cn

Conclusion Considering the effect of shucking, organoleptic quality and bacteria reducing, HP scale of 350-400 MPa is more appropriate for *Scapharca subcrenata* processing.

KEY WORDS: *Scapharca subcrenata*; high pressure processing; E-nose; total bacterial count

1 引言

毛蚶(*Scapharca subcrenata*)又称毛蛤、麻蛤、血蚌、瓦楞子,隶属于软体动物门、双壳纲、列齿目、蚶科、毛蚶属,广泛分布于中国、朝鲜和日本沿岸,是一种常见的经济贝类^[1]。毛蚶味道鲜美且富含蛋白质、不饱和脂肪酸、微量元素等营养成分^[2],深受消费者喜爱。中国部分地区一直有生食或半生食毛蚶的消费习惯,食用安全性存有巨大隐患。如1998年上海甲型肝炎大流行主要就是由于食用不洁毛蚶引起的。为保障毛蚶的食用安全,国内学者在毛蚶净化^[3]、加工方式^[4,5]等方面开展了系列研究。

随着科学技术的进步,超高压技术作为一种新兴的食品处理手段,日益受到人们的关注。超高压技术是将软包装的食品放入密封的、高强度的压力容器中,以水或矿物油为传压介质,施加100~1000 MPa的静水压力,并维持一定的时间,从而达到灭菌、物料改性和改变食品某些物理、化学反应速度的效果^[6]。近二十年来,国内外学者对超高压技术在果蔬、肉制品、乳制品等领域的应用开展了大量研究^[6,7],而在水产品领域的研究相对较少。

超高压处理在贝类脱壳方面存在技术优势,可以节省大量人工开壳的生产成本,因此超高压技术在双壳贝类中的应用成为国内外学者的研究焦点。如He等^[8]以及Cruz-Romero等^[9]研究了超高压在牡蛎开壳和品质保持中的作用;王瑞等^[10]就毛蚶超高压杀菌工艺开展了部分研究。目前,尚未有超高压对毛蚶脱壳和品质影响方面的研究报道。本文研究了不同超压力处理条件对毛蚶开壳和减菌化的作用,同时分析了超高压处理对毛蚶感官品质、理化指标的影响。本研究有助于丰富毛蚶加工手段,为毛蚶质量安全的控制提供技术参考。

2 材料和方法

2.1 试验材料与仪器

鲜活毛蚶购于山东省青岛市新贵都水产批发市场。选取大小均一个体,流水清洗干净后备用。

HPP.L3-600/0.6 超高压设备(天津市华泰森森生物工程技术有限公司); PB-21 型 pH 计(赛多利斯科学仪器(北京)有限公司); MLS-3780 型高压蒸汽灭菌器(日本 Sanyo 公司); SPX-30085-II 型生化培养箱(上海新苗医疗器械制造有限公司); 洁净工作台(苏州安泰空气技术有限公司); PEN3 便携式电子鼻(德国 Airsense 公司)

2.2 试验方法

2.2.1 超高压处理

毛蚶置于聚乙烯塑料袋中,个体之间留有一定的空隙,真空包装后即刻进行超高压处理。所有处理均在室温下进行,压力上升速度约为 20 MPa/s,压力范围为 0~600 MPa。样品分为 7 组,分别为:(1)对照组,手工开壳;(2)250 MPa, 2 min;(3)300 MPa, 2 min;(4)350 MPa, 2 min;(5)400 MPa, 2 min;(6)450 MPa, 2 min;(7)500 MPa, 2 min。每组 40 只毛蚶。

2.2.2 脱壳情况描述与记录

超高压处理后,对毛蚶逐一进行检查并记录其脱壳情况。脱壳情况分为以下 4 种:

- (1)完全未脱壳:闭壳肌未脱离,需施加外力开壳;
- (2)部分脱壳:闭壳肌部分脱离,稍施加外力开壳;
- (3)完全脱壳:闭壳肌完全脱离,壳无破损;
- (4)过度脱壳:闭壳肌完全脱离,但壳有破损。

2.2.3 感官评价

由 6 名经过培训的人员按照表 1 分别对毛蚶的气味、色泽、质地进行打分,各分项相加作为综合感官评分。

2.2.4 电子鼻气味分析

选取对照组、300 MPa 处理组和 500 MPa 处理组进行气味组成分析。每组准确称量 1.0 g 均质样品,装入 20 mL 顶空瓶中,室温平衡 30 min 后进行测定。测定参数为:传感器清洗时间 100 s,进样时间 3 s,气体流速 150 mL/min,数据采集时间 120 s。应用内置软件(Winmuster, version 1.6.2)进行数据分析,采用主成分分析(PCA)法。

2.2.5 生化指标测定

pH 值:参照 GB/T 9695.5-2008^[11]。

总挥发性盐基氮 (TVB-N): 参照 SC/T 3032-2007^[12], 采用微量扩散法。

2.2.6 细菌总数测定

参照 GB/T 4789.2-2010^[13], 并略作修改。称取 10.0 g 蚶体在无菌条件下匀浆, 加 90.0 mL 无菌生理盐水制成 1 g/mL 稀释液, 用梯度稀释法进一步制成 0.1、0.01 和 0.001 g/mL 等稀释度的稀释液。取 100 μ L 各稀释度的稀释液涂布营养琼脂平板, 置于 30 $^{\circ}$ C 恒温培养箱中, 48 h 后计数。结果以 lg CFU/g 表示。

2.3 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行处理, 试验重复 2 次, 每次设 3 个平行样品, 结果以平均值 \pm 标准偏差 (Mean values \pm SD) 表示, 显著性以 $P < 0.01$ 为极显著, $P < 0.05$ 为显著, $P > 0.05$ 为不显著。

3 结果与分析

3.1 超高压处理参数对毛蚶脱壳效果的影响

脱壳是超高压技术在双壳贝类加工中最为重要的功能之一。超高压会断裂蛋白质高级结构中的非共价键, 导致闭壳肌蛋白的变性, 进而破坏连接组织,

造成闭壳肌的脱离, 实现双壳贝类的脱壳^[14]。不同压力条件下毛蚶的脱壳效果见表 2。250 MPa 条件下, 完全未脱壳的毛蚶数量占 82.5%, 说明该压力对闭壳肌的作用小。随着处理压力的提高, 部分脱壳和完全脱壳的毛蚶比例增大, 比较适宜的处理压力为 400 MPa, 此压力条件下, 完全脱壳的毛蚶比例达到 90% 以上。当处理压力进一步增大时, 会造成壳的破损, 其中 450 MPa 条件下, 壳破损的毛蚶比例已达到 20%。因此, 毛蚶的脱壳压力适宜控制在 400 MPa 左右。

3.2 超高压处理对毛蚶感官品质与生化指标的影响

新鲜毛蚶肉体鲜红有光泽, 质地坚实有弹性, 有蚶体固有香气, 对应的感官综合评分为 8.8 分。经超高压处理后, 感官评分略有下降, 其中 250 MPa、300 MPa 和 350 MPa 处理组与对照组之间无显著性差异 ($P > 0.05$), 而 400 MPa、450 MPa 和 500 MPa 处理组对应的感官评分显著降低 ($P < 0.05$)。400 MPa、450 MPa 和 500 MPa 处理的毛蚶气味弱, 固有香气不明显, 气味的变化是造成这 3 组评分降低的主要原因。

表 1 毛蚶感官评分标准
Table 1 Sensory evaluation standard for *Scapharca subcrenata*

指标	评分			
	3	2	1	0
气味	固有香气	气味弱	轻微腐败气味	明显腐败气味
色泽	鲜红, 有光泽	色稍暗, 有光泽	暗红, 略有光泽	暗红, 无光泽
质地	坚实, 有弹性	硬度稍小, 有弹性	稍软, 弹性差	软, 无弹性

表 2 不同压力下毛蚶的脱壳效果
Table 2 Shucking effect of different pressure on *Scapharca subcrenata*

脱壳效果%	超高压处理参数					
	250 MPa	300 MPa	350 MPa	400 MPa	450 MPa	500 MPa
完全未脱壳	82.5	12.5	0	0	0	0
部分脱壳	15.0	70.0	22.5	0	0	0
完全脱壳	2.5	17.5	75.0	97.5	80.0	67.5
过度脱壳	0	0	2.5	2.5	20.0	32.5

注: 每组毛蚶数量为 40 只; 处理时间均为 2 min。

新鲜毛蚶 pH 为 6.97, 经超高压处理后 pH 略有上升, 其中 250 MPa 处理组与对照组无显著差异, 300 MPa 及以上压力处理组的 pH 显著高于对照组 ($P<0.05$)。这与 Cruz-Romero 等^[9]对牡蛎的研究结果类似。Ramirez-Suarez 等^[15]研究了长鳍金枪鱼经超高压处理后生化指标的变化, 同样发现鱼肉 pH 会随处理压力的增大而略有上升。TVB-N 是指动物性食品由于酶和细菌的作用, 在腐败过程中蛋白质分解而产生的氨以及胺类等碱性含氮物质, 被广泛作为反映鱼、贝、虾类等水产品鲜度的重要指标^[16]。新鲜毛蚶的初始 TVB-N 值为 11.97 mg/100g, 经超高压处理后 TVB-N 值并无显著变化。

表 3 不同压力处理对毛蚶 pH、TVB-N 和感官评分的影响
Table 3 Effect of processing pressure on pH, TVBN and sensory scores of *Scapharca subcrenata*

压力 /MPa	pH	TVB-N/(mg/100g)	感官评分
0	6.97±0.02 ^a	11.97±133 ^a	8.8±0.2 ^a
250	6.90±0.04 ^a	10.92±1.41 ^a	8.5±0.4 ^{a,b}
300	7.02±0.01 ^b	11.83±1.17 ^a	8.4±0.4 ^{a,b}
350	7.03±0.02 ^b	11.55±1.38 ^a	8.5±0.5 ^{a,b}
400	7.05±0.03 ^b	10.40±0.94 ^a	8.1±0.3 ^b
450	7.02±0.02 ^b	10.99±1.20 ^a	8.0±0.4 ^b
500	7.05±0.02 ^b	11.84±1.19 ^a	8.0±0.3 ^b

注: 同一列标注不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

3.3 超高压处理对毛蚶气味组成的影响

电子鼻 10 个传感器对鲜活毛蚶、300 MPa 处理组和 500 MPa 处理组毛蚶的响应值见表 4。其中传感器 R(2)、R(3)、R(5)、R(6)、R(8)的响应值在三组之间有显著差异($P<0.05$)。将电子鼻原始数据用主成分分析法(PCA)进行处理, 结果见图 1。主成分分析可以将电子鼻 10 个传感器检测得到的数据进行转换和降维, 并对降维后的特征向量进行线性分类, 最后在二维散点图上显示^[15]。由图 1 可以看出, 第 1 主成分(横坐标轴)和第 2 主成分(纵坐标轴)的贡献率分别为 54.40%和 44.63%, 总贡献率达 99.03%, 表明这两个主成分基本包含了样本的信息, 可以用来表征毛蚶的气味组成情况。对照组、300MPa 处理组和 500MPa 处理组的电子鼻特征区域没有重叠, 表明这三组的毛蚶样品在气味组成上有明显差别。这一结果与感官评定中超高压处理组(500 MPa)对应的气味评分较对照组低的现象一致。

3.4 超高压处理对毛蚶细菌总数的影响

鲜活毛蚶的细菌总数达到 5.75 lg CFU/g, 与张辉等^[18]的研究结果类似。毛蚶初始菌数高于海产鱼^[19]、虾类^[20]等, 这可能与毛蚶具有滤食特性及其生长环境有关。超高压处理在毛蚶减菌化方面展现出明显效果, 随着处理压力的增大, 细菌总数迅速下降。当处理压力为 500 MPa 时, 细菌总数为 2.80 lg CFU/g,

表 4 电子鼻对不同压力处理的毛蚶响应值
Table 4 E-nose response values of *Scapharca subcrenata* with different HP treatments

传感器	响应值			性能描述	代表性化合物及其响应阈值
	对照组	300 MPa	500 MPa		
R(1)	1.419±0.011 ^a	1.410±0.021 ^a	1.647±0.014 ^b	芳香成分	甲苯 10 mL/m ³
R(2)	1.893±0.013 ^a	2.185±0.018 ^b	2.444±0.018 ^c	灵敏度高, 对氮氧化合物敏感	NO ₂ 1 mL/m ³
R(3)	1.475±0.009 ^b	1.344±0.011 ^a	1.602±0.019 ^c	氨水, 对芳香成分灵敏	苯 10 mL/m ³
R(4)	1.082±0.016 ^a	1.071±0.023 ^a	1.076±0.018 ^a	主要对氢气有选择性	H ₂ 100 mL/m ³
R(5)	1.447±0.026 ^b	1.280±0.012 ^a	1.518±0.022 ^c	烷烃芳香成分	丙烷 1 mL/m ³
R(6)	1.845±0.023 ^b	1.659±0.018 ^a	2.072±0.026 ^c	对甲烷灵敏	CH ₄ 100 mL/m ³
R(7)	0.923±0.025 ^a	0.942±0.031 ^a	0.955±0.027 ^a	对硫化物灵敏	H ₂ S 1 mL/m ³
R(8)	2.147±0.009 ^c	1.549±0.017 ^a	1.911±0.017 ^b	对乙醇灵敏	CO 100 mL/m ³
R(9)	1.010±0.017 ^a	0.970±0.025 ^a	1.037±0.014 ^b	芳香成分, 对有机硫化物灵敏	H ₂ S 1 mL/m ³
R(10)	1.206±0.010 ^a	1.201±0.024 ^a	1.211±0.010 ^a	对烷烃灵敏	CH ₄ 10 mL/m ³

注: 同一行标注不同字母表示差异显著($P<0.05$)

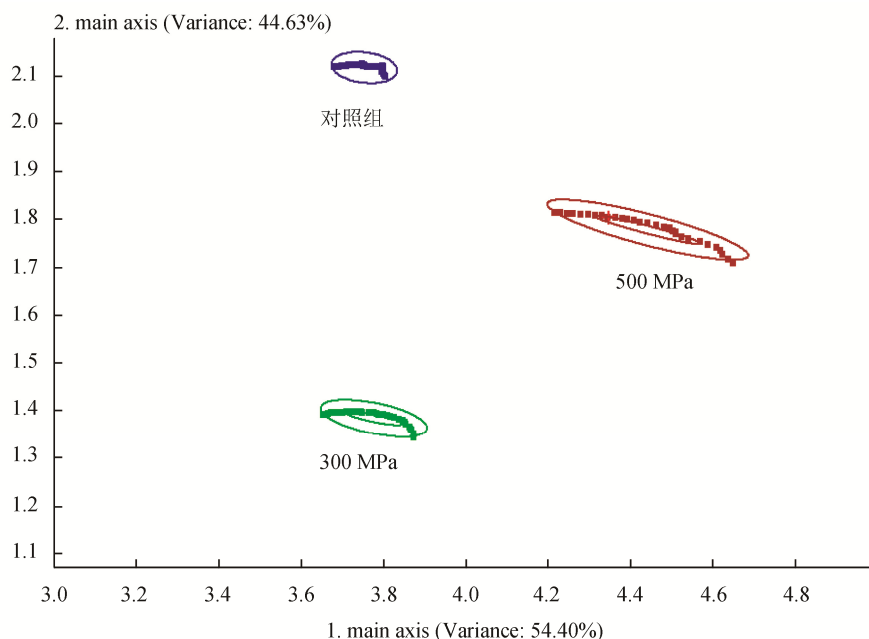


图 1 不同压力处理的毛蚶电子鼻响应值的 PCA 分析图

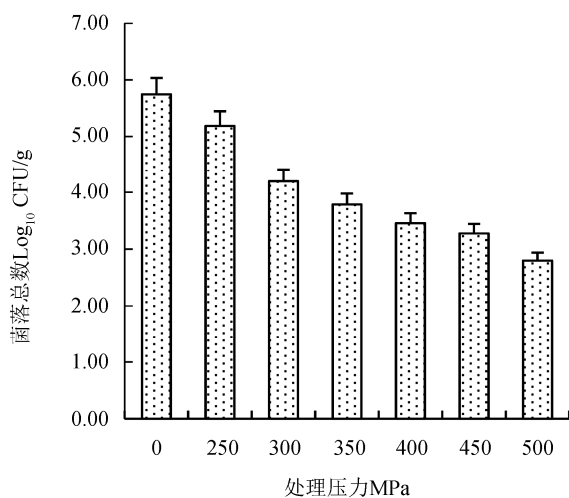
Fig. 1 PCA analysis of E-nose response values of *Scapharca subcrenata* with different HP treatments

图 2 超高压处理对毛蚶细菌总数的影响

Fig. 2 Changes in aerobic bacterial count of *Scapharca subcrenata* with HP treatments

与对照组相比下降近 3 个数量级。王瑞等^[10]研究认为 500 MPa、温度 40 °C、保压时间 5 min 适宜作为生鲜毛蚶的杀菌工艺。然而, 过高的处理压力会造成毛蚶壳的破损(表 2), 对感官品质(表 3)也有不利影响。因此, 综合考虑脱壳效果、感官品质以及减菌化效果, 350~400 MPa 的区间范围比较适宜作为毛蚶的处理工艺。

4 结 论

毛蚶在超高压作用下可实现脱壳, 300 MPa 以下的压力对闭壳肌作用小, 脱壳效果较差, 而 450 MPa 以上的压力会造成毛蚶壳的破损。毛蚶经超高压处理后, 感官评分略有下降, 其中 350 MPa 及以下压力的处理组与对照组之间无显著性差异($P>0.05$), 而 400 MPa 及以上压力处理组由于气味的变化, 对应的感官评分显著降低($P<0.05$)。超高压处理对毛蚶 TVB-N 无显著影响($P>0.05$), 而 300 MPa 及以上压力处理组的 pH 显著升高($P<0.05$)。毛蚶细菌总数随处理压力的增大显著下降, 综合考虑脱壳效果、感官品质以及减菌化效果, 350~400 MPa 的区间范围比较适宜作为毛蚶的处理工艺。

参考文献

- [1] 陈建华, 阎斌伦, 高焕. 毛蚶生物学特性及其研究进展[J]. 河北渔业, 2006, 153(9): 24-26.
Chen JH, Yan BL, Gao H. Research progress on biological characteristics of *Scapharca subcrenata* [J]. Hebei Fish, 2006, 153(9): 24-26.
- [2] 李谦, 李泰明. 毛蚶提取物生化性质初步分析[J]. 药物生物技术, 1998, 5(4): 245-247.

- Li Q, Li TM. Study on biochemical properties of *Scapharca subcrenata* extract [J]. Pharm Biotechnol, 1998, 5(4): 245–247.
- [3] 张曦, 刘国星, 滕峥, 等. 毛蚶中甲肝病毒净化实验研究[J]. 上海预防医学, 2002, 14(7): 320–321.
Zhang X, Liu GX, Teng Z, *et al.* Research for decontaminating techniques of HAV in hairy clams [J]. Shanghai J Prev Med, 2002, 14(7): 320–321.
- [4] 黎立瑾, 李子华. 煮沸对毛蚶中甲型肝炎病毒的灭活作用[J]. 海峡预防医学杂志, 1997, 3(1): 46–49.
Li LJ, Li ZH. Effect of boiling on inactivation of HAV in *Scapharca subcrenata* [J]. Strait J Prev Med, 1997, 3(1): 46–49.
- [5] 万慧一, 曹荣, 刘淇, 等. 热烫处理对毛蚶感官品质及蚶体附生微生物的影响[J]. 湖南农业科学, 2011 (12): 124–126.
Wan HY, Cao R, Liu Q, *et al.* Effect of scalding on the sensory quality and microbial flora of *Scapharca subcrenata* [J]. Hunan Agric Sci, 2011(12): 124–126.
- [6] Martynenko A, Astatkie T, Satanina V. Novel hydrothermodynamic food processing technology [J]. J Food Eng, 2015, 152: 8–16.
- [7] Serment-Moreno V, Fuentes C, Barbosa-Cánovas G, *et al.* Evaluation of high pressure processing kinetic models for microbial inactivation using standard statistical tools and information theory criteria, and the development of generic time-pressure functions for process design [J]. Food Bioprocess Technol, 2015, 8(6): 1244–1257.
- [8] He H, Adams RM, Farkas DF, *et al.* Use of high pressure processing for oyster shucking and shelf life extension[J]. J Food Sci, 2002, 67(2): 640–645.
- [9] Cruz-Romero M, Kelly AL, Kerry JP. Changes in the microbiological and physicochemical quality of high-pressure-treated oysters (*Crassostrea gigas*) during chilled storage [J]. Food Control, 2008, 19(12): 1139–1147.
- [10] 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, 1: 156–158.
Wang R, Qiao CS, Jia P, *et al.* Research on ultra-high pressure sterilization technology for *Scapharca subcrenata* [J]. Sci Technol Food Ind, 2007, 1: 156–158.
- [11] GB/T9695.5-2008 肉与肉制品 pH 测定[S].
GB/T9695.5-2008 Meat and meat products-Measurement of pH [S].
- [12] SC/T 3032-2007 水产品中挥发性盐基氮的测定[S].
SC/T 3032-2007 Determination of the total volatile basic nitrogen in fishery products [S].
- [13] GB/T4789.2-2010 食品微生物学检验菌落总数测定[S].
GB/T4789.2-2010 Food microbiological examination: Aerobic plate count [S].
- [14] Cruz-Romero M, Smiddy M, Hill C, *et al.* Effects of high pressure treatment on physicochemical characteristics of fresh oysters (*Crassostrea gigas*) [J]. Innov Food Sci Emerg, 2004, 5(2): 161–169.
- [15] Ramirez-Suarez JC, Morrissey MT. Effect of high pressure processing (HPP) on shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle [J]. Innov Food Sci Emerg, 2006, 7(1): 19–27.
- [16] Šimat V, Maršić-Lučić J, Tudor M, *et al.* Long-term storage influence on volatile amines (TVB-N and TMA-N) in sardines and herring utilized as food for tuna fattening [J]. J Appl Ichthyol, 2009, 25(6): 766–770.
- [17] Dutta R, Kashwan KR, Bhuyan M, *et al.* Electronic nose based tea quality standardization [J]. Neural Networks, 2003, 16(5): 847–853.
- [18] 张辉, 张海莲, 李丽娜. 毛蚶在微冻保鲜过程中菌落总数的变化[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(22): 11423–11424.
Zhang H, Zhang HL, Li LN. Changes of colony count in *Scapharca subcrenata* in the course of fresh-keeping [J]. J Anhui Agric Sci, 2012, 40(22): 11423–11424.
- [19] Yang H, Gao Y, Zhang H, *et al.* Effects of high hydrostatic pressure treatment on the qualities of cultured large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) during cold storage [J]. J Food Process Pres, 2014, 39(6): 1692–1701.
- [20] 曹荣, 刘淇, 殷邦忠. 对虾冷藏过程中细菌菌相变化的研究[J]. 保鲜与加工, 2011(1): 17–20.
Cao R, Liu Q, Yin BZ. Study on changes in microbial flora of prawns during storage [J]. Storage Process, 2011(1): 17–20.

(责任编辑: 金延秋)

作者简介



孟辉辉, 硕士, 主要研究方向为食品微生物学。

E-mail: menghuihui2014@163.com



曹荣, 副研究员, 主要研究方向为水产品加工与贮藏。

E-mail: caorong@ysfri.ac.cn