

文章编号: 1674 - 5566(2016)03 - 0465 - 06

DOI:10. 12024/jsou. 2015051464

## 超高压处理对鲢鱼糜品质和贮藏特性的影响

付 强<sup>1,2</sup>, 马海建<sup>1,2</sup>, 杨 璐<sup>1,2</sup>, 施文正<sup>1,2</sup>, 汪之和<sup>1,2</sup>

(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)

**摘 要:** 以鲢鱼糜作为研究对象, 首次分析了不同超高压处理条件(0、100、200、300、400、500 MPa, 保压时间为 10 min, 处理温度为 25 ℃)对其凝胶强度、白度及肌球蛋白热变性温度的影响, 并探究了不同压力处理后冷藏过程中(4 ℃)鲢鱼糜的菌落总数及挥发性盐基氮含量的变化规律。结果表明: 鲢鱼糜的凝胶强度随着压力增加呈现先升高后降低的变化趋势, 在 400 MPa 压力下达最大值。白度值随压力增加而增加, 但在 400 ~ 500 MPa 增加缓慢。DSC 图谱显示超高压处理对鱼糜制品的肌原纤维蛋白热变性温度的提升具有显著性影响( $P < 0.05$ )。冷藏条件下, 超高压处理可以有效地杀灭鱼糜中大部分细菌, 抑制贮藏过程中挥发性盐基氮的积累, 从而延长鲢鱼糜的货架期, 而且随着处理压力的增高货架期的延长效果越显著。综上所述, 超高压处理不仅能够改善鲢鱼糜的品质, 而且能够延长其冷藏货架期, 在鲢鱼糜加工与生产中具有良好的应用前景。

**关键词:** 鲢鱼糜; 超高压; 品质特性; 贮藏特性

**中图分类号:** TS 254.1      **文献标志码:** A

鲢是我国产量最大的淡水鱼种之一, 但由于其肌间刺较多且土腥味较重, 使得其接受程度不高, 导致了价格低廉的现状<sup>[1]</sup>。目前, 主要的解决方式是将鲢制成鱼糜产品, 以增加其工业价值, 并且能够提升其品质和贮藏特性<sup>[2]</sup>。超高压技术被列为当前食品工业“七大技术热点”和 21 世纪“十大尖端科技之一”<sup>[3-4]</sup>。作为一种非热加工技术, 超高压技术的最显著优势在于其对食品原有的色、香、味以及营养成分影响较小<sup>[5]</sup>。研究表明, 超高压处理可有效提高鱼糜的品质特性, 并延长鱼糜的保质期<sup>[5-6]</sup>。

国内外已有许多研究将超高压应用于鱼糜制品的加工<sup>[6-9]</sup>, 而对于其在鲢鱼糜中的应用, 也有一定程度的探索, 但现有研究仅涉及鱼糜制品的凝胶特性或色泽品相等方面, 仍有许多科学问题尚未进行全面系统地阐述。本研究在前人研究的基础之上, 较为系统地探讨了不同超高压压力对鲢鱼糜品质和贮藏特性的影响, 旨在为超高压技术的实际工业化应用提供理论基础

和实践依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验材料与试剂

主要材料与试剂: 新鲜鲢(购于上海市浦东新区临港新城古棕路菜市场), 蔗糖、山梨醇、焦磷酸钠、多聚磷酸钠、淀粉、食盐均为食品级, 肠衣, 真空包装袋, 去离子水, 戊二醛, 乙醇, 铝制坩埚等。

#### 1.2 实验设备

主要设备: HPP. L2-600/2 超高压处理设备, 天津华泰森森有限公司; TA-XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; CHROMA METER CR-400 色彩色差计, 日本 Minolta 公司; Hitachi S-3400N II 型扫描电镜, 上海日立高新技术有限公司; DZ-400-2D 真空包装机, 温州市鹿城区黄龙华能机械厂; DSC 823e 差式扫描量热仪, 瑞士梅特勒托利仪器有限公司。

收稿日期: 2015-05-29      修回日期: 2015-10-05

基金项目: 国家自然科学基金(31471685; 31171764)

作者简介: 付 强(1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: fuqiang998002@163.com

通信作者: 汪之和, E-mail: zhwang@shou.edu.cn

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 鲢鱼糜的制作工艺:

鲜活鲢→去鳞、内脏、头、尾→清洗→采肉→精滤→漂洗(鱼肉与水的比例 1:5,漂洗 3 次,水温低于 10 ℃)→离心脱水→斩拌(添加剂:4%蔗糖,4%山梨醇,0.3%焦磷酸钠,0.3%三聚磷酸钠)→装袋密封包装→-20 ℃冷藏备用。

#### 1.3.2 鱼肉肠的制备工艺:

冷冻鱼糜→解冻→斩拌(加盐和淀粉等)→灌肠→真空包装→超高压处理。

#### 1.3.2 样品超高压处理

将样品分别在 100、200、300、400、500 MPa 的耐压釜中保压 10 min,温度为 25 ℃,取出后迅速用冰水冷却,4 ℃放置等待处理。

#### 1.3.3 鱼肠热处理

采用二段加热法,先在 30 ℃ 条件下凝胶化 1 h,再 90 ℃ 加热 20 min;加热后避免褶皱现象立即置于冰水中冷却。

### 1.4 分析方法

#### 1.4.1 凝胶强度测定

将鱼肠切成 25 mm 长的圆柱形片段,使用质构仪测定。采用直径为 5 mm 的球形探头(P/5S),测前速度:2.0 mm/s,测试速度:1.0 mm/s,测后速度 10 mm/s,下压距离 15 mm,触发值 10 g,数据采集速度 100 pps。

凝胶强度(g·cm) = 凝胶破断强度(g) × 凝胶形变距离(cm)。

#### 1.4.2 色差值测定

将鱼肠切成厚度为 5 mm 的薄片,在室温下使用色彩色差计测定样品色度。测出样品的 L\* (明亮度)、a\* (红绿偏差)和 b\* (黄蓝偏差)值。计算公式:白度  $W = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$ 。

#### 1.4.3 差示扫描量热法分析(DSC)

本实验采用差示扫描量热法检测鲢鱼糜肌原纤维蛋白变性温度的变化,以探讨超高压处理对鱼糜凝胶热稳定性的影响。设置程序降温至 10 ℃,恒温 5 min,温度扫描范围为 10 ~ 100 ℃,升温速率为 10 ℃/min<sup>[6]</sup>。

#### 1.4.4 菌落总数与挥发性盐基氮(TVB-N)含量的测定

将不同处理压力的鲢鱼糜制品分别装入无菌袋中,封口后在 4 ℃ 恒温培养箱内贮藏 16 d。

在贮藏过程中对各组进行抽样,进行菌落总数与挥发性盐基氮(TVB-N)含量的测定。菌落总数按 GB/T4789.2—2008《食品卫生微生物学检验-菌落总数测定》进行测定<sup>[10]</sup>,TVB-N 按 GB 2733—2005《鲜冻动物性水产品卫生标准》<sup>[6]</sup>进行测定。

### 1.5 数据处理

实验数据均以平均数 ± 标准差( $\bar{X} \pm S$ )表示,显著性差异比较采用 SPSS statistics 17.0 进行单因素方差分析(ANOVA),检验水平为  $P < 0.05$  时为差异显著,具有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同压力对鲢鱼糜品质特性的影响

#### 2.1.1 不同压力对鲢鱼糜凝胶强度的影响

由图 1 可以看出,与未经超高压处理的鱼糜相比,超高压处理后的鱼糜凝胶强度显著增强。凝胶强度随着压力的增大呈现出先增大后减小的趋势,在 400 MPa 时,凝胶强度达到最大值。胡飞华等<sup>[7]</sup>的研究也表明,随着压力的逐渐增大,导致肌球蛋白变性,包括蛋白质构型的改变与肽链的解开,同时超高压处理还可使蛋白质分子结构中暴露出更多的巯基基团,巯基含量的增多促使蛋白质凝胶性能得到改善;而压力继续增大会影响物质分子间结合形式,导致键的破坏与重组,从而使大分子功能特性也随之发生变化,形成了有序的三维网络结构,从而具有较高的鱼糜凝胶强度。当压力达到 500 MPa 时,凝胶强度相对降低,可能是由于在 500 MPa 时压力过大导致蛋白分子内部化学键断裂,鱼糜的凝胶网络结构交联度降低,从而使鱼糜凝胶强度降低。

#### 2.1.2 不同压力对鲢鱼糜凝胶白度的影响

由图 2 可以看出,鲢鱼糜的白度值随着压力的增大也显著增加,且压力越大白度值越大,但在 400 ~ 500 MPa 增加缓慢。罗晓玲等<sup>[10]</sup>用超高压处理复合马鲛鱼鱼糜时,同样发现了随着压力的增加,复合马鲛鱼鱼糜的白度值明显升高。超高压处理引起鱼糜凝胶色泽变化可能有以下两种原因:(1)超高压导致肌球蛋白变性,或诱导肌红蛋白中的亚铁血红素失去或被取代,形成一个均匀不透明的凝胶体,从而导致 L\* 的增加;(2)超高压处理减少了鱼糜中 O<sub>2</sub> 的分压,肌红蛋白和氧合肌红蛋白转化为高铁肌红蛋白,促使鱼糜

凝胶中高铁肌红蛋白含量增加,而凝胶中此蛋白的升高会导致红值  $a^*$ 、 $b^*$  降低<sup>[6]</sup>。

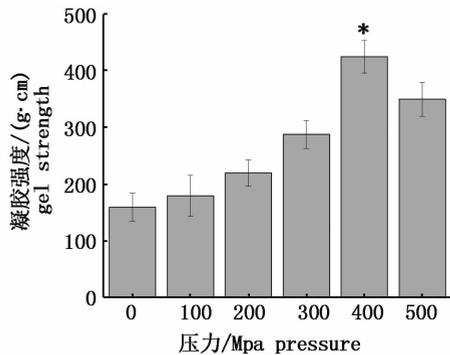


图 1 不同压力对鲢鱼糜的凝胶强度的影响

Fig. 1 Gel strength of silver carp surimi prepared under different pressure

\* 表示 400 MPa 压力组与其他组间均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 图 2 同。

\* indicates there were significant differences between the group of 400 MPa and the other groups ( $P < 0.05$ ), the same in Fig. 2.

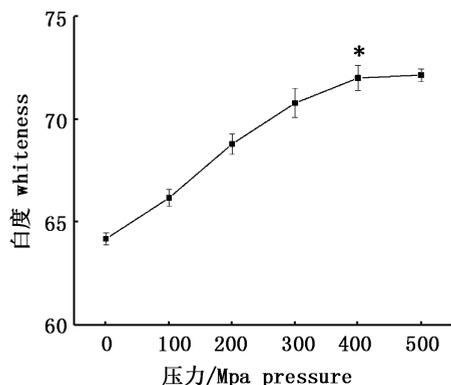


图 2 不同压力对鲢鱼糜白度的影响

Fig. 2 Whiteness of gels from silver carp surimi prepared under different pressure

### 2.1.3 不同压力对鲢鱼糜盐溶性肌原纤维蛋白变性温度的影响

从表 1 可以看出, 鲢鱼糜在经过超高压处理后, 均明显提高了其肌原纤维蛋白的热变性温度, 提高幅度为  $0.58 \sim 2.07$  °C。从表 1 可见, 随着超高压压力的增大, 鲢鱼糜的肌原纤维蛋白的热变性温度呈现先升高后降低的趋势, 当压力超过 200 MPa 时, 肌原纤维蛋白的变性温度提高迅速, 这是由于超高压处理导致鱼糜肌原纤维蛋白构象发生了显著变化, 致使鱼糜凝胶网络结构变得稳定; 当压力升高至 400 MPa 时, 热变性温度达到最高值  $72.16$  °C, 之后热变性温度呈现降低

的趋势, 这是由于在较高压力下, 肌原纤维蛋白发生了聚合, 致使其交联度的降低<sup>[7-9, 11]</sup>。

表 1 不同压力下盐溶性蛋白质变性温度的变化  
Tab. 1 Change of denatured temperature of salt-soluble protein under different pressure

压力/MPa pressure	热变性温度/°C denatured temperature
0	$68.26 \pm 0.16^b$
100	$70.84 \pm 0.47^a$
200	$71.05 \pm 0.45^a$
300	$71.52 \pm 0.33^a$
400	$72.16 \pm 0.21^a$
500	$71.73 \pm 0.38^a$

注: 同行上标不同字母表示超高压处理后鱼糜制品的盐溶性肌原纤维蛋白变性温度与未经超高压处理组间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

Note: Mean values followed by different letters in the same column differ significantly by LSD test ( $P < 0.05$ ).

### 2.2 不同压力对冷藏期间鲢鱼糜保藏特性的影响

#### 2.2.1 不同压力对冷藏期间鲢鱼糜菌落总数变化的影响

不同压力处理后的鲢鱼糜制品在  $4$  °C 下微生物的变化如图 3 所示: 未经超高压处理的鲢鱼糜中初始细菌总数为  $5.58 \log$  CFU/g, 经 0、100、200 MPa 高压处理后, 菌落总数分别减少为  $4.15$ 、 $3.03 \log$  CFU/g; 经 300、400、500 MPa 高压处理后, 通过平板计数法没有检测到细菌的存在, 由此可证明超高压的灭菌效果显著。文献显示,  $300 \sim 600$  MPa 的压力可以使绝大多数细菌死亡<sup>[12]</sup>, 这与本试验的研究结果相吻合。

图 3 中 100、200 MPa 高压处理组总菌数的增长速率均比对照组快, 而且与对照组同时在贮藏 10 天后进入稳定期, 这可能是由于超高压处理虽然对微生物具有杀灭作用, 但是高压会导致鱼肉细胞的破裂, 释放肽段、氨基酸、核酸等物质, 从而使这些物质更容易被微生物利用, 致使残存的微生物在处理后的贮藏过程中迅速生长<sup>[13]</sup>。但是由图 3 可知 300、400、500 MPa 的压力处理组具有更长的延滞期, 并在冷藏 12 d 后才达到稳定期, 这说明  $300 \sim 500$  MPa 超高压处理对鱼糜制品中的细菌生长有良好的控制作用, 可抑制细菌的生长, 使其推迟进入稳定期。综上所述, 超高压处理不仅能够杀灭鱼糜制品中的微生物, 而且对残存微生物的生长起到抑制作用, 由此反映出超高压处理对提升鱼糜制品的贮藏特性具有良好效果。

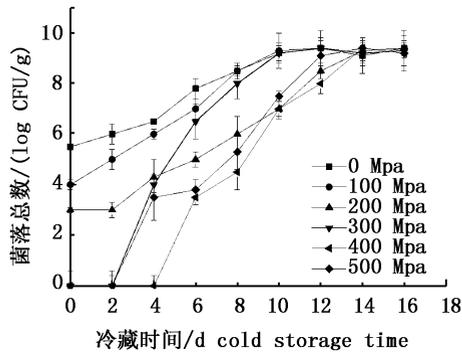


图3 不同压力对冷藏期间鲢鱼糜菌落总数变化的影响

Fig. 3 Change of total bacterial amount in silver carp surimi under different pressure during cold storage

### 2.2.2 不同压力对冷藏期间鲢鱼糜挥发性盐基氮含量的影响

由图4可知,未经超高压处理的鱼糜在第8天 TVB-N 含量已经达到 11.87 mg/100g,在第16天 TVB-N 含量已经超过水产品卫生标准,当超高压压力大于 100 MPa 时鱼糜的 TVB-N 含量在考察范围内显著低于对照组,且随着超高压压力的增大,TVB-N 含量的增长速度越慢,经 400 MPa 处理的鱼糜在第 16 天 TVB-N 含量仅为 11.52 mg/100g。但是,当压力为 100 MPa 时,鱼糜在第 8 天的 TVB-N 含量高于对照组,有学者认为这是由于 100 MPa 时的压力并没有使组织蛋白酶失活,反而提高了酶活性,从而导致了 TVB-N 含量增长速率的增加<sup>[14-15]</sup>。

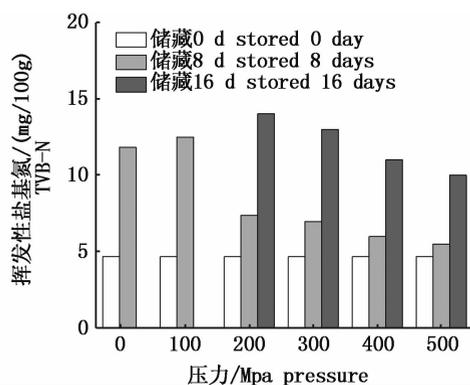


图4 不同压力对冷藏期间鲢鱼糜 TVB-N 含量的影响

Fig. 4 Change of TVB-N in silver carp surimi under different pressure during cold storage

## 3 结论

总之,超高压处理不仅能够显著改善鲢鱼糜的品质,而且能够延长其冷藏货架期,在鲢鱼糜加工与生产中具有良好的应用前景。超高压处理对鲢鱼糜的品质特性影响具体如下:

(1)凝胶特性:鲢鱼糜的凝胶强度随着压力增加呈现先升高后降低的变化趋势,在 400 MPa 压力下达到最大值。

(2)白度:鲢鱼糜的白度值随压力增加而增加,但在 400 ~ 500 MPa 增加缓慢。

(3)肌原纤维蛋白热变性温度:DSC 图谱显示超高压处理能够显著提升鲢鱼糜制品的肌原纤维蛋白热变性温度( $P < 0.05$ )。

超高压处理对鲢鱼糜的贮藏特性影响具体表现为:冷藏条件下,超高压处理可以有效地杀灭鱼糜中大部分细菌,抑制贮藏过程中挥发性盐基氮的积累,从而延长鲢鱼糜的货架期,而且随着处理压力的增高货架期的延长效果越显著。

综上所述,处理压力为 400 MPa,处理时间为 10 min 时,超高压对于鲢鱼糜品质和贮藏特性的改善最为显著。该条件处理后的鱼糜制品不仅具有良好的凝胶特性、色泽品相和热变性温度,而且能够延长其冷藏货架期,抑制贮藏过程中挥发性盐基氮的积累,是理想鲢鱼糜超高压处理条件。

## 参考文献:

- [1] 陆剑锋,邵明栓,林琳,等. 结冷胶和超高压对鱼糜凝胶性质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 372 - 377.  
LU J F, SHAO M S, LIN L, et al. Effects of ultra-high pressure and gellan gum on gelling properties of surimi from silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11): 372 - 377.
- [2] 励建荣,陆海霞,傅玉颖,等. 鱼糜制品凝胶特性研究进展[J]. 食品工业科技, 2008, 29(11): 291 - 295.  
LI J R, LU H X, FU Y Y, et al. Research progress on gel properties of surimi products [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(11): 291 - 295.
- [3] 陆剑锋,邓伟,林琳,等. 白鲢鱼糜低钠复合盐配方响应面法优化[J]. 农业机械学报, 2012, 43(10): 143 - 150.  
LU J F, DENG W, LIN L, et al. Formula optimization of low sodium silver carp surimi by response surface methodology [J]. Transactions of the Chinese Society for

- Agricultural Machinery, 2012, 43(10): 143 - 150.
- [4] 魏静,解新安. 食品超高压杀菌研究进展[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 363 - 367.  
WEI J, XIE X A. Advance in food sterilization by ultra-high pressure [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(6): 363 - 367.
- [5] 陆剑锋,邵明栓,林琳,等. 卡拉胶和超高压对鱼糜凝胶性质的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12): 164 - 170.  
LU J F, SHAO M S, LIN L, et al. Effects of ultra-high pressure and carrageenan on gelling properties of surimi from silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(12): 164 - 170.
- [6] 周爱梅,林丽英,梁燕,等. 超高压诱导鱼糜凝胶性能的研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2058 - 2062.  
ZHOU A M, LIN L Y, LIANG Y, et al. Gelling properties of the surimi induced by ultra-high pressure [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(9): 2058 - 2062.
- [7] 胡飞华,陆海霞,陈青,等. 超高压处理对梅鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 329 - 335.  
HU F H, LU H X, CHEN Q, et al. Effects of ultra-high pressure on gel properties of big head croaker (*Collichthys lucidus*) surimi [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(3): 329 - 335.
- [8] MA X S, YI S M, YU Y M, et al. Changes in gel properties and water properties of *Nemipterus virgatus* surimi gel induced by high-pressure processing [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(2): 377 - 384.
- [9] TABILO-MUNIZAGA G, BARBOSA-CÁNOVAS G V. Ultra high pressure technology and its use in surimi manufacture: an overview[J]. Food Science and Technology International, 2004, 10(4): 207 - 222.
- [10] 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.  
LUO X L, YANG R J, ZHAO W, et al. Study on gelling properties of Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) gels blending with concentrated tomato juice by ultra high pressure[J]. Food & Machinery, 2010, 26(4): 15 - 18, 38.
- [11] 周国艳,郭堂鹏. 鲢鱼鱼糜在储藏过程中新鲜度和盐溶性蛋白质变化研究[J]. 食品科技, 2008, 33(8): 240 - 243.  
ZHOU G Y, GUO T P. Study on the change of silver carp surimi freshness and salt-soluble protein during the storage [J]. Food Science and Technology, 2008, 33(8): 240 - 243.
- [12] 杨公明,马成林,左春桢,等. 食品高压加工技术的最新发展[J]. 农业工程学报, 1995, 11(4): 121 - 124.  
YANG G M, MA C Q, ZUO C C, et al. The recent development of application of high pressure to food processing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1995, 11(4): 121 - 124.
- [13] MARTINEZ I, FRISS T J, CARECHE M. Post mortem muscle protein degradation during ice-storage of Arctic (*Pandalus borealis*) and tropical (*Penaeus japonicus* and *Penaeus monodon*) shrimps: a comparative electrophoretic and immunological study[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(12): 1199 - 1208.
- [14] TAKEDA H, SEKI N. Enzyme-catalyzed cross-linking and degradation of myosin heavy chain in walleye Pollack surimi paste during setting[J]. Fisheries Science, 1996, 62(3): 462 - 467.
- [15] CHÉRET R, DELBARRE-LADRAT C, DE LAMBALLERIE-ANTON M, et al. High-pressure effects on the proteolytic enzymes of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fillets[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(10): 3969 - 3973.

## Effects of ultra-high pressure treatments on the quality and storability of silver carp surimi

FU Qiang<sup>1,2</sup>, MA Haijian<sup>1,2</sup>, YANG Lu<sup>1,2</sup>, SHI Wenzheng<sup>1,2</sup>, WANG Zhihe<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** In this study, the gel strength, whiteness and myosin thermal denaturation temperature, of the silver carp surimi by different pressures (0, 100, 200, 300, 400, 500 MPa, dwell time: 10min, temperature: 25 °C) were first investigated. Then the total bacterial amount and total volatile basic nitrogen (TVB-N) of surimi were analyzed during storage at 4 °C. The results showed that the gel strength increased firstly and then decreased with increasing pressure and reached maximum value at 400 MPa. The whiteness of surimi increased significantly with increasing pressure, but increased slowly at 400 – 500 MPa. DSC thermogram showed significance between different processing pressures for thermal denaturation temperature of surimi myofibrillar proteins. Storage under 4 °C, most of the bacteria could be inactivated by ultra-high pressure treatments and the TVB-N was restrained. The shelf life of surimi was prolonged with the enhancement of high pressure. In conclusion, the ultra-high pressure treatments could not only improve the quality of silver carp surimi, but also prolong the shelf life. The ultra-high pressure treatment has good application prospects for processing and production of silver carp surimi.

**Key words:** silver carp surimi; ultra-high pressure; quality; storability