

超高压处理对鳙品质的影响

雒莎莎, 童彦, 朱瑞, 卫玲玲, 应铁进*

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 研究了不同超高压条件(0、50、150、300、450和600 MPa, 保压处理15 min)对鳙感官、色度、硬度、pH、氨基氮含量、Ca²⁺-ATPase活性和超微结构的影响。结果表明,超高压处理改善了鱼肉的气味、滋味和咀嚼度,300、450和600 MPa处理能够显著提高鱼肉的感官品质($P < 0.05$);改变了鱼肉的色度,使 L^* 值和 b^* 值升高, a^* 值下降。150 MPa以上的高压能够显著提高鱼肉的硬度($P < 0.05$)。氨基氮含量在高压处理后显著升高($P < 0.05$),50和300 MPa处理组的氨基氮含量比对照组分别上升了15.19%和17.89%。鱼肉的pH随着压力的升高而上升。超高压抑制了肌球蛋白Ca²⁺-ATPase活性,当压力 ≥ 150 MPa时,Ca²⁺-ATPase的失活速度明显加快。超高压对肌原纤维的超微结构也有较大影响,150 MPa处理后,肌节收缩,肌原纤维变粗,M线、Z线和H区消失,A带和I带断裂。450 MPa处理后,肌节结构被完全破坏,肌原纤维间隙消失,肌原纤维凝胶化现象严重。综合感官和理化测定结果可知,超高压在改善鳙品质方面具有潜在的应用前景。

关键词: 鳙; 超高压; 品质; Ca²⁺-ATPase

中图分类号: S 985.1

文献标志码: A

超高压处理技术(high pressure processing, HPP)是20世纪70年代开始兴起的一种新的食品加工技术,一般只破坏生物大分子的非共价键(疏水键、离子键和氢键等),对形成蛋白质、淀粉等大分子物质的共价键没有影响。它可以替代热处理用于食品的保藏,杀灭微生物并延长食品货架期,这一直是超高压在水产品应用领域的研究热点,如通过抑制氧化三甲胺(TMAO)酶的活性和微生物生长,延长乌贼(*Todarodes pacificus*)的冻藏期和冻藏品质^[1]。超高压还可以有效延长红鲷(*Mullus surmelutus*)^[2]、金枪鱼(*Thunnus alalunga*)鱼糜^[3]等的货架期。在肉制品的速冻和解冻方面,超高压技术也有很多优势,对黑鲈(*Dicentrarchus labrax*)进行200 MPa高压转移冻结,能够很好地保持其冻藏过程中的品质,经200 MPa辅助解冻后,鱼肉的蛋白变性程度、持水力等都与冻藏初期的鱼肉十分接近^[4]。超高压还

可以改善鱼糜制品的弹性、色泽等^[5-6]。此外,超高压处理对水产品中的单不饱和脂肪酸、*n-3*、*n-6*多不饱和脂肪酸总量的影响很小,并能延缓鱼肉在贮藏过程中的脂质氧化^[7],能够改变太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)的挥发性成分^[8]。但对于超高压对新鲜生鱼肉品质的影响,国内鲜有报道。

鳙(*Aristichthys nobilis*),俗称花鲢、胖头鱼、黑鲢等,以浮游动物为主食,生长迅速,是我国淡水养殖业中的“四大家鱼”之一,为我国重要经济鱼类。一般食用头部,由于尾部鱼肉口感不及其它鱼种,一般被归为低值鱼类。目前国内对鳙的研究涵盖养殖、加工、蛋白和活性肽等各个方面,但尚未见到超高压在鳙鱼肉上的应用研究。本研究了不同的处理压力对鳙感官、色度、硬度、pH和氨基氮含量的影响,测定超高压处理后肌球蛋白Ca²⁺-ATPase活性的变化情况,并用透射电子显微镜(TEM)观察超高压前后鳙肌原纤维的超微

收稿日期:2011-04-22 修回日期:2011-07-23

资助项目:嘉兴市科技局计划项目(2009BZ6004)

通讯作者:应铁进, E-mail: tjying@zju.edu.cn

结构,探讨超高压对鳙品质的影响,探索超高压在此类水产品中应用的新路径。

1 材料与方法

1.1 材料

鲜活鳙购自杭州市闸弄口农贸市场,体长(42.2 ± 2.1) cm,体质量(1.43 ± 0.21) kg,用刀背敲击鱼头致死,迅速去头、去内脏、去皮,取背部肌肉,切成3 cm × 3 cm × 1 cm的肉块,于蒸煮袋真空密封好后置于冰浴中。

1.2 实验仪器

超高压食品处理装置,包头科发高压科技有限责任公司;JEM-1230 透射电镜,日本 JEOL 公司;Ultracut E 超薄切片机,奥地利 Reichert-Jung 公司;TA-XTplus 质构仪,英国 Stable Micro System 公司;722E 型可见光分光光度计,上海光谱仪器有限公司;BR4i 高速冷冻离心机,法国 JOUAN 公司;WSC-S 色差计,上海精密科学仪器有限公司。

1.3 实验方法

超高压处理 将包装好的鳙置于超高压容器中,分别在 50、150、300、450 和 600 MPa 下保压处理 15 min。超高压装置的升压速度平均约为 15 MPa/s,卸压过程在 2 s 内完成,内腔温度保持(14.7 ± 2.9) °C。每个处理平行 6 次,以未处理样品作为空白对照。

感官评定 将鱼块取出,于 130 °C 油中煎 2 min,加入 1% 食盐和 50% 水,继续加热 4 min,取出立即对鱼肉进行感官评定。评定人员由经过专门训练的 6 名人员组成,具体评分标准见表 1,色泽、气味、滋味和咀嚼度的权重分别为 0.15、0.20、0.35、0.30。

表 1 鳙鱼块感官评定标准
Tab.1 Sensory evaluation standard for *A. nobilis* muscle

描述 description	好 6~9 分 good 6~9 scores	一般 3~6 分 normal 3~6 scores	差 0~3 分 bad 0~3 scores
色泽 color	色泽正常	色泽稍暗淡	色泽暗淡
气味 odor	香味浓郁 腥味较弱	香味清新 腥味明显	香味较差 腥味较重
滋味 taste	滋味鲜美 腥味较弱	滋味清淡 腥味明显	滋味较差 腥味较重
咀嚼度 chewiness	肉质弹性好 有嚼劲	肉质有弹性 嚼劲一般	肉质松散 嚼劲较差

色度和硬度测定 使用色差计测定鱼块的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。测定硬度时,将样品切成 2 cm × 2 cm × 1 cm 小块,质构仪探头型号选择 HDP/BS,测试前速度:1 mm/s;测试速度:2 mm/s;测试后速度:10 mm/s;压缩距离:7 mm;触发力 5.0 g;触发类型:自动;数据采集速率:200.00 pps。测前先将样品置于 4 °C 冰箱平衡 1 h,每组样品测定 8 次。

pH 和氨基氮含量测定 称取 5.00 g 样品,加蒸馏水至 50 mL,匀浆,静置 30 min 后离心,测定上清液的 pH。氨基氮含量采用电位滴定法测定。

Ca²⁺-ATPase 活性的测定 采用文献[9]中使用的方法。

超微结构观察 取鳙鱼背部靠近头部的肌肉,切成 1 mm³ 左右的小块,在 2.5% 的戊二醛溶液中 4 °C 固定过夜后,用磷酸缓冲液漂洗样品三次,于 1% 的锇酸溶液固定 2 h。梯度乙醇脱水,Spurr 包埋剂包埋。将包埋好的样品在 Reichert 超薄切片机中切片,获得 70~90 nm 的切片,经柠檬酸铅溶液和醋酸双氧铀 50% 乙醇饱和溶液各染色 15 min 后,在 JEM-1230 型透射电镜中观察拍照。

数据分析 所得数据均以平均值 ± 标准差 (mean ± SD) 的形式表示,各组数据经统计软件 SAS 8.0 进行方差分析(ANOVA)和显著性检验。

2 结果与讨论

2.1 感官评定结果

表 2 为鳙在不同超高压处理条件下感官品质的变化情况。由表 2 可知,将鱼肉烹饪后,超高压对色泽的影响不明显,600 MPa 处理对鱼肉色泽有不利影响。但超高压处理改善了鱼肉的气味、滋味和咀嚼度,使鱼肉的腥味有所减弱,滋味更加鲜美,鱼肉的咀嚼度随着压力的增大而不断提高,符合消费者对水产品肉质的期望。总体而言,超高压处理组的总体感官品质均高于对照组,300、450 和 600 MPa 处理对鱼肉感官品质的改良作用较为明显($P < 0.05$),其中 450 MPa 处理组的感官得分最高。

2.2 色度

表 3 为各处理组鱼肉的 L^* 、 a^* 、 b^* 值, L^* 值表示颜色深浅, a^* 表示红绿方向数值, b^* 表示黄

蓝方向的数值。50 和150 MPa处理对 L^* 值的改变不大,当处理压力 ≥ 300 MPa 时,鳙鱼块的 L^* 值随着压力增大而不断上升,各处理组间差异显著且高于对照组 ($P < 0.05$),说明超高压后蛋白质开始变性,使鱼肉呈现熟化外观。超高压处理后, a^* 值显著下降 ($P < 0.05$),随压力呈现先下降

后上升的趋势,300 MPa 处理后降至最低。 a^* 值的改变可能是由于肌红蛋白在高压下发生氧化或变性所致^[10],并与鱼的种类有关。除 150 MPa 外,超高压处理能够提高鱼肉的 b^* 值,其中 300 MPa 对 b^* 值影响最大。

表 2 不同超高压处理条件对鳙感官品质的影响

Tab.2 Sensory quality of cooked *A. nobilis* muscle unpressurized and subjected to different high pressure treatments ($n = 6$)

处理压力 pressure	色泽 color	气味 odor	滋味 taste	咀嚼度 chewiness	总分 total scores
对照组 control	5.50 ± 1.32	3.40 ± 0.53	4.33 ± 0.58	2.67 ± 0.58	3.82 ± 0.24
50 MPa	5.63 ± 1.48	4.03 ± 1.00	4.07 ± 1.10	2.73 ± 0.64	3.90 ± 0.18
150 MPa	5.00 ± 1.73	3.37 ± 0.64	4.73 ± 0.64	4.37 ± 0.55	4.39 ± 0.59
300 MPa	5.37 ± 0.55	5.67 ± 0.58	4.70 ± 1.13	6.40 ± 0.53	5.50 ± 0.58
450 MPa	6.00 ± 1.73	4.37 ± 0.55	5.63 ± 0.55	6.30 ± 0.61	5.64 ± 0.64
600 MPa	3.67 ± 0.58	5.30 ± 0.61	5.63 ± 1.10	6.70 ± 1.13	5.59 ± 0.71

表 3 不同压力处理对鳙肌肉色度的影响

Tab.3 Color values of *A. nobilis* muscle unpressurized and subjected to different high pressure treatments $n = 6$

处理压力 pressure	L^*	a^*	b^*
对照组 control	56.50 ± 1.26 ^d	2.40 ± 0.72 ^a	5.97 ± 0.25 ^c
50 MPa	54.13 ± 0.73 ^c	0.51 ± 0.97 ^b	6.26 ± 0.72 ^{bc}
150 MPa	56.52 ± 1.90 ^d	-1.44 ± 1.40 ^{cd}	5.91 ± 1.61 ^c
300 MPa	67.13 ± 3.79 ^c	-1.81 ± 1.49 ^d	8.83 ± 2.40 ^a
450 MPa	74.83 ± 0.30 ^b	-0.57 ± 0.42 ^{cb}	7.35 ± 0.91 ^{bac}
600 MPa	77.91 ± 0.47 ^a	0.32 ± 0.11 ^b	7.67 ± 0.19 ^{ba}

注:同列不同字母间表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: Different letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

鳙色度的改变与鲤 (*Cyprinus carpio*)^[11]、鲢鱼、金枪鱼^[12]等在高压下的变化情况一致,但超高压对脱盐鳙鱼片 L^* 值和 b^* 值的影响不显著^[12],这可能是由于鱼种或处理条件不同所致。

2.3 硬度

图 1 反映了不同压力处理后鱼肉硬度的变化情况。随着压力的增大,鱼肉的硬度值先上升后下降,450 MPa 处理组达到最大值 9.07 N,是对照组的 2.67 倍,600 MPa 处理组的硬度值略低于 450 MPa 处理组,但差异并不显著。各处理组的硬度值均高于对照组,即超高压降低了鱼肉的嫩度,提高了鱼肉的韧性,当压力 ≥ 150 MPa 时,这种变化十分显著 ($P < 0.05$)。用超高压处理金枪

鱼鱼糜时发现,得到的鱼糜凝胶硬度基本与压力和保压时间成正相关^[3]。鱼肉硬度上升可能是由于超高压诱导肌球蛋白分子聚集变性所致,但当压力增大到一定程度(如 800 MPa),由于高压使蛋白质破碎,反而会使肉质嫩化^[3]。

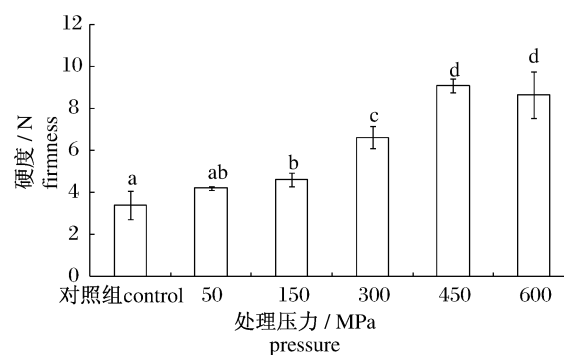


图 1 不同压力对处理对鳙肌肉硬度的影响

不同字母间表示差异显著 ($P < 0.05$),下同。

Fig.1 Firmness (N) of *A. nobilis* muscle processed at different pressures

Different letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$), so does the following.

2.4 氨基氮含量

游离氨基酸是影响鱼类风味和营养的重要成分。图 2 为不同压力处理对鱼肉氨基氮含量的影响。由图 2 可知,超高压处理总体上显著提高了鱼肉的氨基氮含量 ($P < 0.05$),其中 50 和 300 MPa 处理组的氨基氮含量比对照组的 0.62 mg/g

分别上升了15.19%和17.89%,其他处理组则均比对照组上升6%左右,这也可以解释为什么超高压处理后鱼肉的滋味会比对照组更加鲜美。其中150 MPa处理组的氨基氮总量虽低于50和300 MPa处理组,但感官评定的滋味指标优于这两组,这可能是由于150 MPa处理组的呈味氨基酸如谷氨酸和甘氨酸等含量较高。由图2还可以看到,超高压处理的压力与氨基氮总量之间并非呈简单的线性关系,NURAY等^[13]的研究也表明,冷烟熏鲑鱼各种游离氨基酸随压力(220,250和330 MPa)的变化规律并不相同。

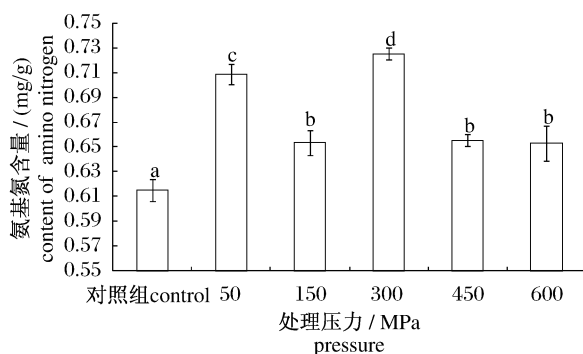


图2 不同压力对处理对鳙氨基氮含量的影响
Fig.2 Content of amino nitrogen of *A. nobilis* muscle processed at different pressures

2.5 pH

新鲜鳙肌肉的pH为6.76,超高压处理后,鱼肉的pH略有上升,且压力越大,pH越高,各处理组间差异显著($P < 0.05$)。在50~300 MPa之间时,pH随压力迅速上升,300 MPa处理组的pH达到7.39,之后pH的上升速度变缓,450和600 MPa处理组的pH分别为7.44和7.49(图3)。采用100、300、500和800 MPa对牡蛎保压处理10 min,也发现类似的规律^[14],高压处理引起pH上升在牛肉^[15]中也有报道。超高压改变蛋白质构象改变而使一些蛋白质变性,蛋白质展开使一些碱性氨基酸类外露可能是导致pH上升的原因。

2.6 Ca^{2+} -ATPase 活性

Ca^{2+} -ATPase活性源于肌原纤维肌球蛋白的球状头部结构,是评估蛋白质品质的重要指标,它与蛋白质的凝胶特性有关^[16]。图4为不同压力对处理对肌原纤维 Ca^{2+} -ATPase活性的影响。当采用较低压力50和150 MPa时, Ca^{2+} -ATPase活性由对照组的 $0.191 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$ 分别下降至

0.188 和 $0.186 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$,但差异不显著($P > 0.05$)。当压力超过150 MPa时, Ca^{2+} -ATPase的失活速度加快,这与KO等^[17]的研究结果一致。300 MPa以上的压力能够显著降低鱼肉的 Ca^{2+} -ATPase活性,300和450 MPa处理使酶活分别降低了24.2%和62.2%,600 MPa处理后,酶活仅剩对照组的四分之一左右。JAO等^[18]从罗非鱼中提取肌球蛋白,研究 Ca^{2+} -ATPase在高压下的活性变化,发现150 MPa可以抑制 Ca^{2+} -ATPase 50%以上的酶活,与本实验的结果不同,这可能是由于肌球蛋白的状态和处理方式不同所致。

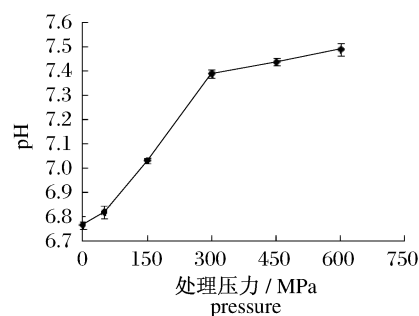


图3 不同压力对处理对鳙肌肉pH的影响
Fig.3 pH of of *A. nobilis* muscle processed at different pressures

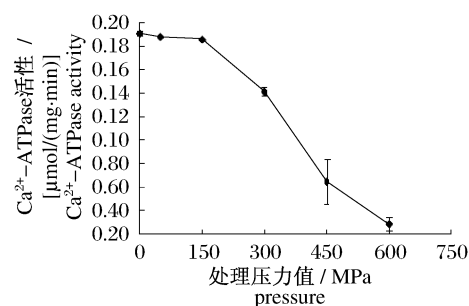


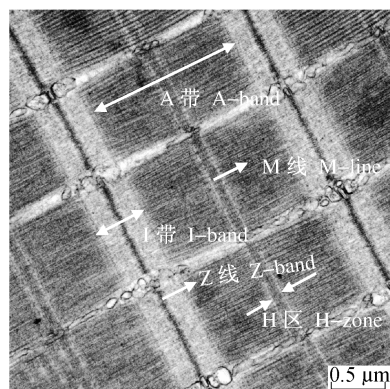
图4 不同压力对处理对鳙 Ca^{2+} -ATPase活性的影响
Fig.4 Activity of Ca^{2+} -ATPase of of *A. nobilis* muscle processed at different pressures

Ca^{2+} -ATPase活性的降低表明超高压能够诱导肌球蛋白头部变性,关于变性的过程,LEDWARD^[19]认为在相对较低的压力(200~400 MPa)下,构成粗丝主要成分的肌球蛋白就开始聚集,先是两个头部S1和S2融合成一个,然后这些融合成的头部聚集成一簇,尾部则呈放射状的伸在外面。随着肌球蛋白分子的聚集,蛋白质的疏水性上升,这是由于在高压作用下,肌球蛋白头部的疏水基团暴露出来,使头部间的疏水作用加强,导致蛋白质聚集^[20]。采用150 MPa保压处理10 min,即发现蛋白质聚集, Ca^{2+} -

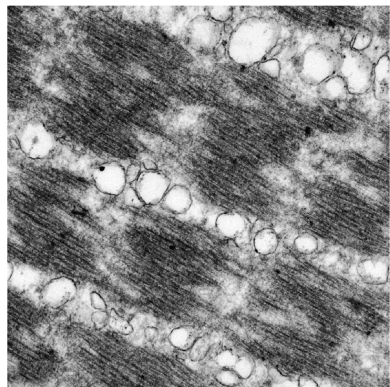
ATPase 酶活下降超过 60%,同时疏水力上升 120%、巯基含量上升 15%^[21],这表明高压下蛋白质的变性、Ca²⁺-ATPase 的失活可能与疏水力和巯基含量的变化有关。

2.7 超微结构

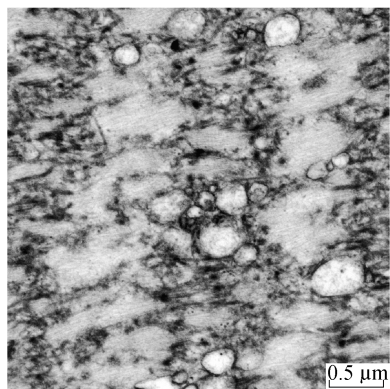
图 5 为不同超高压处理下鳙肌原纤维的纵切面图,由图 5-a 可以看到完整的肌原纤维结构,粗



(a)



(b)



(c)

图 5 不同超高压处理条件对鳙肌肉超微结构的影响
(a) 对照组,40 000×; (b) 150 MPa(15 min)处理组,40 000×;
(c) 450 MPa(15 min)处理组,40 000×。

Fig. 5 Ultrastructure of control and HPP treated *A. nobilis* samples by TEM

(a) control,40 000×; (b) 150 MPa(15 min)pressurized sample, 40 000×; (c) 450 MPa(15 min)pressurized sample,40 000×.

丝和细丝有规律的交替排列,其交错重叠的部分为暗带(A带),暗带中央仅有粗丝的部分稍明亮,为H区。H区的中央则有一条M线,而只有细丝组成的部分较明亮,被称为明带(I带),明带的中央有一条Z线,两条Z线之间的部分为一个肌节,由1/2I带+A带+1/2I带构成,是肌肉形态和功能的基本单位^[22]。150 MPa处理后,肌节明显收缩,肌原纤维变粗,离体的鸡肉肌原纤维在100 MPa处理后也有变粗的现象^[23]。M线和Z线消失,粗丝和细丝失去依附的点。H区消失,A带和I带断裂。H区的消失可能是由于超高压破坏了肌球蛋白的杆部,I带的消失则可能是由于超高压破坏了其主要构成蛋白F-肌动蛋白所致^[24]。450 MPa处理后,肌节结构被完全破坏,肌原纤维间隙消失,肌原纤维凝胶化现象严重,这可能是由于高压诱导分子间和分子内二硫键的形成和分子间疏水力的加强。

3 结论

超高压处理改善了鱼肉的气味、滋味和咀嚼度。300、450和600 MPa处理能够显著提高鱼肉的感官品质($P < 0.05$);改变了鱼肉的色度,使 L^* 和 b^* 升高, a^* 值下降;提高了鱼肉的硬度值和氨基氮总量。鱼肉的pH值随着压力的升高而升高。超高压抑制了肌球蛋白Ca²⁺-ATPase活性,当压力 ≥ 150 MPa时,Ca²⁺-ATPase的失活速度明显加快,表明超高压使肌原纤维蛋白变性。超高压对肌原纤维的超微结构也有较大影响,150 MPa处理后,肌节明显收缩,肌原纤维变粗,M线、Z线和H区消失,A带和I带断裂。450 MPa处理后,肌节结构被完全破坏,肌原纤维间隙消失,凝胶化现象严重。

在所有的食品 and 食品组分中,肌肉和肌肉蛋白对压力是最敏感的,这是由于肌肉中的糖酵解进程和肌纤维之间的结合对压力的敏感性相对较高。超高压能够影响蛋白质构象,使蛋白质变性、聚集或胶凝,从而影响鱼肉的品质。

结合感官与理化指标测定结果表明,超高压在改良新鲜鳙鱼肉的品质方面具有潜在的应用前景。

参考文献:

- [1] GOU J Y, LEE H Y, AHN J H. Effect of high pressure processing on the quality of squid (*Todarodes pacificus*) during refrigerated storage

- [J]. Food Chemistry, 2010, 119(2):471-476.
- [2] NURAY E, GONCA Ü, HAMI A. Effect of high pressure (HP) on the quality and shelf life of red mullet (*Mullus surmelutus*) [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(2):259-264.
- [3] JUAN C R, MICHAEL T M. Effect of high pressure processing (HPP) on shelf life of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) minced muscle [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2006, 7(1-2):19-27.
- [4] VALERIA T, MARIE D L, ALAIN L. Quality changes during the frozen storage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) muscle after pressure shift freezing and pressure assisted thawing [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11(4):565-573.
- [5] TAN F J, LAI K M, HSU K C. A comparative study on physical properties and chemical interaction of gels from tilapia meat pastes induced by heat and pressure [J]. Journal of Texture Studies, 2010, 41(2):153-170.
- [6] 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.
- [7] YAVUZ Y, HORDUR G K, MURAT O B, *et al.* Effect of high pressure processing and cooking treatment on the quality of Atlantic salmon [J]. Food Chemistry, 2009, 116(4):828-835.
- [8] MALCO C C, JOSEPH P K, ALAN L K. Fatty acids, volatile compounds and colour changes in high-pressure-treated oysters (*Crassostrea gigas*) [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2008, 9(1):54-61.
- [9] 陆海霞. 秘鲁鲑鱼肌原纤维蛋白质凝胶特性的研究 [D]. 杭州: 浙江工商大学, 2009.
- [10] CHEAH P B, LEDWARD D A. Inhibition of metmyoglobin formation in fresh beef by pressure treatment [J]. Meat Science, 1997, 45(3):411-418.
- [11] AMARAL S M, DOMINIQUE C, ALAIN L, *et al.* Physicochemical changes induced in carp (*Cyprinus carpio*) fillets by high pressure processing at low temperature [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2006, 7(1-2):13-18.
- [12] GÓMEZ-ESTACA J, LÓ-CABALLERO M E, GÓMEZ-GUILLÉN M C, *et al.* High pressure technology as a tool to obtain high quality carpaccio and carpaccio-like products from fish [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(2):148-154.
- [13] NURAY E, GONCA Ü, HAMI A, *et al.* The effect of different high pressure conditions on the quality and shelf life of cold smoked fish [J]. Innovation Food Science and Emerging Technologies, 2011, 12(2):104-110.
- [14] 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 and Emerging Technologies, 2004, 5(2):161-169.
- [15] ANITA S, EVA T, RON T. A proposed mechanism of tenderising post-rigor beef using high pressure-heat treatment [J]. Meat Science, 2010, 84(3):390-399.
- [16] 姚磊, 罗永康, 沈慧星, 等. 鲫肌原纤维蛋白加热过程中理化特性变化规律 [J]. 水产学报, 2010, 34(8):1303-1308.
- [17] KO W C, JAO C L, HSU K C. Effect of hydrostatic pressure on molecular conformation of tilapia (*Oreochromis niloticus*) myosin [J]. Journal of Food Science, 2003, 68(4):1192-1195.
- [18] JAO C L, HWANG J S, KO W C, *et al.* A kinetic study on inactivation of tilapia myosin Ca-ATPase induced by high hydrostatic pressure [J]. Food Chemistry, 2007, 101(1):65-69.
- [19] LEDWARD D A. High pressure processing of meat and fish [C] // Symposium on fresh novel foods by high pressure, 1998.
- [20] YAMAMOTO K, YOSHIDA Y, MORITA J, *et al.* Morphological and physicochemical changes in the myosin molecules induced by hydrostatic pressure [J]. Journal of Biochemistry, 1994, 116(1):215-220.
- [21] HSU K C, KO W C. Effect of hydrostatic pressure on aggregation and viscoelastic properties of tilapia (*Oreochromis niloticus*) myosin [J]. Journal of Food Science, 2001, 66(8):1158-1162.
- [22] 李兆杰, 薛勇. 水产品化学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [23] IWASAKI T, NOSHIROYA K, SAITOH N, *et al.* Studies of the effect of hydrostatic pressure pretreatment on thermal gelation of chicken myofibrils and pork meat patty [J]. Food Chemistry, 2006, 95(3):474-483.
- [24] MACFARLANE J J, MCKENZIE I J, TUMER R H. Pressure-heat treatment of meat: changes in myofibrillar proteins and ultrastructure [J]. Meat Science, 1986, 17(3):161-176.

Impact of high pressure processing on the quality of *Aristichthys nobilis* muscle

LUO Sha-sha, TONG Yan, ZHU Rui, WEI Ling-ling, YING Tie-jin*

(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The effects of high pressure processing (HPP) (0, 50, 150, 300, 450 and 600 MPa for 15 min) on the sensory quality, color, firmness, pH, amino nitrogen, Ca^{2+} -ATPase activity and ultrastructure of *Aristichthys nobilis* muscle were investigated. The odor, taste and chewiness were modified by HPP, and the sensory quality improved significantly after treatment at 300, 450 or 600 MPa ($P < 0.05$). L^* and b^* value increased while a^* reduced after HPP. The firmness of the muscle increased pronouncedly ($P < 0.05$) with pressure beyond 150 MPa. HPP treated samples had higher content of amino nitrogen ($P < 0.05$) compared to the control with increases of 15.19% and 17.89% for 50 and 300 MPa pressurized samples, respectively. pH showed a positive correlation with the pressure. The activity of Ca^{2+} -ATPase was inhibited by HPP, and pressures beyond 150 MPa inactivated Ca^{2+} -ATPase more rapidly. Moreover, HPP had a great impact on ultrastructure of *A. nobilis* muscle. After treatment at 150 MPa, sarcomeres contracted and myofibrils looked thicker than the control. In addition, disappearance of Z-line, M-line and H-zone and breakage of A-band and I-band were observed. The structure of sarcomeres was completely destroyed, intermyofibrillar space disappeared and gelation of myofibrils was observed when pressurized by 450 MPa. Our results indicated that the HPP could serve as a promising technique for commercial quality enhancement of *A. nobilis* muscle.

Key words: *Aristichthys nobilis*; high pressure processing (HPP); quality; Ca^{2+} -ATPase

Corresponding author: YING Tie-jin. E-mail: tjying@zju.edu.cn