超高压处理对鲈鱼品质的影响

郭丽萍[1,2]，乔宇[1]，熊光权[1]，廖李[1]，汪兰[1]，吴文锦[1]，丁安子[1]，李新[1]，石柳[1]
（1.湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所，湖北武汉 430064）
（2.宁波大学海洋学院，浙江宁波 315211）

摘要：以鲈鱼为原料，研究了不同超高压（0.1、100、200、300、400、500 MPa，保压 5、10 min）处理条件对鲈鱼菌落总数、剪切力、色泽、组织结构、蛋白质降解和气味的影响。结果表明：超高压处理后菌落总数显著降低；剪切力随着压力增大呈增加趋势，压力≧300 MPa 时，硬度显著增加，500 MPa 条件下增加了 0.64 倍；样品总色差随压力升高而逐渐增大，压力≧300 MPa 时，L*值和白度显著提高；通过对鱼肉组织细胞和肌原纤维蛋白的观察，超高压处理后鱼肉细胞完整性逐渐破碎，裂痕增多，肌肉纤维的轮廓模糊，并且鱼肉中肌原纤维蛋白随着压力的增大逐渐分解；通过电子鼻分析，300 MPa 及以上压力使气味有所改变，200、300 MPa 处理后鱼肉气味和对照组区别不大。相同压力下，处理时间延长对鲈鱼的品质影响并没有较大的差异。综合分析，在鲈鱼加工和保鲜等应用中选择 200 MPa、5 min 处理可能较为合适，货架期可以延长 5 d 左右。

关键词：超高压；鲈鱼；品质
文章篇号：1673-9078(2018)06-180-187 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.6.025

Effect of Ultra-high Pressure Treatment on the Quality of the Largemouth Bass

GUO Li-ping[1,2], QIAO Yu[1], XIONG Guang-quan[1], LIAO Li[1], WANG Lan[1], WU Wen-jin[1], DING An-zi[1], LI Xin[1], SHI Liu[1]
(1.Research Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China)(2.School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The largemouth bass was used as raw material in this study to investigate the effects of different ultra-high pressure (0.1, 100, 200, 300, 400 and 500 MPa, packing pressure for 5 and 10 minutes) treatments on the total number of colonies, shear force, color, texture, protein degradation and odor. The results showed that the total number of colonies decreased significantly after ultra-high pressure treatment. The shear force increased with the increase of pressure, the hardness increased significantly at a pressure of 300 MPa, and increased by 0.64 times at 500 MPa. In addition, the total color difference of sample increased with the increase of pressure, and the L* value and whiteness increase significantly at pressure ≥ 300 MPa. Through the observation of fish tissue cells and myofibrillar proteins, the integrity of fish cells was gradually broke and after the ultra-high pressure treatment, the cracks increased, the outline of muscle fibers became blurred and the myofibrillar protein in fish gradually decomposed. Through the electronic nose analysis, the preasure of 300 MPa and above changed the odor, and the fish smell did not differ significantly from the control group after 200 and 300 MPa treatment.. Under the same pressure, there was no significant difference in the effect of prolonged treatment time on the quality of bass. Consequently, 200 MPa and 5min were the ideal conditions in the bass processing and preservation, which could extend the shelf-life for about 5 days.

Key words: ultra-high pressure processing; largemouth bass; quality

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)俗名为加州鲈，原产于北美，我国于二十世纪八十年代初引进。该品种肉质纯白细嫩，味道鲜美可口，生长快，易起捕，具有较高的营养价值和经济价值，我国淡水养殖的鲈鱼绝大部分为大口黑鲈[1]。由于鲈鱼中含有丰富的营养物质和较高的水分含量，导致其在贮运加工过程中容易腐败变质，引起货架期变短[2]。随着人民生活水平的提高，人们对特色淡水鱼的需求越来越多，鲈鱼的保鲜问题亟待解决。

超高压（ultra-high pressure，UHP）是一种非热食

收稿日期：2018-01-27
基金项目：现代农业产业技术体系专项资金资助（CARS-46）；湖北省技术创新专项重大项目（2018ABA100）
作者简介：郭丽萍（1995-），女，硕士研究生，主要从事水产品加工与贮藏研究
通讯作者：乔宇，女，副研究员，主要从事农产品加工研究

品加工方法，源于美国，二十世纪八十年代。UHP 是将食品置于一个密封容器中，以水等液体作为媒介，超高压处理并保持一定的时间，从而杀死食品中腐败微生物、抑制各种酶的活性、改变食品的结构构象和品质风味并延长货架期的过程[3]。随着现代生活水平的提高，消费者对食品的安全营养、风味口感以及方便程度的要求越来越高，超高压加工技术可应用于蔬菜水果、肉制品、水产品等的保鲜和深加工，具有广阔的发展前景，现如今是学者们的一个研究热潮。超高压最早在水产品中的应用，主要是对于物料的杀菌作用，在国内外将超高压应用于水产品加工产业化的研究主要集中在牡蛎。Calik 等[4]人的研究结果表明：超高压处理 345 MPa，保压时间 90 s 的处理牡蛎肉之后，能够杀死牡蛎中绝大部分的副溶血弧菌。同时，杨华等[5]以缢蛏为研究对象，以菌落总数和 TVB-N 值为指标，通过正交试验得出 500 MPa、20 ℃、15 min 为缢蛏最优的超高压保鲜工艺条件。并且水产品经过超高压处理后，其质构特性、颜色、肌肉纤维等都发生了一定的变化，会直接影响产品的可接受度。Cruz-Romero 等[6]研究发现，500 MPa 处理后，能使海鲈鱼肉中的半胱氨酸蛋白酶活性提高，300 MPa 处理后样品中组织蛋白酶活性减小。还有研究人员[7]通过超高压对海水鲈鱼进行冷藏保鲜，研究发现，超高压对微生物、酶活、蛋白质和 L*值均有较大影响，压力增大，杀菌效果越显著，能够抑制更多蛋白酶的活性，L*也不断增大。

本文对淡水鲈鱼片进行超高压处理实验，通过分析不同超高压处理条件对鲈鱼菌落总数、色泽、剪切力、组织结构、蛋白质降解程度以及气味等的影响，从而确定最佳超高压强度和处理时间，综合评价超高压处理对冷藏鲈鱼片品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

材料：新鲜鲈鱼，购于湖北省武汉市武商量贩农科院店。选择标准为：个体大小一致，重量 0.4~0.6 kg，鱼体鱼鳍无破损，鱼鳃鲜红，鱼眼饱满黑白分明无浑浊，肉质弹性较好的个体，冰藏条件下 30 min 以内运输至实验室进行处理。

包装材料：(8×8) cm 真空高温蒸煮袋，PE 材质。

1.2 仪器与设备

FG2pH 计，梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；L2-600 MPa/2 L 超高压处理机，天津华泰森淼生物工程技术股份有限公司；BS-210 型电子天平，德国 Sartorius Instruments 有限公司；CR-400 色差计，柯尼卡美能达株式会社；DGX-9143B 电热恒温鼓风干燥箱，上海雷磁仪器生产厂；SPX-250B-Z 生化培养箱，上海博讯实业有限公司医疗设备厂；TA-XT Plus 质构仪，英国 Stable Micro Systems 公司；JHK-A 洁净工作台，天津市中环实验电炉有限公司；DZD-600/S2E 真空包装机，燕城神州食品机械（北京）有限公司；GL-25MS 高速冷冻离心机，上海卢湘仪离心机仪器有限公司；FOX40000 电子鼻，法国阿尔法莫斯仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鲈鱼的处理

将新鲜鲈鱼以敲头方式击杀，剖开，去除内脏、鱼头，用无菌生理盐水冲洗干净，半剖鱼片，取背部鱼肉，去鱼皮，切成相同尺寸方块（2 cm×3 cm×1 cm），随机分成六份，放于 8 cm×8 cm 蒸煮袋真空密封好后。

1.3.2 超高压处理

将 1.3.1 的样品，在 30 min 内进行超高压处理。选择的压力分别为 100 MPa、200 MPa、300 MPa、400 MPa、500 MPa，保压时间分别为 5 min、10 min。

超高压设备升压速度：15 MPa/s，在 2 s 内完成卸压，内腔温度保持 15±3 ℃。同时记未处理组为 0 MPa 作为对照组[8]。

1.4 品质指标测定

1.4.1 色度的测定

测量前剥开鱼肉表皮，暴露出肌肉。用便携式色差计测定 L*(亮度)、a*(红度)和 b*(黄度)值，计算白度，每个样品重复测 3 次，取平均值[9]。

$$白度 = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1\text{-}1)$$

1.4.2 剪切力的测定及参数

采用质构仪，以剪切力来衡量鲈鱼嫩度。采用剪切探头 HDP/BS，压缩测试模式，具体参数见表 1[10]。

表 1 剪切力测量参数表

Table 1 Measurement parameters of shear force

测前速度	测中速度	测后速度	距离	触发应力
2.00 mm/s	1.00 mm/s	1.00 mm/s	20.0 mm	20.0 g

1.4.3 菌落总数的测定

参照 GB 4789.2-2010[11]。取 10 g 鱼肉剪碎并加入 90 mL 灭菌处理的生理盐水，充分振荡，根据样品保藏时间及样品新鲜度，制备稀释样品悬浊液。采用稀释平板计数法，取 1.0 mL 样品悬浊液接种于营养琼脂

培养基中，适当摇匀，冷却凝固后，翻转平板，放置在 30 ℃恒温箱内培养 72 h，进行菌落计数。

1.4.4 组织结构的观察

参照 Liu 等[12]和刘大松[13]法。使用电子显微镜观察鲈鱼肉的组织微观结构。用刀将鱼肉切成 10 mm×10 mm×3 mm 的小块，用 10%的甲醛溶液固定 48 h，随后使用乙醇梯度脱水（30%，2 h；50%，2 h；70%，2 h；80%，2 h；90%，2 h；95%，2 h；100%，1 h；100%，1 h；100%，1 h），然后使用二甲苯浸泡 2 h 至透明（50%二甲苯-50%乙醇，2 h；100%二甲苯，2 h；100%二甲苯，2 h）。浸蜡 2 h 后用切片机将样品切成 10 μm 薄片，置于水温为 45 ℃的展片盒中展开，使用载玻片将薄片平贴，在 70 ℃烘箱中烘干，再使用二甲苯洗脱 2 次脱蜡，然后使用乙醇梯度洗脱（100%，95%，90%，80%，70%，每次 2~3 min），再使用蒸馏水洗脱 1 次，1%苏木素-伊红（H&E）染色 10~20 s，95%乙醇脱水 1 次，二甲苯透明 40 min，显微镜观测。

1.4.5 SDS-PAGE电泳分析

样品前处理：取适量经过不同超高压条件下的鲈鱼样品，加入 5 倍体积 0.05 mol/L KCL-20 mmol/L Tris-HCL缓冲液（pH 7.0），混匀，9000 r/min 4 ℃离心 10 min，重复上述步骤操作 2 次，沉淀加入 4 倍体积 0.6 mol/L KCL-20 minmmol/L Tris-HCL缓冲液，10000 r/min匀浆。静置 30 min以充分溶解蛋白，9000 r/min 4 ℃离心 20 min，去掉上清液，再加入 10 倍体积的预冷去离子水稀释，10000 r/min冷冻离心 15 min，沉淀即为肌原纤维蛋白。用双缩脲法对肌原纤维蛋白浓度进行测定，将肌原纤维蛋白溶液浓度均调为 6 mg/mL。以牛血清蛋白（BSA）作为标准蛋白。将肌原纤维蛋白溶液按照一定的比例与上样缓冲液混合，沸水浴 5 min，待用[14]。

1.4.6 电泳分析

1、制备 12%的分离胶和 5%的浓缩胶。

2、加样：每孔加入 20 μL 待测样品。

3、电泳及结果测量：100 V，20 mA 条件下电泳约 3 h。

4、染色和脱色：除去浓缩胶层，将分离胶在染色液中浸泡染色 15 min 左右，倒去染色液，用自来水漂洗 3 次，然后加入脱色液，途中更换几次脱色液（2~3 次，每次处理 15 min），直至蛋白质带清晰为止。

1.4.7 电子鼻的测定

分别准确称取样品 3.0 g，置于 20 mL 进样瓶中封盖待测，每组分别做 4 个平行。

电子鼻的参数：以干燥洁净空气为载体，流速 150 mL/min；顶空平衡温度 60 ℃，顶空平衡时间 300 s，振荡速度 500 r/min；注射针温度 60 ℃，进样体积 500 μL/s；数据采集时间为 120 s，获取延滞时间 300 s[15]。

1.4.8 数据统计分析

实验数据均取 3 次平行实验的平均值，采用软件 Excel 绘制曲线，数据间差异通过统计软件 SPSS 22.0 中的 Duncan 新复极差法进行方差分析和多重比较，结果以平均值±标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 菌落总数的变化

对于水产品来说，菌落总数的变化反映蛋白质和氨基酸分解代谢的情况，因此菌落总数是评价鲈鱼品质优劣和保鲜期的一个非常有效地指标[2]。一般，菌落总数（个/g）≤10^5 为一级鲜度，≤5*10^5 个/g 为二级鲜度，10^6~10^7 个/g 表明鱼类已经腐败[16]。不同超高压处理条件的菌落总数如下图 2-1 所示。未经超高压处理的对照组样品的菌落总数是 4.82 log CFU/g，经超高压处理后各组鲈鱼鱼肉的菌落总数均下降，可以提高鲈鱼鱼肉的安全质量。

由表 2 可知，超高压具有瞬间杀菌的能力，且效果良好。总体来说，随着处理压力的增大，菌落总数含量显著降低，抑菌效果显著增强（p<0.05），500 MPa 处理后鲈鱼鱼肉的菌落总数达到最低值，相比对照组样品减少了 2.74 log CFU/g。在超高压环境中细胞膜受到损坏，从而导致细胞的渗漏，细胞结构被破坏，氢键、疏水键和离子键等非共价键发生改变，产生蛋白质压力凝固，抑制酶的活性和遗传物质的复制[17]。当压力为 100 MPa，200 MPa，500 MPa 时，超高压的处理时间 5 min 和 10 min 对灭菌效果并没有显著性影响（p>0.05）。

表 2 不同超高压处理条件对鲈鱼贮藏中菌落总数（log CFU/g）的影响

Table 2 Effects of different ultrahigh pressure treatments on the total colony (log CFU/g) in perch storage

处理时间/min	压力强度/MPa					
	0	100	200	300	400	500
5	4.80±0.02^{aA}	4.485±0.03^{bA}	4.00±0.03^{cA}	3.20±0.06^{dA}	2.69±0.02^{eA}	2.17±0.02^{fA}
10	4.80±0.02^{aA}	4.39±0.01^{bA}	3.79±0.02^{cA}	2.72±0.01^{dB}	2.19±0.01^{eB}	2.09±0.02^{fA}

注：同一行中，不同小写字母上标表示差异显著（p<0.05）；同一列中，不同大写字母上标表示差异显著（p<0.05）。

2.2 剪切力的变化

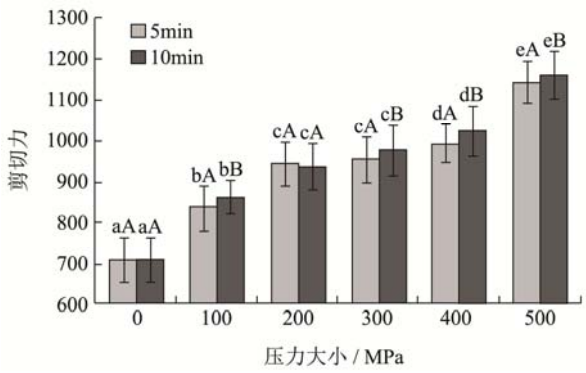


图 1 不同超高压处理条件下对鲈鱼剪切力的影响

Fig.1 Effects of different ultra-high pressure treatment on the shear stress of perch

注: 同一行中，不同小写字母上标表示差异显著（p<0.05）; 同一列中，不同大写字母上标表示差异显著（p<0.05）。

嫩度被消费者认为是肉品质量最重要的指标之一，反映了肉的质地，它是通过剪切力来表示的，剪切力值越低，表示肉越嫩[18]。不同强度的超高压处理对鲈鱼肉质有着较大影响，随着压力的增加，鲈鱼肉的质构发生了显著的变化。

有研究报道由于超高压处理可以修饰肌原纤维蛋白质，进而会对鱼肉质构产生影响[19]。由图 1 可以看出，随着压力的增大，鲈鱼肉的剪切力值呈上升趋势，降低了鱼肉嫩度。当压力为 200 MPa 和 300 MPa 处理样品间的剪切力差异不显著（p>0.05）。这与马海建[20]对草鱼肉进行超高压处理后也发现 200 MPa 和 300 MPa 处理的鱼肉的硬度差异不显著（p>0.05）。相比对照组，300 MPa 处理后鱼肉的剪切力增加了 0.38 倍，500 MPa 处理后增加了 0.64 倍，当压力相同时，超高压的处理时间的延长对鲈鱼剪切力有显著影响，除 200 MPa 压力外，其他压力处理组 10 min 处理比 5 min 处理的鲈鱼剪切力显著增加（p<0.05）。

2.3 色泽的变化

色泽是一个重要的食品品质的指标，影响产品的外观表现，可能决定消费者的购买欲望[21]。同时，在保藏期间，鱼肉的颜色可能会由于脂肪发生氧化、色素出现降解等反应而发生一定程度的变化，导致消费者的可接受度下降[22]。

表 3 5 min 时不同超高压强度对鲈鱼贮藏中色泽的影响

Table 3 Effects of different ultra - high pressure intensity on the color of bass during storage at 5 min

5 min	0 MPa	100 MPa	200 MPa	300 MPa	400 MPa	500 MPa
L*	43.67±0.07^{a}	47.26±0.86^{b}	51.11±0.49^{c}	61.87±0.78^{d}	72.23±0.83^{e}	74.18±0.15^{f}
a*	-1.74±0.13	-1.84±0.01	-2.42±0.03	-3.47±0.09	-3.66±0.18	-3.84±0.11
b*	-4.97±0.01	-5.37±0.47	-5.01±0.68	-6.837±0.25	-5.54±0.21	-0.575±0.06
白度	43.93±0.05^{a}	47.76±0.85^{b}	52.55±0.50^{c}	61.87±0.78^{d}	73.11±0.85^{e}	75.66±0.08^{f}

表 4 10 min 时不同超高压强度对鲈鱼贮藏中色泽的影响

Table 4 Effects of different ultra - high pressure intensity on the color of bass during storage at 10 min

10 min	0 MPa	100 MPa	200 MPa	300 MPa	400 MPa	500 MPa
L*	43.67±0.07^{a}	49.56±0.74^{b}	56.96±0.14^{c}	73.73±0.81^{d}	73.59±0.17^{d}	77.84±0.14^{e}
a*	-1.74±0.13	-1.61±0.02	-1.98±0.02	-1.81±0.16	-3.29±0.05	-3.32±0.16
b*	-4.97±0.01	-6.00±0.36	-4.75±0.01	0.32±0.11	0.25±0.20	-3.16±0.21
白度	43.93±0.05^{a}	49.19±0.08^{b}	56.96±0.14^{c}	72.65±0.01^{d}	75.06±0.19^{e}	76.53±0.20^{f}

从表 3、4 中可以看出，对照组和实验组相比，经过超高压处理之后，不同压力之间的鲈鱼肉的颜色有明显变化，随着压力值和处理的时间，L*值呈现大幅度递增的趋势，鱼肉呈现出越来越白的熟化外观，导致鱼肉表面颜色变化。前人的研究表明[23]，鱼类肌肉颜色的变化与类胡萝卜素和血红色素（即肌红蛋白和血红蛋白）有关。Alpas等人[24]研究发现，海鲈鱼经过超高压处理之后，L*值的变化呈现大幅度的上升趋势。Erkan等[25]人也研究表明，L*值随着压力的增大一直增大。本研究中在 100 MPa和 200 MPa处理条件下样品白度变化差异不大（p<0.05）。当压力大于 300 MPa时鱼肉的颜色变化很大，基本上呈现完全熟化的外观，L*值和白度均显著增大，且压力越大，其增加幅度越大。500 MPa处理后，鱼肉的L*达到 76.53，相比对照组样品增加了 74%，超高压处理对L*值和白度有明显影响，这可能是由于超高压处理引起肌原纤维蛋白和肌浆蛋白变性从而使鱼肉表面颜色发生改变所致[26]。经超高压处理 5 min后鲈鱼鱼肉的a*值相比对照组显著减小，300 MPa处理后样品的a*值减小到-3.47，而随压力的继续升高，经 300、400 和 500 MPa处理后的三组样品a*值差异不显著。处理 10 min后，压力大于 4000 MPa处理后的a*值显

著减小，a*值的减小可能是由于超高压处理过程中肌红蛋白发生氧化形成高铁肌红蛋白导致[27]，当压力相同时，超高压的处理时间的延长对鲈鱼白度影响不显著（p<0.05），5 min和 10 min之间的差异并不大。

2.4 肌肉组织结构的变化

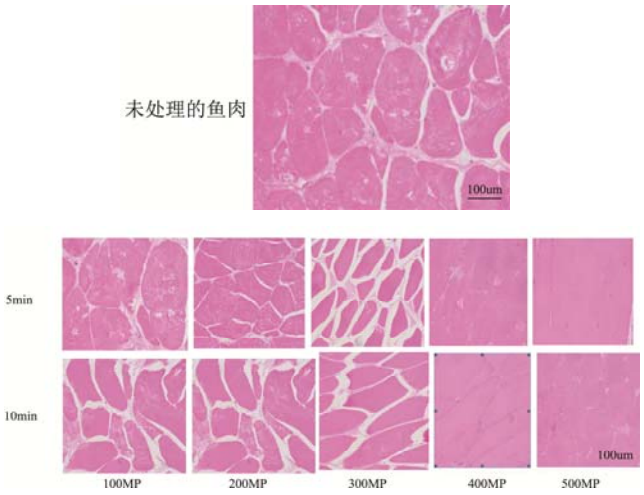


图 2 不同超高压处理条件后的结构图

Fig.2 Structure diagrams of different conditions after ultra high pressure treatment

对不同压力强度和处理时间的鲈鱼片进行微结构（横切面）观察，结果如下图 2 所示。可以看出，不同压力处理下鲈鱼组织结构变化趋势不同。对照组样品的肌肉组织线条纹理紧凑清晰、排列有序，而经超高压处理后的样品表面纹理变得模糊，表面肌纤维结构紧致无序。随着超高压处理的压力不断增大，肌肉细胞的完整性逐渐破碎，裂痕增多，肌肉纤维的轮廓模糊[20]。特别是当压力大于 300 MPa 时，这种变化更加明显。当压力小于 300 MPa 时，即压力为 100 MPa 和 200 MPa 时，与对照组相比，变化不明显，基本上保持原有鱼肉组织结构。同时，在相同压力处理条件下，处理时间的延长对鱼肉组织结构也有一定的影响，时间越长，肌纤维的间隙越大。雒莎莎[19]等对鳙鱼的研究也有类似结果，450 MPa 处理后，肌原纤维的肌节已被彻底破坏，肌原纤维间隙消失。Cheftel 等也[28]曾报道当压力达到 200 MPa 时，蛋白质即开始出现胶凝化。由于超高压处理使鲈鱼肌肉的微观结构发生变化，从而对鱼肉的硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等质构特性参数的变化产生影响。

2.5 蛋白质降解的变化

肌原纤维蛋白又[29]叫盐溶蛋白，由图 3 可以看出，鲈鱼肌原纤维蛋白是一个较为复杂的蛋白体系，包括很多蛋白以及多种微量调节蛋白，其中肌球蛋白重链（MHC）和肌动蛋白（Action）是最主要的蛋白条带。肌原纤维蛋白在肉类加工过程中起到衔接结构和肉制品质地坚固的重要作用。

当超高压的压力强度逐渐增大时，蛋白质也逐渐开始分解。Geesink 等[30]人对大马哈鱼进行了超高压研究，其研究表明肌原纤维蛋白发生了降解。闫春子等人[8]研究超高压对淡水鱼冷藏保鲜效果的影响中，也表明了肌肉纤维蛋白随着超高压的增大逐渐分解。尤其是当超高压的处理强度大于 400 MPa 时，图中的条带开始模糊，即压力增大，会使蛋白质逐渐变性、分解。当压力小于 300 MPa 时，与对照组相比，这种变化差异不大，说明在这种超高压处理下，绝大多数蛋白质未变性，蛋白质分子仍然保留较好。当压力相同时，超高压的处理时间的延长对蛋白质的结构影响不显著，5 min 和 10 min 之间的差异并不大。

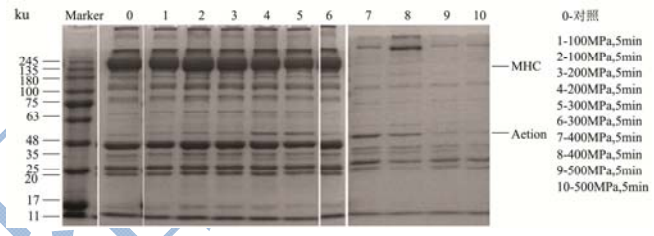


图 3 不同超高压条件对鲈鱼蛋白质降解的影响

Fig.3 Effects of ultra high pressure conditions on protein degradation of sea bass

2.6 鱼肉气味的变化

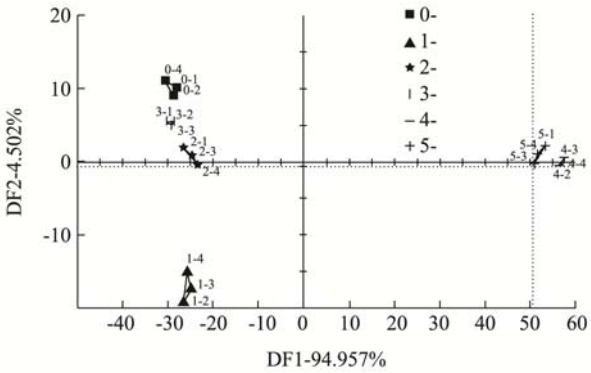


图 4 不同超高压处理 5 min 下对鲈鱼气味的影响

Fig.4 Effects of different ultra high pressure treatments for 5min on the odor of bass

注：0：对照组；1：100 MPa，5 min；2：200 MPa，5 min；3：300 MPa，5 min；4：400 MPa，5 min；5：500 MPa，5 min。

电子鼻是由气敏传感器阵列、信号处理器系统、模式识别系统等部分组成，利用传感器阵列的响应曲线识别样品的气味，对其进行判别和分析[31]。图 4、5 分别为为 5 min、10 min 不同压力条件下各组样品电子鼻数据的 DFA 图，图 4 中第一主成分（DF1）贡献

率达到了 94.957%，第一主成分（DF1）和第二主成分（DF2）贡献率之和 99.459%，说明主成分可很好的反映原有的多指标的信息。

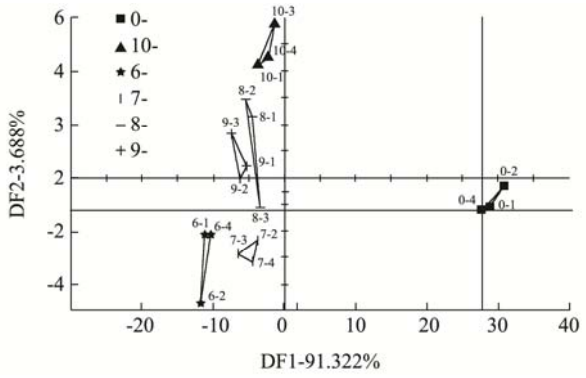


图 5 不同超高压处理 10 min 下对鲈鱼气味的变化

Fig.5 Change of the odor of bass under different ultra high pressure treatments for 10min

注：0：对照组；6：100 MPa，10 min；7：200 MPa，10 min；8：300 MPa，10 min；9：400 MPa，10 min；10：500 MPa，10 min。

由图 4 和图 2~5 可知，随着压力的增大，鱼肉的气味发生了变化。处理压力 5 min 时，5 组样品中，100 MPa、200 MPa 和 300 MPa 处理后的三组样品和对照组的样品分布在左侧区域，且 200 MPa 和 300 MPa 处理组的数据点与对照组相距很近，说明 200 MPa 和 300 MPa 处理对鲈鱼鱼肉的气味影响较小；400 MPa、500 MPa 处理的两组样品的数据点均分布在右侧区域，和对照组的数据点的距离较远，说明 400 MPa 及以上的压力处理对鲈鱼鱼肉的整体气味轮廓有较明显的影响。超高压处理时间的延长，对鱼肉的风味物质有较大的影响，当处理 10 min 后，五个压力处理组的数据点均集中在了左侧区域，对照组数据点在右侧，有了明显的区分，这表明延长超高压处理时间对鱼肉的气味有明显的影响，可能是由于超高压通过影响食品原料内部的化学和酶促反应的进程从而对食品的风味有一定的影响[32]。

3 结论

3.1 研究了不同超高压（0.1、100、200、300、400、500 MPa，保压 5、10 min）处理条件对鲈鱼菌落总数、剪切力、色泽和气味的影响，结果表明：随着压力的增大，杀菌效果逐渐增强，超高压处理之后的鱼肉 L* 显著增大，颜色发生了劣变。鲈鱼的剪切力也随着压力增大而增大，均大于对照组，尤其当超高压处理的强度大于 300 MPa 时，鱼肉的嫩度、色泽和组织结构有较大影响，降低了产品消费的可接受度。相同压力下，处理时间对其色泽影响不大，对鲈鱼的气味有一定的影响，压力增大，时间延长，都会对鲈鱼的气味有一定的破坏，200 MPa、300 MPa 处理 5 min 的变化与其差异不明显，5 min 和 10 min 之间存在着一定的差异。同时也对鲈鱼在肌肉细胞和蛋白降解方面的影响进行了测定，结果表明：压力增大，肌肉细胞的完整性逐渐破碎，裂痕增多，肌肉纤维的轮廓模糊。特别是当压力大于 300 MPa 时，这种变化更加明显。当压力小于 300 MPa 时，即压力为 100 MPa 和 200 MPa 时，与对照组相比，变化不明显，基本上保持原有鱼肉组织结构。同时，在相同压力处理条件下，处理时间的延长对鱼肉组织结构也有一定的影响，时间越长，细胞的破坏程度越大。SDS-PAGE 表明，经过超高压处理后肌原纤维蛋白发生了一定程度的降解，尤其是当超高压的处理强度大于 400 MPa 时，即压力增大，会使蛋白质逐渐变性、分解。当压力小于 300 MPa 时，与对照组相比，这种变化差异不大，说明在这种超高压处理下，绝大多数蛋白质未变性，蛋白质分子仍然保留较好。当压力相同时，超高压的处理时间的延长对蛋白质的结构影响不显著，5 min 和 10 min 之间的差异并不大。

3.2 适当的处理压力（即 100 MPa、200 MPa）能够很好地保持鱼肉的质构与形状，但是考虑到 100 MPa 的杀菌效果较差，从整体上来考虑，200 MPa 处理 5 min 最为合适。通过本文的研究，能够为超高压技术在水产品保鲜的应用中提供一些理论指导。

参考文献

[1] 王广军,关胜军,吴锐全,等.大口黑鲈肌肉营养成分分析及营养评价[J].海洋渔业,2008,30(3):239-244
WANG Guang-jun, GUAN Sheng-jun, WU Rui-quan, et al. Nutrient composition analysis and nutritional assessment of muscle in largemouth bass [J]. Marine Fisheries, 2008, 30(3): 239-244

[2] 赵宏强,吴金鑫,张苑怡,等.超高压处理对冷藏鲈鱼片品质及组织结构变化的影响[J].高压物理学报,2017, 31(4):494-504
ZHAO Hong-qiang, WU Jin-xin, ZHANG Yuan-yi, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on the quality and microstructure of sea bass perch fillets [J]. Acta Physico-Pressures, 2017, 31(4): 494-504

[3] 邓记松.超高压处理海珍品保鲜研究[D].大连:大连理工大学,2009
DENG Ji-song. Study on the fresh keeping of sea buckthorn treated by UHP [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009

[4] Calik H, Morrissey M T, Reno P W, et al. Effect of high-processing on vibrio parahaemolyticus strains in pure culture and pacific oysters [J]. Journal of Food Science, 2000, 67(4): 1506-1510

[5] 杨华,陆森超,刘丽君,等.超高压处理对养殖大黄鱼保鲜效果的影响[J].食品科学,2014,35(24):331-336
YANG Hua, LU Sen-chao, LIU Li-jun, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on preservation of large-sized yellow croaker [J]. Food Science, 2014, 35(24): 331-336

[6] Cruz-Romero M, Kelly A L, Kerry J P. Effects of high-pressure and heat treatments on physical and biochemical characteristics of oysters (*Crassostrea gigas*)[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2007, 8(1): 30-38

[7] 徐永霞,刘滢,张朝敏,等.超高压处理对冷藏鲈鱼品质的影响[J].食品与发酵工业,2015,41(1):85-89
XU Yong-xia, LIU Ying, ZHANG Chao-min, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on the quality of refrigerated sea bass [J]. Food and Fermentry Industry, 2015, 41(1): 85-89

[8] 闫春子.超高压处理对淡水鱼冷藏保鲜效果的影响[D].无锡:江南大学,2016
YAN Chun-zi. Effect of Ultra-high pressure treatment on fresh fresh-keeping of fresh water fish [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016

[9] Benjakul S, Visessanguan W, Chantarasuwan C. Effect of porcine plasma protein and setting on gel properties of surimi produced from fish caught in Thailand [J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37(2): 177-185

[10] 范凯,廖李,程薇,等.茶多酚结合辐照对鲈鱼冷藏品质的影响[J].核农学报.2016,30(9):1780-1785
FAN Kai, LIAO Li, CHENG Wei, et al. Effects of tea polyphenols combined with irradiation on the chilling quality of sea bass [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(9): 1780-1785

[11] GB/T4789.2-2010,食品微生物学检验 菌落总数测定[S]
GB/T4789.2-2010, Microbiological Examination of Food Colony Count [S]

[12] Liu D, Liang L, Xia W, et al. Biochemical and physical changes of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets stored at -3 and 0 ℃ [J]. Food Chemistry, 2013, 140(1-2): 105-114

[13] 刘大松.草鱼肉在微冻和冰藏保鲜中的品质变化及其机理[D].无锡:江南大学,2012
LIU Da-song. Grass carp meat in the micro-frozen and frozen in the quality of the changes and its mechanism [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012

[14] Lina R, Yanshun X, Qixing J, et al. Investigation on structural changes of myofibrillar proteins from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during frozen storage [J]. Food Science &Technology International Tokyo, 2013, 19(6): 1051-1059

[15] 汪敏,赵晔.电子鼻和电子舌在鱼肉鲜度评价中的应用研究[J].肉类研究,2009,6:63-65
WANG Min, ZHAO Ye. Application research of electronic nose and electronic tongue in the freshness evaluation of fish [J]. Meat Research, 2009, 6: 63-65

[16] 郭大钧,奚印慈.测定鱼类鲜度指标之三-菌落总数和大肠菌群[J].中国水产,1984,8:20-21
GUO Da-jun, XI Yin-ci. Determination of freshness index of fish three-the total number of colonies and coliform [J]. Chinese Fisheries, 1984, 8: 20-21

[17] Huang H W, Lung H M, Yang B B, et al. Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing [J]. Food Control, 2014, 40(40): 250-259

[18] Briones-Labarca V, Perez-Won M, Zamarca M, et al. Effects of high hydrostatic pressure on microstructure, texture, colour and biochemical changes of red abalone (*Haliotis rufecens*) during cold storage time [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 13(1): 42-50

[19] 雒莎莎,童彦,Muhammad Muzammil Jahangir,等.超高压处理对鳙鱼质构特性的影响[J].中国食品学报,2012,12(5):182-187
GE Sha-sha, TONG Yan, Muhammad Muzammil Jahangir, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on the texture characteristics of catfish [J]. Chinese Journal of Food Science, 2012, 12(5): 182-187

[20] 马海建.超高压处理对草鱼鱼肉和肉糜制品品质的影响[D].上海:上海海洋大学,2016
MA Hai-jian. Effect of UHP treatment on grass carp fish and meat products quality [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016

[21] Sahin S, Sumnu S G, Sahin S, et al. Physical properties of food [M]. Springer New York, 2006

[22] 任丽娜.白鲢鱼肉肌原纤维蛋白冷冻变性的研究[D].无锡:江南大学,2014
REN Li-na. Silver carp muscle myofibrillar protein freezing degeneration [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014

[23] Hui Y H, Cross N, Kristinsson H G, et al. Biochemistry of Seafood Processing [M]. Food Biochemistry and Food Processing, Second Edition. Wiley ackwell, 2012: 351-378

[24] Erkan A N, Üretener G, Alpas A H. Effects of high pressure treatment on physicochemical characteristics of fresh sea bass(*Dicentrarchus labrax*) [J]. Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit, 2010, 5(1): 83-89

[25] Erkan N, Üretener G. The effect of high hydrostatic pressure on the microbiological,chemical and sensory quality of fresh gilthead sea bream(*Sparus aurata*) [J]. European Food Research &Technology, 2009, 230(4): 533-542

[26] Begonya M, Josephp K, Annemaria M. High pressure induced changes on sarcoplasmic protein fraction and quality indicators [J]. Meat Science, 2010, 85(1): 115-120

[27] Grossi A, Soltoftjensen J, Knudsen J C, et al. Synergistic cooperation of high pressure and carrot dietary fibre on texture and colour of pork sausages [J]. Meat Science, 2011, 89(2): 195

[28] Cheftel J C, Culioli J. Effects of high pressure on meat: a review [J]. Meat Science, 1997, 46(3): 211-236

[29] Tironi V, Lamballerie M D, Le-Bail A. Quality changes during the frozen storage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) muscle after pressure shift freezing and pressure assisted thawing [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(4): 565-573

[30] Geesink G H, Morton J D, Kent M P, et al. Partial purification and characterization of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) calpains and an evaluation of their role in postmortem proteolysis [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(8): 1318-1324

[31] 谢安国,王金水,渠琛玲,等.电子鼻在食品风味分析中的应用研究进展[J].农产品加工:学刊,2011,2011(1):71-73
XIE An-guo, WANG Jin-shui, QU Chen-ling, et al. Research progress on the application of electronic nose in food flavor analysis [J]. Agricultural Products Processing: Academic Journal, 2011, 2011(1): 71-73

[32] 雒莎莎.超高压处理对鳙鱼品质的影响[D].杭州:浙江大学,2012
GE Sha-sha. Effect of ultra-high pressure treatment on the quality of anchovy [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012

现代食品科技