

超高压处理对南美白对虾在冷藏过程中贮藏特性的影响

常耀光, 李兆杰, 薛长湖^{*}, 张亚琦

(中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003)

摘 要: 该文以不同的超高压条件(200, 400, 600, 700 MPa)对南美白对虾进行处理, 通过考察与比较不同压力处理组冷藏过程中感官、微生物以及各化学指标的变化情况, 揭示超高压技术对南美白对虾冷藏特性的影响。结果表明: 超高压处理可以有效地杀灭南美白对虾中绝大多数微生物, 抑制贮藏过程中挥发性盐基氮的积累, 延缓 pH 值的变化, 从而延长南美白对虾的货架期, 且处理压力越高延长效果越显著; 超高压处理会给鲜虾带来不同程度上的煮熟虾的风味; 400 MPa 和 600 MPa 处理使虾在冷藏过程的黑变提前, 而 700 MPa 处理可以完全抑制南美白对虾黑变现象的发生; 超高压能够改变腺苷三磷酸(ATP)及其代谢产物的代谢情况, 但不影响腺苷酸(AMP)的代谢途径。因此超高压处理可以改善南美白对虾在冷藏过程中的品质, 对南美白对虾冷藏具有潜在的应用价值。

关键词: 南美白对虾, 超高压, 冷藏, 黑变, 核苷酸

中图分类号:

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0230-08

常耀光, 李兆杰, 薛长湖, 等. 超高压处理对南美白对虾在冷藏过程中贮藏特性的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 230—237.

Chang Yaoguang, Li Zhaojie, Xue Changhu, et al. Effects of ultra high pressure treatment on storage characteristics of white shrimp in cold storage[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 230—237.(in Chinese with English abstract)

0 引 言

南美白对虾是我国重要的养殖水产品, 年产量大, 经济价值高。但是虾类死后在微生物及内源酶的作用下易于腐败, 且在多酚氧化酶的作用下发生黑变现象, 其货架期很短^[1-4]。

超高压是一种新型食品处理技术, 它是指将物料放入液体介质中, 在 100~1000 MPa 压力下作用一段时间, 使物料发生许多不可逆的生化反应和组织结构变化, 从而导致物料的品质、风味变化的过程^[5]。超高压处理能够有效的杀灭食品中的微生物^[6], 使酶改性^[7], 而且能够较大幅度的保持原料的感官、风味与营养^[8]。超高压技术用途之一便是延长食品的货架期, 已有许多将超高压用于水产品保藏的研究报道^[9-14]。超高压用于虾类保藏也有初步的研究^[15-17], 但未见用于南美白对虾贮藏的报道。本文以不同的超高压条件对南美白对虾进行处理, 通过考察与比较不同压力处理组冷藏过程中感官、微生物以及各化学指标的变化情况, 揭示超高压技术对南美白对虾冷藏特性的影响, 以期超高压技术在南美白对虾冷藏过程中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料

海水养殖鲜活南美白对虾, 购于青岛市南山水产品

批发市场。

1.2 试剂及仪器

ATP(腺苷三磷酸)及其关联物 ADP(腺苷二磷酸)、AMP(腺苷酸)、IMP(肌苷酸)、HxR(肌苷)、Hx(次黄嘌呤)、AdR(5'-腺嘌呤核苷)、Ad(腺嘌呤)和 Xt(黄嘌呤)标准品均为 Sigma 试剂。其余试剂为化学纯。

SPCL-900-6 型超高压设备(中国兵器科学研究院宁波分院, 装置传压介质为癸二酸二辛脂, 高压腔体容积为 5L), Aglient 1100 高效液相色谱仪(美国 Aglient 公司), PHS-3C 型精密酸度计(上海大普仪器有限公司)

1.3 试验方法

1.3.1 超高压处理

超高压处理采用静水压(high hydrostatic pressure)的方式进行, 即最终传压介质为水。

将南美白对虾装入 PEC(氯代聚乙烯)蒸煮袋, 加入蒸馏水, 密封后于 200、400、600、700 MPa 4 个条件下常温保压处理对虾 10 min(设备升压速率不可调, 约为 300 MPa/min, 保压完成后迅速卸压), 处理后破袋排水, 作为高压组样品, 分别记为 200, 400, 600, 700 MPa 组。取鲜活对虾为空白对照组。将各组样品分别装入蒸煮袋, 封口后在 (4±2)℃ 冰箱贮藏。以感官评价的终点作为贮藏终点, 在贮藏过程中对各组进行抽样, 进行下列指标的测定。

1.3.2 感官鉴定

感官鉴定小组由 5 名经过培训的人员组成, 对超高压处理后及贮藏过程中南美白对虾的感官品质进行评价。

感官鉴定按 GB5009.45-1985^[18]的原则, 高压处理完毕后, 对各组的感官进行评价, 并将各处理组对虾煮沸 2 min, 后对各组熟虾的感官进行鉴定。对冷藏各天的各

收稿日期: 2007-12-21 修订日期: 2008-11-16

基金项目: 国家 863 计划项目(2006AA09Z444, 2007AA091802)

作者简介: 常耀光, 山东省临沂人, 研究方向: 水产品加工及贮藏工程。青岛 中国海洋大学食品学院, 266003。Email: changyagouc@hotmail.com

*通讯作者: 薛长湖, 教授, 博士生导师, 从事水产品加工及贮藏方向的研究。青岛 中国海洋大学食品学院, 266003。Email: xuech@ouc.edu.cn

组对虾进行肉质组织、体表色泽、气味三方面评分，具 4 分及以下表明样品不适宜食用，达到贮藏终点。体评分标准如表 1，以 3 项得分的总和作为感官鉴定得分，

表 1 南美白对虾感官评定表
Table 1 Sensory evaluation of white shrimp

项目	3 分	2 分	1 分	0 分
肉质组织	肌肉紧密有弹性，肉质半透明，肉与壳紧密连接	肌肉略有弹性，无变色	肌肉弹性较差，略发黄	肌肉组织松软，肉质较黄
体表色泽	甲壳有光泽，肉与壳紧密连接	身体发红，尾部出现黑斑	肌体无固有色泽，体表出现黑斑	体表色泽灰暗，通体变黑，甲壳与虾体分离
气味	无异味	略有异味	异味较强	异味强烈

1.3.3 微生物菌落总数测定

取全虾称重后加 9 倍体积的灭菌生理盐水匀浆，进行适当梯度稀释，取 0.1 mL 涂布于营养琼脂培养基，25℃ 下培养 48 h，记录菌群总数。

1.3.4 鲜度化学指标的测定

挥发性盐基氮 (TVB-N) 的测定依照 Conway 的半微量扩散法^[19]进行。

pH 值的测定：取 5 g 肌肉加入 45 mL 蒸馏水进行匀浆，离心后取上清液，以 pH 计测定其值。

ATP 相关产物及 K 值：

$$K(\%) = (HxR + Hx) / (ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx) \times 100$$

式中 ATP、ADP、AMP、IMP、HxR 和 Hx ——分别代表腺苷三磷酸、腺苷二磷酸、腺苷酸、肌苷酸、肌苷和次黄嘌呤的浓度，μmol/g。

其测定按 Yamanaka 的方法^[20]稍加改动进行：取对虾肌肉组织 5.0 g，匀浆后加入 15 mL 预先冷却的 10% 过氯酸 (PCA)，用玻璃棒搅匀后在 4℃，5000 r/min 离心 5 min，收集上清液。沉淀部分再用 5% PCA 提取并离心。合并上清液，先后用 10 mol/L KOH 和 1 mol/L KOH 将其中和至 pH6.4~6.8，定容至 25mL，以 0.45 μm 滤膜过滤，滤液以高效液相色谱 (HPLC) 进行测定。色谱分析条件如下：色谱柱 Shiseido C18 SG (4.6×150 mm)；流动相 20 mmol/L 乙酸、20 mmol/L 柠檬酸、40.0mmol/L 三乙胺混合液 (pH=4.8)；流速 0.8 mL/min；柱温 40℃；检测器 UV；检测波长 260 nm；进样量 10 μL。比较样品与标准化合物色谱图峰值的保留时间及峰高来确定 ATP 及其降解产物的种类和含量。

1.4 分析方法

菌落总数及化学指标的测定均进行 3 次，结果取平均值。显著性差异分析采用 TUKEY 多项比较检测，由 SPSS 13.0 软件进行计算。

2 结果与分析

2.1 感官鉴定

经 200 MPa 压力处理后，虾肉透明度下降、略发白，但仍有鲜虾特有的香气。400 MPa、600 MPa 组虾壳微红，虾肉变白，有微煮的感官。700 MPa 组虾壳红，有类似熟虾的性状。高压会作用于蛋白的疏水键，使蛋白变性^[21]，从而给物料带来类似于煮熟的感官，Hoover 等人也报道过 300 MPa 以上的压力会使鱼片产生微煮的性状^[22]。各

高压组感官上的变化在一定程度上影响了南美白对虾生鲜的品质。

各组对虾煮熟后，高压处理组除 700 MPa 组外均与对照组相似。700 MPa 组煮熟后与对照组在外观上无差异但香味较浓，咀嚼时口感较柔嫩。虾类主要的风味物质为游离氨基酸、肽类、核苷酸等^[23]，700 MPa 组香味增加可能因为高压使细胞破裂^[22]，从而导致这些风味物质更多的被释放。而 700 MPa 处理后肌肉嫩化，可能由于肌原纤维在强烈的高压下发生断裂^[24-26]。

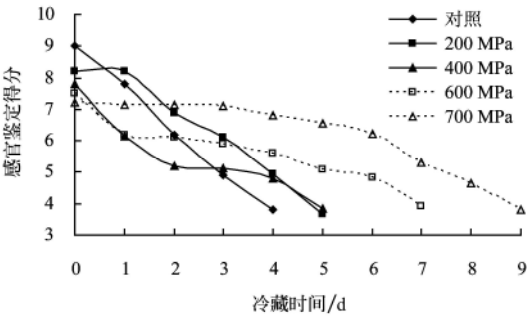


图 1 各处理组冷藏期间感官变化的情况
Fig.1 Change of sensory evaluation of each processed group during cold storage

各贮藏组贮藏期间感官鉴定的变化情况如图 1 所示。对照组、200、400、600、700 MPa 组的感官得分分别在冷藏第 4 d、第 5 d、第 5 d、第 7 d 和第 9 d 达到 4 分，即各组在 4℃ 下的货架期分别为 3、4、4、6、8 d。货架期的延长表明超高压处理对南美白对虾的冷藏有积极的效果。

黑变广泛存在于虾及其他甲壳类动物死后变质过程中，其原因证实是酚类物质在多酚氧化酶 (PPO) 的作用下转变成醌类，然后聚合生成高分子黑色素^[27]。超高压处理能显著改变南美白对虾在冷藏过程中黑变发生的进程。200 MPa 组与对照组相似，贮藏第 2 d 出现轻微黑变现象。400 MPa 组、600 MPa 组在处理 12 h 以内便出现了非常严重的黑变现象。700 MPa 组一直到贮藏终点都未观察到黑变现象。黑变提前与 PPO 酶活上升有关，Asaka 等人的研究证明一定程度的高压可导致 PPO 酶活的轻微上升^[28]，曾庆梅等人也有类似的研究结果^[29]。高压处理后体内酶活的升高可能是由于高压导致细胞组织的破裂，多酚氧化酶提前释放，与底物、氧接触导致。Montero 等人也观察到 400 MPa 在 7℃ 下处理牡蛎

10 min 后黑变情况加重^[30], 这与本试验的结果相符。700 MPa 组无黑变现象的原因可能是 700 MPa 的压力使南美白对虾 PPO 彻底失活。Linton 等人报道 600 MPa, 20℃ 处理挪威龙虾 (*Nephrops norvegicus*) 2min, 在贮藏期无黑变发生^[31], 南美白对虾要在 700 MPa 高压下才能达到此效果, 这可能与 PPO 的种间差异有关。

综合感官鉴定的结果, 700 MPa 组可以明显地延长其货架期, 尤其是在货架期中无黑变产生, 这对虾类保藏具有很积极意义, 但是 700 MPa 下蛋白会发生严重变性, 如果要保持生虾感官, 在应用中采用 700 MPa 的高压不合适。高压的环境对酶的失活至关重要, 高压处理时的温度、pH 值都被证实与酶的失活有关系^[32]。Eshtiaghi 报道用 0.5% 柠檬酸溶液代替水, 改变环境的 pH 值, 400 MPa 处理 15 min 可以使 PPO 完全失活^[33]。鉴于此, 高压与其他条件的配合灭酶值得做进一步的研究。

2.2 微生物菌落总数的变化

各组在贮藏期间微生物的变化如图 2 所示。对照组初始微生物总数为 2.07×10^6 cfu/g。初始菌数与水温、养殖地、虾种、虾的尺寸、捕捞情况等因素有关^[35], 新鲜虾的细菌总数一般在 $2.5 \times 10^2 \sim 2.0 \times 10^6$ cfu/g 之间^[36], 本试验中所用的虾污染程度较严重。经 200、400、600、700 MPa 高压处理后, 菌落总数分别减少为 8.50×10^2 、 6.00×10^2 、 3.25×10^2 、 2.00×10^2 cfu/g, 灭菌率分别高达 99.96%、99.97%、99.98%、99.99%, 灭菌效果显著 ($p < 0.05$)。超高压处理通过破坏细胞膜, 使酶变性, 改变细胞形态等途径起到杀菌的效果^[22]。文献显示, 300~600 MPa 的高压可以使多数的细菌与真菌失活^[5]。这与本试验的研究结果相吻合。

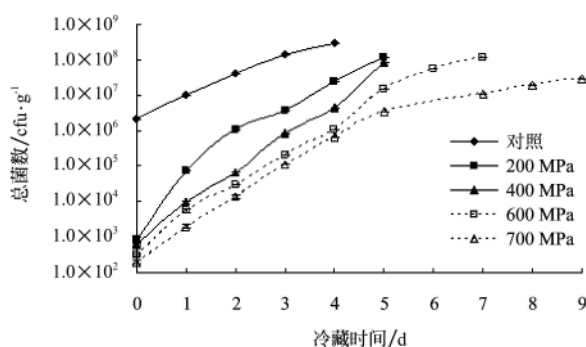


图 2 各处理组冷藏期间微生物菌落总数的变化

Fig.2 Change of total microbial amount of each processed group during cold storage

高压处理可杀灭大多数微生物, 但在其后的贮藏过程中各高压处理组总菌数的增长速度均比对照组快。肽段、氨基酸、核酸作为虾类的风味物质, 同时也是微生物生长的良好底物^[36], 高压处理可能使细胞破裂, 导致这些物质的释放, 从而使这些物质更容易被微生物利用, 致使微生物迅速生长。如图 2 中 600 MPa 组、700 MPa 组在贮藏前期微生物增长速度较快, 但临近贮藏终点的几天内增长放慢, 原因可能是微生物生长从对数期进入滞后期。总体而言, 随着处理压力的升高, 总菌数达到

同一数值所需要的贮藏时间不断延长, 反映出超高压处理对改善南美白对虾贮藏特性的良好效果。

2.3 挥发性盐基氮的变化

挥发性盐基氮 (TVB-N) 是指在碱性条件下具有挥发性的小分子的胺类物质, 其含量是评价虾类鲜度的重要指标^[37-40]。南美白对虾在冷藏过程中 TVB-N 的变化如图 3 所示。从图中可以看出, 对照组的 TVB-N 值变化趋势最快, 而各高压处理组 TVB-N 的增长趋势较缓, 且随着处理压力的上升, 其增长速度有放慢的趋势, 700 MPa 组在前 3 d 内无显著变化 ($p < 0.05$)。贮藏中 TVB-N 值的不断增长被认为与微生物生长有关^[41], 相同贮藏时间下各组微生物的数目随着处理压力的升高愈来愈少, 从而使 TVB-N 增长速度愈来愈缓慢。

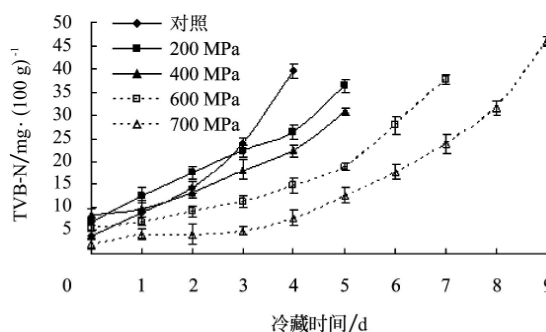


图 3 各处理组冷藏期间 TVB-N 的变化

Fig.3 Change of total volatile basic nitrogen (TVB-N) of each processed group during cold storage

当各组临近各自的贮藏终点时, 对照组、200 MPa、400 MPa、600 MPa、700 MPa 组的 TVB-N 值分别到达 24.09、26.57、22.38、27.97、31.59, 在达到感官不可接受时 TVB-N 值均超过 30 mg/(100 g)。据报道, 虾类贮藏终点的 TVB-N 值在 30 mg/(100 g) 左右^[38,42], 这说明高压处理并不影响南美白对虾货架期终点的 TVB-N 值。结合图 1 与图 3, TVB-N 值在贮藏期间的变化与感官变化有较好的对应关系, 而且各处理组贮藏终点的 TVB-N 值较一致, 可以认为 TVB-N 是表征超高压处理对虾贮藏状况的良好指标。

2.4 pH 值的变化

不同超高压条件处理对虾在货架期中 pH 值的变化如图 4 所示。对照组的初始 pH 值为 6.90, 经不同高压处理后初始 pH 值均显著上升 ($p < 0.05$), 且增幅随压力的增大而增大。Aranzazu 等人研究发现 300 MPa 处理会使鱿鱼肌肉 pH 值由 6.47 升至 6.69^[43], Cruz-Romero 等人用超高压处理牡蛎也发现 pH 显著上升的现象^[44], pH 值升高可能是由某些蛋白质片断发生分解造成的。但 Lopez 等人以 200 MPa、400 MPa 处理日本对虾后, pH 值与未经处理的对照组相比并无显著变化^[16], 这与本试验的结论不符。值得注意的是 Lopez 等人将物料进行真空包装后放入高压装置进行处理, 而本试验与 Aranzazu 等人的研究中均采用静水压处理, 处理对象处于水环境中, 因此推断 pH 上升可能跟物料周围的水环境有某种关系。

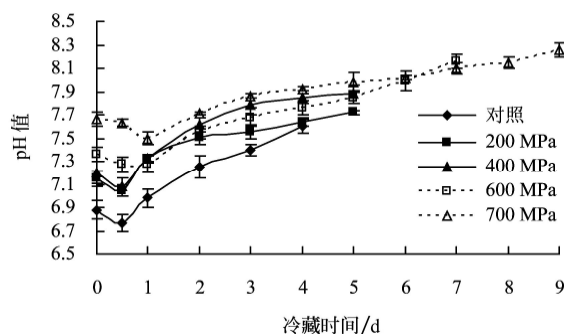


图 4 各处理组冷藏期间 pH 值的变化

Fig.4 Change of pH of each processed group during cold storage

随着贮藏天数的延长, 各组 pH 值变化均呈现先下降后上升的趋势。对照组、200 MPa 组、400 MPa 组的下降现象发生在贮藏开始后的 0.5 d 内, 而 600 MPa、700 MPa 组在第 1 d 内 pH 值均保持下降趋势。高压处理组 pH 值上升的趋势均较对照组缓慢。甲壳类动物在贮藏初期, 在糖分解酶的作用下, 有机酸发生积累导致 pH 值有所下降, 而后随着微生物的滋生及在内源酶的作用下, 蛋白被分解为小分子胺类物质使 pH 值急剧上升^[42,45-46]。高压处理各组 pH 值上升趋势的延缓与总菌数较低相吻合, 而 600 MPa 组、700 MPa 组下降阶段的延长也可能与糖分解酶在该条件下活性受到抑制有关。

2.5 ATP 及相关代谢产物的变化

各组 ATP 及相关产物的变化情况见于图 5a~f。

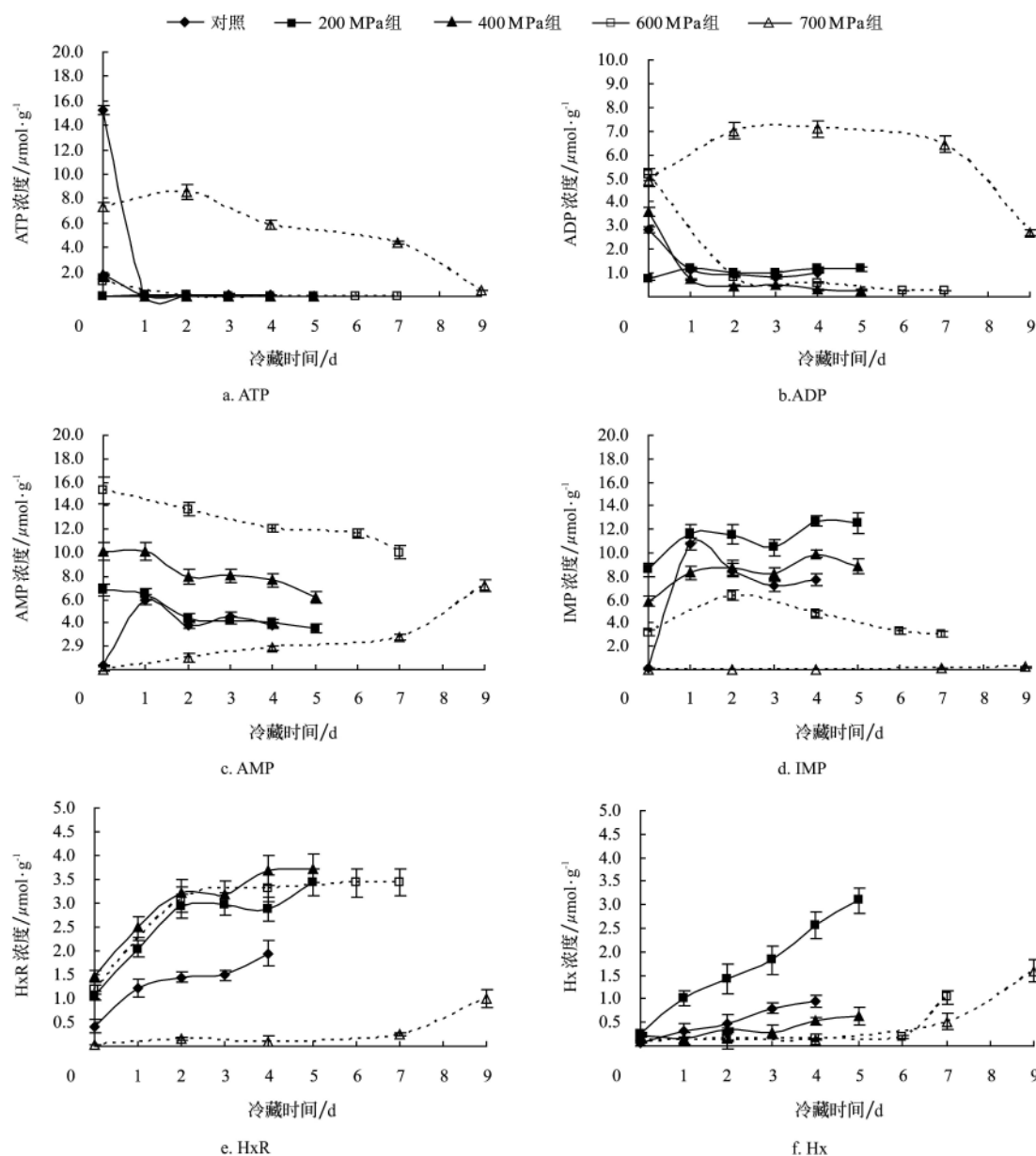


图 5 各处理组冷藏期间 ATP 及其相关代谢产物浓度的变化

Fig5 Changes of concentrations of ATP and ATP-related metabolites during cold storage

对照组 ATP 含量在贮藏起点为 1.53×10^{-5} mol/g, 占核苷酸总量的 80.2%, 说明对照组鲜虾的疲劳程度较

轻^[47], 但仅 1 d 后其含量便降至初始值的 1% 左右, 接下来基本维持在这一水平, 这种趋势与 Matsumoto 等人的

研究结果相一致^[39]。200 MPa 高压处理之后 ATP 含量较对照组显著降低 ($p < 0.05$) 至 10^{-8} mol/g 级, 随后保持此水平不变。400 MPa、600 MPa 组初始 ATP 含量也显著降低 ($p < 0.05$), 此后 1~2 d 内降至 10^{-8} mol/g 级。200 MPa、400 MPa、600 MPa 组 ATP 含量在贮藏起点急剧减少可能由于 ATP 降解酶 (ATPase) 在这些条件下被不同程度激活, 从减少的程度看, 200 MPa 对 ATPase 激活的程度最高, 400、600 MPa 激活效果相当且较 200 MPa 差。Ko 等人曾报道高压使肌原纤维蛋白变性导致 Ca^{2+} -ATPase 失活^[48], 这与本试验的结果并不矛盾, 因为 ATP 分解酶并非仅 Ca^{2+} -ATPase 一种。700 MPa 组 ATP 含量起始浓度为 7.33×10^{-6} mol/g, 约为对照组的一半, 然后缓慢变化, 直到贮藏终点才降至 10^{-8} mol/g 级。700 MPa 下 ATP 的缓慢变化体现了此条件处理后 ATPase 活力的下降。

对照组初始 ADP 含量为 2.83×10^{-6} mol/g, 在第 1 d 内经历较大的下降, 随后的 3d 中基本维持在 1×10^{-6} mol/g 左右。200 MPa 组 ADP 初始含量较对照组显著降低 ($p < 0.05$), 说明 ADP 酶被激活, 随后的贮藏中 ADP 含量稳定在 1×10^{-6} mol/g 左右。400 MPa、600 MPa 组的初始含量较对照组有所增加, 可能是上游 ATP 剧烈代谢导致 ADP 积累, 变化趋势与对照组基本相同, 但变化速度比对照组稍快, 表明 ADP 酶也被轻微的激活。700 MPa 组初始 ADP 含量为 5.0×10^{-6} mol/g, 该值在贮藏前期有所上升, 中期变化不明显, 末期才降低, 其变化趋势比其他组明显缓慢, 表征与 ADP 产生及代谢相关的酶在此条件下被钝化。

对照组 AMP 含量于贮藏初期上升, 随后不断波动呈总体下降趋势。200 MPa、400 MPa、600 MPa 初始值较对照组均显著增加 ($p < 0.05$), 分别为 6.86×10^{-6} 、 1.02×10^{-5} 、 1.53×10^{-5} mol/g, 在货架期内均呈下降趋势。700 MPa 组初始值很低, 仅为 3.73×10^{-8} mol/g, 随贮藏的延长呈直线上升趋势, 到贮藏末期增长更加剧烈, 最终达到 7.22×10^{-6} mol/g。

对照组 IMP 的变化趋势与其 AMP 的变化趋势类似。200 MPa、400 MPa、600 MPa 组 IMP 值初始含量较对照组均有显著升高 ($p < 0.05$), 分别为 8.59×10^{-6} 、 5.88×10^{-6} 、 3.14×10^{-6} mol/g, 在贮藏期内呈现波动变化的趋势。700 MPa 组的 IMP 含量随贮藏天数的延长不断增长, 但与其他几组相比其值一直处于显著较低 ($p < 0.05$) 的水平, 到达贮藏终点时仅为 2.07×10^{-7} mol/g。

对照组初始 HxR 含量为 4.21×10^{-7} mol/g, 贮藏过程中持续增长最终达到 1.94×10^{-6} mol/g。200 MPa、400 MPa、600 MPa 组 HxR 初始含量比对照组略高, 贮藏前期有较大增加, 后期变化不大, 最终达到 3.44×10^{-6} 、 3.73×10^{-6} 、 3.43×10^{-6} mol/g。700 MPa 组 HxR 在贮藏期内一直保持低水平, 贮藏终点时增长至 1.01×10^{-6} mol/g。

对照组的 Hx 含量在贮藏期间呈直线上升的趋势, 从最初的 6.01×10^{-8} mol/g 增长至终点的 9.43×10^{-7} mol/g。200 MPa 组的变化趋势与对照组类似, 从 2.58×10^{-7} mol/g 增长到 3.09×10^{-6} mol/g。400 MPa、600 MPa、700 MPa 组变化趋势相似, 前期保持很低的水平不变, 末期突然

增加, 最终分别达到 6.36×10^{-7} 、 1.03×10^{-6} 、 1.59×10^{-6} mol/g。在有的文献中 Hx 被作为虾的鲜度指标^[39,49], 本试验中 200 MPa 组的 Hx 值始终比对照组高, 这与感官、微生物指标及 TVB-N 的数据相矛盾, 说明 Hx 不适合作为高压处理对虾的鲜度指标。有研究报道 Hx 的形成与微生物活力有关, 微生物总数越多, Hx 的数值越大^[50], 但本试验结果并不能证明这一点。

对照组 ATP 的降解产物主要在 AMP、IMP 发生积累, 这与 matsumoto 等人研究一致^[39], 且 IMP 的积累量高于 AMP, suwetja 等人也观察到这种现象^[37]。200、400、600 MPa 处理后的对虾 ATP 降解产物也主要积累在 AMP 及 IMP 上, 但积累的程度各异: 200 MPa 组 AMP 的含量始终小于 IMP, 400 MPa 组 AMP 与 IMP 的含量相当, 而 600 MPa 组 AMP 比 IMP 的积累程度高, 这种差异的原因可能在于 3 种压力条件对 AMP 脱氨酶活力的影响不一。700 MPa 组贮藏期 ATP、ADP 缓慢下降, AMP 缓慢增加, 到达贮藏终点时有一定积累, 而 IMP 的量一直非常少, 这可能因为 700 MPa 处理后与 ATP 代谢的酶均有失活, 从而导致 ATP 相关物质的代谢缓慢。

鱼贝类 AMP 降解的主要途径是通过脱氨降解成 IMP, 也有报道指出在某些虾种中 AMP 存在第二条途径即 AMP 被 5'-核苷酸酶降解为 AdR^[37]。在本试验中始终没有观察到 AdR, 这说明南美白对虾 AMP 降解的途径主要是经过 IMP, 而且高压处理对 AMP 的降解途径没有影响。

2.6 K 值的变化

各组货架期中 K 值的变化见于图 6。对照组贮藏期中 K 值持续增加, 腐败时达 16.54%。200 MPa、400 MPa、600 MPa 组的变化趋势基本相同, 均呈现先增加后平缓再剧烈增加的趋势, 腐败时 K 值分别为 27.34%、27.84%、25.04%。700 MPa 组初始 K 值很低, 在贮藏初期变化不明显, 第 7 d 仅为 5.28%, 但在临近贮藏终点时骤增, 最终达到 19.74%。

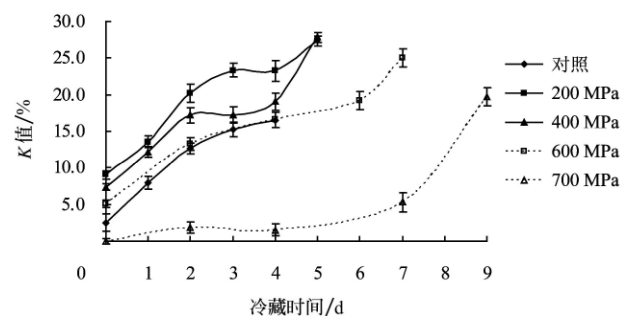


图 6 各处理组冷藏期间 K 值的变化

Fig.6 Change of K value of each processed group during cold storage

K 值是表征水产品鲜度的重要指标^[39,40], 一般而言水产品 K 值越低其鲜度越高。200 MPa、400 MPa 组的 K 值在贮藏过程中始终要比对照组高, 但从感官、微生物、TVB-N 等指标来看, 200 MPa、400 MPa 组比对照组的贮藏效果好, 因此 K 值并不适宜表征超高压处理南美白对

虾的鲜度变化。

3 结 论

超高压处理对延长南美白对虾的冷藏货架期有积极作用, 处理压力越高货架期越长。超高压处理对南美白对虾在冷藏中贮藏特性的影响分别如下:

1) 感官: 400 MPa 以上超高压会给南美白对虾带来微煮的性状。超高压处理使对虾综合感官变化变缓, 货架期随处理压力的升高逐渐延长。400 MPa、600 MPa 处理会使黑变提前, 但 700 MPa 处理能够完全抑制黑变。

2) 微生物: 200 MPa 超高压即可杀灭绝大多数微生物, 随着处理压力的升高, 总菌数达到同一数值所需要的贮藏时间不断延长。

3) TVB-N: 超高压处理能够延缓 TVB-N 的增长, 处理压力越高 TVB-N 变化越缓慢。TVB-N 值是表征超高压处理对虾贮藏状况的良好指标, 贮藏终点为 30 mg/(100 g)。

4) pH 值: 超高压处理对虾的初始 pH 值随压力上升而增大, 且在贮藏期的变化趋势随处理压力的增加而逐渐变缓。

5) ATP 及其相关产物, K 值: 超高压处理显著影响了 ATP 及其相关产物的代谢情况, 但未影响 AMP 的代谢途径。K 值不是反应超高压处理对虾冷藏状况的良好指标。

700 MPa 超高压处理能够完全抑制黑变, 杀灭绝大多数微生物, 较强烈的延缓南美白对虾冷藏中感官、TVB-N、pH 值的变化, 抑制 ATP 及其相关产物的代谢过程, 使南美白对虾的冷藏货架期由 4 d 提高至 9 d, 是理想的延长南美白对虾货架期的处理条件。

【参 考 文 献】

- [1] Al-Dagal M M, Bazaraa W A. Extension of shelf life of whole and peeled shrimp with organic acid salts and bifidobacteria[J]. Journal of Food Protection, 1999, 62: 51—56.
- [2] Benner RA, Miget R, Finne G, et al. Lactic acid: melanosis inhibitors to improve shelf life of brown shrimp(*Penaeus aztecus*)[J]. Journal of Food Science, 1994, 59: 242—250.
- [3] Simpson B K, Marshall M R, Otwell W S. Phenoloxidase from shrimp(*penaeus setiferus*): purification and some properties[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1987, 35: 918—921.
- [4] Chinivasagam N, Bremner H A, Reeves R. Can spoilage bacteria cause blackspot (melanosis) in stored prawns?[J]. Letters in Applied Microbiology, 1998, 27: 5—8.
- [5] 杨公明, 马成林. 食品高压加工技术的最新发展[J]. 农业工程学报, 1995, 11(4): 101—104.
- [6] Smelt JPPM. Recent advances in the microbiology of high pressure processing[J]. Trends in Food Science and Technology, 1998, 9: 152—158.
- [7] San Martín M F, Barbosa-Cánovas G V, Swanson B G. Food processing by high hydrostatic pressure[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2002, 42(6): 627—645.
- [8] Farkas D F, Hoover D G. High pressure processing supplement-kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies[J]. Journal of Food Science, 2000, 65: 47—64.
- [9] 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 and Emerging Technologies, 2006, 7 (1): 19—27.
- [10] Ko Wen Ching, Hsu Kuo Chiang. Changes in K value and microorganisms of tilapia fillet during storage at high-pressure, normal temperature[J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(1): 94—98.
- [11] Cheret R, Delbarre-Ladrat C, 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.
- [12] Hurtado J L, Montero P, Borderias A J. Extension of shelf life of chilled hake (*Merluccius capensis*) by high pressure[J]. Food Science and Technology International, 2000, 6 (3): 243—249.
- [13] Kuo-Chiang Hsue, Wen-Ching Ko. Changes in processing quality of tilapia meat stored under high hydrostatic pressure[J]. Food Science, 1998, 25 (4): 428—436.
- [14] Carpi G, Gola S, Maggi A, et al. Microbial and chemical shelf-life of high-pressure treated salmon cream at refrigeration temperatures[J]. Industrial Conserve, 1995, 70 (4): 386—397.
- [15] Pilar Montero, Adolfo Avalos, Miriam Perez-Mateos. Characterization of polyphenoloxidase of prawns(*Penaeus japonicus*). Alternatives to inhibition: additives and high-pressure treatment[J]. Food Chemistry, 2001, 75: 317—324.
- [16] Perez-mateos M, Lopez-caballero M E, Montero P. Effect of high pressure and 4-hexylresorcinol on enzymatic activity and darkening in oysters[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(6): 2107—2112.
- [17] Lopez-caballero M E, Perez-mateos M, Boederias J A, et al. Extension of the shelf life of prawns (*penaeus japonicus*) by vacuum packaging and high-pressure treatment[J]. Journal of Food Protection, 2000, 63(10): 1381—1388.
- [18] 中华人民共和国国家标准. 食品卫生检验法 (理化部分) [M]. 北京: 中国标准出版社, 1985.
- [19] Conway E J. Microdiffusion analysis and volumetric error[M]. London: Croshy lockwood and son, 1950.
- [20] Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F, et al. Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 8: 2125—2136.
- [21] 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 and Technology, 1998, 9: 197—203.
- [22] Hoover D G, Metrick C, Papineau A M, et al. Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms[J]. Food Technology, 1989, 43: 99—107.
- [23] Konosu S, Yamaguchi K. chemistry and biochemistry of marine food products[M]. Weatport : AVI Publishing, 1982.
- [24] Suzuki A, Homma N, Fukuda A, et al. Effects of high

- pressure treatment on ultrastructure and solubilization of isolated myofibrils[J]. Agricultural and biological chemistry, 1991, 55(10): 2467—2473.
- [25] 靳 焯, 南庆贤. 高压处理对牛肉感官特性与食用品质的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 196—199.
- [26] 白艳红, 德力格尔斯, 赵电波, 等. 超高压处理对绵羊肉嫩化机理的研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 6—10.
- [27] Pilar M, Adolfo A, Miriam P. Characterization of polyphenoloxidase of prawns (*Penaeus japonicus*). Alternatives to inhibition: additives and high-pressure treatment[J]. Food Chemistry, 2001, 75: 317—324.
- [28] Asaka M, Hayashi R. Activation of polyphenoloxidase in pear fruits by high pressure treatment[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1991, 55(9): 2439—2440.
- [29] Montero P, Lopez-caballero M E, Perez-mateos M. The effect of inhibitors and high pressure treatment to prevent melanosis and microbial growth on chilled prawns (*Penaeus japonicus*)[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(8): 1201—1206.
- [30] 曾庆梅, 潘 见, 谢慧明, 等. 超高压处理对砀山梨汁中过氧化物酶活性的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 199—202.
- [31] Linton M, Mc Clements J M J, Patterson M F. Changes in the microbiological quality of shellfish, brought about by treatment with high hydrostatic pressure[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2003, 38: 713—727.
- [32] Weemaes C, Ludikhuyze L, Van den Broeck I, et al. High pressure inactivation of polyphenoloxidases[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(5): 873—877.
- [33] Rastogi N K, Eshtiaghi M N, Knorr D. Effects of combined high pressure and heat treatment on the reduction of preoxidase and polyphenoloxidase activity in red grapes[J]. Food Biotechnology, 1999, 13: 195—208.
- [34] Vanderzant C, Nickelson R. Survival of vibrio parahaemolyticus in shrimp tissue under various environmental conditions[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1972, 23(1): 34—37.
- [35] Lannelongue M, Finne G, Hanna M O, et al. Storage characteristics of brown shrimp (*Penaeus aztecus*) stored in retail packages containing CO₂-Enriched Atmospheres[J]. Journal of Food Science, 1982, 47: 911—914.
- [36] Iciar Martinez, Tone Jakobsen Friis, Mercedes Careche. 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: 1199—1208.
- [37] I Ketut Suwetja, Kanji Hori, Keisuke Miyazawa, et al. Changes in content of ATP-related compounds, homarine, and trigonelline in marine invertebrates during ice storage[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1989, 55(3): 559—566.
- [38] Shamshad S I, Kher U N, Riza M, et al. Shelf life of shrimp (*Penaeus merguensis*) stored at different temperatures[J]. Journal of Food Science, 1990, 55: 1201—1205.
- [39] Misuzu Matsumoto, Hideaki Yamanaka. Post-mortem biochemical changes in the muscle of kuruma prawn during storage and evaluation of the freshness[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1990, 56(7): 1145—1149.
- [40] Yamagata M, Low L K. Banana shrimp (*Penaeus merguensis*) quality changes during iced and frozen storage[J]. Journal of Food Science, 60: 721—726.
- [41] Ho Ming-Lang, Cheng Hsui-Ho, Jiang Shann-Tzong. Effect of modified ice storage on the shelf-life of shrimp[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1986, 52(3): 479—488.
- [42] Cobb B E, Alaniz I, Thompson CA Jr. Biochemical and microbial studies on shrimp: volatile nitrogen and amino nitrogen analysis[J]. Journal of Food Science, 1973, 38: 431—436.
- [43] Hernandez-Andres A, Gomez-Guillen C, Montero P, et al. Partial characterization of protease activity in squid (*Todaropsis eblanae*) mantle: modification by high-pressure treatment[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(4): C239—C245.
- [44] 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.
- [45] Finene G. Chemistry and biochemistry of marine food products[M]. Westport: AVI Publishing, 1982.
- [46] 陈丽娇, 郑明锋. 大黄鱼海藻酸钠涂膜保鲜效果研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 209—211.
- [47] Furuship S, Umezaki Y, Ishida K, et al. Changes in the concentration of ATP-related compounds and lactic acid in muscle of live prawn *penaeus japonicus* during storage in sawdust[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1988, 54: 1209—1212.
- [48] Ko W C. Effect of high pressure on gelation of meat paste and inactivation of actomyosin Ca-ATPase prepared from milkfish[J]. Fisheries Science, 1996, 62: 101—104.
- [49] Fatima R, Farooqui B, Qadri R B. Inosine monophosphate and hypoxanthine as indices of quality of shrimp (*Penaeus merguensis*)[J]. Journal of Food Science, 46(4): 1125—1127, 1131.
- [50] Lopez-caballero M, Goncalves A, Nunes M L. Effect of CO₂/O₂-containing modified atmospheres on packed deepwater pink shrimp(*Parapenaeus longirostris*)[J]. European Food Research and Technology, 2002, 214(3): 192—197.

Effects of ultra high pressure treatment on storage characteristics of white shrimp in cold storage

Chang Yaoguang, Li Zhaojie, Xue Changhu[✉], Zhang Yaqi

(College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: In order to investigate the effects of ultra high pressure on the characteristics of white shrimp during cold storage, white shrimp were treated with different ultra high pressure groups(200, 400, 600, 700 MPa) and sensory evaluation, the total microbial amount and chemical indices were compared among different pressure groups. The results showed that most of the microbes could be inactivated for the ultra high pressure treatment, the accumulation of total volatile basic nitrogen (TVB-N) was restrained, and the change of pH value was delayed. The shelf life of white shrimp was prolonged with the enhancement of high pressure. High pressure treatment could make fresh shrimp with boiled flavor in some degree. Trements of 400 Mpa and 600 MPa aggravated blackening. However, melanotic reaction was not observed during the whole storage of shrimp treated by 700 MPa. High pressure could change the metabolizing of ATP and its metabolites, but did not impact the metabolic pathway of AMP decomposition. High pressure treatment can improve the quality of white shrimp during cold storage and is a potential technique for the cold storage of white shrimp .

Key words: white shrimp, ultra high pressure, cold storage, blackening, nucleotide