

超滤结合臭氧处理的海水对加工过程中 鱿鱼品质的影响

余海霞¹, 任西营^{1,2}, 杨志坚^{1,3}, 郑刚¹, 胡亚芹^{1,2}, 杨水兵¹, 胡庆兰^{1,2}, 叶兴乾²

(1. 浙江大学舟山海洋研究中心, 浙江舟山 316021) (2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江省农产品加工技术研究重点实验室, 馥莉食品研究院, 浙江杭州 310058) (3. 浙江大学生命科学学院, 浙江杭州 310058)

摘要: 为充分利用海水资源, 减缓淡水短缺压力, 将超滤膜净化的海水结合臭氧处理应用于冷冻北太平洋鱿鱼的解冻清洗加工。以菌落总数、白度、持水力、pH 值、挥发性盐基氮 (TVB-N) 值、硫代巴比妥酸 (TBA) 值等为指标, 对比不同臭氧浓度的净化海水与自来水作为解冻清洗水, 对鱿鱼片品质的影响。结果表明, 超滤膜净化海水效果显著; 臭氧水最低抑菌浓度为 0.10 mg/L; 随臭氧浓度的增加, 鱿鱼片中菌落总数逐渐降低; pH 值、持水力变化较小; 白度值、TBA 值逐渐增大, TVB-N 值呈现先增后减的趋势; 相同臭氧浓度时, 经海水处理样品的 TVB-N、TBA 值均低于自来水处理样品, 白度值与自来水处理样品基本相同, 持水力值高于自来水样品; 海水臭氧浓度为 0.30 mg/L, 4 °C 贮藏, 可有效延长冷藏鱿鱼片货架期。

关键词: 膜处理; 臭氧; 海水; 解冻; 北太平洋鱿鱼

文章编号: 1673-9078(2014)3-163-168

The Quality of Squid Treated by Ultrafiltration and Ozone

YU Hai-xia¹, REN Xi-ying^{1,2}, YANG Zhi-jian^{1,3}, ZHENG Gang¹, HU Ya-qin^{1,2}, YANG Shui-bing¹,
HU Qing-lan^{1,2}, YE Xing-qian²

(1. Ocean Research Center of Zhoushan, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China) (2. College of Biosystem Engineering and Food Science, Zhejiang Key Laboratory for Agro-Food Processing, Fuli Institute of Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China) (3. College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: To make full use of seawater resources and relieve the usage pressure of fresh water, seawater purified by ultrafiltration combined with ozone was applied in the processing of squid (*Ommastrephes bartramii*) during thawing and cleaning. Effects of the purified seawater and tap water on the quality of squid were investigated by total viable counts, whiteness, water-holding capacity, pH values, volatile base nitrogen (TVB-N) values and thiobarbituric acid (TBA) values. The results indicated that the purified seawater by ultrafiltration had great potential in squid processing. The minimal inhibitory concentration (MIC) of ozone water was 0.10 mg/L. With the increase of ozone concentrations, the total viable counts gradually reduced and the pH values and water-holding capacity of samples slightly changed. However, the whiteness and TBA values increased, and TVB-N values tended to increase first followed by decreasing. At the same ozone concentration, the TVB-N values and TBA values of samples thawed by purified seawater were lower than those thawed by tap water, while the whiteness was almost the same as those controls but the water-holding capacity was higher. Compared with tap water with ozone, 0.30 mg/L ozone in purified seawater could obviously improve the quality of squid and extend its shelf-life at 4 °C storage.

Key words: ultrafiltration; ozone; seawater; thaw; *Ommastrephes bartramii*

淡水在地球水资源总量中仅占 2.5%, 我国人口众多, 人均资源占有量更加稀少, 海水利用是解决我国淡水资源危机的重要措施之一。我国拥有丰富的海洋

收稿日期: 2013-09-15

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2012BAD38B09); 舟山市重大科技计划项目 (2011C31013)

作者简介: 余海霞 (1981-), 女, 工程师, 研究方向: 水产品加工

通讯作者: 胡亚芹 (1972-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工

资源, 但部分海域海水浊度高、泥沙含量大, 海水的直接利用受到限制。而水产品加工业是我国的支柱产业, 淡水消耗量极大; 在卫生安全的基础上, 若海产品的解冻和清洗用水可用净化海水代替, 每年可节约大量淡水资源。此外, 海水冰点较低, 冻品可在较低水温中解冻, 降低解冻速度, 减少汁液流失; 若用作清洗水, 能保持较长时间的低温, 产品外观色泽得到较大改善, 亦可有效控制微生物数量, 抑制酶的活性,

延长货架期。因此,研究净化海水在海产品加工中的应用具有重要意义。

臭氧具有杀菌、改善水质、分解产物无有害残留物等特性,在海水净化及工业废水中的研究应用较多^[1]。多年来我国水产品加工出口存在微生物超标的问题,且国内食品加工业普遍采用次氯酸钠水消毒,造成氯残留污染。随着臭氧技术的成熟,臭氧在食品加工中的应用越来越广泛,特别是在水产品保鲜中的应用研究呈上升趋势^[2]。目前有关净化海水结合臭氧技术解冻清洗鱿鱼的研究鲜见报道。

北太平洋鱿鱼是重要的大洋性经济头足类,是我国远洋鱿钓渔船的主要捕捞对象,已被确认为最具发展潜力的水产品加工对象之一。北太平洋鱿鱼具有捕获量大、无骨刺、肉质嫩而多汁、高蛋白、低脂肪等特点;脂肪酸中富含 EPA 和 DHA,具有良好的保健功能;胴体可加工为鱿鱼丝、风琴鱿鱼片、鱼糜及其制品等;鱿鱼软骨中的硫酸软骨素是一种生物医药产品,墨汁又可制成止血的上等药品;鱼精蛋白、鱿鱼眼透明质酸及胶原蛋白等均具药用功效;我国对北太平洋柔鱼资源的开发已达到较高商业性利用水平。

实验将经超滤膜处理的海水,并结合臭氧技术用于冷冻北太平洋鱿鱼的解冻和清洗,通过测定鱿鱼片的菌落总数、白度、持水力、pH 值、TVB-N 值以及 TBA 值,评价不同臭氧浓度的净化海水、自来水解冻对鱿鱼片品质的影响,确定最佳解冻臭氧浓度;探讨在最佳臭氧浓度时,不同解冻水解冻的鱿鱼在 4℃ 冷藏条件下的货架期,旨在为膜技术以及臭氧技术在水产品中的应用提供基础数据和参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻北太平洋鱿鱼,个体体长 30~35 cm,购自浙江兴业集团有限公司;三氯乙酸(TCA),硫代巴比妥酸(TBA),三氯甲烷,高氯酸,硼酸,氢氧化钠等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

CMF-500L/H 海水净化装置,杭州迈纳膜技术有限公司;CHROMA METER CR400 色差计,日本 KONICA MINOLTA 公司;UV-1800PC 紫外可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;2100N 哈希 HACH 散射光浊度仪,美国哈希 HACH 公司;TLC730 手持式红外线测温仪(带穿孔针),北京康富莱科技有限公司;PHSJ-4A 雷磁 PH 计,上海精科有限公司;QD-D5A

启达臭氧发生器,广东启达臭氧设备有限公司;CJ-1F 医用净化工作台,苏州市金燕净化设备有限公司;MB23 OHRUS 水分分析仪,上海奥豪斯仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 海水净化

本文采用微曝气-超滤膜(该滤膜材质选用优质聚偏氟乙烯树脂,膜孔径为 0.45 μm)组合过滤除去海水中污染物,即将高分子中空纤维超滤膜浸没在海水池(膜池)中,并在膜的下部铺设曝气管进行轻度曝气充氧。

1.3.2 自来水及海水水质检验

水质检验按照《水和废水监测分析方法》(第四版);根据 GB 4789.2-2010、GB 4789.5-2012、GB 4789.3-2010、GB 4789.4-2010、GB 4789.10-2010 等国标方法分别对水中的菌落总数、志贺氏菌、大肠菌群、沙门氏菌和金黄色葡萄球菌等进行检测。

1.3.3 臭氧水的制取

臭氧易分解,需现场制备臭氧水。该臭氧发生器模拟自然界雷击放电产生臭氧的原理,即 CD(Corona Discharge)法产生臭氧。将产生的臭氧气体经软管分别通入盛有 10 L 的海水和自来水的水槽中,制成臭氧海水和臭氧自来水。通过调节气体通入时间得到不同质量浓度的臭氧水,采用靛兰法测定臭氧水中的臭氧浓度。

1.3.4 臭氧对自来水和处理海水的抑菌作用

根据 GB 4789.2-2010《食品微生物学检验:菌落总数测定》分别测定不同臭氧浓度的自来水和处理海水中的菌落总数;结果以菌落总数 cfu/mL 表示。

1.3.5 北太平洋鱿鱼解冻终点的测定

将温度计铂电藕极插在-18℃冻藏鱿鱼样品中心位置,置于(25±1.0)℃静水中完全浸泡,每隔 5 min 观察记录温度变化情况;稳定阶段结束时的读数,即为鱿鱼的解冻终点温度。测定 3 次取平均值。

1.3.6 鱿鱼解冻清洗

将-18℃冻藏的、规格相近且无机械损伤的北太平洋鱿鱼 3 条,分别放入不同臭氧浓度(0 mg/L、0.05 mg/L、0.10 mg/L、0.15 mg/L、0.20 mg/L、0.25 mg/L、0.30 mg/L)的净化海水和自来水中,在(25±1.0)℃下进行静水解冻。解冻完成后,对鱿鱼进行去头、去鳍、去内脏,得到鱿鱼片,用对应的水清洗后,进行指标测定。

1.3.7 鱿鱼指标的测定

1.3.7.1 菌落总数测定

参照 GB 4789.2-2010《食品微生物学检验：菌落总数测定》进行测定；结果以菌落总数的对数 lg cfu/g 表示。

1.3.7.2 白度测定

按照 Benjakul 等^[3]的方法，取鱿鱼胴体背部进行测定，测亮度值 L* (lightness)、红绿值 a* (redness/greenness) 和黄蓝值 b* (yellowness/blueness)。白度计算公式：

$$\text{白度}(W) = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

1.3.7.3 持水力测定

参照 Lakshmanan^[4]的方法；结果以%表示。

1.3.7.4 pH 值测定

按照 Juan^[5]的方法稍作修改。取鱿鱼肌肉 2 g，在 20 mL 新煮沸冷却的蒸馏水中浸泡 1 min，匀浆 10 min，测定 pH 值。

1.3.7.5 TVB-N 值测定

按照 Özogul 等^[6]方法进行测定。做空白对照，以 mg/100g 表示其结果。

1.3.7.6 TBA 值测定

参照 Khan 等^[7]方法测定，并做空白对照，结果以 10^{-2} mg/g 表示。

1.3.8 鱿鱼贮藏性实验

选择最佳臭氧浓度，将臭氧海水和臭氧自来水解冻清洗的鱿鱼胴体 4℃ 贮藏，并定期进行随机抽样检测。以 TVB-N 值作为检测指标，判断鱿鱼货架期；并研究在贮藏过程中菌落总数的变化趋势。

1.3.9 数据分析

所有数据至少为 3 个平行测定结果。采用 Origin 8.0 软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 超滤膜处理海水净化结果分析

随着现代工业的快速发展，海水污染较为严重，致病菌、重金属等含量超标，使海水的直接利用受到很大限制。海水经膜处理前后重要指标变化见表 1。

表 1 超滤膜处理对海水水质的影响

Table 1 Effect of ultrafiltration on the quality of seawater

样品	总大肠菌群 (/MNP/L)	细菌总数 (/cfu/mL)	浊度 (/NTU)	金黄色葡萄球菌 (/cfu/mL)	志贺氏菌	沙门氏菌
原海水	2.4×10^3	1.8×10^4	511	3.3×10^2	未检出	检出
净化海水	20	160	3.6	未检出	未检出	未检出
自来水	0	90	3.0	未检出	未检出	未检出

自来水中各项指标均达到 GB 5749-2006《生活饮用水卫生标准》要求。如表 1 所示，经超滤膜处理的海水其细菌总数和金黄色葡萄球菌均降低 2 个数量级，总大肠菌群数目明显减少，沙门氏菌未被检出。此设备采用的超滤膜孔径约为 0.45 μm，而一般球菌直径约为 1 μm，杆菌长为 2~3 μm，宽为 0.3~0.5 μm，故超滤膜可拦截大部分微生物，明显减少海水中微生物种类和数量；浊度值明显降低，基本达到生活饮用水标准。

2.2 臭氧在自来水和膜处理海水中的抑菌作用

臭氧具有氧化性强的特点，可高效快速杀灭或抑制细菌、病毒的生长和繁殖。不同浓度的臭氧在自来水和处理海水中的灭菌效果如图 1。随臭氧浓度的增加，自来水和海水中的菌落总数急剧减少，抑菌效果明显；当臭氧浓度 ≥ 0.25 mg/L 时，自来水中菌落总数为零；浓度为 0.30 mg/L 时，海水中已检测不到菌落。

2.3 鱿鱼解冻终点的测定

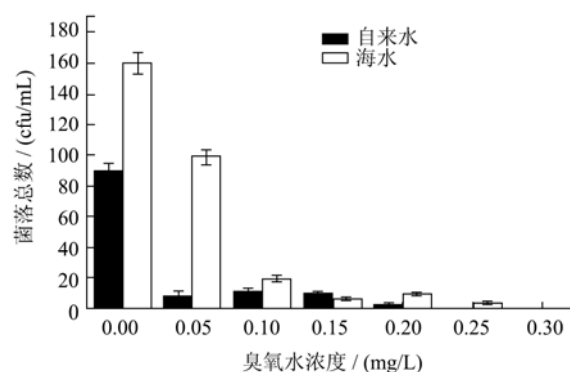


图 1 臭氧对水中菌落总数的影响

Fig.1 Effect of ozone concentration on the total viable counts in water

冷冻北太平洋鱿鱼解冻曲线见图 2。在冻结冰晶最大生成带 (-1~5℃) 温度范围内，解冻曲线较为平坦，供解冻的热量大部分用作融解潜热，温度上升缓慢；45 min 后，鱿鱼体内的冰晶融化成水，供解冻热量全部用来提高鱿鱼体内温度，故温度上升速度加快；

解冻是由体表开始进行的,当鱿鱼体内中心温度达到冰点以上时,肉品任何一点的温度均在冰点温度以上,由此判定 45 min 时,解冻完成,可将鱿鱼解冻终点温度设为-1.6 °C。

2.4 臭氧对解冻鱿鱼品质的影响

2.4.1 臭氧对鱿鱼菌落总数的影响

如图 3,臭氧浓度为 0~0.10 mg/L 范围内,菌落总数增加;浓度大于 0.10 mg/L 时,样品中菌落总数逐渐递减,说明臭氧水在冷冻鱿鱼解冻中的最低抑菌浓度为 0.10 mg/L;利用臭氧海水和臭氧自来水解冻所得鱿鱼的菌落总数均随臭氧浓度的增加而减少,灭菌效果显著;臭氧自来水解冻所得鱿鱼片中的菌落总数降低趋势显著,且低于同浓度臭氧海水解冻得到样品的菌落总数,可能与处理海水中的微生物初始数量较多有关。当臭氧浓度为 0.30 mg/L 时,两种臭氧水解冻得到的鱿鱼片中菌落总数达到最低,且两组菌落总数相差不大。

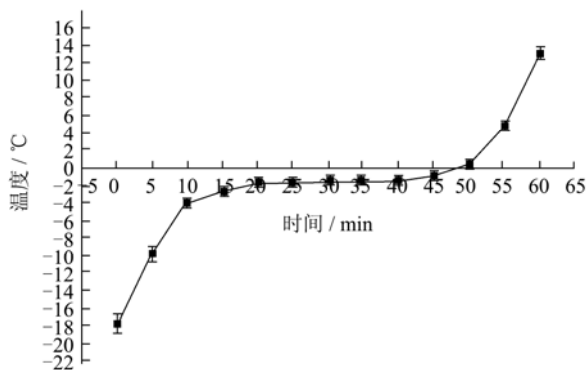


图 2 北太平洋鱿鱼的解冻曲线

Fig.2 Thawing curve of *Ommastrephes bartramii*

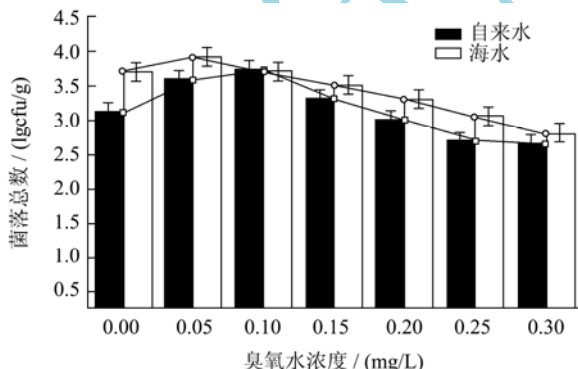


图 3 臭氧对解冻鱿鱼菌落总数的影响

Fig.3 Effect of ozone concentration on the total viable counts of *Ommastrephes bartramii* after thawing

2.4.2 臭氧对鱿鱼白度的影响

色泽对鱿鱼及其制品的整体可接受程度影响较大。图 4 表明,随臭氧浓度提高,鱿鱼片白度值随之增大,有效提高鱿鱼胴体的外观品质;当臭氧浓度为

0.30 mg/L 时,经臭氧海水和自来水处理所得鱿鱼的白度值均明显高于空白对照组的处理结果,这是因为臭氧的强氧化性具有一定的漂白作用;但白度增加趋势较为缓慢,可能与北太平洋鱿鱼本身的体色浓重有关;相同臭氧浓度时,海水和自来水两种处理方式测得白度值基本相同,由此推断利用膜处理海水与常规自来水进行解冻和清洗,对鱿鱼体色影响较小。

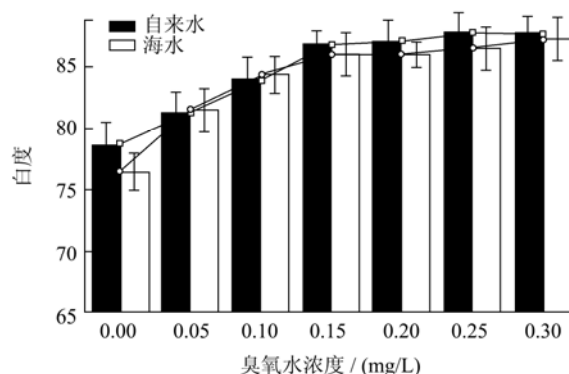


图 4 臭氧对解冻鱿鱼白度的影响

Fig.4 Effect of ozone concentration on whiteness of *Ommastrephes bartramii* after thawing

2.4.3 臭氧对鱿鱼肌肉持水力的影响

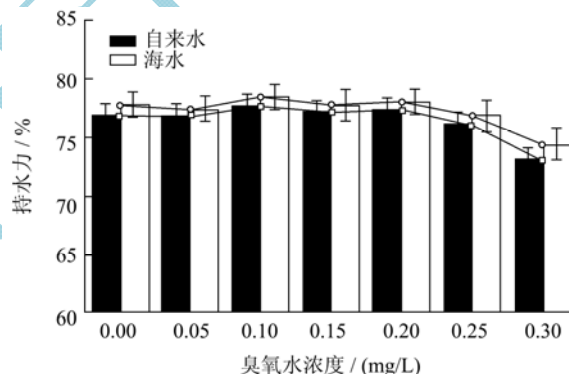


图 5 臭氧对解冻鱿鱼持水力的影响

Fig.5 Effect of ozone concentration on the water-holding capacity of *Ommastrephes bartramii* after thawing

臭氧水浓度小于 0.25 mg/L 时,鱿鱼片持水力变化较小;臭氧浓度大于 0.25 mg/L 时,鱿鱼片持水力急剧下降(图 5),这可能与臭氧过度氧化,引起蛋白质之间凝胶变性,致使网络结构遭到破坏,持水力降低有关^[8]。相同臭氧浓度时,海水解冻所测得鱿鱼的持水力数值均比自来水解冻所测得的数值高,这可能与北太平洋鱿鱼片内细胞渗透压偏高有关。自来水解冻清洗易引起鱿鱼片内渗透压较大变化,汁液流失较为严重,持水力下降。因此,利用海水解冻可以有效降低解冻和清洗过程中汁液损失,防止鱿鱼肌体内氨基酸、微量元素等营养成分和风味物质过分离失,有效保证鱿鱼营养品质和感官品质。

2.4.4 臭氧对鱿鱼 pH 的影响

pH 值易受产品鲜度和品质影响, pH 值低则产品偏酸, 口感较差, 且易发生酸败现象; pH 值过高, 产品易腐败变质^[9], 故可将其作为水产品鲜度的参考指标。利用臭氧海水解冻样品 pH 值为 6.7~7.0, 臭氧自来水处理的样品 pH 值为 6.6~6.8, 两种处理结果相差不大(图 6)。随臭氧浓度的升高, 鱿鱼片 pH 值比较稳定, 故臭氧对鱿鱼片 pH 值的影响较小, 可忽略不计。

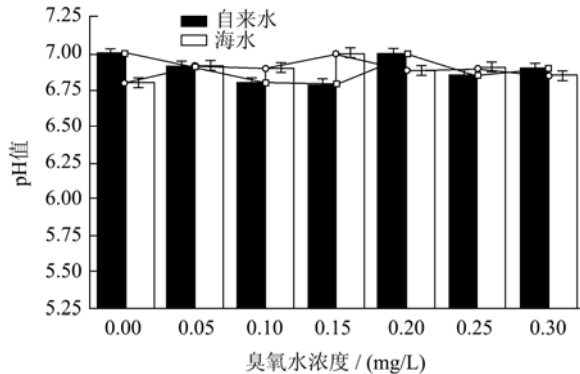


图 6 臭氧对解冻鱿鱼 pH 值的影响

Fig.6 Effect on pH values of *Ommastrephes bartramii* thawed by ozone water

2.4.5 臭氧对鱿鱼 TVB-N 的影响

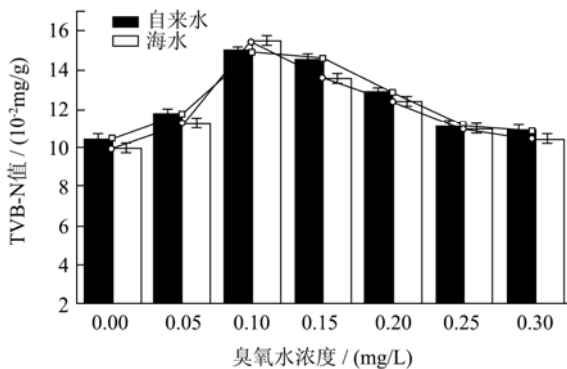


图 7 臭氧对解冻鱿鱼 TVB-N 值的影响

Fig.7 Effect of ozone concentration on the TVB-N values of *Ommastrephes bartramii* after thawing

TVB-N 值通常用来作为评价水产品鲜度的重要指标。它可有效反映水产品蛋白质因内源性酶或微生物的作用分解而产生的氨及胺类等碱性含氮挥发性物质的情况, TVB-N 值愈低, 水产品的新鲜度愈好^[10]。图 7 中, 当臭氧浓度为 0~0.10 mg/L 时, 随臭氧浓度的增加, TVB-N 值逐渐升高, 这与臭氧在水中的有效灭菌浓度有关, 当浓度小于 0.10 mg/L, 微生物的生长繁殖并未受到抑制, 主要是微生物污染引起 TVB-N 值增大; 浓度大于 0.10 mg/L 时, 可能由于臭氧具有强氧化性, 对鱿鱼片内蛋白质内源酶具有一定的钝化作用^[11], 减少了碱性含氮挥发性物质的产生, 协同较强的抑菌作用, 使得鱿鱼样品 TVB-N 值随臭氧浓度

的增加而降低, 新鲜度提高; 当浓度为 0.30 mg/L 时, TVB-N 值最低, 鱿鱼片新鲜度最好, 故鱿鱼解冻时最佳臭氧浓度为 0.30 mg/L; 在该浓度条件下, 海水解冻鱿鱼的样品测得 TVB-N 值小于自来水的解冻结果, 说明海水解冻效果优于自来水处理。

2.4.6 臭氧对鱿鱼 TBA 值的影响

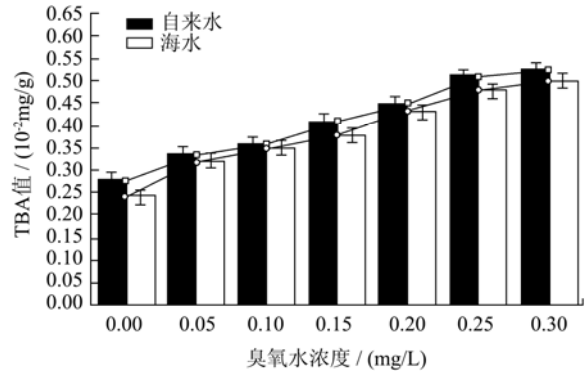


图 8 臭氧对解冻鱿鱼 TBA 值的影响

Fig.8 Effect of ozone concentration on the TBA values of *Ommastrephes bartramii* after thawing

硫代巴比妥酸(TBA)值可用于评价水产品中脂肪氧化程度, TBA 值愈大, 表示脂肪氧化程度越高。TBA 值随臭氧浓度的增大呈上升趋势, 可能是因为臭氧分解产生氧气, 促进肌体内的脂肪氧化; 相同臭氧浓度下, 臭氧自来水处理的鱿鱼片 TBA 值高于鱿鱼在臭氧海水中的处理结果, 这可能与自来水中含有次氯酸, 引起不饱和脂肪酸氧化有关; 此外, 脂肪氧化并不是游离脂肪酸的唯一来源, 由酶引起的脂肪水解也是游离脂肪酸产生的重要途径, 故臭氧的强氧化性在一定程度上可钝化脂肪氧化酶的活性^[11], 减缓 TBA 值的快速增长; TBA 值常用于生肉鲜度的测定, 当 TBA 值大于 0.5×10^{-2} mg/g 时, 表明氧化正在进行^[12]。但臭氧浓度在 0~0.30 mg/L 范围内, 经感官评价判定鱿鱼片并没有呈现脂肪氧化的气味。

2.5 臭氧水对解冻鱿鱼货架期的影响

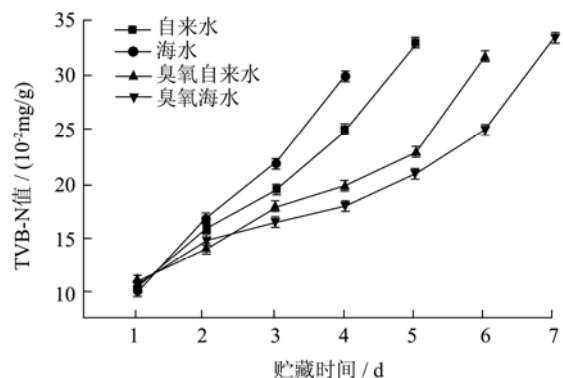


图 9 贮藏过程中各组样品 TVB-N 值变化

Fig.9 Changes of TVB-N values in samples during storage

经综合分析评价,臭氧浓度为0.30 mg/L时,解冻效果较好。故将鱿鱼分别在0.30 mg/L的臭氧海水、臭氧自来水进行解冻清洗后,进行4 °C贮藏试验。根据GB 2733-2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》中规定TVB-N应低于30 mg/100 g,故以此作为货架期终点。贮藏初期,TVB-N值上升缓慢,接近货架期终点时,TVB-N值急剧增加(图9);海水解冻得到的鱿鱼片在第7 d时,TVB-N值已超标;臭氧自来水处理的货架期5~6 d;未通入臭氧的海水、自来水解冻的鱿鱼片,其货架期仅为3~4 d。由此可见,臭氧水解冻可延长鱿鱼片货架期,且臭氧海水解冻所得鱿鱼片的货架期长于臭氧自来水解冻得到的鱿鱼片。

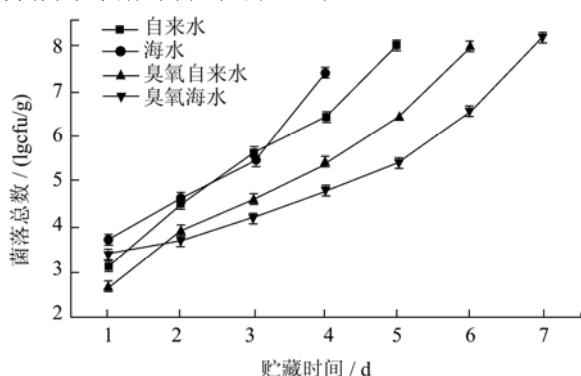


图10 贮藏过程中各组样品菌落总数变化

Fig.10 Changes of total viable counts in samples during storage

贮藏过程中,鱿鱼片中菌落总数变化趋势见图10。菌落总数在贮藏初期增加较缓,后期上升加快。结合图9,随贮藏时间的延长,菌落总数与TVB-N值的增长趋势基本是一致的,菌落总数增加,TVB-N值也随之增加,二者在数值上呈显著性正相关。Benjakul等^[13]的相关研究亦表明了此观点。这是因为贮藏初期酶和细菌起主要作用,而在腐败后期,微生物快速增长,促进了蛋白质等营养成分的降解,产生的氨类物质快速增多^[14],TVB-N值增大,营养品质降低,甚至丧失商品价值。微生物是导致水产品及其制品腐败变质的主要原因。因此,抑制微生物生长是延长制品货架期的有效途径。

3 结论

3.1 经PVDF材质的高分子中空纤维超滤膜处理的海水,总大肠菌群数、细菌总数、浊度明显降低;金黄色葡萄球菌、沙门氏菌均未检出;符合GB/T 23871-2009《水产品加工企业卫生管理规范》中对水产品加工所用海水的规定,可用于水产品加工处理过程中。向自来水和处理海水中通入臭氧可以有效降低微生物含量,当臭氧浓度为0.30 mg/L时,自来水和处理海水均检测不到菌落,臭氧杀菌效果显著。

3.2 鱿鱼的解冻终点为-1.6 °C;经臭氧水解冻清洗,鱿鱼片中菌落总数明显减少,且臭氧海水的处理结果与臭氧自来水效果相当;臭氧对鱿鱼片pH值和持水力的影响可忽略不计,但臭氧海水处理的鱿鱼片持水力较自来水处理的较高,可较好的保证鱿鱼片加工品质;臭氧可有效增加鱿鱼片白度值,提高外观品质;当臭氧浓度为0.30 mg/L时,TVB-N值最小,鱿鱼片新鲜度最高;臭氧水可增大鱿鱼片的TBA值,但在0~0.30 mg/L范围内,未对其品质造成不良影响;经海水处理得到的鱿鱼片其TVB-N、TBA值均小于自来水处理的结果;在4 °C贮藏条件下,0.30 mg/L的臭氧海水解冻的鱿鱼片货架期较臭氧自来水处理的货架期长,体现了臭氧海水解冻清洗的优势,为净化海水结合臭氧技术在水产品加工中的推广应用提供了数据参考。

参考文献

- [1] Rivas J, Gimeno O, Beltrán F. Wastewater recycling: Application of ozone based treatments to secondary effluents [J]. *Chemosphere*, 2009, 74(6): 854-859
- [2] Blogoslawski W J, Stewart M E. Some ozone applications in seafood [J]. *Ozone: Science & Engineering*, 2011, 33(5): 368-373
- [3] Benjakul S, Visessanguan W, Tueksuban J. Changes in physic-chemical properties and gel-forming ability of lizardfish (*Saurida tumbil*) during post-mortem storage in ice [J]. *Food Chemistry*, 2003, 80: 535-544
- [4] Lakshmanan R, Parkinson J A, Piggott J R. High-pressure processing and water-holding capacity of fresh and cold-smoked salmon (*Salmo salar*) [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 40(3): 544-551
- [5] 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 & Emerging Technologies*, 2006, 7(1): 19-27
- [6] Özogul Y, Özogul F, Kuley E, et al. Biochemical, sensory and microbiological attributes of wild turbot (*Scophthalmus maximus*), from the Black Sea, during chilled storage [J]. *Food Chemistry*, 2006, 99(4): 752-758
- [7] Khan M A, Parrish C C, Shahidi F. Quality indicators of cultured Newfoundland blue mussels (*Mytilus edulis*) during storage on ice: microbial growth, pH, lipid oxidation, chemical composition characteristics, and microbial fatty acid contents [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(18): 7067-7073

- [8] 谢三都,陈荔红,张怡,等.臭氧对鲢鱼鱼丸品质的影响[J].福建农林大学学报(自然科学版),2009,38(5):552-557
Xie S D, Chen L H, Zhang Y, et al. Effect of ozone on the quality of fish-ball made from silver carp [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2009, 38(5): 552-557
- [9] Fukuda Y, Yusukita Z, Aria K. The influences of freshness of mackerel on the denaturation of myofibril during freezing storage [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1984, 50(5): 845-852
- [10] Fan W, Sun J, Chen Y, et al. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage [J]. Food Chemistry, 2009, 115(1): 66-70
- [11] 赵紫明,徐伟民,杨福馨.基于臭氧及其酶钝化作用的果蔬保鲜包装试验研究[J].包装工程,2007,28(10):4-6
Zhao Z M, Xu W M, Yang F X. Experimental research on the fruits and vegetable fresh keeping based on ozone and its enzyme inactivation [J]. Packaging Engineering, 2007, 28(10): 4-6
- [12] Zanardi E, Ghidini S, Battaglia A, et al. Lipolysis and lipid oxidation in fermented sausages depending on different processing conditions and different antioxidants [J]. Meat science, 2004, 66(2): 415-423
- [13] Benjakul S, Seymour T A, MORRISSEY M T, et al. Physicochemical changes in Pacific whiting muscle proteins during iced storage [J]. Journal of Food Science, 1997, 62(4): 729-733
- [14] 路钰希,李学英,杨宪时,等.贮藏温度对鱿鱼品质变化的影响及其货架期分析[J].食品工业科技,2013,34(14):318-326
Lu Y X, Li X Y, Yang X S, et al. Changes of quality and shelf life of squid during storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(14): 318-326