

# 臭氧冷海水对竹筴鱼冷藏品质的影响

刘璘, 胡卓瑾, 吕飞, 丁玉庭

(浙江工业大学海洋学院, 浙江杭州 310014)

**摘要:** 为了分析臭氧冷海水处理对冷藏竹筴鱼品质的影响, 本文研究了自来水预处理(A)、冷海水预处理(B)、臭氧冷海水预处理(C)的竹筴鱼在 $4\pm 1$  °C贮藏条件下的鱼体菌落总数(APC)、pH值、挥发性盐基氮(TVB-N)、硫代巴比妥酸值(TBARS)、色差、质构和感官品质的变化规律。结果显示, 在贮藏期间, 各预处理竹筴鱼鱼体的菌落总数、TVB-N和 $b^*$ 均随着冷藏时间的延长而上升, 在贮藏后期B和C处理对鱼体菌落总数和TVB-N的抑制作用显著高于A处理, 且C处理效果显著好于B处理( $p<0.05$ )。第10天时, A组鱼体的菌落总数和TVB-N分别达到 $7.13 \log \text{CFU/g}$ 和 $31.43 \text{ mg/100 g}$ , 超出国家限定标准。同时, 竹筴鱼的感官评分随着贮藏时间延长而下降, 但B和C组较A组感官评分下降得慢。然而, B和C组鱼体脂肪氧化程度较A组高, 说明臭氧和冷海水处理促进了鱼体脂肪的氧化。臭氧冷海水处理对pH值、色度的 $L^*$ 、 $a^*$ 值、质构影响不大。因此, 臭氧冷海水处理有利于延缓竹筴鱼鲜度指标的下降, 保证竹筴鱼的冷藏品质, 延长其货架期。

**关键词:** 竹筴鱼; 臭氧冷海水; 菌落总数; 挥发性盐基氮; 硫代巴比妥酸; 感官品质

文章编号: 1673-9078(2015)2-211-217

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.2.035

## Effect of Cold Ozonized Seawater on the Quality of *Trachurus japonicus* During Refrigerated Storage

LIU Lin, HU Zhuo-jin, LV Fei, DING Yu-ting

(Ocean College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** In this study, the effect of cold, ozonized seawater on the quality of *Trachurus japonicus* (horse mackerel) meat during refrigerated storage was investigated with respect to the pattern of change in the aerobic plate count (APC), pH value, total volatile basic nitrogen (TVB-N), 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), color, texture, and sensory quality. Fish samples were divided into three treatment groups: tap water pretreatment (group A), cold seawater pretreatment (group B), and cold ozonized seawater pretreatment (group C), and stored at  $4\pm 1$  °C. The results indicated that APC, TVB-N, and  $b^*$  values of horse mackerels in the three groups increased with time during refrigerated storage. During the late stage of storage, the inhibitory effect of cold, ozonized seawater on APC and TVB-N by B and C pretreatments was significantly higher than that by pretreatment A, while the overall effect of pretreatment C was found to be better than that of pretreatment B ( $p < 0.05$ ). On the tenth day, the APC and TVB-N values for the group A were  $7.13 \log \text{CFU/g}$  and  $31.43 \text{ mg/100 g}$ , respectively, which exceeded the acceptable limit for fish in China. Meanwhile, the sensory scores decreased with increasing storage time, where scores for group A decreased much faster than those for groups B and C. However, the degree of lipid oxidation for groups B and C was higher than that for A, indicating that cold seawater and ozone pretreatments may promote lipid oxidation. There were no significant effects of cold ozonized seawater treatment on pH,  $L^*$ ,  $a^*$  values, and texture. In conclusion, the cold ozonized seawater treatment helped delay the decline in freshness indices for horse mackerel meat and maintained quality during refrigerated storage, thus prolonging shelf life.

**Key words:** *Trachurus japonicus*; cold ozonized seawater; aerobic plate count; total volatile basic nitrogen; 2-thiobarbituric acid reactive substances; sensory quality

竹筴鱼(*Trachurus japonicus*), 鲹科, 属中上层暖

收稿日期: 2014-07-23

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2012AA092301)

作者简介: 刘璘(1956-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏

通讯作者: 丁玉庭(1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏

温性鱼类, 资源丰富, 主要分布于西北太平洋区, 包括日本、中国、韩国、台湾等海域<sup>[1-2]</sup>, 近十年来, 全世界竹筴鱼的年渔获量基本上都超过500万t, 产量居世界所有单一渔捞种类的第3位<sup>[3]</sup>。竹筴鱼在世界海洋渔业中占有极其重要的地位, 农业部已将其列入我国远洋渔业今后的重点研究对象之一。竹筴鱼肌肉和内脏的粗蛋白含量丰富, 粗脂肪含量特别是不饱和

脂肪酸较高<sup>[3]</sup>,且褐色肉多,在加工、储藏过程中易氧化并产生严重的腥味,造成很大的渔业资源浪费。

臭氧具有高效、安全、卫生的特点,在2001年美国FDA宣布臭氧可直接作为食品添加剂用于食品的处理、贮藏和加工<sup>[4]</sup>,被批准为“GRAS”(一般认为安全)。近年来,在食品工业中应用臭氧的倾向不断高涨,其应用范围日益扩大。臭氧水作为理想的杀菌剂,具有高效性和无残留性,可用于鱼、虾和贝类的消毒净化,以减少食品初始微生物数量,延长其贮藏时间。早在1936年,Salmon等<sup>[5]</sup>发现新鲜的鱼类置于臭氧处理过的冰中,其贮藏时间可以延长2倍,而用臭氧水洗涤鱼类可以使贮藏时间延长5d。Laura等<sup>[6]</sup>发现新鲜刚捕捞上的鳕鱼经臭氧水处理能够明显减少微生物的生长,延长鳕鱼的货架期。

本文研究了竹筴鱼经过臭氧冷海水预处理,分析鱼体冷藏过程中鱼体菌落总数(APC)、pH值、挥发性盐基氮(TVB-N)、硫代巴比妥酸值(TBARS)、色差、质构和感官评分的变化规律,来评价臭氧冷海水处理对竹筴鱼冷藏品质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

UV762紫外可见分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司;PHS-3C型数显酸度计,上海精科仪器有限公司;K9840自动凯氏定氮仪,济南海能仪器股份有限公司;HITACHI CR21GII冷冻离心机,日本日立公司;臭氧发生仪,杭州大卫科教仪器有限公司;CR-400色彩色差计,日本柯尼卡美能达;TAXT Plus物性仪,英国Stable Micro System公司。

竹筴鱼,鱼样平均体重为110g,平均长度为21cm,由台州兴旺水产有限公司提供;碘化钾、硫代硫酸钠、营养琼脂、硫酸、高氯酸、三氯乙酸、硫代巴比妥酸,均为分析纯。

### 1.2 鱼体预处理、贮藏及取样

将鱼样随机分成A、B和C组,分别用自来水、冷海水、臭氧冷海水(6mg/L)(4℃)浸渍6min,然后置于4±1℃冷藏,分别在第0、2、4、6、8、10d取样测定。每次测定时随机取3条竹筴鱼,切取鱼背部肌肉混合后定量取样。

### 1.3 臭氧冷海水的制备及质量浓度的测定

由臭氧发生仪产生臭氧,通入冷海水中,经混合形成臭氧冷海水。臭氧水质量浓度的测定采用中性碘

化钾法<sup>[7]</sup>进行测定。量取20mL质量分数20%碘化钾溶液于500mL的吸收瓶中,加入250mL臭氧水,加入5mL(1+5)硫酸溶液,使pH值降至2.0以下,加塞摇匀,在暗处放置5min。用0.1000mol/L的硫代硫酸钠标准溶液滴定至溶液呈浅黄色时加入淀粉溶液1mL,继续滴定至颜色消失为止。记录硫代硫酸钠标准溶液用量,计算臭氧浓度。

### 1.4 菌落总数的测定

参照GB/T 4789.17-2010《食品卫生微生物学检验菌落总数测定》进行。

### 1.5 pH值的测定

采用GB/T 9695.5-2008的方法:称取10.0g剪碎鱼肉加入90mL蒸馏水中,匀浆30s(2次)后,过滤,用pH计测定。

### 1.6 TVB-N的测定

参照SC/T 3032-2007的方法:称取剪碎鱼肉10.0g,加0.6mol/L高氯酸90mL,用打浆机匀浆2min后滤纸过滤或离心分离,上清液用半微量凯氏定氮法测定。

### 1.7 TBARS的测定

采用Wenjiao等<sup>[8]</sup>的方法测定。称取鱼肉10.0g,加入90mL 7.5%的三氯乙酸(TCA)匀浆2min(打30s,停30s),室温下抽提30min后用滤纸过滤。取5mL滤液和5mL TBARS溶液(0.02mol/L)于90℃水浴中反应40min,冷却至室温,然后在532nm波长处测定吸光度。

### 1.8 色差的测定<sup>[9]</sup>

用色差仪测定,竹筴鱼去皮,以背部肉为测试点。从L\*(从黑到白,0~100)、a\*(从绿到红,-a~a)、b\*(从蓝到黄,-b~+b)三方面分别评价鱼片颜色。

### 1.9 质构的测定

采用物性仪对样品的TPA特性中的硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性进行测试。选用P/36R柱形探头,测前速度1.0mm/s,测试速度5.0mm/s,测后速度5.0mm/s,压缩比75%,触发力5.0g,间隔时间5.0s。

### 1.10 感官评定

根据宋智等<sup>[10]</sup>的方法进行。对鱼体体表、肌肉、眼、鳃、气味、杂质6项进行评价,各指标的感官分

值在 0~9 之间。一级：7~9 分；二级：4~6 分；三级：1~3 分；根据消费者对各项指标的敏感程度，各项指标的权重分别为 0.1、0.2、0.1、0.2、0.3、0.1。各项

评分值乘以权重即为综合感官评分，4 分以下则表明样品腐败。

表 1 竹筴鱼感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards for horse mackerel meat

项目	一级	二级	三级
体表	鱼体硬直、完整无破肚，具有鲜鱼固有色泽，色泽明亮，花纹清晰，鳞片紧贴鱼体	鱼体稍软，完整，无破肚，具有鲜鱼固有色泽，色泽稍暗，花纹较清晰，鳞片略有脱落	鱼体较软，基本完整，允许中上层鱼稍有破肚，鱼体色泽较暗，花纹较清晰，鳞片局部脱落，与鱼体连接稍松弛
肌肉	肌肉组织紧密有弹性，切面有光泽，肌纤维清晰	肌肉组织较紧密，有弹性，肌纤维清晰	肌肉组织较差紧密，弹性较差，肌纤维较清晰
眼球	眼球饱满，角膜透明、明亮	眼球平坦，角膜稍混浊	眼球稍凹陷，角膜较混浊
鳃	鳃丝清晰，色鲜红，有少量粘液	鳃丝清晰，色暗红，有些黏液	鳃丝较清晰，色粉红到褐色，有黏液覆盖
气味	体表和鳃丝具正常鱼特有气味，新鲜	体表和鳃丝具正常鱼腥味，无油酸败坏味及异味	允许鳃丝有轻微异味，但无臭味、氨味
杂质	无外来杂质，去内脏鱼腹部无黑膜		无外来杂质，允许去内脏鱼腹部稍有黑膜

### 1.11 数据分析

采用 Origin 8.0 绘图，SPSS 16.0 进行相关性分析，表述形式为平均值±SD，差异性分析采用单因素方差分析方法 ( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 冷藏过程中鱼体菌落总数 (APC) 的变化

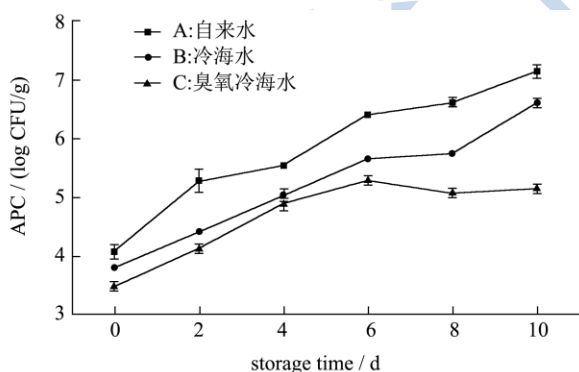


图 1 冷藏过程中鱼体经不同预处理竹筴鱼组织中菌落总数的变化

Fig.1 Changes in APC values of horse mackerel meat during storage at 4 °C

竹筴鱼贮藏过程中菌落总数变化如图 1 所示。在贮藏初期，A 组 APC 为 4.06 logCFU/g，B 组为 3.79 logCFU/g，C 组为 3.46 logCFU/g，经臭氧冷海水处理后的 APC 比 B 组减少 8.7%，与 Okpala<sup>[11]</sup>用臭氧水处理后南美白对虾的 APC 含量减少 6.5% 相近。在整个

贮藏期间，各处理组菌落总数均显著上升 ( $p < 0.05$ )，且 A 组到第 6 d 已超出国标 (GB2733-2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》) 要求的鲜度范围 (不高于 6.0 logCFU/g)。B 组菌落总数的增长速率较 A 组慢，这是由于 NaCl 能够降低鱼体水分活度，从而抑制腐败微生物的生长<sup>[12]</sup>。C 组菌落总数则显著低于 A 和 B 组 ( $p < 0.05$ )，这是因为臭氧水具有强力杀菌效果，经臭氧冷海水处理的竹筴鱼能更好地抑制微生物的生长繁殖，延长竹筴鱼的货架期。

### 2.2 冷藏过程中鱼体 pH 值的变化

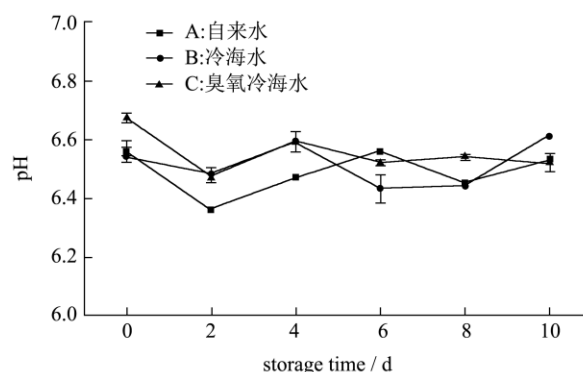


图 2 冷藏过程中鱼体经不同预处理竹筴鱼组织中 pH 的变化

Fig.2 Changes in pH values of horse mackerel meat during storage at 4 °C

鱼体 pH 值在贮藏过程中下降是因为体内糖原经糖酵解途径产生乳酸，而 pH 值上升是因为鱼体微生物和自身酶的作用下，鱼体内的蛋白质、氨基酸及其他含氮物质被分解为氨、三甲胺、组胺等碱性物质，

使肌肉 pH 值上升。由图 2 可以看出, 竹筴鱼在贮藏过程中 pH 值没有显著变化 ( $p \geq 0.05$ ), 这与 Li 等<sup>[13]</sup>对黄斑鱼的研究, Feng 等<sup>[14]</sup>对黑鲷的研究, Ocaño-Higuera 等<sup>[15]</sup>对鳕形目鱼的研究结果一致。另外, 各组处理之间也没有显著地差异 ( $p \geq 0.05$ )。pH 值在储藏过程中没有显著的变化可能是因为肌肉组织中只含有少量的碳水化各物残留和乳酸<sup>[16]</sup>。因此, pH 值并不是一个非常合适的指标去判定竹筴鱼在贮藏过程中的品质变化。

### 2.3 冷藏过程中鱼体挥发性盐基氮 (TVB-N)

的变化

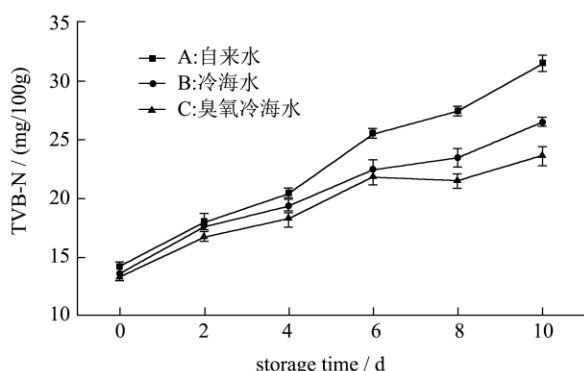


图 3 冷藏过程中鱼体经不同预处理竹筴鱼组织中挥发性盐基氮的含量变化

Fig.3 Changes in TVB-N values of horse mackerel meat during storage at 4 °C

TVB-N 值是评价水产品鲜度的常用指标, 它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挥发性的氨和胺类等碱性化合物的情况<sup>[17]</sup>。许多鱼

类的 TVB-N 值和鱼体鲜度有很高的相关性, 因此 TVB-N 值被广泛作为判断水产品腐败变质程度的重要指标。不同预处理的竹筴鱼的 TVB-N 值变化如图 3 所示。竹筴鱼的 TVB-N 值随着贮藏时间的增加而上升, 从第 6 天起, A 组的 TVB-N 值的增加幅度显著大于其他两组 ( $p < 0.05$ )。此外, 在贮藏的第 10 天, A、B 和 C 组样品的 TVB-N 分别为 31.43, 26.46, 23.66 mg/100g, A 组的 TVB-N 已经超过 GB18108-2008 规定的鲜海水鱼 TVB-N 的限量标准, 30 mg/100g, 而 B、C 组在限量标准内, 这说明竹筴鱼经臭氧冷海水处理后可以有效抑制产胺类微生物的生长, 延缓鱼体 TVB-N 含量的增加。

### 2.4 冷藏过程中鱼体硫代巴比妥酸值

(TBARS) 的变化

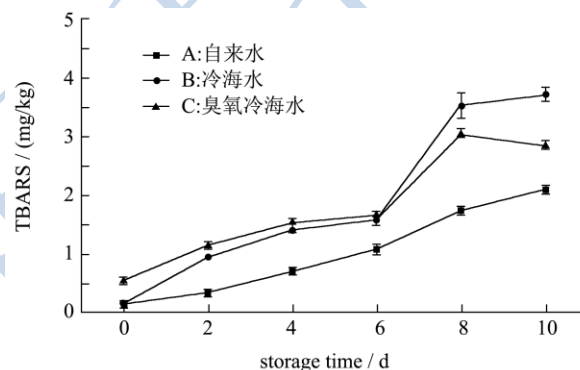


图 4 冷藏过程中鱼体经不同预处理竹筴鱼组织中硫代巴比妥酸含量变化

Fig.4 Changes in TBARS values of horse mackerel meat during storage at 4 °C

表 2 冷藏过程中鱼体经不同预处理竹筴鱼色差变化

Table 2 Changes in color of horse mackerel meat during storage at 4 °C

	Storage time					
	0	2	4	6	8	10
L*						
A	44.15±1.66	46.64±1.18	44.85±1.75	44.97±1.33	43.40±1.24	42.58±1.08
B	44.40±2.25	44.28±0.86	42.97±0.62	44.49±1.33	43.49±1.54	43.21±1.09
C	45.02±0.41	43.61±0.02	45.59±1.42	44.36±0.76	47.10±0.98	44.88±1.71
a*						
A	-1.07±0.45	-0.62±0.17	0.92±0.35	0.57±0.29	0.98±0.01	0.29±0.28
B	-1.18±0.21	-1.11±0.38	0.26±0.60	0.28±0.05	0.70±0.18	-0.06±0.19
C	-1.15±0.14	-0.52±0.54	-0.16±0.42	0.30±0.46	-0.30±0.36	0.08±0.36
b*						
A	3.70±0.27	4.05±1.01	5.09±0.72	6.02±0.20	6.30±0.37	6.10±0.67
B	3.60±0.33	4.06±0.29	4.86±0.09	5.95±0.24	6.44±0.48	5.44±0.12
C	3.65±0.40	4.11±0.49	4.45±0.58	5.27±0.10	5.61±0.18	5.59±0.35

TBARS 广泛应用于评价脂类氧化。富含不饱和脂肪酸鱼易产生脂肪氧化, 导致鱼体品质下降<sup>[18]</sup>。由图 4 可以看出, 竹筴鱼的 TBARS 值随着贮藏时间的延长逐渐上升, 在冷藏第 10 d, A、B、C 三组鱼体的 TBARS 分别达到 2.09、3.71 和 2.83 mg/kg, 超过 TBARS 所允许的最大限制 2 mg MDA/kg, 且 B、C 组的 TBARS 值显著高于 A 组。这是由于 NaCl 能阻止鱼体肌肉组织中的铁离子和蛋白质的交联, 使更多的自由铁离子介入脂肪氧化过程, 促进肌肉脂肪氧化<sup>[19]</sup>, 同时臭氧是一种强氧化剂, 也能促进脂肪氧化<sup>[20]</sup>。后期 C 组 TBARS 值较 B 组小, 是因为第 6 d 之后, B 组微生物生长速率显著高于 C 组, 脂肪在微生物产酶(分泌脂肪酶和氧化酶)的作用下水解成游离酸, 更易与氧气

结合, 从而促进了脂肪的氧化。

## 2.5 冷藏过程中鱼体色差的变化

色度是评价水产品质量的重要指标之一, 色素浓度和肌肉结构特点会影响色泽<sup>[21]</sup>, 而色泽的好坏也直接影响着消费者的选择。如表 2 所示, 三组不同预处理的 L\* 值没有显著变化 ( $p \geq 0.05$ ), 而 a\*、b\* 值具有显著变化 ( $p < 0.05$ )。同时, 臭氧冷海水有效抑制了 b\* 值的上升 ( $p < 0.05$ ), 而对 L\*、a\* 值没有显著影响 ( $p \geq 0.05$ )。

## 2.6 冷藏过程中鱼体质构的变化

表 3 冷藏过程中鱼体经不同预处理竹筴鱼质构变化。

Table 3 Changes in texture of horse mackerel meat during storage at 4 °C

	Storage time					
	0	2	4	6	8	10
<b>Hardness</b>						
A	2879.16±10.01	2589.59±17.52	2206.34±58.87	1956.16±78.89	1794.57±56.87	1426.60±141.16
B	2860.88±63.82	2633.88±15.10	2424.33±89.51	2564.53±09.11	2188.57±61.75	1756.48±56.87
C	3051.21±58.48	2757.44±83.10	2499.95±230.45	2339.70±50.22	2257.70±34.92	1929.19±265.21
<b>Adhesiveness</b>						
A	-28.18±1.43	-14.21±2.86	-10.30±3.78	-10.30±0.97	-13.87±3.24	-4.47±1.58
B	-29.36±1.53	-17.78±1.23	-15.52±2.94	-13.84±0.79	-11.04±0.82	-11.30±1.03
C	-27.13±1.06	-19.91±2.78	-18.50±4.64	-13.82±1.76	-13.44±1.54	-13.38±2.47
<b>Springiness</b>						
A	0.39±0.07	0.38±0.10	0.35±0.04	0.41±0.08	0.39±0.02	0.33±0.07
B	0.37±0.05	0.39±0.07	0.34±0.06	0.43±0.03	0.40±0.08	0.36±0.03
C	0.40±0.04	0.34±0.05	0.39±0.11	0.38±0.06	0.37±0.06	0.38±0.01
<b>Cohesiveness</b>						
A	0.30±0.02	0.33±0.03	0.33±0.04	0.33±0.02	0.27±0.03	0.32±0.04
B	0.30±0.03	0.32±0.03	0.31±0.03	0.33±0.02	0.32±0.06	0.32±0.05
C	0.29±0.01	0.29±0.04	0.34±0.02	0.29±0.04	0.31±0.03	0.33±0.03
<b>Gumminess</b>						
A	753.80±25.51	779.48±16.87	721.49±36.03	675.14±28.07	514.85±52.47	381.99±47.19
B	799.20±57.74	772.44±62.85	702.73±38.40	635.09±49.83	540.18±26.87	459.00±33.81
C	879.12±50.35	821.85±34.97	809.56±39.23	720.81±48.60	695.41±44.19	629.78±29.73
<b>Chewiness</b>						
A	297.76±9.87	286.80±10.67	259.29±17.39	194.29±7.44	180.92±15.07	117.91±17.19
B	313.79±22.33	291.30±11.59	269.87±13.04	218.27±8.94	217.05±17.45	190.28±7.37
C	332.76±19.48	291.10±15.38	288.35±11.68	223.69±8.40	214.37±8.86	210.52±19.83
<b>Resilience</b>						
A	0.15±0.02	0.16±0.04	0.16±0.02	0.15±0.02	0.11±0.01	0.14±0.01
B	0.16±0.01	0.14±0.02	0.16±0.02	0.16±0.02	0.15±0.03	0.14±0.02
C	0.16±0.02	0.13±0.02	0.17±0.03	0.14±0.03	0.14±0.02	0.14±0.01

不同预处理的竹筴鱼的质构变化如表 3 所示。随着贮藏时间的延长,竹筴鱼鱼体的硬度(Hardness)、胶粘性(Gumminess)、咀嚼性(Chewiness)呈现下降趋势,粘性(Adhesiveness)呈现上升趋势,其中臭氧冷海水处理组上升或下降速度最缓慢,但各处理对鱼体弹性(Springiness)、内聚性(Cohesiveness)、回复性(Resilience)影响不大。同时,臭氧冷海水预处理对硬度、胶黏性没有显著影响( $p \geq 0.05$ ),第 2 天起,A 组粘性的上升速率显著高于 C 组( $p < 0.05$ ),从第 6 天起,A、C 组之间的咀嚼性具有显著差异( $p < 0.05$ )。

### 2.7 冷藏过程中鱼体的感官变化

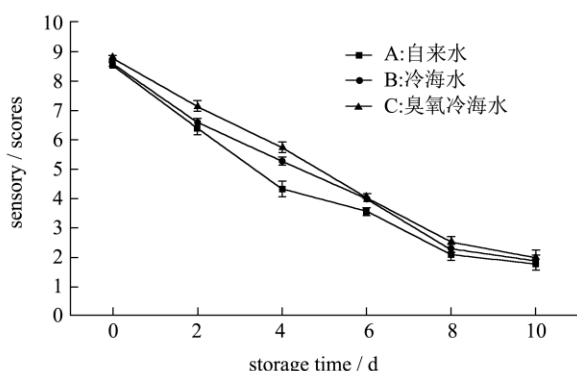


图 5 冷藏过程中鱼体经不同预处理竹筴鱼感官指标变化

Fig.5 Changes in sensory quality of horse mackerel meat during storage at 4 °C

感官评定是水产品质量评定的重要手段之一,具有很强的直观性。图 5 显示 0~10 d 内各实验组的感官品质变化。竹筴鱼在  $4 \pm 1$  °C 冷藏条件下,各实验组感官评分与贮藏时间显著相关( $p < 0.05$ ),而相对于 B、C 组,A 组的感官评分随贮藏时间下降最快。A 组在第 6 天以后鱼体就不可接受,而 B、C 组可贮藏竹筴鱼 8 d,均优于 A 组,说明臭氧冷海水处理能够延长竹筴鱼贮藏时间。

### 3 结论

本研究通过竹筴鱼在冷藏期间的微生物、理化指标和感官品质变化来评价保鲜效果。通过试验可以发现,臭氧冷海水处理能有效抑制竹筴鱼鱼体细菌的生长繁殖,TVB-N 值的上升、色度 b\*值的上升以及感官评分的下降;但同时臭氧冷海水处理促进了竹筴鱼鱼体脂肪的氧化,使 TBARS 值上升加速;而臭氧冷海水处理对竹筴鱼鱼体 pH 值、色度的 L\*、a\*值及质构影响不大( $p \geq 0.05$ ),不能很好地作为反映竹筴鱼在贮藏过程中品质变化指标。

### 参考文献

- [1] Sassa C, Tsukamoto Y, Nishiuchi K, et al. Spawning ground and larval transport processes of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) in the shelf-break region of the southern East China Sea [J]. Continental Shelf Research, 2008, 28(18): 2574-2583
- [2] Zhang C I, Lee J B. Stock assessment and management implications of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) in Korean waters, based on the relationships between recruitment and the ocean environment [J]. Progress in Oceanography, 2001, 49(1): 513-537
- [3] Shi Q L, Xue C H, Zhao Y, et al. Drying characteristics of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) dried in a heat pump dehumidifier [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84(1): 12-20
- [4] 曲春香,宋卫平,许宏庆,等.臭氧水处理对蔬菜中维生素C和胡萝卜素含量的影响[J].现代食品科技,2005,21(2):80-81  
QU Chun-xiang, SONG Wei-ping, XU Hong-qing, et al. The influences of the vitamin C and carotene's contents in the vegetable marinated by ozone water [J]. Modern Food Science and Technology, 2005, 21(2): 80-81
- [5] SALMON J, GALL J. Application of ozone for the maintenance of freshness and for the prolongation of conservation time of fish [J]. Ann. Hyg. Publ. Ind. Sociable, 1936: 84-93
- [6] Pastoriza L, Bernárdez M, Sampedro G, et al. Use of sterile and ozonized water as a strategy to stabilize the quality of stored refrigerated fresh fish [J]. Food Control, 2008, 19(8): 772-780
- [7] 吴亚西,陆美自.臭氧分析方法的研究[J].中国自然医学杂志,2002,4(4):227-229  
WU Ya-xi, LU Mei-zi. Study on the methods for the determination of ozone [J]. Chinese Journal of Natural Medicine, 2002, 4(4): 227-229
- [8] Fan W, Chi Y, Zhang S. The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice [J]. Food Chemistry, 2008, 108(1): 148-153
- [9] 杨燕军,陈有亮.颜色的仪器测定法及其在肉色测定中的应用[J].肉类工业,2004,(1):43-45  
YANG Yan-jun, CHEN You-liang. The instrument measurement method of colour and its application in determination of nude [J]. Meat Industry, 2004, (1): 43-45
- [10] 宋智,孟凤英.鲤鱼保鲜技术的研究[J].食品科学,1995,

- 16(6):45-48  
SONG Zhi, MENG Feng-ying. Study on fresh-keeping technology of carp [J]. Food Science, 1995, 16(6): 45-48
- [11] Okpala C O R. Investigation of quality attributes of ice-stored Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by sequential minimal ozone treatment [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 57(2): 538-547
- [12] Turan H, SÖNMEZ G, ÇELİK M Y, et al. Effects of different salting process on the storage quality of mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis* L. 1819) [J]. Journal of Muscle Foods, 2007, 18(4): 380-390
- [13] Li X, Li J, Zhu J, et al. Postmortem changes in yellow grouper (*Epinephelus awoara*) fillets stored under vacuum packaging at 0 °C [J]. Food Chemistry, 2011, 126(3): 896-901
- [14] Feng L, Jiang T, Wang Y, et al. Effects of tea polyphenol coating combined with ozone water washing on the storage quality of black sea bream (*Sparus macrocephalus*) [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2915-2921
- [15] Ocaño-Higuera V M, Maeda-Martínez A N, Marquez-Ríos E, et al. Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical, chemical and physical methods [J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 49-54
- [16] Lone Gram H H H. Microbiological spoilage of fish and fish products [J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 33: 121-137
- [17] 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
- [18] Sallam K I, Ahmed A M, Elgazzar M M, et al. Chemical quality and sensory attributes of marinated Pacific saury (*Cololabis saira*) during vacuum-packaged storage at 4 °C [J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1061-1070
- [19] Joseph Kanner S H, and Robert Jaffe. Lipid Peroxidation of Muscle Food As Affected by NaCl [J]. Food Chemistry, 1991, 39: 1017-1021
- [20] Kim J G, Yousef A E., Khadre M A. Ozone and its current and future application in the food industry [J]. Advances in Food and Nutrition Research, 2003, 45: 167-218
- [21] Mørkøre T, Rødbotten M, Vogt G, et al. Relevance of season and nucleotide catabolism on changes in fillet quality during chilled storage of raw Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) [J]. Food Chemistry, 2010, 119(4): 1417-1425