

doi: 10.3969/j.issn.1673-2227.2010.01.008

## 充气比率对罗非鱼片冰温气调贮藏期间品质的影响

李 杉<sup>1,2</sup>, 岑剑伟<sup>2</sup>, 李来好<sup>2</sup>, 马海霞<sup>2</sup>, 杨贤庆<sup>2</sup>, 刁石强<sup>2</sup>

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524088; 2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

**摘要:** 采用不同的充气体积 ( $V$ ) 与鱼片质量 ( $m$ ) 比率包装鲜罗非鱼片, 在冰温下贮藏, 通过微生物、挥发性盐基氮 (TVB-N) 和脂质氧化 (TBA) 等指标考察充气比率对鱼片品质的影响。结果表明, 充气比率  $\geq 3:1$  能抑制产品微生物的增长 ( $P < 0.05$ ), 贮藏第 25 天微生物数量仍小于可接受的限 ( $10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ ); 气调包装样品的肉汁渗出率均高于对照产品, 充气比率越大对肉汁渗出率影响越明显; 贮藏期间, 对照组的 TVB-N 第 4 天开始明显高于充气比率  $\geq 3:1$  的样品, 第 19 天时充气比率  $\geq 3:1$  的 TVB-N 仍在安全限内, 约  $19.30 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ; 充气比率对产品 pH 的影响不明显; 贮藏期间 TBA 缓慢上升, 气调包装样品之间差异不明显, 但与对照组差异显著 ( $P < 0.05$ )。总而言之, 充气比率为  $3:1 \sim 4:1$  的气调包装样品在贮藏期间品质差异不明显, 能明显延长鲜罗非鱼片的货架期。

**关键词:** 冰温贮藏; 气调包装; 充气比率; 罗非鱼片; 品质; 货架期

中图分类号: S 983.16.52

文献标志码: A

文章编号: 1673-2227-(2010)01-0042-07

## Effects of inflation rate on the quality of tilapia fillet with modified atmosphere packaging during controlled freezing-point storage

LI Shan<sup>1,2</sup>, CEN Jianwei<sup>2</sup>, LI Laihao<sup>2</sup>, MA Haixia<sup>2</sup>, YANG Xianqing<sup>2</sup>, DIAO Shiqiang<sup>2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** Packaged fresh tilapia fillets with different inflatable volume ( $V$ ) - fish weight ( $m$ ) ratios were stored at freezing-point; indices such as micro-organisms, TVB-N and TBA values were observed to study the effects of different inflatable ratios on the quality of fresh tilapia fillets. Experimental results showed that the ratio  $\geq 3:1$  significantly inhibited the microbial growth of products ( $P < 0.05$ ); the microbial number was still within the acceptable limit ( $10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ ) at 25<sup>th</sup> day of storage. The gravy leakage rate of the modified atmosphere packaging (MAP) samples were higher than those in the control group, and the higher the inflatable ratio was, the more obvious the influence on the gravy leakage rate of products was. With the extension of storage time, TVB-N value in the control group was significantly higher than that of the packaging samples with the inflatable ratio  $\geq 3:1$  after 4 days, and TVB-N value of samples with the inflatable ratio  $\geq 3:1$  was still within the safety limit at 19<sup>th</sup> day, being about  $19.30 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ . Different inflatable ratios had no obvious effects on the products' pH value, and TBA value increased slowly throughout the storage period; the MAP samples did not differ significantly, but there was significant difference ( $P < 0.05$ ) between the experimental group and the control group. To summarize, the inflatable ratio between  $3:1$  and  $4:1$ , which did not significantly influence the quality of MAP samples during storage, could prolong the shelf life of fresh tilapia fillets significantly.

收稿日期: 2009-10-26; 修回日期: 2009-11-25

资助项目: 农业部“948”项目(2006-G40); 公益性行业(农业)科研专项(3-49); 国家农业产业技术体系项目(nycytx-48); 广东省农业重点项目(2008A020100006); 广东省农业重点项目(2009B020201003); 广东省海洋渔业科技推广项目(A200899B02)

作者简介: 李 杉(1985-), 女, 硕士研究生, 从事水产品加工与贮藏研究。E-mail: lishan-0401@163.com

通讯作者: 李来好, E-mail: laihao@163.com

**Key words:** freezing-point storage; modified atmosphere packaging; inflatable ratio; tilapia fillet; quality; shelf life

罗非鱼 (*Tilapia* sp.) 是原产于热带、亚热带的暖水性鱼类，因其具有适应性强、繁殖率高、生长速度快、抗病能力强、肉多刺少、无异味和易于加工等优点，已成为中国养殖水产品中最突出的大宗贸易产品。目前，在国际市场销售的罗非鱼产品主要有3种，冻全鱼、冻鱼片和鲜鱼片，其中鲜鱼片的价格比冻品高出49%。中国罗非鱼主要出口到美国，产品以冻鱼片和冻全鱼居多<sup>[1]</sup>。近几年来，美国鲜罗非鱼片的进口一直呈增长趋势，但是中国鲜罗非鱼片所占的份额却非常低，这主要与长途运输成本高及鲜罗非鱼片货架期较短有关<sup>[2]</sup>。鲜罗非鱼片在冷藏或冰藏条件下，货架期一般在7~10 d左右，不能满足长途和长期流通销售的要求。因此，研究鲜罗非鱼片适宜的保鲜技术，延长其货架期显得尤为必要。

目前，国内外大多数研究的是不同气体配比对水产品气调包装贮藏的影响<sup>[3-7]</sup>，但是对充气体积与肉重之比研究较少，气体比率对鲜罗非鱼片的保鲜效果尚未见报道。该研究采用不同充气比率对鲜罗非鱼片进行气调包装后，贮藏于冰温条件下，研究在贮藏过程中其微生物、肉汁渗出率、挥发性盐基氮 (TVB-N)、pH 和脂质氧化 (TBA) 的变化，比较不同充气体积对鲜罗非鱼片品质的影响，探讨产品在冰温气调保鲜过程中的货架期，旨在为进一步完善鲜罗非鱼片冰温气调保鲜技术提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜罗非鱼片购于广州市恒发水产有限公司，冰藏运回实验室，原料从生产到运回实验室不超过3 h，鱼片重量为每片120~140 g。

气调包装袋材质为PA/TIE/PE/TIE/EVOH/TIE/PE/TIE/PE(9层)，厚度90 μm。

TTC营养琼脂和蛋白胨(生化试剂)，氯化钠、氯化钾、高氯酸、氢氧化钠、盐酸、硼酸、三氯乙酸、2-硫代巴比妥酸、酚酞、甲基红、次甲基蓝及无水乙醇等均为国产分析纯；实验用水为蒸馏水。

### 1.2 仪器设备

MAP-D400 复合气调保鲜包装机(苏州森瑞公

司出品)；精密低温培养箱(日本 Sanyo 公司出品)；DC-P3型全自动测色色差计(北京市兴光测试仪器公司出品)；明鉴 SPX 型智能生化培养箱(宁波江南仪器厂出品)；PB-10型精密 pH 计(德国 Sartorius 公司出品)；Ultra Turrax T25B 型均质机(德国 IKA 工业设备公司出品)；LDZX-75KBS 型立式压力蒸汽灭菌器(上海申安医疗器械厂出品)，Spectronic GENESYS-5 紫外分光光度计(美国 Thermo 出品)。

### 1.3 包装与贮藏

将鱼片经5 mg·L<sup>-1</sup>臭氧水浸泡10 min后沥干，装入包装袋中，每袋一块，进行气调包装，样品包装当天作为第0天。对照组为空气包装，其他5组为气调包装，气体组成均为70%二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和30%氮气(N<sub>2</sub>)，包装袋中不同气体体积(V)与罗非鱼片质量(m)之比有4组处理，A组(2:1)、B组(3:1)、C组(4:1)和D组(5:1)。所有包装样品均放置在低温培养箱中贮藏，温度为(-0.5±0.2)℃。

### 1.4 取样

从贮藏后第1天开始，每隔3天取样1次检测微生物指标和理化指标，取样时间为第1、4、7、10、13、16、19、22和25天。

### 1.5 微生物测定

参考SIVERTSVIK等<sup>[3]</sup>的方法，略有改动。称取剪碎鱼肉25 g，加入225 mL 0.1%蛋白胨无菌生理盐水，振荡混匀，以10倍稀释将鱼肉浆稀释后，取数个浓度合适的稀释液1 mL倾注培养。细菌菌落总数测定采用TTC营养琼脂培养基，于(25±1)℃培养48 h后计数。嗜冷菌数测定采用TTC营养琼脂(内含1%氯化钠，m/V)培养基，于(8±1)℃培养5~7 d后计数。每个样品至少取2个梯度稀释液，每个稀释液倾注3个平皿。

### 1.6 理化指标测定

1.6.1 肉汁渗出率的测定 参考吕凯波等<sup>[8]</sup>的方法。称取贮藏后的样品、包装袋及残留在袋内的渗出液总质量(m<sub>1</sub>)，小心剪开包装袋，将样品从包装袋内取出，称量包装袋和肉汁渗出液质量(m<sub>2</sub>)，洗净、烘干包装袋后称其质量(m<sub>3</sub>)，每个处理做3个平行。肉汁渗出率按下式计算：

$$\text{肉汁渗出率 (\%)} = \frac{m_2 - m_3}{m_1 - m_3} \times 100$$

**1.6.2 色差的测定** 样品以罗非鱼片背面的主脊部位为测试点。 $a^*$  表示红蓝色度,  $b^*$  表示黄绿色度,  $L^*$  表示亮度。由这3个指标来计算色度  $H^*$  (hue angle) 和颜色饱和度  $C^*$  (chroma)。前者由  $b^*/a^*$  计算而来, 表示色泽, 值越低说明肉越鲜红, 越高则表示肉越黄。肉色饱和度由  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  表示, 用以说明肉色的深浅<sup>[9]</sup>。

**1.6.3 挥发性盐基氮 (TVB-N) 的测定** TVB-N 的测定按陈培基等<sup>[10]</sup>的方法进行, 含量表示为  $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  鱼肉。每个处理做3个平行。

**1.6.4 pH 的测定** 参考 DUUN 和 RUSTAD<sup>[11]</sup> 的方法, 略有改动。称取碎鱼肉 10.00 g, 加入 10 mL 的  $0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  氯化钾溶液, 用均质

器  $13\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  均质 30 s, 测其 pH。每个处理做3个平行。

**1.6.5 脂质氧化 (TBA) 的测定** 参考 JOHN 等<sup>[12]</sup>的方法。称取 0.50 g 碎鱼肉, 加入 2.5 mL 预先配好的溶液, 此溶液含有 0.375% 的 2-硫代巴比妥酸, 15% 的三氯乙酸,  $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐酸, 混合均匀, 置于沸水浴中加热 15 min, 待溶液变成粉红色, 在流水中冷却, 然后离心,  $5\,500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 25 min。于 532 nm 测上清液吸光度, 以 0.5 mL 水代替肉样作空白对照。每个处理做3个平行。

$$\text{TBA} (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}) =$$

$$\frac{A_{532} \times 0.003 \times 72.07 \times 1\,000 \times 1\,000}{1.56 \times 10^5 \times 0.50}$$

式中  $1.56 \times 10^5$  为丙二醛的消光系数  $[(\text{M} \cdot \text{cm})^{-1}]$ ; 72.07 为丙二醛摩尔质量 ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )。

## 1.7 统计分析

数据分析采用单因素方差 (One-Way ANOVA) 分析, 差异检验采用 Duncan's 多重比较检验组间的差异, 以  $P < 0.05$  作为差异显著的标准。

## 2 结果与分析

### 2.1 微生物的变化

观察菌落总数和嗜冷菌的变化来评

价不同充气比率对冰温贮藏的罗非鱼片中微生物生长的抑制效果。在冰温条件下不同充气比率的气调包装保鲜优势在贮藏中、后期越来越明显, 能明显抑制微生物的生长和繁殖 (图1和图2)。贮藏第1天时, 5组处理样品的细菌菌落总数和嗜冷菌数均没有显著差异。4组气调包装样品在整个贮藏期间的嗜冷菌随贮藏时间的延长而增加, 与菌落总数变化有所差异。A组在贮藏初期的细菌总数反而减少, 之后开始增加, 到第22天时细菌菌落总数和嗜冷菌数分别为  $4.7 \times 10^6$  和  $9.4 \times 10^5 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。B、C和D组气调包装处理的细菌总数第13天前有所减少, 之后开始缓慢增加, 并且从第7天开始, 这3组处理菌落总数和嗜冷菌与对照组相比差异显著 ( $P < 0.05$ )。在整个贮藏期间, 对照产品中的菌落

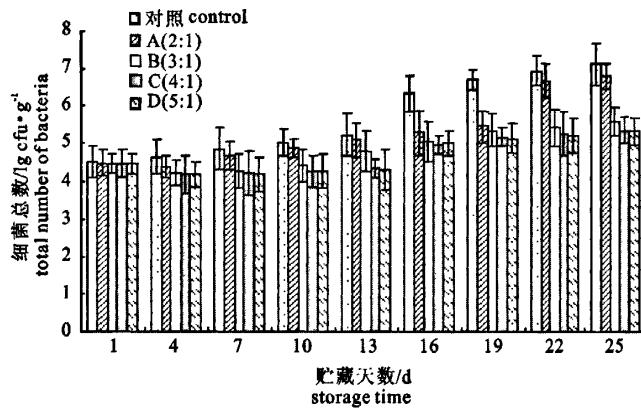


图1 罗非鱼片冰温贮藏期间细菌菌落总数的变化

Fig. 1 Variation of total bacterial number in tilapia fillets during freezing-point storage

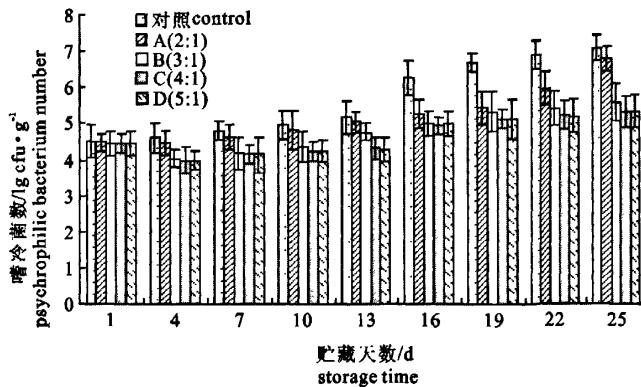


图2 罗非鱼片冰温贮藏期间嗜冷菌的变化

Fig. 2 Variation of psychrotrophic bacterial number in tilapia fillets during freezing-point storage

总数和嗜冷菌数都随着贮藏时间的延长而增加, 至第16天菌落总数和嗜冷菌数分别达到 $2.1 \times 10^6$ 和 $1.9 \times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ ; 而B、C和D组气调包装样品在整个贮藏期间细菌菌落总数和嗜冷菌数均未超过高品质水产品可接受的限 $10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ <sup>[5]</sup>, 表明当充气比率为 $\geq 3:1$ 时抑菌效果无显著差异。

## 2.2 肉汁渗出率的变化

在冰温贮藏过程中, 5组样品的肉汁渗出率随着贮藏时间的延长均有不同程度的升高, 对照组的肉汁渗出率从第4天开始一直低于气调包装样品, 而且从第10天开始显著低于其余4组( $P < 0.05$ ) (图3)。冰温贮藏至第25天, 对照组样品肉汁渗出率为3.76%, 而A、B、C和D组样品均超过4.4%。在贮藏期间A、B和C3组的肉汁渗出率差异不明显, 但与D组相比差异显著, 且在第13天以后, D组的肉汁渗出率极显著于A、B和C组( $P < 0.05$ )。这表明当充气比率为 $2:1 \sim 4:1$ 时对罗非鱼片肉汁渗出率的影响不显著。

## 2.3 色泽的变化

试验中5组样品的L\*在整个贮藏过程中均呈现不同程度的上升趋势, 彼此之间存在明显差异( $P < 0.05$ ) (表1)。5组样品的H\*在贮藏期间有不同程度的增加, 4组不同充气比率的气调包装都与对照组存在明显差异( $P < 0.05$ ), 第16天以后, 样品色泽变化程度依次为对照组>D>A>B≈C, 可见B和C组在贮藏后期对罗非鱼片红肉褐变的影响程度最小。试验发现在第22天以后, 对照(空气)组的鱼片出现绿色, 原因是腐败鱼片中的细菌代谢产生的硫化氢与肌红蛋白结合生成绿色的硫代肌红蛋白, 使鱼片色变绿, 说明这种鱼片已不可食用。随着贮藏时间的延长, 5组样品的C\*均降低, 说明随着肉汁渗出液的增加, 肌红蛋白也随之流失, 使得鱼片色变淡。

## 2.4 TVB-N的变化

在冰温贮藏期间, 5组样品的TVB-N均有不同程度的上升(图4)。贮藏期间对照组样品的TVB-N一直高于A、B、C和D组, 贮藏至第4天时, 对照组与

B、C和D3组气调包装样品的TVB-N差异比较明显( $P < 0.05$ ), 在贮藏19d后其TVB-N已达到 $20.23 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ; A组在贮藏期间, TVB-N一直略高于其他3种气调包装样品, 到第19天时其TVB-N达到 $20.47 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , 而充气比率 $\geq 3:1$ 的3组气调包装的TVB-N增长缓慢, 第19天时均大约为 $19.30 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 。根据中国水产品标准GB/2736-94规定的淡水鱼TVB-N $\leq 20 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ , 得出对照空气包装样品的货架期约为16d, 充气比率为 $\geq 3:1$ 的3种气调包装样品的货架期则可达19~22d。

## 2.5 pH的变化

pH测定的是被测溶液中氢离子(H<sup>+</sup>)的浓度, 反映的是已离解的酸浓度。5种不同包装处理的罗非鱼片在冰温贮藏过程中pH的变化结果见表

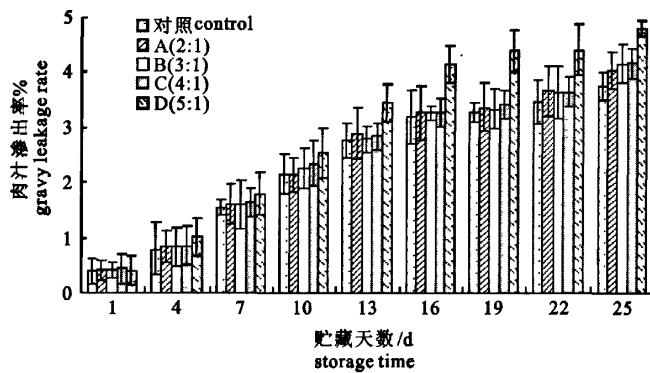


图3 罗非鱼片冰温贮藏期间肉汁渗出率的变化

Fig. 3 Variation of gravy leakage rate of tilapia fillets during freezing-point storage

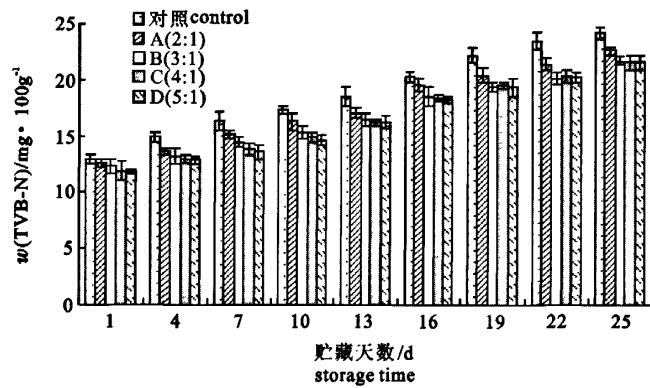


图4 罗非鱼片冰温贮藏期间TVB-N的变化

Fig. 4 Variation of TVB-N value of tilapia fillets during freezing-point storage

2. 5种处理的样品在整个贮藏期间 pH 均在 6.20 ~ 6.60 之间, 因此, 包装方式对产品 pH 的影响并不明显, 但是 5 组的 pH 随着贮藏时间的延长基本呈先上升后下降的趋势。该试验结论与吕凯波等<sup>[8]</sup>冰温气调贮藏黄鳝片的 pH 变化结果相似, 但与 ROSNES 等<sup>[5]</sup>的研究结论有区别。

## 2.6 TBA 的变化

如图 5 显示, 5 种处理的鲜罗非鱼片的初始 TBA 都非常小, 从第 4 天开始, 对照组与其余 4 组差异显著 ( $P < 0.05$ ), 在整个贮藏过程中 4 组不同充气比率的样品之间差异不明显, 在第 19 天之前冰温气调贮藏过程中 TBA 变化较缓慢, 这表明鲜罗非鱼片在第 19 天之前脂肪几乎没有氧化酸败, 在第 25 天时对照组的 TBA 达到 0.57 mg·kg<sup>-1</sup>, 其余 4 组约为 0.45 mg·kg<sup>-1</sup>, 说明不同充气比率的气

调包装均对脂肪氧化酸败有减缓作用, 但没有显著差异。

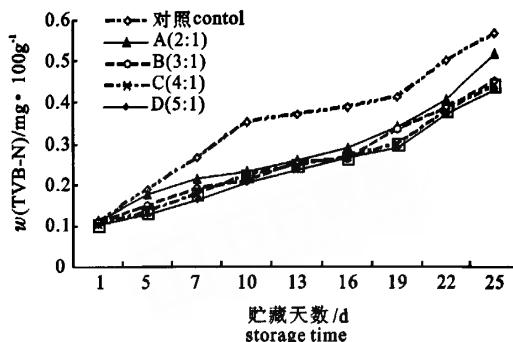


图 5 罗非鱼片冰温贮藏期间 TBA 的变化

Fig. 5 Variation of TBA value of tilapia fillets during freezing-point storage

表 1 不同包装处理对鱼肉色泽测定结果

Tab. 1 Effect of different packages on color of tilapia fillets

组别 group	1 d	4 d	7 d	10 d	13 d	16 d	19 d	22 d	25 d
L * 对照 control	44.61 ± 1.13 <sup>b</sup>	46.01 ± 1.10 <sup>a</sup>	49.23 ± 0.18 <sup>a</sup>	49.92 ± 0.76 <sup>a</sup>	51.21 ± 0.91 <sup>a</sup>	52.60 ± 0.18 <sup>a</sup>	52.97 ± 0.67 <sup>a</sup>	53.51 ± 0.30 <sup>a</sup>	54.19 ± 0.66 <sup>a</sup>
A (2 : 1)	43.69 ± 0.62 <sup>d</sup>	42.58 ± 1.24 <sup>d</sup>	43.35 ± 0.46 <sup>d</sup>	44.28 ± 1.07 <sup>c</sup>	45.16 ± 0.68 <sup>c</sup>	44.24 ± 0.58 <sup>d</sup>	45.98 ± 0.67 <sup>c</sup>	46.09 ± 0.35 <sup>a</sup>	47.01 ± 0.74 <sup>d</sup>
B (3 : 1)	45.38 ± 0.31 <sup>a</sup>	41.50 ± 0.61 <sup>c</sup>	44.79 ± 0.75 <sup>b</sup>	45.73 ± 0.86 <sup>b</sup>	46.13 ± 0.76 <sup>c</sup>	45.68 ± 0.32 <sup>c</sup>	45.51 ± 0.59 <sup>d</sup>	46.46 ± 0.42 <sup>d</sup>	47.31 ± 0.80 <sup>c</sup>
C (4 : 1)	42.74 ± 0.15 <sup>c</sup>	43.17 ± 0.61 <sup>c</sup>	44.76 ± 0.29 <sup>b</sup>	43.29 ± 0.90 <sup>d</sup>	45.85 ± 0.39 <sup>d</sup>	46.10 ± 0.78 <sup>b</sup>	45.92 ± 0.96 <sup>c</sup>	47.93 ± 0.83 <sup>b</sup>	46.25 ± 0.46 <sup>c</sup>
D (5 : 1)	44.16 ± 0.46 <sup>c</sup>	45.73 ± 0.41 <sup>b</sup>	44.39 ± 0.79 <sup>c</sup>	43.19 ± 0.34 <sup>e</sup>	46.54 ± 0.48 <sup>b</sup>	44.51 ± 0.61 <sup>e</sup>	46.76 ± 0.53 <sup>b</sup>	47.13 ± 0.54 <sup>c</sup>	48.37 ± 0.51 <sup>b</sup>
H * 对照 control	0.85 ± 0.13 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.41 <sup>b</sup>	0.95 ± 0.32 <sup>a</sup>	1.06 ± 0.13 <sup>c</sup>	1.08 ± 0.12 <sup>b</sup>	2.89 ± 1.44 <sup>a</sup>	2.77 ± 0.82 <sup>a</sup>	3.06 ± 1.46 <sup>a</sup>	4.34 ± 0.76 <sup>a</sup>
A (2 : 1)	0.92 ± 0.23 <sup>a</sup>	0.96 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.65 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.53 <sup>a</sup>	1.22 ± 0.55 <sup>a</sup>	1.39 ± 0.34 <sup>c</sup>	1.99 ± 0.19 <sup>c</sup>	2.17 ± 0.76 <sup>c</sup>	2.59 ± 0.88 <sup>b</sup>
B (3 : 1)	0.55 ± 0.07 <sup>d</sup>	0.81 ± 0.17 <sup>c</sup>	0.74 ± 0.11 <sup>c</sup>	0.96 ± 0.12 <sup>d</sup>	1.10 ± 0.34 <sup>b</sup>	1.26 ± 0.61 <sup>d</sup>	1.17 ± 0.58 <sup>c</sup>	1.37 ± 0.51 <sup>c</sup>	1.59 ± 0.17 <sup>d</sup>
C (4 : 1)	0.65 ± 0.22 <sup>c</sup>	0.49 ± 0.21 <sup>d</sup>	0.57 ± 0.09 <sup>d</sup>	0.77 ± 0.45 <sup>c</sup>	1.13 ± 0.26 <sup>b</sup>	1.21 ± 0.49 <sup>c</sup>	1.35 ± 0.66 <sup>d</sup>	1.43 ± 0.42 <sup>d</sup>	1.63 ± 0.51 <sup>d</sup>
D (5 : 1)	0.84 ± 0.79 <sup>b</sup>	0.93 ± 0.33 <sup>a,b</sup>	0.89 ± 0.35 <sup>b</sup>	1.12 ± 0.43 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.68 <sup>a</sup>	1.59 ± 0.29 <sup>b</sup>	2.08 ± 0.36 <sup>b</sup>	2.34 ± 0.52 <sup>b</sup>	2.47 ± 0.97 <sup>c</sup>
C * 对照 control	13.72 ± 1.11 <sup>c</sup>	12.56 ± 0.75 <sup>c</sup>	11.81 ± 0.98 <sup>c</sup>	11.17 ± 0.14 <sup>c</sup>	11.60 ± 0.58 <sup>a</sup>	10.57 ± 1.48 <sup>c</sup>	9.49 ± 0.59 <sup>c</sup>	8.67 ± 0.59 <sup>d</sup>	8.04 ± 0.41 <sup>d</sup>
A (2 : 1)	12.54 ± 0.98 <sup>c</sup>	12.09 ± 0.16 <sup>d</sup>	11.80 ± 1.28 <sup>c</sup>	10.8 ± 1.75 <sup>d</sup>	8.80 ± 1.61 <sup>a</sup>	10.89 ± 1.95 <sup>b</sup>	9.50 ± 0.92 <sup>c</sup>	9.82 ± 1.35 <sup>b</sup>	9.04 ± 0.56 <sup>b</sup>
B (3 : 1)	15.13 ± 0.93 <sup>b</sup>	14.57 ± 0.82 <sup>b</sup>	13.68 ± 0.74 <sup>a</sup>	12.65 ± 1.14 <sup>a</sup>	11.58 ± 1.50 <sup>a</sup>	10.10 ± 0.54 <sup>d</sup>	10.76 ± 0.83 <sup>a</sup>	10.05 ± 0.49 <sup>a</sup>	9.64 ± 0.47 <sup>a</sup>
C (4 : 1)	15.31 ± 2.11 <sup>a</sup>	14.73 ± 1.97 <sup>a</sup>	12.71 ± 0.99 <sup>b</sup>	11.60 ± 1.24 <sup>b</sup>	11.63 ± 1.41 <sup>a</sup>	11.22 ± 1.09 <sup>a</sup>	10.22 ± 1.40 <sup>b</sup>	9.97 ± 0.17 <sup>a</sup>	9.49 ± 0.16 <sup>a</sup>
D (5 : 1)	13.26 ± 0.49 <sup>d</sup>	12.12 ± 0.43 <sup>d</sup>	11.73 ± 0.83 <sup>d</sup>	11.38 ± 0.57 <sup>b,c</sup>	10.06 ± 0.46 <sup>b</sup>	9.98 ± 0.27 <sup>d</sup>	10.15 ± 0.62 <sup>b</sup>	9.03 ± 0.64 <sup>c</sup>	8.79 ± 0.38 <sup>c</sup>

注: 表中的值为平均值 ± 标准差 ( $n=3$ ); 同一列中具不同字母标记的数表示差异显著 ( $P < 0.05$ ); 后表同此。

Note: Values (calculated as Mean ± SD,  $n=3$ ) with different letters in the same column are significantly different from one other ( $P < 0.05$ ); the same case in the following table.

表 2 冰温贮藏期间罗非鱼片 pH 的变化

Tab. 2 Variation of pH value of tilapia fillets during freezing-point storage

组别 group	1 d	4 d	7 d	10 d	13 d	16 d	19 d	22 d	25 d
对照 control	6.44 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.50 ± 0.04 <sup>a</sup>	6.42 ± 0.01 <sup>a</sup>	6.45 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.44 ± 0.03 <sup>a</sup>	6.51 ± 0.08 <sup>a</sup>	6.57 ± 0.06 <sup>a</sup>	6.27 ± 0.02 <sup>b</sup>	6.33 ± 0.06 <sup>a</sup>
A (2 : 1)	6.43 ± 0.02 <sup>a</sup>	6.47 ± 0.01 <sup>a</sup>	6.51 ± 0.07 <sup>a</sup>	6.38 ± 0.12 <sup>a</sup>	6.36 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.35 ± 0.07 <sup>b</sup>	6.42 ± 0.04 <sup>b</sup>	6.35 ± 0.03 <sup>a</sup>	6.30 ± 0.05 <sup>b</sup>
B (3 : 1)	6.44 ± 0.11 <sup>a</sup>	6.49 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.48 ± 0.03 <sup>a</sup>	6.49 ± 0.06 <sup>a</sup>	6.37 ± 0.08 <sup>b</sup>	6.40 ± 0.01 <sup>b</sup>	6.36 ± 0.02 <sup>b,c</sup>	6.31 ± 0.07 <sup>b</sup>	6.27 ± 0.02 <sup>b</sup>
C (4 : 1)	6.48 ± 0.06 <sup>a</sup>	6.45 ± 0.03 <sup>a</sup>	6.42 ± 0.04 <sup>a</sup>	6.50 ± 0.03 <sup>a</sup>	6.33 ± 0.10 <sup>b</sup>	6.42 ± 0.05 <sup>b</sup>	6.34 ± 0.11 <sup>b,c</sup>	6.27 ± 0.01 <sup>b</sup>	6.25 ± 0.14 <sup>b</sup>
D (5 : 1)	6.48 ± 0.07 <sup>a</sup>	6.43 ± 0.10 <sup>a</sup>	6.43 ± 0.08 <sup>a</sup>	6.41 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.32 ± 0.07 <sup>b</sup>	6.35 ± 0.06 <sup>b</sup>	6.28 ± 0.09 <sup>c</sup>	6.24 ± 0.03 <sup>b</sup>	

### 3 讨论

#### 3.1 不同充气比率气调包装对微生物的影响

水产品腐败主要表现在某些微生物生长和代谢生成的氨、硫化物、醇、醛、酮和有机酸等产生不良气味和异味,使产品在感官上变得不可接受<sup>[13]</sup>,而气调包装可延缓微生物的生长繁殖,延长食品的货架期<sup>[6]</sup>。试验中不同充气比率的气调包装样品中的细菌总数先减少后增加,是因为冰温可有效抑制微生物的生长。同时CO<sub>2</sub>抑制水产品中需氧菌的活性,降低其生长速度,达到延缓腐败的效果,使优势菌在罗非鱼养殖环境中的生长繁殖在冰温以及高浓度的CO<sub>2</sub>(≥50%)贮藏环境下得到抑制。在贮藏过程中,气调包装袋内的CO<sub>2</sub>气体可抑制在空气中生长的腐败细菌如假单胞菌(*Pseudomonas* spp.)和腐败希瓦氏菌(*Shewanella putrefaciens*),而CO<sub>2</sub>耐受菌如乳杆菌(*Lactobacillus* spp.)、明亮发光杆菌(*Photobacterium phosphoreum*)、热杀索丝菌(*Brochothrix thermosphacta*)以及嗜冷菌李斯特菌(*Listeria* spp.)和变形杆菌(*Proteus vulgaris*)等则成为优势腐败菌<sup>[3,14]</sup>。国外学者研究指出,细菌数达到10<sup>7</sup>cfu·g<sup>-1</sup>或更高时有难闻的气味和味道产生,即鱼类已腐败变质<sup>[15]</sup>。以细菌菌落总数10<sup>6</sup>cfu·g<sup>-1</sup>作为人们消费高品质鱼类可接受的限<sup>[5]</sup>,对照产品的货架期约为16 d,充气比率≥3:1的气调包装产品则远超过25 d。该研究结果与SILVERTSVIK等<sup>[3]</sup>研究大西洋鲑(*Salmo salar*)鱼片气调保鲜技术中的微生物数量变化的结果相似。

#### 3.2 不同充气比率气调包装的鲜度指标变化

TVB-N一般作为鱼类初期腐败的评定指标<sup>[16]</sup>。参照国标GB 2733-2005《鲜、冻动物性水产品卫生标准》,将TVB-N 20 mg·100 g<sup>-1</sup>设为安全限量。鱼体死后初期,TVB-N的增加主要是由AMP(腺苷酸)脱氨反应产生的氨引起,由于各处理组的鲜罗非鱼片中AMP的浓度几乎相似,因此TVB-N相互之间变化不大。在贮藏后期,鱼肉在细菌作用下会产生三甲胺(TMA)和二甲胺(DMA)等低级胺类化合物<sup>[7]</sup>,磷脂中的胆碱也会转变为三甲胺<sup>[17]</sup>。氨基酸等含氮化合物会分解产生氨和各种胺类化合物,使得TVB-N逐渐积累增多。适当的充气体积能较长时间地抑制微生物生长,减缓腐败的进程。试验结果表明,充气比率≥3:1时鲜罗

非鱼片第19天的TVB-N约为19.30 mg·100 g<sup>-1</sup>,仍未超出相关标准的规定限。

TBA以样品中不饱和脂肪酸氧化产生的丙二醛的含量表示。由于鱼肉组织中含有较多不饱和脂肪酸和大量的促氧化剂,所以既可作为鱼片的脂肪氧化指标,也可以反映鱼片鲜度的变化<sup>[18]</sup>。但不同样品因脂肪含量及脂肪中不饱和脂肪酸含量不同,其反映鲜度水平的标准也不同。由于罗非鱼属于低脂鱼,因此TBA在贮藏前期变化不明显,气调包装的罗非鱼片在第19天以后才有较明显的变化,而且不同充气比率之间无明显差异。

生鲜水产品在贮藏过程中,由于自身所含水解酶和细菌的作用,在导致水产品鲜度下降的同时,还会引起水产品组织pH的变化。研究中5组样品的pH呈下降趋势,是因为:1)包装中CO<sub>2</sub>在样品表面的溶解,2)细菌分解糖类产生有机酸类物质和蛋白质产生胺类等碱性物质。总的来说,4组不同充气比率的气调包装产品在贮藏期间的pH和TBA差异并不明显。

#### 3.3 不同充气比率气调包装的物理指标变化

肉汁渗出率反映了鱼肉贮藏期间汁液的流失状况。国内外研究报道显示,在冷藏或微冻贮藏过程中气调包装鲜鱼类肉汁渗出率与在空气中相比会增加<sup>[3,5,7-8]</sup>。因为水产品的肉汁渗出率与CO<sub>2</sub>含量和浓度有关,溶解于鱼肉中的CO<sub>2</sub>能减弱肌肉的持水力<sup>[5]</sup>,因而在贮藏过程中,气调包装产品的肉汁渗出率高于空气包装组。而且随着充气比率的增大肉汁渗出率也增加,当充气比率=5:1时,肉汁渗出率明显高于其他4组。

颜色是肉类最重要的特性之一。鲜罗非鱼片表面亮度增加是由于肌球蛋白变性和亚铁血红素被取代、汁液损失导致肉中水分含量的变化,或因色素蛋白结构中卟啉环被破坏及蛋白聚合等造成的<sup>[19-20]</sup>。鱼片色泽的变化与贮藏时间、温度和环境的气体成分有关<sup>[21]</sup>,研究中发现贮藏约12 d以后,充气比率3:1~4:1的气调包装虽能明显延长鲜罗非鱼片的鲜度品质,但是红肉色泽开始褐变,而且肉汁渗出率也比普通的空气包装高。虽然气调包装能明显延长罗非鱼片的鲜度品质,但色泽改变和肉汁渗出率增加都将影响产品的商品价值。

综上所述,在冰温条件下,气调包装采用充气比率3:1~4:1能明显抑制微生物的生长繁殖,

保持鱼片的新鲜度，且对样品的感官色泽影响程度最小，并有效延长了鲜罗非鱼片的货架期。研究、探讨合适的护色和减少肉汁渗出率的方法，分析TVB-N、微生物指标、感官品质与货架期的相关性，完善鲜罗非鱼片冰温气调保鲜技术等研究工作都有待开展。

### 参考文献：

- [1] 陈胜军, 李来好, 杨贤庆, 等. 我国罗非鱼产业现状分析及提高罗非鱼出口竞争力的措施 [J]. 南方水产, 2007, 3 (1): 75-80.
- [2] 吴湘生. 当前美国罗非鱼进口市场分析及我国养殖对策 [J]. 广东饲料, 2008, 17 (9): 19-21.
- [3] SIVERTSVIK M, ROSNES J T, KLEIBERG G H. Effect of modified atmosphere packaging and superchilled storage on the microbial and sensory quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets [J]. J Food Sci, 2003, 68 (4): 1467-1472.
- [4] 彭城宇, 岑剑伟, 李来好, 等. 气体比例对气调包装罗非鱼片货架期的影响研究 [J]. 南方水产, 2009, 5 (6): 1-7.
- [5] ROSNES J T, KLEIBERG G H, SIVERTSVIK M, et al. Effect of modified atmosphere packaging and superchilled storage on the shelf-life of farmed ready-to-cook spotted wolf-fish (*Anarhichas minor*) [J]. Packag Technol Sci, 2006, 19 (6): 325-333.
- [6] 翁丽萍, 钟立人, 戴志远. 国内外鱼和鱼制品的气调保鲜研究 [J]. 食品与机械, 2006, 22 (3): 160-163.
- [7] 陈椒, 周培根, 吴建中, 等. 不同CO<sub>2</sub>气调包装对冷藏青鱼块质量的影响 [J]. 上海水产大学学报, 2003, 12 (4): 331-337.
- [8] 吕凯波, 熊善柏, 王佳雅. 包装处理方式对冰温贮藏黄鳍片品质的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2007, 26 (5): 714-718.
- [9] 吴桂苹. 肉的颜色变化机理肌肉色稳定性因素研究进展 [J]. 肉类工业, 2006 (6): 32-34.
- [10] 陈培基, 李来好, 李刘东, 等. 水产品中挥发性盐基氮测定方法的改良 [J]. 中国水产科学, 2006, 13 (1): 146-150.
- [11] DUUN A S, RUSTAD T. Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets [J]. Food Chem, 2007, 105 (3): 1067-1075.
- [12] JOHN L, CORNFORTH D, CARPENTER C E, et al. Color and thiobarbituric acid values of cooked top sirloin steaks packaged in modified atmospheres of 80% oxygen, or 0.4% carbon monoxide, or vacuum [J]. Meat Sci, 2005, 69 (3): 441-449.
- [13] 杨宪时, 许钟, 晓琳琳. 水产食品特定腐败菌与货架期的预测和延长 [J]. 水产学报, 2004, 28 (1): 106-111.
- [14] 唐簪. 嗜冷菌适应低温的分子机制及其应用 [J]. 西华师范大学学报: 自然科学版, 2004, 25 (4): 388-393.
- [15] 许钟, 杨宪时, 肖琳琳. 低温贮藏罗非鱼微生物学质量变化特性和保藏期 [J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35 (4): 621-625.
- [16] 沈月新. 水产食品学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 79.
- [17] 林洪, 张谨, 熊正河. 水产品保鲜技术 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 81.
- [18] GARNER K S. Effects of carbon monoxide on muscle quality of Spanish mackerel [D]. America: University of Florida, 2004.
- [19] CLAUDE C J, CULIOLI J. Effect of high pressure on meat: a review [J]. Meat Sci, 1997, 46 (3): 211-236.
- [20] JUNG S, GHOU M, DE LAMBALLERIE-ANTON M. Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat [J]. Lebensmittel-Wissenschaft und -technologie, 2003, 36 (6): 625-631.
- [21] FAUSTMAN C, CASSEN R G. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review [J]. J Muscle Foods, 1990, 1 (3): 217-243.