

内源化学反应及细菌活动对冰温贮藏罗非鱼片腐败变质的贡献研究

陈惠萍, 刘易晓, 薛佳, 陈鸿, 卢盛佳, 缪小兰, 梁桢婕, 段杉*

(华南农业大学食品学院, 广东省功能食品活性物重点实验室, 广州 510642)

摘要: **目的** 评估内源化学反应及细菌活动对冰温贮藏罗非鱼片腐败变质的贡献。**方法** 研究经抑菌处理及未经抑菌处理的罗非鱼片在冰温贮藏期间的菌落总数、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值、pH、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值及感官鲜度的变化, 采用电子鼻监测挥发性成分的变化, 并对未经抑菌处理罗非鱼片各指标与菌落总数间进行皮尔逊相关性分析。**结果** 贮藏期间经抑菌处理的样品的菌落总数始终小于 5.05 log CFU/g, TVB-N 值小于 3.00 mg/100 g, pH 及电子鼻测定的各种挥发性成分基本未变, 未发生感官腐败, 虽然 TBA 值有所增加($P < 0.05$), 但始终低于 0.05 mg MDA/100 g。而未经抑菌处理的罗非鱼片, 菌落总数在 21 d 时达到 9.19 log CFU/g, TVB-N 值增至 40.69 mg/100 g, pH 由 6.65 增至 7.63, 电子鼻测定的氮氧化物、硫化物及有机硫化物骤增, TBA 值增至 0.072 mg MDA/100 g, 显著高于抑菌处理的样品, 感官腐败明显。**结论** 冰温贮藏条件下内源化学反应仅导致一定程度的脂质氧化, 罗非鱼片的腐败主要由细菌活动造成。

关键词: 罗非鱼片; 冰温贮藏; 内源化学反应; 细菌活动; 腐败

Study on the contribution of endogenous chemical reaction and bacterial activity to the spoilage of *Oreochromis mossambicu* fillets under controlled freezing-point storage

CHEN Hui-Ping, LIU Yi-Xiao, XUE Jia, CHEN Hong, LU Sheng-Jia,
MIAO Xiao-Lan, LIANG An-Jie, DUAN Shan*

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Nutraceuticals and Functional Foods, College of Food Science,
South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the contribution of endogenous chemical reactions and bacterial activities to the quality deterioration of *Oreochromis mossambicu* fillets under controlled freezing-point storage. **Methods** The changes of total bacterial count, total volatile basic nitrogen (TVB-N) value, pH, thiobarbituric acid (TBA) value and sensory freshness of *Oreochromis mossambicu* fillets subjected or not subjected to bacteriostatic treatment during freezing-point storage were investigated, and the changes of volatile compounds were monitored by electronic nose. Pearson correlation analysis was carried out between the indexes and the total bacterial count of *Oreochromis*

基金项目: 广东省自然科学基金项目(2021A1515010590)

Fund: Supported by the Guangdong Provincial Natural Science Foundation Project (2021A1515010590)

*通信作者: 段杉, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品生物技术。E-mail: duanshan@scau.edu.cn

*Corresponding author: DUAN Shan, Ph.D, Associate Professor, College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China. E-mail: duanshan@scau.edu.cn

mossambicu fillets not subjected to antibiotic treatment. **Results** The results showed that during the storage, the total bacterial count of the samples subjected to bacteriostatic treatment kept less than 5.05 log CFU/g. TVB-N was less than 3.00 mg/100 g. The pH and various volatile compounds determined by electronic nose barely changed. No sensory spoilage occurred. TBA value increased to some extent ($P<0.05$), but remained below 0.05 mg MDA/100 g. However, in the samples not subjected to bacteriostatic treatment, after 21 days storage, the total bacterial count reached 9.19 log CFU/g, and TVB-N value increased to 40.69 mg/100 g. The pH changed from 6.65 to 7.63 and the volatile ingredients determined by electronic nose such as nitrogen oxides, sulfides and organic sulfides increased sharply. TBA value increased to 0.072 mg MDA/100 g, which was significantly higher than that of sample subjected to bacteriostatic treatment. Meanwhile, obvious sensory spoilage occurred. **Conclusions** The endogenous chemical reactions in *Oreochromis mossambicu* fillets only leads to some degree of lipid oxidation under controlled freezing-point storage, and the spoilage of *Oreochromis mossambicu* fillets are mainly caused by bacterial activities.

KEY WORDS: *Oreochromis mossambicu* fillets; controlled freezing-point storage; endogenous chemical reaction; bacterial activity; spoilage

0 引言

罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)又称非洲鲫鱼,原产于非洲,目前我国广东、广西、海南等地区大量养殖。我国罗非鱼产量已连续多年位居世界第一,2020年产量达到180万t^[1]。冻鱼片是我国主要的罗非鱼出口产品,但近年出口量明显下降,扩大内销是大势所趋。国内市场上,除了鲜活销售的罗非鱼外,还包括冻结和非冻结的罗非鱼产品,而非冻结的罗非鱼产品因口感和风味更接近鲜鱼受到了消费者的欢迎。在非冻结产品中,普通冷藏产品的保质期短,一般仅5d左右^[2-3],难以满足销售需求;而冰温贮藏产品的保质期则大大延长,可达到15d左右^[4-6]。

冰温贮藏温度在0°C和食品冰点之间,在此温度下,寒冷胁迫效应骤然增强,细菌活动受到很大抑制,仅少数细菌能够生存,因此,保质期大大延长^[7]。一般认为,水产品的腐败变质在冷藏条件下主要由细菌活动造成^[8-9],而冻藏条件下的变质则由内源化学反应造成^[10],如脂肪在脂肪氧合酶及血红素、金属离子的作用下发生氧化,可产生多种低分子醛、酮等成分,成为鱼腥气的重要来源,内源酶活动可导致蛋白质的降解,产生氨、二甲胺、三甲胺等成分,也可导致核苷酸类物质降解,产生诸如肌酐、尿酐、鸟酐、黄嘌呤、次黄嘌呤等成分。有研究表明脂质氧化及内源酶活动导致鱼体挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值增加^[11],-18°C冻藏的凡纳滨对虾的TVB-N值、三甲胺(trimethylamine, TMA)值、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值等仍持续上升^[12]。冰温贮藏的温度处于冷藏和冻藏的交界处,此时细菌生长代谢速度急剧下降,但化学反应速度降低较小^[13-15],内源化学反应对鱼类腐败变质的贡献相对增加。目前关于冰温贮藏条件下内源化学反应和细菌活动对罗非鱼片腐败变质的贡献的研究较少,仅有几篇文献报道在冰温贮藏条件下罗非鱼片

仍发生脂肪氧化^[16-18],但这些研究均未能说明这些质量变化是由细菌活动或由内源化学反应导致的。据YANG等^[19]报道罗非鱼的冰点为-1.5°C,因此,本研究以-1.5°C作为罗非鱼片冰温贮藏的温度,研究在此温度下内源化学反应和细菌活动对罗非鱼片品质变化的贡献,为针对性地提高冰温贮藏罗非鱼片的保鲜效果提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

罗非鱼(600~800g/条),购于广州市天河区长湴市场。二氧化氯(分析纯,武城雅洁消毒用品有限公司);2-硫代巴比妥酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);左氧氟沙星、头孢克肟(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

AL104型万分之一电子天平(精度0.1mg,瑞士MettlerToledo公司);SW-CJ-1FDA型超净工作台(苏州安泰空气技术有限公司);BPC-70F生化培养箱(上海一恒科学仪器有限公司);LDZX-40B型立式自控电热蒸汽灭菌器(上海申安医疗器械厂);BCD-255WP3CX冰箱(合肥长虹美菱股份有限公司);雷磁PHS-25pH计(上海仪电科学仪器股份有限公司);PEN3电子鼻(德国Airsense公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 冰温贮藏罗非鱼片样品制备

罗非鱼经去头去内脏后清洗干净,沿脊骨切下鱼片,再去皮切块后分成两组。一组直接置于无菌盒内于-1.5°C贮藏(未抑菌处理组);另一组先在100mg/L二氧化氯溶液中浸泡30s杀菌,沥干后再在200mg/L左氧氟沙星和头孢克肟混合抗生素溶液中浸泡5min以抑制残留细菌生长,然后置于无菌盒内于-1.5°C贮藏(抑菌处理组)。以上每组均

制备 3 个平行样品, 并定期取样测定。

1.3.2 菌落总数的测定

菌落总数的测定按照 GB/T 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》, 每次测定 3 个平行样品。

1.3.3 TVB-N 的测定

TVB-N 按照 GB/T 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》微量扩散法测定, 以每 100 g 样品中所含氮的质量(mg)表示, 每次测定 3 个平行样品。

1.3.4 pH 的测定

pH 的测定按照 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》测定, 每次测定 3 个平行样品。

1.3.5 TBA 的测定

丙二醛与 TBA 作用生成粉红色化合物, 在 532 nm 波长处有吸收高峰, 参照宋敏等^[20]的方法测定, 以丙二醛的质量($X, \mu\text{g}$)为横坐标, 以 $A_{532 \text{ nm}}$ (Y)为纵坐标绘制标准曲线(图 1)。TBA 值以 100 g 样品所含丙二醛的质量(mg)表示, 每次测定 3 个平行样品。

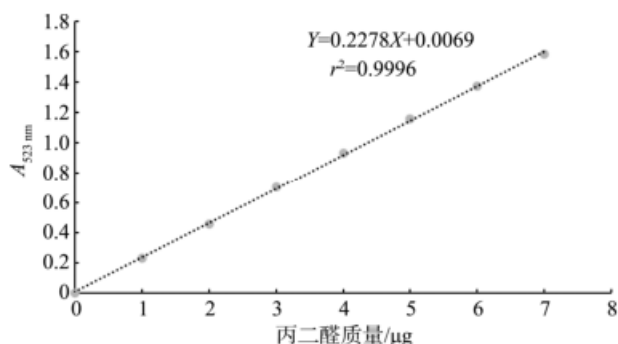


图 1 分光光度法测定丙二醛的标准曲线

Fig.1 Standard curve for spectrophotometric determination of malondialdehyde

1.3.6 感官评价

参考梁桢婕等^[21]的方法, 由经过培训的固定 5 人组成感官评价小组, 分别针对罗非鱼片的气味、色泽、质地打分, 分值设定: 很新鲜 0 分、新鲜 1 分、一般 2 分、略有腐败 3 分、明显腐败 4 分、完全不可接受 5 分, 然后计算所有人各项得分的平均分, 再以各项得分的加权平均作为感官评价的最终得分。

1.3.7 挥发性成分的测定

采用电子鼻测定挥发性成分, 参考徐永霞等^[22]的方法, 并稍加改进。称取搅碎的罗非鱼片肉 3.50 g, 置于 40 mL 进样瓶中, 顶空平衡温度 60°C, 平衡时间 20 min。电子鼻测定条件: 注射针温度 50°C, 清洗时间 100 s, 进气量 150 mL/min, 测定时间 120 s, 特征值提取时间点设定为 110~115 s, 对特征时间段内的信息进行分析, 每个样品均制备 3 个平行样, 结果去掉异常值, 以确保实验数据准确性。PEN3 电子鼻传感器的性能描述如表 1。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 对实验数据进行分析处理, 采用 Origin 2019 绘制数据图(所有实验样品数据重复测定 3 次), 结果采取均值±标准偏差形式。取 $P < 0.05$ 认为具有显著差异, 即具有统计学意义; 取 $P < 0.01$ 认为具有极显著差异。

表 1 PEN3 电子鼻传感器性能描述

Table 1 Performance description of PEN3 electronic nose sensor

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分, 苯类
2	W5S	灵敏度大, 对氮氧化物很灵敏
3	W3C	芳香成分灵敏, 氨类
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

2 结果与分析

2.1 冰温贮藏条件下经抑菌处理及未经抑菌处理的罗非鱼片感官评分的变化

由图 2a 可知, 经抑菌处理的罗非鱼片在 24 d 贮藏期间感官评分缓慢上升, 罗非鱼片鲜度有所下降, 但罗非鱼片的气味、色泽和质地都仍然保持新鲜, 并未出现明显异味、变色及腐败现象, 推测这是由于细菌生长被显著抑制以及冰温条件下鱼体内各种内源酶的活性下降所共同导致的。未经抑菌处理的罗非鱼片在冰温贮藏第 0~7 d 之间鲜度变化不大, 鱼肉仍保持新鲜; 7~14 d 期间, 鲜度有所下降, 第 21 d 时, 罗非鱼片已显著腐败, 有明显氨味出现。结果表明, 在冰温贮藏条件下, 由内源化学反应引起的感官腐败作用极小, 罗非鱼片的感官腐败主要与细菌活动有关。

2.2 冰温贮藏条件下经抑菌处理及未经抑菌处理的罗非鱼片菌落总数的变化

从图 2b 中可知, 经抑菌处理的罗非鱼片的菌落总数在整个贮藏期间呈增长趋势, 至第 24 d 时, 菌落总数仅为 5.04 log CFU/g, 感官评价也显示为新鲜状态。研究表明, 淡水鱼鱼体初始菌落总数在 2.0~6.0 log CFU/g^[23], 说明经抑菌处理的罗非鱼片在冰温贮藏过程中菌落总数一直处于较低水平。而未经抑菌处理的罗非鱼片的菌落总数增长较快, 至第 14 d 时菌落总数达到 8.68 log CFU/g, 在 21 d 时, 菌落总数增加至 9.19 log CFU/g, 此时, 感官评价也表明罗非鱼片明显腐败。可见, 菌落总数的结果与感官评价的结果一致。

2.3 冰温贮藏条件下经抑菌处理及未经抑菌处理的罗非鱼片 TVB-N 的变化

由图 2c 可知, 经抑菌处理的罗非鱼片初始 TVB-N 值为 2.83 mg/100 g, 第 24 d 时为 2.87 mg/100 g, 可见在整个贮藏期间, 经抑菌处理的罗非鱼片的 TVB-N 值均小于 3.00 mg/100 g, 基本无变化。而未经抑菌处理的罗非鱼片的 TVB-N 值在贮藏期间明显增加, 0~7 d 增长较快, 在第 7 d 时, TVB-N 值增至 11.62 mg/100 g, 第 14 d 时达到 21.14 mg/100 g, 已超出标准 GB/T 21290—2018《冻罗非鱼片》中的 TVB-N 含量 ≤ 20 mg/100 g 的规定, 第 21 d 和 24 d 时则分别达到 40.69 mg/100 g 和 57.68 mg/100 g, 此时感官评价能明显闻到氨味。该结果与前面菌落总数分析结果相一致, 随着贮藏时间延长, 微生物不断繁殖, 蛋白质被快速分解产生氨和胺类等碱性含氮化合物, 与有机酸结合, 形成大量盐基态氮而聚集在鱼肉中^[24-25]。结果表明, 在冰温贮藏条件下, 由内源化学反应引起的 TVB-N 值变化很小, 罗非鱼片的 TVB-N 值增加主要与细菌活动有关。

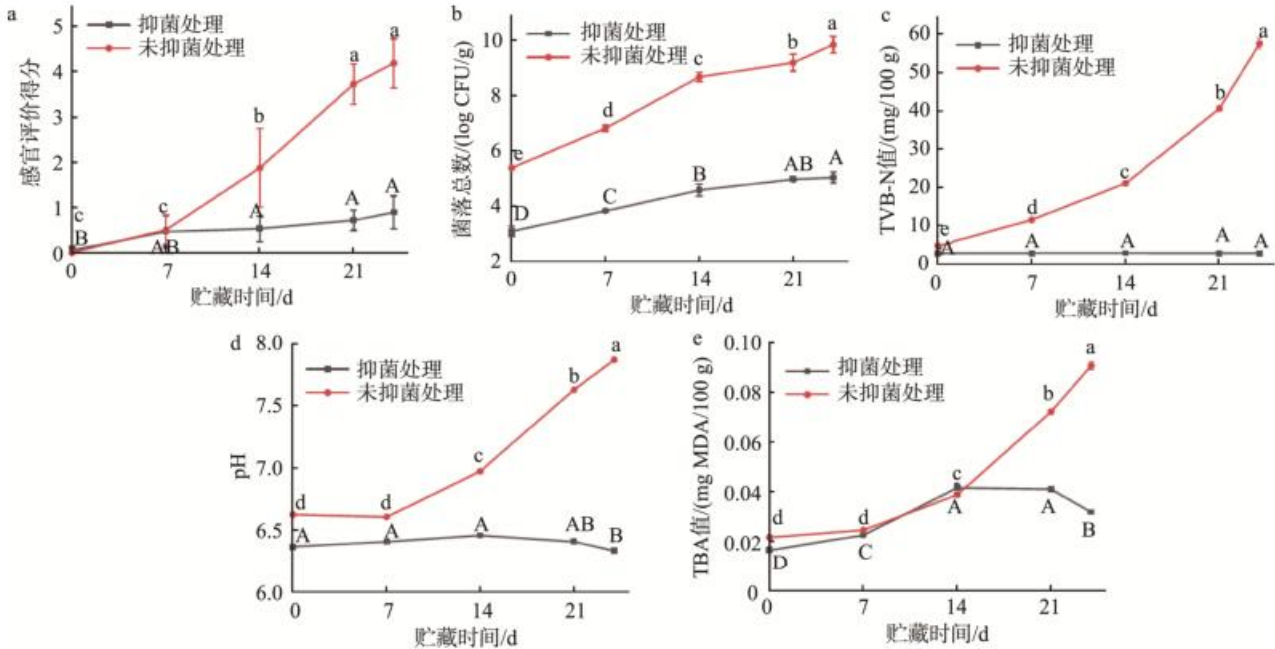
2.4 冰温贮藏条件下经抑菌处理及未经抑菌处理的罗非鱼片 pH 的变化

由图 2d 可知, 贮藏期间, 经抑菌处理的罗非鱼片 pH 在 6.33~6.46 之间波动, 呈先增加后减小趋势, 在 14 d pH 达到最大值 6.46, 但总体变化不大, 这可能是由于经抑菌处理的罗非鱼片细菌数量控制在较低水平, 其内源化学反应并未引起 pH 的明显增加。而未经抑菌处理的罗非鱼片在第 0 d 时的 pH 为 6.65, 最初 7 d 内 pH 基本

保持稳定, 但 7 d 后开始显著增加, 在 14、21 及 24 d 时分别增至 6.98、7.63 和 7.87。其菌落总数在最初 7 d 时增长较慢, 小于 7.0 log CFU/g, 在 7 d 后细菌大量生长, 分解蛋白质产生碱性含氮物质, 导致 pH 持续增加^[26-27]。结果表明, 在冰温贮藏条件下, 由内源化学反应引起的 pH 变化很小, 罗非鱼片的 pH 增加主要与细菌活动有关。

2.5 冰温贮藏条件下经抑菌处理及未经抑菌处理的罗非鱼片 TBA 的变化

由图 2e 可知, 经抑菌处理的罗非鱼片的初始 TBA 值为 0.017 mg MDA/100 g。在贮藏第 0~14 d, 抑菌组的 TBA 值上升至 0.042 mg MDA/100 g, 在第 14~24 d, TBA 值下降至 0.031 mg MDA/100 g, 可见在整个贮藏期间, 经抑菌处理的罗非鱼片的 TBA 值始终低于 0.05 mg MDA/100 g。与初始值比, 第 24 d 时的 TBA 值仍有显著增加($P < 0.05$), 这与金枝等^[28]的研究结果相符。而未经抑菌处理的罗非鱼片在整个贮藏过程中, TBA 值呈上升趋势, 从最初的 0.022 mg MDA/100 g 到第 21 d 增长至 0.072 mg MDA/100 g, 第 24 d 增长至 0.091 mg MDA/100 g。研究表明当肉制品的 TBA 值超过 0.06 mg MDA/100 g 时, 即有氧化异味产生^[29-30]。未经抑菌处理的样品 TBA 值更高, 且其变化趋势与菌落总数的变化趋势一致, 可见冰温贮藏条件下罗非鱼片的脂质氧化主要由细菌活动导致, 而内源酶或自动氧化的贡献较小。秦卫东等^[31]推测 TBA 值的增加可能是由于细菌的代谢作用或产生的酶引起的, 这与本研究的结论相近。



注: 不同大写字母表示抑菌处理组不同时间点间具有显著性差异($P < 0.05$), 不同小写字母表示未抑菌处理组不同时间点间具有显著性差异($P < 0.05$)。

图2 冰温贮藏条件下经抑菌处理及未经抑菌处理的罗非鱼片(a)感官评价得分、(b)菌落总数、(c)TVB-N值、(d)pH以及(e)TBA值的变化
Fig.2 Changes of (a) sensory scores, (b) total bacterial count, (c) TVB-N value, (d) pH and (e) TBA value of *Oreochromis mossambicu* fillets subjected or not subjected to bacteriostatic treatment during controlled freezing-point storage

2.6 冰温贮藏条件下经抑菌处理及未经抑菌处理的罗非鱼片挥发性成分的变化

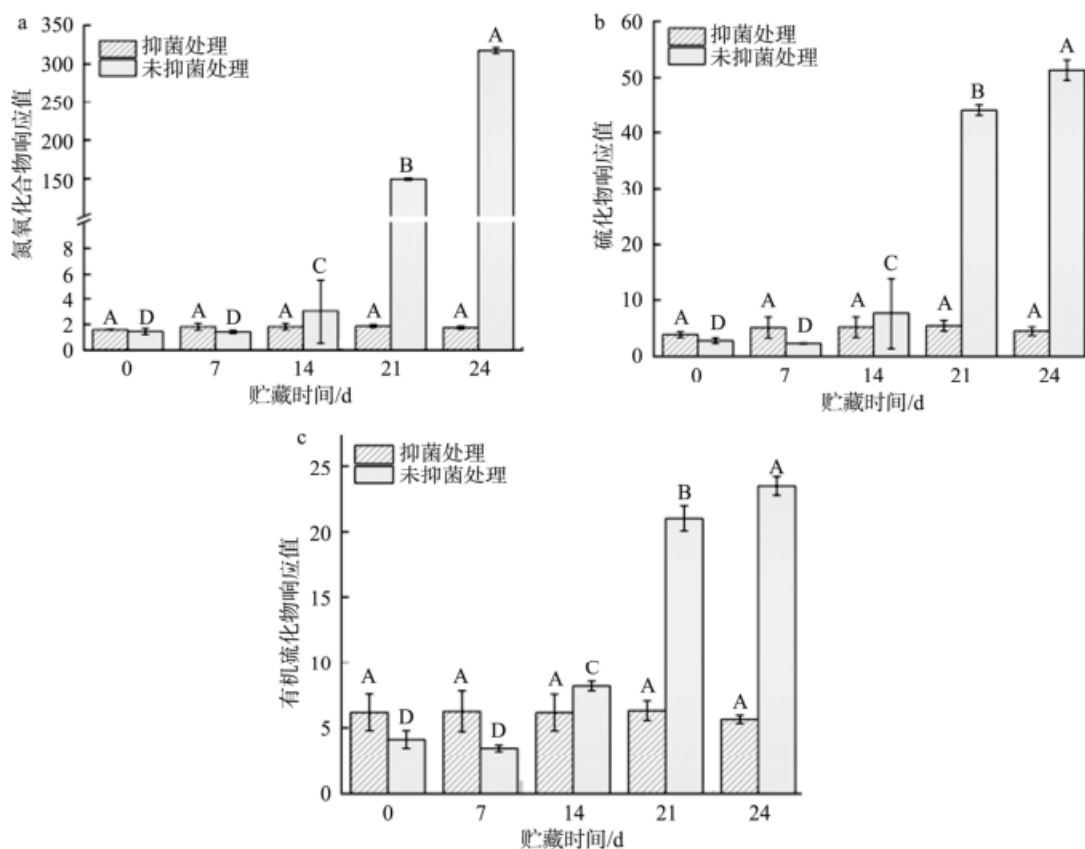
利用电子鼻测定经抑菌处理和未经抑菌处理的罗非鱼片样品在整个冰温贮藏期间的挥发性成分变化。两组罗非鱼片在冰温贮藏期间, 由电子鼻的传感器 W5S 检测到的氮氧化物、W1W 检测到的硫化物、W2W 检测到的有机硫化物有较明显响应值, 其他传感器检测到的挥发性物质响应值很小, 因此本研究主要分析氮氧化物(图 3a)、硫化物(图 3b)和有机硫化物(图 3c)。

由图 3 可看出, 在冰温贮藏期间(0~24 d), 经抑菌处理的罗非鱼片的氮氧化物、硫化物、有机硫化物的响应值与初始值接近, 均变化不显著($P>0.05$), 而未经抑菌处理罗非鱼片的氮氧化物、硫化物和有机硫化物的响应值在最初 7 d 时几乎保持不变, 在 14~21 d 时均有大幅度上升,

其中氮氧化物的响应值增长最为明显。这一变化趋势与菌落总数的变化趋势一致, 可能与细菌的群体感应有关, 即菌落总数较少时, 细菌的腐败分解作用很弱, 当数量增长到一定程度后细胞之间通过群体感应作用才表现出强烈的腐败作用^[32-33]。

2.7 未经抑菌处理罗非鱼各指标与菌落总数间的相关性分析

皮尔逊相关系数越大, 表明指标之间的相关性越高^[34]。对未经抑菌处理罗非鱼片样品的各指标与菌落总数之间进行皮尔逊相关性分析, 结果如表 2 所示, TVB-N 值、TBA 值、pH、有机硫化物均与菌落总数呈显著正相关($P<0.05$), 感官评价与菌落总数呈极显著正相关($P<0.01$), 表明冰温贮藏罗非鱼片的 TVB-N 值、TBA 值、pH 和有机硫化物的增加以及感官鲜度的下降与菌落总数的增长有关。



注: 不同大写字母表示同一组中不同时间之间具有显著性差异($P<0.05$)。

图 3 冰温贮藏条件下经抑菌处理及未经抑菌处理的罗非鱼片氮氧化物、硫化物和有机硫化物含量的变化

Fig.3 Changes of nitrogen oxide, sulfide and organic sulfide content of *Oreochromis mossambicu* fillets subjected or not subjected to bacteriostatic treatment during controlled freezing-point storage

3 结论

贮藏期间, 经抑菌处理的罗非鱼片样品其菌落总数增长缓慢且一直处于较低水平, 始终低于 5.05 log CFU/g,

未发生感官腐败, TVB-N 值、pH 及电子鼻测定的挥发性成分基本未发生变化, 但有一定的脂质氧化现象发生, 说明抑菌处理后罗非鱼片内源化学反应非常缓慢。未经抑菌处理的罗非鱼片样品在 0~14 d 期间, 细菌处于增长期, 数量

逐步增加, pH、TBA 值、TVB-N 值、感官评价及电子鼻测定的挥发性成分(氮化合物、硫化物和有机硫化物)等化学指标的增长速度较慢; 在 14~24 d 期间, 细菌数量已增长至接近最高值, 而上述化学指标也大幅增长, 由皮尔逊相关性分析可知未经抑菌处理的罗非鱼片的 TVB-N 值、TBA 值、pH、有机硫化物的增加, 以及感官鲜度的下降均与菌落总数的增加密切相关。

表 2 TVB-N、TBA、pH、感官评价、挥发性成分与菌落总数的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between TVB-N, TBA, pH, sensory evaluation, volatile components and total bacterial count

相关关系	相关系数	显著性水平
TVB-N——菌落总数	0.94	*
TBA——菌落总数	0.92	*
pH——菌落总数	0.93	*
感官评价——菌落总数	0.97	**
W5S(氮化合物)——菌落总数	0.80	/
W1W(硫化物)——菌落总数	0.86	/
W2W(有机硫化物)——菌落总数	0.91	*

注: **表示极显著相关($P<0.01$), *表示显著相关($P<0.05$); /表示不显著相关($P>0.05$)。

由以上结果可知, 冰温贮藏条件下罗非鱼片的腐败主要由细菌活动导致, 内源化学反应导致的变质作用很小, 主要是少量脂质氧化, 但并未导致罗非鱼片的腐败。

参考文献

- 赵芸, 桂朗, 陈良标. 罗非鱼产业发展现状[J]. 中国水产, 2020, (10): 46-48.
ZHAO Y, GUI L, CHEN LB. Development status of tilapia industry [J]. Chin Fish, 2020, (10): 46-48.
- 蔡广来, 万金庆, 童年. 贮藏温度对草鱼片冰温保鲜的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(3): 380-385.
CAI GL, WAN JQ, TONG N. Effect of storage temperature on ice temperature preservation of grass carp fillets [J]. J Anhui Agric Univ, 2020, 47(3): 380-385.
- 孙晓东, 刘芳宏, 刘敏, 等. 冷藏过程中黄花鱼的品质变化研究[J]. 食品工业, 2017, 38(9): 82-86.
SUN XD, LIU FH, LIU M, et al. In the process of research frozen yellow croaker quality change [J]. Food Ind, 2017, 38(9): 82-86.
- GOLIAT C, KAPUTE F, VALETA J. Effect of prolonged storage in ice on nutrient composition and sensory quality of whole fresh pond raised tilapia fish (*Oreochromis shiranus*) [J]. Sci Edu Pub Co Ltd, 2016. DOI: 10.12691/ajfn-4-5-2
- ADOGA IJ, JOSEPH E, SAMUEL OF. Storage life of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in ice and ambient temperature [J]. Researcher, 2010, 2(5): 39-44.
- XU Y, LI T, ZHANG C, et al. Protein degradation of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) muscle after postmortem superchilled and refrigerated storage [J]. Int J Food Prop, 2018, 21(1): 1911-1922.
- 熊俊杰, 李金林, 钟比真, 等. 草鱼低温保鲜技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(5): 9.
XIONG JJ, LI JL, ZHONG BZ, et al. Research progress on low-temperature preservation technology of grass carp [J]. Sci Technol Food Ind, 2023, 44(5): 9.
- 袁晓明. 广州三种淡水鱼冷藏期间菌群变化比较及特定腐败菌特性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2017.
YUAN XM. Comparison of microbial changes and characteristics of specific spoilage bacteria of three freshwater fish species in Guangzhou during cold storage [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017.
- 赵萍, 陈小华, 刘俊霞, 等. 大鲵肉冷藏过程中理化指标及挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 259-267.
ZHAO P, CHEN XH, LIU JX, et al. Analysis of physicochemical indexes and volatile components of giant salamander meat during cold storage [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(9): 259-267.
- 柳佳彤. 冻藏罗氏沼虾品质劣变现象及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
LIU JT. Study on quality deterioration phenomenon and its mechanism of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) during frozen storage [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- 郭学寒. 冻罗非鱼片生产关键技术优化及品质评价研究[D]. 海口: 海南大学, 2018.
GUO XQ. Study on optimization of pivotal technology and quality evaluation for frozen tilapia fillets [D]. Haikou: Hainan University, 2018.
- ZHANG B, MA LK, DENG SG, et al. Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging [J]. Food Control, 2015, 51: 114-121.
- 沈妮. 带鱼低温贮藏蛋白氧化、组织蛋白酶活性及鱼肉质地结构的变化规律[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
SHEN N. Protein oxidation, cathepsins activity, texture and structure of muscle changes of hairtail during low-temperature storage [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- DUUN AS, RUSTAD T. Quality of superchilled vacuum packed atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets stored at -1.4 and -3.6°C [J]. Food Chem, 2008, 106(1): 122-131.
- 季晓彤, 王玲, 年益莹, 等. 鲟鱼微冻贮藏期间内源性蛋白酶活力及品质变化研究[C]. 中国食品科学技术学会第十四届年会暨第九届中美食品业高层论坛论文集, 2017.
JI XT, WANG L, NIAN YY, et al. Changes of endogenous protease and quality of pomfret during partial freezing storage [C]. Proceedings of the 14th Annual Conference of the Chinese Institute of Food Science and Technology and the 9th China & US Food Industry High-level Forum, 2017.
- 金枝, 关志强, 李敏. 复合保鲜剂对冰温罗非鱼片的保鲜效果[J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(6): 115-123.
JIN Z, GUAN ZQ, LI M. Study on fresh-keeping effect of compound

- preservative on using ice-preserved tilapia fillets [J]. *J Guangdong Ocean Univ*, 2019, 39(6): 115–123.
- [17] WANG ZC, LU YQ, YAN YZ, *et al.* Effective inhibition and simplified detection of lipid oxidation in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets during ice storage [J]. *Aquaculture*, 2019, 511: 634–638.
- [18] SAE-LEAW T, BENJAKUL S, GOKOGLU N, *et al.* Changes in lipids and fishy odour development in skin from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stored in ice [J]. *Food Chem*, 2013, 141(3): 2466–2472.
- [19] YANG G, GUO J, LIN XD. Effects of different lethal methods and partial freezing treatment on fresh-keeping properties of tilapia [J]. *Food Sci*, 2009, 30(16): 278–281.
- [20] 宋敏, 许艳顺, 夏文水, 等. 冻结方式对鲮鱼片品质的影响[J]. *食品科技*, 2017, (8): 154–159.
- SONG M, XU YS, XIA WS, *et al.* Effects of different freezing methods on the quality of channel catfish fillets [J]. *Food Sci Technol*, 2017, (8): 154–159.
- [21] 梁按婕, 缪小兰, 段杉. 冰温及 4°C 贮藏罗非鱼的腐败特征差异[J]. *广东海洋大学学报*, 2021, 41(3): 99–104.
- LIANG ANJ, MIAO XL, DUAN S. Difference between corruption characteristics of tilapia under controlled freezing-point storage and 4°C cold storage [J]. *J Guangdong Ocean Univ*, 2021, 41(3): 99–104.
- [22] 徐永霞, 刘滢, 姜程程, 等. 电子鼻结合气质联用法分析大菱鲆冷藏过程中挥发性成分变化[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(1): 193–197.
- XU YX, LIU Y, JINAG CC, *et al.* Electronic nose combined with gas chromatography-mass spectrometry analysis of frozen turbot changes in volatile components during the process [J]. *Food Ferment Ind*, 2014, 40(1): 193–197.
- [23] SONG YL, LIU L, SHEN HX, *et al.* Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Food Control*, 2011, 22(3–4): 608–615.
- [24] BEKHIT AEA, GITERU SG, HOLMAN BWB, *et al.* Total volatile basic nitrogen and trimethylamine in muscle foods: Potential formation pathways and effects on human health [J]. *Compr Rev Food Sci*, 2021, 20(4): 3620–3666.
- [25] 李晓, 王颖, 刘洪军, 等. 0°C 贮藏下南美白对虾品质变化研究[J]. *核农学报*, 2020, 34(12): 8.
- LI X, WANG Y, LIU HJ, *et al.* Quality changes of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during 0°C storage [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2020, 34(12): 8.
- [26] MORADI M, TAJIK H, ALMASI H, *et al.* A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness [J]. *Carbohydr Polym*, 2019, 222: 115030.
- [27] 王航. 草鱼贮藏过程中品质变化规律及特定腐败菌的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- WANG H. Quality changes and the specific spoilage organisms of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during storage [D]. Beijing: China Agricultural University, 2016.
- [28] 金枝, 关志强, 李敏. 预冷温度对冰温罗非鱼片品质的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(9): 135–140.
- JIN Z, GUAN ZQ, LI M. Effect of pre-cooling conditions on fresh-keeping to ice-temperature tilapia fillet [J]. *Food Mach*, 2019, 35(9): 135–140.
- [29] FANG Z, LIN D, WARNER RD, *et al.* Effect of gallic acid/chitosan coating on fresh pork quality in modified atmosphere packaging [J]. *Food Chem*, 2018, 260: 90–96.
- [30] 薛鹏. 鲟鱼贮藏过程鲜度变化及肌苷酸降解影响因素的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2019.
- XUE P. Freshness change and factor affecting IMP degradation during sturgeon storage [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2019.
- [31] 秦卫东, 刘辉, 陈学红. 高氧包装鸭肉制品贮藏期间微生物数量和 TBA 值的变化[J]. *肉类研究*, 2009, 23(8): 45–47.
- QIN WD, LIU H, CHEN XH. Changes of microorganism and TBA values of high oxygen packaged duck meat products during storages [J]. *Meat Res*, 2009, 23(8): 45–47.
- [32] VADAKKAN K, CHOUDHURY AA, GUNASEKARAN R, *et al.* Quorum sensing intervened bacterial signaling: Pursuit of its cognizance and repression [J]. *J Genet Eng Biotechnol*, 2018, 16(2): 239–252.
- [33] KANOJIYA P, BANERJI R, SAROJ SD. Acyl homoserine lactone in interspecies bacterial signaling [J]. *Microbiol Biotechnol Lett*, 2022, (1): 50.
- [34] 吴盈茹, 廖月琴, 杜琪, 等. 即食中华管鞭虾贮藏品质变化及其货架期研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(20): 6459–6467.
- WU YR, LIAO YQ, DU Q, *et al.* Study on quality changes and shelf life of ready-to-eat *Solenocera crassicornis* during storage [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(20): 6459–6467.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



陈惠萍, 硕士研究生, 主要研究方向为食品科学与工程。

E-mail: 1647268340@qq.com



段杉, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品生物技术。

E-mail: duanshan@scau.edu.cn