

抑菌流化冰提高白鲳鱼的贮藏品质

黄利华¹, 张业辉², 张友胜², 汪婧瑜²

(1. 广州城市职业学院食品系, 广东广州 510405) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

摘要: 为了提高冰鲜海鱼的品质, 对比研究了3种抑菌物质二氧化氯(CIO₂)、乳酸链球菌素(Nisin)和二甲基二碳酸盐(DMDC)制备的流化冰在24天贮藏期内对白鲳鱼品质特性的影响。结果显示: 在平均温度为1℃贮藏环境中, 随着冰鲜时间的延长, 白鲳鱼的TVB-N值和TBARS值升高, 升高幅度显著小于普通流化冰($p<0.05$), TVB-N值显示CIO₂样品24d为33.47 mg/mL, DMDC样品20d为34.45 mg/mL, Nisin样品16d为37.41 mg/mL, 普通流化冰样品12d为39.53 mg/mL, 抑菌流化冰延长了白鲳鱼的货架期。抑菌流化冰可以促进白鲳鱼肉质pH值、硬度、弹性和色度等的稳定性, 证明CIO₂抑菌流化冰样品的新鲜度保持更好。通过研究白鲳鱼在不同贮藏环境中的品质变化, 建立微生物学Logistic模型能够较准确地预测白鲳鱼在冰鲜保藏温度-1至5℃的货架期, 其相对误差范围不超过3.22%。研究结果有助于提高白鲳鱼等海洋鱼在贮藏期间的品质, 延长其货架期。

关键词: 白鲳鱼; 抑菌流化冰; 货架期; 预测模型

文章编号: 1673-9078(2020)03-99-105

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.013

Improvement of Storage Quality of Silver Pomfret by Antifungal Slurry Ice

HUANG Li-hua¹, ZHANG Ye-hui², ZHANG You-sheng², WANG Jing-yu²

(1. Department of Food, Guangzhou City Polytechnic, Guangzhou 510405, China) (2. Sericulture & Agri-food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

Abstract: In order to improve the quality of frozen marine fish, the effects of three antimicrobial slurry ice (CIO₂, Nisin and DMDC) on the quality of silver pomfret were studied. The results showed that the TVB-N value and TBARS value of silver pomfret increased with the prolongation of ice freshness time, and the increasing range was significantly smaller than that of common slurry ice in the storage environment with an average temperature of 1℃ ($p<0.05$). The TVB-N value analysis indicated that the shelf-life of silver pomfret was 24 d for CIO₂ sample (33.47 mg/mL), 20 d for DMDC sample (34.45 mg/mL), 16 d for Nisin sample (37.41 mg/mL), and common slurry ice sample (39.53 mg/mL). The shelf-life of silver pomfret was prolonged by antifungal Slurry Ice. The stability of pH value, hardness, elasticity and color of silver pomfret meat could be improved by antimicrobial slurry ice, and further proved that the freshness of CIO₂ slurry ice sample was better than others. According to the dynamic changes of the indexes during the storage period of silver pomfret, a microbiological logistic model was established to predict the shelf-life of silver pomfret. The microbiological logistic model can accurately predict the shelf life of silver pomfret at the temperature of -1 to 5℃, and the relative error range of 3.22%. The results were helpful to improve the storage quality and extend the shelf-life of silver pomfret and other marine fishes.

Key words: silver pomfret; antimicrobial slurry ice; shelf life; microbiological logistic model

引文格式:

黄利华,张业辉,张友胜,等.抑菌流化冰提高白鲳鱼的贮藏品质[J].现代食品科技,2020,36(3):99-105

HUANG Li-hua, ZHANG Ye-hui, ZHANG You-sheng, et al. Improvement of storage quality of silver pomfret by antifungal slurry ice [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 99-105

收稿日期: 2019-10-24

基金项目: 广东省教育厅科技项目(2017GKTSCX057), 广州市科技计划项目(201904010164), 广东省自然科学基金重点项目(2018B0303110006), 广东省重点研发项目(2019B020212003), 广东省促进经济高质量发展专项(GDOE[2019]A38), 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金(2019KJ117)

作者简介: 黄利华(1979-), 女, 副教授, 研究方向: 食品科学; 通讯作者: 张业辉(1979-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品和水产品加工

白鲳鱼 (*Pampus argenteus*) 又称银鲳鱼, 是国内常见的海洋经济鱼类, 味道鲜美, 肉质细嫩。白鲳鱼的鱼肉中含有丰富的蛋白质和不饱和脂肪酸, 可减少心血管疾病的发生概率, 在广东等地是人们养生的滋补佳品^[1-3]。目前市售的白鲳鱼以捕捞后冷冻贮藏运输、冰鲜销售为主, 这种储运技术和方式目前在海捕鱼中应用十分广泛^[4,5]。但研究发现包括白鲳鱼在内的很多海鱼, 在低温冰鲜条件时, 肉质的风味和品质也会不同程度下降, 特别是销售环节较长时间的冰鲜贮藏与不可控的反复冻融, 使细胞内液体产生的微细冰渣对鱼肉品质影响很大, 不能满足现代生活中人们对高品质水产品的需求^[6,7]。

流化冰是指颗粒状冰粒子与水溶液组成的均匀两相混合物, 流化冰冰粒子颗粒更加细小、圆滑且易流动, 其载冷能力是普通冷冻水的 1.8~4.3 倍, 目前越来越多的高档商场超市采用流化冰技术贮藏冰鲜鱼^[8]。Kenneth 对比研究流化冰和碎冰对蓝鳍金枪鱼保鲜效果, 发现流化冰能更好延长了海鱼的货架期^[4]。但是, 冰鲜海鱼在商场超市复杂的环境中, 其货架期和品质仅靠普通流化冰也难以得到有效保障, 需要更加科学有效的抑菌保鲜措施提高鱼肉制品的安全性和货架期^[9-11]。本研究通过配比食品安全许可范围内的三种常见抑菌物质制备抑菌流化冰, 以白鲳鱼为原料, 探究一定浓度二氧化氯 (ClO_2)、乳酸链球菌素 (Nisin) 和二甲基二碳酸盐 (DMDC) 溶液制备的流化冰对于白鲳鱼鱼肉的保鲜保持效果, 并建立白鲳鱼的货架期预测模型, 用以快速预测在一定温度范围内抑菌流化冰保藏白鲳鱼等海洋鱼的货架期, 为提高白鲳鱼为代表的海捕鱼品质提供技术支持和参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

材料: 白鲳鱼 (每条约 300±30 g), 广州侨丰集团冷库。试剂: 二氧化氯 (ClO_2) 缓释片, 山东华实药业有限公司; 乳酸链球菌素 (Nisin), 浙江银像生物工程有限公司; 二甲基二碳酸盐, 德国朗盛公司; 酒石酸钾钠、硫酸铵、碘化钾、碘化汞、三氯乙酸、氢氧化钠、氯化铵、乙二胺四乙酸二钠 (EDTA)、2-硫代巴比妥酸 (TBA)、浓硫酸、琼脂、胰蛋白胨、酵母浸粉、葡萄糖等试剂均为分析纯或化学纯。

1.2 仪器与设备

自动温度记录仪, 美国 Omega 公司; 紫外可见分光光度计 (UV-1800 型), 日本岛津公司; 高速离心机

(TG16-WS 型), 湖南湘仪实验室仪器开发公司; LS-50LD 型立式压力蒸汽灭菌器, 江阴滨江医疗设备有限公司; UltraScan VIS 色度仪, 美国 Hunter Lab 公司; 质构仪 (TA-XT.PLUS 型), 英国 SMS 公司; LRH-250 型生化培养箱, 上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 抑菌流化冰的制备方法

按照国家标准安全使用剂量 ClO_2 (100 mg/L)、Nisin (250 mg/L) 和 DMDC (250 mg/L) 配置溶液, 急冻后制备流化冰。将普通流化冰 (空白) 与 3 种抑菌流化冰分别覆盖于白鲳鱼外表, 最后在鱼体上插入自动温度记录仪探头, 记录鱼体内温度变化情况。

1.3.2 pH 的测定

取 10.00 g 鱼背肉, 捣碎, 放入小烧杯, 用 pH 计测量, 每个样品测量 5 次, 取平均值。

1.3.3 水分含量的测定

取 $M_1=5.00$ g 鱼背肉, 利用直接干燥法, 置于 120 °C 烘箱内烘干到恒重, 再测其失去的重量 M_2 。由公式计算水分含量:

$$\text{水分含量 A (单位: \%)} = (m_1 - m_2) / m_1$$

1.3.4 挥发性盐基氮 (TVB-N) 的测定

采用分光光度法测定^[12], 由于挥发性盐基氮可与纳氏试剂在碱性条件下生成棕黄色化合物, 其色度与氮含量成正比, 与标准品比较进行从而得以定量分析。称取 5.00 g 样品剪碎, 置于三角瓶中, 加水至刻度 100 mL, 置于振荡器震荡 30 min 后过滤, 用移液枪吸取 1 mL 滤液于 10 mL 比色管中, 再加入 1 mL 纳氏试剂, 加水至 10 mL 刻度, 混匀后放置 10 min, 以水为参比于 420 nm 波长处测量吸光度, 再利用标准曲线和下面公式进行计算。

$$X = \frac{(C - C_0) \times 10^{-3}}{m \times 1/10 \times V/10} \times 100 \quad (1)$$

注: X-样品中挥发性盐基氮的含量, 单位: mg/100 g; C-样品测定液中挥发性盐基氮的含量, 单位: $\mu\text{g/mL}$; C_0 -空白测定液中挥发性盐基氮的含量, 单位: $\mu\text{g/mL}$; m-样品质量, g; V-测定用样品液体积, mL。

其中纳氏试剂的制备方法为: 称取 16 g 氢氧化钠, 溶于 50 mL 蒸馏水中, 冷却至室温, 再称取 7 g 碘化钾与 10 g 碘化汞一同溶于水并充分搅拌, 后缓慢注入氢氧化钠溶液中, 并用蒸馏水稀释至 100 mL, 在聚乙烯塑料瓶中避光保存。

1.3.5 硫代巴比妥酸反应物值 (TBARS) 的测定

称取 5.00 g 鱼肉样品,捣碎,置于 100 mL 三角瓶中,后加入 25 mL 浓度 7.5% 含 1% EDTA 的三氯乙酸溶液,放入振荡器,振摇 30 min 后用双层滤纸过滤,取上清液 5 mL 于 10 mL 离心管中,在离心管中加 5 mL 的 TBA 溶液 (0.02 mol/L) 摇匀,置于 90 °C 恒温水浴锅中,40 min 后取出,待冷却 1 h 后于 1600 r/min 条件下离心 5 min,移取 5 mL 上清液于试管中,再加入 3 mL 氯仿摇匀,静置分层后取上层溶液分别于波长 532 nm 和 600 nm 处测定吸光度 A,按如下公式计算 TBARS 值,155 为吸光度系数,72.6 为换算系数^[13]。

$$\text{TBARS 值 (mg/kg)} = (A_{532} - A_{600}) / 155 \times 1 / 10 \times 72.6 \times 1000 \quad (2)$$

1.3.6 全质构 TPA 的测定

取白鲮鱼背肉,切成 2.00×2.00×0.50 cm 的肉块,在空气中暴露 30 min,质构仪探头型号 P50,测试参数:测前速度 2 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度 10 mm/s,应变 80%,压缩距离 10 mm,触发力 5 g,两次压缩时间间隔 5 s。选取参数应力 Y、硬度 H、弹性 S、胶粘性 A 等作为主要指标。

1.3.7 色度值的测定

取鱼背肉,切成直径为 5 cm 的薄片,置于平皿中,在空气中暴露 30 min 后用色度仪进行测定,并记录 L* (亮度) 值、a (红度) 值和 b (黄度) 值。

1.3.8 统计方法

测定和分析结果采用 SPSS 15.0, Origin 7.5 和 Excel 软件进行数据处理,所有结果以平均值±标准偏差表示。指标内部的均值比较采用单因素方差分析,多重比较采用 Tukey 法,95% 置信度(p<0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同抑菌冰保鲜对白鲮鱼体 pH 的影响

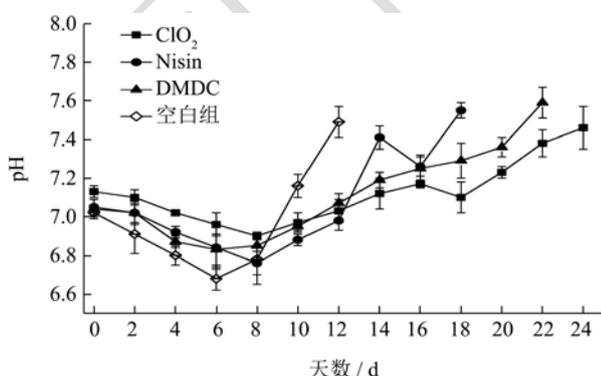


图 1 不同抑菌冰保鲜方式对鱼体 pH 值的影响

Fig.1 Effect of different preservative methods on pH value of Silver Pomfret

鱼死亡后,肌体腐败产生氨基酸、乳酸和 ATP,

并产生 H⁺ 离子,使得 pH 值降低,导致鱼肉的品质降低。另外,鱼体表和肠道内的微生物不断繁殖,产酸,也导致 pH 值降低。

图 1 显示,在环境温度为 1 °C 条件下,随着时间的延长,水解反应产生的 H⁺ 离子不断累积,导致 pH 值持续下降,在第 6 d 以后,蛋白质分解的速度也会加快,产生胺类化合物、吲哚等,样品的 pH 值开始上升,有利于微生物的繁殖,加速鱼肉的腐败。在低温条件下,鱼肉 pH 的变化趋势与 Tsigarida 等人的研究一致^[14]。到第 12 d 时,空白组白鲮鱼样品的变质速率最快,并可通过感官直接分别出腐败。Nisin、DMDC 和 ClO₂ 样品组的变化大致相同;ClO₂ 样品 pH 值变化最小。原因是二氧化氯的氧化性,能抑制水解反应,同时也能有效控制微生物的繁殖。因此,ClO₂ 的抑菌流化冰使得鱼肉 pH 值变化幅度较小,比结合 Nisin 和 DMDC 的抑菌冰更加稳定。

2.2 不同抑菌流化冰保鲜对白鲮鱼水分含量的影响

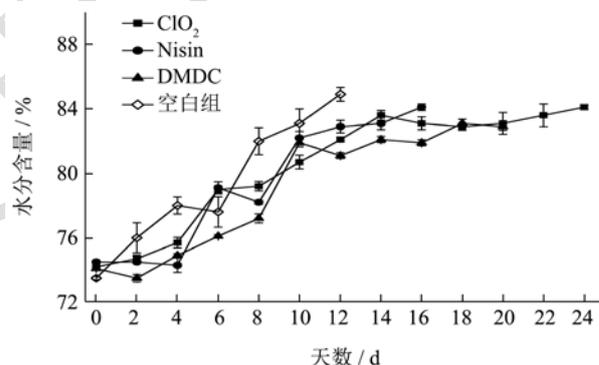


图 2 不同抑菌冰保鲜方式对鱼体水分含量的影响

Fig.2 Effect of different preservative methods on water content of Silver Pomfret

水分含量的表征意义在于肉的稳定性、视觉感官特征及微生物活动的变化。如图 2 所示,所有样品的水分含量都随着天数增加而升高,最大值为 83.16%。由于细胞的破裂和自溶作用,在 0 至 10 d 水分含量速度上升,然后达到稳定的值。空白组因为嗜冷微生物的作用,水分含量上升速度比抑菌冰的样品快。3 种不同抑菌流化冰保持鱼肉的水分变化相对稳定,缓慢上升,说明对微生物的繁殖有抑制作用。蓝蔚青等研究流化冰对南美对虾水分迁移的影响,发现流化冰能够较好阻止对虾体内水分的迁移和损失^[15]。而抑菌流化冰能够更好的保持白鲮鱼的新鲜度,减缓鱼体内的细胞破裂,有效阻止了细胞内液的水分迁移。

2.3 不同抑菌冰保鲜对白鲳鱼体挥发性盐基氮含量的影响

挥发性盐基氮 (TVB-N) 是指动物性食品在肌体腐败的过程中, 蛋白质被分解产生的挥发性氨和三甲胺等碱性含氮物质^[16], 其含量高低与蛋白质分解的量成正相关。因此, 常作为判别鱼肉新鲜度的重要指标。其中, 国标《GB/T 18108》指出海水鱼的 TVB-N 标准: 一级鲜鱼≤10 mg/100 g, 二级鲜鱼≤25 mg/100 g, 初期腐败鱼>30 mg/100 g。当鱼肉的 TVB-N 值高于 30 mg/100 g 时, 已经不适合食用。

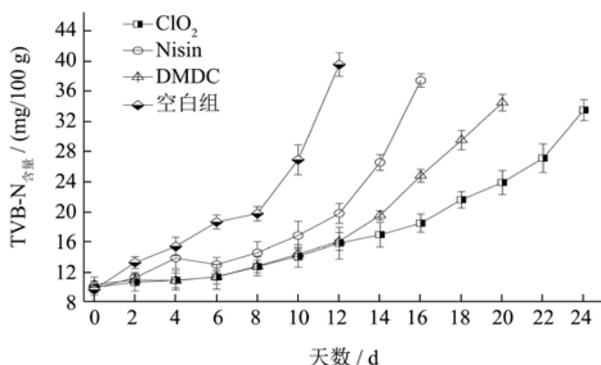


图3 不同抑菌冰对鱼体挥发性盐基氮 (TVB-N) 的影响

Fig.3 Effect of different preservative methods on TVB-N of Silver Pomfret

如图3所示, 所有样品在0 d至2 d无差异性显著, TVB-N的变化可能与一磷酸腺苷和脱氨基作用释放出氨态氮有关, 三甲胺产生的量不多, 所以保藏前期 TVB-N 值上升缓慢。第6 d后普通流化冰(空白组)与抑菌冰样品组的 TVB-N 值呈显著性差异 ($p < 0.05$), 第12 d时变质 (TVB-N 值为 39.53 mg/100 g)。Nisin 组样品第16 d变质 (TVB-N 值为 37.41 mg/100 g), DMDC 组样品第20 d变质 (TVB-N 值为 34.45 mg/100 g), ClO₂ 组样品直到第24 d才变质 (TVB-N 值为 33.47 mg/100 g)。保藏中后期的 TVB-N 值含量升高, 是因为微生物的活动加强, 导致大量的氨基酸被分解, 加大了脱氨基作用, 使得 TVB-N 值含量迅速增加。J. Gómez-Estaca 等人将天然抑菌溶液喷涂到鲳鱼的表面, 在 0 °C 贮藏条件下, 第12 d 鲳鱼的 TVB-N 值到达 30 mg/100 g 以上^[17]。鲳鱼与白鲳鱼都属于海洋白肉鱼。因此, 抑菌流化冰的保鲜效果应该更好。

2.4 不同抑菌冰保鲜对白鲳鱼体不饱和脂肪酸氧化的影响

TBARS 值是指肌体中不饱和脂肪酸氧化的程度

(丙二醛的含量) 与硫代巴比妥酸 (TBARS) 反应的结果, 数值的大小表示不饱和脂肪酸二级氧化产物的多少, 随着氧化程度加深, 二级产物持续积累, 所以 TBARS 值不断上升。

图4中显示3个抑菌流化冰样品组在0 d至6 d无显著性差异 ($p < 0.05$), 而普通流化冰样品在第4天开始就呈现出显著差异。普通流化冰的空白组样品 TBARS 值斜率最大, 说明其脂肪腐败速率最快, 另外, TBARS 值的整体变化趋势与 TVB-N 值变化趋势差不多。3组不同抑菌流化冰样品在第6 d至8 d内有个快速上升的过程, 然后基本维持稳定。从保质效果来看 DMDC 组和 ClO₂ 组均较好, 但 ClO₂ 抑菌冰样品的保质期比 DMDC 延长了4 d。蓝蔚青等研究流化冰对南美对虾品质的影响, 发现虾肉的 TBARS 值在贮藏前期呈明显增长趋势, 后面趋于稳定, 与本研究的变化趋势一致^[15]。

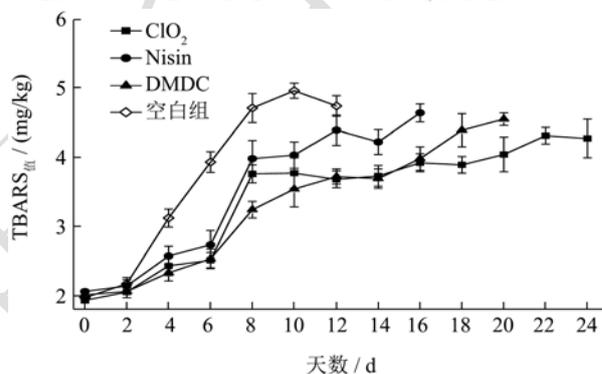


图4 不同抑菌冰保鲜方式对鱼体 TBARS 值的影响

Fig.4 Effect of different preservative methods on TBARS of Silver Pomfret

2.5 不同抑菌冰保鲜对白鲳鱼全质构 TPA 的影响

TPA 质构测试又被称为两次咀嚼测试主要是通过模拟人口腔的咀嚼运动。选取0至12 d内抑菌冰保鲜白鲳鱼的硬度和弹性作为指标。

表1显示, 在内源水解酶和微生物等作用下, 鱼肉逐渐腐败, 肉体内部结构相互作用的力逐渐变小, 导致组织崩溃, 汁液流失, 影响肉体的质构特性。硬度降低的速率来看, ClO₂ 流化冰样品下降的最少, DMDC 次之。表2显示, 随着蛋白质逐渐被分解, 肉的弹性会逐渐下降。微生物的生长被控制, 于是在 ClO₂ 和 DMDC 样品中, 弹力下降较为缓慢。白鲳鱼鱼肉组织的硬度和弹性都可以反映新鲜度, 在12 d之内, ClO₂ 流化冰样品的硬度和弹性的稳定性更好。王强等研究流化冰对南美白对虾弹性和咀嚼性的影响, 也发现更好的保鲜措施能使虾肉质构特性更稳定^[11]。

表 1 不同抑菌冰保鲜方式对鱼体硬度的影响

Table 1 Effect of different preservative methods on hardness of Silver Pomfret

时间/d	硬度/g			
	ClO ₂	Nisin	DMDC	普通(空白)
0	905.13±5.43 ^{Aa}	903.86±2.21 ^{Aa}	924.73±21.61 ^{Ab}	922.82±17.18 ^{Ab}
2	901.87±4.62 ^{Aa}	877.38±7.53 ^{Bb}	911.69±10.72 ^{Ba}	865.92±13.51 ^{Bc}
4	875.19±6.84 ^{Ba}	765.46±15.73 ^{Cb}	850.18±7.28 ^{Cc}	799.61±2.45 ^{Cd}
6	865.27±17.12 ^{Ca}	762.54±11.78 ^{Cb}	824.25±12.37 ^{Dc}	731.91±24.49 ^{Dd}
8	849.39±14.76 ^{Da}	735.48±4.98 ^{Db}	811.59±9.42 ^{Ec}	689.17±29.83 ^{Ed}
10	831.42±4.75 ^{Ea}	681.57±18.42 ^{Eb}	781.35±6.79 ^{Dc}	655.41±14.84 ^{Fd}
12	815.17±11.34 ^{Fa}	691.96±16.83 ^{Fb}	767.16±19.53 ^{Ec}	621.64±11.47 ^{Gd}

注: 同列肩标小写字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$); 同一指标、同行肩标大写字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$)。表 2、3 同。

表 2 不同抑菌冰保鲜方式对鱼体弹性的影响

Table 2 Effect of different preservative methods on elasticity of Silver Pomfret

时间/d	弹性/(g/sec)			
	ClO ₂	Nisin	DMDC	普通(空白)
0	0.66±0.02 ^{Aa}	0.71±0.05 ^{Aa}	0.68±0.07 ^{Aa}	0.67±0.05 ^{Ab}
2	0.66±0.06 ^{Aa}	0.70±0.05 ^{Ab}	0.69±0.02 ^{Ab}	0.69±0.09 ^{Bb}
4	0.65±0.01 ^{Aa}	0.59±0.11 ^{Bb}	0.57±0.07 ^{Bb}	0.44±0.02 ^{Cc}
6	0.63±0.09 ^{Ba}	0.52±0.07 ^{Cb}	0.52±0.05 ^{Cb}	0.46±0.04 ^{Dc}
8	0.63±0.01 ^{Ba}	0.52±0.02 ^{Cb}	0.53±0.01 ^{Cb}	0.45±0.03 ^{CDc}
10	0.61±0.02 ^{Ca}	0.49±0.07 ^{Db}	0.52±0.01 ^{Cb}	0.41±0.05 ^{Ec}
12	0.59±0.09 ^{Ca}	0.42±0.04 ^{Eb}	0.51±0.02 ^{Cc}	0.40±0.09 ^{Eb}

表 3 不同抑菌冰保鲜方式对鱼体色度值的影响

Table 3 Effect of different preservative methods on elasticity of Silver Pomfret

天数/d	0	2	4	6	8	10	12	
L*	ClO ₂	52.41±1.22 ^{Aa}	58.76±1.51 ^{Ab}	59.34±0.62 ^{Ab}	57.38±2.19 ^{Ab}	61.79±1.39 ^{Ac}	62.34±0.96 ^{Ac}	66.21±0.72 ^{Ad}
	Nisin	53.25±2.34 ^{Aa}	52.53±1.86 ^{Ba}	54.24±1.12 ^{ABb}	57.24±2.01 ^{Ac}	60.17±1.52 ^{Ad}	61.01±1.84 ^{Ad}	62.92±1.64 ^{Bd}
	DMDC	55.61±0.81 ^{Ba}	57.12±1.47 ^{Ab}	58.03±2.46 ^{Ab}	58.11±0.41 ^{Ab}	60.51±1.75 ^{Ac}	61.34±1.05 ^{Ac}	60.31±1.32 ^{Bc}
	空白	53.15±2.06 ^{Aa}	55.31±2.56 ^{Cb}	58.37±2.69 ^{Ac}	60.73±1.94 ^{Bc}	61.2±1.39 ^{Ac}	58.97±2.65 ^{Bc}	58.72±3.08 ^{Cc}
a	ClO ₂	-0.92±0.06 ^{Aa}	-2.39±0.23 ^{Ab}	-3.24±0.16 ^{Ac}	-2.61±0.11 ^{Ab}	-3.72±0.08 ^{Ad}	-3.01±0.16 ^{Ac}	-3.22±0.19 ^{Ac}
	Nisin	-1.89±0.09 ^{Ba}	-1.54±0.37 ^{Ba}	-2.56±0.56 ^{Bb}	-2.84±0.41 ^{Ab}	-2.91±0.07 ^{Bb}	-3.86±0.26 ^{Bc}	-3.93±0.44 ^{Bc}
	DMDC	-2.22±0.19 ^{Ca}	-1.52±0.09 ^{Bb}	-2.07±0.04 ^{Ca}	-2.56±0.28 ^{Ac}	-2.57±0.06 ^{Cc}	-2.89±0.11 ^{ACc}	-3.51±0.13 ^{Ad}
	空白	-1.86±0.15 ^{Ba}	-3.18±0.29 ^{Cb}	-3.01±0.56 ^{Ab}	-4.33±1.31 ^{Bc}	-6.37±0.95 ^{Dd}	-6.48±0.54 ^{Cd}	-7.26±1.19 ^{Ce}
b	ClO ₂	5.07±0.35 ^{Aa}	7.01±0.29 ^{Ab}	6.78±0.53 ^{Ab}	6.71±0.23 ^{Ab}	7.02±0.06 ^{Ab}	7.83±0.17 ^{Ac}	7.43±0.27 ^{Ac}
	Nisin	5.70±0.11 ^{Ba}	10.46±0.23 ^{Bb}	8.95±2.17 ^{Bc}	9.84±0.81 ^{Bb}	9.87±0.18 ^{Bbc}	9.39±0.67 ^{Bd}	8.79±1.26 ^{Bc}
	DMDC	5.27±0.49 ^{Aa}	6.51±0.69 ^{Cb}	7.01±0.17 ^{Ac}	5.82±2.15 ^{Cb}	6.69±0.57 ^{Ab}	6.82±0.21 ^{Cb}	7.43±0.09 ^{Ac}
	空白	4.84±0.22 ^{Aa}	4.94±0.13 ^{Da}	6.96±1.84 ^{Ab}	9.72±1.63 ^{Bc}	11.21±2.95 ^{Cd}	14.22±2.45 ^{De}	14.91±0.62 ^{Ce}

2.6 不同抑菌冰保鲜对白鲷鱼色度值的影响

鱼肉的色度值变化也是反映其新鲜度的重要指标。由表 3 显示, 2 d 至 12 d 内 ClO₂ 样品与空白组样品的亮度之间呈显著性差($p < 0.05$), 而 Nisin 和 DMDC 组在第 8~12 d 内才与空白组有差异。0 d 至 12 d, 3 个抑菌流化冰样品对白鲷鱼肉的亮度变化趋势均是逐

渐上升, 而普通流化冰空白组(第 12 d 已经变质)是先上升后下降。随着腐败进行, 肌肉中肌红蛋白被氧化为高铁肌红蛋白, 而高铁肌红蛋白呈褐色, 于是整体亮度下降。普通流化冰空白组的 a 值有显著性差异($p < 0.05$), 所有样品的红度值都呈下降趋势。但 ClO₂ 抑菌流化冰的红度值较其他 2 组样品更低, 可能与 ClO₂ 的漂白作用有关。随着时间的推移, 肌红蛋白不

断被氧化形成高铁肌红蛋白(褐色),且 pH 也不断上升,到后期抑制氧合肌红蛋白(鲜红色)形成,最终使红度值下降。黄度值变化与红度值变化相反,总体趋势上升,因为高铁肌红蛋白含量的不断增加,使黄度不断升高^[17]。白度值对白鲳鱼的冰鲜保藏具有重要的意义,能在保质期间使鱼肉保持较好的外观品质。

2.7 建立白鲳鱼货架期的预测模型

白鲳鱼在冰鲜保藏过程中,环境因素和体内的酶等共同导致鱼肉品质下降,使货架期变短。在前期研究基础上,选取 Logistic 模型对白鲳鱼的货架期进行

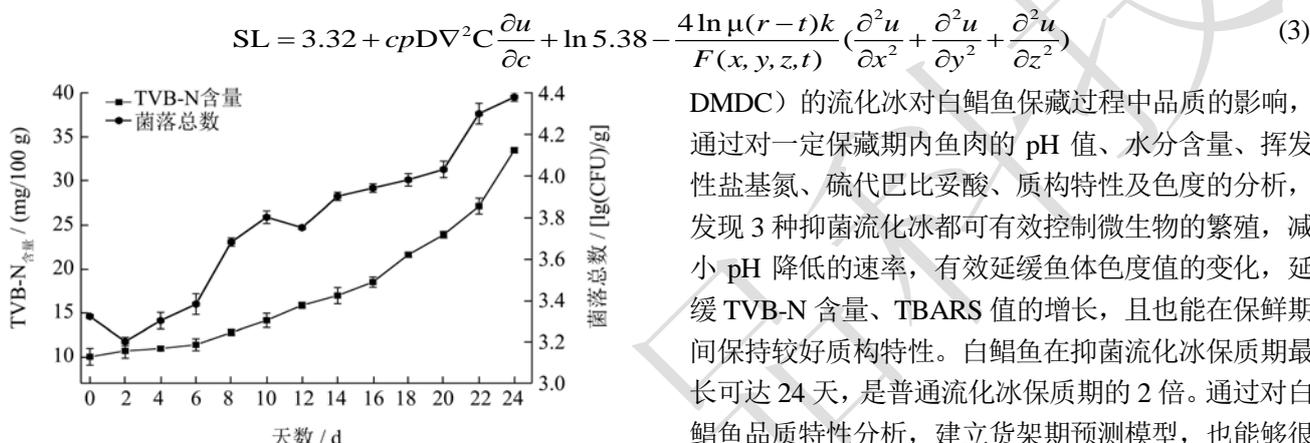


图5 冰鲜白鲳鱼在 1 °C 的 TVB-N 含量与菌落总数的变化

Fig.5 The change of TVB-N value and colony number of Silver Pomfret at 1 °C

白鲳鱼冰鲜保藏的最佳温度为-1 至 5 °C, 可选取 -1、1、3、5 这个温度点, 分别测得货架期, 并与这 4 个点的模型预测值进行比较, 得到其相对误差大小, 如表 4 所示。

表 4 预测值与实际值的比较

Table 4 Comparison between predicted value and actual value

温度/°C	实际观察值/h	预测值/h	相对误差/%
-1	652±7	665	1.99
1	528±12	511	3.22
3	426±5	434	1.87
5	374±10	366	2.13

由表 4 可以看出预测值的准确率较高, 相对误差均小于 3.22%, 这在食品工程应用领域, 属于可接受的范围。因此得出, 以 Logistic 模型为基础建立的货架期预测模型可快速且准确的预测-1 至 5 °C 温度下的冰鲜白鲳鱼货架期。研究结果为常规冰鲜条件下海洋鱼类的货架期和食品安全提供理论支持。

3 结论

本文研究了三种含抑菌物质 (ClO₂、Nisin、

预测, 建立货架期预测模型。

白鲳鱼冰鲜保藏的货架期 (Shelf life, SL) 模型可以在拟合优度最佳的模型基础上建立, 再通过微生物的初始菌数 (N₀) 到腐败限控量 (N_c) 来预测, 所谓 N_c 就是达到白鲳鱼变质的微生物菌落总数。

用 Logistic 模型为基础, 计算从初始菌落总数 (N₀) 增至腐败限控量 (N_c) 的时间来预测冰鲜白鲳鱼的货架期。根据图 5 样品的初始菌落数为 3.32 lg (CFU/g)、腐败限控量为 4.30 lg (CFU/g), 最大菌落总数 4.38 lg(CFU/g), 由此得出货架期预测模型公式如公示 (3)。

DMDC) 的流化冰对白鲳鱼保藏过程中品质的影响, 通过对一定保藏期内鱼肉的 pH 值、水分含量、挥发性盐基氮、硫代巴比妥酸、质构特性及色度的分析, 发现 3 种抑菌流化冰都可有效控制微生物的繁殖, 减小 pH 降低的速率, 有效延缓鱼体色度值的变化, 延缓 TVB-N 含量、TBARS 值的生长, 且也能在保鲜期间保持较好质构特性。白鲳鱼在抑菌流化冰保质期最长可达 24 天, 是普通流化冰保质期的 2 倍。通过对白鲳鱼品质特性分析, 建立货架期预测模型, 也能够很好地预测-1 至 5 °C 温度下的冰鲜白鲳鱼货架期。

参考文献

- [1] 蓝蔚青, 巩涛硕, 傅子昕, 等. 不同植物源提取液对冰藏鲳鱼水分迁移及蛋白质特性的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 179-188
- [2] LAN Wei-qing, GONG Tao-shuo, FU Zi-xin, et al. Effect of different plant-source extracts on the water mobility and protein characteristic in pomfret (*Pampus argenteus*) during ice storage. [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(8): 179-188
- [3] Yin F, Peng S M, Sun P, et al. Effects of low salinity on antioxidant enzymes activities in kidney and muscle of juvenile silver pomfret *Pampus argenteus* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31: 55-60
- [4] 崔燕, 林旭东, 康孟利, 等. 低温高湿解冻降低鲳鱼理化品质的劣变[J]. 现代食品科技, 2018, 34(8): 81-89
- [5] CUI Yan, LIN Xu-dong, KANG Meng-li, et al. Low temperature combined with high-humidity thawing reduced the physicochemical quality deterioration of *Pampus argenteus*. [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(8): 81-89
- [6] Kenneth R. Davey. A quantitative failure assessment of ice

- slurry cooling of fish at sea to meet regulatory guidelines-demonstrated with southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 183: 58-64
- [5] Lan W Q, Che X, Xu L, et al. Sensory and chemical assessment of silver pomfret (*Pampus argenteus*) treated with ginkgo biloba leaf extract treatment during storage in ice [J]. Aquaculture and Fisheries, 2018, 3: 30-37
- [6] 王智能,高立琼,崔文利,等.黄鳍片冷冻保藏的质构变化与控制[J].食品工业,2019,40(5):214-219
WANG Zhi-neng, GAO Li-qiong, CUI Wen-li, et al. Quality change and control of *Monopterus albus* slices during frozen storage [J]. Food Industry, 2019, 40(5): 214-219
- [7] 黎柳,谢晶.水产品冰鲜技术的研究进展[J].食品与机械, 2014,1:30-36
LI Liu, XIE Jing. Progress of ice preservation technology on aquatic products [J]. Food and Machinery, 2014, 1: 30-36
- [8] Chunhua Wu, Yaqin Hu, Shiguo Chen, et al. Formation mechanism of nano-scale antibiotic and its preservation performance for silvery pomfret [J]. Food Control, 2016, 69, 331-338
- [9] 吕淑霞,白泽朴,代义,等.乳酸链球菌素(Nisin)抑菌作用及其抑菌机理的研究[J].中国酿造,2008,9:87-91
LYU Shu-xia, BAI Ze-pu, DAI Yi, et al. Study on antibacterial function and mechanism of Nisin [J]. China Brewing, 2008, 9: 87-91
- [10] Kazuhiko Mochida, Katsutoshi Ito, Mana Ito, et al. Toxicity of the biocide polycarbamate, used for aquaculture nets, to some marine fish species [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2018, 214: 61-67
- [11] 王强,张宾,马路凯,等.流化冰保鲜对冰鲜南美白对虾品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(10):134-140
WANG Qiang, ZHANG Bin, MA Lu-kai, et al. Effect of slurry ice treatment on the quality of fresh *Litopenaeus vannamei* [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(10): 134-140
- [12] Cheng J-H, Sun D-W, Zeng, X-A. Non-destructive and rapid determination of TVB-N content for freshness evaluation of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) by hyperspectral imaging [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014, 21: 179-187
- [13] Mehdi Nikoo, Soottawat Benjakul, Mehran Yasemi. Hydrolysates from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processing byproduct with different pretreatments: Antioxidant activity and their effect on lipid and protein oxidation of raw fish emulsion [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 108: 120-128
- [14] Tsigarida E, Nychas G J Eco. Physiological attributes of a *Lactobacillus sp.* and a *Pseudomonas sp.* on sterile beef fillets in relation to storage temperature and film permeability [J]. Journal of Applied Microbiology. 2001, 90(5): 696-705
- [15] 蓝蔚青,胡潇予,阮东娜,等.流化冰处理对南美白对虾冰藏期间品质与水分迁移变化的影响[J].食品科学,2019,40(9): 248-255
LAN Wei-qing, HU Xiao-yu, RUAN Dong-na, et al. Effect of slurry ice on the quality and water mobility of pacific white shrimps (*Litopenaeus vannamei*) during storage [J]. Food Science, 2019, 40(9): 248-255
- [16] 张璟晶,唐劲松,王海波,等.溶菌酶、Nisin、壳聚糖复合保鲜剂对冰鲜银鲳保鲜效果的研究[J].食品工业科技,2014, 4:35-42
ZHANG Jing-jing, TANG Jin-song, WANG Hai-bo, et al. The combined use of lysozyme, nisin and chitosan for the preservation of iced pomfret [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 4: 35-42
- [17] Gómez-Estaca J, López de Lacey A, López-Caballero M.E, et al. Biodegradable gelatine-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation [J]. Food Microbiology, 2010, 27: 889-896