

文章编号: 1674-5566(2020)03-0457-10

DOI:10.12024/j.sou.20190602698

不同温度贮藏过程中海鲈鱼品质变化和货架期预测模型的建立

周倩倩¹, 谢 晶^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海冷链装备性能与节能评价专业技术服务平台, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 食品科学与工程国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

摘 要: 为了探究海鲈鱼在不同温度贮藏过程中品质变化及实时监测物流过程中的货架期, 将海鲈鱼贮藏在一3、0、4、10、15 °C 条件下, 测定持水力、低场核磁共振横向弛豫时间(low-field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)、质构、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值、挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)值与菌落总数(total viable count, TVC), 并进行感官评分和观测海鲈鱼背部肌肉微观结构, 在此基础上构建货架期预测模型。结果显示: 随贮藏温度的降低, 海鲈鱼品质下降速率越慢, 货架期越长, 但在-3 °C 下因微冻造成贮藏前期品质下降明显, 在0 °C 下贮藏的海鲈鱼更能维持其组织纤维结构、品质最佳; 在各温度下贮藏的海鲈鱼中的不易流动水随着贮藏时间的延长不断减少, 不易流动水从细胞内部逐渐迁移到细胞间、肌纤维间, 造成流动水含量的升高, 海鲈鱼鱼肉水分分布的改变与其品质劣变相对应。采用 Arrhenius 方程构建的贮藏温度、贮藏时间与 TVB-N 值和菌落总数之间的动力学模型, 可用于-3 ~ 15 °C 范围内海鲈鱼货架期的预测。

关键词: 贮藏温度; 海鲈鱼; 品质变化; 货架期预测模型

中图分类号: S 983

文献标志码: A

海鲈鱼(*Lateolabrax maculatus*)肉质细腻、味道鲜美, 富含高蛋白(21%)、低脂肪(1%~2%)、硒(8×10^{-6})、维生素 D (2.3×10^{-6})、二十碳五味子(0.44%)和二十二碳六烯酸(0.58%)等人体必需的营养物质^[1]。随着我国海水养殖业的快速发展, 海鲈鱼的养殖产量不断增加, 因而海鲈鱼的保鲜和货架期预测模型的研究逐渐成为产业需求。由于微生物生长, 海鲈鱼的蛋白很容易降解并腐败变质, 为了改善鱼品质量管理, 有必要实时评估鱼类腐败特性。TVB-N 和菌落总数是具有国家限制标准的新鲜度指标, TVB-N 值的上升也是由于微生物代谢产物的作用产生的三甲胺、氨等导致的, 菌落总数可直接反映鱼肉中微生物含量^[2]。QIU 等^[3]用柠檬酸或甘草提取物结合壳聚糖涂膜保鲜 4 °C 下贮藏的海鲈鱼时, 发现涂层可有效抑制微生物生长, 并延长

了货架期; GARCÍA 等^[2]设计了一种检测冰藏鳕鱼新鲜度的商业传感器, 使用 Arrhenius 方程建立了嗜冷菌数和总挥发性碱基氮的货架期模型, 使检测更迅速。国内外对海鲈鱼的保鲜研究较多, 但对其货架期预测模型的研究较少, 而物流和贮藏后的海鲈鱼品质直接影响市场价格、物流半径和营养价值^[4], 因此, 使用具有国家限制标准的新鲜度指标建立货架期预测模型对海鲈鱼冷链物流过程中品质的监测具有重要意义。

为此, 本文研究在-3、0、4、10、15 °C 不同贮藏温度下海鲈鱼的品质变化, 包括利用低场核磁共振技术(LF-NMR)分析海鲈鱼鱼肉中水分迁移, 通过光学显微镜观测海鲈鱼贮藏过程中肌肉微观结构的变化, 并建立以菌落总数、挥发性盐基总氮(TVB-N)为指标的货架期预测模型, 为海鲈鱼冷链物流过程中品质的实时监测和快速检

收稿日期: 2019-06-10 修回日期: 2019-07-20

基金项目: 农业部海水鱼产业体系(CARS-47); 2019 年上海市科技兴农重点攻关项目(2019-02-08-00-10-F01143); 上海市科委平台能力建设项目(19DZ2284000); 上海市科委公共服务平台建设项目(17DZ2293400)

作者简介: 周倩倩(1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为海产品保鲜。E-mail: zhouqianqian917@163.com

通信作者: 谢 晶, E-mail: jxie@shou.edu.cn

测新技术的开发提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及预处理

鲜活养殖海鲈鱼(长约40 cm、体质量约750 g)购于上海市浦东新区芦潮港水产批发市场。

三氯乙酸、硫代巴比妥酸、伊红染液、苏木精染液、福尔马林溶液、二甲苯、石蜡,购自生工生物工程(上海)股份有限公司;平板计数琼脂,购自于海博生物有限公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:BPS-100CB 恒温恒湿箱,上海一恒科学仪器有限公司;H-2050R 型台式高速低温离心机,湘仪离心机仪器有限公司;MesoMR23-060H. I 低场核磁共振成像分析仪,上海纽迈科技有限公司;Kjeltec8400 凯氏定氮仪,瑞典 FOSS 公司;WFZ UV-2100 型紫外可见分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司;LDZM-40KCS-III 立式压力蒸汽灭菌锅,上海申安医疗机

械厂;Nikon-E200 光学显微镜,日本 Nikon 公司;TA. XT Plus 质构仪;英国 Stable Micro System 公司;RM2235 冷冻切片机,德国 Leica 公司。

1.3 方法

1.3.1 海鲈鱼预处理

将海鲈鱼去除内脏并用灭菌后的去离子水冲洗干净,沥干后装入包装中,平均分成5组,分别置于-3、0、4、10、15℃条件下贮藏。由于海鲈鱼的品质变化随着温度升高而加快,因此,15℃下于24、48、60、72 h 取样,10℃下每天取样1次,4℃下每两天取样1次,0℃下每3天取样1次,-3℃下每4天取样1次,切取鱼腹部肌肉,进行TBA值的测定,切取背部肌肉混合取样进行其余指标的测定。

1.3.2 感官评定

评定小组由12个经培训过的评定人员组成,参考CAI等^[5]的方法,按表1分别对海鲈鱼鱼肉的气味、色泽、粘液和肌肉组织进行综合评分。

表1 海鲈鱼鱼肉感官评分标准

Tab. 1 Sensory evaluation standards of sea bass meat

分值 Score	气味 Smell	色泽 Color	黏液 Mucus	肌肉组织 Muscular tissue
9~10	新鲜鱼肉固有气味浓郁	有光泽	黏液稀薄而透亮	组织紧密有弹性
6~8	新鲜鱼肉固有气味变弱	光泽稍暗	黏液增多并稍显浑浊	组织较紧密,有弹性,肌纤维清晰
3~5	有轻微鱼肉腥臭味	光泽较暗	黏液浓稠并浑浊	肉质比较柔软,弹性较差,肌纤维较清晰
0~2	鱼肉腥臭味较重	无光泽	黏液稀薄但严重浑浊	肉质非常柔软,无弹性,肌纤维不清晰

1.3.3 持水力的测定

用分析天平称取海鲈鱼背部肌肉3 g(非碎肉)用滤纸包裹置于离心管中3 000 r/min 离心10 min,沥干水分后称重,重复3次,取平均值。参考谭明堂等^[6]的方法。

$$W_{HC} = [1 - (m_1 - m_2) / m_1] \times 100 \quad (1)$$

式中: W_{HC} 为持水力,%; m_1 为取样后质量,g; m_2 为沥干水的质量,g。

1.3.4 低场核磁共振分析与核磁共振成像

取贮藏货架期初期、中期、后期的海鲈鱼块状背部肌肉,将其放入核磁共振仪中,具体操作参考WANG等^[7]的方法。

1.3.5 质构分析

切取20 mm × 15 mm × 10 mm 的海鲈鱼鱼块,使用质构仪并参考谭明堂等^[6]分析不同温度贮藏过程中质构变化。

1.3.6 背部微观组织

取贮藏初期、中期、后期的背部肌肉切成大小为5 mm³,参照余文晖等^[8]方法制得组织切片,置于光学显微镜下观察并抓拍图像。

1.3.7 TVB-N值的测定(TVB-N)

参考YU等^[9]的方法,准确称取剁碎的5 g海鲈鱼背部肌肉使用全自动凯氏定氮仪测定海鲈鱼TVB-N值。

1.3.8 TBA值(TBA)

参考YU等^[10]的方法,称取5 g海鲈鱼腹部鱼肉进行测定。TBA值表示如下:

$$T_{BA} = 0.78A \quad (2)$$

式中:A为532 nm处的吸光度值; T_{BA} 值的单位为mg/kg。

1.3.9 菌落总数测定(TVC)

参考GB 4789.2—2016的方法操作。

1.4 统计方法

所有实验重复 3 次,利用 SPSS 22.0 和 Origin 9.0 软件进行统计学分析和绘制曲线。

1.5 货架期模型的建立与验证

将海鲈鱼贮藏于 -3 、 0 、 4 、 10 和 15 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温恒湿箱中,TVB-N 和菌落总数具有国家限定标准,因此通常用其来判定货架期终点和建立货架期模型。采用 -3 、 0 、 10 、 15 $^{\circ}\text{C}$ 下品质指标的实验数据用 Arrhenius 模型建立货架期模型,此外,用 4 $^{\circ}\text{C}$ 下海鲈鱼的实验数据来验证模型的准确性^[11]。

其中,参考雷志方等^[12]的建模方法,得到不同指标货架期预测模型:

$$t_{\text{SL}} = \frac{\ln(M - M_0)}{A_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (3)$$

式中: t_{SL} 为货架期; M 为贮藏后品质因子值; M_0 为初始品质因子值; E_a 为活化能, J/mol ; T 为温度, K ; R 为常数, $8.3144 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$; A_0 为指前因子。

2 结果与分析

2.1 品质指标的变化

2.1.1 不同温度贮藏下海鲈鱼的感官变化

贮藏前新鲜海鲈鱼鱼肉的固有生鱼气浓郁,鱼肉有光泽、组织紧密,并且在手指按压后恢复原状。由图 1 可知,海鲈鱼在不同温度的贮藏期间,感官评分均不断下降,且温度的升高促进了海鲈鱼感官特征的劣变。这主要是因为微生物生长分解蛋白质、脂质及其降解产物,产生氨及胺类物质等。其中, 15 、 10 、 4 、 0 $^{\circ}\text{C}$ 分别在 3、6、12、15 d 产生不可接受的浑浊粘液; -3 $^{\circ}\text{C}$ 和 0 $^{\circ}\text{C}$ 在前 9 d 变化相近,之后, -3 $^{\circ}\text{C}$ 的下降速率较 0 $^{\circ}\text{C}$ 慢,且在 20 d 之前均在感官可接受范围内。因此,温度越低,越易保持海鲈鱼的感官品质,货架期更长。

2.1.2 持水力

持水力可以反映自由水的含量和肌间蛋白截留不易流动水、阻滞水分流失的能力^[13]。从图 2 可知,海鲈鱼鱼肉的水分在不同温度贮藏的过程中均不断损失,这与细胞中蛋白质分解、微生物生长繁殖造成的汁液流失等有关。温度越高,鱼肉腐败变质越快,造成持水力下降越快。

-3 $^{\circ}\text{C}$ 的处理组在贮藏初期变化显著 ($P < 0.01$) 直接降至 91.31%,且在贮藏末期降至 81.38%,这是因为鱼肉在微冻温度下结成的冰晶破坏了细胞^[14],造成了水分流失。 0 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏在持水性方面最好。

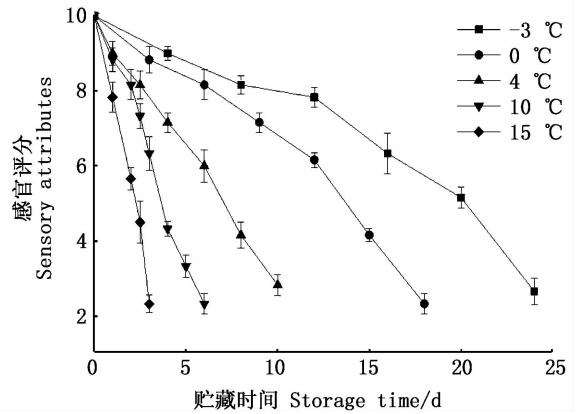


图 1 海鲈鱼在不同温度下感官评分变化
Fig. 1 Changes of sensory scores in sea bass at different temperatures

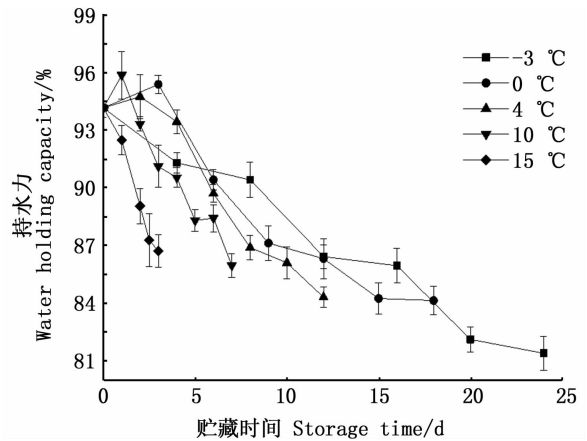


图 2 海鲈鱼在不同温度下持水力的变化
Fig. 2 Changes of water holding capacity in sea bass at different temperatures

2.1.3 质构

由图 3 可知,海鲈鱼在贮藏的过程中其硬度、弹性、咀嚼性方面均呈下降趋势,这是因为微生物生长繁殖引起蛋白自溶,使鱼肉变软、咀嚼性降低并丧失弹性^[15]。然而 -3 $^{\circ}\text{C}$ 处理组鱼肉的硬度、咀嚼性从贮藏开始呈先急剧下降后趋于平稳,最后缓慢下降的趋势。这是因为 -3 $^{\circ}\text{C}$ 低于海鲈鱼的冻结点导致细胞、组织内的水分形成冰晶,破坏了细胞骨架结构^[16],使鱼肉在解冻后

的硬度和咀嚼性的数值降至很低。这与胡玥^[17]研究的-3、4℃下贮藏带鱼的质构指标所得结论相符。

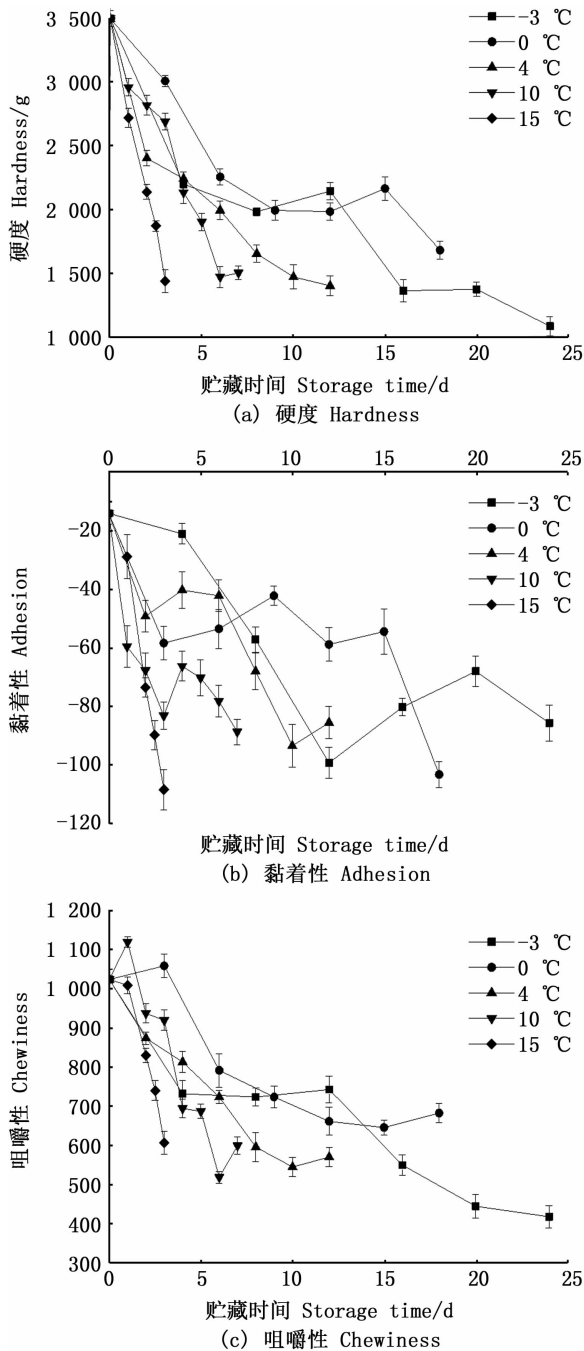


图3 海鲈鱼中在不同温度下硬度、黏着性和咀嚼性的变化

Fig. 3 Changes of hardness, adhesion and chewiness in sea bass at different temperatures

2.1.4 背部肌肉微观结构

从图4中可以看出新鲜海鲈鱼背部肌肉条

状纤维排列紧密,结构完整,并稍带黏性,纤维间隙均匀。贮藏中期,细胞间隙增大,这可能是由于肌原纤维在贮藏的过程中部分断裂,细胞骨架蛋白中结缔组织的降解使肌原纤维疏松产生较大间隙,贮藏末期,肌纤维明显断裂,组织结构变得模糊。这可能是由于蛋白的降解和水分的流失造成细胞干瘪破损、纤维裂解成细丝。处理组-3℃与0℃的贮藏中(-3℃12d与0℃9d)相比,肌肉组织间明显出现或大或小的间隙,且间隙间无细小纤维的粘连,这可能是由于海鲈鱼处于微冻温度,由于细胞、纤维间细小冰晶形成留下的空隙,使纤维压缩、变形和部分碎裂,这与胡玥^[17]关于微冻对带鱼品质和组织影响的研究相符。因此,在短期贮藏时间内,0℃下冷藏海鲈鱼更能维持其组织纤维结构。

2.1.5 核磁共振弛豫时间和核磁共振成像

低场核磁共振中氢质子和样品水质子之间存在着有规律的反应信号,该反应信号与蛋白质、脂质等其他细胞组成成分之间的化学反应密切相关^[8]。因此,通过核磁共振所检测的 T_2 横向弛豫时间可以准确反映鱼肉的品质变化。用Origin对横向弛豫 T_2 分布进行了多指数拟合,得到不同温度贮藏海鲈鱼的横向弛豫图谱^[18],如图5所示,最短的弛豫时间 T_{21} 为0.79~2.3ms,代表结合水;位于最中间的弛豫时间 T_{22} 为21.54~100.75ms,代表不易流动水,位于密集的肌原纤维之间; T_{23} 峰最小,弛豫时间为1162~6579ms,代表自由水,位于肌原纤维间隙; P_{22} 、 P_{23} 分别代表不易流动水和自由水含量。不同温度贮藏下的海鲈鱼在 T_{21} 时间上差异不显著($P > 0.05$)。 T_{22} 幅度随着贮藏时间的延长均呈下降趋势,表明不易流动水在贮藏的过程中逐渐流失,动态表明贮藏过程鱼肉中不易流动水向自由水的转化。从表2中可知 P_{22} 值在逐渐减少, P_{23} 值逐渐增加,因为在贮藏过程中,由于鱼肉中大分子之间氢键自由能的变化,使不易流动水从细胞内部逐渐迁移到细胞间、肌纤维间,造成流动水含量的升高,其中-3℃贮藏末期的 P_{22} 值最小,可能是因为微冻形成的冰晶造成肌原纤维断裂,使其中的不易流动水更易流出。

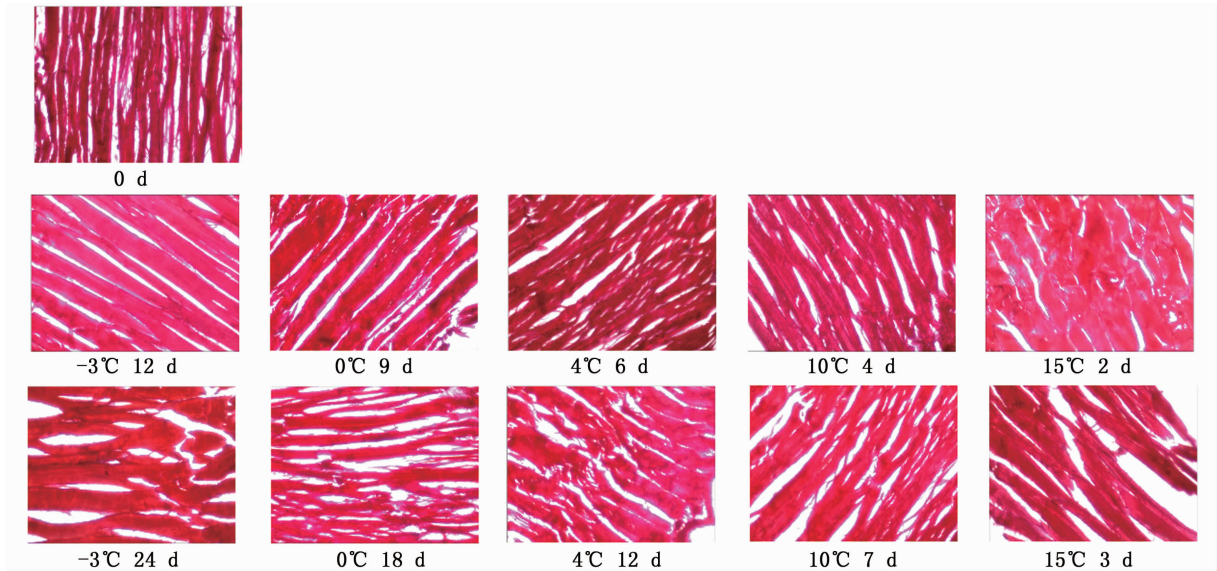


图4 海鲈鱼在不同温度下初期、中期、末期背部组织结构的变化(×100)

Fig. 4 Changes of back tissue structure in sea bass at different temperatures at the early, middle and late stages(×100)

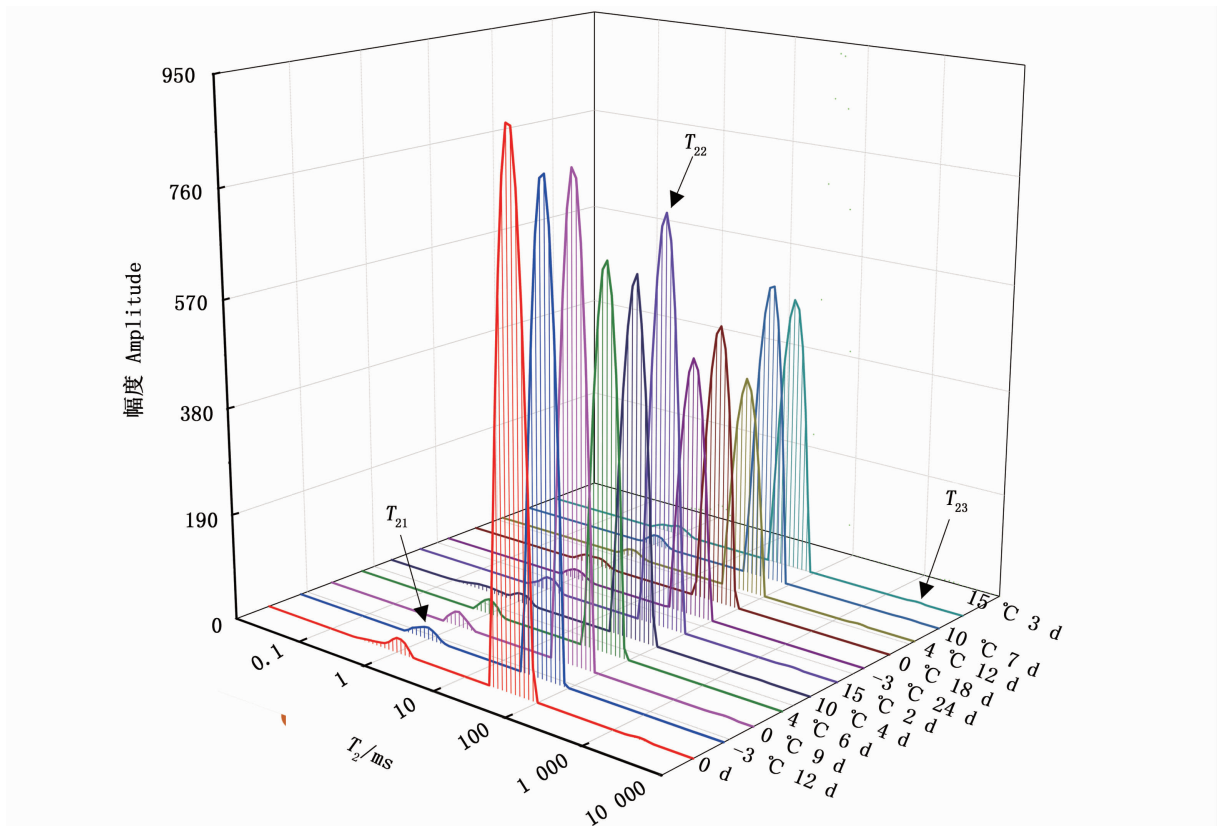


图5 海鲈鱼在不同温度贮藏下的横向弛豫图谱

Fig. 5 T_2 relaxation spectra of sea bass stored at different temperatures

表 2 海鲈鱼在不同温度下 P_{22} 、 P_{23} 的变化
 Tab.2 Changes of P_{22} and P_{23} of sea bass at different temperatures

		-3 °C		0 °C		4 °C		10 °C		15 °C	
		P_{22}	P_{23}	P_{22}	P_{23}	P_{22}	P_{23}	P_{22}	P_{23}	P_{22}	P_{23}
初期	Early stage	3 949.52	2.40	3 949.52	2.40	3 949.52	2.40	3 949.52	2.40	3 949.52	2.40
中期	Middle stage	3 726.17	8.47	3 645.88	2.10	3 391.12	4.80	3 311.85	5.03	3 400.69	3.42
末期	Late stage	2 865.56	17.22	3 206.23	5.50	2 446.85	5.37	3 460.42	5.83	3 131.49	7.15

核磁共振成像(MRI)具有很高的成像精度,可以观察到鱼肉内部形态组织和水分子分布状况,伪彩色图像中红色代表高质子密度,蓝色代表低质子密度,鱼肉中各个区域中的信号强度与水分子含量成正比,即图像中较暗的区域可能意味着水质子较少。从海鲈鱼的 MRI(图 6)可以看出,不同温度贮藏的初期、中期、末期海鲈鱼鱼肉

颜色和亮度分别为亮黄色、黄蓝色、深蓝色,表明鱼肉中不易流动水的含量在贮藏过程中逐渐下降。其中,亮度的降低可能是因为肌肉蛋白质的降解和显微结构的破坏。该结果与 LF-NMR 的横向弛豫变化相一致。海鲈鱼鱼肉的水分分布的可直接反映鱼肉贮藏过程中品质的劣变,这与 LI 等^[18]研究一致。

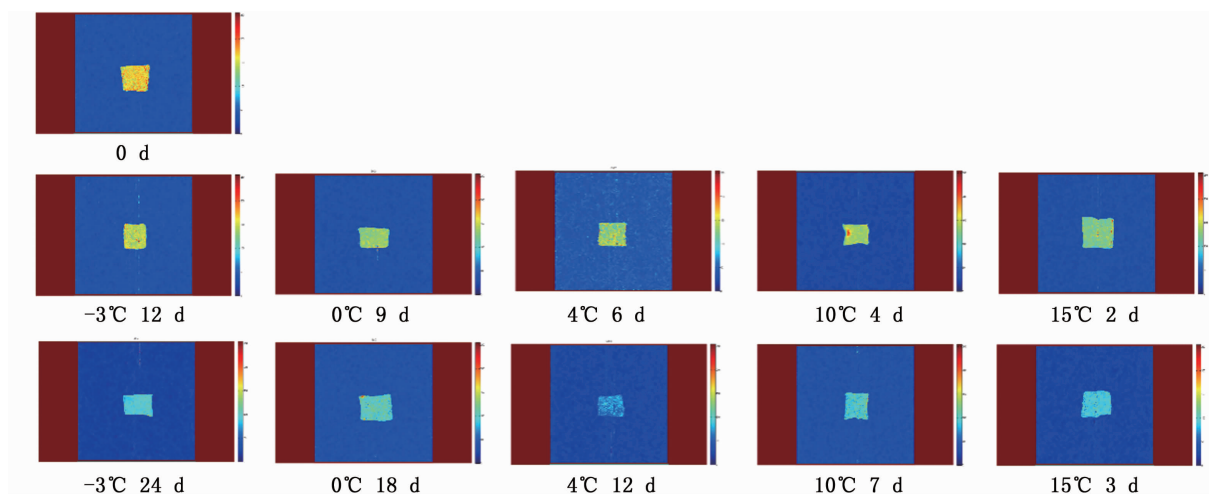


图 6 海鲈鱼在不同温度下核磁共振成像的变化

Fig.6 Changes of nuclear Magnetic Resonance Imaging (MRI) of sea bass at different temperatures

2.1.6 TBA

硫代巴比妥酸是用于评估脂质氧化程度的一个指标,主要是检测鱼肉中多不饱和脂肪酸降解产生的丙二醛含量 (Malondialdehyde, MDA)^[19-20]。由图 7 可知,海鲈鱼腹部鱼肉的 TBA 值在贮藏前 6 d 缓慢增加但差异不显著,一周后,TBA 值迅速增加,这是因为初期脂肪氧化较慢,当微生物迅速繁殖后加速了氧化。在贮藏末期,TBA 值稍有降低,可能是因为 MDA 与蛋白质、氨基酸、糖原等之间发生了相互作用,从而导致 TBA 值的降低。4、0、-3 °C 贮藏的海鲈鱼腹部肌肉的 TBA 值分别在 11 d、12 d、12 d 超出 0.1 mg/100 g,0.1~0.2 mg/100 g 通常被视为鱼类会产生令人讨厌的气味味道的极限^[21]。因此,在其

贮藏时间内,0、4 °C 变化相近,脂质氧化最慢。

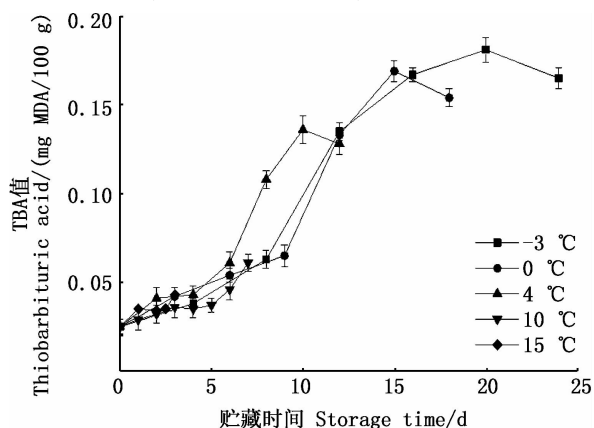


图 7 海鲈鱼在不同温度下 TBA 值的变化
 Fig.7 Variation of TBA value in sea bass at different temperatures

2.1.7 菌落总数

在健康活鱼中,微生物存在于外表面(皮肤和黏液)和一些内表面如鳃和肠道中,其中 $6 \log \text{CFU/g}$ 被认为是食品可接受的临界值^[22]。由图 8 可知,新鲜鱼肉的菌落总数为 $3.50 \log \text{CFU/g}$,在不同温度贮藏下的海鲈鱼菌落总数随着时间增长至最高点,随后增长速率逐渐减小,符合菌落生长曲线。随着温度的降低,微生物的生长速率得到了明显的延缓($P < 0.01$),这是因为温度的降低抑制了其繁殖所需的酶活。 $-3 \text{ }^\circ\text{C}$ 处理组的菌落总数在前期先下降,可能是因为部分嗜温菌在 $-3 \text{ }^\circ\text{C}$ 不宜生长甚至死亡,导致其数量的减少,且在第 20 天达到 $6.25 \log \text{CFU/g}$,其货架期明显比 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 延长了 9 d 左右。微冻比冷藏可以更有效延长货架期^[4]。

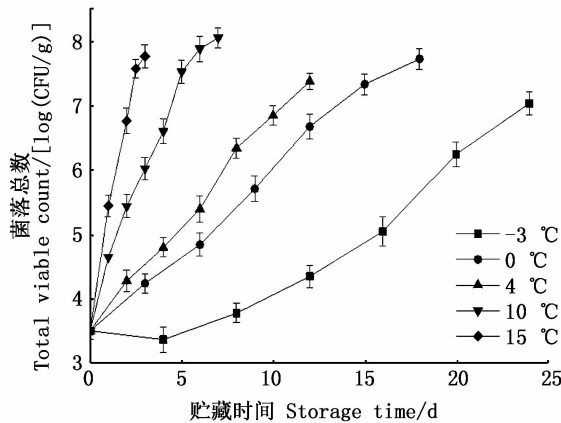


图 8 海鲈鱼在不同温度下菌落总数的变化

Fig. 8 Changes of the total number of colonies in sea bass at different temperatures

2.1.8 TVB-N 值

TVB-N 值通常被认为是评价水产品品质和货架期的重要指标。图 9 显示了海鲈鱼中不同温度贮藏下的 TVB-N 值的变化:新鲜海鲈鱼的 TVB-N 值为 7.68 mg/100 g ,其在贮藏过程中不断增加,这是因为蛋白质等营养物质的降解和微生物繁殖导致了含氮化合物的增加^[23];随着温度的降低,TVB-N 增长速度减慢,这是因为低温会降低非蛋白的含氮化合物的脱氢和脱羧能力,减少海鲈鱼在贮藏过程中蛋白质结构的破坏;在 -3 、 0 、 4 、 10 、 $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 下贮藏的海鲈鱼的 TVB-N 值分别在 3、7、12、18、24 d 超过 30 mg/100 g 。因此,温度越低,海鲈鱼的货架期越长。

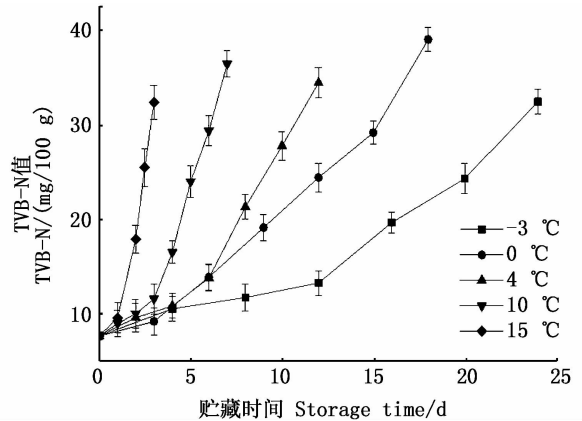


图 9 海鲈鱼在不同温度下 TVB-N 值的变化

Fig. 9 Variation of TVB-N value in sea bass at different temperatures

2.1.9 货架期模型的建立

动力学模型参数表示于表 3 中。 R^2 越大,拟合度越精确,计算得知 TVB-N 和菌落总数变化的活化能(E_a)分别为 80495.31 、 81797.22 kJ/mol ,指前因子分别为 2.108×10^{14} 、 1.555×10^{14} ,由公式(3)可知:

TVB-N 货架期预测模型:

$$t_N = \frac{\ln(M_N - M_{N0})}{2.108 \times 10^{14} \exp(-\frac{80495.31}{RT})} \quad (4)$$

菌落总数货架期预测模型:

$$t_C = \frac{\ln(M_C - M_{C0})}{1.555 \times 10^{14} \exp(-\frac{81797.22}{RT})} \quad (5)$$

式中: t_N 、 t_C 分别为海鲈鱼 TVB-N、菌落总数模型的剩余货架期; M_N 、 M_{N0} 为贮藏 t d、0 d 的 TVB-N 值; M_C 、 M_{C0} 分别为贮藏 t d、0 d 的菌落总数。

为了评估动力学模型的准确性,在 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下进行 TVB-N 和菌落总数货架期实验数据的验证(表 4),发现预测值和测量值之间的相对误差分别小于 10% 和 15%。由此可知,选用 TVB-N 货架期预测模型可以更精确地实时监测冷链过程海鲈鱼的品质和新鲜度。

3 讨论

由于 $-3 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度低,因此能极好地保持感官品质、减缓菌落总数和 TVB-N 的上升,胡玥^[17]分别在 4 、 -3 、 $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ 贮藏带鱼,也发现长期贮藏时,温度越低越能保持鱼肉的良好品质。但在贮藏前期水分流失较快、持水力降低、硬度降低、

黏着性增大、咀嚼性下降,这是因为 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低于海鲈鱼冻结点,肌间间隙形成的或大或小的冰晶,破坏了部分细胞和肌肉纤维,与苏辉等^[24]的研究的鲷鱼的研究相似,其背部肌肉微观结构也验证

了此观点。因此,若是短期贮藏或生食等需要新鲜度较高的海鲈鱼,推荐以 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏为最佳,需要长期贮藏或远程运输的则以 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为最优选择。

表 3 海鲈鱼在不同贮藏温度条件下品质变化的动力学模型参数

Tab. 3 Parameters of dynamic model for quality change of sea bass at different storage temperatures

指标 Indicators	温度 Temperature/K	初始值(M_0) Initial value	速率常数(k) Rate constant	回归系数(R^2) Regression coefficient
挥发性盐基氮 TVB-N	270	7.68	0.062 21	0.984 22
	273	7.68	0.086 92	0.990 35
	283	7.68	0.250 40	0.984 97
	288	7.68	0.554 67	0.984 82
菌落总数 TVC	270	3.505	0.034 92	0.956 84
	273	3.505	0.042 18	0.965 37
	283	3.505	0.100 79	0.917 63
	288	3.505	0.236 85	0.920 00

表 4 海鲈鱼在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下货架期的预测值和实测值

Tab. 4 Prediction and measurement of shelf life of sea bass during storage at $4\text{ }^{\circ}\text{C}$

品质指标 Quality index	贮藏温度 Storage temperature/K	预测值 Prediction value/d	实测值 Measured value/d	相对误差 Relative error/%
挥发性盐基氮 TVB-N	277	9.19	10	8.1
菌落总数 TVC	277	11.45	10	14.5

不同的鲜度指标有不同的建模方法。李娜等^[25]研究了半滑舌鳎在 270、273、277 和 283 K 贮藏下的品质特性,并使用一级动力学模型结合 Arrhenius 方程建立的 TVB-N 值、菌落总数、电导率、K 值货架期预测模型具有很好的准确度;LIU 等^[26]在 282、279、276、273 和 270 K 下贮藏虹鳟鱼片,同时建立了 Arrhenius 模型和人工神经网络(ANN)来预测虹鳟鱼片在贮藏过程中的变化,对比发现,基于电导率和菌落总数的 Arrhenius 模型,其预测值和实验值之间的相对误差在 10% 以内,而基于感官评估和 K 值,ANN 模型在比 Arrhenius 模型具有较好的准确度。GARCÍA 等^[2]设计了一种使用于冰储存条件下鳕鱼新鲜度的商业传感器,其原理是使用 Arrhenius 建立嗜冷菌数和总挥发性碱基氮的货架期模型,其预测值和实验值之间的相对误差均在 10% 以内。本研究所建立的以 TVB-N 值和 TVC 项指标的货架期模型相对误差小,可以为冷链物流中实时监测剩余货架期提供参考,为水产品各种鲜度指标货架期模型的建立提供借鉴意义。

4 结论

本文研究了海鲈鱼在微冻、冷藏、低温和不同常温($0、4、10、15\text{ }^{\circ}\text{C}$)温度下的品质变化,结果表明,各个指标随着时间的变化趋势显示出一致性,且随着温度的降低海鲈鱼的品质下降速率逐渐减小, $-3、0、4、10、15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏的海鲈鱼货架期分别为 24、16、12、7、3 d。本研究所建立的以 TVB-N 值和 TVC 项指标的货架期模型经验证对应货架期的相对误差小,可以为冷链物流中实时监测海鲈鱼新鲜度提供参考,为快速检测海鲈鱼品质的新技术提供了理论依据。

参考文献:

- [1] MARTÍNEZ O, SALMERÓN J, EPELDE L, et al. Quality enhancement of smoked sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets by adding resveratrol and coating with chitosan and alginate edible films[J]. Food Control, 2018, 85: 168-176.
- [2] GARCÍA M R, CABO M L, HERRERA J R, et al. Smart sensor to predict retail fresh fish quality under ice storage [J]. Journal of Food Engineering, 2017, 197: 87-97.
- [3] QIU X J, CHEN S J, LIU G M, et al. Quality enhancement in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored

- at 4 °C by chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract[J]. Food Chemistry, 2014, 162: 156-160.
- [4] HE Q, GONG B, HE J P, et al. A novel Superchilling Storage-Ice Glazing (SS-IG) approach using anti-oxidative and antimicrobial essential oil (EO) for freshness-keeping of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 2019, 500: 243-249.
- [5] CAI L Y, CAO A L, BAI F L, et al. Effect of ϵ -polylysine in combination with alginate coating treatment on physicochemical and microbial characteristics of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicas*) during refrigerated storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(2): 1053-1059.
- [6] 谭明堂, 谢晶, 王金锋. 解冻方式对鲑鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 94-101.
TAN M T, XIE J, WANG J F. Effects of different thawing methods on quality of squid [J]. Food Science, 2019, 40(13): 94-101.
- [7] WANG S, XIANG W, FAN H Z, et al. Study on the mobility of water and its correlation with the spoilage process of salmon (*Salmo solar*) stored at 0 and 4 °C by low-field nuclear magnetic resonance (LF NMR ^1H) [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(1): 173-182.
- [8] 余文晖, 王金锋, 谢晶. 不同解冻方式对金枪鱼品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(12): 189-197.
YU W H, WANG J F, XIE J. Effects of different thawing methods on tuna quality [J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(12): 189-197.
- [9] YU D W, REGENSTEIN J M, ZANG J H, et al. Inhibition of microbial spoilage of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets with a chitosan-based coating during refrigerated storage [J]. International Journal of Food Microbiology, 2018, 285: 61-68.
- [10] YU D W, JIANG Q X, XU Y S, et al. The shelf life extension of refrigerated grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets by chitosan coating combined with glycerol monolaurate[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 101: 448-454.
- [11] 鞠健. 茶多酚对鲈鱼贮藏品质的影响及货架期预测模型的建立[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2017.
JU J. Effects of tea polyphenols on the quality of weever and the establish of shelf life prediction model [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2017.
- [12] 雷志方, 谢晶. 金枪鱼基于理化指标的货架期预测模型的建立[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11): 185-191.
LEI Z F, XIE J. Prediction model for the shelf-life of tuna based on physical and chemical indexes [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(11): 185-191.
- [13] TEIXEIRA B, MARQUES A, MENDES R, et al. Effects of high-pressure processing on the quality of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets during refrigerated storage[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(5): 1333-1343.
- [14] 李苑, 王丽平, 李钰金, 等. 水产品冻结贮藏中冰晶的形成及控制研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 277-282.
LI Y, WANG L P, LI Y J, et al. A review of the formation and control of ice crystals in aquatic products during freezing storage[J]. Food Science, 2016, 37(19): 277-282.
- [15] 张强, 胡维岗, 金新文. 不同贮藏温度对河鲈新鲜度与质构性能的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(10): 182-185.
ZHANG Q, HU W G, JIN X W. Effects of different storage temperatures on freshness and textural of *Perca fluviatilis* Linnaeus[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(10): 182-185.
- [16] 阙婷婷, 郑家闻, 陈士国, 等. 微冻保鲜与冻藏保鲜对乌鳢品质的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(6): 136-147.
QUE T T, ZHENG J W, CHEN S G, et al. Effect of superchilling and frozen on the meat quality of snakehead [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(6): 136-147.
- [17] 胡玥. 带鱼微冻保鲜技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
HU Y. Studies on the superchilling technology of hairtail (*Trichiurus haumela*) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [18] LI N, SHEN Y, LIU W R, et al. Low-field NMR and MRI to Analyze the Effect of edible coating incorporated with MAP on qualities of half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis* Günther) fillets during refrigerated storage [J]. Applied Sciences, 2018, 8(8): 1391.
- [19] SUN X Y, GUO X B, JI M Y, et al. Preservative effects of fish gelatin coating enriched with CUR/ β CD emulsion on grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during storage at 4 °C [J]. Food Chemistry, 2019, 272: 643-652.
- [20] WU T T, WU C H, FANG Z X, et al. Effect of chitosan microcapsules loaded with nisin on the preservation of small yellow croaker[J]. Food Control, 2017, 79: 317-324.
- [21] GOULAS A E, KONTOMINAS M G. Effect of modified atmosphere packaging and vacuum packaging on the shelf-life of refrigerated chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes [J]. European Food Research and Technology, 2007, 224(5): 545-553.
- [22] 徐永霞, 刘滢, 张朝敏, 等. 超高压处理对冷藏鲈鱼品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(1): 85-89.
XU Y X, LIU Y, ZHANG C M, et al. Effects of high pressure processing on the quality of sea bass during refrigerated storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(1): 85-89.
- [23] ALPARSLAN Y, YAPICI H H, METIN C, et al. Quality assessment of shrimps preserved with orange leaf essential oil incorporated gelatin [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72: 457-466.

- [24] 苏辉, 谢晶, 黎柳, 等. 不同温度下鲷鱼品质及微观组织的变化研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(8): 106-111.
SU H, XIE J, LI L, et al. Effect of different storage temperatures on the quality and ultrastructure of *Pampus argenteus* [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(8): 106-111.
- [25] 李娜, 谢晶. 贮藏温度对半滑舌鳎品质特性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 116-122.
- LI N, XIE J. Effects of different storage temperature on quality and fresh-keeping of *Cynoglossus semilaevis* Gunther [J]. Food & Machinery, 2018, 34(3): 116-122.
- [26] LIU X C, JIANG Y, SHEN S, et al. Comparison of Arrhenius model and artificial neuronal network for the quality prediction of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during storage at different temperatures [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 142-147.

Changes of quality characteristics and establishment of shelf-life prediction model for sea bass during storage at different temperatures

ZHOU Qianqian¹, XIE Jing^{1,2,3,4}

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation, Shanghai 201306, China; 4. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to explore the variation of sea bass quality characteristics and to monitor their shelf life in the logistics process timely during storage at different temperatures, sea bass was stored at -3 , 0 , 4 , 10 and 15 °C, respectively. Sensory evaluation, water holding capacity, low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR), texture, microanalysis of back muscle structure, thiobarbituric acid (TBA) value, volatile base nitrogen (TVB-N) value and total colony count (TVC) were examined to verify the relationship between the shelf life and storage temperature. The results showed that the lower the storage temperature, the slower the rate of quality degradation and the longer the shelf life. The sea bass stored at 0 °C could maintain the best quality and structure of tissue fiber, and the flowing water of sea bass stored at various temperatures decreased continuously with the prolongation of storage time. The non-flowing water was gradually transferred from the inside of cells to the clearance between cells and muscle fibers, resulting in an increase of the content of flowing water. The change of water distribution of sea bass meat corresponded to its quality deterioration. The predictive models of TVB-N value and TVC with respect to temperature and storage time were developed based on Arrhenius equation. The model could be used to predict the shelf life of sea bass between -3 and 15 °C.

Key words: storage temperature; sea bass; quality change; shelf life prediction model