

食品包装

动力学模型预测三文鱼在不同温度的货架期

吴行印^{a,b}, 谢晶^{a,b}, 张新林^{a,b}, 王旭^{a,b}

(上海海洋大学 a.上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心; b.食品学院, 上海 201306)

摘要: **目的** 设计5组不同温度的贮藏实验,探究三文鱼在不同贮藏温度下品质与货架期间的关系。**方法** 分析三文鱼感官品质、色差(L 值、 a 值)、pH值、菌落总数(TVC)、 K 值、挥发性盐基氮(TVB-N)以及硫代巴比妥酸值(TBA)等指标在贮藏期间的变化,建立菌落总数、 K 值、TVB-N、TBA品质指标对应关于时间和温度的一级动力学模型。**结果** 得到的货架期模型活化能和指前因子分别为77.22, 57.39, 62.07, 56.41 kJ/mol; 2.72×10^{13} , 1.06×10^{10} , 6.63×10^{10} , 1.09×10^{10} 。选用10℃指标作为验证性实验,预测值和实际值的相对误差均在5%以内。**结论** 表明该实验得出的货架期方程能够较为准确地预测贮藏温度为0~20℃的三文鱼货架期。

关键词: 三文鱼; 货架期; 预测模型; 拟合系数

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)03-0001-06

Dynamic Model to Predict the Shelf Life of Salmon at Different Temperatures

WU Xing-yin^{a,b}, XIE Jing^{a,b}, ZHANG Xin-lin^{a,b}, WANG Xu^{a,b}

(Shanghai Ocean University a. Shanghai Aquatic and Storage Engineering Technology Research;

b. College of Food Science and Technology, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the relationship between salmon quality and shelf life at different temperatures by designing five groups of experiments at different storage temperatures. The changes of such indicators as salmon organoleptic quality, color difference (L and a value), pH value, total viable count (TVC), K value, total-volatile basic nitrogen (TVB-N) and thiobarbituric acid (TBA) were analyzed. The first-order dynamic model based on time and temperature corresponding to the quality indicators(TVC, K value, TVB-N and TBA) was established. The resultant shelf-life model activation energy and pre-exponential factor were respectively 77.22, 57.39, 62.07, 56.41 kJ/mol and 2.72×10^{13} , 1.06×10^{10} , 6.63×10^{10} , 1.09×10^{10} . 10℃ was selected for verification experiment. The relative errors between the predicted value and the actual value were within 5%. The conclusion shows that the shelf-life equation obtained by the experiment can predict the shelf life of salmon stored at 0~20℃ in a more accurate way.

KEY WORDS: salmon; shelf life; prediction model; fitting coefficient

三文鱼属于溯河洄游性鱼类,广泛分布在太平洋北部等高纬度地区。新鲜的三文鱼色泽鲜艳、口味鲜美,营养价值很高,被誉为“鱼中至尊”。高蛋白高脂肪的特点导致三文鱼在贮运过程中极易发生腐败变

质,货架期较短。货架期指在一定条件下贮藏的食品,仍能保证较好的理化、微生物特性,感官可接受并且能够安全食用的一段时间^[1],因此,能够实时监测三文鱼腐败变质情况成为水产品物流业的迫切需求。

收稿日期: 2016-09-21

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划(2016YFD0400106); 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字(2016)第 1-1 号); 上海市科委平台能力提升项目(16DZ2280300)

作者简介: 吴行印(1991—),男,上海海洋大学硕士生,主攻电子货架期。

通讯作者: 谢晶(1968—),女,博士,上海海洋大学教授、博导,主要研究方向为水产品保鲜。

目前,动力学模型被广泛地应用于食品货架期模型的研究中。唐晓阳^[2]研究出的货架期模型适用于4~15℃有氧贮藏冷却猪肉。傅泽田等^[3]研究出符合鲜食葡萄品质变化的一级动力学模型,对鲜食葡萄的品质变化监测效果较好。佟懿等^[4]通过对不同温度下带鱼品质变化的研究,获得了不同贮藏温度条件下关于带鱼的一级反应动力学模型预测带鱼货架期。雷志方^[4]建立了基于理化指标的金枪鱼货架期预测模型。国内对三文鱼货架期的研究较少,丁婷^[5]建立了273, 277, 283 K条件下的三文鱼货架期模型,设计的温度条件较少,且缺少用非建模的温度条件对模型进行验证,因此,该实验通过对各理化指标的分析,拟建立0, 5, 15, 20℃三文鱼货架期预测模型,并以10℃条件下的各指标对模型进行验证。以便对物流过程三文鱼的品质变化进行实时监测,从而减低损耗,降低经济损失。

1 实验

1.1 原料及预处理

从上海市芦潮港码头水产品市场购得新鲜三文鱼,表面覆冰,装箱后迅速运至实验室待处理。预处理:三文鱼切成100 g小块后随机装入自封袋中,分成5组,贮藏条件分别为0, 5, 10, 15, 20℃。温度越高,鱼肉品质变化越快,因此,设计取样周期为0, 5, 10℃温度下1 d 1次;15, 20℃温度下6 h 1次。各组指标设2个平行。

1.2 方法

1) 感官测定。选6名经验丰富的感官人员组成感官小组,主要评判指标为色泽、气味、肌肉组织和组织弹性。评分等级分为很好、较好、一般、较差和差,分值分别为10, 8, 6, 4, 2分,综合评分在5分以下即认为剩余货架期为0。外观色泽:色泽鲜亮,纹理清晰为很好(10分);色泽鲜亮,纹理可辨为较好(8分);色泽略暗淡,纹理略可辨为一般(6分);色泽较暗淡,纹理模糊为较差(4分);色泽暗淡,纹理不可辨为差(2分)。气味:特有鱼香味为很好(10分);鱼香味较浓郁为较好(8分);略鱼腥味为一般(6分);较大腥臭味为较差(4分);强烈腥臭味为差(2分)。肌肉组织:紧实完整为很好(10分);完整,较紧实为较好(8分);局部松软,但不松散为一般(6分);松软,局部松散,稍有粘性为较差(4分);松散,粘性较大为差(2分)。组织弹性:韧实有弹性,按压之后立即恢复为很好(10分);韧实有弹性,按压之后恢复较快为较好(8分);较有弹性,按压之后恢复较慢为一般(6分);稍有弹性,按压之后恢复很慢为较差(4分);无弹性,按压之

后凹陷不消失为差(2分)。

2) 色差测定。采用ZE-2000色差计(日本尼康公司)测定,该指标平行3次取平均值。

3) 菌落总数测定。参考GB4789.2—2010^[6]的方法操作。

4) TVB-N的测定。采用FOSS全自动凯氏定氮仪(Kjeltec8400, 福斯分析仪器公司)测定。方法参考SC/T 3032—2007^[7]进行操作。

5) K值测定。采用高效液相色谱仪器(LC-2010C HT, 岛津公司)测定。方法在Yoloyama等^[8]的基础上改进。HPLC条件:色谱柱 Inertsil ODP-SP (4.6 mm×250 mm, 5 μm), pH值为6.5的磷酸缓冲液平衡洗脱;样品进样量10 μL,流速为1 mL/min,柱温为30℃,检测波长为254 nm。

6) 脂肪氧化(TBA)的测定。方法参照杨胜平^[9]的基础上修改。在三文鱼背部取肉5 g于离心管,加入三氯乙酸(20%)25 mL,均质后管外覆冰静置60 min,然后以8000 r/min离心10 min,离心后的溶液过滤定容至50 mL。摇匀后吸取5 mL此溶液与5 mL的0.02 mol/L 硫代巴比妥酸在试管中混合,沸水浴20 min后取出,流水冷却5 min后采用UV-3000 PC型紫外可见分光光度计在532 nm处测量吸光度值。

7) 货架期预测模型的建立。在水产品的品质变化中,采用一级反应动力学模型来进行模拟预测的应用较为广泛。

$$B = B_0 e^{kt} \quad (1)$$

式中: t 为食品贮藏时间(d); B_0 为测定品质指标的初始量; B 为贮藏第 t 天时测定品质指标的量; k 为食品品质变化速率常数。

将式(1)中2边取对数,可得:

$$\ln B = kt + \ln B_0 \quad (2)$$

反应温度 T 与反应速率常数 k 之间关系的Arrhenius方程如下:

$$k = A_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \quad (3)$$

式中: k 为反应速率常数; A_0 为指前因子,经验常数; E_A 为反应的活化能(J/mol); R 为气体常数(8.314 510 J/(mol·K)); T 为热力学温度常数(K)。

将式(3)中两边取对数,可得:

$$\ln k = \ln A_0 + \left(-\frac{E_A}{RT}\right) \quad (4)$$

由式(4)可知, $\ln k$ 与 $1/T$ 之间呈线性关系,只要得出反应速率 A_0 和活化能 E_A ,利用式(2)和(3)就能够得出货架期的预测方程:

$$t_{SL} = \frac{\ln(B/B_0)}{A_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right)} \quad (5)$$

式中: t_{SL} 为货架期。

2 结果与讨论

2.1 品质指标的变化

新鲜的三文鱼口感紧实、味道鲜美,鱼肉色泽鲜艳,有明晰的脂肪大理石条纹。随着贮藏时间的延长,鱼肉组织在蛋白酶和微生物繁殖的影响下逐渐软化,甚至产生腥臭味,感官品质逐渐变差。如图 1a 所示,三文鱼的各组感官评价均随着时间延长呈现下降趋势。且贮藏温度越高,感官下降趋势越明显。在 20 °C 下的三文鱼 32 h 时感官评分仅 5.33,货架期接近为 0。此时的鱼肉组织松散,略有腥臭味。在 0 °C 下的三文鱼第 10 天时的感官评分为 5.67,此时的鱼肉表面发粘,颜色暗淡,腥臭味不强烈。从感官的角度表明低温能够显著延长三文鱼的货架期。

色差能够反应鱼肉颜色的变化情况,是评价三文鱼品质的重要指标。三文鱼的亮度值和红度值变化见图 1b, c。随着贮藏时间的延长,鱼肉的亮度值和红度值整体呈下降趋势。亮度 L 值下降表明三文鱼在贮藏

期间,鱼肉逐渐变暗,品质逐渐变坏。鱼肉内虾青素类等胡萝卜素被氧化,从而造成鱼肉红度值下降。

挥发性盐基氮(TVB-N)表示食品中的蛋白质在微生物和酶的作用下分解所产生挥发性含氮物质的总量。TVB-N 的值越高,表明食品中蛋白质被分解速率越快,腐败程度也越高。不同贮藏条件下的三文鱼 TVB-N 变化趋势见图 1d,随着时间的延长,各组的 TVB-N 值均呈上升趋势,其中 15、20 °C 上升趋势最明显。这是因为温度的升高,加快了蛋白质的分解,进而加速了鱼肉的腐败。Manju S 等^[10]认为生鲜鱼可食用的 TVB-N 阈值应在 30 mg/100 g 以内。在 0、5、10、15、20 °C 贮藏条件下,分别在第 12、8、6、31、27 h 超过规定可食用范围。TVB-N 值的变化表现出与感官很高的相关性。

菌落总数能够较好地反应食品品质被微生物污染的程度。由图 1e 可以看出,随着时间和贮藏温度的增加,菌落总数的增长趋势也明显升高。根据国际食品微生物委员会规定,生鲜鱼类的菌落总数不得高

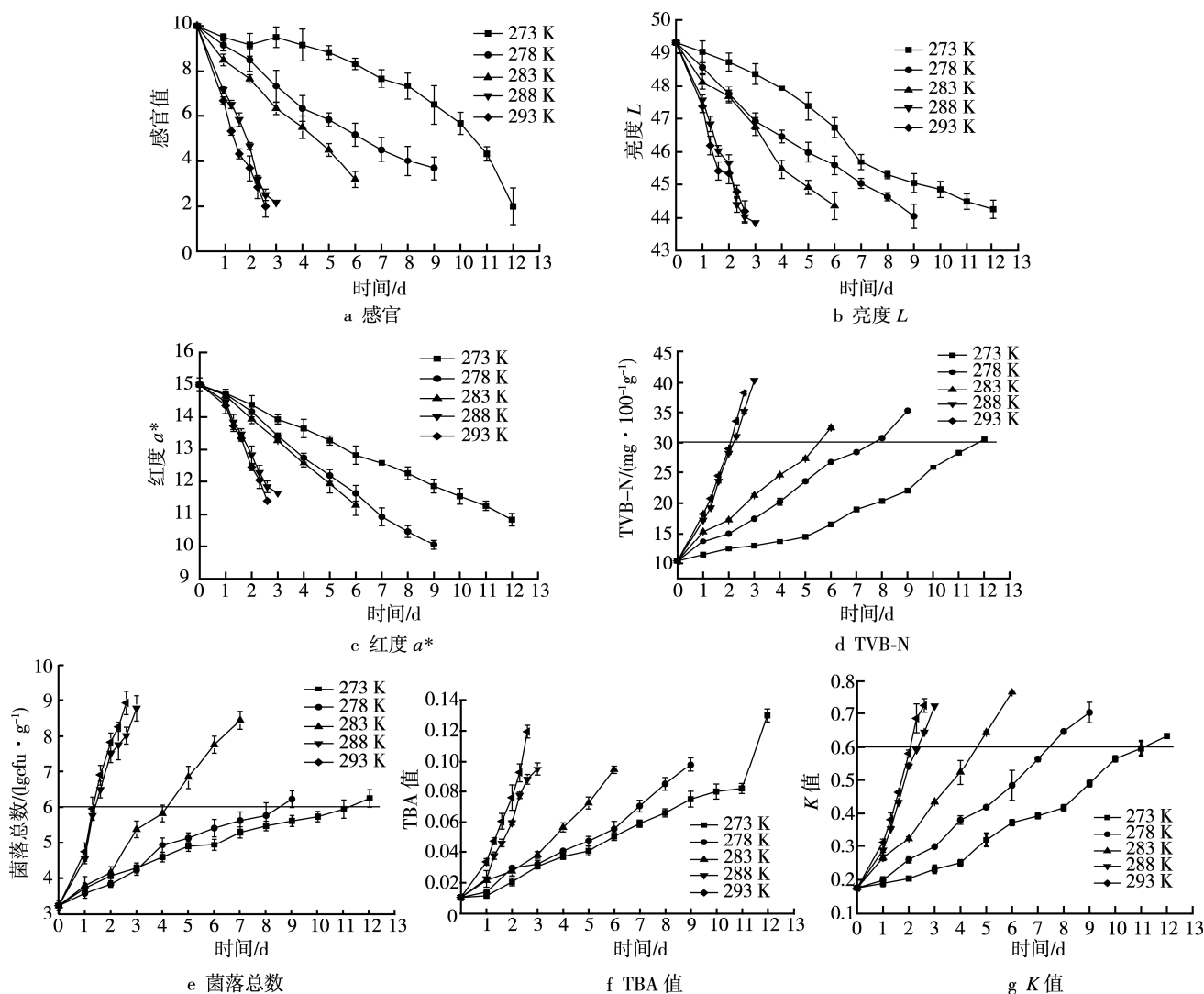


图 1 不同温度贮藏条件下品质指标的变化
Fig.1 Changes in quality index at different temperatures

于 6 lgcfu/g。刚购回的三文鱼菌落总数为 3.24 lgcfu/g。在 0, 5, 10 °C 贮藏条件下, 分别在第 11, 8, 6 天达到这一限定阈值。15 °C 和 20 °C 贮藏条件下, 菌落总数上升趋势更明显, 分别在第 35, 32 h 达到可接受阈值。此时的货架期终止。

三文鱼脂肪含量较高, TBA 值能够很好地反映脂肪氧化酸败程度。鱼肉内的不饱和脂肪酸逐渐发生氧化和水解作用, 产生低级的醛酮类物质与硫代巴比妥酸反应生成稳定的红色化合物, 颜色越深, 表明鱼肉腐败程度越高。刚购回的三文鱼 TBA 初始值为 0.013 mg/100 g。由图 1f 可见, 在各贮藏温度条件下, 三文鱼的 TBA 值均随时间延长呈增加的趋势。由于温度升高导致三文鱼的脂肪氧化速率加快, 因此温度越高 TBA 上升趋势越显著^[11], 与实验结果表现一致。目前三文鱼货架期为 0 时, 其 TBA 值并没有限定值, 综合该实验菌落总数, TVB-N, K 值和感官不可接受程度来评定, TBA 不可接受值为 0.10 mg/100 g^[12]。TBA 值测定货架期模型已经在鱼糜制品中被证明效果可靠^[11], 因此该指标在三文鱼货架期预测模型中也具有可行性。

在鱼肉腺嘌呤核苷三磷酸(ATP)分解过程中, 产生肌苷(HxR)和次黄嘌呤(Hx)的总浓度与 ATP 关联物浓度总和的比值, 即是 K 值。它是最能反映鱼肉鲜度变化的重要指标。K 值低于 0.2 被认为是一级鲜度^[13], 实验中三文鱼初始 K 值在 0.176, 在 0, 5, 10 °C 贮藏条件下, 分别在第 3, 2, 1 d 超过一级鲜度范围。当 K 值超过 0.6 时便开始腐败, 不宜食用^[14]。从图 1g 看出, 三文鱼在各贮藏温度下表现出不同程度的升高。贮藏温度较低的条件, K 值上升趋势也较缓慢。从 0 ~ 20 °C 贮藏条件下, 三文鱼的 K 值分别在 12, 8, 5, 40, 25 h 超过可食用范围。

2.2 动力学模型建立

根据实验设计, 运用 Arrhenius 方程式(4), 利用 Origin9.0 分别对 0, 5, 15, 20 °C 条件下三文鱼的菌落总数、鲜度 K 值、TVB-N 值、TBA 品质指标进行线性回归拟合(由于拟合过程中, 温度会作为分母, 故将摄氏温度转换为华氏温度表示, 即 273, 278, 288, 293 K), 得到不同指标在不同贮藏温度下的回归方程, 见表 1。

相关系数 R^2 越大, 表明方程拟合精度越高, 预测效果越好。根据式(4), 以含有反应速率的 $\ln k$ 对贮藏温度倒数 $1/T$ 作拟合, 可以得到 4 个指标对应的线性拟合图。

根据拟合图 2, 结合式(4)计算获得三文鱼菌落总数、K 值、TVB-N 及 TBA 变化的活化能(E_A)分别为 77.22, 57.39, 62.07, 56.41 kJ/mol, 指前因子 A_0 分别为 2.72×10^{13} , 1.06×10^{10} , 6.63×10^{10} , 1.09×10^{10} 。带入式(5), 可得式(6)~(9)。

表 1 三文鱼不同温度各指标的回归方程
Tab.1 The regression equation of each indicator at different temperatures

测定指标	温度条件/K	回归方程	反应速率常数 k_B	相关系数 R^2
菌落总数	273	$y=0.0489x+1.2832$	0.0489	0.9469
	278	$y=0.0721x+1.2209$	0.0721	0.9598
	288	$y=0.3415x+1.2385$	0.3415	0.9487
	293	$y=0.4034x+1.2062$	0.4034	0.9737
K值	273	$y=0.1152x-1.7714$	0.1152	0.9870
	278	$y=0.1584x-1.6963$	0.1584	0.9873
	288	$y=0.489x-1.6886$	0.4890	0.9793
	293	$y=0.5658x-1.7127$	0.5658	0.9921
TVB-N	273	$y=0.0912x+2.3003$	0.0912	0.9863
	278	$y=0.129x+2.4514$	0.129	0.9735
	288	$y=0.4572x+2.3782$	0.4572	0.9201
	293	$y=0.4979x+2.3738$	0.4979	0.9667
TBA	273	$y=0.1901x-4.3017$	0.1901	0.9313
	278	$y=0.2357x-4.2983$	0.2357	0.9434
	288	$y=0.7724x-4.4419$	0.7724	0.9655
	293	$y=0.9115x-4.3902$	0.9115	0.9762

菌落总数货架期预测模型:

$$t_C = \frac{\ln(B_T / B_{T_0})}{2.72 \times 10^{13} \cdot \exp(-\frac{77.22 \times 10^3}{RT})} \quad (6)$$

K 值货架期预测模型:

$$t_K = \frac{\ln(B_K / B_{K_0})}{1.06 \times 10^{10} \cdot \exp(-\frac{57.39 \times 10^3}{RT})} \quad (7)$$

TVB-N 货架期预测模型:

$$t_N = \frac{\ln(B_N / B_{N_0})}{6.63 \times 10^{10} \cdot \exp(-\frac{62.07 \times 10^3}{RT})} \quad (8)$$

TBA 货架期预测模型:

$$t_A = \frac{\ln(B_A / B_{A_0})}{1.09 \times 10^{10} \cdot \exp(-\frac{56.41 \times 10^3}{RT})} \quad (9)$$

式中: t_C, t_K, t_N, t_A 分别为三文鱼菌落总数、K 值、TVB-N、TBA 模型的剩余货架期。 B_T, B_K, B_N, B_A 分别为贮藏第 t 天, 菌落总数、K 值、TVB-N、TBA 的测定值; $B_{T_0}, B_{K_0}, B_{N_0}, B_{A_0}$ 分别为菌落总数、K 值、TVB-N、TBA 的初始测定值。

计算得出关于 273 ~ 293 K 温度下三文鱼的货架期模型, 可以对物流运输中的三文鱼新鲜度进行预测。通过贮藏温度、三文鱼鲜度指标的初始值及贮藏时间, 可以推知在该贮藏温度条件下贮藏一定时间后的三文鱼的品质状况^[15]。

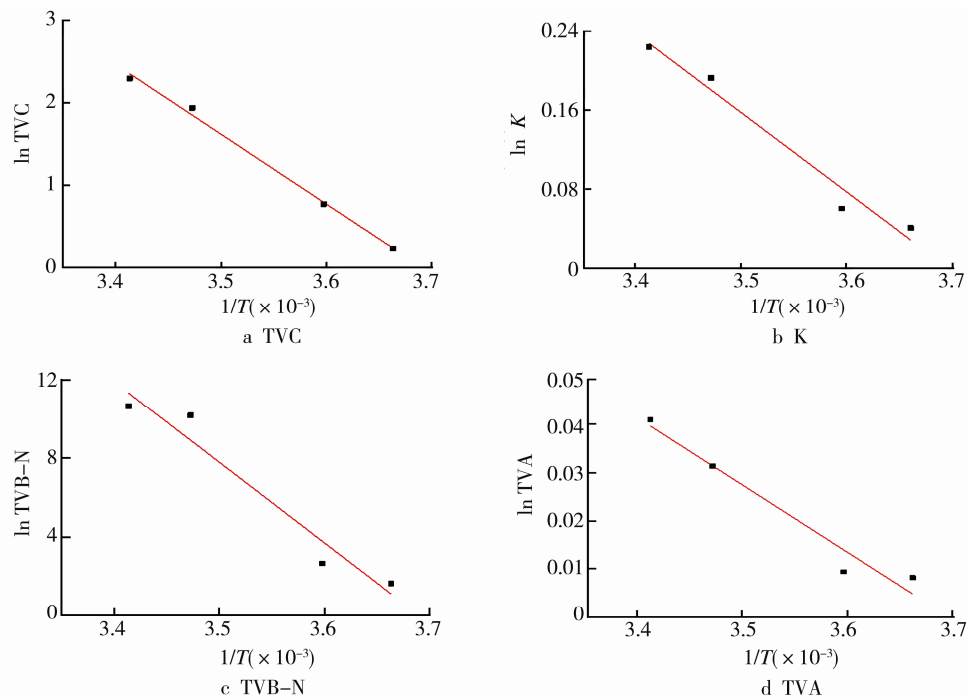


图 2 菌落总数、 K 值、TVB-N 和 TBA 的线性拟合
Fig.2 Linear fitting of TVC, K value, TVB-N and TBA

2.3 货架期预测模型的验证和评价

将三文鱼在各组贮藏温度条件下的各品质指标实测值与对应货架期模型的预测值进行比较，以验证该动力学预测模型准确性。当菌落总数、 K 值、TVB-N 值、TBA 值超过允许范围时，即认为货架期终止，结果见表 2。

表 2 283 K 贮藏条件下三文鱼的货架期预测误差
Tab.2 Predicted error of salmon shelf-life at 283 K

测定指标	温度条件/K	预测值/d	实测值/d	相对误差/%
菌落总数	273	13.3	12.9	3.1
	278	7.5	8.0	-6.3
	283	4.0	4.2	-4.8
	288	2.3	2.2	4.5
	293	1.3	1.2	8.3
K 值	273	11.1	11.1	0
	278	7.0	7.4	-5.4
	283	4.5	4.6	-2.2
	288	2.9	2.7	7.4
	293	2.7	2.5	8
TVB-N	273	12.0	11.5	4.3
	278	7.4	7.3	1.3
	283	6.9	6.4	7.8
	288	2.9	2.7	7.4
	293	1.9	2.1	-9.5
TBA	273	12.9	12	7.5
	278	8.2	9.0	-8.9
	283	5.4	6.0	-10
	288	3.5	3.2	9.3
	293	2.4	2.3	4.3

从表 2 可知，通过货架期模型得出的预测值和各贮藏温度条件下的实测值之间相对误差均在 10% 以内，表明一级化学反应动力学模型能够较好地反应菌落总数、 K 值、TVB-N 值和 TBA 值指标在 0 ~ 20 ℃ 之间的变化趋势，这与丁婷^[5]建立在 273, 277, 283 K 条件下三文鱼的货架期模型结论一致。丁婷设计的模型预测值与实测值之间相对误差在 20% 以内，因此，该实验拟合建立的三文鱼剩余货架期预测模型准确度更高，可监测的贮藏温度范围更广，能够准确地监测 0 ~ 20 ℃ (273 ~ 293 K) 范围内的三文鱼品质变化^[16]。

各鲜度指标的货架期预测值之间略有差距，且贮藏温度越高，相对误差相对也更高，这与温度升高，三文鱼品质腐败加快理化指标检测不够及时有关。以 TBA 指标所建立的货架期模型，预测值与实测值之间相对误差较大，这可能是由于目前在国标中，TBA 并没有不可食用的限定值，假定 TBA 不可接受值为 0.10 mg/100 g 并不够准确。综合比较， K 值预测的货架期寿命更为接近实验值。

3 结语

0 ~ 20 ℃ 不同贮藏温度下的三文鱼的菌落总数、 K 值、TVB-N 值、TBA 值随着时间的延长而不断上升，且温度越高上升趋势越大。这与色差、感官得到的结论具有很强的相关性。0, 5, 15, 20 ℃ 条件下的菌落总数、 K 值、TVB-N 值和 TBA 值变化趋势符合一级化学反应动力学模型。利用 Arrhenius 方程对反

应速率和温度的线性拟合得到的货架期方程相关系数均 >0.9 , 拟合精度较高, 可以较为准确地进行三文鱼货架期预测。通过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的各指标实测值与货架期方程预测值进行对比, 相对误差在 5%之内。该实验建立的货架期模型能够较为准确地对三文鱼在 $0\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮运条件下进行监测, 从而有效避免浪费, 节约成本。

参考文献:

- [1] 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 Zhi-fang, XIE Jing. Prediction Model for the Shelf-life of Tuna Based on Physical and Chemical Indexes[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(11): 185—191.
- [2] 唐晓阳. 冷却猪肉的货架期预测模型[D]. 上海: 上海海洋大学, 2010.
TANG Xiao-yang. The Shelf Life Predictive Model of Chilled Pork[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2010.
- [3] 傅泽田, 姚萌萌, 马常阳, 等. 基于化学型时间温度指示器的鲜食葡萄品质监测[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(6): 186—191.
FU Ze-tian, YAO Meng-meng, MA Chang-yang, et al. Applicability of a Chemical Time Temperature Indicator as a Quality Indicator for Table Grape[J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(6): 186—191.
- [4] 佟懿, 谢晶. 鲜带鱼不同贮藏温度的货架期预测模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 301—305.
TONG Yi, XIE Jing. Prediction Model for the Shelf-life of Trichiurus Haumela Stored at Different Temperatures[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 301—305.
- [5] 丁婷. 三文鱼新鲜度综合评价和货架期模型的建立[D]. 锦州: 渤海大学, 2015.
DING Ting. Comprehensive Evaluation on Freshness and Establishment of the Shelf-life Model of Salmon[D]. Jinzhou: Bohai University, 2015.
- [6] GB 4789.2—2010, 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定[S].
GB 4789.2—2010, National Food Safety Standard Food Microbiological Examination: Aerobic Plate Count[S].
- [7] SC/T 3032—2007, 水产品中挥发性盐基氮的测定[S].
SC/T 3032—2007, Determination of the Total Volatile Basic Nitrogen in Fishery Products[S].
- [8] YOKOYAMA Y, SAKAGUCHI M, KAWAI F, et al. Changes in Concentration of ATP-related Compounds in Various Tissues of Oyster during Ice Storage[J]. Nihon-suisan-gakkai-shi, 1992, 58(11): 2125—2136.
- [9] 杨胜平, 谢晶. 不同体积分数 CO_2 对气调冷藏带鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 275—279.
YANG Sheng-ping, XIE Jing. Effect of Carbon Dioxide Concentration on Sensory, Microbiological and Physicochemical Properties of Trichiurus Haumela with Modified Atmosphere Packaging (MAP) during Cold Storage[J]. Food Science, 2011, 32(4): 275—279.
- [10] MANJU S, GOPAL T K S, JOSE L, et al. Nucleotide Degradation of Sodium Acetate and Potassium Sorbate DipTreated and Vacuum Packed Black Pomfret (Parastromateusniger) and Pearlsport (Etroplussuratensis) during Chill Storage[J]. Food Chemistry, 2007, 102(3): 699—706.
- [11] 赵淑娥. 硫代巴比妥酸法(TBA 模型)预测鱼糜制品保藏货架期研究[J]. 江西食品工业, 2012(2): 26—27.
ZHAO Shu-e. TBA model for Surimi Shelf Life Predicting[J]. Jiangxi Food Industry, 2012(2): 26—27.
- [12] 潘文龙, 谢晶, 黎柳, 等. 河鲫鱼在不同贮藏温度下的货架期模型预测[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 312—317.
PAN Wen-long, XIE Jing, LI Liu, et al. Prediction Model for the Shelf-life of Crucian Carp Stored at different Temperatures[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(16): 312—317.
- [13] 黎柳, 谢晶, 苏辉, 等. 臭氧冰与电解水冰处理延长鲳鱼的冷藏货架期[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 323—328.
LI Liu, XIE Jing, SU Hui, et al. Ozone Ice and Electrolyzed Water Ice Treats Pomfret to Extend the Shelf Life of Pomfret[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(23): 323—328.
- [14] 励建荣, 李婷婷, 李学鹏. 水产品鲜度品质评价方法研究进展[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2010, 28(6): 1—8.
LI Jian-rong, LI Ting-ting, LI Xue-peng. Advances in Methods for Evaluating Freshness of Aquatic Products [J]. Journal of Beijing Technology and Business University(Nature Science), 2010, 28(6): 1—8.
- [15] 汪琳, 应铁进. 番茄果实采后贮藏过程中的颜色动力学模型及其应用[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 118—121.
WANG Lin, YING Tie-jin. Kinetic Model on Surface Color in Tomato Fruits During the Post-harvest Storage and Its Application[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(3): 118—121.
- [16] 郭全友, 王锡昌, 杨宪时, 等. 不同贮藏温度下养殖大黄鱼货架期预测模型的构建[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 267—273.
GUO Quan-you, WANG Xi-chang, YANG Xian-shi, et al. Predictive Model Construction of Shelf Life for Cultured Pseudosciaena Crocea Stored at Different Temperatures[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(10): 267—273.