

不同贮藏温度下小黄鱼货架期预测模型的建立和评价

吴行印, 谢晶, 王旭
(上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: **目的** 探究不同贮藏温度下小黄鱼的品质变化与货架期之间的关系, 并建立货架期预测模型。**方法** 设计了 273, 278, 283, 288, 293 K 等 5 组不同温度下的贮藏实验, 对小黄鱼的感官品质指标变化、持水率、pH 值、色差 (L 值、 b 值)、挥发性盐基氮 (TVB-N)、菌落总数和鲜度指标 (K 值) 的变化进行测定分析; 运用 Arrhenius 方程对菌落总数、TVB-N、 K 值与贮藏时间及贮藏温度建立动力学预测模型。**结果** 菌落总数、TVB-N 和 K 值随着贮藏时间的延长而逐渐增加, 感官品质随贮藏时间的延长而下降。**结论** 该模型所获得的货架期预测值准确率达到 90% 以上, 可用于温度为 273~293 K 范围内小黄鱼剩余货架期的预测。

关键词: 小黄鱼; 货架期; 预测模型

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)19-0084-07

Establishment and Evaluation of the Shelf-life Prediction Model for Small Yellow Croaker under Different Store Temperatures

WU Xing-yin, XIE Jing, WANG Xu
(Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to study the relationship between small yellow croaker quality changes and shelf life at different temperatures and establish a shelf-life prediction model. Sensory evaluation, specific retention count, pH, L and b^* value, total-volatile basic nitrogen (TVB-N) value and K value at different storage temperatures such as 273, 278, 283, 288, 293 K were analyzed. Based on the Arrhenius equation, kinetic predicting models which were about TVC, TVB-N and K value were established. It was shown that TVC, TVB-N and K value gradually increased and sensory quality of the yellow croaker deteriorated with the storage time prolonged. In conclusion, the accuracy rate of the predicting model is more than 90%, which could be used in the prediction of the remaining shelf life of small yellow croaker within the temperature ranges from 273 K to 293 K.

KEY WORDS: small yellow croaker; shelf life; prediction model

小黄鱼为近海底层结群性洄游鱼类, 肉质鲜嫩, 营养丰富, 但在贮藏过程中, 小黄鱼很容易腐败变质。小黄鱼的腐败变质一方面是因为贮藏过程

中, 鱼体的微生物不断生长繁殖, 引起鱼肉蛋白质分解产生具有异味的碱性物质, 另一方面是由于鱼体内的酶在鱼体死亡过后发生自溶, 引起鱼体腐败

收稿日期: 2016-04-04

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划项目 (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, 安徽安庆人, 上海海洋大学硕士生, 主攻电子货架期。

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

变质。由此可见，建立快速预测小黄鱼的剩余货架期方法是水产品物流业的迫切需求^[1]。同时，水产品品质变化的实时监控结合物联网技术的应用，在未来食品安全控制方面也是重要的发展方向^[2]。

目前，动力学模型已经被广泛应用于水产品的货架期预测模型。佟懿和谢晶^[3]对带鱼的研究，获得了不同贮藏温度条件下关于带鱼的反应动力学模型。吴奇子等^[4]对在对鲈鱼的分析研究中，在 0~15℃条件下构建了符合鲈鱼品质变化的一级动力学模型。此外，Giannakouroua 等^[5]研究出了符合大西洋鲷品质变化的反应动力学模型。马妍等^[6]对不同冷藏过程中暗纹东方鲀品质变化的研究，表明其品质变化可用一级动力学模型准确模拟，且准确度在 90%以上。该实验旨在通过各指标对比分析，建立小黄鱼的预测模型，对小黄鱼物流过程的品质变化进行实时预测，以降低损耗。

1 实验

1.1 原料及预处理

实验材料为小黄鱼，从上海市浦东新区芦潮港码头水产品市场购买大小均一的个体（150 g 左右）。表面覆冰，迅速运至实验室待处理。

1.2 主要设备

设备：高效液相色谱仪器（LC-2010C HT，岛津公司），LHS-100CL 恒温恒湿箱（上海一恒科学仪器有限公司），FOSS 全自动凯氏定氮仪（Kjeltec 8400，福斯分析仪器公司），BCD-252MHV*冰箱（苏州三星电子），电热鼓风干燥箱（上海一恒科学仪器有限公司），ZE-2000 色差计（日本尼康公司）等。

1.3 方法

1) 实验预处理。挑选大小、新鲜程度相同的 120 条小黄鱼去内脏后用蒸馏水清洗。沥干后随机装入自封袋，随机分成 5 组分别贮藏在 273, 278, 283, 288, 293 K 下。定期（温度越高鱼肉品质变化越快。设计取样周期为 273, 278, 283 K 温度下每天取样一次；288, 293 K 温度下每 6 h 取样一次）测定相关理化指标。各组设计 2 个平行。数据利用 Origin9.0 软件进行分析。

2) 感官测定。感官测定标准参考佟懿等人^[3]感官评定标准并进行修改，见表 1，综合评分在 5 分以下即认为剩余货架期为 0。评定人员由 6 人组成。

3) 色差测定。采用色差计反射法测定任意选

表 1 感官指标的测定
Tab.1 Sensory evaluation of small yellow croaker fillet

指标	很好（10 分）	较好（8 分）	一般（6 分）	较差（4 分）	差（2 分）
外观色泽	色泽光亮，纹理清晰	色泽光亮，纹理可辨	色泽略暗，纹理略可辨	色泽较暗，纹理模糊	色泽暗淡，纹理不可辨
气味	特有鱼香味	鱼香味较浓郁无异味	略鱼腥味	较大腥臭味	强烈腥臭味
肌肉组织	紧密完整	完整，较紧实	局部松软，但不松散	松软，局部松散，稍有粘性	松散，有粘性
组织弹性	韧实有弹性，按压之后立即恢复	韧实有弹性，按压之后恢复较快	较有弹性，按压之后恢复较慢	稍有弹性，按压之后恢复很慢	无弹性，按压之后凹陷不消失

取的鱼片，平行 3 次取平均值。

4) 菌落总数测定参考 GB 4789.2—2010《食品安全国家标准微生物学菌落总数测定》^[7]的方法操作。

5) 持水率测定方法在李乐^[8]的方法基础上改进。称取样品 2 g，滤纸包好。在 4℃下进行离心（3000 r/min），30 min 后取出，称量计算。

6) pH 值测定。切碎的鱼肉取 5 g 于烧杯中，

蒸馏水定容至 50 mL，静置 30 min，测定读数。

7) TVB-N 的测定。参考 SC/T 3032—2007《水产品中挥发性盐基氮的测定》^[9]的方法操作。

8) K 值测定。K 值的测定采用 Yohoyama 等^[10]的方法改进。HPLC 条件：色谱柱 Inertsil ODP-SP（4.6 mm×250 mm，5 μm），pH 值为 6.50 磷酸缓冲液平衡洗脱；样品进样量 10 μL，流速 1 mL/min，柱温 30℃，检测波长 254 nm。

9) 货架期预测模型的建立。Labuza 等^[11]表明, Arrhenius 模型是预测货架期应用最广泛的模型之一, 它能反应出温度对反应速率的影响。Arrhenius 方程见式(1)。

$$k=A_0 \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \quad (1)$$

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, $8.314510 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$; T 为热力学温度常数 (K)。

建立以 273, 283, 288, 293 K 等 4 个条件下贮藏时间及贮藏温度之间的动力学模型^[12]。

2 结果与分析

2.1 色差变化与贮藏时间的关系

鱼肉的色差变化与鱼体发生酶促反应和微生物的生长繁殖有关^[13]。图 1 反映了在不同贮藏温度过程中小黄鱼的亮度 L 值随时间延长逐渐下降, 而黄蓝值 b 随时间延长而逐渐升高。表明鱼肉在贮藏过程中, 颜色由白色逐渐变为暗黄色。这是由于鱼体内部微生物作用和酶活性的变化, 鱼肉中的色素被脂肪氧化产生的自由基被破坏而导致的结果^[14]。

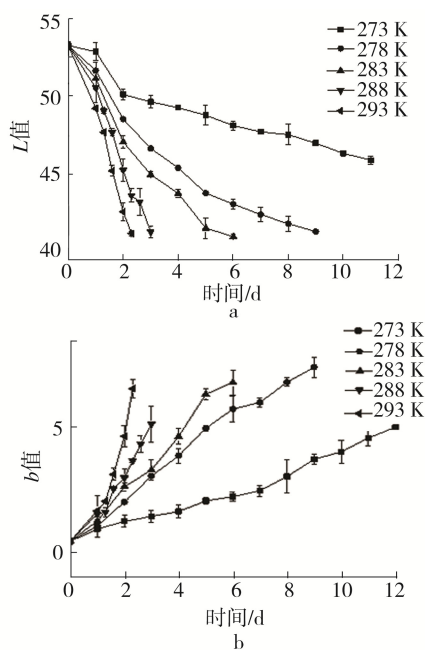


图 1 不同温度贮藏条件下色差变化

Fig.1 Changes in color value of small yellow croaker stored at different temperatures

2.2 菌落总数变化与贮藏时间的关系

随着贮藏时间延长, 小黄鱼菌落总数呈逐渐上升趋势。温度越低, 菌落总数上升趋势越缓慢, 表明低温在一定程度上抑制了微生物的生长。根据 SC 127—84《鲜大黄鱼鲜小黄鱼》^[15], 处于一级鲜度 ($\leq 4 \text{ lgcfu/g}$) 的小黄鱼品质较好, 超过二级鲜度范围 ($\leq 6 \text{ lgcfu/g}$) 便不宜食用。新鲜的小黄鱼菌落总数初始值为 3.15 lgcfu/g 。在 273 K 条件下第 2 天达到 4.06 lgcfu/g , 刚好处于一级鲜度界限。在 273, 278, 283, 288, 293 K 条件下, 小黄鱼所测值分别在第 7 天、第 5 天、第 3 天、第 26 小时、第 18 小时已超过二级鲜度范围, 腐败较明显。

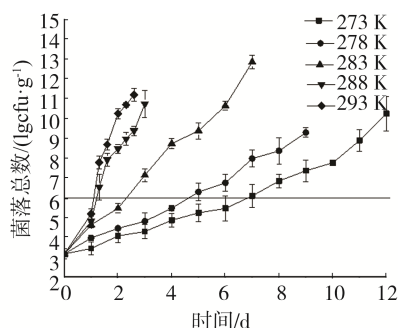


图 2 不同温度贮藏条件下菌落总数的变化

Fig.2 Changes in aerobic plate count of small yellow croaker stored at different temperatures

2.3 TVB-N 变化与贮藏时间的关系

鱼体死亡后, 由于酶和细菌的作用, 蛋白质会分解成脲、肽类等具有挥发性碱性含氮物质, 称为 TVB-N。TVB-N 含量越多, 表明蛋白质分解速率越快, 食品品质越差^[16]。TVB-N 的值直接反映了酶和细菌对鱼肉品质的影响, 每 100 g 样品中所含挥发性盐基氮的含量超过 30 mg 时便认为腐败开始, 不宜食用^[17]。小黄鱼肉 TVB-N 随时间延长而增加, 见图 3。在 288, 293 K 条件下, TVB-N 变化

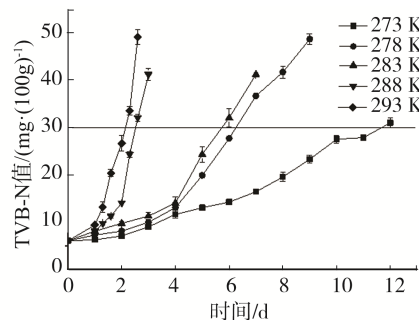


图 3 不同温度贮藏条件下小黄鱼 TVB-N 值的变化

Fig.3 Changes in total volatile basic nitrogen value of small yellow croaker stored at different temperatures

非常迅速, 这与菌落总数变化较为一致。

2.4 持水率变化与贮藏时间的关系

随着时间延长, 持水率逐渐降低, 表明整个贮藏过程中, 鱼肉中有不同程度的水分渗出。并且温度越高, 持水率下降趋势越大, 在 273, 278, 283, 288, 293 K 温度下, 持水率降低到 70% 以下的时间分别是第 12 天、第 8 天、第 7 天、第 3 天、第 2 天。这是由于鱼肉蛋白质周围的疏水亲水的结合键因为蛋白质变性而被破坏, 发生不可逆的水解, 导致小黄鱼持水率不断下降。持水率的变化也可能与水产品中的 CO_2 含量有关^[18]。

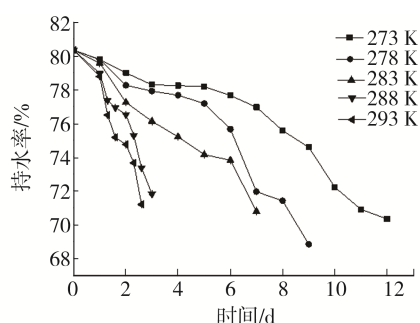


图 4 不同温度贮藏条件下小黄鱼持水率的变化

Fig.4 Changes in specific retention count of small yellow croaker stored at different temperatures

2.5 pH 值变化与贮藏时间的关系

整个贮藏过程, 小黄鱼的 pH 值呈现先下降再上升的过程。鱼体死后分为僵硬期、解僵自溶期、腐败期 3 个阶段。鱼肉 pH 值的下降发生在僵硬期, 这是由于糖原和 ATP 分解产生乳酸、磷酸累积^[19]。在 273 K 条件下, 第 6 天之后开始呈上升趋势。这与鱼肉的微生物大量繁殖有关, 经过僵硬阶段的鱼体, 由于组织中的水解酶作用, 蛋白质逐渐分解为氨基酸以及碱性产物如胺类, 引起鱼肉的 pH 值的上升, 此时肌肉组织逐渐变软, 固有弹性逐渐松弛。

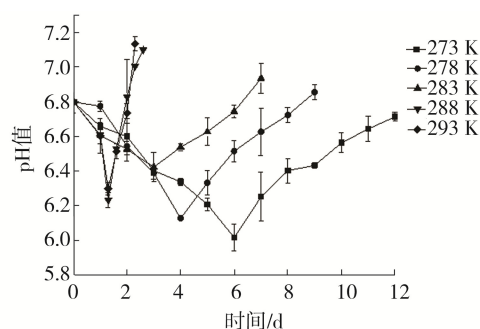


图 5 不同温度贮藏条件下小黄鱼 pH 值的变化

Fig.5 Changes in pH value of small yellow croaker stored at different temperatures

2.6 K 值变化与贮藏时间的关系

K 值是一项能够反映鱼肉鲜度的重要指标。Manju 等^[17]研究表明, ATP 的降解与反应鲜度变化的 K 值之间呈线性关系。K 值低于 0.2 属于一级鲜度^[20], 所测小黄鱼在 273 K 和 278 K 条件下, 分别第 3 天和第 2 天达到这一界限。K 值超过 0.6 的水产品被认为开始腐败, 不宜食用^[21]。将 K 值在 0.2 ~ 0.4 范围定义为二级鲜度, 0.4 ~ 0.6 范围定义为三级鲜度。在 273, 278, 283, 288, 293 K 条件下, 小黄鱼分别第 10 天、第 8 天、第 5 天、第 64 小时、第 56 小时已超过三级鲜度范围, 此时不宜食用。

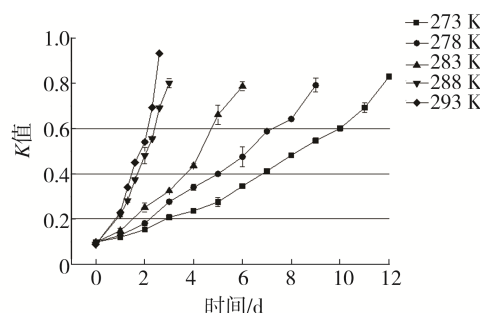


图 6 不同温度贮藏条件下小黄鱼 K 值的变化

Fig.6 Changes in K value of small yellow croaker stored at different temperatures

2.7 感官变化与贮藏时间的关系

小黄鱼在贮藏初期, 质地完整, 色泽正常, 感官品质较好。僵直期过后, 由于肌肉中蛋白酶作用, 蛋白质被分解产生了胺类等碱性物质的积累。进入自溶阶段的鱼体, 肌肉组织逐渐松散, 发粘, 色泽逐渐变黄, 鱼香味逐渐消失, 产生强烈腥味甚至恶臭味。感官品质逐渐变差。在 273, 278, 283, 288, 293 K 条件下, 小黄鱼分别第 10 天、第 7 天、第 4 天、第 40 小时、第 28 小时已超过感官可接受范围, 货架期终止。

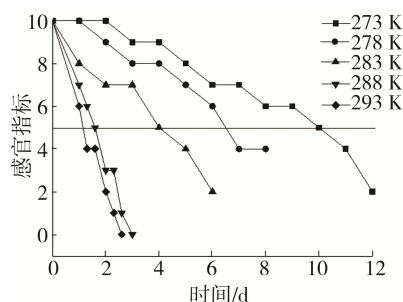


图 7 不同温度贮藏条件下小黄鱼感官的变化

Fig.7 Sensory evaluation of small yellow croaker at different temperatures during storage

2.8 动力学模型建立

运用 Arrhenius 方程对小黄鱼在不同贮藏条件下的剩余货架期进行预测,通过不同鲜度指标(K 值、TVB-N 值、菌落总数)的计算分析,反应的一级动力学模型:

$$B = B_0 e^{k_B t} \quad (2)$$

式中: t 为食品贮藏时间(d); B_0 为食品鲜度指标初始值; B 为贮藏第 t 天时食品的鲜度指标值; k_B 为食品品质变化速率常数。

将式(2)变型可得到一级动力学货架模型:

$$t = \frac{\ln(B/B_0)}{A_0 \exp(-\frac{E_A}{RT})} \quad (3)$$

式中: t 为食品预测货架期。

表 2 小黄鱼的动力学模型参数
Tab.2 Parameters of kinetics model of small yellow croaker

测定指标	温度 条件/K	初始 值 B_0	反应速率 常数 k_B	相关 系数 R^2
K 值	273	0.09963	0.1735	0.9859
	283	0.09963	0.3834	0.9641
	288	0.09963	0.7345	0.9818
	293	0.09963	0.8968	0.9855
TVB-N	273	6.05	0.1474	0.9863
	283	6.05	0.3156	0.9735
	288	6.05	0.6847	0.9201
	293	6.05	0.8263	0.9667
菌落总数	273	3.15	0.0929	0.9929
	283	3.15	0.2473	0.9832
	288	3.15	0.4094	0.9357
	293	3.15	0.5121	0.9377

相关系数 R^2 越大,表明预测结果越准确,方程拟合精度越好。由式(3)计算获得小黄鱼 K 值、TVB-N 及菌落总数变化的活化能(E_A)分别为 57.02, 60.31, 58.57 kJ/mol, 指前因子 A_0 分别为 1.397×10^{10} , 4.959×10^{10} , 1.550×10^{10} 。

K 值货架期预测模型为:

$$t_K = \frac{\ln(B_K/B_{K_0})}{1.397 \times 10^{10} \exp(-\frac{57.02 \times 10^3}{RT})} \quad (4)$$

TVB-N 货架期预测模型:

$$t_N = \frac{\ln(B_N/B_{N_0})}{4.959 \times 10^{10} \exp(-\frac{60.31 \times 10^3}{RT})} \quad (5)$$

菌落总数货架期预测模型:

$$t_C = \frac{\ln(B_C/B_{C_0})}{1.550 \times 10^{10} \exp(-\frac{58.57 \times 10^3}{RT})} \quad (6)$$

式中: t_K , t_N , t_C 分别为小黄鱼 K 值、TVB-N、菌落总数模型的剩余货架期。 B_K , B_N , B_C 分别为贮藏第 t 天时 K 值、TVB-N、菌落总数的测定值; B_{K_0} , B_{N_0} , B_{C_0} 分别为 K 值、TVB-N、菌落总数的初始测定值。

研究方程相关系数均较好,可以对处于 273 ~ 293 K 温度下贮藏小黄鱼的剩余货架期进行预测。当确定小黄鱼的贮藏温度、鲜度指标的初始值及货架期终点限度值,就可以由所得货架期预测模型获得在该温度条件下的剩余货架期;另外,通过贮藏温度、小黄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小黄鱼的品质状况^[22]。

2.9 货架期预测模型的验证和评价

选取在 278 K 条件下的货架期实测值,验证该动力学预测模型准确性。根据感官评分和 SC 127—84《鲜大黄鱼鲜小黄鱼》^[15]对于鲜度的标准综合评定,将鲜度指标(K 值、TVB-N 值、菌落总数)超过允许范围时,即认为货架期终止,并与小黄鱼货架期实测值进行比较,结果见表 3。

表 3 278 K 贮藏条件下小黄鱼的货架期预测误差
Tab.3 Predicted and observed shelf-life of small yellow croaker at 278 K

测定指标	温度条件/K	预测值/d	实测值/d	相对误差/%
K 值	278	7.0	7.2	2.78
TVB-N	278	6.9	7.3	5.47
菌落总数	278	4.2	4.6	8.69

由表 3 可知,预测值和实测值之间的相对误差均在 10%以内,建立的小黄鱼剩余货架期预测模型可较为准确的监测 273 ~ 293 K 范围之内的小黄鱼品质变化^[23]。各鲜度指标的货架期预测值之间略有差距, K 值预测的货架期寿命更为接近实验值,而菌落总数的货架期预测值和实测值相对误差较大。

3 结语

不同贮藏温度的小黄鱼 K 值、TVB-N、菌落总

数值均随着时间的延长而逐渐升高。以 K 值、TVB-N、菌落总数这3项鲜度指标建立的货架期预测模型均符合一级动力学模型。且拟合系数 $R^2 > 0.9$, 具有较为准确的拟合精度。在 273~293 K 条件下, 所建立的小黄鱼货架期预测模型对于该范围内不同温度贮藏的小黄鱼剩余货架期能够进行较为准确的预测。并且在验证温度中, 预测货架期和实际货架期误差在 $\pm 10\%$ 内。所设计的3组货架期预测模型中, K 值相对误差较小。

参考文献:

- [1] 葛蕾. 时间-温度指示系统的研制及其在生鱼片鲜度监测中的应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
GE Lei. Development of Time-temperature Indicator System and Its Application in the Monitoring of Sashimi Freshness[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [2] 张军, 梅仲豪. 基于物联网技术的物流包装及其应用研究[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 135—139.
ZHANG Jun, MEI Zhong-hao. Logistics Packaging and Application Based on the Internet of Things Technology[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(17): 135—139.
- [3] 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.
- [4] 吴奇子, 陈雪, 刘欢, 等. 不同贮藏温度条件下鲈鱼货架期预测模型的构建[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 232—236.
WU Qi-zi, CHEN Xue, LIU Huan, et al. Predictive Model Construction of Shelf Life for Scomber japonicus Stored at Different Temperatures[J]. Food Science, 2015, 36(22): 232—236.
- [5] GIANNAKOULO M C, KOUTSOUMANIS B K, NYCHAS G J E, et al. Field Evaluation of the Application of Time Temperature Integrators for Monitoring Fish Quality in the Chill Chain[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 102: 323—336.
- [6] 马妍, 谢晶, 周然, 等. 暗纹东方鲀在不同冻藏温度下品质变化的动力学研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 7(1): 138—142.
MA Yan, XIE Jing, ZHOU Ran, et al. Quality Degradation Kinetics of Takifugu obscurus at Different Storage Temperatures[J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 7(1): 138—142.
- [7] 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].
- [8] 李乐. 不同贮藏温度下几种鱼的肉质品质变化对比[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(2): 225—231.
LI Le. Comparison on Four Fish Meat Quality under Different Storage Temperatures[J]. Food And Fermentation Industries, 2014, 40(2): 225—231.
- [9] 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].
- [10] 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.
- [11] LABUZA T P, SZYBIST L M. Open Dating of Foods[M]. Food & Nutrition Press Inc. U.S., 2001.
- [12] 邹毅峰, 谢如鹤, 刘广海. 生鲜食品的品质动力学模型研究综述[J]. 包装工程, 2015, 36(15): 9—15.
ZOU Yi-feng, XIE Ru-he, LIU Guang-hai. Review on Quality Kinetic Model for Fresh Food[J]. Packing Engineering, 2015, 36(15): 9—15.
- [13] DUAN J, CHERIAN G, ZHAO Y. Quality Enhancement in Fresh and Frozen Lingcod (Ophiodon elongatus) Fillets by Employment of Fish Oil Incorporated Chitosan Coatings[J]. Food Chemistry, 2010, 119(2): 524—532.
- [14] 胡焯. 大黄鱼冰温保藏关键技术研究及应用[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2013.
HU Ye. Ice Temperature Preservation of Large Yellow Croaker and Its Application in Industry[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2013.
- [15] SC 127—84, 鲜大黄鱼鲜小黄鱼[S].
SC 127—84, Fresh Large Yellow Croaker and Fresh Small Yellow Croaker[S].
- [16] 孙媛媛, 张蕾. 猪肉新鲜度指示卡的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(5): 29—33.
SUN Yuan-yuan, ZHANG Lei. Development of Pork Freshness Indicator Card[J]. Packing Engineering, 2013, 34(5): 29—33.
- [17] MANJU S, GOPAL T K S, JOSE L, et al. Nucleotide Degradation of Sodium Acetate and Potassium Sorbate Dip Treated and Vacuum Packed Black Pomfret (Parastromateus niger) and Pearlscale (Etroplus suratensis) during Chill Storage[J]. Food Chemistry, 2007, 102(3): 699—706.
- [18] 吴习宇, 赵国华, 李建光, 等. 冰温气调贮藏生鲜鲢鱼片的保鲜效果[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 24—30.

- WU Xi-yu, ZHAO Guo-hua, LI Jian-guang, et al. Effect of Controlled Freezing-point Storage Combined with Modified Atmosphere Packaging on Fresh-keeping of Silver Carp Fillets[J]. Packing Engineering, 2014, 35(13): 24—30.
- [19] 欧丽娟, 李立, 杨辉, 等. 复合壳聚糖保鲜液膜对新鲜牛肉保鲜的研究[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 21—25.
- OU Li-juan, LI Li, YANG Hui, et al. Preservative Effect of Treatment with Different Composite Chitosan Coatings on Storage of Chilled Beef[J]. Packing Engineering, 2015, 36(5): 21—25.
- [20] 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.
- [21] 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(Natural Science), 2010, 28(6): 1—8.
- [22] 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.
- [23] 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.