真空软包装香辣蟹贮藏品质变化及货架期预测

徐贞[1]，卢立新[1,2]
（1.江南大学，无锡 214122; 2.江苏省食品先进制造装备技术重点实验室，无锡 214122）

摘要：目的 研究香辣蟹在常温贮藏条件下的保鲜包装，探究真空软包装香辣蟹的品质变化规律及常温贮藏货架期。**方法** 测定真空软包装香辣蟹在 23，33，43 ℃贮藏环境下的品质指标值，包括菌落总数、质构、pH 值及挥发性盐基氮（TVB-N 值），并综合感官评价确定真空软包装香辣蟹的货架期终点，利用 Arrhenius 法预测真空软包装香辣蟹货架期并建立货架期预测模型。**结果** 在 23，33，43 ℃贮藏温度下，真空软包装香辣蟹的挥发性盐基氮含量分别在第 21，18，15 天达到感官可接受的极限值（分别为 29.75，30.21，31.46 mg/(100 g)）。**结论** 基于 TVB-N 值变化建立的货架期预测模型可很好地预测真空软包装香辣蟹的货架寿命。

关键词：真空软包装；香辣蟹；品质分析；货架期预测
中图分类号：TB489; TS206.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2017)11-0006-05

Quality Change and Shelf-life Prediction of Spicy Crab with Vacuum Soft Packages

XU Zhen[1], *LU Li-xin*[1, 2]
(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: The work aims to study the fresh-keeping package of spicy crab stored at room temperature and explore the quality changes and shelf life of spicy crab with vacuum soft packages stored at normal temperature. The quality indices of spicy crab with vacuum soft package stored at 23 ℃, 33 ℃ and 43 ℃ were measured, including total bacterial account, texture, pH value and volatile basic nitrogen (TVB-N value). The end point of shelf life of spicy crab with vacuum soft packages was determined in combination with sensory evaluation, and the shelf life was predicted and the prediction model for shelf life of spicy crab with vacuum soft packages was established based on Arrhenius. The TVB-N levels reached the acceptable limits of 29.75 mg/(100 g), 30.21 mg/(100 g) and 31.46 mg/(100 g) respectively at the 21st, 18th and 15th day at 23 ℃, 33 ℃ and 43 ℃. The shelf life of spicy crab with vacuum soft packages can be well predicted according to the shelf life prediction model established based on the changes in TVB-N levels.
KEY WORDS: vacuum soft packages; spicy crab; quality analysis; shelf-life prediction

中华绒螯蟹又称大闸蟹、河蟹，是我国一种季节性水产品，其味鲜、肉嫩，且含有丰富的蛋白质、不饱和脂肪酸和矿物元素等营养物质，具有保健功能和很高的经济价值[1]。大闸蟹含有的蛋白质和不饱和脂肪酸在一定条件下极易发生降解、氧化等一系列化学反应，促使河蟹发生腐败变质，产生有害物质，因此河蟹产品极不易贮藏。目前，对加工蟹的保鲜贮藏主要为冷藏、冷冻的方式。Lorentzen[2]研究了雪蟹分别在 0，4 ℃贮藏条件下的品质变化，结果表明熟制的雪蟹能分别在 0，4 ℃环境下贮藏 10，14 d。陈舜胜[3]研究了冻结(−30 ℃)和冻藏(−20 ℃)对河蟹蟹肉品质的影响，结果表明冻结对蟹肉品质影响较小，冻藏 12 周后，蟹肉品质出现严重下降。另外，杨金生[4]研究了鲜活梭子蟹在 25 ℃下的品质变化，但同样未涉及熟蟹常温贮藏下的品质变化。

大闸蟹作为一种季节性水产品，其加工产品能够

收稿日期：2017-02-22
作者简介：徐贞（1990—），女，江南大学硕士生，主攻包装工艺与机械。
通讯作者：卢立新（1966—），男，博士，江南大学教授、博导，主要研究方向为食品包装技术与安全。

满足消费者对蟹的需求。香辣蟹作为一种即食的风味食品，其贮藏方式严重制约着产业发展，若能实现常温贮藏将会扩大其销售范围，增加消费者购买及贮藏便利性，减少因食物快速腐败而造成的资源浪费。文中将以经过压力蒸汽杀菌的真空包装香辣蟹为研究对象，研究其在 23，33，43 ℃的贮藏温度条件下的品质变化，通过各指标值的变化，确定真空软包装香辣蟹的品质评价指标，并基于该评价指标建立货架期预测模型，为加工风味蟹的常温贮藏提供理论指导。

1　实验

1.1　材料和仪器

材料：鲜活的中华绒螯蟹（均为雄蟹，每只质量为(150±10)g），购于江苏省无锡市农贸市场；碳酸钾、阿拉伯胶、甘油、硼酸、甲基红、亚甲基蓝、硫酸、平板计数琼脂培养基、氯化钠、质量分数为 30%的过氧化氢、甲基红乙醇指示剂、次甲基蓝指示剂，均购于国药集团化学试剂有限公司。

仪器：KSON 恒温恒湿箱，庆声电子科技有限公司；DZQ400-2D 单室真空包装机，三联包装（无锡）有限公司；LDZM 立式压力蒸汽杀菌器，上海申安医疗器械厂；SHP-250 生化培养箱，上海精宏实验设备有限公司；HCB-1300V 海尔垂直层流洁净工作台，南京庚辰科学仪器有限公司；TMS-Pro 物质分析仪，美国 FTC 公司；pH 计，西安云仪分析仪表有限公司；JYL-C012 料理机，九阳股份有限公司。

1.2　制备方法

1.2.1　样品制备

真空软包装香辣蟹的加工：清洗大闸蟹→去鳌、去脚，修尖刺→香辣蟹烹制→室温冷却→铝箔蒸煮袋包装→高压蒸汽杀菌（121 ℃下保温 15 min）→流动水冷却至 35 ℃以下→质量检查→成品。其中香辣蟹的烹制工艺为：高温油烹炒至八成熟→添加酱料、香料→倒入适量开水→小火慢煮至全熟→大火收汁。铝箔蒸煮袋的包装工艺为：充填（每袋 1 只）→真空包装（真空时间为 5 s，热封时间为 5.5 s，热封温度为 170 ℃）。包装材料选择铝箔蒸煮袋(PET/AL/PA/CPP)，其氧气透过系数为 1.11×10^{-16} $cm^3\cdot cm/(cm^2\cdot s\cdot Pa)$，厚度为 0.012 cm。

将制备好的样品放置在相对湿度为 75%，温度分别为 23，33，43 ℃的恒温恒湿箱中。每个样品准备 3 个平行样，每隔 3 d 测定样品 pH 值、质构、TVB-N 值并记录感官评定分数。随机选取样品进行测定，样品腐败变质后结束测定。

1.3　检测指标与检测方法

1.3.1　感官分析

感官评定包括香辣蟹样品的色泽、气味、口感等项目，鉴定由 10 位经验丰富的感官评定者完成。采取 8 分制进行打分，0 分表示最佳品质，8 分表示最差品质，结果以平均值表示[5]。综合评分 6 分为可接受的极限值，评定标准见表 1。

表 1　香辣蟹感官评定

Tab.1 Sensory evaluation of spicy crab

项目	0 分	2 分	4 分	6 分	8 分
色泽	外部色泽鲜亮，肉白，蟹腮、蟹膏颜色正常	外部色泽稍暗，肉白，蟹腮、蟹膏颜色正常	外部色泽稍暗，肉微黄，蟹腮、蟹膏微褐变	外部出现局部变黑，肉稍黄，蟹腮、蟹膏褐变	外部变黑，内部褐变严重
气味	香味十足，无异味	香味较淡，无异味	香味无，无异味	香味无，略有异味	香味无，腐败味严重
口感	肉弹性十足	肉有弹性，耐嚼	肉弹性一般	肉弹性较差	肉无弹性，软烂

1.3.2　pH 值的测定

精确称取 10 g 绞碎后的蟹肉试样，加去离子水至 100 mL，摇匀，浸渍 30 min 后过滤，取约 50 mL 滤液于 100 mL 烧杯中用 pH 计进行测定[6]。

1.3.3　质构分析

利用 TMS-Pro 物性测实仪测试样品的硬度和弹性，选用 P/0.5 柱形探头，测试速度为 1 mm/s，压缩程度为 55%，样品选取规格为 2 cm×2 cm×2 cm 的蟹肉背部肌肉。

1.3.4　挥发性盐基氮的测定

根据 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中所述的微量扩散法，结果以每 100 g 肉中所含氮的质量进行表示[7]。

1.3.5　菌落总数的测定

根据 GB 47892—2010《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》进行测定[8]。

1.4　货架寿命的预测

1.4.1　一级动力学模型

一级动力学是反映品质化学反应速率与该品质表征值关系的动力学方程，与食品有关的很多品质变化大都可以用该动力学模型进行表征[9]，其方程式为：

$$A = A_0 e^{kt}$$

式中：A 为贮藏后食品的品质指标值；A_0 为食品的初始品质指标值；k 为食品品质变化速率常数；t

为食品贮藏时间(d)。

1.4.2　阿伦尼乌斯公式

化学反应速率在很大程度上会受到温度的影响，阿伦尼乌斯公式很好地阐释了两者的关系，其方程为：

$$k = k_0 e^{-E_a/RT}$$

式中：k 为反应速率常数；k_0 为指前因子；E_a 为活化能(J/mol)；R 为摩尔气体常数(8.3144 J/(mol·K))；T 为热力学温度(K)。

食品货架寿命预测就是在一级动力学反应及阿伦尼乌斯公式的理论基础上得到的。根据指标终点 A、初始值 A_0、指前因子 k_0 及活化能 E_a，便可得到食品以该指标变化为基础的货架期寿命，其方程可表达为：

$$L_S = \frac{\ln(A/A_0)}{k_0 \cdot \exp(-E_a/RT)}$$

1.5　数据分析

每个试验至少重复 3 次，结果用平均值表示。试验数据采用 Microsoft office Excel 及 Origin 8.0 进行处理。

2　结果与分析

2.1　感官品质

香辣蟹在不同贮藏温度条件下的感官评价结果见图 1。香辣蟹的感官评分在贮藏期间不断增加，即香辣蟹品质在逐渐降低，且贮藏温度越高，香辣蟹品质变化速率越大。贮藏初期，真空包装下香辣蟹保持着其独特风味，味香肉嫩。23 ℃条件下贮藏至 21 d 时，感官评分为 5.8 分，香辣蟹香味开始减淡，风味一般，口感适中，不影响食用。贮藏第 24 天开始，香辣蟹风味褪去，口感较差，感官评分高达 7 分，直到贮藏 27 d 后，开袋时伴随严重胺味，肉质松软，蟹膏、蟹黄发黑，到达严重腐败的阶段。可知 21 d 是 23 ℃贮藏温度下感官可接受的贮藏期。同样地，高温加速了食品品质变化速率，真空软包装香辣蟹在 33，43 ℃贮藏温度下分别在 18 和 15 d 时感官评分超过 6 分，到达感官可接受的极限。

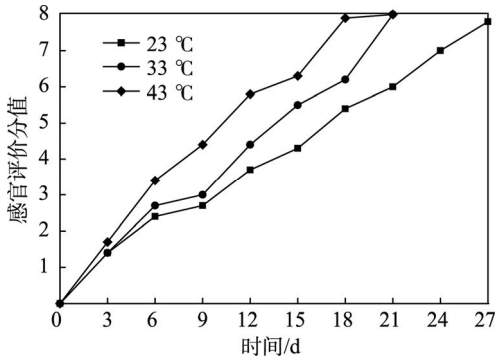

图 1　贮藏期香辣蟹感官评定结果评价结果

Fig.1 The sensory results of spicy crab during storage

2.2　pH 值

贮藏期间香辣蟹肉 pH 值的变化见图 2，可以看出，香辣蟹肉 pH 值初始为 8.89，碱性较强，高于虾类及鱼类的 pH 值，如一般熟制虾仁肉的 pH 值在 5.8 ~ 6.8 之间浮动[10]。初始 pH 值较高的原因可能是蟹壳有较多碱性物质，在烹饪、高温杀菌过程中渗透到蟹肉中[11]。贮藏期间，香辣蟹肉 pH 值在 8.48 ~ 8.9 之间浮动，随时间的变化趋势较不明显，有略微先下降再上升，最终下降的趋势。pH 值的变化主要分为 3 个阶段：蟹肉中糖元在无氧条件下分解产生乳酸等酸性物质，这些物质使 pH 值下降[12]；蟹肉中蛋白质在自身酶的作用下开始发生降解，产生挥发性碱性含氮物质，pH 值出现上升趋势；蟹肉中脂肪和磷脂酶水解产生游离脂肪酸[13]，pH 值最终呈下降趋势。

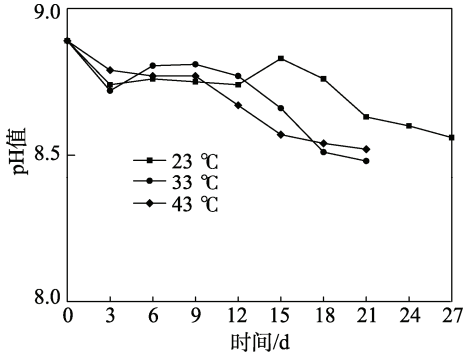

图 2　贮藏期间香辣蟹肉 pH 值的变化

Fig.2 Changes in pH of spicy crab meat during storage

2.3　质构变化

硬度和弹性在一定程度上反映了香辣蟹肉的品质。贮藏期间香辣蟹质构变化见图 3，可知香辣蟹肉品质在逐步降低。实验仪器中弹性指标即第 1 次挤压结束后第 2 次挤压开始前样品恢复的高度，相比肌肉弹性变化，肌肉的硬度变化较为明显。在 23 ℃贮藏条件下，香辣蟹的肌肉硬度在贮藏 21 d 后出现明显下降；33，43 ℃贮藏温度条件下，香辣蟹肉硬度分别在第 18 和 15 天出现明显下降，这与感官评价结果一致。蟹肉质构发生变化主要是因其含有大量的蛋白质，蛋白质在酶和微生物的作用下发生降解，使蟹肉变得松软，口感下降。

2.4　菌落总数

在 23，33，43 ℃贮藏温度条件下，香辣蟹在到达贮藏终点时细菌菌落总数均小于 100 CFU/g。经过高温杀菌和真空包装的香辣蟹，在短时间内细菌的生长处于缓慢阶段，到达香辣蟹腐败变质终点时其值仍然处于一个较低水平，因此，微生物不是香辣蟹变质的主要原因，菌落总数不能指示香辣蟹的品质变化。

2.5　TVB-N 值

贮藏期间香辣蟹 TVB-N 值变化见图 4，3 个不同

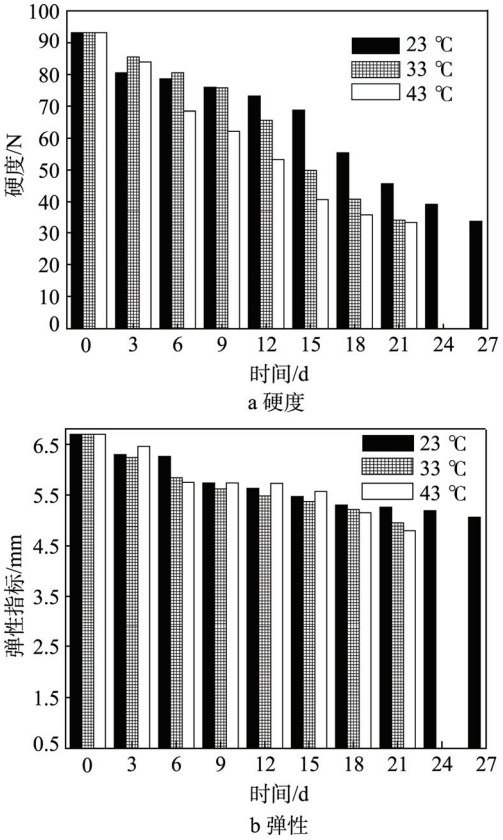

图 3　贮藏期间香辣蟹质构变化

Fig.3 Changes in texture of spicy crab during storage

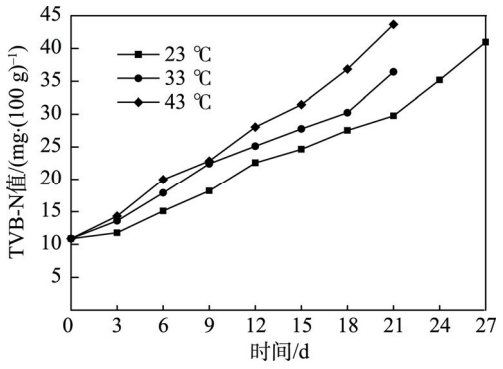

图 4　贮藏期间香辣蟹 TVB-N 值变化

Fig.4 Changes in TVB-N of spicy crab during storage

贮藏温度下，香辣蟹肉蛋白在酶的作用下分解产生的挥发性盐基氮的含量都由较低的初始值上升到极限值水平以上[14]，产生胺味等不良气味，降低了香辣蟹品质。在 23，33，43 ℃贮藏温度条件下，香辣蟹 TVB-N 值分别在第 21，18，15 天达到 29.75，30.21，31.46 mg/(100 g)，接近人感官可接受的极限值，即 30 mg/(100 g) [15]。香辣蟹在 23，33，43 ℃的贮藏温度条件下，TVB-N 值分别在第 21，18，15 天达到人可接受的极限值，与感官评价较为一致。蛋白质酶解是香辣蟹变质的主要原因之一，TVB-N 值的变化可用于指示真空软包装香辣蟹品质的变化。

2.6　货架期模型的建立与预测

据上述分析，TVB-N 值可作为真空软包装香辣蟹常温贮藏品质的指示标准，因此可通过建立 TVB-N 指标值随着贮藏时间和温度变化的动力学模型，来预测真空软包装香辣蟹在某一贮藏温度下的货架寿命。运用一级反应动力学模型方程对试验中所得到的各温度条件下的 TVB-N 值进行回归拟合，相关参数见表 2。

表 2　不同温度下 TVB-N 值的回归方程

Tab.2 The regression equation of TVB-N at different temperature

温度/℃	回归方程	回归系数 R^2	变化速率常数 k
23	y=0.0494x+2.4078	0.9818	0.0494
33	y=0.0556x+2.4824	0.9597	0.0556
43	y=0.0640x+2.4925	0.9729	0.0640

根据已求的 23，33，43 ℃条件下贮藏期间 TVB-N 值的变化速率常数 k，制作纵坐标为 ln k，横坐标为 1/T 的函数关系图，得到线性方程 y=−1209.4x+ 1.073，R^2 =0.9953，该方程具有很好的线性关系。由回归方程及阿伦尼乌斯公式可得，活化能 E_a 为 10.06 kJ/mol，指前因子 k_0 为 2.9。根据货架期寿命方程可得到基于 TVB-N 值的货架期预测模型：

$$L_S = \frac{\ln(A/10.7)}{2.9\cdot\exp(-1.21\times10^3/T)}$$

式中：A_0=10. 7 mg/(100 g)。

香辣蟹感官可接受的 TVB-N 值为 30 mg/(100 g)，设置该值为香辣蟹品质终点值，代入货架期预测模型可得到香辣蟹在不同贮藏温度下的货架寿命。为了验证该模型的准确性，分别对香辣蟹在 4，12，25 ℃条件下贮藏的实际货架寿命进行试验，并与预测模型理论值进行比较，其相对误差结果见表 3。

表 3　香辣蟹在不同贮藏温度下货架期的预测值和实际值

Tab.3 Predicted and observed shelf-life of spicy crab at different temperature

贮藏温度/℃	货架期预测值/d	货架期实际值/d	相对误差/%
4	27.8	30	−7.3
12	24.6	25	−1.6
25	20.4	21	−2.9

3　结语

讨论了真空软包装香辣蟹分别在 23，33，43 ℃的贮藏温度条件下感官评价、pH 值、质构、TVB-N 值、细菌菌落总数的变化，发现其 pH 值、质构及 TVB-N 值均随贮藏时间发生变化，细菌菌落总数始终没有超出卫生标准值。其中，TVB-N 值的变化与感官评价具有一定的相关性，建立 TVB-N 值的货架期预测模型能够很好地对真空软包装香辣蟹进行货架

寿命预测，常温贮藏真空软包装香辣蟹货架寿命实际可达 21 d。经高温杀菌后的软包装香辣蟹的常温贮藏保质期较其他食品较短，其主要原因是蟹含有丰富的蛋白质和脂肪，蛋白质分解产生含氮或胺类物质导致蟹肉发生腐败变质。除此之外，脂肪的氧化也是蟹产生哈喇味、蟹膏及蟹黄变黑的主要原因，而微生物在贮藏期内生长缓慢，对香辣蟹品质下降的影响甚小。

参考文献：

[1] 汪留全, 申德林, 李海洋, 等. 对河蟹养殖业可持续发展若干问题的思考[J]. 安徽农业科学, 2001, 29(6): 784—787.
WANG Liu-quan, SHEN De-lin, LI Hai-yang, et al. The Consideration on Some Issues of Sustainable Development of Crab Breeding Industry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2001, 29(6): 784—787.

[2] LORENTZEN G, ROTABAKK B T, OLSEN S H, et al. Shelf Life of Snow Crab Clusters Stored at 0 and 4 ℃[J]. Food Control, 2016(9): 454—460.

[3] 陈舜胜, 陈媛媛, 邱伟强, 等. 冻结和冻藏对中华绒螯蟹蟹肉品质的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(10): 1793—1799.
CHEN Shun-sheng, CHEN Yuan-yuan, QIU Wei-qiang, et al. The Effects of Freezing and Frozen on Eriocheir Sinensis Crab Meat Quality[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(10): 1793—1799.

[4] 杨金生, 夏松养, 方益, 等. 梭子蟹 TPA 质构分析及不同冻藏温度下对其品质的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(3): 129—131.
YANG Jin-sheng, XIA Song-yang, FANG Yi, et al. Application of TPA in Portunus Pelagicus and Different Freeze Storage Temperature on Its Quality[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(3): 129—131.

[5] ANACLETO P, TEIXEIRA B, ARQUES P, et al. Shelf-life of Cooked Edible Crab Stored under Refrigerated Conditions[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2011, 44(6): 1376—1382.

[6] GB 5009.237—2016, 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定[S].
GB 5009.237—2016, The National Food Safety Standards: Determination of pH Value[S].

[7] GB 5009.228—2016, 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定[S].
GB 5009.228—2016, The National Food Safety Standards: Determination of TVB-N in Food[S].

[8] GB 47892—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 47892—2010, The National Food Safety Standards: Food Microbiology Test Determination of the Total Number of Colonies[S].

[9] 谢主兰, 陈龙, 雷晓凌, 等. 采用挥发性盐基氮动力学模型预测低盐虾酱的货架寿命[J]. 现代食品科技, 2013(1): 29—33.
XIE Zhu-lan, CHEN Long, LEI Xiao-ling, et al. Shelf Life Prediction of Low-salt Shrimp Sauce through Kinetic Models of Total Volatile Basic Nitrogen[J]. Modern Food Science and Technology, 2013(1): 29—33.

[10] 王欢, 谢超, 孙媛, 等. 凡纳滨对虾即食虾仁在常温保藏中的货架期预测及品质分析[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 1095—1102.
WANG Huan, XIE Chao, SUN Yuan, et al. Shelf Life Prediction and Quality Anaylysis of Litopenaeus Vannamei Instant Shrip during Room Temperature Storage[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(4): 1095—1102.

[11] 陈德慰. 熟制大闸蟹风味及冷冻加工技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
CHEN De-wei. Flavor and Freezing Technology of Cooked Chiness Mitten Crab[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.

[12] HUI G, WEI L, FENG H, et al. Effects of Chitosan Combined with Nisin Treatment on Storage Quality of Large Yellow Croaker[J]. Food Chemistry, 2016(3): 276—282.

[13] BENJAKUL S, SUTTHIPAN N. Muscle Changes in Hard and Soft Shell Crabs during Frozen Storage[J]. Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie, 2009, 42(3): 723—729.

[14] 吴行印, 谢晶, 王旭. 不同贮藏温度下小黄鱼货架期预测模型的建立和评价[J]. 包装工程, 2016, 37(19): 84—90.
WU Xing-yin, XIE Jing, WANG Xu. Establishment and Evaluation of the Shelf-life Prediction Model for Small Yellow Croaker under Different Store Temperatures[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(19): 84—90.

[15] CASTRO P, PADRÓN J C P, MA J C C, et al. Total Volatile Base Nitrogen and Its Use to Assess Freshness in European Sea Bass Stored in Ice[J]. Food Control, 2006, 17(4): 245—248.