

# 中国对虾重组虾肉货架期预测模型的建立

陈建林, 张雪娇, 王向红, 王颀, 张亚卓, 桑亚新

(河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071000)

**摘要:** 本文针对我国水产品副产物加工技术落后的现状, 在以中国对虾在加工过程中产生的副产物-碎虾肉为原材料, 通过利用谷氨酰胺转氨酶(TG)及非肉蛋白等添加剂制得重组虾肉制品的基础之上, 对其贮存期间品质(理化指标和感官指标)变化进行分析, 确定了重组虾肉品质变化的关键因素-挥发性盐基氮(TVB-N), 进而利用 TVB-N 变化速率常数与贮藏温度之间的 Arrhenius 方程以及 TVB-N 含量与贮藏时间之间的一级动力学方程建立了重组虾肉货架期预测模型, 结果表明: 贮藏温度越高, 重组虾肉品质下降越快, 货架寿命越短, 并且由验证试验得到的货架寿命预测值与实际值的相对误差均在 10% 以内, 可用于预测重组虾肉制品在贮藏过程中的品质变化情况和货架期, 为碎虾肉的综合利用及新型虾肉制品开发、生产提供了理论依据。

**关键词:** 中国对虾; 重组虾肉; 货架期; 预测模型

文章编号: 1673-9078(2015)10-234-240

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.10.039

## Establishment of a Model to Predict the Shelf Life of Restructured Shrimp

CHEN Jian-lin, ZHANG Xue-jiao, WANG Xiang-hong, WANG Jie, ZHANG Ya-zhuo, SANG Ya-xin

(Department of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

**Abstract:** The technology of processing by-products of aquatic products in China is currently lagging behind. To tackle this, we used by-products produced in the processing of *Fenneropenaeus chinensis*, chopped shrimp, as raw material, to produce restructured shrimp meat by using additives such as glutamine transaminase (TG) and non-meat proteins. Based on the analysis of its quality during storage (physical and chemical indexes and sensory index), we determined the key factor of the quality changes of the restructured shrimp: volatile base nitrogen (TVB-N). We further used the Arrhenius equation between TVB-N change rate constant and the storage temperature, and first-order dynamic equation between storage time and TVB-N content to establish a prediction model for the shelf life of restructured shrimp meat. The results showed that the higher the storage temperature, the faster the decrease in the quality of the recombinant shrimp and the shorter the shelf life, and the relative error was within 10% between the predicted value and the actual value of shelf life. The model can be used to predict the changes in the quality during storage and the shelf life of the restructured shrimp. This study provided a theoretical basis for the comprehensive utilization of chopped shrimp and the development and production of new prawn meat products.

**Key words:** *Fenneropenaeus chinensis*; restructured shrimp; shelf life; prediction model

中国对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*), 又称东方对虾, 属节肢动物门, 甲壳纲, 十足目, 对虾科, 对虾属, 是中国特产, 主要分布于我国黄渤海和朝鲜西部沿海, 其中我国的辽宁、河北、山东及天津市沿海是主要产区<sup>[1]</sup>。中国对虾具有高密度养殖、高盐适应力强、滋味鲜美、营养价值极高的特点, 是“海虾淡养”的优质品种之一, 与凡纳滨对虾、斑节对虾并称为世界养殖产量最高的三大优良虾种<sup>[2]</sup>。

中国对虾除鲜食外, 最常见的初级加工品有冻虾

收稿日期: 2014-12-22

基金项目: 国家公益性行业科研专项(201205031); 河北省科技支撑项目(12271008D; 13273203D)

作者简介: 陈建林(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全  
通讯作者: 桑亚新(1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品微生物和农副产品综合加工利用

仁、冻虾糜、冻虾饼等, 然而在生产虾类制品的加工过程中, 大量的碎虾肉被残留下来, 本研究室利用谷氨酰胺转氨酶和非肉蛋白使碎虾肉蛋白表面形成的凝胶网络结构而重新粘连在一起, 制成重组虾肉, 从而使其品质特性接近自然虾肉的品质特性<sup>[3]</sup>。

食品自身是一个非常复杂的多元体系, 其存放的外界环境, 如温度、光度等因素都会不同程度的影响食品物化变化反应、酶促反应、微生物繁殖的进行, 进而会导致食品腐败变质, 然而就是在食品腐败变质系统非常复杂的背景下, 中外学者针对食品工程中食品品质变化动力学和食品劣变机制进行了系统的深入的研究, 找到了预测食品货架期的模型, 即通过利用动力学模型很好反映食品品质的变化情况, 进而预测食品货架期。加之, 消费者健康饮食观念的不断完善, 对食品安全、健康等的要求的不断提高, 因此有关食

品保鲜、保质、延长贮藏期等所用到的食品货架期动力学模型的探究越来越引起广大科研人员的关注,成为了焦点问题之一。

随着人们饮食理念的不断完善,消费者对海产品新鲜度及货架期等要求也在不断提高,加之外界环境、微生物和酶等因素的作用,其在加工、贮存和运输过程中易腐败变质,品质下降。因此我们必须掌握重组虾肉制品贮藏时的品质变化规律及动力学特性。本文通过在不同温度下监测并分析重组虾肉的品质变化及动力学特性<sup>[4]</sup>,利用挥发性盐基氮(TVB-N)的阿伦尼乌斯方程及 TVB-N 的一级动力学方程共同建立了重组虾肉的货架期预测模型,进而实现对重组虾肉在某一温度下的品质变化及货架期的快速准确预测<sup>[5-8]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

重组虾肉:以购自于河北省唐山市的中国对虾为原材料,利用谷氨酰胺转氨酶及非肉蛋白生产重组虾肉,其工艺配方为: TG1.8%,大豆分离蛋白 3.7%,酪蛋白酸钠 3.1%,食盐 1.5%;加工工艺条件为: TG 反应温度 45 °C,反应时间 3.0 h、熟制温度 90 °C、熟制时间 20 min。具体工艺流程如下:

(谷氨酰胺转氨酶、酪蛋白酸钠、大豆分离蛋白、食盐、辅助调料等)

↓

原材料→预处理→绞碎→腌制→搅拌、斩拌→注模→加热反应→熟制→脱模→烘烤→包装→反压杀菌→成品→贮藏

真空包装后贮藏于 30、35 和 40 °C 的环境中进行各项指标的监测。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 pH 的测定

精确称取事先绞碎的重组虾肉 10.00 g,加入经煮沸冷却过的 90 mL 蒸馏水,磁力搅拌 30 min,然后过滤至 200 mL 烧杯中,最后测定收集到的滤液的 pH 值,试验重复 3 次<sup>[9]</sup>。

#### 1.2.2 水分含量测定方法

精确称取 5.00 g 重组虾肉样品于 105 °C 烘箱中烘烤 4 h,测定其水分含量,然后继续烘烤 1 h 测定其水分含量,直到其前后两次称重相差小于 2 mg 即可认为恒重,试验重复 3 次。

#### 1.2.3 水分活度测定

精确称取搅碎后的重组虾肉样品 3.00 g,放入水分活度盒中铺平,用水分活度测定仪(FA-stlab,法国

GBX 公司)测定水分活度,平衡后读数,试样重复 3 次。

#### 1.2.4 色泽测定方法

用色差计(CR-400,柯尼卡美能达公司)测定 L\* 值, a\* 值, b\* 值,同时对色泽差异值  $\Delta E^*$  进行评价,其中  $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ ,重复 3 次。

#### 1.2.5 弹性、硬度、胶粘性和咀嚼性测定方法

用物性质构仪(TMS-Pro,美国 Food Technology Corporation 公司)测定重组虾肉的质构特性,检测参数:直径 1 cm 的圆柱探头,测前速度: 1 mm/s,测量速度: 60 mm/s,测后速度: 60 mm/s,压缩率: 45%,两次压缩间隔 10 s,重复 3 次。

#### 1.2.6 挥发性盐基氮(TVB-N)的测定

前处理:准确称取绞碎研匀的重组虾肉 10.00 g,加 9 倍无氨蒸馏水浸泡 30 min,在此期间用磁力搅拌器不停地搅拌,然后过滤所得滤液即为待测液,最后按照 GB/T5009.44-2003 中微量扩散法测定<sup>[10]</sup>。

#### 1.2.7 菌落总数的测定

菌落总数按 GB/T4789.2-2008 测定<sup>[11]</sup>。

#### 1.2.8 感官评分方法

将九个样品采用任意组合的三位数编号,分装于一次性纸碟中。评定小组由 10 名食品专业的研究生组成,设产品的色泽、嫩度、组织结构和风味为感官评定指标,评定人员独立评定,每评定一个样品,用清水漱口,间隔 6 min 后再品评下一个样品,每个试样重复 3 次,最后收集评定结果进行统计分析。参照相关文献制定新的感官评分标准见表 1:

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

项目	评分标准	分值	权重
色泽	具有虾肉制品特有的色泽,虾红色	5	0.2
嫩度	弹性好,软硬适度,肉质嫩	5	0.3
组织结构	组织紧密,虾型完整,无其它杂质	5	0.2
风味	香味浓郁,咸甜适中,无异味,臭味	5	0.3

### 1.3 数据分析

利用 Excel 和 SPSS 软件对试验数据进行方差分析,结果采用平均值±正负偏差形式表示,试验重复三次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 重组虾肉在贮藏期间的品质变化情况

#### 2.1.1 重组虾肉在贮藏期间的 pH 变化情况

在不同贮藏温度下贮藏时,重组虾肉的 pH 变化

情况如图 1 所示。

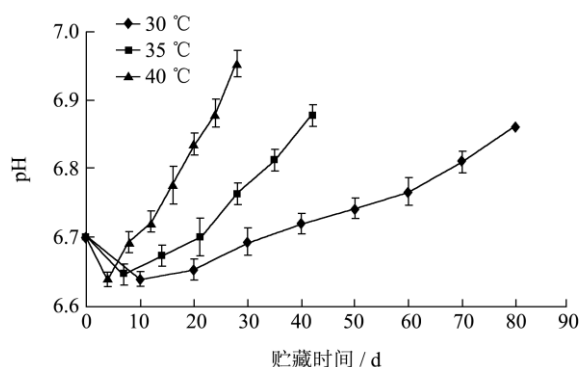


图 1 重组虾肉贮藏期间 pH 变化

Fig.1 Changes in pH of restructured shrimp during storage

由图 1 可知：整个贮藏过程中各个贮藏温度下 pH 值均无较大变化，在 6.6~7.0 范围内上下波动，在贮藏期间均呈现先下降而后上升的趋势，温度为 30 °C 时，pH 变化缓慢，且随着温度的升高变化速率增大。pH 在贮藏初始阶段的下降主要是因为重组虾肉中的一部分糖原分解成乳酸并积累起来，导致酸性增强。然而随着贮藏期的延长，重组虾肉中的蛋白质在微生物和内源性酶的作用下被分解生成的挥发性含氮物质以及其它碱性物质逐渐增多，继而 pH 值又逐渐上升，因此 pH 上升在一定程度上能够证明氨和三甲胺等碱性物质的生成，反映着重组虾肉的腐败变质情况。贮藏末期，3 个处理 pH 最高为 6.95，处于消费者可以接受的程度范围内。

### 2.1.2 重组虾肉在贮藏期间的水分含量变化情况

重组虾肉在不同贮藏温度下的水分含量变化情况如图 2 所示。

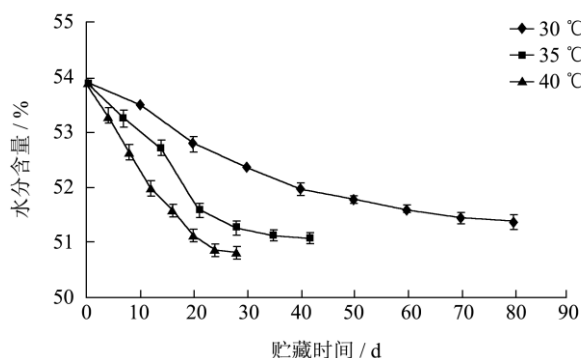


图 2 重组虾肉贮藏期间水分含量变化

Fig.2 Changes in moisture of restructured shrimp during storage

由图 2 可得：贮藏在各个温度下样品的水分含量在贮藏期间逐渐降低，最后趋于稳定。而水分含量下降速率与贮藏温度呈正相关变化，即温度越高，失水速率越大。该情况与包装袋的密封性有关，其不能完全阻隔水分，从而在贮存过程中引起水分蒸发。另一

方面，温度的升高会加速水分子运动，进一步促进水分的散失，最终导致水分含量不断降低，这在一定程度上会影响重组虾肉质地结构与风味特色。

### 2.1.3 重组虾肉在贮藏期间的 Aw 变化情况

重组虾肉在不同贮藏温度下的 Aw 变化情况如图 3 所示。

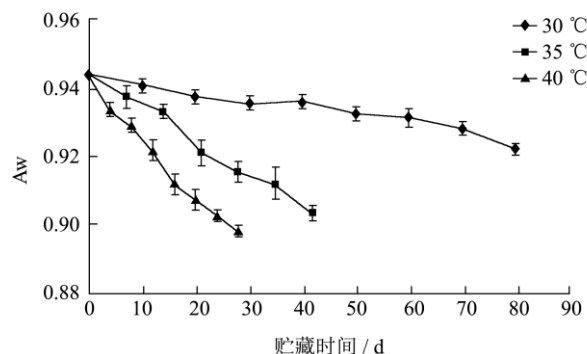


图 3 重组虾肉贮藏期间 Aw 变化

Fig.3 Changes in Aw of restructured shrimp during storage

由图 3 可知：在整个贮藏过程中，Aw 与贮藏时间呈负相关变化，而 Aw 下降速率与贮藏温度呈正相关变化；40 °C 贮藏 28 d 时，Aw 从 0.944 下降到 0.898；30 °C 贮藏 80 d 时，Aw 从 0.944 下降到 0.921，出现这些情况的原因同贮藏期间样品水分含量的变化的原因相似，包装所用的耐蒸煮包装袋对水分不能完全阻隔水分的蒸发，Aw 随贮藏时间的延长而缓慢下降，并且贮藏温度越高，水分蒸发越快，从而 Aw 下降越快。

### 2.1.4 重组虾肉在贮藏期间的弹性变化情况

重组虾肉在不同贮藏温度下弹性的变化情况如图 4 所示。

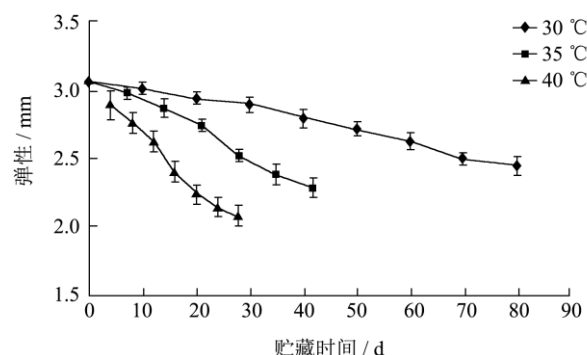


图 4 重组虾肉贮藏期间弹性的变化

Fig.4 Changes in springiness of restructured shrimp during storage

从图 4 可以看出：在整个的贮藏期间，重组虾肉的弹性与贮藏时间呈负相关变化，但是变化（下降）幅度不大，而且弹性下降的速率与贮藏温度呈正相关变化，因为在贮藏过程中，弹性蛋白随着贮藏温度的升高而被降解为小分子物质，破坏了弹性蛋白与肌原

蛋白等其它蛋白之间的共价键,使得它们之间的连接发生了变化,降低了彼此之间的结合程度,从而导致肌肉弹性下降,同时口感也随之越来越差。

### 2.1.5 重组虾肉在贮藏期间的硬度变化情况

硬度是食品感官的一项重要指标,其过高或过低均会影响重组虾肉的口感。在不同贮藏温度下重组虾肉的硬度变化情况如下图 5 所示。

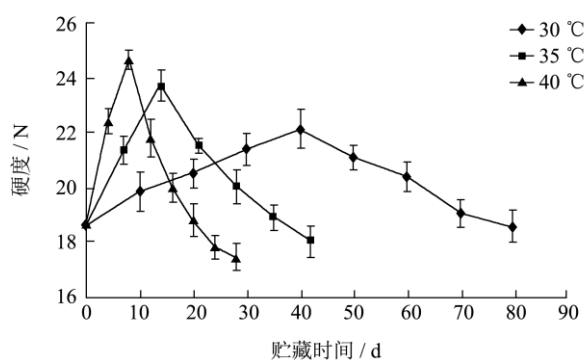


图 5 重组虾肉贮藏期间硬度的变化情况

Fig.5 Changes in the hardness of restructured shrimp during storage

由图 5 可知,三个不同处理的重组虾的硬度随着贮藏时间的延长先上升后下降,而且贮藏温度越高,硬度变化越明显。硬度的变化一方面是由于水分的不断蒸发,使得重组虾含水量降低,从而导致硬度增加;另一方面是由于重组虾中的部分蛋白质发生变性,例如肌动球蛋白变性等,例如有研究发现肌动球蛋白变性将会导致鲑鱼组织结构发生软化现象。因此,重组虾在贮藏初期时,水分蒸发的作用要大于蛋白质变性的作用,故硬度会先升高;但是随着贮藏期的延长,蛋白质会被微生物和酶所降解变性,这时蛋白质的变性作用要大于水分蒸发的作用,故硬度会下降。

### 2.1.6 重组虾肉在贮藏期间的咀嚼性变化情况

重组虾肉在不同贮藏温度下贮藏时咀嚼性的变化情况如图 6 所示。

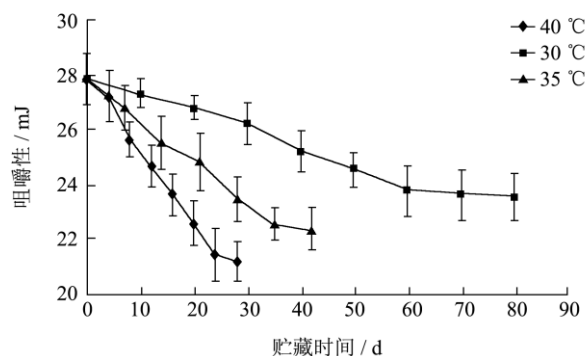


图 6 重组虾肉贮藏期间的咀嚼性变化情况

Fig.6 Changes in the chewiness of restructured shrimp during storage

由图 6 可知:在贮藏期间,重组虾肉的咀嚼性与贮藏时间呈负相关变化,并且其下降速率与贮藏温度呈正相关变化,这主要是因为重组虾贮藏过程中,微生物和酶会分解蛋白质,破坏它们之间的共价交联结构,增大肌原纤维间的间隔,从而使得彼此之间的作用力下降,结合程度降低,这些均会导致咀嚼性差,质地结构受到影响。

### 2.1.7 重组虾肉在贮藏期间的 $\Delta E^*$ 变化情况

不同的贮藏温度对重组虾肉的颜色作用情况如图 7 所示。

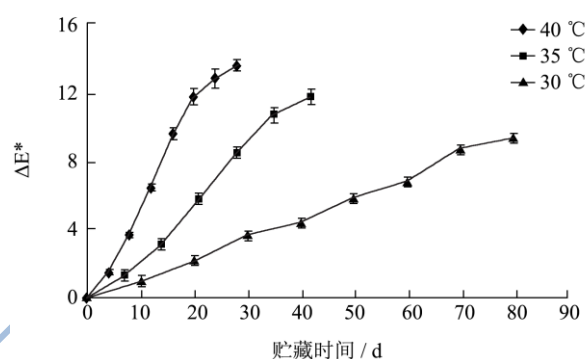


图 7 重组虾肉贮藏期间的  $\Delta E^*$  变化情况

Fig.7 Changes in  $\Delta E^*$  of restructured shrimp during storage

以开始贮存时重组虾的样品作为对照,由图 7 可知在不同温度下贮藏时  $\Delta E^*$  逐渐升高,且贮藏温度越高,  $\Delta E^*$  上升速率越快,在整个贮藏期间色差变化明显。与重组虾的初始贮藏色泽相比,当重组虾肉在 40 °C 贮藏 28 d 时,  $\Delta E^*$  从 0 升高到 13.69,  $\Delta E^* > 12.0$ ,说明重组虾肉色泽变化非常明显;在 30 °C 下贮藏 80 d 时,  $\Delta E^*$  从 0 升高到 9.45,此时  $6.0 < \Delta E^* < 12.0$ ,说明重组虾肉色泽变化较大。这是由于重组虾肉在贮藏期间,其内部的一些蛋白质(例如:肌红蛋白、血红蛋白及其它蛋白等)会与氧气发生反应,即酶促褐变导致其亮度、彩度都降低,从而使重组虾肉制品的色泽接受性降低,最终影响其感官品质。

### 2.1.8 重组虾肉在贮藏期间的 TVB-N 变化情况

重组虾肉在不同温度下贮藏时,其 TVB-N 含量变化情况见下图 8。

从图 8 可知:TVB-N 含量与贮藏时间呈正相关变化,且其增长速率与贮藏 T、t 均呈正相关变化,出现这些现象的原因是在重组虾肉贮藏期间,蛋白质被细菌等微生物和内源性酶降解产生大量的氨及胺类等具有挥发性的碱性含氮物质,此种物质又会结合因腐败产生的有机酸形成 TVB-N,随着腐败的延续而逐渐积累,最后导致食品腐败。因此 TVB-N 含量是衡量水产品鲜度的关键指标之一。由图可知重组虾在贮藏期

间 TVB-N 含量不断上升, 表明其在贮藏过程中鲜度不断下降。

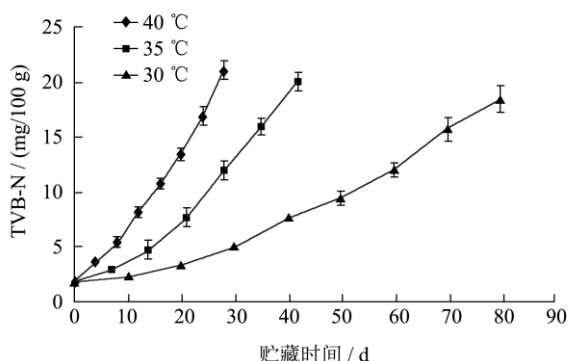


图 8 重组虾肉贮藏期间的 TVB-N 变化情况

Fig.8 Changes in TVB-N of restructured shrimp during storage

### 2.1.9 重组虾肉在贮藏期间的菌落总数变化情况

一般来说, 对虾制品菌落总数 $[\log(\text{cfu/g})] \leq 5$ 为一级鲜度,  $5 < [\log(\text{cfu/g})] < 6$ 为二级鲜度, 菌落总数达到 $[\log(\text{cfu/g})] > 6$ 时, 通常虾制品已腐败不能食用, 此时断定为货架期终点, 而本试验的重组虾肉在不同温度下贮藏时 $[\log(\text{cfu/g})]$ 均小于 2, 远远低于对虾制品二级鲜度时的菌落总数, 产生这种现象的原因可能与本试验采用的反式杀菌条件(121 °C, 15 min)以及重组虾肉本身较低的含水量有密切关系, 在二者共同作用下, 微生物的生长繁殖得到有效抑制。

### 2.1.10 重组虾肉在贮藏期间的感官评分变化情况

重组虾肉在不同温度下贮藏时, 其感官评分变化

表 2 重组虾肉在贮藏期间理化指标和感官评分之间的皮尔逊相关系数表

Table 2 Pearson correlation coefficient between physical and chemical indexes and sensory evaluation of restructured shrimp during storage

温度/°C	pH	水分	Aw	弹性	硬度	咀嚼性	$\Delta E^*$	TVB-N
30	0.948**	0.879**	0.988**	0.984**	0.298	0.933**	0.975**	0.992**
35	0.936**	0.911**	0.979**	0.983**	0.503	0.965**	0.978**	0.996**
40	0.966**	0.962**	0.981**	0.986**	0.631	0.988**	0.982**	0.995**

注: \*\*显著性水平在 0.01 以下, 即总体无显著线性相关的可能性小于等于 0.01。

皮尔逊相关系数越大, 说明两者之间的相关性越大, 由表 2 可知: 在所有相关检测指标中, TVB-N 与感官评分两者之间的皮尔逊相关系数最高, 即 TVB-N 与感官评分之间的相关性最大, 因此把 TVB-N 作为重组虾肉品质变化和货架期动力学预测模型的关键因素。根据以上分析可知, 伴随着 TVB-N 的不断升高, 感官评分逐渐下降, 二者的相关性很高; 与此同时, 贮藏温度越低, 二者的相关性越高, 呈负相关变化, 这也说明了本试验利用高温加速试验推测低温贮藏期具有较高的可信度; 在三个贮藏温度贮藏期间, 当

情况见下图 9。

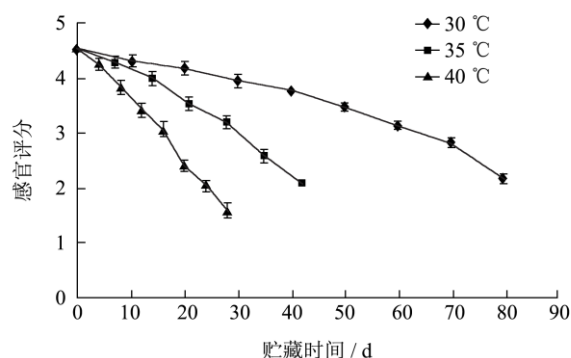


图 9 重组虾肉在贮藏期间感官评分的变化情况

Fig.9 Changes in the sensory scores of restructured shrimp during storage

从图 9 可知: 在整个贮藏期间, 感官评分随着贮藏时间的延长逐渐降低, 且贮藏温度越高, 下降速率越快。感官评分主要集中于重组虾肉的色泽、气味和质地结构的品质变化情况。新鲜重组虾肉的感官评分分数为 4.5 分, 此时品质为最佳, 当 40 °C 贮藏 28 d 时, 重组虾肉色泽变暗、质地变粘并且略带一股腥臭味, 贮存末期总体感官不被接受; 在 30 °C 贮藏 80d 时, 其总体感官不被接受。

## 2.2 重组虾肉的货架期预测模型

### 2.2.1 重组虾肉在贮藏期间理化指标与感官评分之间的相关性

在重组虾肉样品贮藏期间, 各个理化指标与感官评分之间的相关性如下表 2。

TVB-N 值处于 16~22 mg/100 g 之间时样品品质达到感官评分的终点, 因此当 TVB-N 值为 16.0 mg/100 g 时, 本试验认为重组虾肉的货架期到此结束。

### 2.2.2 重组虾肉在贮藏期间 TVB-N 的一级动力学方程

不同贮藏温度下 TVB-N 的一级动力学方程<sup>[12]</sup>如表 3 所示。

由表 3 可知, 随着贮藏时间的延长, TVB-N 含量不断增加, 并且与贮藏时间呈线性关系, 三个回归方程的复相关系数  $R^2$  均大于 0.95, 表明回归方程能很好

地反映 TVB-N 与贮藏条件的关系,再一次验证了 TVB-N 是反映重组虾肉品质变化的关键因素;同时,得到的 TVB-N 的变化速率常数 k 分别为 0.0301、0.0581 和 0.0823。

表3 重组虾肉在不同贮藏温度下 TVB-N 值随贮藏时间变化的回归方程

Table 3 Regression equation between TVB-N and storage time of restructured shrimp stored at different temperatures

贮藏温度/℃	回归方程	R <sup>2</sup>	k	lnk
30	Y=0.0301X+0.6610	0.9859	0.0301	-3.50323
35	Y=0.0581X+0.7205	0.9851	0.0581	-2.84559
40	Y=0.0823X+0.9181	0.9576	0.0823	-2.49738

### 2.2.3 重组虾肉在贮藏期间 TVB-N 的阿伦尼乌斯方程

以 lnk 对贮藏温度的倒数 1/T 作图,如图 10。

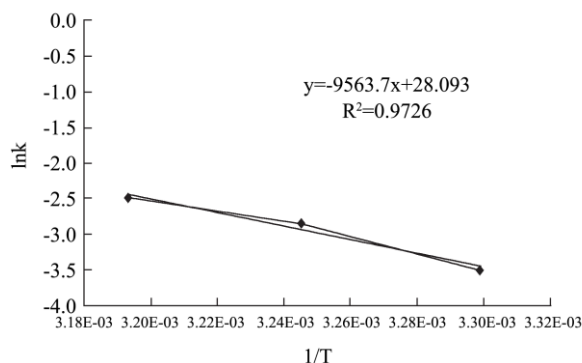


图 10 TVB-N Arrhenius 曲线

Fig.10 Arrhenius curve of TVB-N change in restructured shrimp

由图 10 得到线性回归方程  $Y = -9563.7X + 28.093$  ( $R^2 = 0.9726$ ),即 TVB-N 阿伦尼乌斯曲线,由 Arrhenius 方程的变形公式:

$$\ln k = -\frac{Ea}{RT} + \ln k_0$$

计算得到 TVB-N 变化的活化能 Ea 为 79.51kJ/mol,指前因子 k<sub>0</sub> 为 1.54×10<sup>12</sup>,因此可得到 TVB-N 的 Arrhenius 方程为:

$$k = 1.54 \times 10^{12} \times \exp\left(-\frac{79.51 \times 10^3}{RT}\right)$$

表 5 根据动力学模型计算的不同贮藏温度下重组虾肉的货架期

Table 5 Shelf-life of restructured shrimp stored at different temperatures according to kinetic model

贮藏温度/℃	4	15	20	25	30	35	40
货架期/d	1352.8	362.4	205.7	119	70.1	42	25.6

## 3 结论

### 3.1 重组虾肉货架期的关键指示因素的确定

重组虾肉在不同温度下贮藏时,通过监测其基础

### 2.2.4 重组虾肉的货架期预测模型

将 Ea 为 79.51kJ/mol, k<sub>0</sub> 为 1.54×10<sup>12</sup> 代入一级动力学方程  $A = A_0 \exp(kt)$  的变形公式  $\ln A = \ln A_0 + kt$  中,得到重组虾肉货架期预测模型<sup>[13]</sup>,其方程为:

$$\ln A = \ln A_0 + 1.54 \times 10^{12} \times \exp\left(\frac{9.563 \times 10^3}{273.15 + a}\right) \times t$$

其中, A=TVB-N 值(mg/100g), A<sub>0</sub>=TVB-N 初始值, a=贮藏温度(℃), t=贮藏时间(d),初始 TVB-N 值确定为 1.86 mg/100g,贮藏末期 TVB-N 为 16 mg/100g。如果重组虾肉贮存在 0~40℃ 范围内,其货架期可以通过此货架期预测模型的方程来计算,从而推算出重组虾肉在不同贮藏温度下贮藏时的货架期。

### 2.2.5 重组虾肉货架期预测模型的验证及其货架期预测

#### (1) 货架期预测模型的验证

将重组虾肉放在 20℃、37℃ 和 42℃ 温度下进行贮藏,定期检测各项指标,然后将其实际货架寿命与利用 TVB-N 动力学模型计算出的货架期预测值进行比较,进一步验证动力学模型的可靠性与准确性,以两者之间的相对误差作为验证结果,如表 4 所示,

表 4 重组虾肉在 20、37 和 42℃ 贮藏时货架期的预测值和实测值

Table 4 Predicted and observed shelf-life of restructured shrimp stored at 20, 37 and 42℃

贮藏温度/℃	货架期预测值/d	货架期实测值/d	相对误差/%
20	205.7	225	8.58
37	34.4	37	7.03
42	21.1	22	4.09

由表 4 可知,该模型的预测值与实际值相对误差在 10% 以内,拟合精度较高,可以准确快速预测重组虾肉在贮藏期间的品质变化及贮藏寿命<sup>[14-15]</sup>。

#### (2) 由货架期预测模型预测货架寿命

根据感官评分结果,重组虾肉的货架期结束于 TVB-N 值 16.0 mg/100g,利用本试验建立重组虾肉货架期预测模型计算其货架期的预测值<sup>[16]</sup>,结果见下表 5 所示。

理化指标 (pH、水分含量、Aw、硬度、弹性、咀嚼性、色泽及 TVB-N),并进行感官评定,根据各指标与感官评分之间的皮尔逊相关系数,确定了重组虾肉品质变化和货架寿命的关键指示因素-TVb-N。

### 3.2 重组虾肉货架期预测模型的建立

根据 TVB-N 的阿伦尼乌斯曲线, 计算得到 TVB-N 变化的活化能  $E_a$  为 79.51 kJ/mol, 指前因子  $k_0$  为  $1.54 \times 10^{12}$ , 进而利用 TVB-N 的 Arrhenius 方程以及 TVB-N 的一级动力学方程建立了重组虾肉的货架期预测模型, 其方程为:

$$\ln A = \ln A_0 + 1.54 \times 10^{12} \times \exp\left(\frac{9.563 \times 10^3}{273.15 + a}\right) \times t$$

在生产实际中, 当确定贮藏温度和贮藏时间时, 通过此模型可在贮藏过程中估算产品的 TVB-N 含量变化情况。与此同时, 已知贮藏温度和 TVB-N 含量时, 我们也可以利用此模型估算重组虾肉的货架期。因此, 在动力学模型建立出来的前提下, 只要知道贮藏温度、贮藏时间及 TVB-N 含量这三者中的两者, 即可估算出第三个参数。

### 3.3 重组虾肉货架期预测模型的验证及货架期预测

根据感官评定的结果, 将 TVB-N 值为 16 mg/g 作为货架寿命终点, 利用建立的重组虾肉货架期预测模型能够准确预测 0~40 °C 贮藏温度下重组虾肉的货架期理论值, 且该模型的预测值与实际值相对误差在 10% 以内, 拟合精度较高, 可以快速准确地预测重组虾肉在贮藏期间的品质变化及其货架寿命。

### 参考文献

- [1] 陈文汉, 宁凌. 中国对虾产业现状及相关研究综述[J]. 渔业经济研究, 2008, 2: 21-27  
CHEN Wen-han, NING Ling. Summary of present situation and relative research of chinese shrimp industry [J]. Fisheries Economy Research, 2008, 2: 21-27
- [2] 吴晨, 李孔岳. 中国对虾产业发展现状及国际竞争力提升对策[J]. 中国渔业经济, 2012, 2: 83-88  
WU Chen, LI Kong-yue. The present situation and the countermeasure to promote international competitiveness of shrimp industry in China [J]. Chinese Fishery Economy, 2012, 2: 83-88
- [3] 桑亚新, 贾英民, 王向红, 等. 转谷氨酰胺酶及其在食品工业中的研究进展[J]. 中国食品学报, 2004(03): 95-98  
SANG Ya-xin, JIA Ying-min, WANG Xiang-hong, et al. Transglutaminase and its research advance in food industry[J]. China Food Journal, 2004, 3: 95-98
- [4] 杨宪时, 姜兴为, 李学英, 等. 伽马辐照对冰藏大黄鱼品质和货架期的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 376-381  
YANG Xian-shi, JIANG Xing-wei, LI Xue-ying, et al. Effects of gamma irradiation on quality and shelf life of iced *Pseudosciaena crocea* [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 376-381
- [5] Santiago P A, Carmen P, et al. Biochemical changes and quality loss during chilled storage of farmed turbot (*Psetta maxima*) [J]. Food Chemistry, 2005, 90: 445-452
- [6] 吉宏武, 潘广坤, 刘书成, 等. 添加大豆分离蛋白对油炸面包虾品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 4: 104-111  
JI Hong-wu, PAN Guang-kun, LIU Shu-cheng, et al. Effect of soy protein isolate on quality of fried breaded shrimp[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 4: 104-111
- [7] 刘丽媛, 谢晶, 励建荣. 预测南美白对虾品质变化的动力学模型的建立[J]. 食品工业科技, 2013, 9: 278-281  
LIU Li-yuan, XIE Jing, LI Jian-rong. Building of the kinetics model for prediction of the quality change of *penaeus vannamei boone* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 9: 278-281
- [8] 邢少华, 张小栓, 张海涛, 等. 冷藏大黄鱼特定腐败菌 CHAID 生长模型的验证[J]. 农业工程学报, 2010, 26(13): 384-387  
XING Shao-hua, ZHANG Xiao-shuan, ZHANG Hai-tao, et al. Validation of CHAID growth model of specific spoilage organisms in chilled large yellow croaker [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2010, 26(13): 384-387
- [9] 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, 6: 301-305  
TONG Yi, XIE Jing. Prediction model for the shelf-life of *trichiurus haumela* stored at different temperatures [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2009, 6: 301-305
- [10] 田秋实, 谢晶, 励建荣. 白鲢鱼糜制品货架期模型的建立[J]. 食品工业科技, 2009, 4: 70-73  
TIAN Qiu-shi, XIE Jing, LI Jiang-rong. Establishment of shelf life model of silver carp surimi [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 4: 70-73
- [11] 张丽平. 动力学模型预测板鸭的货架寿命[D]. 西南农业大学, 2005  
ZHANG Li-ping. Application of kinetic model to predict the shelf life of dry salted duck [D]. Southwest Agricultural University, 2005
- [12] Torrieri E, Russo F, Di Monaco R, et al. Shelf life prediction of fresh italian pork sausage modified atmosphere packed [J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 17(3): 223-232
- [13] Kim Bo-Yeon, Lee Ji-Young, Ha Sang-Do et al. Growth Characteristics and development of a predictive model for

- bacillus cereus in fresh wet noodles with added ethanol and thiamine [J]. Journal of Food Protection, 2011, 4: 522-690
- [14] 李伟青.即食扇贝柱货架期动力学模型研究[D].河北农业大学,2012
- LI Wei-qing. Application of kinetic model to predict the shelf-life of instant scallop [D]. Agricultural University of Hebei, 2012
- [15] Nga T T Mai, Maria Gudjonsdottir, Helene L Lauzon, et al. Continuous quality and shelf life monitoring of retail-packed fresh cod loins in comparison with conventional methods[J]. Food Control, 2011, 22(6): 1000-1007
- [16] 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

现代食品科技