

# 海捕大管鞭虾(*Solenocera melanthero*)调理食品 在常温保藏中的货架期预测及产品质量分析\*

王欢 白冬 谢超 林琳 黄菊 梁佳 王婷

(浙江省海产品健康危害因素关键技术研究重点实验室 浙江海洋大学食品与医药学院 舟山 316022)

**摘要** 本文测定了海捕大管鞭虾(*Solenocera melanthero*)(又称红虾)调理食品在不同温度保藏中的细菌总数、挥发性盐基氮(TVB-N)值、pH 值及感官评价等参数。通过对虾肉色泽、组织质构、风味和外形四个方面的检测,综合各项指标决定将 TVB-N 作为该产品质量变化和推测货架期时长的关键指标。将各温度下测定的 TVB-N 值代入线性方程组计算出反应活化能  $E_a$  为 55.21 kJ/mol,指前因子  $k_0$  为  $1.08 \times 10^9$ 。利用 Arrhenius 方程外推法计算得出在 20°C 和 25°C 温度下 TVB-N 值变化速率常数分别为  $k_{20^\circ\text{C}}=0.1405$  和  $k_{25^\circ\text{C}}=0.2386$ ,从而进一步确定该条件下保藏的理论货架期分别为 153.6d 和 92.1d。经质构仪分析红虾虾仁的硬度与弹性变化,综合感官评定结果和其它测定值,确定海捕红虾产品在常温贮藏中的货架期为 3 个月。本研究为常温下红虾调理食品的保藏提供了理论依据。

**关键词** 大管鞭虾(红虾); 货架期预测; 海鲜产品保藏; 质量分析

中图分类号 TS254 doi: 10.11693/hyhz20150400111

近年来,全球海捕虾总产量明显提高,与此同时国际贸易对虾产品需求量也不断增大,为虾类食品的迅速发展提供了良好的市场环境。大管鞭虾(*Solenocera melanthero*)又称红虾,海捕红虾体型较小,肉质鲜美,蛋白含量高,富含钾、碘、镁、磷等矿物质及维生素 A、氨茶碱等成分,其肉质与鱼肉一样松软,易消化,是身体虚弱以及病后需要调养病人的极好的营养食物(王清亭等, 2013)。常温贮藏的高水分调理海捕红虾含有丰富的镁,对心脏活动具有调节作用,能很好地保护心血管系统(Bensasson *et al.*, 2010)。并且高水分红虾的口感嫩滑,味道淡雅,有效地保持了原料虾本身的口感、外观和质构。

无论是对于生产厂家还是消费者来说,食品的保质期或货架寿命都至关重要。通过建立货架寿命预测模型并对其进行研究,可从理论上预测食品的保质期,同时还能对影响食品质量的关键因素进行严格控制,最终延长货架期(宋晨等, 2010)。Arrhenius

模型通常被用来预测食品的货架寿命,其主要优点在于:依靠高温下测定到的数据,可推演得低温环境中产品的货架期。Arrhenius 模型是当前食品货架寿命预测研究应用最为广泛、研究最为深入的热点之一。唐晓阳等(2010)研究猪肉中假单胞菌,预测并验证细菌生长情况;章银良等(2008)以淡腌鳗鱼为研究对象,对不同条件下的活菌总(TVC)、挥发性盐基氮(TVB-N)以及可滴定酸度等进行研究。本文研究海捕大管鞭虾(*Solenocera melanthero*)(俗称红虾, red shrimp)调理食品在不同温度下的品质,预测红虾常温贮藏的货架寿命,为产品规模生产提供理论参考。

## 1 材料与设备

### 1.1 实验材料

海捕大管鞭虾(*Solenocera melanthero*)(红虾, red shrimp)购于浙江舟山农贸市场;碳酸钾、三氯乙酸(TCA)、浓硫酸、亚硫酸钠、氯化钠、阿拉伯胶、磷

\* 浙江省自然科学基金项目, LY13C00005 号; 舟山市科技计划项目, 2014C41002 号, 2014C41010 号; 浙江海洋学院科研启动资助项目, 21135012614 号, 21135013115 号。王欢, E-mail: 1414751924@qq.com

通讯作者: 谢超, 副教授, E-mail: xc750205@163.com

收稿日期: 2015-04-13, 收修改稿日期: 2015-12-09

酸盐缓冲液、考马斯亮蓝 G-250、氢氧化钠、小牛血清蛋白、三磷酸腺苷二钠(ATP)、甘油等,以上试剂均为分析纯。

## 1.2 实验设备

WFZUV-2000 紫外可见分光光度仪(尤尼柯仪器有限公司); MA35 水分测定仪(德国赛多利斯有限公司); HH-4 数显恒温水浴锅(上海跃进医疗器械厂); QUINTIX224-1CN 电子天平[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; PHS-3S 型 pH 值计(上海大普仪器有限公司); ALP-KT-30L 全自动灭菌锅(日本 ALP 公司); GR21G 高速冷冻离心机(日本日立)。

## 2 实验方法

### 2.1 实验工艺流程

海捕红虾调理食品加工工艺为:新鲜红虾→去头、去壳→清洗→称重→改性→调味→热风干燥→真空包装→灭菌→产品→常温保藏。

### 2.2 调理红虾测定项目

本实验的理化测定项目为:细菌总数、pH 值、水分含量、TVB-N 值、虾仁质构、感官指标。每隔一段时间就测量各个温度下的理化指标,记录下实验的各项数据,为预测产品的货架期做充足的数据准备。

**2.2.1 细菌总数的检测** 本实验选用《GB 4789.2-2010》“食品微生物学检验菌落总数测定”中的平板菌落计数法(中华人民共和国卫生部,2010)。选用营养琼脂培养基,取一无菌锥形瓶加入 90mL 无菌生理盐水,再加入虾肉 10g,振荡均匀。所得溶液稀释成  $10^4$ 、 $10^3$ 、 $10^2$  等溶液置一边备用,配置完成后选取 3—4 个适宜样品均液,各取 1mL 于无菌培养皿内培养,温度为  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,48h 后计数,统计结果并记录数据。

**2.2.2 水分含量的检测** 采用 GB 5009.3-2010“食品中水分的测定”中的直接干燥法。取洁净称量瓶,注意重复干燥至恒重。再称取红虾虾仁样品 5—10g 于蒸发皿中,搅拌均匀后置于  $101\text{—}105^\circ\text{C}$  干燥箱中干燥,注意用小玻璃棒随时搅拌,并及时擦去皿底水

滴。在干燥箱中干燥 4h 后盖好取出,冷却 30min 后称量,重复以上操作直至恒重。记录好实验数据,计算出相应水分含量。

**2.2.3 挥发性盐基氮(TVB-N)的检测** 每隔一段时间检测一下包装好的不同温度下的对虾的 TVB-N 值,TVB-N 值以小于 20 mg/100g 为标准,并做好记录。具体检测方法按照水产品“SC/T 3032-2007 中”测定(中华人民共和国农业部,2007)。称取试样 10g 于均质杯中,再加 90mL 高氯酸溶液均质 2min,离心分离后得到滤液。再用标准液滴定得出数据。重复性条件下,得到的测定结果绝对误差不得超过算术平均值的 10%。

**2.2.4 pH 值的测定** 称取碾碎的 10g 海捕红虾虾肉于烧杯中,加入 90mL 中性蒸馏水进行匀浆。搅拌均匀后制成 1:10 的浸提液,离心后静置 30min 浸出,过滤后取得上层清液,用 pH 值计测定读数。记录得出虾仁的 pH 值,剔除数据差异较大的值。

**2.2.5 虾仁质构的测定** 采用美国 F.T.C.公司的 TMS-Pro 物性测试仪对海捕红虾的 TPA (Texture Profile Analysis)特性中的硬度与弹性进行测试(Larsen *et al*, 2011)。研究设定测试数值:测试的深度(压缩比)50%,测定时保持速度 40mm/min,而测试前后速度保持一致为 60mm/min。往复来回 2 次,回复时长 2s。选用 P/0.5 柱形探头,测试速度 1 mm/s,测试形变量 50%(梁辉等,2006)。测试 3 个平行样品。记录得到红虾的黏聚度、弹性等指标数据。

**2.2.6 感官品质评价** 感官品质评价小组由 8 名专业评定专家组成,参照表 1 标准对海捕红虾调理食品的风味、外形、色泽和组织质构四方面品质进行判定(徐坤华等,2014)。感官得分算取 8 位专家的总分平均值,将其作为每个样品的最终分数,并做好相应的数值记录。

### 2.3 货架期预测模型

**2.3.1 一级动力学模型** 通常食品的品质都会随食品加工和贮藏过程或多或少相应产生改变。但是这样改变一般都会遵循零级或是一级动力学模式

表 1 红虾虾肉的感官评价标准  
Tab.1 Sensory evaluation standard for *S. melanthro*

项目	1—3 分	-1—1 分	-3 — -1 分
色泽	肉色鲜艳或黄亮色	肉体颜色变深	肉体颜色变褐
组织质构	有虾香味,香味浓郁	香味一般,轻微腥味	腥味较重
外形	整体完整,质地饱满	轻微破损,保持形状	形状破坏
风味	产品可口,咀嚼性好	虾肉中度柔软,咀嚼性一般	虾肉柔软,咀嚼性不好

(Labuza *et al*, 1978), 其中在实际运用中一级动力学模型应用较广泛, 其方程式如下所示:

$$y = y_0 \times \exp(-k \times t) \quad (1)$$

式中,  $y_0$ : 食品最初 TVB-N 值(mg/100g);  $y$ : 食品贮藏  $t$  天 TVB-N 值(mg/100g);  $k$ : 食品品质变化速率常数;  $t$ : 食品贮藏时间(d)。

**2.3.2 Arrhenius 方程** 不同温度下反应速率常数变化产生的数学模型依据 Arrhenius 方程进行分析, 为:

$$k = k_0 \times \exp(-E_a/RT) \quad (2)$$

式中,  $k_0$ : 方程前因子;  $E_a$ : 活化能(kJ/mol);  $T$ : 贮藏温度(K);  $R$ : 气体常数, 为 8.3144 J/(mol·K)。

对式(2)取对数:

$$\ln k = \ln k_0 - E_a/RT \quad (3)$$

根据实验可得在 35°C、40°C、45°C 温度下红虾品质读数, 将所得指标数值代入式(2)的动力学方程求得化学反应速率常数  $k$ , 用  $\ln k$  作纵坐标, 热力学温度的倒数(1/T)为横坐标作图求出直线斜率为  $-E_a/R$ 。依据细菌总数和 TVB-N 值速率常数  $k$  算出活化能  $E_a$  和指前因子  $k_0$ 。推导食品货架期预测方程:  $SL = \ln(y/y_0) / k_0 \times \exp(-E_a/RT)$ 。获得该反应动力学模型中各参数数值, 就可以推算货架寿命及预测不同温度的产品质量(Nourian *et al*, 2000), 并在一定范围内推演品质对应贮藏时间。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同温度下产品品质分析

**3.1.1 细菌总数测定结果** 在设定的温度(35, 40, 45°C)条件下, 海捕红虾调理食品的细菌总数变化情况如图 1 所示。整个贮藏过程中随时间推移, 红虾中菌落总数不断在增多。贮藏前期繁殖比较缓慢, 贮藏后期由于基数变大速率更快。

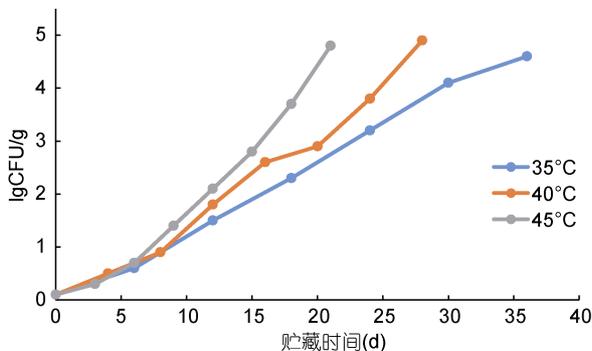


图 1 不同贮藏温度下海捕红虾的细菌总数变化

Fig.1 Changes in total number of bacteria of *S. melantho* at different storage temperatures

**3.1.2 水分含量变化结果** 在设定温度中, 测定海捕红虾水分含量变化情况如图 2 所示。海捕红虾产品中水分含量随贮藏时间延长而不断下降。其中贮藏温度越高, 到实验后期红虾水分流失速度越快。在保藏期间产品的水分含量减少约 4 个百分点。

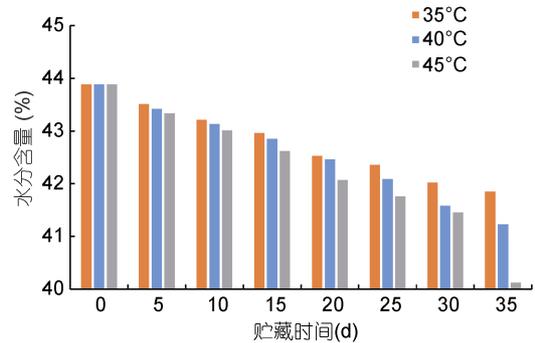


图 2 不同贮藏温度下海捕红虾水分含量变化

Fig.2 Changes in the moisture content of *S. melantho* at different storage temperatures

**3.1.3 pH 值测定结果** 直观可见图 3 数据, 产品的 pH 值随着时间的延长呈现 U 形变化, 数值在 5.5—6.1 之间波动。产生这个现象的原因可能是由于贮藏前期的红虾肌肉糖原开始代谢, 产生乳酸后使得 pH 值降低。一段时间后, 红虾虾仁在微生物作用下, 蛋白质、氨基酸及其它含氮物质被分解为氨、组胺等物质, 使得 pH 值逐渐回升(Tiencheu *et al*, 2013)。

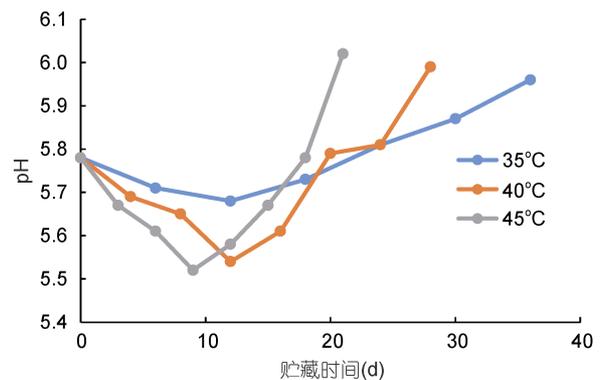


图 3 不同贮藏温度下海捕红虾的 pH 值变化

Fig.3 Changes in pH value of *S. melantho* at different storage temperatures

**3.1.4 TVB-N 值测定结果** 挥发性盐基氮(T-VBN)通常作为蛋白质食品新鲜化指标, 与水产品新鲜或腐败程度有关, 测定 T-VBN 数值可用于进行产品鲜度判断(Mu *et al*, 2012)。水产品中测定 T-VBN 读数越小, 产品越鲜美(迟海等, 2010)。在 35、40、45°C 温度贮藏时, TVB-N 值随贮藏时间( $t$ )

的变化情况如图 4。随着时间的延长,挥发性盐基氮含量增加;且温度越高,产品达到 T-VBN 含量阈值的时间越短。

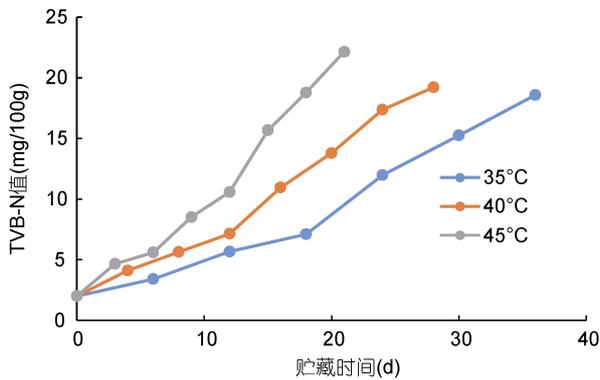


图 4 不同贮藏温度下海捕红虾 TVB-N 值变化

Fig.4 Changes in TVB-N value of *S. melantho* at different storage temperatures

**3.1.5 感官品质的测定** 表 2、表 3 及表 4 分别列出 35、40、45°C 贮藏时,感官评定小组得出的感官评定分数。在不同贮藏温度下,观察样品的色泽、形

态、组织状态和风味的分数。横向比较,随着时间的推移所得分数逐渐降低;纵向比较,随着温度提升,在相同时间内红虾的感官评分也不断下降。

分别利用三个不同温度下的 TVB-N 值与色泽、组织质构、外形和风味分数进行 SPSS 软件分析,得相对应的 Pearson 相关系数(Wang *et al*, 2013),见表 5。由表 5 可知,感官评价值和 TVB-N 值 Pearson 相关系数均大于 0.95,可判定感官评价结果与 TVB-N 值间相关性最紧密(王金亮等, 2011)。因此本研究最后选取 TVB-N 值作为海捕红虾调理产品质量变化和货架寿命的关键指示因子。

### 3.2 海捕红虾动力学模型

**3.2.1 细菌总数模型的建立** 通过不同温度条件下测定得到菌落总数,结合时间因素可以得到相应的回归方程以及对应的  $k$  值,见表 6。

根据方程式读得三个温度下细菌总数变化速率常数  $k$  分别为 0.13214、0.16935、0.22579。将  $\ln k$  数值为纵坐标,贮藏温度的倒数  $1/T$  为横坐标作图(图 5),得到线性方程  $y = -5.3544x + 15.361$  ( $R^2=0.99182$ )。

表 2 35°C 时保藏时间对红虾感官品质的影响

Tab.2 Effect of time on *S. melantho* sensory quality at 35°C preservation

时间(d)	0	6	12	18	24	30	36
色泽	3.0	2.6	2.4	1.9	1.2	0.4	-0.1
组织质构	2.9	2.4	2.1	1.5	1.1	0.6	-0.3
外形	2.9	2.5	2.2	1.8	1.3	0.5	-0.2
风味	3.0	2.7	2.2	1.7	1.2	0.4	-0.3

表 3 40°C 时保藏时间对红虾感官品质的影响

Tab.3 Effect of time on *S. melantho* sensory quality at 40°C preservation

时间(d)	0	4	8	12	16	20	24	28
色泽	3.0	2.7	2.5	2.2	1.7	1.4	0.5	-0.3
组织质构	2.9	2.5	2.1	1.9	1.5	1.4	0.6	-0.2
外形	2.9	2.6	2.2	1.9	1.6	1.5	0.4	-0.3
风味	3.0	2.6	2.3	2.1	1.7	1.4	0.5	-0.2

表 4 45°C 时保藏时间对红虾感官品质的影响

Tab.4 Effect of time on *S. melantho* sensory quality at 45°C preservation

时间(d)	0	3	6	9	12	15	18	21
色泽	3.0	2.6	2.4	2.2	1.8	1.3	0.6	-0.2
组织质构	2.9	2.5	2.2	1.8	1.7	1.5	0.4	-0.3
外形	2.9	2.5	2.2	2.1	1.6	1.3	0.5	-0.1
风味	3.0	2.7	2.1	1.9	1.8	1.4	0.6	-0.2

表 5 感官评定值与 TVB-N 值 Pearson 相关系数  
Tab.5 Sensory evaluation and TVB-N of the Pearson correlation coefficient

贮藏温度(°C)	色泽	组织质构	外形	风味
35	0.994	0.985	0.983	0.972
40	0.992	0.971	0.968	0.974
45	0.983	0.979	0.985	0.981

表 6 不同温度下相应的回归方程、 $R^2$ 、 $k$  值

Tab.6 The regression equations,  $R^2$  and  $k$  values at different temperatures

贮藏温度(°C)	回归方程	$R^2$	$k$ 值
35	$y=0.13214x-0.03571$	0.99459	0.13214
40	$y=0.16935x-0.18333$	0.98081	0.16935
45	$y=0.22579x-0.38333$	0.96702	0.22579

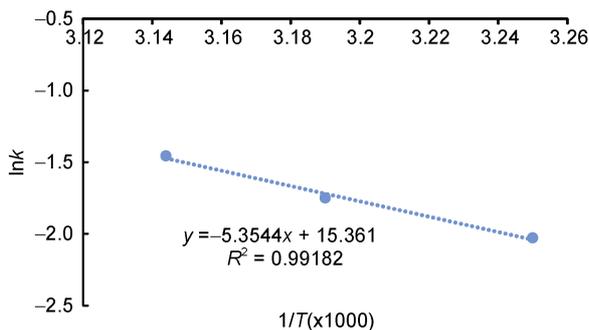


图 5 细菌总数下温度倒数与  $k$  值的自然对数关系

Fig.5 The relationship curve between temperature reciprocal and logarithm of  $k$  values

由线性方程组计算得出活化能  $E_a=44.51$  kJ/mol, 指前因子  $k_0=6.98 \times 10^6$ 。在贮藏过程中, 根据已得数据建立细菌总数变化速率常数  $k$  与贮藏温度  $T$  的阿伦尼乌斯方程:

$$k = 6.98 \times 10^6 \exp(-44.51 \times 10^3 / RT)$$

菌落总数货架寿命预测模型:

$$SL = \ln(y_{\text{菌落总数}} / y_0_{\text{菌落总数}}) / [6.98 \times 10^6 \exp(-44.51 \times 10^3 / RT)]$$

**3.2.2 细菌总数模型的验证** 以菌落总数为品质指标, 菌落总数  $10^4$  CFU/g 为检测终点, 大于  $10^4$  CFU/g 时表示红虾调理食品已腐败。记录三个温度下红虾调理食品的实际货架寿命, 并利用动力学方程计算货架寿命的理论预测值。根据得到的数据, 将实测值和理论预测值对比, 验证动力学方程的准确性(潘广坤等, 2014), 用相对偏差表示准确性。根据表 7 数值, 在 35、40、45°C 条件下的红虾调理食品货架预测值与实测值的相对偏差分别为 9.83%、4.08%、5.13%, 较好地检验了方程可信度。

表 7 海捕红虾在 35、40、45°C 贮藏时以细菌总数为指标的货架期预测值与实测值

Tab.7 The predicted and measured shelf life of *S. melantho* at 35, 40, and 45°C

品质指标	贮藏温度(°C)	货架寿命预测值(d)	实测值(d)	相对偏差(%)
细菌总数	35	32	29	9.83
	40	25	24	4.08
	45	20	19	5.13

**3.2.3 TVB-N 值模型的建立** 综合三个不同温度下 TVB-N 的检测值, 可以得到不同贮藏温度中 TVB-N 值与贮藏时间的回归方程及其  $k$  值, 如表 8 所示。

表 8 不同温度下对应的 TVB-N 值回归方程、 $R^2$ 、 $k$  值  
Tab.8 The regression equations,  $R^2$  and  $k$  values at different temperatures

贮藏温度(°C)	回归方程	$R^2$	$k$ 值
35	$y=0.47405x+0.61286$	0.96815	0.47405
40	$y=0.63937x+1.08000$	0.98206	0.63939
45	$y=0.96706x+0.84333$	0.97465	0.96706

从表 8 可知, 依据三个温度的方程式, 读取对应 TVB-N 变化速率常数  $k$  分别为 0.47405、0.63939、0.96706。将  $\ln k$  数值为纵坐标, 贮藏温度的倒数  $1/T$  为横坐标作图(图 6), 得到线性方程  $y = -6.6393x + 20.801$  ( $R^2=0.97185$ )。

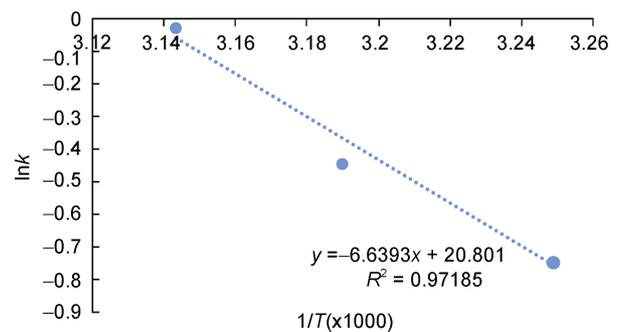


图 6 TVB-N 下温度倒数与  $k$  值的自然对数关系

Fig.6 The relationship curve between temperature reciprocal and logarithm of  $k$  values

依据线性方程组得活化能  $E_a=55.21$  kJ/mol, 指前因子  $k_0 = 1.08 \times 10^9$ 。并以方程数据为基础, 建立 TVB-N 值变化速率常数  $k$  与贮藏温度  $T$  的阿伦尼乌斯方程:

$$k = 1.08 \times 10^9 \exp(-55.21 \times 10^3 / RT)$$

代入一级动力学模型得:

$$y = y_0 \exp[1.08 \times 10^9 \exp(-55.21 \times 10^3 / RT)t]$$

总挥发性盐基氮货架寿命预测模型为:

$$SL = \ln(y_{TVB-N}/y_{0TVB-N}) / [1.08 \times 10^9 \exp(-55.21 \times 10^3/RT)]$$

**3.2.4 TVB-N 值模型的验证** 以 TVB-N 值为品质指标, 记录贮藏于 35、40、45°C 条件下红虾调理食品的实际货架期, 同样记录依照方程算取的红虾调理产品货架寿命理论值(Dalgaard *et al*, 2000), 比较两者相对偏差, 验证动力学方程的准确性, 结果如表 9 所示。根据表 9 中数据, 在 35、40、45°C 条件下贮藏的红虾调理食品的货架寿命预测值与实测值的相对偏差分别为 6.67%、8.33%、14.63%, 其值表明方程具有准确性。

表 9 海捕红虾在 35、40、45°C 贮藏时以 TVB-N 为指标的货架期预测值与实测值

Tab.9 The predicted and measured shelf life of *S. melantho* at 35、40、and 45°C

品质指标	贮藏温度 (°C)	货架寿命预测值 (d)	实测值 (d)	相对偏差 (%)
TVB-N 值	35	31	29	6.67
	40	25	24	4.08
	45	22	19	14.63

**3.2.5 细菌总数模型与 TVB-N 模型的预测及比较** 通过比较两者在 35、40、45°C 时的货架期预测, 可以发现两者的准确性基本相近。根据实验结果, 取菌落总数值  $1.0 \times 10^4$  CFU/g 作为即食对虾货架寿命的判定终点。依据 Arrhenius 方程外推出 20°C 和 25°C 温度下细菌总数变化速率常数分别为  $k_{20^\circ\text{C}}=0.0754$  和  $k_{25^\circ\text{C}}=0.0828$ 。同理, 取 TVB-N 值 18.0 mg/100g 作为即食对虾货架寿命的判定终点。利用 Arrhenius 方程外推法知道 20°C 和 25°C 温度下的 TVB-N 变化速率常数分别为  $k_{20^\circ\text{C}}=0.1405$  和  $k_{25^\circ\text{C}}=0.2386$ 。根据方程(1)计算

红虾调理产品货架寿命的理论值, 结果如表 10 所示。

表 10 20°C 和 25°C 条件下即食虾仁货架期的预测值  
Tab.10 Predicted value of *S. melantho* shelf life at 20°C and 25°C

品质指标	贮藏温度 (°C)	货架寿命预测值 (d)	实测值 (d)	相对偏差 (%)
细菌总数	20	173.9	160	8.33
	25	95.7	92	3.94
TVB-N 值	20	153.6	135	6.45
	25	92.1	90	1.21

将理论值与实际货架寿命进行比较, 验证上述动力学模型的准确性, 其值以两者的相对误差表示(郭全友等, 2012)。结果从表 10 中可知, 细菌总数和 TVB-N 值在 20°C 和 25°C 下海捕红虾调理产品 Arrhenius 法预测值与实测值相对误差均小于 9%, 模型具有较高的准确性。

### 3.3 红虾产品保藏期间的质构特性变化

如图 7 所示, 在保藏期间, 海捕红虾调理食品硬度随着时间的延长而增大。其原因可能由于常温保藏下肌肉蛋白之间氢键增加, 导致肌动蛋白与肌球蛋白之间结合变弱。而红虾弹性随时间增长逐渐变小, 这可能是由于改变了原先肌原蛋白与弹性蛋白质间的连接而造成的(Canto *et al*, 2012)。

### 3.4 红虾制品保藏期间的感官评定

从表 11 中可以看出, 红虾食品在保藏过程中色泽、组织质构、外形和风味的感官评定值都不断下降。其中以色泽变化跟风味变化更为明显, 红虾产品的外形趋势相对较平缓。根据感官评定结果, 实测 90 d 时各项感官评定分数维持在 1 分, 说明红虾产品还能保持较好的性状。

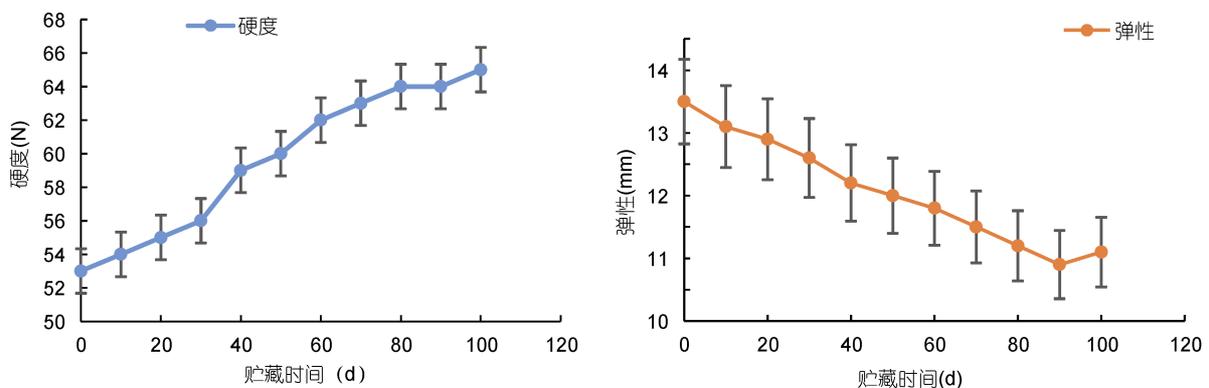


图 7 保藏期间产品质构变化

Fig.7 The product texture change during preservation

表 11 保藏期间产品感官评分的变化  
Tab.11 The sensory score change during preservation

时间(d)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
色泽	3.0	2.8	2.6	2.5	2.3	1.9	1.5	1.4	1.3	1.1	0.4
组织质构	3.0	2.7	2.4	2.3	2.1	1.7	1.6	1.3	1.2	1.0	0.6
外形	3.0	2.8	2.7	2.4	2.2	2.0	1.8	1.5	1.5	1.3	1.1
风味	3.0	2.7	2.5	2.2	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	1.0	0.5

## 4 结论

(1) 在 35、40、45℃ 三个不同的贮藏温度下, 海捕红虾产品的色泽、组织质构、外形和风味都随着时间的延长而降低, 即随 TVB-N 值的增加而降低。通过对红虾肉色泽、组织质构、风味和外形四方面的检测, 最终选取 TVB-N 值作为红虾品质变化和货架寿命的关键指示因子, 并且确定 35、40、45℃ 下的货架期分别为 29、24、19 d。

(2) 用菌落总数作为红虾调理食品品质变化和货架寿命的指示指标, 通过一级动力学方程以及 Arrhenius 方程, 计算得出对虾即食产品的货架寿命理论预测值, 预测值与真实值之间能较好符合。由线性方程组计算得出反应活化能  $E_a=44.51$  kJ/mol, 指前因子  $k_0 = 6.98 \times 10^6$ 。分别在 35、40、45℃ 温度下验证动力学模型的可行性, 计算出货架期预测值与实际值的相对偏差分别为 9.83%、4.08%、5.13%。

(3) 用 TVB-N 值作为红虾调理食品品质变化和货架寿命的指示指标, 根据线性方程组可得反应活化能  $E_a=55.21$  kJ/mol, 指前因子  $k_0 = 1.08 \times 10^9$ 。利用 Arrhenius 方程外推法算出 20℃ 和 25℃ 时 TVB-N 变化速率常数分别为  $k_{20^\circ\text{C}}=0.1405$  和  $k_{25^\circ\text{C}}=0.2386$ 。进一步求得该条件下保藏的对虾即食产品的理论货架寿命分别为 153.6 d 和 92.1 d。

(4) 采用质构仪分析发现, 红虾产品弹性随贮藏时间的延长而有所下降, 但硬度却逐渐增加。与此同时, 产品色泽、外形、组织质构和风味评分也逐步降低, 虾仁最终变化程度感官评定员表示可以接受。综合细菌总数与 TVB-N 值测定结果, 确定海捕红虾产品在常温贮藏条件下的保质期为 3 个月。

## 参 考 文 献

王金亮, 余海燕, 胡松波等, 2011. 关于 Neyman-Pearson 基本引理的几个注记. 数学杂志, 31(2): 357—361  
王清亭, 王晓东, 赵 兵, 2013. 大孔树脂分离纯化文冠果种仁中总皂苷. 食品工业科技, 34(10): 219—224

中华人民共和国卫生部, 2010. 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. 北京: 中国标准出版社  
中华人民共和国农业部, 2007. SC/T 3032-2007 水产品中挥发性盐基氮的测定. 北京: 中国农业出版社  
宋 晨, 刘宝林, 董庆利, 2010. 冷冻食品货架期研究现状及发展趋势. 食品科学, 31(1): 258—261  
迟 海, 李学英, 杨宪时等, 2010. 南极大磷虾 0、5 和 20℃ 贮藏中的品质变化. 海洋渔业, 32(4): 447—453  
徐坤华, 赵巧灵, 廖明涛等, 2014. 金枪鱼质构特性与感官评价相关性研究. 中国食品学报, 14(12): 190—197  
郭全友, 王锡昌, 杨宪时等, 2012. 不同贮藏温度下养殖大黄鱼货架期预测模型的构建. 农业工程学报, 28(10): 267—273  
唐晓阳, 赵 勇, 孙晓红等, 2010. 冷却猪肉中假单胞菌生长预测模型的建立与验证. 湖南农业科学, (1): 128—131, 134  
章银良, 张世涛, 2008. 腌鱼品质动力学研究及其货架期的预测. 食品研究与开发, 29(8): 133—136  
梁 辉, 戴志远, 2006. 物性分析仪在食品质构测定方面的应用. 食品研究与开发, 27(4): 118—121  
潘广坤, 吉宏武, 刘书成等, 2014. 真空油炸面包虾的货架期预测模型. 食品与发酵工业, 40(3): 113—119  
Bensasson R V, Zoete V, Berthier G *et al*, 2010. Potency ranking of triterpenoids as inducers of a cytoprotective enzyme and as inhibitors of a cellular inflammatory response *via* their electron affinity and their electrophilicity index. *Chemico-Biological Interactions*, 186(2): 118—126  
Canto A C V C S, Lima B R C C, Cruz A G *et al*, 2012. Effect of high hydrostatic pressure on the color and texture parameters of refrigerated Caiman (*Caiman crocodilus yacare*) tail meat. *Meat Science*, 91(3): 255—260  
Dalggaard P, Jørgensen L V, 2000. Cooked and brined shrimps packed in a modified atmosphere have a shelf-life of >7 months at 0°C but spoil in 4—6 days at 25°C. *International Journal of Food Science and Technology*, 35(4): 431—442  
Labuza T P, Shapero M, Kamman J, 1978. Prediction of nutrient losses. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2(2): 91—99  
Larsen D, Quek S Y, Eyres L, 2011. Evaluating instrumental colour and texture of thermally treated New Zealand King Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and their relation to sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*, 44(8): 1814—1820  
Mu H L, Chen H J, Fang X J *et al*, 2012. Effect of cinnamaldehyde on melanosis and spoilage of Pacific white

- shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(10): 2177—2182
- Nourian F, Ramaswamy H S, Kushalappa A C, 2003. Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *LWT-Food Science and Technology*, 36(1): 49—65
- Tiencheu B, Womeni H M, Linder M *et al*, 2013. Changes of lipids in insect (*Rhynchophorus phoenicis*) during cooking and storage. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(2): 186—195
- Wang G J, Xie C, Chen S *et al*, 2013. Random matrix theory analysis of cross-correlations in the US stock market: Evidence from Pearson's correlation coefficient and detrended cross-correlation coefficient. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(17): 3715—3730

## SHELF LIFE PREDICTION ON DRIED SEAFOOD OF RED SHRIMP *SOLENOCERA MELANTHO* AT DIFFERENT ROOM TEMPERATURES

WANG Huan, BAI Dong, XIE Chao, LIN Lin, HUANG Ju, LIANG Jia, WANG Ting  
(Zhejiang Provincial Key Laboratory of Health Risk Factors for Seafood, School of Food Science and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

**Abstract** To study the shelf life of dried *Solenocera melantho* (red shrimp) meat at 20 and 25°C during preservation, the total bacteria, total volatile basic nitrogen (TVB-N), and pH value were measured in combination of sensory evaluation on color, tissue texture, flavor, and appearance. After evaluation on performance of these parameters, we found that TVB-N value could be used as the key indicator to the seafood quality. With the TVB-N values measured in two temperatures, we calculated the activation energy (55.21 kJ/mol) and the pre-exponential factor ( $1.08 \times 10^9$ ). In addition, with the Arrhenius equation, we calculated by extrapolation the variation rate constant at 20 and 25°C, being 0.1405 and 0.2386, respectively, based on which the theoretical shelf life was determined at 153.6 d and 92.1 d, respectively. By instrumental detection on the hardness and elasticity of the red shrimp product, in consideration of other parameters and sensory evaluation scores, the shelf life of the seafood was determined for three months at a normal temperature. This study provides a theoretical basis for seafood storage strategy at normal temperatures.

**Key words** red shrimp *Solenocera melantho*; shelf life prediction; seafood product preservation; quality analysis