

# 福州鱼丸常温包装条件下货架期模型构建

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.04.009

余立<sup>1,2</sup> 林渊智<sup>1,3</sup>  
段宁宁<sup>1,2</sup> 苏羽航<sup>1,3</sup>

1. 福建师范大学福清分校  
海洋与生化工程学院  
福建 福清 350300
2. 食品软塑包装技术福建省  
高校工程研究中心  
福建 福清 350300
3. 福州市包装工程行业技术  
创新中心  
福建 福清 350300

**摘要:** 针对常温储藏工艺包装的鱼丸, 研究其货架期模型, 以便于电商在销售鱼丸时能够较准确地掌握其保质期。以鱼丸的 TVB-N 值为依据, 建立基于反应动力学的一级反应动力学货架期模型和直接借助统计学计算工具 (1stOpt 和 MATLAB) 建立二元非线性货架期模型, 并利用鱼丸的菌落总数检验两种货架期模型的准确性。研究表明, 一级反应动力学货架期模型需要通过大量数据与公式的转换后计算得到, 过程较复杂, 但能够较好解释温度与货架期之间的关系; 二元非线性货架期模型借助统计学工具, 建模简单、计算容易, 但是尚不能解释温度与货架期的关系, 且对货架期的计算需要使用 MATLAB 专业数学软件, 不便于普通电商用户使用。两种货架期模型均具有一定精度, 但一级反应动力学货架期模型更准确, 故推荐普通电商用户使用一级反应动力学货架期模型。

**关键词:** 福州鱼丸; 货架期; 一级反应动力学; 二元非线性

**中图分类号:** TS254.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2018)04-0056-06

## 0 引言

“福州鱼丸” (熟制品) 是福建省著名的手工鱼丸小吃, 不同于超市销售的速冻鱼丸, 手工鱼丸现做现吃, 更具有地道的“福州味”。由于互联网电子商务的兴起, 涌现出大量销售“福州鱼丸”的电商, 商家通常利用冰袋和泡沫保温箱运输鱼丸, 然而这种储藏方式下鱼丸的保质期较短, 1~2 d 鱼丸就会腐败变质。

目前对鱼糜类制品的储藏多采用低温技术, 有关鱼丸在常温包装条件下的货架期模型研究较少。田秋实等<sup>[1]</sup> 以白鲢鱼糜为研究对象, 在不同储藏温度 (5, 10, 15, 20 °C) 下, 对鱼糜制品的挥发性盐基

氮 (TVB-N)、硫代巴比妥酸值 (TBA) 及菌落总数、感官变化情况进行研究, 用 Arrhenius 方程建立鱼糜制品的品质变化动力学模型, 并以菌落总数作为评判依据, 建立货架期预测模型。研究表明, 该模型可准确预测鱼糜制品的货架寿命。魏颖等<sup>[2]</sup> 将鱼糜制品储藏在不同温度下, 建立了鱼糜制品的 TVB-N 值、TBA、菌落总数与储藏温度和储藏时间的 Arrhenius 动力学模型, 并得到其货架期预测模型。研究表明, 随着储藏时间的延长, 细菌总数不断增加, 鱼糜制品脂肪的氧化和腐败现象加重, 并且其品质劣化的速率随着温度增长而加快; 用 Arrhenius 方程描述鱼糜制品品质变化的动力模型具有很高的

**收稿日期:** 2018-05-09

**基金项目:** 食品软塑包装技术福建省高校工程研究中心开放基金资助项目 (107118), 福州市科技计划基金资助项目 (2017-G-72), 福建省教育厅 A 类基金资助项目 (JAT170674)

**作者简介:** 余立 (1983-), 男, 湖北武汉人, 福建师范大学福清分校教师, 主要研究方向为食品包装,  
E-mail: 184737161@qq.com

**通信作者:** 林渊智 (1967-), 男, 福建德化人, 福建师范大学福清分校教授级高级工程师, 主要从事高分子材料成型与加工方面的研究, E-mail: 963947786@qq.com

拟合精度;建立的鱼糜制品的货架期预测模型相对误差能达到10%之内。

上述关于食品货架期模型的构建方法,多采用一级反应动力学方程,然后通过 Arrhenius 方程引入温度变量,建立温度与货架期的一级反应动力学货架期模型<sup>[3]</sup>,但该方法建模过程较为复杂,需要逐步演算。鱼丸中主要致病微生物为革兰氏阳性菌<sup>[4]</sup>,本研究基于栅栏技术,利用壳聚糖抗菌膜和微波干燥灭菌工艺对鱼丸进行处理<sup>[5-7]</sup>,实现鱼丸的常温储藏;在此基础上以鱼丸的 TVB-N 值为参考依据<sup>[8]</sup>,建立了一级反应动力学货架期模型,同时借助计算机技术,在没有具体数学模型的情况下,直接利用实验数据快速拟合出二元非线性货架期模型,并以相应的菌落总数检验两种货架期模型<sup>[9]</sup>。本研究通过构建一种准确快速的手工鱼丸货架期模型,以期电商能够安全有效地销售“福州鱼丸”提供理论参考。

## 1 实验

### 1.1 实验原料与设备仪器

#### 1) 原料

手工鱼丸,本地市场购得,当天制作,当天加工包装;壳聚糖抗菌膜,实验室自制;PA/PE(polyamide/polyethylene)袋,福州航升塑料包装有限公司;无水乙醇(分析纯,质量分数不低于99.7%)、甲基红(分析纯),天津福晨化学试剂厂;亚甲基蓝,分析纯,质量分数不低于98.5%,福州海王福药制药有限公司;营养琼脂,分析纯,广东环凯微生物科技有限公司。

#### 2) 设备与仪器

电子天平,CTH-1003型,精度为0.001g,福州华志科学仪器有限公司;恒温恒湿培养箱,TS-80型,上海昶冠电子科技有限公司;微量滴定管,最小分度为0.01mL,赛克斯玻璃仪器有限公司;微波炉,M3-L239C型,2450MHz,600W,美的集团股份有限公司;水分快速测试仪,MD-610A型,厦门群隆仪器有限公司;全自动凯式定氮仪,ATN-500型,上海平轩科学仪器有限公司;台式真空包装机,CM-600型,苏州传明包装器材有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 TVB-N 值的测定

将新购“福州鱼丸”分9组,每组10袋,每袋2粒,

经微波炉干燥120s;用壳聚糖抗菌膜包裹,并放入PA/PE袋内,抽真空;然后将包装好的手工鱼丸分别置于不同温度(10,15,20,25,30,35,40,45,50℃)的恒温恒湿培养箱中储藏,每天抽样检测手工鱼丸的TVB-N值。

TVB-N值的测定按照SC/T3032—2007《水产品中挥发性盐基氮的测定》<sup>[10]</sup>中的方法进行。

#### 1.2.2 模型的建立

根据反应动力学理论,在常温储藏条件下,手工鱼丸的TVB-N值变化( $Y$ )符合一级反应动力学方程<sup>[11]</sup>,通过所测得的TVB-N值,拟合出手工鱼丸的 $Y$ 与 $t$ 之间的一级反应动力学模型

$$Y(t)=y_0e^{-kt}, \quad (1)$$

式中: $y_0$ 为初始TVB-N值;

$t$ 为时间;

$k$ 为TVB-N值的变化速率,是与温度有关的参数,符合 Arrhenius 方程<sup>[12]</sup>

$$k = k_0 e^{-\frac{E_A}{RT}}, \quad (2)$$

式中: $k_0$ 为频率因子;

$E_A$ 为活化能;

$R$ 为气体常数;

$T$ 为热力学温度。

对式(2)两边取对数,可得数值关系式

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_A}{RT}, \quad (3)$$

通过 $k$ 与 $T$ 之间的关系,将温度参数引入到一级动力学货架期模型式(1)中,利用数学统计软件拟合出统计学意义上的二元非线性货架期模型。最后,通过测定对应温度下手工鱼丸的菌落总数,验证两种货架期模型的准确性。

#### 1.2.3 菌落总数的测定

菌落总数的测定按照GB/T4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》<sup>[13]</sup>中的方法进行,采用平板计数法,计算每克待检鱼丸的菌落总数。

## 2 结果分析

### 2.1 手工鱼丸 TVB-N 值分析

不同储藏温度下(10,15,20,25,30,35,40,45,50℃),手工鱼丸的TVB-N值测定结果如表1所示。

表1 手工鱼丸的 TVB-N 值  
Table 1 The TVB-N value of fish ball

时间/d	TVB-N 值/(mg·(100 g) <sup>-1</sup> )								
	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
1	1.13	1.41	1.66	1.82	1.95	2.81	3.06	2.23	2.53
2	1.40	1.68	1.96	1.96	2.23	3.91	4.47	3.05	3.35
3	1.68	1.97	2.23	2.81	3.05	5.03	5.85	3.94	4.21
4	1.97	2.24	3.08	3.35	3.90	6.16	7.26	4.75	5.06
5	2.26	2.81	3.64	3.91	4.72	7.26	8.97	5.61	6.13
6	2.81	3.36	4.21	4.45	5.61	8.41	10.37	6.46	7.26
7	3.36	3.93	4.77	5.03	6.43	9.55	11.75	7.25	8.43
8	3.65	4.19	5.04	5.61	6.70	10.62	13.17	8.41	9.22
9	3.93	4.76	5.87	6.70	7.26	12.31	14.83	9.25	10.66
10	4.21	5.32	6.71	7.82	8.42	14.05	16.26	10.62	11.78

从表1可以发现,储藏温度对手工鱼丸的新鲜度影响较为明显。相同的储藏时间下,随着储藏温度的升高,TVB-N值先逐渐增大,在40 °C时达到峰值,随后有所下降。这是因为微生物繁殖最适宜的温度为30~40 °C,当储藏温度达到40 °C时,鱼丸内部温度略低于此温度,从而引起微生物大量繁殖,导致手工鱼丸的TVB-N值增大。

## 2.2 一级反应动力学货架期模型

通过测得的TVB-N值,拟合出不同储藏温度下手工鱼丸的 $Y$ 与 $t$ 之间的货架期模型,并得到其相关系数( $R^2$ )及 $k$ 值,结果如表2所示。

依据GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》中理化指标的规定,预制动物性水产品的TVB-N值不得超过30 mg/(100 g),故将其作为手工鱼丸的货架期终点指标。令 $Y=30$  mg/(100 g)带入货架期模型,即可求出对应温度下手工鱼丸的货架期( $t_T$ )。不同储藏温度下,手工鱼丸的货架期如表2所示。通过对比货架期可知,在40 °C时手工鱼丸的货架期最短。

表2 一级反应动力学货架期模型

Table 2 Primary reaction kinetics shelf life model

温度/°C	货架期模型	$R^2$	$k$	$t_T/d$
10	$Y=83.362 6e^{0.150 1t}$	0.977 8	0.150 1	22.28
15	$Y=99.494 3e^{0.150 8t}$	0.988 1	0.150 8	21.01
20	$Y=118.676 3e^{0.156 3t}$	0.975 6	0.156 3	19.14
25	$Y=127.676 5e^{0.160 8t}$	0.980 4	0.160 8	18.15
30	$Y=144.835 7e^{0.163 8t}$	0.954 0	0.163 8	17.05
35	$Y=224.662 7e^{0.168 0t}$	0.969 4	0.168 0	14.01
40	$Y=254.728 9e^{0.176 2t}$	0.952 0	0.176 2	12.64
45	$Y=177.665 0e^{0.163 7t}$	0.969 6	0.163 7	15.81
50	$Y=193.601 1e^{0.167 1t}$	0.977 6	0.167 1	14.97

表2中得到的货架期模型只能测定手工鱼丸在固定温度下的货架期,无法对常温环境下(10~50 °C)任意温度的货架期进行测定,故需要对货架期模型进行调整。

利用Arrhenius方程建立 $k$ 与 $T$ 之间的关系,从而将温度参数引入到货架期模型中<sup>[14]</sup>,然后将表2中对应的 $Y$ 与 $k$ 带入式(3),利用最小二乘法拟合出 $k$ 与 $T$ 的方程( $R^2=0.723 2$ )

$$k = 0.431 1e^{\frac{-296.682 8}{T}} \quad (4)$$

R. Simpson等人<sup>[15]</sup>在研究鲑鱼的货架期实验中,用 $Q_{10}$ 表示 $T$ 相差10 K时,鱼丸品质下降的速率比,且 $Q_{10}$ 满足下式

$$Q_{10} = \frac{k_{T+10}}{k_T} = \frac{t_T}{t_{T+10}} = e^{\frac{2.966.828}{(T+10) \times T}} \quad (5)$$

式中: $k_T, k_{T+10}$ 分别为 $T$ 和 $T+10$  K时鱼丸TVB-N值的变化速率; $t_T, t_{T+10}$ 分别为 $T$ 和 $T+10$  K时鱼丸的货架期。

任意热力学温度 $T_2$ 下,温度相差( $T-T_2$ )时,鱼丸品质下降的速率比为

$$Q_{T_2-T} = \frac{k_{T_2}}{k_T} = \frac{t_T}{t_{T_2}} = e^{\frac{296.682 8(T_2-T)}{T_2 \times T}} \quad (6)$$

结合式(5),可得

$$Q_{T_2-T} = Q_{10} \times e^{\frac{296.682 8(T_2-T-10)}{T_2(T+10)}} \quad (7)$$

联立式(6)~(7)得

$$t_{T_2} = t_T \div \left( Q_{10} \times e^{\frac{296.682 8(T_2-T-10)}{T_2(T+10)}} \right) \quad (8)$$

故常温任意温度下, 鱼丸的货架期模型为

$$t_{T_2} = t_{283K} \div \left( Q_{10} \times e^{\frac{296.6828(T_2-283-10)}{T_2(283+10)}} \right) (>10\sim 20\text{ }^\circ\text{C下},$$

$Q_{10}=1.0364$ ),

$$t_{T_2} = t_{293K} \div \left( Q_{10} \times e^{\frac{296.6828(T_2-293-10)}{T_2(293+10)}} \right) (>20\sim 30\text{ }^\circ\text{C下},$$

$Q_{10}=1.0340$ ),

$$t_{T_2} = t_{303K} \div \left( Q_{10} \times e^{\frac{296.6828(T_2-303-10)}{T_2(303+10)}} \right) (>30\sim 40\text{ }^\circ\text{C下},$$

$Q_{10}=1.0318$ ),

$$t_{T_2} = t_{313K} \div \left( Q_{10} \times e^{\frac{296.6828(T_2-313-10)}{T_2(313+10)}} \right) (>40\sim 50\text{ }^\circ\text{C下},$$

$Q_{10}=1.0298$ ),

式中:  $t_{283K}$ ,  $t_{293K}$ ,  $t_{303K}$ ,  $t_{313K}$  分别为鱼丸在 10, 20, 30, 40  $^\circ\text{C}$  时的货架期,  $t_{283K}$  由表 2 中对应的模型计算求得。

从该模型构建过程中可以发现, 随着储藏温度的升高, 手工鱼丸的品质逐渐下降, 且在 40  $^\circ\text{C}$  左右品质下降最为强烈, 随后有所回升。因此本实验选取 38  $^\circ\text{C}$  和 42  $^\circ\text{C}$  这两种储藏温度进行模型计算及模型验证。通过以上货架期模型, 可计算出 38  $^\circ\text{C}$  时手工鱼丸的货架期为 12.33 d, 42  $^\circ\text{C}$  时手工鱼丸的货架期为 14.20 d。

### 2.3 二元非线性货架期模型

一级反应动力学货架期模型需要经过大量的公式转换后才能得到, 且建模过程较为繁琐, 故引入二元非线性货架期模型。1stOpt (first Optimization) 通过优化迭代算法<sup>[16]</sup>, 在用户无需给出参数初始值的情况下, 由 1stOpt 随机给出初始值, 并通过其独特的全局优化算法, 最终拟合出相关模型及参数。

本研究将时间作为自变量  $x$ , 温度作为自变量  $y$ , TVB-N 值作为因变量  $z$ , 利用 1stOpt 数学软件<sup>[17]</sup>, 通过麦夸特法 (Levenberg-Marquardt) 和通用全局优化法, 对手工鱼丸的货架期进行二元非线性方程拟合, 可得

$$z = p_1 + \frac{p_2}{\left[ 1 + \left( \frac{x - p_3}{p_4} \right)^2 \right] \times \left[ 1 + \left( \frac{y - p_5}{p_6} \right)^2 \right]}, \quad (9)$$

拟合出货架期模型参数如下:

$$R^2=0.9573;$$

$$p_1=1.0261999420352;$$

$$p_2=13.5048109558621;$$

$$p_3=10.3022492034933;$$

$$p_4=-4.8358307605080;$$

$$p_5=39.9614407201428;$$

$$p_6=14.2963670212973。$$

利用 Matlab 求解上述方程,

令  $y=311\text{ K}$ ,  $z=30 \times 78.8=2364$ , 可以计算出 38  $^\circ\text{C}$  时手工鱼丸的货架期  $x \approx 10.30\text{ d}$ ;

令  $y'=315\text{ K}$ ,  $z=30 \times 78.8=2364$ , 可以计算出 42  $^\circ\text{C}$  时手工鱼丸的货架期  $x' \approx 10.31\text{ d}$ 。

### 2.4 模型验证

依据 GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》中微生物限量的规定, 手工鱼丸菌落总数不得高于 50 000 CFU/g, 故以此作为判断手工鱼丸货架期的标准。为验证上述所建模型的准确性, 本课题组在 38  $^\circ\text{C}$  与 42  $^\circ\text{C}$  的储藏温度下, 检测手工鱼丸的菌落总数, 检测结果如表 3 所示。

表 3 不同温度下鱼丸的菌落总数及模型货架期

Table 3 Total numbers of colony and model shelf-life of fish balls at different temperatures

时间 /d	菌落总数 / (CFU·g <sup>-1</sup> )	
	38 $^\circ\text{C}$	42 $^\circ\text{C}$
11	39 415.181 8	20 090.909 1
12	51 050.909 1	34 738.272 7
13		39 318.181 8
14		53 590.909 1
一级反应动力学模型货架期 /d	12	14
二元非线性模型货架期 /d	10	10
实际货架期 /d	11	13

由表 4 可以看出, 一级反应动力学模型的准确度更高, 与实测结果更为接近。

## 3 总结

一级反应动力学货架期模型是在已知模型的基础上, 通过实验数据拟合出方程相关的参数。虽然模型需要经过大量的公式转换后才能得到, 建模过程较为繁琐, 但货架期预测公式可直接给出, 普通电商用户直接使用计算器即可算出产品的货架期范围, 非常便捷, 且该模型精度较高, 可以较好解释温度对货架期的影响。二元非线性货架期模型, 是在没有任何模型的基础上, 完全通过统计学方法拟合出方程及其相关参数, 建模过程借助 1stOpt 数学软件完成,



模型构建较容易,精度尚可,但不能从理论上解释温度与货架期的关系,且对产品货架期的计算需要使用MATLAB专业数学软件求解二元非线性方程,不便于普通电商用户使用。因此,还是推荐普通电商用户使用一级反应动力学货架期模型预测手工鱼丸在常温范围内的货架期。

#### 参考文献:

- [1] 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, 30(4): 70-73.  
TIAN Qiushi, XIE Jing, LI Jianrong. Establishment of Shelf Life Model of Silver Carp Surimi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(4): 70-73.
- [2] 魏颖, 袁美兰, 赵利, 等. 鱼糜制品储藏特性和货架期预测研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(10): 99-102.  
WEI Ying, YUAN Meilan, ZHAO Li, et al. Storage Properties and Shelf Life Prediction of Surimi Products[J]. China Brewing, 2016, 35(10): 99-102.
- [3] 吴行印, 谢晶, 张新林, 等. 动力学模型预测三文鱼在不同温度的货架期[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 1-6.  
WU Xingyin, XIE Jing, ZHANG Xinlin, et al. Dynamic Model to Predict the Shelf Life of Salmon at Different Temperatures[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3): 1-6.
- [4] 吕凯波, 李红霞, 熊善柏. 二氧化碳浓度对冰温气调贮藏鱼丸品质的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 430-434.  
LÜ Kaibo, LI Hongxia, XIONG Shanbai. Effects of CO<sub>2</sub> Concentration on Fish-Ball Quality with Modified Atmosphere Packaging and Controlled Freezing-Point Storage[J]. Food Science, 2008, 29(2): 430-434.
- [5] 郭燕茹. 基于抗菌包装和冷杀菌工艺的栅栏技术在鱼糜制品品质控制中的应用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.  
GUO Yanru. The Application of Hurdle Technology Based on Antibacterial Packaging and Cold Sterilization During Surimi-Based Product Storage[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015.
- [6] 金声琅, 丁芸. 鱼丸的微波灭菌和加热灭菌的比较[J]. 肉类研究, 2006, 12(3): 29-32.  
JIN Shenglang, DIN Yun. Comparison of Microwave Sterilization and Heating Sterilization of Fish Balls[J]. Meat Research, 2006, 12(3): 29-32.
- [7] 兰霜, 黎厚斌, 吴习宇. 壳聚糖复合涂膜对板栗保鲜效果的影响研究[J]. 包装学报, 2017, 9(1): 85-92.  
LAN Shuang, LI Houbin, WU Xiyu. Research on Preservation of Chestnut with Chitosan Blend Liquid Film Treatment[J]. Packaging Journal, 2017, 9(1): 85-92.
- [8] 姜颖. 真空包装烤肠货架期预测及保鲜技术研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2012.  
JIANG Ying. Study on Shelf-Life Prediction and Preservation Techniques of Roast Sausages[D]. Yantai: Yantai University, 2012.
- [9] 刘冬梅, 李理, 杨晓泉, 等. 用牛津杯法测定益生菌的抑菌活力[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(3): 110-111.  
LIU Dongmei, LI Li, YANG Xiaoquan, et al. Determination of the Antimicrobial Activity of Probiotic by Oxford Plate Assay System[J]. Food Research and Development, 2006, 27(3): 110-111.
- [10] 全国水产标准化委员会水产品加工分技术委员会. 水产品中挥发性盐基氮的测定: SC/T 3032—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 1-2.  
National Aquaculture Standardization Committee Aquatic Product Processing Sub-Technical Committee. Determination of the Total Volatile Basic Nitrogen in Fishery Products: SC/T 3032—2007[S]. Beijing: Standard Press of China, 2007: 1-2.
- [11] 任斯忱, 李汴生, 申晓曦, 等. 花生仁与核桃仁贮藏货架期预测模型[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 290-295.  
REN Sichen, LI Biansheng, SHEN Xiaoxi, et al. Predictive Modeling of Shelf Life of Peanut and Walnut Kernels during Storage[J]. Food Science, 2012, 33(14): 290-295.
- [12] 刘春芝, 许洪高, 李绍振, 等. 柑橘类果汁货架期研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 292-298.  
LIU Chunzhi, XU Honggao, LI Shaozhen, et al. Research Progress in Shelf Life of Citrus Juice[J]. Food Science, 2012, 33(13): 292-298.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB/T 4789.2—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-5.  
The National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standard Food Microbiological Examination: Aerobic Plate Count: GB/T 4789.2—2016[S]. Beijing: Standard Press of China, 2016: 1-5.
- [14] 王琳, 孟晶晶, 李园锦, 等. 固定化糖化酶型时间-温度指示器在酸奶质量检测上的应用[J]. 包装学报, 2018, 10(1): 46-53.  
WANG Lin, MENG Jingjing, LI Yuanjin, et al.

- Application of Immobilized Glucoamylase Time-Temperature Indicators on Yogurt Quality Monitoring[J]. Packaging Journal, 2018, 10(1): 46-53.
- [15] SIMPSON R, ALMONACID S, ACEVEDO C, et al. Mathematical Model to Predict Effect of Temperature Abuse in Map Systems Applied to Pacific Hake (Merluccius Australis) [J]. Journal of Food Process Engineering, 2003, 26(5): 413-434.
- [16] 张继国. 1stOpt 软件在化工原理实验数据处理中的应用[J]. 广东化工, 2013, 40(23): 206-207.
- ZHANG Jiguo. Applications of 1stOpt in Data Treatment of Chemical Engineering Experiment[J]. Guangdong Chemical Industry, 2013, 40(23): 206-207.
- [17] 万林生. 曲线和曲面拟合的改良缩张算法[D]. 扬州: 扬州大学, 2007.
- WAN Linsheng. Curve and Surface Fitting with Improved Contraction-Expansion Algorithm[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2007.

## Model Construction of Shelf Life for Fuzhou Fish Balls at Normal Temperature

YU Li<sup>1,2</sup>, LIN Yuanzhi<sup>1,3</sup>, DUAN Ningning<sup>1,2</sup>, SU Yuhang<sup>1,3</sup>

( 1. College of Marine and Biochemical Engineering, Fuqing Branch of Fujian Normal University, Fuqing Fujian 350300, China; 2. Fujian Universities and Colleges Engineering Research Center of Soft Plastic Packaging Technology for Food, Fuqing Fujian 350300, China; 3. Fuzhou Packaging Engineering Industry Technology Innovation Center, Fuqing Fujian 350300, China )

**Abstract:** The shelf life model of fish balls packed at room temperature was studied for the convenience of online shops selling fish balls to control the shelf life more accurately. According to the TVB-N value of fish balls, a shelf life model based on reaction kinetics and a two element nonlinear shelf life model with the help of statistical tools (1stOpt and MATLAB) were established. Then, the accuracy of the two shelf-life models was tested by the total numbers of colony. The results showed the primary reaction kinetics shelf life model had to be calculated by the conversion of a large number of data and formulas, but it could better explain the relationship between the temperature and the shelf life in spite of the complex process. The two element nonlinear shelf life model was simple and easy to calculate with the help of statistical tools, but it could not explain the relationship between the temperature and the shelf life. Moreover, the calculation of shelf life had to resort to professional software of MATLAB, which made it hard in application for common online shops. Both of the two models demonstrated certain degree of accuracy, the primary reaction kinetics shelf life model was recommended for common users since it was more precise.

**Keywords:** Fuzhou fish ball; shelf life; primary reaction kinetics; two element nonlinearity