

## 搅打奶油中金黄色葡萄球菌生长预测模型的建立

赖章林<sup>1</sup>,李柏林<sup>1</sup>,欧杰<sup>1\*</sup>,严维凌<sup>2</sup>

1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306

2. 上海市食品研究所, 上海 200235

**摘要:** 国内外对金黄色葡萄球菌预测模型的研究集中处于一、二级模型,且乳品方面的研究又集中在牛奶,而微生物在搅打奶油的生长模型研究基本处于空白。为了填补金黄色葡萄球菌在搅打奶油中生长行为变化的空白,为金黄色葡萄球菌的风险评估提供数据支持。本文选用产A型肠毒素的金黄色葡萄球菌作为研究对象,测定了15℃、20℃、25℃、30℃、36℃下金黄色葡萄球菌在新鲜奶油中的生长曲线,运用Origin8.0软件和DMFit软件,分别使用修正的Gompertz、修正的Logistic和Baranyi三模型来拟合不同温度下的生长模型。通过比较三种模型的拟合结果,选择最适模型的生长动力学参数,选用平方根方程构建金黄色葡萄球菌最大比生长速率与温度的二级模型。结果显示,Baranyi模型对金黄色葡萄球菌的生长曲线拟合效果最好,构建的二级平方根模型拟合度较好; $R^2$ 为0.92,准确因子( $A_f$ )和偏差因子( $B_f$ )均在1左右。所构建的二级模型,能真实快速有效地预测15~36℃金黄色葡萄球菌的生长情况。

**关键词:** 搅打奶油; 温度; 金黄色葡萄球菌; 生长模型

**中图分类号:** TS252.52

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2015)03-0341-06

## Establishment of Growth Model of *Staphylococcus aureus* in Whipping Cream

LAI Zhang-lin<sup>1</sup>, LI Bai-lin<sup>1</sup>, OU Jie<sup>1\*</sup>, YAN Wei-ling<sup>2</sup>

1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

2. Shanghai Food Research Institute, Shanghai 200235, China

**Abstract:** In dairy research many study about primary and secondary models of *Staphylococcus aureus* growth focus on the milk, but very few report related with the *S. aureus* growth on whipping cream. In order to well understand the *S. aureus* growth in whipping cream and provide data support for the risk assessment of *S. aureus*, a *S. aureus* strain produce enterotoxin A was chosen in this study and *S. aureus* growth curves in whipping cream at 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C and 36 °C were obtained. The modified Gompertz, modified Logistic and Baranyi models were applied to fit the growth curves as primary models by Origin 8.0 software and DMFit software. The root-squaring model was used to fit secondary model which describing the relationship between the maximum growth rate with temperature. The results showed that the Baranyi model was the best to fit the *S. aureus* growth in whipping cream as primary model and the values from the Baranyi model could build the root-squaring model with  $R^2$  as 0.92, the accurate factor ( $A_f$ ) and the deviation factor ( $B_f$ ) were around 1. This secondary model from this study can be used to predict the growth of *S. aureus* in whipping cream under 15 °C~36 °C.

**Keywords:** Whipping cream; temperature; *Staphylococcus aureus*; growth model

搅打奶油又称稀奶油,其含有35%左右的乳脂含量,经搅打打发后从流动状变为非流动状并具有可塑性,体积增加数倍,是制作夹芯蛋糕、裱花蛋糕、提拉米苏、泡芙等西式烘焙食品的重要原料。商品化的搅打奶油都是商业无菌的,但在其后的加工贮藏环节包括搅打、裱花等都涉及到大量的人工操作,长时间在空气中暴露,而金黄色葡萄球菌作为自然界中常见的微生物,大多是依附在人的皮肤、黏膜、鼻孔、咽、胃肠道或泌尿系统等<sup>[1,2]</sup>,同时乳和乳制品是金黄色葡萄球菌的主要宿主,当制作蛋糕等烘焙食品的面包房卫生消毒措施不到位时,就有可能导致加工好的食品受金黄色葡萄球菌污染并导致食物中毒<sup>[3]</sup>。

金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)可引起多种组织器官的化脓性炎症,能导致很多种疾病的病原微生物,这种致病可能与其产生的多种外毒素和其他毒力因子有关,如毒素休克综合症-1,剥脱毒素和肠毒素<sup>[4,5]</sup>,肠毒素是引起金黄色葡萄球菌食物中毒的主要因子。100 ng的肠毒素即可引

**收稿日期:** 2013-05-01

**修回日期:** 2013-05-11

**基金项目:** 上海市科委应用技术开发专项资金(2013-116)、(2014-110)

**作者简介:** 赖章林(1990-),男,硕士研究生,研究方向为食品微生物学。E-mail:974897861@qq.com

**\*通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:jou@shou.edu.cn

起呕吐、腹痛、腹泻等食物中毒症状<sup>[6,7]</sup>, 肠毒素还有着极强的耐热特性<sup>[8]</sup>。近年来发生的金黄色葡萄球菌肠毒素感染事件如 2000 年日本雪印奶粉事件等<sup>[9]</sup>。

预报微生物学可以在不测的情况下即可知道待测食品的食用价值及不稳定因素, 打破传统微生物检测受时间约束而滞后的问题, 在食品货架期与食品安全检测方面具有极高价值。通过监测金黄色葡萄球菌在不同温度下的搅打奶油中的生长, 建立生长模型是预测搅打奶油中金黄色葡萄球菌的菌数及产毒情况的有效手段。

国内外对金黄色葡萄球菌预测模型的研究集中处于一、二级模型, 且乳品方面的研究又集中在牛奶, 而微生物在搅打奶油的生长模型研究基本处于空白。赵凤<sup>[10]</sup>用 Gompertz 模型、Logistic 模型、多项式方程拟合 10~36 °C 的原料乳中的金黄色葡萄球菌的生长模型, 通过对各模型均方误差(MSE)和实际拟合生长曲线的分析, 得出 10~18 °C 下的最适生长模型为多项式方程, 20~23 °C 下的最适生长模型为 Logistic 模型, 25~36 °C 下的最适生长模型为 Gompertz 模型。Hiroshi Fujikawa<sup>[11,12]</sup>等人用修正的 Logistic, 当菌的数目达到了 6.5 logCFU/mL 时, 牛奶中的毒素的产量将随时间线性增长, 甚至当细菌数目达到了稳定期时也是这样的。虽然肠毒素的检测方法很多<sup>[6]</sup> [13,14], 但是在实际应用中, 为了省去毒素检测的环节, 模型是必需的。

针对毒素产生的问题, 许多的学者对培养基中的金黄色葡萄球菌的产毒条件进行了研究, 最终发现, 只有当金黄色葡萄球菌的数量达到了一定的浓度时才会产生毒素。本研究首次研究搅打奶油, 简要概述了搅打奶油以及其易受微生物感染的原因, 在不同的温度下, 通过多模型对比, 从而得出可以预测搅打奶油中金黄色葡萄球菌的生长状态的模型。在现实生活中, 为搅打奶油的食用性定性提供了理论基础。监测金黄色葡萄球菌在不同温度下搅打奶油中的生长, 建立一级模型, 选择最优一级模型, 在此基础上建立二级模型。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

产 A 型肠毒素金黄色葡萄球菌(SA14966)上海市食品研究所保存, 零下 30 °C 冻藏于 40%甘油溶液中; 1 L 装 Anchor 搅打奶油 新西兰产(国内市购); Petrifilm™金黄色葡萄球菌测试片 美国 3M 公司; 营养肉汤 上海华康科技开发有限公司。

Xiang Yi H-2050R 离心机 长沙湘仪离心机仪器有限公司; KM020 多功能食品处理机 英国健伍股份有限公司; 隔水式温培养箱 上海-恒科技术有限公司; 立式压力蒸汽灭菌锅 上海博讯实业有限公司医药设备厂; 烘箱 DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海-恒科技术有限公司; MJ-II 霉菌培养箱 上海-恒科技术有限公司; 电热恒温培养箱 上海医疗器械七厂; THZ-82A 气浴恒温振荡器 金坛市城西天竞实验仪器厂; 电子天平 PL6001-L 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

### 1.2 制备菌悬液

从保存的平板培养基中取出一环菌量, 接种到 250 mL 盛有营养肉汤的三角烧瓶里, 置于摇床培养(100 r/min, 37 °C, 18~20 h)。

### 1.3 带菌搅打奶油的制备

将 1 L 奶油倒入奶油搅打机中, 用移液枪加入 1 mL 菌液, 搅打 5 min, 搅打后, 将奶油移至大烧杯中。然后置于恒温下培养。

### 1.4 试验方法

1.4.1 金黄色葡萄球菌的接菌、培养和计数 本实验采用不同的温度, 原始菌液约 8 logCFU/mL, 通过梯度稀释, 通过计数可以得出初始菌接菌浓度约为 2~3 logCFU/mL。

实验选定了 15±1 °C、20±1 °C、25±1 °C、30±1 °C、36±1 °C 这 5 个温度下, 不同的温度, 不同时刻, 稀释梯度不同, 在选定的时间, 用电子天平无菌称取 10 g 样品置于装有 90 mL 无菌生理盐水的采样杯中。再用移液枪在 9 mL 的无菌生理盐水中做梯度稀释, 采用 Petrifilm™金黄色葡萄球菌测试片进

行计数,其他具体过程参见国标 GBT4789.10-2010<sup>[15]</sup>,测试片在 37 °C 下恒温培养 24 h,计数,每次做两个平行样。

1.4.2 建立生长模型 应用 Origin8.0 软件拟合和 DMFit (<http://modelling.combase.cc/DMFit.aspx>) 来拟合生长数据,修正的 Logistic<sup>[16]</sup>、修正的 Gompertz<sup>[16]</sup>模型通过 Origin8.0 拟合,Baranyi<sup>[17]</sup>模型通过 DMFit 拟合。通过这三个模型拟合不同温度下金黄色葡萄球菌随时间生长的对比,得出最适合建立二级模型的一级模型。以下是三个模型的方程:

修正的 Gompertz:

$$\log(N_t) = \log(N_0) + A * \exp(-\exp(2.718 * \mu_m * \frac{(\lambda - t)}{A} + 1)) \quad (1)$$

修正的 Logistic:

$$\log(N_t) = \log(N_0) + \frac{A}{1 + \exp(4 * \mu_m * \frac{(\lambda - t)}{A} + 2)} \quad (2)$$

Baranyi and Roberts:

$$y = y_0 + \frac{y_1}{\ln(10)} + \frac{y_2}{\ln(10)} \quad (3)$$

$$y_1 = \mu_m t + \ln[e^{-\mu_m t} - e^{-\mu_m(t+t_{lag})} + e^{-\mu_m t_{lag}}]$$

$$y_2 = \ln[1 + 10^{y_0 - y_{max}} (e^{\mu_m(t-t_{lag})} - e^{-\mu_m t_{lag}})]$$

式(1)、(2)中  $\log(N_t)$  是  $t$  时的菌落数的对数值 [ $\log(\text{CFU/mL})$ ]。 $\log(N_0)$  是初始的菌数 [ $\log(\text{CFU/mL})$ ]。 $A$  是拟合参数, $\mu_m$  是最大比生长速率  $h^{-1}$ , $\lambda$  是滞后期  $h$ 。式(3)中  $y_0$  和  $y_{max}$  分别是细菌的初始菌量和最大菌量, $t_{lag}$  是滞后期。

温度对生长速率的影响用平方根方程<sup>[18]</sup>来拟合,方程如下:

$$\sqrt{\mu_m} = a(T - T_{min}) \quad (4)$$

式中  $a$ ,  $T_{min}$  是拟合参数, $a$  是回归系数, $T_{min}$  表示细菌理论的最低生长温度, $\sqrt{\mu_m}$  是最大比生长速率  $h^{-1}$ , $T$  是温度 °C。通过对比三个一级模型,得出最佳的一级模型,从而得出对应的比生长速率和对应的温度,将其代入式(4)中,同过 Origin8.0 拟合,从而得出  $T_{min}$  和  $a$  的值。

1.4.3 模型的检验 通过一级模型得出的  $R^2$  和最大比生长速率  $\mu_m$  来判断一级模型是否适合建立二级模型,二级模型的验证则是通过比较均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)<sup>[19]</sup>、残差平方和(RSS)、偏差度(Bias Factor,  $B_f$ ) 以及准确度(Accuracy Factor,  $A_f$ )<sup>[20]</sup>,进而了解所构建模型所得到的预测值与实验所得真实值之间的差异。

$$RSS = \sum (\mu_p - \mu_d)^2 \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\mu_p - \mu_d)^2}{n}} \quad (6)$$

$$B_f = 10^{\frac{\sum \lg(\frac{\mu_p}{\mu_d})}{n}} \quad (7)$$

$$A_f = 10^{\frac{\sum \left| \lg(\frac{\mu_p}{\mu_d}) \right|}{n}} \quad (8)$$

式中 $\mu_p$ ,  $\mu_d$ 是最大比生长速率的预测值和实验值, 其中实验的次数  $n$  为 5。

## 2 结果与分析

### 2.1 金黄色葡萄球菌的一级模型的建立

用 Origin8.0 分别用修正的 Gompertz 和修正的 Logistic 拟合  $15\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $20\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $25\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $30\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $36\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$  条件下的金黄色葡萄球菌的生长, 得出参数如下:

表 1 修正的 Gompertz 模型参数

Table 1 Statistic analysis of growth parameters of modified Gompertz

T/ $^\circ\text{C}$	A	$\lambda$	$\mu_m$	$\log(N_0)$	$R^2$
15	414.667	214.484	0.845	2.737	0.957
20	3.285	-0.110	0.093	2.162	0.957
25	2.580	10.891	0.108	3.080	0.961
30	42.790	-53.473	0.931	-35.901	0.960
36	3.058	2.901	0.233	3.168	0.990

表 2 修正的 Logistic 模型参数

Table 2 Statistic analysis of growth parameters of modified Logistic

T/ $^\circ\text{C}$	A	$\lambda$	$\mu_m$	$\log(N_0)$	$R^2$
15	2.766	41.597	0.033	2.750	0.957
20	3.665	-5.018	0.090	1.736	0.959
25	2.520	11.738	0.115	3.025	0.971
30	54.892	-72.034	0.836	-48.030	0.960
36	3.300	1.617	0.223	2.890	0.991

用 DMFit 软件中的 Baranyi 模型来拟合不同温度下的金黄色葡萄球菌的生长, 得到的生长参数如下:

表 3 Baranyi 模型参数

Table 3 Statistic analysis of growth parameters of Baranyi

T/ $^\circ\text{C}$	$\log(N_0)$	$t_{lag}$	SE	$\mu_m$	$R^2$
15	2.849	31.593	0.081	0.021	0.915
20	2.354	0.205	0.194	0.080	0.968
25	3.053	10.537	0.153	0.102	0.977
30	2.370	-	0.344	0.179	0.933
36	3.142	2.164	0.119	0.201	0.989

从实验结果可以看出, 三个模型分别在 5 个温度下的拟合  $R^2$  都超过了 0.9, 说明三个模型都能拟合, 但是在  $30\text{ }^\circ\text{C}$  时, 修正的 Logistic 模型和修正的 Gompertz 模型拟合得到的  $\mu_m$  都不合理, 所以最适合用 Baranyi 模型得到的参数来建立二级模型。

以下是以  $\log(N_t)$  为纵坐标, 时间  $t$  为横坐标建立的 Baranyi 模型: 如图 1。

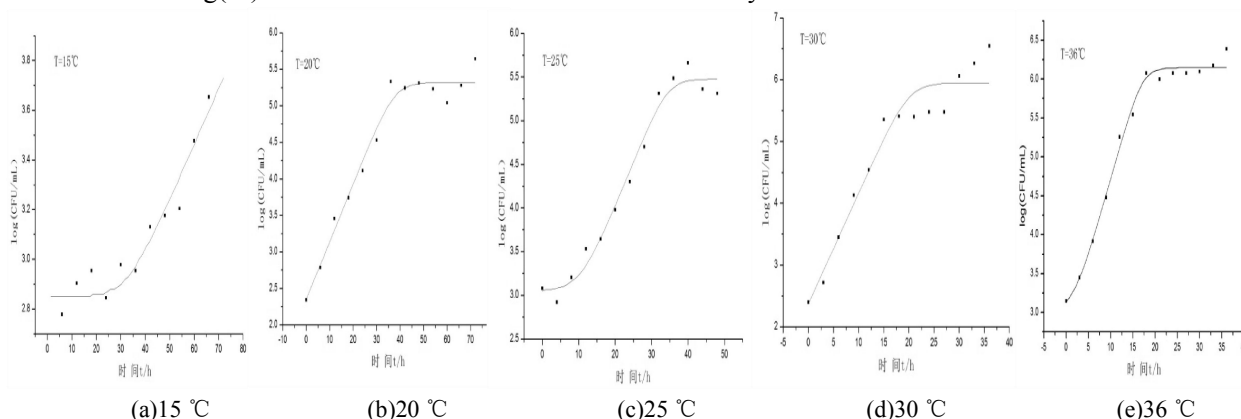


图 1 是(a) $15\text{ }^\circ\text{C}$ 、(b) $20\text{ }^\circ\text{C}$ 、(c) $25\text{ }^\circ\text{C}$ 、(d) $30\text{ }^\circ\text{C}$ 、(e) $36\text{ }^\circ\text{C}$  条件下奶油中的金黄色葡萄球菌的一级生长模型

Fig.1 The primary growth model for *Staphylococcus aureus* in cream at (a) $15\text{ }^\circ\text{C}$ 、(b) $20\text{ }^\circ\text{C}$ 、(c) $25\text{ }^\circ\text{C}$ 、(d) $30\text{ }^\circ\text{C}$ 、(e) $36\text{ }^\circ\text{C}$

### 2.2 建立金黄色葡萄球菌的二级生长模型

通过 Baranyi 模型得到了不同温度的最大比生长速率  $\mu_m$  代入平方根方程, 得到了最大比生长速率与温度的二级模型, 拟合曲线如图 2。

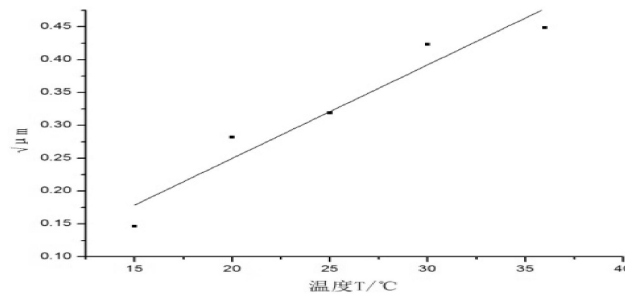


图2 最大比生长速率与温度的二级模型拟合曲线图  
Fig.2 Fitted  $\mu_m$  and temperature of the secondary model

得到了拟合方程:

$$\sqrt{\mu_m} = 0.0142(T - 2.439) \quad (9)$$

从图2可以看出,在15~36℃这一温度范围内,最大比生长速率随温度的升高而增大,呈良好线性关系。方程拟合的决定系数  $R^2$  为0.911。得出的理论最低生长温度为2.4℃,实验监测了5℃下的奶油中的金黄色葡萄球菌的生长,基本处于不增长或是负增长状态,所以这个理论最低生长温度是有一定的参考意义。

### 2.3 模型的验证

表4是,比生长速率的预测值与实测值的残差平方和(RSS)、平方根误差(RMSE)、准确性因子( $A_f$ )、偏差因子( $B_f$ )。

表4 比生长速率的预测值与观测值的统计学分析  
Table 4 Statistic analysis of  $\mu_m$  between predicted value and observed value

RSS	RMSE	$A_f$	$B_f$
0.001	0.016	1.186	1.024

通过表4可以得出,二级模型  $R^2$  值大于0.92,同时残差平方和值只有0.001,这就表明平方根模型可以很好的拟合温度对最大比生长速率的影响,通过比较最大比生长速率的预测值和观测值,得出  $A_f$ 、 $B_f$  的值都很接近1,说明拟合值和观测值都很接近,该模型的拟合度较好,适合预测奶油中的金黄色葡萄球菌的生长。

在15~36℃这温度范围内,分别取了28℃和33℃,在将温度代入平方根方程中,得到的最大比生长速率与实验测得最大比生长速率很接近。在28℃温度条件下  $\mu_m$  预测值为0.131,实测值为0.123;在33℃温度条件下  $\mu_m$  预测值为0.189,实测值为0.191。可以看出预测值与实测值非常的接近,因此这个模型是值得信赖的。

## 3 讨论

用于建立微生物模型的数据收集方式主要有三种<sup>[21,22]</sup>:一是实验室的肉汤液体培养基上接种、培养、测定。目前,大部分的模型都是基于肉汤液体培养基上建立起来的,例如PMP(Pathogen modeling program)<sup>[23]</sup>中所有的模型都是基于液体培养基,用液体培养基建立模型,虽然方便、快捷、测定数值精确。但是不同食品的营养成分、组成成分不同,所以生长情况不同,预测结果与实际结果会有很大的误差,因此基于肉汤培养基建立的金黄色葡萄球菌的生长模型不能很好的描述搅打奶油中金黄色葡萄球菌的生长;二是通过测定自然污染的原料食品的菌数变化来建立模型。自然污染的食品所受污染的微生物种类不固定,微生物初始菌不易控制,菌间的相互作用就更复杂;三是向原料食品上接种特定微生物来获得数据从而建立模型,这种方法虽然操作繁琐,菌数测定精确度不如液体培养基,但可以考察食品原料组织对特定微生物生长的影响,所以建立的模型能很好的预测特定微生物在实际食品上的生长。本研究采用了第三种方法,向无菌搅打奶油中直接接种活化好的金黄色葡萄球菌,在密封的大烧杯中进行培养和测定,并验证该数学模型用于预测金黄色葡萄球菌在搅打奶油中生长的有效性。

## 4 结论

影响微生物生长的因素很多,如 pH, Aw 以及生物保鲜剂等,但是对于搅打奶油中的金黄色葡萄球菌来说,温度是最大的影响因素,因此本课题选择温度作为主要因素来研究。本实验研究了搅打奶油中金黄色葡萄球菌在不同温度下的生长规律,实验选定 15±1 °C、20±1 °C、25±1 °C、30±1 °C、36±1 °C 这 5 个温度。分别以修正的 Logistic、修正的 Gompertz、和 Baranyi 模型建立了金黄色葡萄球菌在不同温度下的一级模型,通过比较三个模型的  $R^2$  和  $\mu_m$ , 得出 Baranyi 模型的拟合效果更好,通过 Baranyi 生长曲线可以得出,在 15~36 °C 内,最大比生长速率随着温度的升高而增大。通过 15~36 °C 恒温下的搅打奶油中金黄色葡萄球菌的 Baranyi 生长动力学模型,建立了在 15~36 °C 恒温储藏条件下搅打奶油中金黄色葡萄球菌最大比生长速率与温度关系的有效二级模型,为使用者提供能精确预测金黄色葡萄球菌在搅打奶油流通或食用过程中的生长动态工具。

## 参考文献

- [1] MEDVEDOVA A, VALIK L, SIROTA Z, *et al.* Growth characterization of *Staphylococcus aureus* in milk: a quantitative approach[J]. *Czech J. Food Sci.*, 2009,27(6):443-453
- [2] 索玉娟,于宏伟,凌巍,等.金黄色葡萄球菌污染状况研究[J].*中国食品学报*,2008,68(3):88-92
- [3] 王彤,林露,严维凌,等.温度和接种量对搅打奶油中金黄色葡萄球菌生长及产肠毒素的影响[J].*食品科学*,2014,35(23):210-214
- [4] 刘伟,王菊光,孙晓华,等.日常食品及食物中毒样本中金黄色葡萄球菌肠毒素的分型检测分析[J].*中国预防医学杂志*,2013,14(8):608-611
- [5] BOYNUKARA B, GULHAN T, ALISARLI M, *et al.* Classical enterotoxinogenic characteristics of *Staphylococcus aureus* strains isolated from bovine subclinical mastitis in Van, Turkey[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008,125:209-211
- [6] 云盛,索晓敏,徐正挺,等.金黄色葡萄球菌肠毒素检测的研究进展[J].*现代生物医学进展*,2012,12(19):3756-3758
- [7] 柳旭伟,葛文霞.金黄色葡萄球菌肠毒素[J].*微生物学杂志*,2008,28(5):86-90
- [8] 许振伟,韩奕奕,孟瑾,等.熟食肉制品中金黄色葡萄球菌风险评估基础研究[J].*包装与食品机械*,2012,30(5):40-43
- [9] 徐振波,刘晓晨,李琳,等.金黄色葡萄球菌肠毒素在食源性微生物中的研究进展[J].*现代食品科技*,2013,29(9):2317-2324
- [10] 赵凤,曲行光,吕学娜.原料乳中金黄色葡萄球菌生长模型的建立[J].*质量安全*,2009:242-244
- [11] FUJIKAWA H, MOROZUMI S. Modeling *Staphylococcus aureus* growth and enterotoxin production in milk[J]. *Food Microbiology*, 2006(23):260-267
- [12] FUJIKAWA H. Development of a new logistic model for microbial growth in foods[J]. *Biocontrol Science*, 2010,15(3):75-80
- [13] 曾湘淼.金黄色葡萄球菌的检测与清除[J].*生物信息学*,2012,10(4):301-306
- [14] 陆贞玉.食品中金黄色葡萄球菌及检测方法现状[J].*预防医学情报杂志*,2010,26(11):892-894
- [15] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会.GBT4789.10-2010 食品卫生微生物学检验 金黄色葡萄球菌计数[S].北京:中国标准出版社,2010:1-16
- [16] ZWIETERING MH, JONGENBURGER I, ROMBOUTS FM, *et al.* Modeling of the Bacterial Growth Curve[J]. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1990,56(6):1875-1881
- [17] GARICA D, RAMOS AJ, SANCHI V, *et al.* Predicting mycotoxins in foods: A review[J].*Food Microbiology*,2009(26): 757-769
- [18] LEMARC Y, VALIK L, MEDVEDOVA A. Modelling the effect of the starter culture on the growth of *Staphylococcus aureus* in milk[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2009(129):306-311
- [19] DING T, SHIM YH, KIM HN, *et al.* Development of Predictive Model for the Growth of *Staphylococcus aureus* in Kimbab[J]. *Food Sci. Biotechnol.*, 2011,20(2):471-476
- [20] DING T, SHIM YH, CHOI NJ, *et al.* Mathematical Modeling on the Growth of *Staphylococcus aureus* in Sandwich[J]. *Food Sci. Biotechnol.*, 2010,19(3):736-768
- [21] 姜英杰,邹晓葵,彭增起,等.大肠杆菌在猪背最长肌上生长预测模型的建立[J].*食品科学*,2008,29(12):115-119
- [22] 董庆利,曾静,熊成,等.不同储藏温度下冷却猪肉货架期预测模型的构建[J].*食品科学*,2012,33(20):304-308
- [23] BARANYI J, ROSS T, ROBERTS TA, *et al.* The effects of parameterisation on the performance of empirical models used in predictive microbiology[J]. *Food Microbiology*, 1996,13:89-91