

不同温度下椰汁中金黄色葡萄球菌的生长动力学模型比较

郭明娟¹, 光翠娥^{*1,2}, 干建平², 范志文¹

(1. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214000; 2. 黄冈师范学院 经济林木种质改良与资源综合利用湖北省重点实验室 & 大别山特色资源开发湖北省协同创新中心, 湖北 黄冈 438000)

摘要: 探讨不同温度下椰汁中金黄色葡萄球菌的生长预测模型。将菌悬液接种到椰汁中, 测定不同温度 (20、25、30、36 °C) 下的生长数据。使用 Matlab 软件拟合得到修正 Gompertz (MGompertz)、修正 Logistic (MLloistic) 和 Baranyi 模型, 比较残差和拟合度选择最优一级模型, 并拟合出生长参数。用平方根和二次多项式方程建立二级模型, 通过相关系数、偏差因子和准确因子对二级模型进行检验。在 20~36 °C 下, Baranyi 模型拟合出的各个拟合度最优, Baranyi 模型适宜作为模拟金黄色葡萄球菌在椰汁中生长的一级预测模型。二次多项式相较于平方根模型可以更好地表达温度与最大比生长速率及延滞期的关系。因此选择 Baranyi 模型和二次多项式模型描述不同温度下椰汁中金黄色葡萄球菌的生长。

关键词: 金黄色葡萄球菌; 椰汁; 预测模型; 拟合度

中图分类号: TS 201.3 文章编号: 1673-1689(2020)02-0089-08 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.02.012

Comparison of Growth Prediction Models of *Staphylococcus aureus* at Different Temperatures in Coconut Milk

GUO Mingjuan¹, GUANG Cuie^{*1,2}, GAN Jianping², FAN Zhiwen¹

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214000, China; 2. Hubei Key Laboratory of Economic Forest Germplasm Improvement and Resources Comprehensive Utilization & Hubei Collaborative Innovation Center for the Characteristic Resources Exploitation of Dabie Mountains, Huanggang Normal College, Huanggang 438000, China)

Abstract: The study aimed to investigate the growth prediction models of *Staphylococcus aureus* in coconut milk at different temperatures (20, 25, 30 and 36 °C). Growth of inoculated bacteria in coconut milk was determined and modified Gompertz modified Logistic and Baranyi models were fitted by using the Matlab software. The optimal primary model was selected by comparing the residual and goodness of fit, and the growth parameters were thus obtained. The secondary model was established by square root and quadratic polynomial equations and evaluated by the correlation coefficient, the accuracy factor and the bias factor. At between 20~36 °C temperatures, the Baranyi

收稿日期: 2017-11-14

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31201289); 经济林木种质改良与资源综合利用湖北省重点实验室 & 大别山特色资源开发湖北省协同创新中心联合开放基金项目(2017AW1)。

* 通信作者: 光翠娥(1976—), 女, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事食品营与功能因子方面的研究。

E-mail: guang1226@hotmail.com

model was suitable as a primary prediction model for simulating the growth of *Staphylococcus aureus* in coconut milk. The quadratic polynomial equation could better express the relationship between temperature and the maximum specific growth rate and the lag phase compared with the square root model. Therefore, Baranyi and quadratic polynomial models were chosen to describe the growth of *Staphylococcus aureus* in coconut milk at different temperatures.

Keywords: *Staphylococcus aureus*, coconut milk, prediction model, goodness of fit

金黄色葡萄球菌是葡萄球菌属的一种重要病原菌,不仅能引起皮肤感染,还易导致细菌性食物中毒,有“嗜肉菌”之称。由葡萄球菌引起的食物中毒是由于摄入了含有耐热葡萄球菌肠毒素的食物。在受污染的食品中,当金黄色葡萄球菌浓度达到 $10^{6.5}$ CFU/g时,这种肠毒素剂量就能达到使人中毒的水平^[1]。如果食物生产和储存期间的环境条件对金黄色葡萄球菌的生长有利,就会产生葡萄球菌肠毒素^[2],对消费者产生危害。每年因金黄色葡萄球菌引起的中毒事件在世界各地时有发生,中国也不例外。

植物蛋白饮料营养丰富,但也是微生物的大本营,生产若有忽视,则会导致严重质量问题,短期内出现腐败变酸、分层沉底或胀瓶等后果^[3]。椰汁作为一种植物蛋白饮料,汁味清甜,香浓沁爽,富含蛋白质、脂肪、维生素C及钙、磷、铁、钾、镁、钠等矿物质,是营养极为丰富的饮料^[4]。因此椰汁作为天然的培养基,极易受到微生物污染,适于金黄色葡萄球菌的生长。2006年7月,在法国的法兰西岛爆发了关于椰汁的中毒事件,Hennekinne^[5]等人从导致人们中毒的椰汁中分离出了金黄色葡萄球菌。目前国内关于金黄色葡萄球菌在食品中的研究涉及肉类^[6-8]、乳制品^[9-10]、米面制品^[11-13]等,但关于金黄色葡萄球菌在椰汁中的研究还没有。

食品中的预测性微生物学是食品微生物学领域的一个研究领域,旨在提供数学模型来预测食品环境中的微生物行为^[14]。它主要结合微生物学、工程数学及统计学,通过前期收集大量数据,建立一级和二级模型,结合计算机建立仿真软件,利用软件输入初始条件得出微生物的生长情况,对产品安全进行评估^[15]。预测微生物学的应用主要包括食品的货架期预测、风险评估等。Gompertz、Logistic、Baranyi和Richards模型^[16]等是预测微生物学中常见的一级模型,常见的二级模型有平方根、Arrhenius和多项式模型等。Anderson^[17]等人收集了不同温度下(7~

30℃)沙门氏菌和单增李斯特菌在生菜中的生长参数,构建了温度与生长参数最大比生长速率和延滞期的函数关系。牛会敏^[18]等人检测了低温条件下假单胞菌在冷却猪肉中的生长,发现冷却猪肉中假单胞菌的最适生长模型在不同温度下各不相同,0℃时是Baranyi模型,5℃时是修正的Gompertz模型,10℃时是Huang模型。

本研究的目的是找到一级和二级模型描述椰汁中金黄色葡萄球菌的生长。以椰汁为原材料,测定不同温度下(20、25、30、36℃)椰汁中金黄色葡萄球菌的生长数据,应用MGompertz模型、MLogistic模型和Baranyi模型拟合出一级生长预测模型,根据拟合度选取适宜的一级模型,得到最大比生长速率($\mu_{\max}$)和延滞期(t_{lag})。采用平方根和二次多项式模型建立温度与 $\mu_{\max}$ 、温度与 t_{lag} 关系的二级生长模型,选择最优模型,并对所得结果进行可靠性验证,为指导椰汁生产和消费、控制椰汁腐败提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 菌种与材料

金黄色葡萄球菌(CMCC26003):北纳创联生物技术有限公司;椰汁:椰树集团;Baird-Parker平板、亚碲酸钾卵黄菌增液:上海谷研实业有限公司。

1.2 仪器与设备

CHP-80培养箱:上海市三发科学仪器有限公司;DSX-280B手提式压力蒸汽灭菌器:上海申安医疗器械厂;GZX-9070 MBE电热鼓风干燥箱:上海博讯实业有限公司医疗设备厂;DK-8D电热恒温水槽:上海精宏实验设备有限公司;SF-CJ-1A净化工作台:上海三发科学仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 不同温度下生长曲线测定 为模拟金黄色葡萄球菌污染椰汁的情况,将适量的菌液接种到椰汁中。挑取一环金黄色葡萄球菌菌落,浸入装有10

mL 灭菌生理盐水试管中振荡,制成浓度为 $10^7 \sim 10^8$ CFU/mL 的菌悬液。对菌悬液稀释一定倍数后,将菌悬液按 1:100 的比例接种到椰汁中,分别置于 20、25、30、36 °C 下培养。其中 30、36 °C 下 2 h 取样测量一次,25 °C 下 3 h 取样一次,20 °C 下 6 h 取样一次。每次吸取 10 mL 样品置于装有 90 mL 无菌生理盐水的锥形瓶中振荡,依次进行 10 倍稀释。选取 2 个稀释度适宜的样品,每次吸取两个 100 μ L 样品加入 Baird-Parker 平板中,用涂布棒涂布^[9]。倒置于 36 °C 培养箱中培养 24~48 h。每个样品做两次重复。

1.3.2 金黄色葡萄球菌生长的一级模型 一级模型用于描述微生物数量变化与培养时间的关系,用 Matlab 软件分析不同温度条件下金黄色葡萄球菌在椰汁中的生长数据,拟合 S 型曲线,建立生长模型。比较 3 种模型的拟合指标,选取最佳模型。研究选取预测微生物学最常用的 3 种一级预测模型,即 MGompertz 模型、MLogistic 模型和 Baranyi 模型来拟合不同温度下金黄色葡萄球菌在椰汁中的生长模型。

修正的 Gompertz 模型^[20]:

$$\lg(N_t) = \lg(N_0) + \lg\left(\frac{N_{\max}}{N_0}\right) \times \exp\left(-\exp\left(-\frac{e \times \mu_{\max}}{\lg\left(\frac{N_{\max}}{N_0}\right)} \times (t_{\text{lag}} - t) + 1\right)\right) \quad (1)$$

修正的 Logistic 模型^[21]:

$$\lg(N_t) = \lg(N_0) + \frac{\lg\left(\frac{N_{\max}}{N_0}\right)}{1 + \exp\left(-\frac{4\mu_{\max}}{\lg\left(\frac{N_{\max}}{N_0}\right)} \times (t_{\text{lag}} - t) + 2\right)} \quad (2)$$

Baranyi 模型^[22]:

$$\lg(N_t) = \lg(N_{\max}) + \lg\left(\frac{e^{\frac{t \times \mu_{\max}}{t_{\text{lag}} \times \mu_{\max}} + e^{\frac{t_{\text{lag}} \times \mu_{\max}}{t_{\text{lag}} \times \mu_{\max}}}} - 1}{e^{\frac{t \times \mu_{\max}}{t_{\text{lag}} \times \mu_{\max}} - 1} + e^{\frac{t_{\text{lag}} \times \mu_{\max}}{t_{\text{lag}} \times \mu_{\max}}} + \lg\left(\frac{N_{\max}}{N_0}\right)}\right) \quad (3)$$

式中, $\lg(N_t)$ 为 t 时刻细菌的对数值; $\lg(N_0)$ 为初始细菌的对数值; $\lg(N_{\max})$ 为最大细菌数的对数值; t_{lag} 为延滞期; $\mu_{\max}$ 为最大比生长速率。

1.3.3 金黄色葡萄球菌生长的二级模型 二级模型一般用于描述不同生长环境下环境因子对微生物生长的影响。根据一级模型获得相关的生长参数 $\mu_{\max}$ 和 t_{lag} ,采用 Matlab 软件,利用平方根和二次多项式模型分别拟合温度与 $\mu_{\max}$ 和 t_{lag} 的关系,两种模型的表达式如下。

平方根模型:

$$\sqrt{\mu_{\max}} = b_{\mu}(T - T_{\min}) \quad (4)$$

$$\sqrt{\frac{1}{t_{\text{lag}}}} = b_t(T - T_{\min}) \quad (5)$$

式中, b 为模型参数; $T_{\min}$ 为最低生长温度。

二次多项式模型:

$$\mu_{\max} = a \times T^2 + b \times T + c \quad (6)$$

$$t_{\text{lag}} = a \times T^2 + b \times T + c \quad (7)$$

式中, T 为实验温度; a 、 b 、 c 为模型参数。

1.3.4 一级模型可靠性评价 应用 Matlab 软件对所得生长数据进行非线性拟合,采用 R^2 、RMSE、RSS、RSE 和 AIC 整体分析 3 种模型的拟合效果。 R^2 用于对拟合效果进行总的评价,其值越接近于 1,拟合效果越好;RMSE 可衡量预测准确度,说明模型预测值的离散程度;RSS 和 RSE 值越小,拟合效果越好;AIC 是衡量统计模型拟合优良性的一种标准^[23],AIC 值最小的模型是最准确的。其中:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{obs} - \text{pred})^2}{n}} \quad (8)$$

$$\text{RSS} = \sum_{i=1}^n (\text{obs} - \text{pred})^2 \quad (9)$$

$$\text{RES} = \sqrt{\frac{\text{RSS}}{n-m}} \quad (10)$$

$$\text{AIC} = n \ln\left(\frac{\text{RSS}}{n-m}\right) + 2(m+1) + \frac{2(m+1) \times (m+2)}{n-m-2} \quad (11)$$

式中,pred 为用模型拟合出的生长数据,即拟合值;obs 为实际所测得的数据值,即实测值; n 为样本数量; m 为模型中参数的个数。

1.3.5 二级模型的评估与验证 采用偏差因子(Bf)和准确因子(Af)来评价二级模型的可靠性。

$$\text{Bf} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^n (\lg \frac{\text{pred}}{\text{obs}})}{n}} \quad (12)$$

$$\text{Af} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^n \left| \lg \frac{\text{pred}}{\text{obs}} \right|}{n}} \quad (13)$$

Af 可测量预测值和实测值之间的准确程度, $\text{Af} > 1$,越接近 1,模型准确度越高。

Bf 可判断预测值和实测值之间的偏差度,其值处于 0.9~1.05 范围内较好。

2 结果与分析

2.1 一级模型的建立

2.1.1 残差分布 4 个温度下的方程拟合值与实测值的残差见图 1。拟合度较好的模型,其残差应呈随

机分布^[24]。由图 1 可知,4 个温度下 3 种模型的残差分布未呈现任何规律,所以 3 种模型均对实测值拟合程度较好,没有系统误差。但相较于 MLogistic 模型,Baranyi 模型的残差值大部分在 ± 0.2 上下来回波动,分布更为集中。

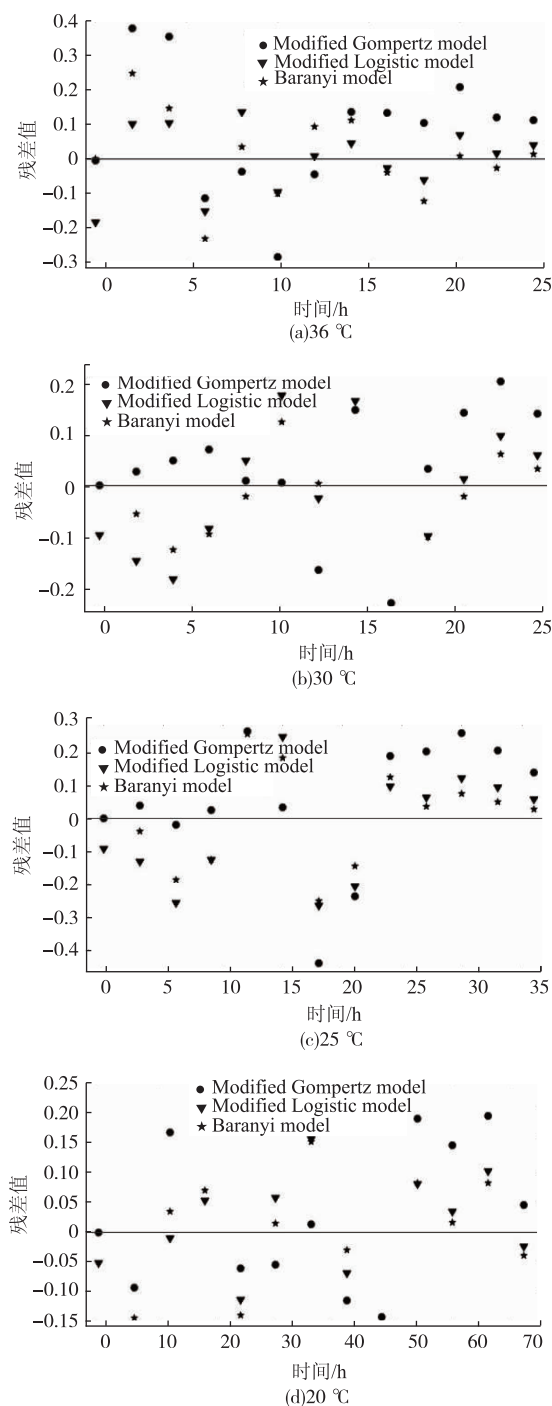


图 1 不同温度条件下的残差分布

Fig. 1 Plots of residual at different temperatures

2.1.2 曲线拟合 对 20、25、30、36 °C 4 个温度下的生长数据进行拟合,结果见图 2。由图 2 可以看出,随着培养时间的延长,金黄色葡萄球菌的浓度也随之增加,且遵循 S 型曲线,培养一定时间后都趋于稳定。30、36 °C 下,金黄色葡萄球菌的浓度都达到 8 lg(CFU/mL) 以上,25 °C 的浓度接近 8 lg(CFU/mL),20 °C 的浓度接近 7 lg(CFU/mL)。

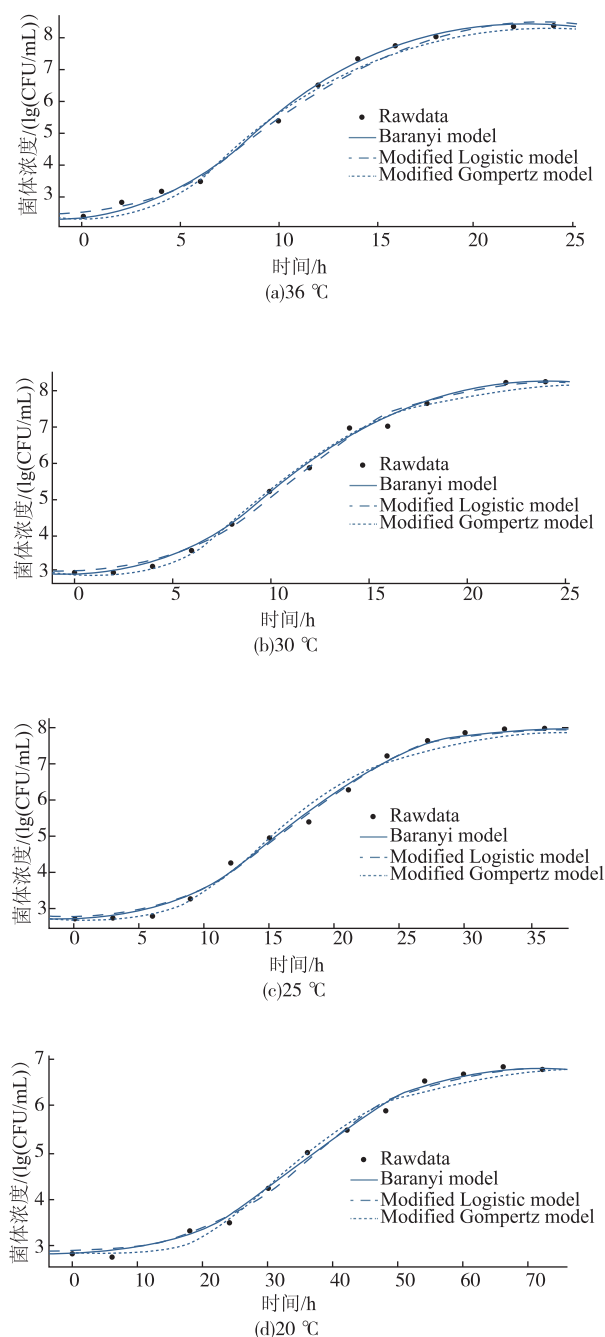


图 2 不同温度条件下拟合曲线

Fig. 2 Fitting curves at different temperatures

2.1.3 拟合度统计指标分析 拟合完成后对模型的准确度进行进一步的评估,得出3种模型的相关拟合度指标,见表1。

表1反应的是不同温度下3种模型拟合度指标的分析。可以看出,4个温度下的拟合效果都比较好,相关系数 R^2 都在0.99以上。相较于MGompertz和MLogistic模型,Baranyi模型拟合出的相关系数 R^2 最大, R^2 的平均值达到0.9961;均方根误差RMSE最小,平均值为0.1316;RSE和AIC的平均值最小,分别为0.1455和-36.6858,拟合效果相对更好。因而选择Baranyi模型作为拟合金黄色葡萄球菌在椰汁中生长的一级模型。

根据上述结论,以Baranyi模型为基础,得到不同温度下椰汁中金黄色葡萄球菌的生长动力学参数,包括初始菌落数 N_0 、最大菌落数 N_{max} 、最大比生长速率 μ_{max} 和延滞期 t_{lag} ,见表2。20℃下金黄色葡萄球菌生长较慢,最大比生长速率较小,延滞期则较长。随着温度的升高,最大比生长速率逐渐升高,延滞期则相应缩短。25、30、36℃时最大比生长速率分别为20℃时的2倍、3倍和3.5倍;20℃时延滞期分别为25、30、36℃时的2.5倍、4倍和5.7倍。

各温度下一级预测模型方程为:
20℃:

$$f(t)=6.7745+\lg\left(\frac{e^{\frac{t \times \mu_{max}}{t \times \mu_{max} + e^{\frac{\mu_{max} \times t_{lag}}{\mu_{max} \times t_{lag} + 3.9969}}}-1}{e^{\frac{\mu_{max} \times t_{lag}}{\mu_{max} \times t_{lag} + 3.9969}}-1}}\right)$$

25℃:

$$f(t)=7.9708+\lg\left(\frac{e^{\frac{t \times \mu_{max}}{t \times \mu_{max} + e^{\frac{\mu_{max} \times t_{lag}}{\mu_{max} \times t_{lag} + 5.2304}}}-1}{e^{\frac{\mu_{max} \times t_{lag}}{\mu_{max} \times t_{lag} + 5.2304}}-1}}\right)$$

30℃:

$$f(t)=8.2253+\lg\left(\frac{e^{\frac{t \times \mu_{max}}{t \times \mu_{max} + e^{\frac{\mu_{max} \times t_{lag}}{\mu_{max} \times t_{lag} + 5.2297}}}-1}{e^{\frac{\mu_{max} \times t_{lag}}{\mu_{max} \times t_{lag} + 5.2297}}-1}}\right)$$

36℃:

$$f(t)=8.3916+\lg\left(\frac{e^{\frac{t \times \mu_{max}}{t \times \mu_{max} + e^{\frac{\mu_{max} \times t_{lag}}{\mu_{max} \times t_{lag} + 6.0114}}}-1}{e^{\frac{\mu_{max} \times t_{lag}}{\mu_{max} \times t_{lag} + 6.0114}}-1}}\right)$$

其中 t 是以h为单位的时间。

2.2 二级模型的建立

根据Baranyi模型拟合出的生长参数,利用平方根和二次多项式模型,建立温度与最大比生长速率及延滞期之间的二级模型。表3-4为两种模型相关拟合指标的比较。

表1 3种生长动力学模型拟合度的比较与评价
Table 1 Comparison and assessment of three growth kinetic models

模型	实验温度/℃	R^2	RSS	RMSE	RSE	AIC
MGompertz 模型	20	0.9931	0.2178	0.1408	0.1556	-34.5872
	25	0.9901	0.5378	0.2211	0.2444	-22.8364
	30	0.9957	0.2259	0.1433	0.1584	-34.1125
	36	0.9924	0.4939	0.2119	0.2342	-23.9434
	平均	0.9928	0.3689	0.1793	0.1981	-28.8699
MLogistic 模型	20	0.9956	0.1381	0.1120	0.1239	-40.5100
	25	0.9919	0.4364	0.1992	0.2202	-25.5525
	30	0.9942	0.2995	0.1650	0.1824	-30.4462
	36	0.9981	0.1207	0.1048	0.1158	-42.2607
	平均	0.9949	0.2487	0.1453	0.1606	-34.6923
Baranyi 模型	20	0.9966	0.1063	0.0983	0.1087	-43.9123
	25	0.9951	0.2662	0.1556	0.1719	-31.9785
	30	0.9957	0.2213	0.1418	0.1568	-34.3799
	36	0.9971	0.1884	0.1309	0.1447	-36.4724
	平均	0.9961	0.1955	0.1316	0.1455	-36.6858

表 2 金黄色葡萄球菌的生长动力学参数

Table 2 Growth kinetics parameters of *Staphylococcus aureus*

实验 温度/℃	N_0 (lg(CFU/mL))	N_{max} (lg(CFU/mL))	μ_{max} (lgCFU/(mL·h))	t_{lag} /h
20	2.777 6	6.740 6	0.148 2	22.43
25	2.740 4	7.942 4	0.322 8	8.827
30	2.995 6	8.189 1	0.464 2	5.640
36	2.380 2	8.378 4	0.514 3	3.904

表 3 最大比生长速率的拟合度指标

Table 3 Goodness of fit of μ_{max}

模型	R^2	Af	Bf
平方根模型	0.885 7	1.049	0.907
二次多项式模型	0.997 6	1.044	0.999

表 4 延滞期的拟合度指标

Table 4 Goodness of fit of t_{lag}

模型	R^2	Af	Bf
平方根模型	0.903 3	1.153	0.966
二次多项式模型	0.978 5	1.006	0.997

由表 3-4 可知,对于两个生长参数来说,二次多项式模型的相关系数 R^2 更接近 1, Af 大于 1 且更接近 1, Bf 也更接近于 1, 拟合度相对平方根模型来说更好, 所以选择二次多项式模型表达温度与生长参数的关系。用 Matlab 软件拟合出的温度与最大比生长速率及延滞期的拟合曲线见图 5-6。

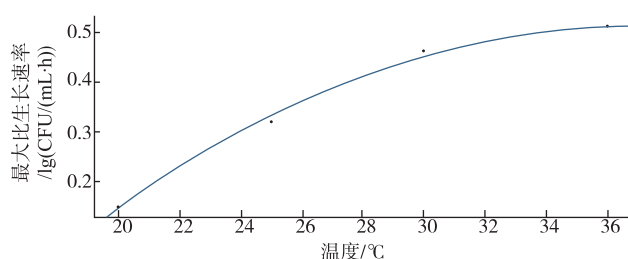


图 5 最大比生长速率与温度的二级模型拟合图

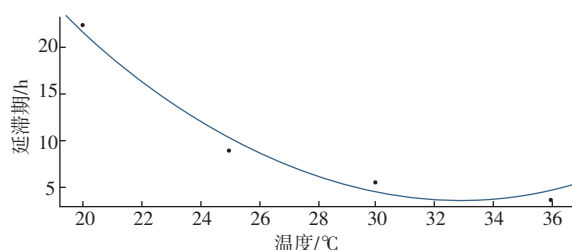
Fig. 5 Fitted μ_{max} and temperature of the secondary model

图 6 延滞期与温度的二级模型拟合图

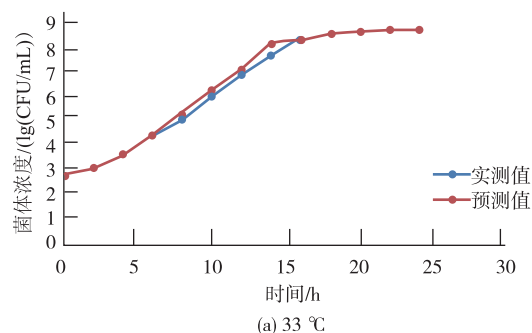
Fig. 6 Fitted t_{lag} and temperature of the secondary model

由图 5-6 可知,在 20~36 °C 范围内,最大比生长速率随温度的升高而升高,延滞期随温度的升高而减小,方程的相关系数 R^2 分别为 0.997 6 和 0.978 5, 拟合效果良好,说明二次多项式模型能够较好地反映温度与最大比生长速率及延滞期的关系。因此选择二次多项式模型可作为金黄色葡萄球菌生长的二级模型。

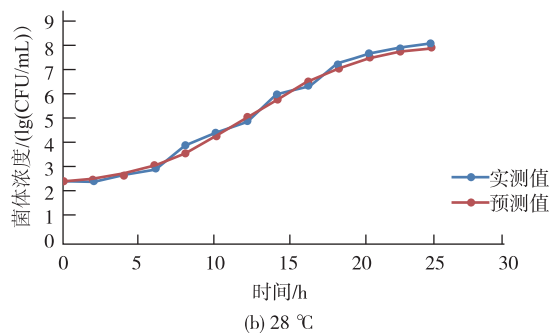
温度与最大比生长速率模型拟合方程为 $\mu_{max} = -0.001 3T^2 + 0.096T - 1.255$, 温度与延滞期的拟合方程为 $t_{lag} = 0.110 6T^2 - 7.295T + 123.6$ 。

2.3 模型的验证

根据拟合出的二级模型的方程,分别求出 28 °C 和 33 °C 下金黄色葡萄球菌在椰汁中的生长动力学参数 μ_{max} 和 t_{lag} , 将其带入公式 (3) 得到金黄色葡萄球菌在 28 °C 和 33 °C 下的生长曲线。图 7 为预测生长曲线与实测生长曲线的对比图,可看出预测模型可以较好地预测金葡菌在椰汁中的生长曲线。



(a) 33 °C



(b) 28 °C

图 7 33、28 °C 下的实测值与预测值

Fig. 7 Growth curves observed and predicted at 33 and 28 °C

3 结语

在选取的 3 种一级模型中,Baranyi 模型的相关系数 R^2 平均值最高,达到 0.996 1; RMSE、RSE 和

AIC 最小,分别为 0.131 6、0.145 5 和-36.685 8,因此 Baranyi 可作为描述椰汁中金黄色葡萄球菌生长的一级模型。

环境因素对微生物的生长有着重要的影响,不同温度下金黄色葡萄球菌在椰汁中生长的差异性较大。在 20~36 ℃下,最大比生长速率随温度升高先增大后减小,延滞期则相反。用二次多项式模型描述金黄色葡萄球菌生长参数的相关系数 R^2 分别

为 0.997 6、0.978 5,偏差因子 Bf 分别为 0.999、0.997,准确因子 Af 分别为 1.044、1.006。准确度较高,说明二次多项式模型可较好地描述温度与最大比生长速率及延滞期的关系。

根据拟合出的一级模型和二级模型,可以更好地掌控温度对金黄色葡萄球菌在椰汁中生长的影响,为控制椰汁中腐败微生物、引导安全消费提供理论依据。

参考文献:

- [1] VALERO A, PAREZ F, CARRASCO E, et al. Modelling the growth boundaries of *Staphylococcus aureus*: effect of temperature, pH and water activity[J]. **International Journal of Food Microbiology**, 2009, 133(1-2): 186-194.
- [2] LAN Weiqing, XIE Jing, MAO Feng, et al. Antibacterial effect of composite natural preservatives against *Staphylococcus aureus* [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2014, 33(8): 814-820. (in Chinese)
- [3] 王晓烨. 植物蛋白饮料稳定性及稳定性预测模型的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2009: 11-18.
- [4] CHEN Qiuhan. Investigation and analysis of microbial contamination in coconut products[J]. **Agriculture and Technology**, 2013, 33(8): 228. (in Chinese)
- [5] HENNEKINNE J, BRUN V, DE B M, et al. Innovative application of mass spectrometry for the characterization of *Staphylococcal* enterotoxins involved in food poisoning outbreaks[J]. **Applied and Environmental Microbiology**, 2008, 75(3): 882-884.
- [6] TANGO C N, PARK J H, Oh D H. An experimental validated in silico model to assess *Staphylococcus aureus* growth kinetics on different pork products[J]. **Journal of Applied Microbiology**, 2016, 120(3): 686-696.
- [7] AHMAD R M, JOONG P, DEOG O. Predictive model for growth of *Staphylococcus aureus* on raw pork, ham, and sausage[J]. **Journal of Food Protection**, 2016, 79(1): 132-137.
- [8] JUNEJA V K, MELENDRES M V, HUANG L H, et al. Mathematical modeling of growth of *Salmonella* in raw ground beef under isothermal conditions from 10 to 45 ℃[J]. **International Journal of Food Microbiology**, 2009, 131(2-3): 106-111.
- [9] WANG T, LIN L, OU J, et al. The inhibitory effects of varying water activity, pH, and nisin content on *Staphylococcus aureus* growth and enterotoxin A production in whipping cream[J]. **Journal of Food Safety**, 2017, 37(1): 1-7.
- [10] XANTHIKOS K, SIMOS D, ANGELIDIS A S, et al. Dynamic modeling of *Listeria monocytogenes* growth in pasteurized milk [J]. **Journal of Applied Microbiology**, 2006, 100(6): 1289-1298.
- [11] 纪莹. 传统米制松糕的货架期预测模型研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [12] WANG J, KOSEKI S, CHUNG D H, et al. A novel approach to predict the growth of *Staphylococcus aureus* on rice cake[J]. **Frontiers in Microbiology**, 2017, 8(1): 1140-1149.
- [13] WANG Tingting, CAO Hui, XU Fei, et al. Establishment of growth model of *Staphylococcus aureus* in steamed buns[J]. **Journal of Microbiology**, 2015, 35(6): 49-55. (in Chinese)
- [14] FEMANDO P, ANTONIO V. Predictive microbiology in foods[M]. New York: Springer, 2013: 1-10.
- [15] XIAO Linlin, ZHANG Fengying, YANG Xianshi, et al. Predictive microbiology and its advance on the field of food shelf life prediction[J]. **Marine Fisheries**, 2005, 27(1): 68-73. (in Chinese)
- [16] TANG Jiani, ZHANG Aiping, LIU Donghong. Advance in microbiology prediction and its application in food[J]. **Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology**, 2010, 10(6): 162-166. (in Chinese)
- [17] ANDERSON S S, FRANCO B D G M, SCHAFFNER D W. Modeling the growth rate and lag time of different strains of *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat lettuce[J]. **Food Microbiology**, 2012, 30(1): 267-273.
- [18] NIU Huimin, LI Miaoyun, ZHAO Gaiming, et al. Comparison of kinetics models for *Pseudomonas* growth in chilled pork at low temperature[J]. **Food Science**, 2013, 34(5): 142-146. (in Chinese)
- [19] 中华人民共和国国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准[M]. 北京: 中国标准出版社, 2016.

- [20] ZWIETERING M H, JONGENBURGER I, ROMBOUTS F M, et al. Modeling of the bacterial growth curve[J]. **Applied and Environmental Microbiology**, 1990, 56(6): 1875-1881.
- [21] DERLINDEN E V, IMPE J F V. Modeling microbial kinetics as a function of temperature; identification of the growth/inactivation interface[J]. **IFAC Proceedings Volumes**, 2010, 43(6): 519-524.
- [22] HU Jieyun, LIN Lu, WANG Tong, et al. Model for predicting *Staphylococcus aureus* growth in cooked chicken[J]. **Microbiology China**, 2016, 43(9): 1999-2009. (in Chinese)
- [23] FERRER J, PRATS C, LOPEZ D, et al. Mathematical modelling methodologies in predictive food microbiology: a SWOT analysis[J]. **International Journal of Food Microbiology**, 2009, 134(1/2): 2-8.
- [24] 王梓昂. 酱牛肉货架期预测模型及延长方法的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016.

科 技 信 息

欧盟评估牛至精油作为饲料添加剂的安全性和有效性

2019年12月2日, 据欧盟食品安全局(EFSA)消息, 应欧盟委员会要求, 欧盟动物饲料添加剂和产品(FEEDAP)研究小组就牛至精油(essential oil of *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (link) *leetsw.*)作为所有动物物种的感官饲料添加剂的安全性和有效性发表科学意见。

经过评估, 专家小组认为在建议使用水平下该饲料添加剂对目标物种是安全的。由于牛至及其制剂能够作为食物调味料, 而且它们在饲料中的功能基本相同, 因此不需要进一步证明该添加剂的功效性。

[信息来源] 食品伙伴网. 欧盟评估牛至精油作为饲料添加剂的安全性和有效性 [EB/OL]. (2019-12-3). <http://news.foodmate.net/2019/12/542742.html>