

草鱼鱼糜中沙门氏菌生长 预测模型的建立

毛贻政¹, 王 成², 张 伟², 刘 璐¹, 王晨诚¹, 刘少伟^{1*}, 卢艳花¹

(1. 华东理工大学生物工程学院, 上海 200237;

2. 上海市食品药品监督管理局宝山分局, 上海 200439)

摘 要:为建立鱼糜中沙门氏菌生长预测模型, 选用新鲜草鱼鱼糜和鼠伤寒沙门氏菌作为研究对象, 比较了4、10、20、28、37 °C条件下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌的生长情况, 分别采用Huang模型, Baranyi模型和修正的Gompertz模型进行拟合, 建立鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌一级生长动力学模型。并用平方根模型方程描述温度与比生长速率和延滞期的关系, 得到鼠伤寒沙门氏菌生长二级模型。使用判定系数 R^2 , 准确因子(A_f), 偏差因子(B_f)和均方误差(MSE)对一级和二级模型可靠性进行评价, 结果表明修正的Gompertz模型更适合于描述4~37 °C条件下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌的生长变化, 二级平方根模型可用于描述鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌的生长参数, 能够为鱼糜中沙门氏菌的监测提供一定的参考依据。

关键词:鱼糜, 鼠伤寒沙门氏菌, 生长曲线, 预测模型

Predictive models for the growth Kinetics of *Salmonella* spp. on grass carp surimi

MAO Yi-zheng¹, WANG Cheng², ZHANG Wei², LIU Lu¹, WANG Chen-cheng¹, LIU Shao-wei^{1*}, LU Yan-hua¹

(1. East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2. Shanghai Municipal Food and Drug Administration Baoshan Office, Shanghai 200439, China)

Abstract: The aim of this study was to develop a predictive model to fit for the dynamic growth of *Salmonella typhimurium* on surimi as a function of temperature. The growth of *Salmonella typhimurium* of fresh surimi in different temperatures (at 4, 10, 20, 28 °C and 37 °C) was compared and the primary model was developed by Huang model, Baranyi model and modified Gompertz model. The square root model was selected as the secondary model to describe the relationship between temperature and specific growth rate or lag time. Meanwhile, the primary and secondary kinetic models were evaluated using the coefficient of determination (R^2), accuracy factor (A_f), bias factor (B_f), and mean square error (MSE). The results indicated that the modified Gompertz model may describe the growth of *Salmonella typhimurium* on surimi better than Huang model and Baranyi model. The square root model could be used to describe the growth parameters of *Salmonella typhimurium* on surimi. The developed model could also be applied to ensure the safety of surimi.

Key words: surimi; *Salmonella typhimurium*; growth curve; predictive model

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)24-0049-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.24.001

我国是世界渔业生产大国, 淡水鱼资源丰富, 水产品产量连续20年居世界第一^[1]。草鱼以其生长快速, 饲料来源广泛等特点成为我国主要的淡水养殖鱼类之一。草鱼中不饱和脂肪酸、硒等营养物质含量丰富, 具有很高的营养价值。鱼糜制品是鱼肉经过擂溃、斩拌、加热成型等过程而制成的凝胶食品, 是全球生产、消费量最大的水产品之一^[2], 它具有高蛋白、

低脂肪、口感好、弹性佳、食用方便等优点, 深受广大消费者喜爱^[3]。而鱼糜是生产鱼糜制品重要的功能性原料, 当前鱼糜制品市场需求的增长促使鱼糜的需求量不断增加^[4]。

沙门氏菌(*Salmonella* spp.)是肠杆菌科中能引起食源性疾病的重要致病菌^[5]。鱼糜在生产加工过程中很容易会受到外界微生物的污染, 沙门氏菌就是

收稿日期: 2015-04-14

作者简介: 毛贻政(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品微生物学, E-mail: 862300401@qq.com。

* 通讯作者: 刘少伟(1972-), 男, 教授, 研究方向: 谷物加工和食品微生物学, E-mail: swliu@ecust.edu.cn。

基金项目: 上海市宝山区科学技术委员会项目(13-B-1); 上海市食品药品监督管理局2014年二类课题项目。

其中非常重要的一类^[5]。在世界各地的水产品食物中毒事件中,沙门氏菌食物中毒常常占据首位。预测微生物学可以用来描述和预测不同条件下(温度、pH和水分活度等)微生物生长情况。通常微生物预测模型可分为三种类型:一级模型、二级模型和三级模型。修正Gompertz模型、Logistic模型、Baranyi模型和Huang模型等^[6-8]都是常用典型的一级模型,这些模型对微生物生长S型曲线拟合效果较好。二级模型通常用来描述微生物生长动力学参数的变化,典型的二级模型有平方根模型、Ratkowsky模型、响应面等^[9-11]。三级模型是将一级和二级模型和计算机软件结合得到在特定条件下微生物生长状况,比如:Combase, Pathogen Modelling Program, Food Spoilage Predictor等。

虽然对食品中沙门氏菌生长预测模型已有较多报道。但当前国内外对鱼糜及其制品中沙门氏菌生长动力学研究相对较少,本实验是以新鲜草鱼鱼糜作为实验材料,运用预测微生物学手段,建立不同温度下新鲜鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌生长动力学模型,以期对鱼糜中沙门氏菌进行预测,为控制鱼糜制品中沙门氏菌的数量提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材料和设备

新鲜草鱼 购于上海某大型超市,活体运回实验室备用;鼠伤寒沙门氏菌(ATCC 13311) 由上海理工大学馈赠;四硫磺酸钠煌绿增菌液(TTB)基础北京陆桥技术有限公司。

BXM-30R型立式压力蒸汽灭菌器 上海博讯实业有限公司医疗设备厂;SW-CJ-1D型单人净化工作台 苏州净化设备有限公司;DHG-9123A型电热恒温干燥箱 上海齐欣科学仪器有限公司;DHP-9052型电热恒温培养箱 上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品准备 将活草鱼敲头致晕,剖腹去鳞去内脏,用大量无菌水冲洗干净,在无菌超净台中晾干,去皮取白肉,并用经过灭菌的研钵将鱼肉研成鱼糜,4℃保存备用。上述操作均在无菌操作台上进行,所用器具,如:刀具、烧杯等均经过灭菌或酒精消毒处理。

1.2.2 接种液制备 挑取活化的单个沙门氏菌菌落接种于营养肉汤培养基中,37℃摇床培养8~10h,此时菌液浓度在 $10^8 \sim 10^9$ CFU/mL左右,用无菌生理盐水进行10倍梯度稀释,使菌液浓度在 $10^5 \sim 10^6$ CFU/mL,即得沙门氏菌接种液。

1.2.3 样品接种与计数 对新鲜鱼糜每10g进行等分,用移液枪吸取0.1mL上述菌悬液接种至每份鱼糜中并混合均匀,分别置于4、10、20、28℃和37℃恒温培养箱中进行恒温培养,根据实验的设计每隔一段时间,取出鱼糜样品,放入90mL无菌生理盐水中稀释10倍并振荡摇匀,混匀后对悬液进行适当倍数稀释后取0.1mL菌悬液在TTB选择性培养基上进行涂布,涂布后的培养基倒置于37℃恒温培养箱中培养24~48h,并进行平板菌落计数并计算沙门氏菌的

数量。

1.3 模型的建立

1.3.1 一级模型的建立 利用得到的实验数据分别采用Huang模型^[8],Baranyi模型^[7]和修正的Gompertz模型^[6]的分析,建立相应的一级动力学模型,模型表达式如下:

Huang模型:

$$Y(t) = Y_0 + Y_{\max} - \ln\{e^{Y_0} + [e^{Y_{\max} - Y_0} - e^{-\mu_{\max} B(t)}]\} \quad (1)$$

$$B(t) = t + \frac{1}{\alpha} \ln \frac{1 + e^{-\alpha(t-\lambda)}}{1 + e^{\alpha\lambda}} \quad (2)$$

式中:t,时间(h); Y_0 ,初始菌数(ln(CFU/g)); Y_{\max} ,最大菌数(ln(CFU/g)); $Y(t)$,t时间的菌数(ln(CFU/g)); μ_{\max} ,比生长速率(h^{-1}); λ ,延滞期持续时间(h); α ,延滞期转换系数,取 $\alpha=4^{[12]}$;

Baranyi模型:

$$Y(t) = Y_0 + \mu_{\max} A(t) - \ln\left\{1 + \frac{\exp[\mu_{\max} A(t)] - 1}{\exp(Y_{\max} - Y_0)}\right\} \quad (3)$$

$$A(t) = t + \frac{1}{\mu_{\max}} \ln[\exp(-\mu_{\max} t) + \exp(-h_0) - \exp(-\mu_{\max} t - h_0)] \quad (4)$$

式中:t,时间(h); Y_0 ,初始菌数(ln(CFU/g)); Y_{\max} ,最大菌数(ln(CFU/g)); $Y(t)$,t时间的菌数(ln(CFU/g)); μ_{\max} ,比生长速率(h^{-1}); h_0 表示微生物处于适应期的生理状态;

Modified Gompertz模型:

$$Y(t) = Y_0 + (Y_{\max} - Y_0) \exp\left\{-\exp\left[\frac{\mu_{\max} e}{Y_{\max} - Y_0} (\lambda - t) + 1\right]\right\} \quad (5)$$

式中:t,时间(h); Y_0 ,初始菌数(ln(CFU/g)); Y_{\max} ,最大菌数(ln(CFU/g)); $Y(t)$,t时间的菌数(ln(CFU/g)); μ_{\max} ,比生长速率(h^{-1}); λ ,延滞期持续时间(h)。

1.3.2 二级模型的建立 根据一级模型得到的比生长速率和延滞期与温度的关系,选取平方根模型^[9]建立二级模型,模型表达式如下:

$$\sqrt{\mu_{\max}} = a(T - T_{\min}) \quad (6)$$

$$\frac{1}{\lambda} = a(T - T_{\min})^2 \quad (7)$$

式中: λ ,延滞期时间(h); μ_{\max} ,比生长速率(h^{-1}); T ,温度(℃); T_{\min} ,微生物生长最低温度;a,模型回归常数。

1.3.3 模型的可靠性评价 分别利用建立的一级和二级模型得到预测值与实验观测值进行比较,选择判定因子(R^2) (式8),偏差因子(B_i) (式9),准确因子(A_i) (式10),均方误差(MSE) (式11)对一级和二级模型的可靠性进行评价^[13-15]。相关方程表达式如下:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (\text{pred} - \text{obs})^2}{\sum (\text{obs} - \text{mean})^2} \quad (8)$$

$$B_i = 10^{\left\{\sum \log\left(\frac{\text{pred}}{\text{obs}}\right) / n\right\}} \quad (9)$$

$$A_i = 10^{\left\{\sum \left|\log\left(\frac{\text{pred}}{\text{obs}}\right)\right| / n\right\}} \quad (10)$$

$$\text{MSE} = \frac{\sum (\text{obs} - \text{pred})^2}{n} \quad (11)$$

式中:obs,观测值;pred,预测值;n,观测值个数;mean,观测值的平均值; R^2 用来表示模型的拟合优

度;均方误差(MSE)用来评价模型预测值与实验观测值之间的差距,MSE越小,模型拟合效果越好; A_f 表示预测值周围的分布情况; B_f 计算细菌生长预测值和观测值的相对平均偏差^[16]。

1.4 数据分析

数据结果为三次重复实验的平均值,使用IPMP 2013(美国农业部农业研究服务机构)软件^[17]进行一级模型的拟合,采用Origin 9.0(美国OriginLab公司)软件通过非线性回归建立二级平方根动力学模型。

2 结果与分析

2.1 不同温度下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌生长变化

由图1可知,4℃贮藏条件下,鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌数量没有出现增长,随着贮藏时间的延长,鼠伤

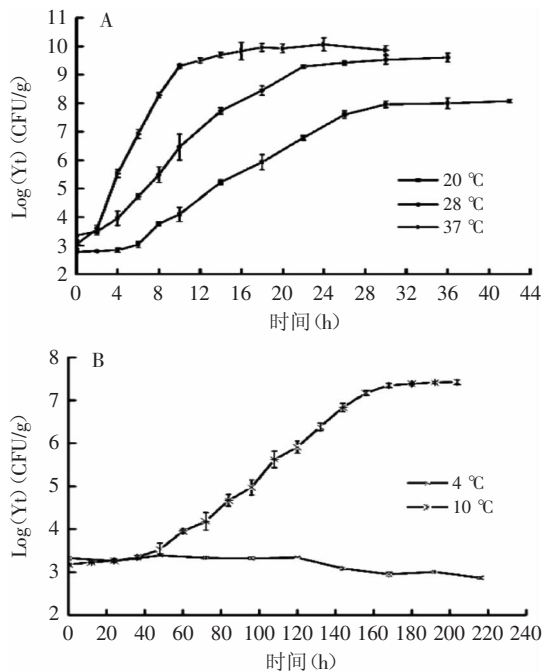


图1 不同温度下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌生长曲线

Fig.1 Observed growth of *Salmonella typhimurium*. on surimi at different temperatures

寒沙门氏菌数量逐渐下降。因为沙门氏菌是一种嗜温性细菌,生长温度范围在5~46℃^[18]。4℃温度过低,低于沙门氏菌生长最低温度,在此温度下一定时间内沙门氏菌可以存活,但随着时间延长会逐渐死亡。贮藏温度在10~37℃时,鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌生长较好,随着温度的升高,沙门氏菌生长速率逐渐加快,延滞期缩短,达到稳定期所需时间越少且达到稳定期的最大菌数量逐渐增加。结果表明温度对沙门氏菌的生长具有较大影响,因此鱼糜及其制品在生产、加工、贮藏过程中维持较低温度具有重要意义。

2.2 鱼糜中沙门氏菌生长一级模型的建立

根据10、20、28、37℃鼠伤寒沙门氏菌在草鱼鱼糜中生长实验观测值,选取Huang模型、Baranyi模型和修正的Gompertz模型分别拟合不同温度(10、20、28和37℃)下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌的生长曲线,结果如表1和图2所示。表1显示不同温度下,不同模型拟合沙门氏菌生长动力学参数。修正的Gompertz模型得到沙门氏菌比生长速率随着贮藏温度(10、20、28和37℃)的升高逐渐上升,分别为0.094、0.634、0.972和2.118 h⁻¹。但由Huang模型和Baranyi模型得到的沙门氏菌在不同温度下比生长速率均比修正的Gompertz低。在10、20、28和37℃下由Huang模型得到的比生长速率分别为0.082、0.531、0.777和1.721 h⁻¹,由Baranyi模型得到的比生长速率分别为0.087、0.544、0.789、1.725 h⁻¹。分别由三种模型得到不同温度下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌的延滞期时间也具有相似规律,随着温度的升高,延滞期逐渐缩短,由修正的Gompertz模型得到延滞期时间均比Huang模型和Baranyi模型得到的时间长。

根据鼠伤寒沙门氏菌在恒定温度下的活菌计数结果和利用Huang模型、Baranyi模型和修正的Gompertz求得的预测结果,得到了在10、20、28、37℃条件下实测和拟合曲线,可以看出鼠伤寒沙门氏菌在不同温度下的生长趋势。如图2所示,分别利用Huang模型、Baranyi模型和修正的Gompertz得到的拟合曲线与实测值曲线吻合程度较高,可以初步判断三种模型能

表1 不同温度下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌生长动力学参数

Table 1 The growth parameters and evaluations of *Salmonella typhimurium*. obtained from three different models

模型	温度(℃)	生长参数				评价			
		Y_0	Y_{max}	μ_{max}	λ	R^2	MSE	A_f	B_f
Huang	10	7.495	17.236	0.082	42.749	0.998	0.029	1.014	0.999
	20	6.453	18.529	0.531	4.175	0.999	0.031	1.012	1.001
	28	7.746	21.801	0.777	1.705	0.995	0.137	1.018	1.001
	37	7.004	22.622	1.721	0.962	0.995	0.150	1.019	1.001
Baranyi	10	7.380	17.187	0.087	45.563	0.999	0.014	1.008	1.000
	20	6.210	18.514	0.544	4.075	0.998	0.055	1.020	1.001
	28	7.565	21.790	0.789	1.645	0.995	0.153	1.022	1.001
Modified Gompertz	37	6.925	22.621	1.725	0.936	0.995	0.160	1.021	1.001
	10	7.441	18.192	0.094	48.620	0.997	0.049	1.013	1.000
	20	6.196	19.107	0.634	4.979	0.996	0.083	1.023	1.000
	28	7.411	22.256	0.972	2.545	0.999	0.035	1.009	1.000
	37	6.714	22.947	2.118	1.376	0.998	0.062	1.014	1.000

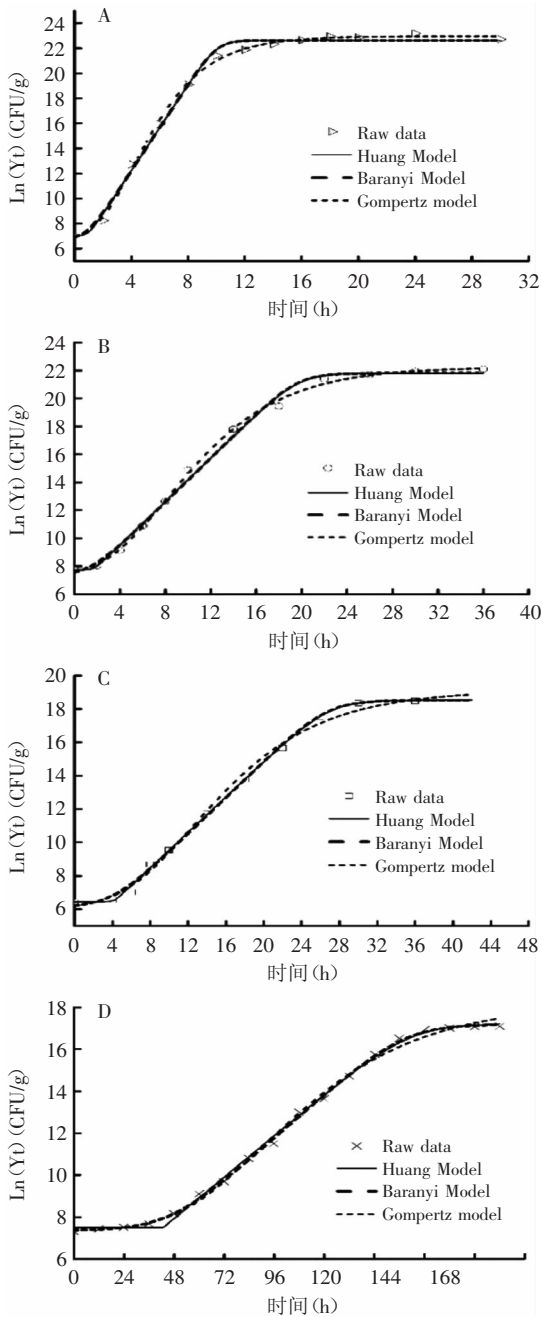


图2 不同温度下鼠伤寒沙门氏菌在鱼糜中的生长拟合曲线
Fig.2 Curves of *Salmonella typhimurium*. grown on surimi at different temperature conditions
注: A—37 °C, B—28 °C, C—20 °C, D—10 °C。

表2 鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌比生长速率和延滞期二级动力学模型的建立

Table 2 Development of secondary model to predict the growth of *Salmonella typhimurium*. on surimi

	方程式	R^2	MSE	A_f	B_f
比生长速率 (μ_{max})	$\mu_1=(0.0376 \times (T-2.570))^2$	0.967	0.008	1.120	0.968
	$\mu_2=(0.0155 \times (T-2.101))^2$	0.967	0.008	1.107	0.977
	$\mu_3=(0.0188 \times (T-2.853))^2$	0.974	0.009	1.105	0.971
延滞期时间 (λ)	$1/\lambda_1=0.00113 \times (T-5.45198)^2$	0.999	0.002	1.025	0.985
	$1/\lambda_2=0.0012 \times (T-5.72808)^2$	0.999	0.002	1.030	0.981
	$1/\lambda_3=0.000868 \times (T-5.13066)^2$	0.999	0.057	1.100	0.930

注: μ_1 、 μ_2 、 μ_3 和 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 分别表示由Huang模型, Baranyi模型和修正的Gompertz模型得到的鼠伤寒沙门氏菌生长参数建立的平方根二级模型。

较好的拟合草鱼鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌生长动态。

2.3 一级预测模型的可靠性评价

用判定因子 (R^2), 准确因子 (A_f), 偏差因子 (B_f) 和均方误差 (MSE) 来评价Huang模型, Baranyi模型和修正的Gompertz模型的拟合效果, 结果如表1所示。可以看出三种模型都能较好的描述不同温度下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌生长随时间的变化关系。模型拟合判定因子 R^2 都在0.99以上, 拟合度较好, 准确因子 (A_f) 和偏差因子 (B_f) 均接近于1, 不同温度与不同模型之间没有显著差异。由表1可知, 不同温度 (10、20、28和37 °C) 下, 三种模型的均方误差 (MSE) 都接近于0, 但通过修正的Gompertz模型得到的均方误差都小于0.1, 故修正的Gompertz模型更适合用来描述不同温度下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌的生长随时间的变化关系。

2.4 二级模型的建立及可靠性评价

根据Huang模型, Baranyi模型和修正的Gompertz模型得到鼠伤寒沙门氏菌在不同温度下的比生长速率 (μ_{max}) 和延滞期 (λ), 通过Origin软件使用式 (6) 和

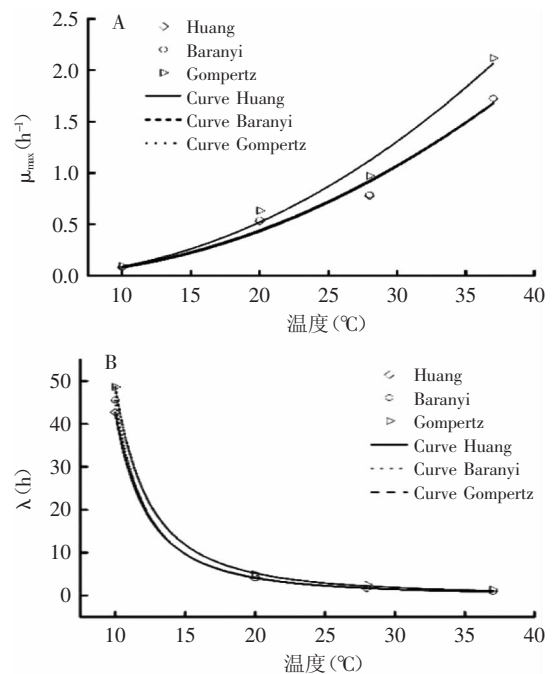


图3 温度(T)与比生长速率(h^{-1})和延滞期(h)的关系
Fig.3 Relationship between temperature and μ_{max} or λ

式(7)进行非线性回归方程拟合,建立二级模型。所建模型比生长速率和延滞期与温度的关系及模型可靠性评价如图3和表2所示。通过平方根模型建立温度与比生长速率和延滞期二级模型能够较好的描述鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌的生长参数。由不同一级模型得到比生长速率和延滞期建立的二级平方根模型判定因子 R^2 都接近于1,但建立的延滞期二级模型判定因子 R^2 都为0.999,高于比生长速率二级模型, A_1 和 B_1 的值都接近于1,MSE均接近于0,故所建平方根二级模型能更好的预测延滞期与温度的关系。

分别由Huang模型、Baranyi模型和修正的Gompertz模型得到鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌最低生长温度(T_{min})分别为5.452、5.728、5.131℃,这与Amagliani等^[18]报道的海产品中沙门氏菌生长最低温度大约为5℃一致,但由修正的Gompertz模型得到的沙门氏菌最低生长温度更接近于5℃。所以,修正的Gompertz模型更适合用于描述10~37℃下鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌的生长动态变化。

3 结论

研究表明^[9]温度是肉及肉制品中微生物生长和腐败重要的影响因素。但沙门氏菌的生长除了受温度影响外,还受其他外界环境因子的影响。Zhou等^[20]通过比较不同温度及水分活度条件下鸡肉中沙门氏菌的生长变化,建立了一级和二级预测模型,Oscar^[21]建立了低浓度和高浓度杂菌存在条件下鸡肉中沙门氏菌的预测模型,这些研究虽然更符合实际情况,但在食品生产,加工过程中初始杂菌的量是很难预知的且过程很难控制,这无形中增加了建模的难度,不利于模型的应用,而在鱼糜及其制品的生产、加工、流通、贮藏过程中,温度是最容易进行实时监测和调控的参数。

实验研究不同温度(4、10、20、28、37℃)下沙门氏菌增殖变化情况,分别用Huang模型,Baranyi模型和修正的Gompertz模型方程进行拟合,建立鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌生长动力学一级模型,并在此基础上,采用平方根模型方程描述温度与比生长速率及延滞期的关系,建立相应的二级动力学模型。结果表明鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌生长受温度影响较大,4℃下鼠伤寒沙门氏菌生长受抑制,10~37℃下,随着温度的升高,生长速率明显加快。不同一级模型拟合鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌判定系数 R^2 均在0.99以上,但修正的Gompertz模型更适合用于预测鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌的生长动态变化。平方根二级模型可较好描述鱼糜中鼠伤寒沙门氏菌比生长速率和延滞期与温度的变化关系。本研究将为控制鱼糜及其制品的生产、加工、流通、贮藏条件,为保障鱼糜制品食用安全提供一定的参考依据。

参考文献

[1] 范文教,易宇文,贾洪锋,等.淡水鱼产品保鲜技术研究现状[J].河北渔业,2010(11):49-51.
[2] Lanier TC, Lee CM. Surimi Technology[M]. Inc New York: Marcel Dekker, 1992.

[3] 顾晓慧,殷邦忠,王联珠,等.我国冷冻鱼糜生产及标准现状分析[J].食品科学,2014,35(23):303-307.
[4] 彭海滨,吴德峰,孔繁德,等.我国沙门菌污染分布概况[J].中国国境卫生检疫杂志,2006,29(2):125-128.
[5] Heinitz ML, Ruble RD, Wagner DE, et al. Incidence of *Salmonella* in fish and seafood[J]. Journal of Food Protection. 2000, 23(5):579-592.
[6] Zwietering MH, Jongenburger I, Rombouts FM, et al. Modeling of the bacterial growth curve[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1990, 56(6):1875-1881.
[7] Baranyi J, Roberts TA. Mathematics of predictive microbiology[J]. International Journal of Food Microbiology, 1995, 26:199-218.
[8] Huang LH. Growth kinetics of *Listeria monocytogenes* in broth and beef frankfurters—determination of lag phase duration and exponential growth rate under isothermal conditions[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5):E235-E242.
[9] Ratkowsky DA, Olley J, Mcmeekin TA, et al. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures[J]. American Society of Microbiology, 1982, 149(1):1-5.
[10] Juneja VK, Marks H, Thippareddi H. Predictive model for growth of *Clostridium perfringens* during cooling of cooked uncured beef[J]. Food Microbiology, 2008, 25(1):42-55.
[11] Wang J, OH2 DH. Effect of temperature and relative humidity on growth behavior of *Escherichia coli* O157:H7 on spinach using response surface methodology[J]. Journal of Food Safety, 2012, 32(3):296-304.
[12] Huang LH. Optimization of a new mathematical model for bacterial growth[J]. Food Control, 2013, 32(1):283-288.
[13] Ross T. Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology[J]. Journal of Applied Microbiology, 1996, 81(5):501-508.
[14] Wang HY, Ni YY, Wu XS, et al. Kinetics of amino acid loss in carrot juice concentrate during storage[J]. Food Science and Technology, 2007, 40(5):785-792.
[15] Zhong K, Chen F, Wang ZF, et al. Inactivation and kinetic model for the *Escherichia coli* treated by a co-axial pulsed electric field[J]. European Food Research and Technology, 2005, 221(6):752-758.
[16] Ye KP, Wang HH, Zhang XX, et al. Development and validation of a molecular predictive model to describe the growth of *Listeria monocytogenes* in vacuum-packaged chilled pork[J]. Food Control, 2013, 32(1):246-254.
[17] Huang LH. IPMP 2013—A comprehensive data analysis tool for predictive microbiology[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 171:100-107.
[18] Amagliani G, Brandi G, Schiavano GF. Incidence and role of *Salmonella* in seafood safety[J]. Food Research International, 2012, 45(2):780-788.
[19] Sant'Ana AS, Landgraf M, Destro MT, et al. Prevalence and counts of *Salmonella* spp. in minimally processed vegetables in Sao Paulo, Brazil[J]. Food Microbiology, 2011, 28(6):1235-1242.

以先采用试纸条对样品进行大规模的初步筛查,确定阳性样品,然后采用HPLC等方法对相关样品进行定量分析,既能节约检测时间,还可以节约检测成本,故说明该试纸条具有较好的实用性。

3 结论

本实验将标记好的金标抗体按照 $14 \mu\text{L}/\text{cm}$ 喷于金标垫上, $200 \mu\text{g}/\text{mL}$ 的检测抗原 $\text{FB}_1\text{-BSA}$ (T线)和 $1.0 \text{ mg}/\text{mL}$ 的羊抗鼠二抗(C线)按照 $0.74 \mu\text{L}/\text{cm}$ 喷涂于硝酸纤维素膜(NC膜),然后组装成试纸条,该试纸条检出限为 $20 \text{ ng}/\text{mL}$,检测时间只需 5 min ,试纸条稳定性可达12个月无需专业人员和仪器,可直接目测其结果,特别适合现场快速检测。

参考文献

- [1] Maragos C M, Busman M. Rapid and advanced tools for mycotoxin analysis: a review[J]. Food Addit Contam Part A, 2010, 5(27): 688-700.
- [2] Shier W T, Abbas H K, Karam M A, et al. Fumonisin: abiogenic conversions of an environmental tumor promoter and common food contaminant[J]. J Toxicolo Toxin Reviews, 2003, 22(4): 591-616.
- [3] Voss K A, Riley R T, Waes J G. Fumonisin B₁ induced neural tube defects were not increased in LM/Bc mice fed folate-deficient diet[J]. Mol Nutr Food Res, 2014, 58: 1190-1198.
- [4] International Agency for Research on Cancer (IARC), Fumonisin B₁[J]. IARC, 2002, 82: 301-366.
- [5] 钱鸣蓉, 吴俐勤, 章虎, 等. 液相色谱-串联质谱法测定牛奶中伏马菌素 FB_1 和 FB_2 及其水解代谢物[J]. 分析化学, 2012, 40(5): 757-761.
- [6] 许杨, 邹龙, 刘师文, 等. 伏马菌素 B_1 单克隆抗体制备及化学发光免疫检测方法的建立[J]. 分析化学, 2012, 40(11): 1735-1739.
- [7] 李淑群, 曹碧云, 常化仿, 等. 胶体金免疫层析法快速检测牛奶、奶粉、饲料中的三聚氰胺. 分析化学, 2013, 41(7): 1025-1030.
- [8] 黄艳梅, 刘道峰, 赖卫华, 等. 集成免疫磁珠富集和免疫层析的黄曲霉毒素M1快速检测法[J]. 分析化学, 2014, 42(5): 654-659.

[9] Dzantiev B B, Byzova N, Urusov A, et al. Immunochromatographic methods in food analysis[J]. Trends in Anal Chem, 2014, 55: 81-93.

[10] Venkataramana M, Navya K, Chandranayaka S, et al. Development and validation of an immunochromatographic assay for rapid detection of fumonisin B₁ from cereal samples[J]. J Food Sci Technol, 2014, 9(51): 1920-1928.

[11] Wang S, Quan Y, Lee N, et al. Rapid determination of fumonisin B₁ in food samples by enzyme-linked Immunosorbent assay and colloidal gold immunoassay[J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(7): 2491-2495.

[12] Shiu C M, Wang J J, Yu F Y. Sensitive enzyme-linked immunosorbent assay and rapid one-step immunochromatographic strip for fumonisin B₁ in grain-based food and feed samples[J]. J Sci Food Agric, 2010, 90(6): 1020-1026.

[13] Li Y S, Zhou Y, Lu S Y, et al. Development of a one-step test strip for rapid screening of fumonisins B₁, B₂ and B₃ in maize [J]. Food Control, 2012, 24(1-2): 72-74.

[14] Wang Y K, Shi Y B, Zou Q, et al. Development of a rapid and simultaneous immunochromatographic assay for the determination of zearalenone and fumonisin B₁ in corn, wheat and feedstuff samples[J]. Food Control, 2013, 31(1): 180-188.

[15] Wang Y K, Yan Y X, Ji W H, et al. Rapid simultaneous quantification of zearalenone and fumonisin B₁ in corn and wheat by lateral flow dual immunoassay[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(21): 5031-5036.

[16] 刘师文, 何庆华, 邹龙, 等. 谷物中伏马菌素 B_1 酶联免疫分析法的建立[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 350-354.

[17] Kohler G, Milstein C. Continuous cultures of fused cells secreting antibody of predefined specificity[J]. Nature, 1975, 256(5517): 495-497.

[18] Xu Y, Huang Z B, He Q H, et al. Development of an immunochromatographic strip test for the rapid detection of deoxynivalenol in wheat and maize[J]. Food Chem, 2010, 119(2): 834-839.

[19] 李岩松. 玉米中伏马菌素免疫学快速筛查方法的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.

(上接第53页)

1237.

[20] Oscar TP. Predictive models for growth of *Salmonella typhimurium* DT104 from low and high initial density on ground chicken with a natural microflora[J]. Food Microbiology, 2007, 24:

640-651.

[21] Zhou K, Zhong KC, Long C, et al. Development and validation of a predictive model for the growth of *Salmonella enterica* in chicken meat[J]. Journal of Food Safety, 2014, 34: 326-332.

(上接第57页)

[14] Singh P, Mustapha A. Development of a real-time PCR melt curve assay for simultaneous detection of virulent and antibiotic resistant *Salmonella*[J]. Food Microbiology, 2014, 44: 6-14.

[15] 夏乐先, 孙文娟, 沈振, 等. 煮沸裂解法和试剂盒法提取浸矿菌基因组DNA的比较[J]. 现代生物医学进展, 2014(1): 31-35, 17.