

## 单增李斯特菌在冷鲜猪肉中的生长预测模型比较

张培培, 刘媛, 方春, 俞盈, 陈健舜, 方维焕\*

浙江大学动物预防医学研究所, 浙江省动物预防医学重点实验室, 杭州 310029

**摘要:** 【目的】探讨单增李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*, LM) 在冷鲜猪肉中的生长及现有预测软件 GP (Growth Predictor)、PMP (Pathogen Modeling Programme) 及 CP (ComBase Predictor) 对 LM 在冷鲜猪肉中生长的预测准确性。【方法】测定 LM 在 4℃、8℃、12℃ 及 16℃ 冷鲜猪肉中的生长, 并用 DMFit 软件对生长数据进行拟合, 计算各个温度点下的迟滞期 (Lag phase duration, LPD)、生长率 (Growth rate, GR)、最大生长密度 (Maximum population density, MPD), 同时用 3 种预测模型对相同条件下 LM 在猪肉中的生长进行预测, 将实测值与预测值进行比较分析。【结果】冷鲜猪肉在 16℃, 经过 2.6 h LM 即进入对数生长期。从 8℃ 提高至 12℃ 时, LM 在冷鲜猪肉中的生长率从  $0.017 \log(\text{cfu/g}) \cdot \text{h}^{-1}$  增至  $0.038 \log(\text{cfu/g}) \cdot \text{h}^{-1}$ 。在 4℃ - 16℃, PMP 预测的 GR 要比实测值低, 而 LPD 则高于实测值。GP 在 8℃ 及以下的温度范围内, 所预测 LPD 比实测值偏高。3 种预测模型中, GP 对 GR 的预测稍高于实测值, 偏差因子 ( $B_f$ ) 为 1.01, 准确因子 ( $A_f$ ) 为 1.38; CP 对 LPD 的预测值与实测值更为接近,  $A_f$  及  $B_f$  分别为 4.33 及 2.83。【结论】在冷鲜猪肉生产和销售过程中, 严格控制温度尤为重要。PMP 的预测较为保守, 不适于冷鲜猪肉中 LM 生长的预测; 建议用 GP 对 GR 进行预测, 而 CP 对 LPD 的预测仅作为参考。

**关键词:** 单增李斯特菌, 生长预测模型, 冷鲜猪肉

中图分类号: TS201.3 文献标识码: A 文章编号: 0001-6209 (2011) 12-1625-07

单增李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*, LM) 可引起人和动物的李氏杆菌病, 虽然发病率不高, 但致死率 (20% - 30%) 远高于其他常见食源性病原菌<sup>[1-3]</sup>。孕妇、新生儿、老年人以及免疫功能缺陷者具有较高的感染风险<sup>[4]</sup>。美国每年至少有 1600 例李氏杆菌病患者, 其中 415 例死亡。1997 年意大利北部的两所学校约 1500 名学生和成人因感染了 LM, 暴发胃肠炎疾病<sup>[5]</sup>。2000 年, WHO 将 LM 列为重点监测的食源性致病菌之一<sup>[6]</sup>。

冷鲜猪肉的整个屠宰加工和流通过程都在冷链条件下进行, 可以降低污染菌生长的风险, 有若干天

的保质期。与其他病原菌不同, LM 在冷藏温度 (0℃ - 4℃) 中亦可生长。因此, LM 在冷鲜猪肉中的污染及生长状况应引起加工企业和有关食品安全监管部门的重视。

关于微生物生长的预测模型可分为三级: 初级模型、二级模型及三级模型。初级模型描述在特定培养条件下, 微生物的数量随时间的变化关系; 二级模型描述一级生长参数 (生长率、迟滞期及最大生长密度) 与培养条件的关系; 三级模型则为基于一级及二级预测模型建立起来的微生物生长预测软件。这种软件操作简便, 可由普通企业或非专家用

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划 (2009BADB9B09)

\* 通信作者。Tel/Fax: +86-571-88981242; E-mail: whfang@zju.edu.cn

作者简介: 张培培 (1984 -), 女, 山东齐河人, 硕士研究生, 研究方向为动物源食品安全。E-mail: pzh817@163.com

收稿日期: 2011-05-25; 修回日期: 2011-08-21

户在预测食品中的微生物生长时使用。目前,关于食品中微生物的生长预测软件主要有3种,GP(Growth Predictor)、PMP(Pathogen Modeling Program)和CP(ComBase Predictor)。GP是在英国食品标准局资助下,收集英国各个实验室的数据建立起来的预测软件系统。PMP是由美国农业部农业研究所开发的软件。ComBase则是由英国食品研究所、美国农业部研究中心及澳大利亚食品安全研究中联合建立的数据库,而CP则是基于这一数据库开发的软件<sup>[7]</sup>。3个预测软件系统和相关预测微生物数据已被某些政府机构(如美国农业部)和食品加工企业用于食品的风险评估,预测病原菌在食品加工、储藏阶段的生长行为。然而,由于这3种预测软件都是以肉汤培养基为基础建立起来的,在其应用到另一种完全不同的介质(如食品)时,要先对其进行验证以确保预测结果的准确性。据Ross等报道,一些以肉汤培养基与以食品为培养介质建立的模型在预测LPD(Lag phase duration,迟滞期)及GR(Growth rate,生长率)时有一定的偏差<sup>[8]</sup>。

本试验测定了LM在冷鲜猪肉中不同保存温度(4℃、8℃、12℃及16℃)下的生长,并将试验数据与上述3种模型的预测数据进行了比较。以期为冷鲜猪肉生产中的温度控制提供指导,并对3种模型的预测准确性进行验证,从而为其在食品安全风险评估中的应用提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

**1.1.1 供试样品:**LM菌株10403S为本实验室保存的临床分离株。冷鲜猪肉为杭州肉类联合集团生产的大排肉,购自杭州市世纪联华超市。

**1.1.2 培养基及主要仪器:**脑心浸液(Brain Heart Infusion, BHI)干粉培养基、蛋白胨、225mL无菌均质袋等均购自北京陆桥技术有限公司。琼脂粉购于北京鼎国生物技术有限责任公司。所用设备包括数显恒温培养箱(温控精度(1℃)、PHS-3C型精密pH计及HygroPlam AW1水分活度仪。

### 1.2 LM在冷鲜猪肉中的生长测定

**1.2.1 供试猪肉制备:**将大排肉去骨,无菌切割至25g/份,装入均质袋内并用封口机封口,Co<sup>60</sup> 14KGy辐照灭菌,放入-20℃冰箱备用<sup>[9-10]</sup>。

**1.2.2 菌液制备:**取细菌37℃过夜培养物,调整菌液浓度至10<sup>8</sup> cfu/mL( $OD_{600} = 0.15$ )。用0.1%蛋白胨水(PW)将菌液作倍比稀释,取浓度为10<sup>3</sup> cfu/mL的菌液备用。

**1.2.3 细菌接种、培养及计数:**用无菌注射器取上述制备好的菌液1mL分多点均匀注入25g猪肉中,置于均质袋中并封口。4℃培养36d,每24h取样1次;8℃培养20d,前5d每12h取样1次,后期则每24h1次;12℃培养15d,取样计数间隔为12h1次;16℃培养10d,从0h起,每隔12h取样1次。每一温度、每个时间点取3个重复样品进行计数。在取出样品的均质袋中加入100mL PW水,揉捏猪肉2min,使细菌充分“暴露”。将稀释液倍比稀释后计数于BHI琼脂平板<sup>[9]</sup>。

**1.2.4 数据处理:**将1.2.3中所计菌落数转化成对数值,用Excel spread sheet计算3个重复样品计数对数值的平均值及标准差。用DMFit软件(英国食品研究所研发)拟合生长曲线,并计算出LPD、GR及最大生长密度(Maximum population density, MPD)。

### 1.3 猪肉pH值测定

对1.2.1制备好的猪肉样品随机抽取3份进行pH值测定。猪肉切成碎末状,称取10g置于250mL锥形瓶中,加入100mL无CO<sub>2</sub>蒸馏水,浸泡15min,并随时摇动。过滤后取滤液,使用PHS-3C型精密pH计测定样品pH值。

### 1.4 猪肉a<sub>w</sub>(water activity,水活度)测定

对1.2.1中制备好的猪肉样品随机抽取3份进行a<sub>w</sub>测定。将鲜肉切成碎末状,装入样品盒,压实填充至体积的70%,放入水分活度仪中,待其稳定后读数。

### 1.5 猪肉NaCl含量测定

参照《食品中氯化钠的测定》(GB/T 12457-2008)。

### 1.6 实测拟合值与软件预测值的比较

**1.6.1 预测值处理:**GP及CP均能给出一定条件下LM的GR数值;而PMP则只能给出Generation Time(代时),将其除0.301(log<sub>10</sub>2)得出GR。将预测值与实测值的GR值乘以ln10转化为特定生长率(Specific growth rate, SGR),然后对 $\sqrt{SGR}$ 进行比较<sup>[10-11]</sup>。

### 1.6.2 准确因子(Accuracy factor, A<sub>r</sub>)及偏差因子

(Bias factor,  $B_f$ ) 计算: 3 种预测软件 SGR 预测值的  $A_f$  及  $B_f$  计算分别参照公式 1、2<sup>[12]</sup>。LPD 预测值的  $A_f$  及  $B_f$  计算则参照公式 3、4<sup>[13]</sup>。

$$A_f = \exp\left(\sqrt{\sum_{k=1}^n (LnSGR_{predicted} - LnSGR_{observed})^2 / n}\right) \quad \text{公式 1}$$

$$B_f = \exp\left(\sum_{k=1}^n (LnSGR_{predicted} - LnSGR_{observed}) / n\right) \quad \text{公式 2}$$

$$A_f = 10^{(\sum \log C_{LPD_{predicted}} / LPD_{observed}) / n} \quad \text{公式 3}$$

$$B_f = 10^{(\sum \log C_{LPD_{predicted}} / LPD_{observed}) / n} \quad \text{公式 4}$$

## 2 结果

### 2.1 LM 在冷鲜猪肉不同温度保存条件下的生长特征

测定 LM 在 4℃、8℃、12℃ 及 16℃ 冷鲜猪肉生长时 接种的初始菌落数分别为 2.35 Log (cfu/g)、2.34 Log (cfu/g)、2.41 Log (cfu/g) 及 1.39 Log (cfu/g) ,用 DMFit 软件拟合其生长曲线 ,其拟合度较高 ,  $R^2$  分别为 0.95、0.95、0.96 及 0.98。如图 1 和表 1 可见 随着温度的升高 ,LM 在生猪肉中生长的迟滞期逐渐缩短。LPD 在 4℃、8℃ 及 12℃ 时分别为

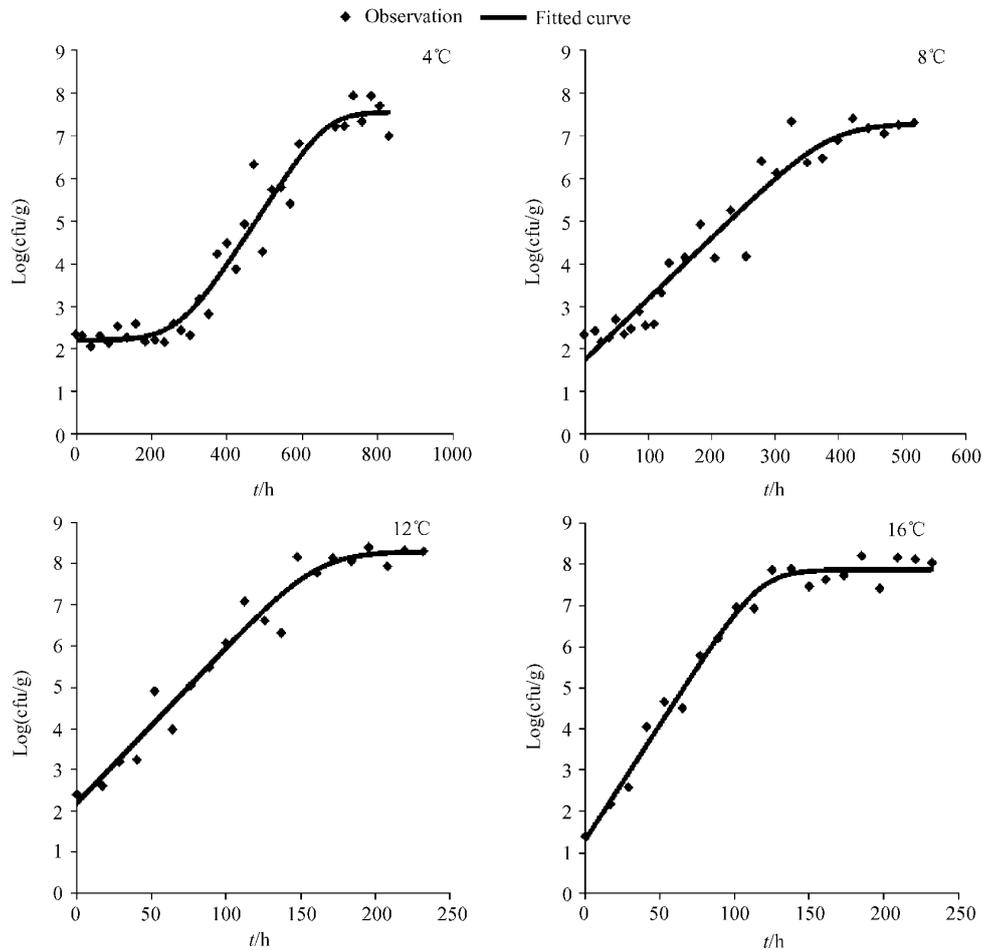


图 1 单增李斯特菌在冷鲜猪肉中的生长特征

Fig.1 Growth characteristics of *Listeria monocytogenes* in chilled pork.

272.4 h、53.9 h 及 2.6 h; 而其在 16℃ 时几乎无迟滞期。GR 则随温度的升高逐渐变大, 在 4℃ 时为 0.014 log (cfu/g) · h<sup>-1</sup>, 而 16℃ 时则升至

0.056 log (cfu/g) · h<sup>-1</sup>。4℃ - 16℃ 温度范围内, MPD 的变化则无明显规律, 在 7.20 log (cfu/g) - 8.28 log (cfu/g) 之间。

表1 由 DMFit 软件计算的单增李斯特菌在冷鲜猪肉中的生长参数

Table 1 Growth parameters calculated by DMFit software of *Listeria monocytogenes* in chilled pork

T/°C	GR/[log(cfu/g)·h <sup>-1</sup> ]	$\sqrt{SGR}$	LPD/h	MPD/[log(cfu/g)]	R <sup>2</sup>
4	0.014 ± 0.002	0.177	272.4 ± 37.23	7.58 ± 0.22	0.95
8	0.017 ± 0.003	0.195	53.9 ± 35.86	7.20 ± 0.21	0.95
12	0.038 ± 0.006	0.297	2.6 ± 20.56	8.28 ± 0.22	0.96
16	0.056 ± 0.007	0.358	0 ± 11.97	7.87 ± 0.11	0.98

## 2.2 实测值与不同模型预测值的比较

度分别输入3种预测模型GP、PMP及CP中,LM的生长预测值如表2、3、4所示。

2.2.1 不同软件预测值分析:所测猪肉水活度为0.955,pH值5.66,NaCl 0.047%,将这些数值及温

表2 GP对单增李斯特菌在生猪肉中生长的预测

Table 2 Growth of *Listeria monocytogenes* in chilled pork predicted by Growth Predictor

T/°C	Doubling time/h	LPD/h	MPD/[log(cfu/g)]	GR/[log(cfu/g)·h <sup>-1</sup> ]	$\sqrt{SGR}$
4	37.3	215.9	8.52	0.008	0.137
8	15.5	90.2	8.52	0.020	0.212
12	7.3	42.4	8.52	0.042	0.309
16	3.9	22.3	8.52	0.078	0.424

表3 PMP对单增李斯特菌在生猪肉中生长的预测

Table 3 Growth of *Listeria monocytogenes* in chilled pork predicted by PMP

T/°C	LPD/h	Generation time/h	MPD/[log(cfu/g)]	$\sqrt{SGR}$
4	427.3	47.8	9.48	0.120
8	227.9	22.0	9.32	0.177
12	129.6	11.1	9.27	0.250
16	78.6	6.1	9.01	0.337

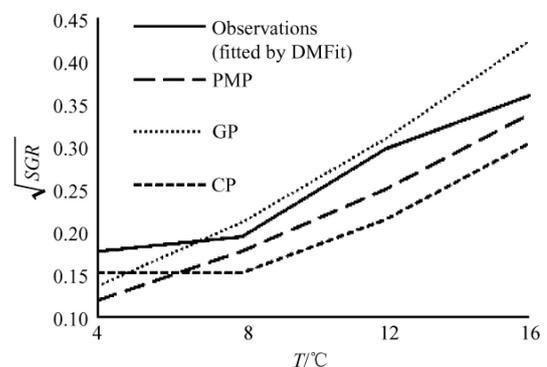
表4 CP对单增李斯特菌在生猪肉中生长的预测

Table 4 Growth of *Listeria monocytogenes* in chilled pork predicted by ComBase Predictor

T/°C	Doubling time/h	LPD/h	MPD/[log(cfu/g)]	GR/[log(cfu/g)·h <sup>-1</sup> ]	$\sqrt{SGR}$
4	59.6	118.8	7.39	0.010	0.152
8	26.7	52.6	7.39	0.010	0.152
12	13.3	25.3	7.39	0.020	0.215
16	7.4	15.2	7.39	0.040	0.303

2.2.2  $\sqrt{SGR}$ 比较:如图2所示,模型GP给出的 $\sqrt{SGR}$ 预测值除4℃以外,其余均比实测值高。PMP与CP在整个温度范围内的预测值均低于实测值。PMP、GP及CP关于SGR实测值的 $A_f$ 和 $B_f$ 见表5,其中GP的 $A_f$ 和 $B_f$ 与实测值较为接近(分别为1.38和1.01)。

2.2.3 LPD比较:PMP关于LPD的预测值高于实测值。GP及CP对4℃的预测值偏低,而在8℃至16℃则都偏高(图3)。3种预测模型PMP、GP及CP的预测值相对于实测值之间的 $A_f$ 和 $B_f$ 均偏高(表5)。相比之下,CP的 $A_f$ 和 $B_f$ 与实测值较为接近(分别为4.33和2.83)。

图2 三种软件对 $\sqrt{SGR}$ 预测值与实测拟合值的比较Fig. 2 Comparison of  $\sqrt{SGR}$  between predictions of three different models and observations.

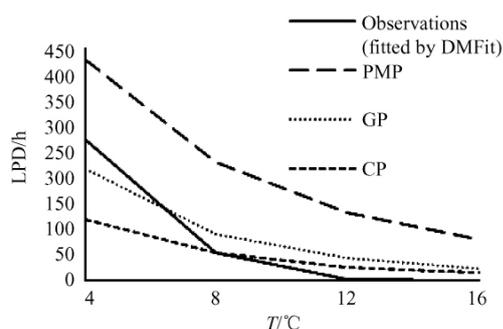


图3 三种软件对 LPD 预测值与实测拟合值的比较

Fig. 3 Comparison of LPD between predictions of three different models and observations.

表5 三种预测软件的预测值相对于实测值的准确因子 ( $A_f$ ) 与偏差因子 ( $B_f$ )

Table 5 Accuracy and bias factors of three different models compared with observations

models	SGR		LPD	
	$A_f$	$B_f$	$A_f$	$B_f$
PMP	1.55	0.70	12.75	12.75
GP	1.38	1.01	5.29	4.71
CP	1.60	0.64	4.33	2.83

The closer to 1.0 for  $A_f$ , the more accurate the model is, i. e. the prediction is closer to the observed values.  $B_f < 1$  suggests that the predicted values were lower than the observed, and *vice versa* for  $B_f > 1$ .

### 3 讨论

冷鲜肉是对屠宰后的畜胴体迅速进行冷却处理,使其温度在较短时间内降至  $0^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$ ,并在后续加工、流通和销售过程中始终保持在  $0^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$  范围内的生鲜肉。由于部分细菌(如 LM)能够在冰箱冷藏温度下存活,冷鲜猪肉的安全问题仍不能忽视。生长预测模型软件 GP、PMP 及 CP 皆是肉汤培养基为基础建立,用这 3 种软件预测微生物在食品介质中的生长时,难免会有偏差。Walls 等发现预测大肠杆菌 O157:H7 在绞碎生牛肉中的生长时,PMP 对 LPD 的预测值要比实测值高,从而提供了一个不安全的预测<sup>[14]</sup>。

关于 LM 生长研究有很多,如 Jin S 等研究了 LM 在营养肉汤中的生长与温度、pH 值的关系,Koseki S 等研究了 LM 在白菜中的生长,Koseki S 等做了 LM 在莴苣中的生长<sup>[15-17]</sup>。1997 年 Gill CO 等通过比较 LM 在营养肉汤及猪肉组织中的生长,认为用肉汤培养基中 LM 的生长研究来估计其在冷鲜

猪肉中的生长并不可靠<sup>[18]</sup>。但由于该研究对猪肉的细菌接种量较大,达  $10^5$  cfu/cm<sup>2</sup>,并不能反映常规的肉制品中的少量污染,其所测 LPD 值较小<sup>[19]</sup>。

本研究以大排肉作为供试样品,测定了低温下 LM 在生猪肉中的生长状况。Xiong 等认为 Gompertz 模型和 Baranyi 模型是较好的两个一级模型,而在整体模型分析中,Baranyi 模型要比前者更优<sup>[20]</sup>。因此,本研究选用了基于 Baranyi 模型的 DMFit 软件来拟合生长曲线。Mark Tamplin 等的研究发现 Ratkowsky 的平方根模型<sup>[11]</sup>在拟合  $\sqrt{\text{SGR}}$  时,有更好的拟合度 ( $R^2$  为 0.99)<sup>[10]</sup>。因此本研究在对生长率的预测值及实测值进行比较时,选取了  $\sqrt{\text{SGR}}$  进行比较。

我们对辐照后的生猪肉分别接种了较低数量的菌落<sup>[19]</sup>。通过研究发现,  $4^{\circ}\text{C}$  时, LM 在生猪肉中的生长缓慢,迟滞期可达 10 d 之久 (272.4 h); 而温度一旦升至  $16^{\circ}\text{C}$ , 则经过 2.6 h 即可进入对数生长期。生猪肉中, LM 在  $4^{\circ}\text{C}$  及  $8^{\circ}\text{C}$  的生长率差别不大; 但从  $8^{\circ}\text{C}$  提高至  $12^{\circ}\text{C}$  时, 生长率增长近一倍。提示在实际冷却肉生产中严格控制温度的重要性。

对 3 种预测模型进行比较时,我们计算了预测模型的准确因子 ( $A_f$ ) 和偏差因子 ( $B_f$ ),  $A_f$  表示预测值与实测值的偏离程度,而  $B_f$  表示预测值是否高于或低于实测值。两者数值接近 1, 表示预测模型的可靠程度高<sup>[19]</sup>。通过对 3 种软件的预测值及本研究中的实测拟合值比较发现,软件预测在一定程度上均偏离了实测值。

在  $4^{\circ}\text{C} - 16^{\circ}\text{C}$  这一温度范围内, PMP 预测的 GR 均低于实测值,  $B_f$  为 0.70, 即其预测的 LM 在猪肉中的生长比实际生长速度慢。CP 对 GR 的预测值低于实测值,甚至低于 PMP 的预测值 ( $8^{\circ}\text{C} - 16^{\circ}\text{C}$ ), 其  $A_f$  为 1.60,  $B_f$  为 0.64。GP 在  $8^{\circ}\text{C}$  以上的温度范围内, 所预测 LPD 比实测值偏高。GP 所预测 GR 稍高于实测值,  $B_f$  为 1.01, 其预测准确度也为 3 种模型中最高,  $A_f$  为 1.38。因此,在实际风险评估中,应用预测模型 GP 对 GR 进行预测能提供较为理想的结果。

PMP、GP 及 CP 对 LPD 的预测值与实测值均偏离较大。PMP 预测的 LPD 则远高于实测值 (与 Walls 等的研究结果类似),  $B_f$  达 12.75<sup>[14]</sup>。如在  $4^{\circ}\text{C}$  时, PMP 所预测 LPD 为 427.3 h, 为实测值 (272.4 h) 的 2 倍多。  $8^{\circ}\text{C}$  时, 53.9 h (约 2 d) 后, LM

在冷鲜猪肉中即可开始生长,而根据 PMP 的预测,此温度下的 LPD 为 227.9 h。由此,PMP 预测的 LM 在生猪肉中的生长要比其实际生长慢,将其应用于安全风险评估中并不可靠。CP 对 LPD 的预测值与实测值更为接近, $A_f$  及  $B_f$  分别为 4.33 及 2.83,为 3 种预测模型中最低。而 Ross 曾提出,一个较好的预测模型的判定标准为: $B_f$  为 0.9 - 1.05; $A_f$  小于 1.15<sup>[13]</sup>。显然 CP 对 LPD 的预测准确性与这一标准相去甚远。而我们同时应该意识到,LPD 受接种前细菌生理状态及前培养条件的影响很大,而这两个因素很难控制,因此,LPD 的预测模型建立难度很大。在没有更好的预测模型之前,我们依然建议采用 CP 对 LPD 的预测作为参考,同时注意其预测的误差较大。

由于细菌生长至 MPD 时,食品大多早已经过了保质期,因此本研究未对 MPD 的预测值及实测值进行比较。CP 及 GP 对于 MPD 也只给出了粗略估计,不同温度点给出了相同的预测值(表 2 表 4)。

总之,PMP、GP 及 CP 在预测 LM 在冷鲜猪肉中的生长时均存在一定的偏差,在实际风险评估中,建议用 GP 对 GR 进行预测;CP 对 LPD 的预测作为参考。另外,关于 LPD 的预测模型仍需进一步研究和开发。

## 参考文献

- [ 1 ] Mead PS , Slutsker L , Dietz V , McCaig FL , Bresee JS , Shapiro C , Griffin PM , Tauxe RV. Food-related illness and death in the United States. *Emerging Infectious Diseases* , 1999 , 5 ( 6 ) : 607 - 625 .
- [ 2 ] Lecuit M. Human listeriosis and animal models. *Microbes and Infection* , 2007 , 9 ( 10 ) : 1216-1225 .
- [ 3 ] Marcus R. New information about pediatric foodborne infections: the view from FoodNet. *Current Opinion in Pediatrics* , 2008 , 20 ( 1 ) : 79-84 .
- [ 4 ] Mook P , O'Brien SJ , Gillespie IA. Concurrent conditions and human listeriosis , England , 1999-2009. *Emerging Infectious Diseases* , 2011 , 17 ( 1 ) : 38-43 .
- [ 5 ] Aureli P , Fiorucci GC , Caroli D , Marchiaro G , Novara O , Leone L , Salmaso S. An outbreak of febrile gastroenteritis associated with corn contaminated by *Listeria monocytogenes*. *The New England Journal of Medicine* , 2000 , 342 ( 17 ) : 1236-1241 .
- [ 6 ] 吴蜀豫,李迎惠,冉陆,付萍,李志刚,姚景会. 中国 2001 年 11 省市食品中李斯特菌污染状况的主动监测. *中华流行病学杂志 ( Chinese Journal of Epidemiology )* , 2003 , 8 ( 24 ) : 657-659 .
- [ 7 ] Baranyi J , Tamplin ML. ComBase: a common database on microbial responses to food environments. *Journal of Food Protection* , 2004 , 67 ( 9 ) : 1967-1971 .
- [ 8 ] Ross T. Predictive Food microbiology models in the meat industry. *Meat and Livestock Australia* , 1999 , North Sydney , Australia .
- [ 9 ] Tamplin ML Growth of *Escherichia coli* O157:H7 in raw ground beef stored at 10°C and the influence of competitive bacterial flora , strain variation , and fat level. *Journal of Food Protection* , 2002 , 65 ( 10 ) : 1535-1540 .
- [ 10 ] Tamplin ML , Greg P , Benne SM , John P. Models of the behavior of *Escherichia coli* O157: H7 in raw sterile ground beef stored at 5-46°C. *International Journal of Food Microbiology* , 2005 , 100 ( 8 ) : 335-344 .
- [ 11 ] Rarkowsky DA , Lowry RK , McMeekin TA. Model for bacterial culture growth rate throughout the active biokinetic temperature range. *Journal of Bacteriology* , 1983 , 154 ( 3 ) : 1222-1226 .
- [ 12 ] Baranyi J , Pin C , Ross T. Validating and comparing predictive models. *International Journal of Food Microbiology* , 1999 , 48 : 159-166 .
- [ 13 ] Ross T. Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology. *Journal of Applied Bacteriology* , 1996 , 81 ( 5 ) : 501-508 .
- [ 14 ] Walls I , Scott VN. Validation of predictive mathematical models describing the growth of *Escherichia coli* O157: H7 in raw ground beef. *Journal of Food Protection* , 1996 , 59 ( 12 ) : 1331-1335 .
- [ 15 ] Jin SS , Khen BK , Yoon KS , Woo GJ , Hwan IG. Effects of temperature , pH and potassium lactate on growth of *Listeria monocytogenes* in broth. *Food Science and Biotechnology* , 2005 , 14 ( 6 ) : 847-853 .
- [ 16 ] Koseki S , Itoh K. Prediction of microbial growth in fresh-cut vegetables treated with acidic electrolyzed water during storage under various temperature conditions. *Journal of Food Protection* , 2001 , 64 ( 12 ) : 1935-1942 .
- [ 17 ] Koseki S , Isobe S. Growth of *Listeria monocytogenes* on iceberg lettuce and solid media. *International Journal of Food Microbiology* , 2005 , 101 ( 5 ) : 217-225 .
- [ 18 ] Gill CO , Greer GG , Dilts BD. The aerobic growth of *Aeromonas hydrophila* and *Listeria monocytogenes* in broths and on pork. *International Journal of Food Microbiology* , 1997 , 35 ( 3 ) : 67-74 .

- [19] Baranyi J, Terry AR. A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *International Journal of Food Microbiology*, 1994, 23(11): 277-294.
- [20] Xiong R, Xie G, Edmondson AS, Linton RH, Sheard MA. Comparison of the Baranyi model with the modified Gompertz equation for modeling thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* Scott A. *Food Microbiology*, 1999, 16(3): 269-279.

## Comparison of growth models of *Listeria monocytogenes* in chilled pork

Peipei Zhang, Yuan Liu, Chun Fang, Ying Yu, Jianshun Chen, Weihuan Fang\*

Institute of Preventive Veterinary Medicine of Zhejiang University and Zhejiang Provincial Key Laboratory of Preventive Veterinary Medicine, Hangzhou 310029, China

**Abstract:** [Objective] To investigate the growth of *Listeria monocytogenes* (LM) in chilled pork at four temperature and to evaluate the accuracy of three predictive models—GP (Growth Predictor), PMP (Pathogen Modeling Programme) and CP (ComBase Predictor) in predicting LM growth in chilled pork. [Methods] LM growth in chilled pork at 4°C, 8°C, 12°C and 16°C were determined by plate counting. The growth data were fitted by DMFit software to calculate related growth parameters: lag phase duration (LPD), growth rate (GR) and maximum population density (MPD). The observation values and predictions of the three different models were compared. [Result] LM grew into exponential phase after 2.6 hours of adaptation at 16°C. A four-degree increase from 8°C to 12°C doubled GR from 0.017 log(cfu/g)·h<sup>-1</sup> to 0.038 log(cfu/g)·h<sup>-1</sup>. Over the temperature span from 4°C to 16°C, GR values predicted by PMP were lower than observations, while those of LPD higher than observations. At temperature above 8°C, LPD values predicted by GP were higher than observations. Of three predictive models, GP prediction of GR was the best, though slightly higher than observations, with the bias factor (B<sub>f</sub>) at 1.01 and accuracy factor (A<sub>f</sub>) at 1.38, while CP was nearest to observations for LPD prediction, but still with high values of A<sub>f</sub> and B<sub>f</sub> (4.33 and 2.83 respectively). [Conclusion] It is of utmost importance to control temperature in chilled pork production and distribution. Because of the conservative but unsafe predictions, PMP model is not suitable for prediction of LM in chilled pork. We suggest to use GP for GR prediction. CP may be used to predict LPD as a reference, but with caution.

**Keywords:** *Listeria monocytogenes*, growth models, chilled pork

(本文责编:王晋芳)

Supported by the 11<sup>th</sup> Five-Years Key Programs for Science and Technology Development of China (2009BADB9B01)

\* Corresponding author. Tel/Fax: +86-571-86971242; E-mail: whfang@zju.edu.cn

Received: 25 May 2011 / Revised: 21 August 2011