

微生物学报 *Acta Microbiologica Sinica*
51(5):684-691; 4 May 2011
ISSN 0001-6209; CN 11-1995/Q
<http://journals.im.ac.cn/actamicrocn>

牛肉中单增李斯特菌的热失活模型

冯晓慧¹, 王庆国¹, 王仁欢¹, 陈庆敏², 苏亚东¹, 朱瑞良³, 朱立贤^{1*}, 罗欣^{1*}

(山东农业大学,¹ 食品科学与工程学院,³ 动物科技学院, 泰安 271018

² 山东营养源食品科技有限公司, 济南 271400)

摘要:【目的】建立牛肉中单增李斯特菌的热失活动力学模型。【方法】将接种了3种不同血清型的单增李斯特菌混合菌液的牛肉分别在55℃、57.5℃、60℃、63℃、66℃和70℃进行热处理,在不同温度条件下单增李斯特菌数从 10^9 CFU/g下降至 10^3 CFU/g,其热失活曲线用修正的 Gompertz 模型进行了拟合;利用线性模型对单增李斯特菌的相对失活率(μ)和所持续时间(M)的自然对数值与温度(55℃-70℃)进行拟合;通过在59℃和64℃对牛肉中单增李斯特菌热处理,对所建的模型进行了验证。【结果】建立了牛肉中单增李斯特菌热失活动力学的一级模型和二级模型,经验证其准确因子和偏差因子均在可接受范围内。【结论】本研究所建立的模型能较好的模拟不同温度(55℃-70℃)对牛肉中单增李斯特菌热失活的影响。

关键词: 单增李斯特菌, 修正的 Gompertz 模型, 热失活, 牛肉

中图分类号: X172 **文献标识码:** A **文章编号:** 0001-6209 (2011) 05-0684-08

单增李斯特菌(*L. monocytogenes*)是李斯特菌属(*Listeria*)中的一种,是一种人畜共患致病菌,也是重要的食源性致病菌之一。单增李斯特菌广泛分布于自然界,在肉类、蛋类、禽类、海产品、乳制品和蔬菜类都能检出。近年来,单增李斯特菌病在欧美国家常有发生,在法国、美国、加拿大和德国等国曾多次引起食物中毒,轻者为一般胃肠炎症状,重症者主要表现为败血症、脑膜炎、神经症状及单核细胞增多等;在美国,每年的李斯特菌病的发病率据估计为2500例,病死率约为30%^[1]。单增李斯特菌对环境适应能力强,对不利因素如低温、高渗、抗菌物质有抵抗能力,还能在物体表面形成生物膜^[2]。因此,采取有效的杀菌方法对预防李斯特菌病具有重要的

作用。食品的杀菌方法有很多种,物理的如热处理、微波、辐射、过滤等,化学的如各种防腐剂和抑菌剂,生物的如各种微生物或能产生抗生素的微生物。虽然杀菌方法有多种多样,但热处理杀菌仍是食品工业最有效、最经济、最简便,因而也是使用最广泛的杀菌方法^[3]。在微生物杀菌研究中,预测微生物研究和建立不同环境因素影响下的失活参数模型,能够减少或替代为确保食品安全而进行的常规试验,已经获得了越来越广泛的应用。

在很多情况下,细菌的热失活曲线并不遵循对数线性关系,在拟合细菌热失活曲线时,经常出现细菌对数图凹形、凸形甚至S形曲线等非线性的现象^[4-6]。修正的 Gompertz 模型已被广泛的应用于

基金项目: 国家肉牛产业技术体系(NYCYTX-38); 国家大学生创新性实验计划(NMOE101043435)

* 通信作者。Tel/Fax: +86-538-8242745; E-mail: zhxl@sdau.edu.cn(朱立贤), luoxin@sdau.edu.cn(罗欣)

作者简介: 冯晓慧(1986-), 女, 山东枣庄人, 硕士, 主要从事畜产品加工贮藏方面的研究。E-mail: fengxiaohui198686@163.com

收稿日期: 2010-11-24; **修回日期:** 2010-02-14

研究食品微生物等温生长动力学^[7-8]过程, Kim 等人将此模型应用于失活模型, 发现可以很好的拟合大肠杆菌和沙门氏菌的失活曲线^[9-10]。国内有关单增李斯特菌热失活模型建立方面的研究未见报道, 本文研究了不同温度热处理对牛肉中单增李斯特菌的影响, 用修正的 Gompertz 模型拟合牛肉中单增李斯特菌非线性失活曲线, 建立了牛肉中单增李斯特菌的热失活模型, 为牛肉中单增李斯特菌的控制提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 主要试剂和仪器: PALCAM 培养基(北京陆桥技术有限责任公司); 蛋白胨(北京陆桥技术有限责任公司); 胰蛋白胨大豆琼脂(TSA)培养基(北京陆桥技术有限责任公司); 脑心浸液琼脂(北京陆桥技术有限责任公司)。Bag Mixer400 均质器(法国 Interscience 公司); SPX-400 智能型生化培养箱(宁波江南仪器厂); LDZX 立式压力蒸汽灭菌器(上海申安医疗器械厂); DK-S28 电热恒温水浴锅(上海精宏实验设备有限公司); DZ-300/2SA 小型程控全自动真空包装机(金桥科技股份有限公司)。

1.1.2 菌株: 本实验采用 3 株单增李斯特菌的混合菌种, 一株为本研究室从肉品中分离的(1/2c), 另外两株为标准菌株 CMCC54002 (1/2a) 和 CMCC54004(1/2c)(中国医学细菌保藏管理中心), 4℃保存于 TSA 培养基中。由于单增李斯特菌不同血清型的耐热性有差异^[11], 混合菌液要比单一菌液更能符合真实情况。因此, 此实验选用的是混合菌液。

1.1.3 培养基的选择: 据文献报道, 热受伤的李斯特菌在 PALCAM 培养基上可以修复和生长^[12-13]。因此, 本实验中菌落计数时, 为了使热受伤的单增李斯特菌能够得到修复和生长, 选用了 PALCAM 培养基。预实验结果显示, 使用 PALCAM 培养基与其它文献报道的效果较好的薄琼脂层法^[14]培养基(下面一层选择培养基, 上面一层 TSA 培养基)结果差异并不显著。

1.2 样品处理及接种

1.2.1 样品的准备: 取新鲜的牛西冷, 紫外线照射 30 min 后去除外周, 无菌条件下将其切成 1 mm 厚

的薄片, 以每份 50 ± 0.5 g 进行真空封装。保存于 -28°C , 使用前置于 4°C 条件下解冻。

1.2.2 菌悬液的制备: 无菌操作条件下, 取脑心浸液琼脂板上 37°C , 20 h 的培养物, 用无菌蛋白胨水将菌苔清洗下来, 制成菌悬液。3 株菌制得的菌悬液浓度均约为 $10^9 \text{CFU} \cdot \text{mL}^{-1}$, 将其 1:1:1 混合, 得到混合菌株菌悬液。

1.2.3 接种及真空密封: 无菌操作取样品于菌悬液中浸蘸 15 min(不断搅拌), 于无菌铁网上晾 2 h, 然后称取 5 ± 0.05 g 分装于拍打袋中, 用 0.1 MPa 的真空度抽真空, 使密封的样本充满整个袋子并使其厚度小于 1 mm, 以确保传热的统一。实验之前, 样品一直置于冰水中。

1.3 热处理

接种后的样品分别在恒温循环水浴中于 55°C , 57.5°C , 60°C , 63°C , 66°C 和 70°C 下^[15]进行热处理。加热时间从 12 – 1920 s 不等, 具体温度、时间与时间间隔见表 1。加热时, 将样品完全浸入热水中, 并使其在热水中均匀分布, 按照设计的时间间隔, 定时取出部分样品进行测定。热处理后的样品立即放入冰水中以阻止失活过程继续进行。从设定温度冷却至 $<20^{\circ}\text{C}$, 时间小于 1 s。每一组温度时间的组合重复 3 次。

表 1 热处理的温度、时间及时间间隔

Table 1 Temperature, time and time intervals of heat treatments		
Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	t/ s	Time interval/ s
55	1920	240
57.5	1260	180
60	560	70
63	120	20
66	35	5
70	12	2

1.4 单增李斯特菌计数

取出热处理后的拍打袋, 表面用 75% 乙醇消毒, 无菌条件下剪开, 加入 45 mL 的 0.1% 无菌蛋白胨水以最大速度(9 h/s)拍打 3 min。拍打后进行梯度稀释, 将样品原液或梯度稀释液涂布在刚配制的 PALCAM 培养基上。涂布完成后, 将平板置于室温下约 2 h, 使热受伤的细胞复苏。然后, 放至 37°C 培养箱培养, 48 h 后统计单增李斯特菌菌落的数目, 算出平均值并转换成 $\log(\text{CFU/g})$ 。

1.5 数据处理

试验数据应用 PASW Statistics 18 的统计软件,

采用最小平方法 (least squares),选取 Gompertz 模型对失活过程进行回归建立一级模型,通过线性回归建立二级模型。

1.6 模型建立以及模型的验证

1.6.1 恒温单增李斯特菌的一级热失活模型建立: 分别将牛肉在 55℃, 57.5℃, 60℃, 63℃, 66℃ 和 70℃ 热处理条件下得到的试验数据,用修正的 Gompertz 方程^[16]描述不同温度条件下的残存菌数与时间的关系。修正的 Gompertz 方程如下:

log(C) = log(C₀) {1 - exp[- exp(- μ(t - M))]}
(1)

式中 μ 为相对失活率(s⁻¹), M 为所持续的时间(s)。

1.6.2 基于修正的 Gompertz 模型参数的二级模型的建立:利用线性回归对单增李斯特菌的相对失活率(μ)和所持续时间(M)的自然对数值与温度(55℃ - 70℃)(式(2)、(3))进行拟合,得到牛肉中单增李斯特菌失活的二级模型。

ln(μ) = aT + b
(2)

ln(M) = cT + d
(3)

式中 μ 和 M 是修正的 Gompertz 模型中的参数, a、b、c、d 是不同的常量系数,T 为温度。

1.6.3 单增李斯特菌的热失活模型的验证与可靠性评价:应用建立的单增李斯特菌的热失活动力学模型求得 59℃ 和 64℃ 下的预测值,与在 59℃ 和 64℃ 热失活实验中实际检测的单增李斯特菌数量进行比较,采用偏差度 (Bias factor, B_f) 和准确度 (Accuracy factor, A_f) 来评价所建模型的可靠性^[17-18]。偏差度和准确度的表达式如下:

B_f = 10[∑ (N_{预测} - N_{实测})]/n
(4)

A_f = 10[∑ (N_{预测} - N_{实测})]/n
(5)

式(4)和(5)中,N_{实测}是试验实际测得的单增李斯特菌数量,N_{预测}是应用热失活模型预测得到的同一时间点的单增李斯特菌数量,n 是试验次数。

2 结果和分析

2.1 恒温单增李斯特菌的一级热失活模型建立

用修正的 Gompertz 模型拟合不同温度条件下单增李斯特菌的热失活曲线见图 1。通常来说,残存菌数量的对数值随着加热时间的延长而降低。同

时,细菌的死亡速率随着温度的升高而加快,温度越高,杀菌所需时间越短。从图 1 中可以看出,热失活曲线并非都是直线,而是普遍向下凹,这表明随着加热时间的延长,失活速率也随着加快。同时从图中也可以看出,早期细菌浓度变化并不明显,而当加热时间超过某一阈值时,细菌的失活速率才随时间变化开始加快。由此可以说明细菌的数量在刚开始加热时并没有马上减少,这种现象可能与样品的大小有关^[19]。在这段初始时间(或者是升温时间),加热温度对于中心位置存在的细菌并没有重大影响。假如样品检测的时间短于升温时间,就会出现“肩效应”,因此这种情况是试验的误差造成的。然而,在本实验出现“肩效应”并不能全部归结于样品的尺寸或者是样品检测时间,因为试验的进行过程中已经尽量的减少样品的厚度且在较低温度下(55℃ - 63℃),样品检测时间明显长于升温时间。因此,本实验出现“肩效应”可能是因为在明显观察到热致死效应之前,加热过程需要克服一些起初的能量障碍,在热传递过程中会引发一些生化反应^[19]。

从表 2 中可以看出,利用修正的 Gompertz 方程求得单增李斯特菌热失活模型的相关系数(R²)分别为 0.934、0.985、0.966、0.988、0.921 和 0.918,即在 0.918 - 0.988 之间(表 2),同时 MSE < 0.005, P < 0.001,说明该方程能很好的拟合单增李斯特菌的热失活曲线。

表 2 单增李斯特菌在 55℃、57.5℃、60℃、63℃、66℃ 和 70℃条件下热失活模型的 MSE 值、R² 值和 P 值

Table 2 MSE, R² and P values in the thermal inactivation model of *Listeria monocytogenes* in ground beef at 55℃, 57.5℃, 60℃, 63℃, 66℃ or 70℃

Temperature/℃	MSE	R ²	P value
55	0.001	0.934	<0.001
57.5	0.001	0.985	<0.001
60	0.003	0.966	<0.001
63	0.001	0.988	<0.001
66	0.005	0.921	<0.001
70	0.003	0.918	<0.001

2.2 基于修正的 Gompertz 模型参数的二级模型建立

由以上分析可知,应用修正的 Gompertz 方程能很好的拟合不同温度下单增李斯特菌的热致死情况,但是却无法描述不同温度变化对单增李斯特菌热失活的影响。因此需要建立一个关于温度对一级

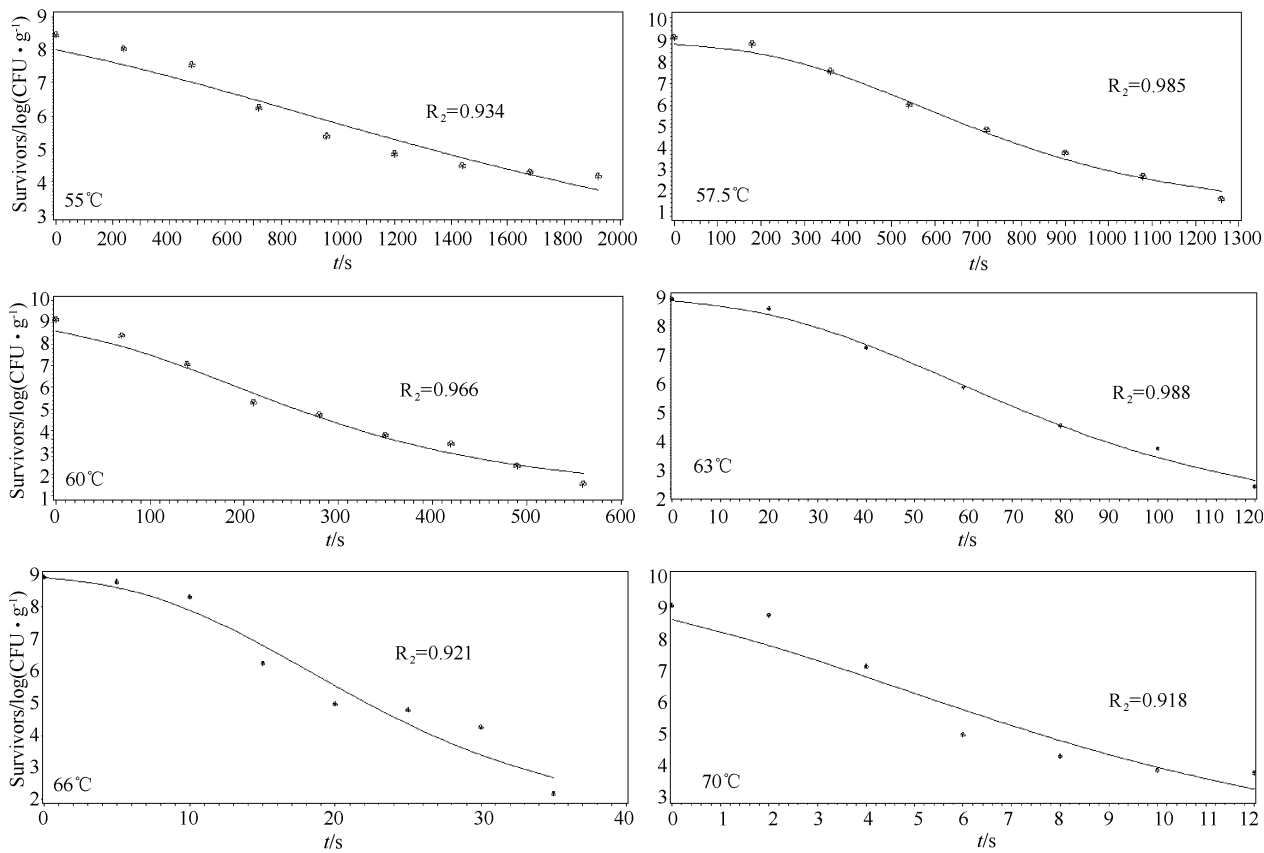


图 1 修正的 Gompertz 模型在 55℃、57.5℃、60℃、63℃、66℃ 和 70℃ 下拟合牛肉中单增李斯特菌的热失活曲线

Fig.1 Thermal inactivation curve of *Listeria monocytogenes* fitted with modified Gompertz model in ground beef at 55℃ , 57.5℃ , 60℃ , 63℃ , 66℃ or 70℃ .

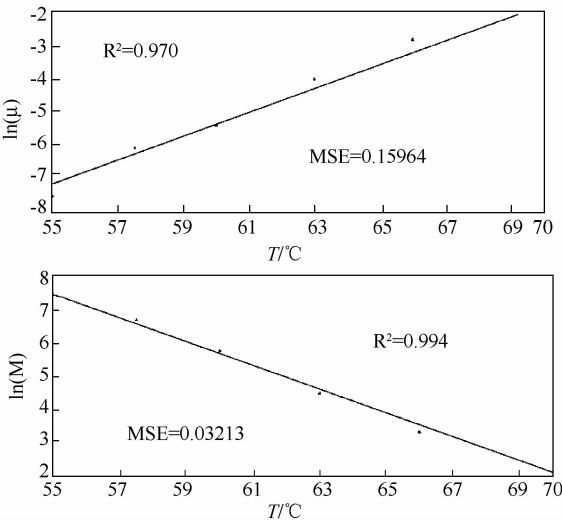


图 2 温度对修正的 Gompertz 模型参数 (μ, 相对失活率; M, 持续时间) 的影响

Fig.2 Effect of temperature on the parameters (μ, relative inactivation rate; M, time constant) of the modified Gompertz model.

模型参数影响的二级模型。从图 2 可以看出,μ 和

M 均受温度的影响,μ 随着温度升高呈指数上升 $\ln \mu = -27.35790 + 0.36634T$,M 随着温度的升高呈指数下降 $\ln M = 27.51554 - 0.36372T$ 。两个模型的相关系数(R²)分别为 0.970 和 0.994,说明该模型描述的温度与一级模型参数之间的关系是可信的。

2.3 单增李斯特菌热失活模型的验证

为了定量评价建立的模型的可靠性,Ross 提出了偏差度和准确度的概念^[17],并被很多学者所接受。偏差度(Bias factor, B_f)是用来检查预测值上下波动的幅度,准确度(Accuracy factor, A_f)是用来衡量预测值和实测值之间的差异。本试验用在 59℃ 和 64℃ 条件下单增李斯特菌存活真实值与应用预测模型计算得到的单增李斯特菌存活的预测值来计算偏差度和准确度,以比较、评价和验证模型的可靠性(表 3)。

由表 3 可知,本研究中预测值上下波动的幅度(B_f)为 10% 左右,预测值和实测值之间的差异(A_f)在 20% 以内。验证结果表明,本研究中建立的单增

李斯特菌的热失活模型能很好的预测不同温度处理对单增李斯特菌的影响。

表 3 59℃和 64℃条件下牛肉中单增李斯特菌失活预测值的偏差度和准确度

Table 3 Bias and accuracy factor of predicted values of *Listeria monocytogenes* in ground beef

exposed to 59℃ or 64℃			
Temperature/℃	Number of tests/ n	B_f	A_f
59	6	0.895	1.165
64	6	0.925	1.183

3 讨论

加热杀菌是当前食品工业普遍采用的方法之一,因此对于微生物热失活动力学模型的研究具有重要的实际意义。国外对于热失活模型的研究有不少报道,很多模型的研究都是在液体培养基中进行的^[3,20],且有的是采用单一菌种的人工污染^[3,21]。肉品的肌肉组织、水分活度与液体培养基差别很大,而这些因素对单增李斯特菌有很大影响^[22],因此简单的液体培养基很难模拟肉品中的真实状态。不同菌株及不同血清型的单增李斯特菌的耐热性存在差异^[11],故采用单一菌种或单纯使用液体培养基得到的模型,很难做到准确评价真实肉品中微生物的存活状态。此外,美国农业部食品安全检验局建议使用混合菌株或不同血清型的混合菌株进行模拟接种^[23],国外在进行食品体系中生长/失活或抑菌试验时大多都是通过接种混合菌株^[22,24-25,27]。因此,本试验选取了3个不同血清型的菌株混合液(2株标准菌株、1株分离自牛肉)进行牛肉接种,以便更好地模拟单增李斯特菌实际污染情况^[16,26-27]。

在微生物动力学研究中,经常会出现细菌的非线性失活现象,即凹形、凸形甚至S形曲线,其主要原因是细菌菌群含有亚菌群,而细菌残存曲线是亚菌群各自动力学模式的综合体现^[4-6]。Juneja研究表明,非线性曲线能够很好地拟合牛肉汁中单增李斯特菌的失活曲线^[28]。本试验结果显示,单增李斯特菌的热失活曲线并非是直线,而是普遍向下凹,这与Huang和Lorentzen的研究类似^[16,29]。事实上,在一些其他致病菌的热失活研究中,也出现了类似的凹形曲线,Juneja研究了炭疽芽胞杆菌在牛肉中的热失活曲线,发现曲线是向下凹的^[30],Raccach

等^[31]研究的戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*)失活曲线也存在下凹的现象。然而,Hassani研究了不同pH条件下单增李斯特菌在液体培养基中的热失活曲线^[3],结果表明单增李斯特菌在液体培养基中的热失活曲线近似直线,这可能与细菌存活介质不同有关,因为肉中的实际情况要比液体培养基复杂的多。Huang^[16]比较了线性模型、Weibull模型和修正的Gompertz模型对恒温条件下单增李斯特菌热失活情况的模拟效果,结果显示,修正的Gompertz方程拟合效果最好;刘琳^[32]研究发现,修正的Gompertz模型比Weibull模型更好地拟合了生鲜调理鸡肉中细菌的失活曲线。Raccach等^[31]运用自己设计的方程对戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*)失活模型进行研究,发现在55℃、60℃和65℃条件下的相关系数分别为0.9281、0.9220和0.9117。本试验用修正的Gompertz模型对牛肉中单增李斯特菌的热失活曲线进行了拟合,并建立了温度对一级模型参数影响的二级模型,研究结果表明此模型能够较好的模拟不同温度条件对牛肉中单增李斯特菌热失活的影响。

细菌存在的条件影响细菌的耐热性,Lihono研究表明,单增李斯特菌在猪肉中与猪肉浆中的耐热性有显著差异,且添加焦磷酸钠可以显著降低猪肉浆中单增李斯特菌的耐热性而对猪肉中该菌的耐热性没有影响^[22];Juenja报道,牛至精油和乳酸钠组合应用可以显著增加碎牛肉中沙门氏菌在71℃时的热失活速率,而牛至精油、乳酸钠单独或组合对60℃或65℃的热失活速率没有显著影响^[33];Fernández报道酸化应激显著降低肠球菌在70℃时的热失活速率^[34]。在牛屠宰过程中常用有机酸控制致病性和腐败菌的生长,乳酸钠、双乙酸钠、植物精油等抑菌剂能抑制肉中的单增李斯特菌^[35-37]。有关抑菌剂(有机酸、各种抑菌剂等)对牛肉中单增李斯特菌的热失活速率、失活模型的影响有待进一步研究,从而对所建的模型进行不断的改进与完善。

4 结论

本文应用修正的Gompertz模型拟合了不同热处理条件下牛肉中单增李斯特菌的失活曲线,相关系数均在0.918到0.988之间;建立了温度对初级模型参数影响的二级模型,即 $\ln\mu = -27.35790 +$

0.36634T 和 $\ln M = 27.51554 - 0.36372T$, 相关系数分别为 0.970 和 0.994。用 59℃ 和 64℃ 下实际的单增李斯特菌存活数对模型进行验证, 偏差度 (B_f) 和准确度 (A_f) 分别为 0.895 和 0.925、1.165 和 1.183, 表明该模型能很好的预测牛肉中单增李斯特菌在 59℃ 和 64℃ 下的失活动态。本研究得到的单增李斯特菌热失活模型可以快速可靠的实时预测单增李斯特菌在 55℃ - 70℃ 之间的热失活状态, 可以作为热处理杀灭牛肉中单增李斯特菌的理论参考。

参考文献

- [1] De Valk H, Jacquet C, Goulet V, Vaillant V, Perra A, Simon F, Desenclos JC, Martin P. Surveillance of *Listeria* infections in Europe. *Eurosurveillance*, 2005, 10 (10): 251-255.
- [2] Norwood DE, Gilmour A. The growth and resistance to sodium hypochlorite of *Listeria monocytogenes* in a steady-state multispecies biofilm. *Journal of Applied Microbiology*, 2000, 88(3): 512-520.
- [3] Hassani M, Álvarez I, Raso J, Condón S, Pagán R. Comparing predicting models for heat inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Pseudomonas aeruginosa* at different pH. *International Journal of Food Microbiology*, 2005, 100: 213-222.
- [4] Doyle ME, Mazzotta AS, Wang T, Wiseman DW, Scott VN. Heat resistance of *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Protection*, 2001, 64(3): 410-429.
- [5] Silva FM, Gibbs P, Vieirac MC, Silva CLM. Thermal inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores under different temperature, soluble solids and pH conditions for the design of fruit processes. *International Journal of Food Microbiology*, 1999, 51(1): 95-103.
- [6] Van Boekel MAJS. On the use of the Weibull model to describe thermal inactivation of microbial vegetative cells. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, 73: 139-159.
- [7] Dalgaard P. Modelling of microbial activity and prediction of shelf life of packed fresh fish. *International Journal of Food Microbiology*, 1995, 19: 305-318.
- [8] Dalgaard P, Vancanneyt M, Euras VN, Swings J, Fruekilde P, Leisner JJ. Identification of lactic acid bacteria from spoilage associations of cooked and brined shrimps stored under modified atmospheres at temperatures between 0℃ and 25℃. *Journal of Application Microbiology*, 2003, 94: 80-89.
- [9] Kim SR, Rhee MS, Kim BC, Kim KH. Modeling the inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and generic *Escherichia coli* by supercritical carbon dioxide. *Food Microbiology*, 2007, 118: 52-61.
- [10] Kim SR, Rhee MS, Kim BC, Lee H, Kim KH. Modeling the inactivation of *Salmonella typhimurium* by supercritical carbon dioxide in physiological saline and phosphate-buffered saline. *Microbiological Methods*, 2007, 70: 132-141.
- [11] Francis GA, Beirne DO. Variation among strains of *Listeria monocytogenes*: differences in survival on packaged vegetables and in response to heat and acid conditions. *Food Control*, 2005, 16: 687-694.
- [12] Williams RC, Golden DA. Suitability of selective media for recovery and enumeration of sublethally heat-and acid-injured *Listeria monocytogenes*. *Journal of Rapid Methods and Automation in Microbiology*, 1998, 6: 307-316.
- [13] Miller FA, Brandao TRS, Teixeira P, Silva CL. Recovery of heat-injured *Listeria innocua*. *International Journal of Food Microbiology*, 2006, 112: 261-265.
- [14] Wu VCH, Fung DY. Evaluation of thin agar layer method for recovery of heat-injured foodborne pathogens. *Food Microbiology and Safety*, 2001, 66(4): 580-583.
- [15] Murphy RY, Duncan LK, Berrang ME, Marcy JA, Wolfe RE. Thermal inactivation D- and Z-values of *Salmonella* and *Listeria innocua* in fully cooked and vacuum packaged chicken breast meat during postcook heat treatment. *Poultry Science*, 2002, 81: 1578-1583.
- [16] Huang LH. Thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in ground beef under isothermal and dynamic temperature conditions. *Journal of Food Engineering*, 2009, 90: 380-387.
- [17] Ross T. Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology. *Journal of Application Bacteriology*, 1996, 81: 501-508.
- [18] Neumeyer K, Ross T, McMeekin TA. Development of a predictive model to describe the effects of temperature and water activity on the growth of spoilage pseudomonads. *International Journal of Food Microbiology*, 1997, 38: 45-54.
- [19] Juneja VK, Huang L, Marks H. Approaches for modeling thermal inactivation of foodborne pathogens. *Advances in Microbial Food Safety*, 2006, 16: 235-251.
- [20] Fátima AM, Maria MG, Teresa RSB, Teixeira P, Cristina LMS. Sigmoidal thermal inactivation kinetics of

- Listeria innocua* in broth: Influence of strain and growth phase. *Food Control*, 2009, 20: 1151–1157.
- [21] Schultze KK, Linton RH, Cousina MA, Luchansky JB, Tamplin ML. Effect of preinoculation growth media and fat levels on thermal inactivation of a serotype 4b strain of *Listeria monocytogenes* in frankfurter slurries. *Food Microbiology*, 2007, 24: 352-361.
- [22] Lihono MA, Mendonca AF, Dickson JS, Dixon PM. Influence of sodium pyrophosphate on thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* in pork slurry and ground pork. *Food Microbiology*, 2001, 18: 269-276.
- [23] USDA-FSIS. Performance standards for the production of certain meat and poultry products. *Federal Register*, 1999, 64: 732-749.
- [24] Murphy RY, Beard BL, Martin EM, Keener AE, Osaili T. Predicting process lethality of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in ground, formulated, and formed beef/turkey links cooked in an air impingement oven. *Food Microbiology*, 2004, 21: 493-499.
- [25] Chen H. Temperature-assisted pressure inactivation of *Listeria monocytogenes* in Turkey breast meat. *International Journal of Food Microbiology*, 2007, 117: 55-60.
- [26] Catherine Noël. A mathematical model describing the thermal virus inactivation. *Vaccine*, 2001, 19: 3575-3582.
- [27] Smith SE, Maurer JL, Orta-Ramirez A, Ryser ET, Smith DM. Thermal inactivation of *Salmonella* spp., *Salmonella typhimurium* DT104, and *Escherichia coli* O157: H7 in ground beef. *Journal of Food Science*, 2001, 66: 1164-1168.
- [28] Juneja VK, Marks HM. Mathematical description of non-linear survival curves of *Listeria monocytogenes* as determined in a beef gravy model system at 57.5 to 65°C. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2003, 4: 307-317.
- [29] Lorentzen G, Ytterstad E, Ragnar LO, Skjerdal T. Thermal inactivation and growth potential of *Listeria innocua* in rehydrated salt-cured cod prepared for ready-to-eat products. *Food Control*, 2010, 21: 1121-1126.
- [30] Juneja VK, Porto-Fett AC, Call JE, Marks HB, Tamplin ML, Luchansky JB. Thermal inactivation of *Bacillus anthracis* Sterne in irradiated ground beef heated in a water bath or cooked on commercial grills. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2010, 11: 123-129.
- [31] Raccach M, Tilley HR. Thermal inactivation of the frozen thawed traditional meat starter culture, *Pedococcus pentosaceus*, in a meat model system. *Meat Science*, 2006, 72: 751-756.
- [32] 刘琳. 生鲜调理鸡肉保鲜技术研究. 西南大学硕士学位论文, 2009.
- [33] Juneja V, Hwang C, Friedman M. Thermal inactivation and postthermal treatment growth during storage of multiple *Salmonella* serotypes in ground beef as affected by sodium lactate and oregano oil. *Journal of Food Science*, 2010, 75(1): M1-M6.
- [34] Fernández A, Álvarez-Ordóñez A, López M, Bernardo A. Effects of organic acids on thermal inactivation of acid and cold stressed *Enterococcus faecium*. *Food Microbiology*, 2009, 26: 497-503
- [35] Glass KA, Granberg DA, Smith AL, McNamara AM, Hardin M, Mattias J, Ladwig K, Johnson EA. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by sodium diacetate and sodium lactate on wieners and cooked bratwurst. *Journal of Food Protection*, 2002, 65: 116-123.
- [36] Barmpalia IM, Koutsoumanis KP, Geornaras I, Belk KE, Scanga JA, Kendall PA, Smith GC, Sofos JN. Effect of antimicrobials as ingredients of pork bologna for *Listeria monocytogenes* control during storage at 4 and 10°C. *Food Microbiology*, 2005, 22: 205-211.
- [37] Lianou A, Geornaras I, Kendall PA, Scanga JA, Sofos JN. Behavior of *Listeria monocytogenes* at 7°C in commercial turkey breast, with or without antimicrobials, after simulated contamination for manufacturing, retail and consumer settings. *Food Microbiology*, 2007, 24: 433-443.

Thermal inactivation model of *Listeria monocytogenes* in ground beef

Xiaohui Feng¹, Qingguo Wang¹, Renhuan Wang¹, Qingmin Chen², Yadong Su¹, Ruiliang Zhu³, Lixian Zhu^{1*}, Xin Luo^{1*}

¹ College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

² Shandong Yingyangyuan Food Science and Technology Co. Ltd., Jinan 271400, China

³ College of Animal Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

Abstract: [**Objective**] To set up suitable kinetic models for the evaluation of heat inactivation rate of *Listeria monocytogenes* in ground beef. [**Methods**] Ground beef, inoculated with 3 strains of *L. monocytogenes*, was subjected to heating at 55℃, 57.5℃, 60℃, 63℃, 66℃ or 70℃ to develop the isothermal kinetic models. The survival curves were fitted with modified Gompertz model after the bacterial counts were decreased from 10⁹CFU/g to 10³CFU/g. Natural logarithm of μ (the relative inactivation rate) and M (time constant) were fitted with linear regression model. The kinetic models were validated at 59℃ and 64℃. [**Results**] We established one first-level model and one secondary-level model to predict the inactivation rate. In addition, we validated the accuracy and deviation of the models to guarantee their feasibility. [**Conclusion**] The models should be suitable for describing the survival of *L. monocytogenes* in ground beef at different temperatures, which are helpful for the control of the pathogens.

Keywords: *Listeria monocytogenes*, modified Gompertz model, thermal inactivation, beef

(本文责编:王晋芳)

Supported by the Earmarked Fund for Modern Agro-industry Technology Research System (NYCYTX-38) and by the National University Student Innovation Test Plan (NMOE101043435)

* Corresponding authors. Tel/Fax: +86-538-8242745; E-mail: zhxl@sdau.edu.cn, luoxin@sdau.edu.cn

Received: 24 November 2010 /Revised: 14 February 2011

《微生物学报》投稿方式

从2006年起,本刊采用“稿件远程处理系统”,全面实行网上投稿、网上审稿、网上查询等方式进行工作。欢迎广大作者通过登陆本刊网站进行投稿和查询。

- (1) 远程投稿:请先登陆本刊网站 <http://journals.im.ac.cn/actamicrocn>, 点击“作者投稿”。如果您是第一次通过“远程”给本刊投稿,请先进行“注册”,注册成功后再进行投稿。如果曾在本刊网站投过稿,则可直接投稿。如果忘了用户名和密码,请联系本刊编辑部找回登录口令。
- (2) 收稿回执:编辑部看到远程投稿后,当日或者次日给作者发“收稿回执”,通知作者投稿成功。
- (3) 编辑部内审:编辑看到远程投稿后,还要对稿件进行内审。内审会有2个结果,直退或受理,请接到“受理通知”的作者再补交其它材料(纸样介绍信和稿件、受理费)。
- (4) 邮寄纸样:为了保护知识产权,务必请作者提供“研究内容所属单位”出具的介绍信(请到本刊网页的“下载专区”中下载“介绍信”模板);为了核实文中的图、表等内容,还需要提供一份纸质稿件。
- (5) 受理费:100元审稿费。按照“稿件受理通知”中提供的详细地址办理,务必通过邮局汇款,切忌夹在纸样材料中随信邮寄!【为了便于查找,请在汇款单上注明“稿件编号”。】