

应用改良的 Jameson-effect 模型建立植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制模型

董庆利¹, 张文敏¹, 宋筱瑜², 许超群³, 刘志峰⁴, 原三领³, 刘菁¹

(1. 上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093) (2. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100021)

(3. 上海理工大学理学院, 上海 200093) (4. 养乐多(中国)投资有限公司, 上海 200336)

摘要: 本文旨在研究植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制作用, 并建立植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制模型。通过稀释法获得植物乳杆菌纯菌培养液及植物乳杆菌和单增李斯特菌的混合培养液, 分别置于 7 °C、14 °C、21 °C、28 °C 与 35 °C 恒温培养箱中培养并适时取样计数。基于两种菌的混合培养数据, 应用 Baranyi 模型为初级模型, 拟合得到两种菌的最大比生长速率和迟滞期, 进而应用改良的 Jameson-effect 模型建立植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制模型, 并对模型进行数学检验。结果显示, 7 °C 时植物乳杆菌不生长; 14 °C、21 °C、28 °C 与 35 °C 条件下, 植物乳杆菌对单增李斯特菌有显著抑制作用。抑制模型数学检验结果为均方误差值在 0.06~0.10 之间, 偏差因子值在 0.98~1.04 之间, 准确因子值在 1 附近, 表明所建立改良的 Jameson-effect 模型能够较好地预测植物乳杆菌作为抑菌剂存在条件下单增李斯特菌的生长情况。

关键词: 改良的 Jameson-effect 模型; 植物乳杆菌; 单增李斯特菌; 抑制作用

文章编号: 1673-9078(2016)9-135-140

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.9.020

A Model for the Inhibition of *Listeria monocytogenes* by *Lactobacillus plantarum*, Established using a Modified Jameson-effect Model

DONG Qing-li¹, ZHANG Wen-min¹, SONG Xiao-yu², XU Chao-qun³, LIU Zhi-feng⁴, YUAN San-ling³, LIU Qing¹

(1. School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China) (2. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China)

(3. College of Science, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

(4. Yakult (China) Co., Ltd, Shanghai 200336, China)

Abstract: The inhibitory effect of *Lactobacillus plantarum* on the growth of *Listeria monocytogenes* was investigated, and a model for demonstrating this inhibition was constructed using a modified Jameson-effect model. A *Lac. plantarum* pure culture and a mixed culture of *Lac. plantarum* and *Lis. monocytogenes* were obtained using the dilution method, and were cultivated in thermostat incubators at 7 °C, 14 °C, 21 °C, 28 °C and 35 °C, respectively. Samples were collected periodically and the bacterial count was recorded. Based on the data of the mixed culture, the Baranyi model was selected as the primary model and was used for fitting to estimate the maximum growth rate (μ_{max}) and lag phase (λ). Subsequently, the modified Jameson-effect model was employed to establish the model for the inhibition of *Lis. monocytogenes* by *Lac. plantarum*, and validation of the model was performed. *Lac. plantarum* did not grow at 7 °C and exhibited a significant inhibitory effect on *Lis. monocytogenes* at 14 °C, 21 °C, 28 °C and 35 °C. Validation of the inhibition model showed that the mean square error (MSE), bias factor (B_f), and accuracy factor (A_f) values were in a range of 0.06~0.10, 0.98~1.04 and ~1, respectively, indicating that the modified Jameson-effect model could effectively predict the growth of *Lis. monocytogenes* in the presence of *Lac. plantarum* as an inhibitor.

Key words: modified Jameson-effect model; *Lactobacillus plantarum*; *Listeria monocytogenes*; inhibitory effect

收稿日期: 2015-10-27

基金项目: 科技部“十二五”国家科技支撑计划课题项目(2015BAK36B04); 国家自然科学基金面上项目(31271896, 31371776); 农业部农产品质量安全风险评估实验室(杭州)开放基金课题(2015FXPG01); 上海市科委 2015 年长三角科技联合攻关领域项目(15395810900)

作者简介: 董庆利(1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 畜产品安全与质量控制

单增李斯特菌是一种食源性致病菌,能够引起人类急性中毒,在绝大多数食品中都能检出^[1]。化学添加物如乳酸钾能够显著抑制单增李斯特菌的生长,然而在食品中添加过量化学物质会对人体产生潜在的危害。研究用 Nisin 等直接添加到食品中以抑制单增李斯特菌的生长,会随时间延长而失去活性,抑菌效果降低^[2]。Leonard 等^[3]用乳酸菌活细胞制成海藻酸钠-乳酸菌生物抑菌膜,海藻酸钠作为乳酸菌的载体和营养供体,使乳酸菌连续的产生代谢产物,抑菌效果显著增强。植物乳杆菌作为一种益生菌,有许多对人体健康有益的生理功能。同时,其代谢产物如细菌素、有机酸等均能抑制单增李斯特菌的生长,被认为是具有广阔应用前景的天然抑菌剂^[4],因此,可将植物乳杆菌悬液做成生物抑菌膜来抑制单增李斯特菌的生长,用于食品安全控制。

食品预测微生物学是进行微生物定量风险评估的基础,当前微生物预测模型研究主要集中在单一纯菌在液体培养基或食品基质中的生长建模,但实际食品中存在一个复杂的微生物系统,微生物之间存在着共生与拮抗作用^[5-6],所以在建立混合培养条件下单增李斯特菌的生长模型时,需考虑植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制作用。基于菌间交互作用的预测模型主要有 Lokta-Volterra (L-V)模型和 Jameson-effect 模型^[7-10]。L-V 模型用于描述竞争相同营养成分的两种菌群之间的交互作用^[7]; Jameson-effect 模型包括传统 Jameson-effect 模型和改良的 Jameson-effect 模型,前者建立原则是同一体系中“优势”菌群达到最大菌浓度时,另一种“弱势”菌群停止生长^[8];后者则提出“优势”菌群达到最大菌浓度时,另一种“弱势”菌群的生长根据情况而异^[9],适用范围更广。本研究中植物乳杆菌浓度远远大于单增李斯特菌浓度,属于“优势”菌群,单增李斯特菌属于“弱势”菌群,因此,改良的 Jameson-effect 模型更适合描述植物乳杆菌存在时单增李斯特菌的生长情况。

本研究将植物乳杆菌、单增李斯特菌单独及混合培养,其中单增李斯特菌单独培养生长数据取自 ComBase 数据库,通过对比来研究 7~35 °C 条件下植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制作用,进而应用改良的 Jameson-effect 模型建立不同温度条件下植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制模型,并对模型进行数学检验,为植物乳杆菌制成生物抑菌膜的发展提供理论依据,同时对植物乳杆菌作为抑菌剂存在条件下单增李斯特菌的生长情况做出较为科学的预测。

1 材料与amp;方法

1.1 培养基、菌种及菌悬液制备

培养基的选用:营养肉汤培养基(NB)、乳酸细菌肉汤培养基(MRSB)、乳酸细菌培养基(MRSA)、含 0.6%酵母浸膏的胰酪胨大豆肉汤(TSB-YE)和单增李氏菌选择性分离培养基(PALCAM)均购自北京陆桥生物技术责任有限公司

植物乳杆菌(CICC6257)购于中国工业微生物菌种保藏管理中心,单增李斯特菌(ATCC 19116 血清型 4c)为本实验室保藏,于 35 °C 条件下分别置于 MRSB、TSB-YE 培养基中培养 18 h,用接种环取原菌液进行划线,活化 3 次。挑取长势较好的植物乳杆菌、单增李斯特菌菌落分别接种于 200 mL MRSB 和 TSB-YE 培养基于 35 °C 条件下恒温培养 18 h,制得初始菌悬液备用。

1.2 仪器与设备

YXQ-LS-75S11 型灭菌锅(上海博讯实业有限公司);SSW-CJ-IC 型净化工作台(上海跃进医疗器械厂);XW-80A 型漩涡混合器(上海沪西分析仪器有限公司);DHG-9203A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海华连医疗器械有限公司);HWS-250 型恒温恒湿培养箱(上海比朗仪器有限公司);WAECO CF50 型冰箱(美国电子(深圳)有限公司);MJ-250-(II)型霉菌培养箱(上海跃进医疗器械厂);电磁炉(上海慧仪仪器厂);JJ 500 型电子天平(常熟市双杰测试仪器厂);100~1000 μ L 移液枪(芬兰百得(BIOHIT))。

1.3 接种与计数

考虑到将乳酸菌制成生物膜其浓度一般在 5~6 log(CFU/mL)^[11],因此通过稀释法获得植物乳杆菌约 5 log(CFU/mL)和单增李斯特菌约为 3 log(CFU/mL)的纯菌培养液及植物乳杆菌/单增李斯特菌约为 5 log(CFU/mL)/3 log(CFU/mL)的混合培养液,分别放置于 7 °C、14 °C、21 °C、28 °C 与 35 °C 恒温培养箱中贮藏并适时取样,参照 GB 4789.2-2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定^[12]进行微生物计数,每个处理两个平行。

1.4 抑制模型的构建

先将植物乳杆菌及单增李斯特菌的混合培养计数结果代入 Baranyi 模型^[13],拟合得到模型参数最大比生长速率(u_{max})及迟滞期(λ),然后将混合培养数据及模型参数代入改良的 Jameson-effect 模型,应用 MATLAB R2014a 软件(美国 MathWorks 公司)设定程序,分别拟合

混合培养下单增李斯特菌和植物乳杆菌的生长曲线，并得到两种菌的最大菌浓度(N_{max})及抑制系数 γ 。公式如下：

$$\frac{dLm}{dt} = \begin{cases} 0 & t < \lambda - Lm \\ \mu_{max-Lm} \times (1 - \frac{Lm_t}{Lm_{max}}) \times (1 - \frac{\gamma \times Lap_t}{Lap_{max}}) & t \geq \lambda - Lm \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{dLap}{dt} = \begin{cases} 0 & t < \lambda - Lap \\ \mu_{max-Lap} \times (1 - \frac{Lap_t}{Lap_{max}}) & t \geq \lambda - Lap \end{cases} \quad (2)$$

式(1)中 $t_{\lambda-Lm}$ 和 $t_{\lambda-Lap}$ 分别是单增李斯特菌与植物乳杆菌迟滞期的时间(h); μ_{max-Lm} 、 $\mu_{max-Lap}$ 分别是单增李斯特菌与植物乳杆菌最大比生长速率(h^{-1}); Lm_t 、 Lap_t 分别是单增李斯特菌在与植物乳杆菌在 t 时刻菌落对数值 $\log(CFU/mL)$; Lm_{max} 、 Lap_{max} 分别是单增李斯特菌与植物乳杆菌最大菌落对数值 $\log(CFU/mL)$ 。

植物乳杆菌达到最大浓度后，若 $\gamma < 1$ ，单增李斯特菌继续生长，浓度增加；若 $\gamma > 1$ ，单增李斯特菌浓度减小；若 $\gamma = 1$ ，单增李斯特菌停止生长，则此模型相当于传统的Jameson-effect模型^[9]。

1.5 数学检验

数学检验应用均方误差(MSE)来评价数据的变化程度^[14]，同时应用偏差因子值(B_f)和准确因子值(A_f)判定模型的可接受性和准确性^[15]，表达式如下：

$$MSE = \frac{\sum (N_{obs} - N_{pred})^2}{n} \quad (3)$$

$$B_f = 10 \frac{\sum \lg(\frac{N_{pred}}{N_{obs}})}{n} \quad (4)$$

$$A_f = 10 \frac{\sum |\lg(\frac{N_{pred}}{N_{obs}})|}{n} \quad (5)$$

式(3)、(4)和(5)中， N_{pred} 和 N_{obs} 分别为混合培养时单增李斯特菌菌落对数值 $\log(CFU/mL)$ 的预测值与观测值， n 为测定次数。

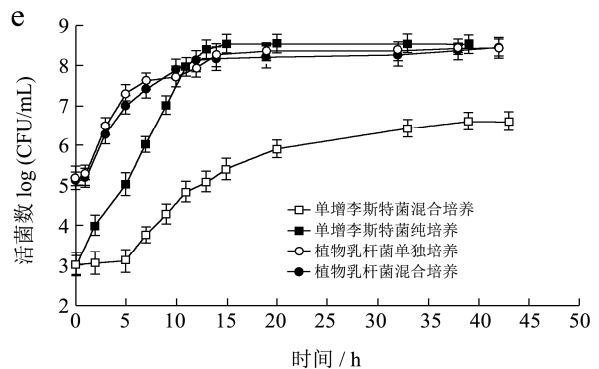
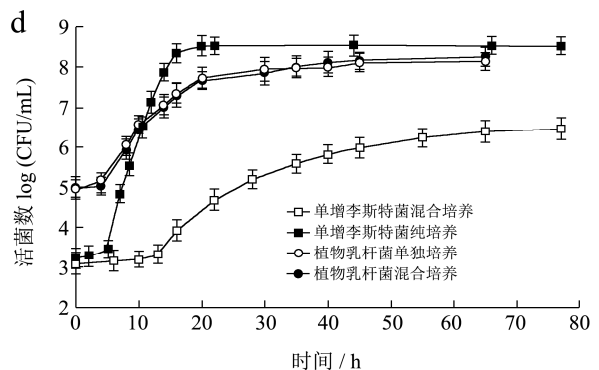
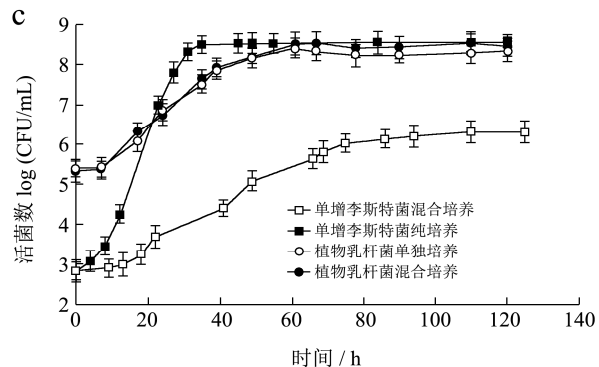
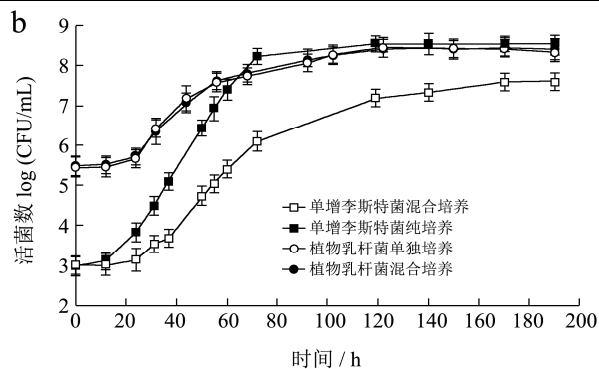
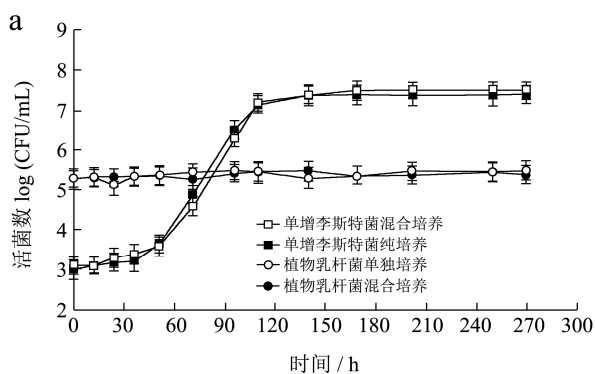


图1 不同温度下单独及混合培养时植物乳杆菌和单增李斯特菌的生长曲线

Fig.1 Growth curves of *Lac. plantarum* and *Lis. monocytogenes* in pure and mixed cultures at different temperatures

注：a, 7 °C; b, 14 °C; c, 21 °C; d, 28 °C; e, 35 °C。

2 结果与分析

2.1 植物乳杆菌和单增李斯特菌单独及混合

培养生长结果

由不同温度下单独及混合培养时植物乳杆菌和单增李斯特菌的生长情况图1可知,高浓度的植物乳杆菌能够抑制单增李斯特菌的生长,且这种影响和温度正相关。在7℃时植物乳杆菌不生长;单增李斯特菌单独及混合培养时,微生物变化情况相似,表明在7℃下单增李斯特菌的生长未受到植物乳杆菌的抑制(图1a)。在14℃、21℃、28℃与35℃时,单独及混合培养的植物乳杆菌最大浓度(N_{max})均达到8 log(CFU/mL)左右,且生长速率近似一致,说明在混合培养时植物乳杆菌的生长未受到单增李斯特菌的抑制;而混合培养时单增李斯特菌在14℃、21℃、28℃与35℃时 N_{max} 分别为7.59、6.31、6.35与6.28 log(CFU/mL),均低于纯菌培养时稳定期达到的菌浓度 8.5 ± 0.02 log(CFU/mL),表明在此温度范围内单增李斯特菌的生长明显受到植物乳杆菌的抑制;且从微生物变化情况可知,在植物乳杆菌达到最大菌浓度后,单增李斯特菌以减小的生长速率继续增长,最后达到稳定期。

2.2 抑制模型的建立

将Baranyi模型拟合得到的模型参数及混合培养数据代入改良的Jameson-effect模型,用MATLAB R2014a软件拟合混合培养时植物乳杆菌和单增李斯特菌在14℃、21℃、28℃与35℃的生长曲线,如图2所示。

改良的Jameson-effect模型参数 γ 是用来估计在植物乳杆菌达到 N_{max} 后单增李斯特菌的生长情况。试验中,14℃、21℃、28℃与35℃时, γ 值分别为0.20、0.72、0.45与0.55,均小于1说明在14℃~35℃范围内,植物乳杆菌达到稳定期后,单增李斯特菌继续增长(图2),由试验数据可知在植物乳杆菌达到稳定期后单增李斯特菌的浓度增加了0.35~1.08 log(CFU/mL),这和预测结果一致。另外, γ 值和温度并无明显相关性($p > 0.05$),这和Mejlholm等^[10]的研究结果相近,后者模拟和预测了嗜冷乳酸菌和单增李斯特菌在蛋黄酱海鲜拉沙中共存时单增李斯特菌的生长情况,而和Møller等^[9]研究新鲜猪肉中背景菌存在条件下沙门菌的生长情况时得到的结果不同,主要原因可能是由于试验所用菌种及食品基质不同。

基于混合培养的生长数据,在14℃、21℃、28℃

与35℃时,单增李斯特菌 N_{max} 的实测值和预测值见表1。

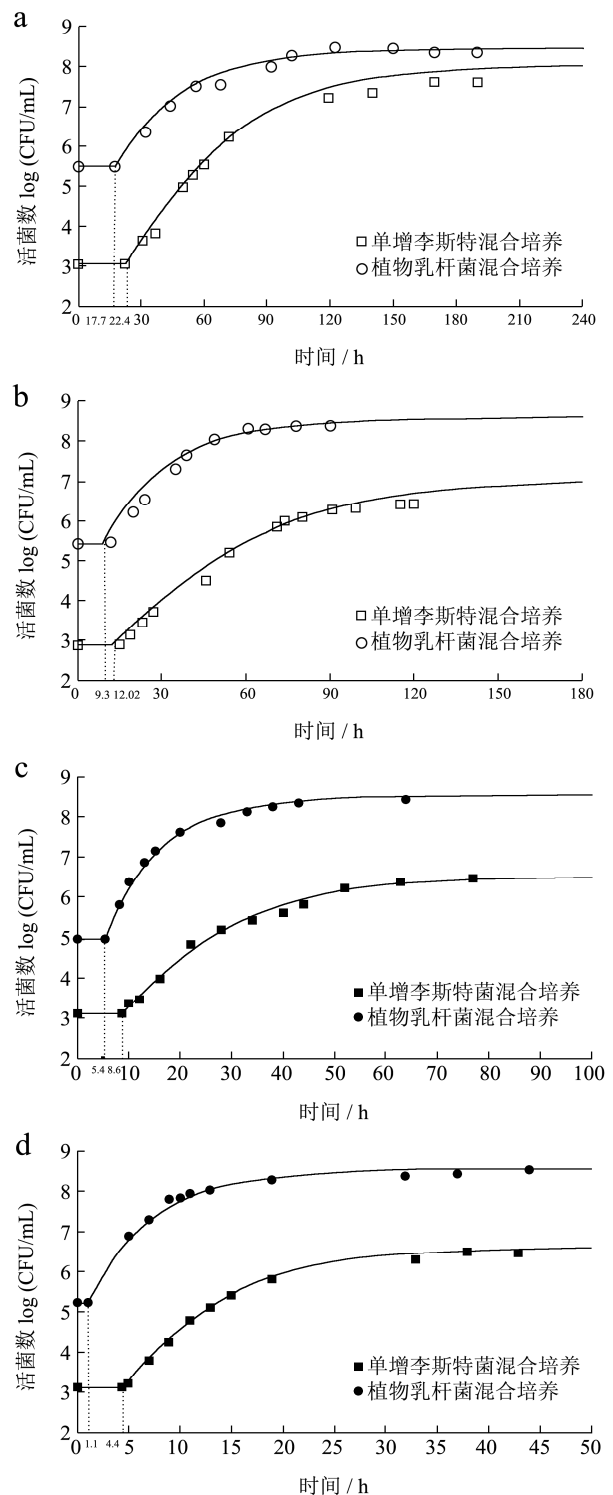


图2 改良的 Jameson-effect 模型拟合混合培养时植物乳杆菌和单增李斯特菌在不同温度条件下的生长曲线

Fig.2 Modified Jameson-effect model-simulated growth curves of *Lac. plantarum* and *Lis. monocytogenes* in mixed culture at different temperatures

注: a, 14℃; b, 21℃; c, 28℃; d, 35℃。

试验结果表明在14 °C~35 °C范围内, 植物乳杆菌对单增李斯特菌的生长具有抑制作用。由表1可知, 用传统的Jameson-effect模型拟合混合培养时单增李斯特菌的生长情况, 会过低估计单增李斯特菌的 N_{max} 值,

此模型是失败-危险的; 若不考虑植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制作用, 则会过高估计单增李斯特菌的 N_{max} 值; 而用改良的Jameson-effect模型能够较好的拟合混合培养时单增李斯特菌的生长情况。

表1 不同温度下混合培养时单增李斯特菌 N_{max} 的实测值与预测值

Table 1 Observed and predicted N_{max} values of *Lis. monocytogenes* cultivated in a mixed culture at different temperatures

| 温度/°C | N_{max} 实测值log(CFU/mL) | N_{max} 预测值log(CFU/mL) | | |
|-------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------|
| | | 改良的Jameson-effect型 | 传统的Jameson-effect模型 | 不考虑抑制作用 |
| 14 | 7.59 | 8.00 ($\gamma=0.20$) | 7.12 ($\gamma=1$) | 8.31 |
| 21 | 6.31 | 6.97 ($\gamma=0.72$) | 5.23 ($\gamma=1$) | 8.35 |
| 28 | 6.35 | 6.84 ($\gamma=0.45$) | 5.78 ($\gamma=1$) | 8.23 |
| 35 | 6.28 | 6.57 ($\gamma=0.55$) | 5.93 ($\gamma=1$) | 8.42 |

2.3 抑制模型的评价

通过MATLAB R2014a软件拟合混合培养时植物乳杆菌和单增李斯特菌在14 °C、21 °C、28 °C与35 °C时的生长曲线, 得到各个温度下 N_{max} 的预测值, 并结合混合培养数据得到 N_{max} 的实测值, 应用不同的数学参数对构建的改良的Jameson-effect模型进行检验, 结果见表2。

MSE值用来评价数据的变化程度, MSE值越小, 说明预测模型描述实验数据具有更好的精确度^[14]; 偏差值(B_f)表示模型的结构偏差, 即低估预测或高估预测的程度, 准确因子(A_f)用来验证模型的准确度。Ross^[15]曾提出对 B_f 值的划分标准: $0.95 < B_f < 1.11$, 模型为最好; $0.87 < B_f < 0.95$ 或者 $1.11 < B_f < 1.43$, 模型为可接受; $B_f < 0.87$ 或者 $B_f > 1.43$ 时, 模型为不可接受; 由于偏差值不能表示参数估计的平均准确性, 因此常结合准确性值(A_f)来对模型进行数学检验, A_f 值越大表示平均准确性越低, A_f 值等于1表示预测值与观测值之间完全吻合。

表2 不同温度下混合培养时单增李斯特菌的数学检验参数值

Table 2 Model validation parameters of *Lis. monocytogenes* cultivated in a mixed culture at different temperatures

| 项目 | 贮藏温度/°C | | | |
|-------|---------|------|------|------|
| | 14 | 21 | 28 | 35 |
| MSE | 0.10 | 0.09 | 0.06 | 0.07 |
| B_f | 1.04 | 1.03 | 0.98 | 1.02 |
| A_f | 1.05 | 1.04 | 1.02 | 1.03 |

由表2可知在14 °C~35 °C时, $0.06 < MSE < 0.10$, $0.98 < B_f < 1.04$, $1.02 < A_f < 1.05$, 因此试验建立的改良的Jameson-effect模型能够较好的预测植物乳杆菌作为抑菌剂存在条件下单增李斯特菌的生长情况。

3 讨论

在食品抑菌剂研究中, 除了已有的物理和化学抑

菌方法外, 一些生物抑菌剂如Nisin添加到食品中以抑制致病菌的生长, 逐渐受到人们关注, 然而生物抑菌剂一般会随着时间的延长抑菌效果降低^[2]。当前国外大量文献研究将具有抑菌作用的乳酸菌制成生物抑菌膜, 直接用来包装食品, 进而抑制致病菌如单增李斯特菌的生长^[3-4]。国内外研究将产细菌素的乳酸菌制成生物膜时, 乳酸菌的浓度大多为5 log(CFU/mL)^[11], 因此, 试验在研究植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制作用时, 植物乳杆菌在营养肉汤中的初始接种量为5 log(CFU/mL)左右, 但在实际中, 由于菌种的抑菌能力不同, 不同初始菌量的植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制效果也不同, 且早期的环境和细菌所处的生长阶段都会对其转入新环境后再次生长所用的时间产生影响。另外, 本研究在建立改良的Jameson-effect模型时, 只考虑了温度对两种菌生长情况的影响, 但环境pH值也是影响植物乳杆菌生长和次级代谢产物的产量的重要因素, 进而会影响对单增李斯特菌的抑制效果, 这将在后续研究中开展。

已有研究表明纯菌和非纯菌培养下细菌的生长情况差异较大^[9], 且由本试验结果可知将单增李斯特菌接种到含有高浓度植物乳杆菌的营养肉汤中, 单增李斯特菌的生长明显受到植物乳杆菌的抑制, 建立传统的生长模型无法对单增李斯特菌的生长进行准确预测。本试验在营养肉汤中进行, 营养充足, 植物乳杆菌浓度远远大于单增李斯特菌浓度, 且其代谢产物能够抑制单增李斯特菌的生长, 基于描述菌间相互作用的两种预测模型的建立原则, 选用改良的Jameson-effect模型来描述植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制作用。抑制模型数学检验结果为MSE值均小于1, $0.98 < B_f < 1.04$, A_f 值均非常接近于1, 说明试验建立的改良的Jameson-effect模型能够较好地预测在营养肉汤中植物乳杆菌作为抑菌剂存在条件下单增李斯特菌的生长情况, 试验将在后续研究中将植物乳杆菌

悬液做成生物抑菌膜以抑制实际食品中单增李斯特菌的生长, 结合两种菌在实际食品中的生长情况, 对模型加以验证及修正。

4 结论

研究表明 7 °C 时植物乳杆菌不生长, 单增李斯特菌单独及混合培养生长情况相近, 植物乳杆菌对单增李斯特菌不具有显著抑制作用; 在 14 °C、21 °C、28 °C 与 35 °C 时, 混合培养时单增李斯特菌的最大菌浓度明显低于单独培养时的结果, 表明在 14 °C~35 °C 范围内植物乳杆菌对单增李斯特菌有抑制作用。基于营养肉汤中混合培养的数据, 应用改良的 Jameson-effect 模型建立了植物乳杆菌对单增李斯特菌的抑制模型, 该模型经检验能够较好地预测在营养肉汤中植物乳杆菌作为抑菌剂存在条件下单增李斯特菌的生长情况。

参考文献

- [1] 朱传胜,高玉荣,徐国栋.对单增李斯特菌有抑制作用的乳酸菌的筛选鉴定及其细菌素的研究[J].现代食品科技,2014,30(5):87-91
ZHU Chuan-sheng, GAO Yu-rong, XU Guo-dong. Screening of lactic acid bacteria for production of anti-listeria bacteriocin [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(5): 87-91
- [2] Chollet E, Sebti I, Martial G A, et al. Nisin preliminary study as a potential preservative for sliced ripened cheese: NaCl, fat and enzymes influence on nisin concentration and its antimicrobial activity [J]. Food Control, 2008, 19(10): 982-989
- [3] Leonard L, Beji O, Arnould C, et al. Preservation of viability and anti-listeria activity of lactic acid bacteria, lactococcus lactis and lactobacillus paracasei, entrapped in gelling matrices of alginate or alginate-caseinate [J]. Food Control, 2015, 47(2): 7-19
- [4] Balciunas E M, Martinez F, Todorov S D, et al. Novel biotechnological applications of bacteriocins: a review [J]. Food Control, 2013, 32(1): 134-142
- [5] Dong Q L, Barker G C, Gorris L G M, et al. Status and future of quantitative microbiological risk assessment in China [J]. Trends in Food Science and Technology, 2015, 42(1): 70-80
- [6] 迟梅,李学英,杨宪时.微生物预测模型技术研究进展及其在食品工业中的引用[J].现代食品科技,2013,29(3):678-682
CHI Mei, LI Xue-ying, YANG Xian-shi. Researches of microbiology predictive model and its application of on food industry [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(3): 678-682
- [7] Cornu M, Billoir E, Begis H, et al. Modelling microbial competition in food: Application to the behavior of *Listeria monocytogenes* and lactic acid flora in pork meat products [J]. Food Microbiology, 2011, 28(4): 639-647
- [8] Jameson J E. A discussion of the dynamics of salmonella enrichment [J]. Journal of Hygiene, 1962, 60(2): 193-207
- [9] Moller C O A, Ilg Y, Aabo S, et al. Effect of natural microbiota on growth of *Salmonella spp.* in fresh pork-A predictive microbiology approach [J]. Food Microbiology, 2013, 34(2): 284-295
- [10] Mejlholm O, Dalgaard P. Modelling and predicting the simultaneous growth of *Listeria monocytogenes* and psychrotolerant lactic acid bacteria in processed seafood and mayonnaise-based seafood salads [J]. Food Microbiology, 2015, 46(2): 1-14
- [11] Saraoui T, Fall P A, Leroi F, et al. Inhibition mechanism of *Listeria monocytogenes* by a bioprotective bacteria *Lactococcus piscium* CNCM I-4031 [J]. Food Microbiology, 2015, 1: 1-9
- [12] GB/T 4789.2-2010, 食品卫生微生物学检验菌落总数测定 [S]
GB/T 4789.2-2010, Food microbiological examination-aerobic plate count [S]
- [13] Baranyi J, Roberts T A. Mathematics of predictive food microbiology [J]. International Journal of Food Microbiology, 1995, 26(2): 199-218
- [14] Cayre M E, Elisal M, Vignolo G, et al. Modelling lactic acid bacteria growth in vacuum-packed cooked meat emulsions stored at three temperatures [J]. Food Microbiology, 2003, 20(5): 561-566
- [15] Ross T. Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology [J]. Journal of Applied Bacteriology, 1996, 81(5): 501-508