

# 米饭中蜡样芽孢杆菌剂量效应模型的构建

董庆利\*, 王海梅, 刘 箐, 胡孟晗, 杨 萌

(上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093)

**摘要:** **目的** 建立有效的米饭蜡样芽孢杆菌剂量效应模型。**方法** 调研并选用 2001-2011 年我国 9 起米饭中蜡样芽孢杆菌导致食物中毒的数据, 基于指数模型、泊松模型、对数模型、威布模型等及其修正形式分别构建了米饭中蜡样芽孢杆菌剂量效应模型。**结果** 修正的指数模型、对数概率模型和 Gamma 威布模型三者拟合效果上显著优于其他模型( $R^2 > 0.70$ ), 拟合曲线外延至低剂量预测中毒率时, Gamma 威布模型低于前两者, 进一步的数学检验表明, Gamma 威布模型准确因子( $A_f=1.40$ )优于前两者, 偏差因子( $B_f$ )和预测标准误差(SEP)相近或略高于前两者。**结论** 建议选用 Gamma 威布模型作为米饭中蜡样芽孢杆菌最优的剂量效应模型用于蜡样芽孢杆菌风险评估体系中的危害特征分析。

**关键词:** 米饭; 蜡样芽孢杆菌; 剂量效应模型

## Establishment of dose-response model for *Bacillus cereus* in cooked rice

DONG Qing-Li\*, WANG Hai-Mei, LIU Qing, HU Meng-Han, YANG Meng

(School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish an effective dose-response model of *Bacillus cereus* in cooked rice. **Methods** Totally 9 food poison issues during 2001~2011 in China were investigated and selected as dose-response model (DRM) data in this paper. DRMs of *Bacillus cereus* in cooked rice were established on the basis of Exponential, Poisson, Log, Weibull and relative modified model types, respectively. **Results** Modified Exponential, Log-logistic and Gamma-Weibull models were better than others with adjusted  $R^2 > 0.70$ . Moreover, compared with modified Exponential and Log-logistic models, Gamma-Weibull model proved to be with lower predictive food poison rate while extrapolating from high to low doses of *B. cereus*, lower accuracy-factor ( $A_f$ ) value, and similar bias-factor ( $B_f$ ) and standard error prediction (SEP) values, respectively. **Conclusion** Gamma-Weibull model as the best one might be used to analyze the hazard characterization of *B. cereus* in risk assessment system in cooked rice.

**KEY WORDS:** cooked rice; *Bacillus cereus*; dose-response model

蜡样芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)为米饭、米粉等食品中主要致病菌, 因我国南方地区常有吃隔夜饭的饮

食习惯, 导致食物中毒现象频发, 据刘秀梅和陈燕<sup>[1]</sup>报道, 蜡样芽孢杆菌导致食物中毒占微生物中毒的

基金项目: 国家自然科学基金项目(31271896, 31371776)、上海市自然科学基金项目(12ZR1420500)

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (31271896, 31371776) and the Shanghai Municipal Natural Science Foundation (12ZR1420500)

\*通讯作者: 董庆利, 博士, 副教授, 主要研究方向为畜产品安全与质量控制。E-mail: dongqingli@126.com

\*Corresponding author: DONG Qing-Li, Associate Professor, School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, No. 516, Jungong Road, Shanghai 200093, China. E-mail: dongqingli@126.com

比例为 6.8%(1992~2001 年), 吕荣<sup>[2]</sup>统计 1993~2002 年国内共报道蜡样芽孢杆菌食物中毒 47 起, 进食人数为 2541 人, 中毒者 1758 人, 发病率为 69.19%, 无死亡, 主要以剩米饭(44.6%)为主。根据世界卫生组织(WHO)估计, 发达国家食源性疾病的漏报率在 90% 以上, 而发展中国家则为 95% 以上。以此推断, 目前掌握的蜡样芽孢杆菌中毒数据仅为实际发生的食源性疾病的“冰山一角”。

蜡样芽孢杆菌在自然界分布广泛, 主要与受污染的米饭或淀粉类制品有关, 导致的食物中毒在临床上可分为呕吐型和腹泻型两类, 分别由蜡样芽孢杆菌产生的呕吐毒素和腹泻毒素导致<sup>[3]</sup>。第一起蜡样芽孢杆菌食物中毒早在 1906 年就有报告, 但直至 1950 年, 才明确其病因, 之后许多国家, 特别是北欧、东欧国家也报告了类似的中毒症<sup>[4]</sup>。

食品风险评估包括危害确认、危害描述、暴露评估和风险描述四部分。其中剂量效应模型(dose-response model, DRM)是食品危害特征描述的重要内容, 主要确定摄入危害物的剂量与发生不良影响可能性的数学关系。前期已开展米饭中蜡样芽孢杆菌的定量暴露评估<sup>[5]</sup>, 再结合 DRM 才可对致病菌产生的风险特征, 即食品中毒率或发病率进行描述。食品中致病菌 DRM 的构建主要参考毒理学或流行病学数据, 是进行风险评定的定量依据<sup>[6]</sup>。因缺乏数据, 当前国内尚无蜡样芽孢杆菌的 DRM 构建研究。本研究基于我国近年来文献报告的 9 起因米饭中蜡样芽孢杆菌导致食物中毒的定量检测数据, 主要从方法

学角度, 应用指数模型(exponential model)、泊松模型(Poisson model)、对数模型(log model)、威布模型(Weibull model)等常用 DRM<sup>[7]</sup>拟合可能的剂量效应关系, 通过数学检验参数比较, 选择最优的 DRM 对蜡样芽孢杆菌完整风险评估提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

米饭中蜡样芽孢杆菌导致食物中毒的数据选用 2001-2011 年我国文献报道的 9 起中毒事件的定量结果(表 1), 其中摄入剂量( $N$ )根据食物中毒发病人员呕吐物中蜡样芽孢杆菌的量确定(CFU/g), 发病概率( $P$ )由食物中毒发病人员比例来定。

### 1.2 剂量效应模型构建

常用剂量效应模型(DRM)有指数模型、泊松模型、对数模型、威布模型等及其修正表达式。以下模型中  $N$  均为摄入剂量(CFU/g),  $\log N$  为剂量取以 10 为底的对数值( $\log$  CFU/g),  $P$  均为发病率或中毒率, 应用美国 OriginLab 公司开发的 OriginPro for Windows 8.0 软件中的 Levenberg-Marquardt 法(非线性最小二乘法)进行拟合。

#### 1.2.1 指数模型

指数模型的基本表达式如下:

$$P = 1 - \exp(-r \cdot \log N) \quad (1)$$

式(1)中,  $r$  为单位致病菌导致的发病率或中毒率, 通过参数估计确定。

表 1 米饭中蜡样芽孢杆菌导致食物中毒的不完全统计  
Table 1 Incomplete statistics of food poisoning issues due to *B. cereus* in cooked rice

时间	地点	来源	中毒人数/ 食用人数	中毒率 $P$ (%)	蜡样芽孢杆菌 含量 $N$ (CFU/g)	参考 文献
2001.5.29	河北某职工食堂	剩米饭	59/80	73.75	$4.8 \times 10^{10}$	[8]
2004.9.15	河北省某中学食堂	剩米饭	105/300	35.00	$3.0 \times 10^6$	[9]
2005.3.29	浙江省武义县某职工食堂	剩米饭	12/37	32.43	$1.6 \times 10^5$	[10]
2006.4.22	山西省长治市某中学食堂	炒米饭	62/200	31.00	$2.4 \times 10^6$	[11]
2007.7.13	湖北省十堰市某建筑工地食堂	米饭	26/43	60.47	$1.3 \times 10^7$	[12]
2007.9.25	安徽省岳西县某学生食堂	剩炒饭	59/252	23.41	$1.0 \times 10^7$	[13]
2009.6.28	浙江省温州市某职工食堂	蛋炒饭	26/32	81.25	$5.2 \times 10^7$	[14]
2009.9.21	山东省青岛市某职工食堂	剩米饭	37/51	72.55	$1.2 \times 10^7$	[15]
2011.9.8	安徽省固镇县某中学	米饭等	24/35	68.57	$9.0 \times 10^6$	[16]

$r$  值的设定前提是单一致病菌引起的危害均相同, 这对于很多致病菌是成立的, 但有些研究表明, 菌数极低时产生的发病率或中毒率并非完全符合指数关系, 对指数模型进行修正如下<sup>[17]</sup>:

$$P = 1 - \beta \cdot \exp[-r \cdot (\log N - x)] \quad (2)$$

式(2)中,  $\beta$  为表示渐近线形状的参数,  $x$  为当发病率或中毒率等于  $1-P$  时致病菌剂量的对数值( $\log$  CFU/g)。

### 1.2.2 泊松模型

食品中的致病菌分布通常符合泊松分布, 且单位致病菌导致的发病率或中毒率并非一致, 即式(1)和(2)中的值为变量, 用于剂量效应关系模拟常用双参数的 Beta 泊松模型如下:

$$P = 1 - (1 + \log N / \beta)^{-\alpha} \quad (3)$$

式(3)中  $\alpha$  和  $\beta$  为形状参数。

泊松模型在食品和危害物的相互关系中引进了异质化概念, 最早由 Bhattacharya 和 Holla 于 1965 年提出, 之后被很多研究者改进, 用于研究致病菌时可引入半数致死量, 式(3)修正如下<sup>[18]</sup>:

$$P = 1 - [1 + \log N \cdot (2^{1/\alpha-1}) / N_{50}]^{-\alpha} \quad (4)$$

式(4)中,  $\alpha$  为形状参数,  $N_{50}$  为致病菌半数致死量的剂量值( $\log$  CFU/g)。从某种程度上可以认为, 该模型是修改后的指数模型。当斜率的参数趋向于无穷时, Beta 泊松模型和指数模型的曲线几乎重合, 但是 Beta 泊松模型对于低剂量数据的拟合不是很理想。

### 1.2.3 对数模型

对数模型在拟合剂量效应关系时应用不多, 常用形式包括 2 种, 1 种基于菌数的正态分布, 称为对数正态模型(log-normal model); 1 种基于菌数的概率分布, 称为对数概率模型(log-logistic model), 表达式分别如下<sup>[19]</sup>:

$$P = \varphi(a + b \cdot \log N) \quad (5)$$

$$P = 1 - [(1-p)/p] \cdot \exp[-r \cdot (\log N - x)] \quad (6)$$

式(5)中的  $\varphi$  函数为累积正态函数,  $a$ 、 $b$  为参数; 式(6)中的  $P$  为致病菌的感染概率, 其余同式(2), 事实上当  $P=0.5$  时, 式(6)等同于式(2), 可认为对数概率模型是当致病菌有一半感染概率时的指数模型。

### 1.2.4 威布模型

威布模型属于偏差分布模型中的一种, 它能够对剂量的临界值进行描述, 并且曲线斜率大, 是一个

比较灵活的模型<sup>[20]</sup>, 表达式如下:

$$P = -(\log N / \beta)^{-\alpha} \quad (7)$$

由于常假设描述致病菌和食品关系的变量  $\alpha$  服从 Gamma 分布, 因此威布模型常和 Gamma 分布混合, 形成 Gamma 威布三参数模型如下:

$$P = 1 - [1 + (\log N)^x / \beta]^{-\alpha} \quad (8)$$

式(7)、(8)中,  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $x$  为形状参数。

相较于式(7), 式(8)增加了一个修正剂量反应曲线形态的参数  $x$ , 事实上当  $x=1$  时, 式(8)等同于式(3), Gamma 威布模型转为 Beta 泊松模型; 当  $\alpha=1$  时, 式(8)等同于式(6), 再取式(6)中  $p=0.5$ , 式(6)等同于式(2), Gamma 威布模型转为指数模型。

## 1.3 数学检验与评价

参照王军等<sup>[21]</sup>建模数学检验参数决定系数( $R^2$ )、准确因子( $A_f$ )、偏差因子( $B_f$ )和预测标准误差(SEP), 表达式分别如下:

$$R^2 = 1 - \text{SSE} / \text{SST} \quad (9)$$

式(9)中, SSE 为方差分析的误差平方和, SST 为总离差平方和。

$$A_f = 10 \left( \frac{\sum \left| \log \left( \frac{V_p}{V_o} \right) \right|}{n} \right) \quad (10)$$

$$B_f = 10 \left( \frac{\sum \log \left( \frac{V_p}{V_o} \right)}{n} \right) \quad (11)$$

$$\text{SEP} = \frac{100}{V_o} \sqrt{\frac{\sum (V_o - V_p)^2}{n}} \quad (12)$$

式(10)~式(12)中,  $V_o$  为表 1 中的中毒率,  $\bar{V}_o$  为中毒率的平均值,  $V_p$  为通过模型推算的中毒率预测值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 米饭中蜡样芽孢杆菌剂量效应关系的拟合

根据我国 9 起米饭中蜡样芽孢杆菌导致食物中毒的定量数据(表 1), 应用不同剂量效应模型(DRM)拟合非线性关系如图 1 所示。由图 1 可知, 除不收敛的模型形式(对数正态模型和威布模型)外, 其余 DRM 都达到收敛的统计要求, 而且出现两两近乎重合的现象。其中 2 种泊松模型, Beta 泊松模型[式(3)]

和预测半数致死量 LD<sub>50</sub> 的 Beta 泊松模型[式(4)]最为明显。预测的 LD<sub>50</sub> 为负值与现实不符,但蜡样芽孢杆菌主要导致呕吐和腹泻<sup>[22]</sup>,极少有死亡报道,对其 LD<sub>50</sub> 可通过动物毒理学实验进一步确认。

修正的指数模型、对数概率模型和 Gamma 威布模型分别对应图 1 中的曲线(2)、(8)和(6),三者决定系数  $R^2 > 0.70$ (表 2),在拟合效果上显著优于其他模型。但几乎重合的指数模型和对数概率模型在曲线外延至低剂量的蜡样芽孢杆菌时(ID<sub>10</sub> 表示为 10%人群出现食物中毒),预测中毒率显著高于 Gamma 威布模型,结果与 Holcomb 等<sup>[7]</sup>相似,基于单一菌落构建剂量效应关系应十分谨慎,且蜡样芽孢杆菌低剂量的生理特性需要深入研究。

### 2.2 剂量效应模型的数学检验

对构建的四类剂量效应模型(DRM)进行数学检验(表 2)表明,修正的指数模型、对数概率模型和 Gamma 威布模型三者的结果相近,对比决定系数( $R^2$ )

和准确因子( $A_f$ )可知, Gamma 威布模型( $R^2=0.77, A_f=1.40$ )优于修正的指数模型( $R^2=0.72, A_f=1.42$ )和对数概率模型( $R^2=0.76, A_f=1.42$ )。其中  $A_f$  表示观测值与预测值之间的符合程度,  $A_f=1.00$  表示完全符合<sup>[错误!未定义书签。]</sup>,因此  $A_f$  越接近 1.00, 预测的拟合性越好。Gamma 威布模型可作为米饭中蜡样芽孢杆菌最优的 DRM 用于剂量效应关系模拟的理论参考。

本结果中泊松模型的  $A_f$  值( $A_f=1.38$ )低于其他模型,但  $B_f$ ( $B_f=1.10$ )相较于其他模型较大,由于  $B_f$  值也表征观测值与预测值之间的符合程度,所不同的是  $B_f$  值考虑正负值,即观测值与预测值之间的运算不取绝对值。Hass 等<sup>[23]</sup>应用 Beta 泊松模型和修正的指数模型对大肠杆菌的剂量效应关系进行模拟,表明 Beta 泊松模型的拟合准确性(Goodness-of-fit)优于修正的指数模型,这与本文结果不符,原因为低剂量的大肠杆菌和蜡样芽孢杆菌的致病性差异较大。

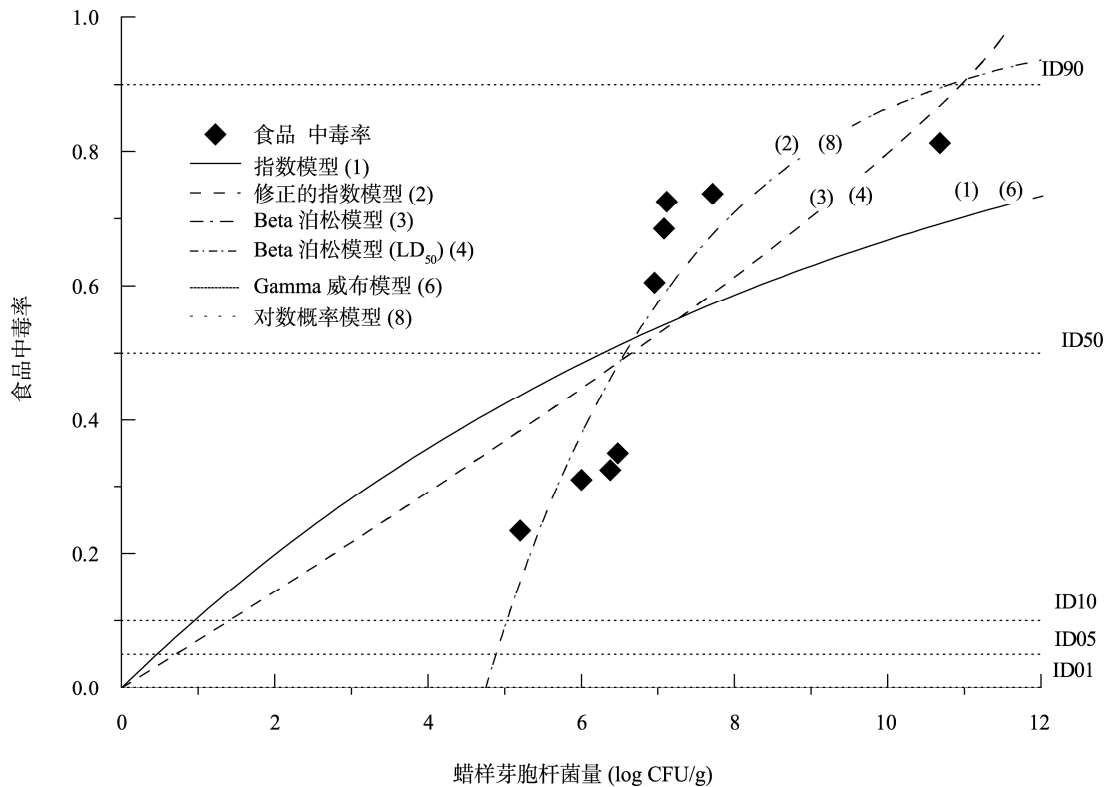


图 1 米饭中蜡样芽孢杆菌不同剂量效应模型的拟合曲线  
Fig. 1 Fitting curves of different dose-response models for *B. cereus* in cooked rice

表 2 米饭中蜡样芽孢杆菌剂量效应模型的参数估计及数学检验

Table 2 Parameter estimation and mathematical evaluation of dose-response models of *B. cereus* in cooked rice

	模型	参数估计值 <sup>(1)</sup>	$R^2$	$A_f$	$B_f$	SEP
指数模型	式(1)	$r = 0.11 \pm 0.02$	0.43	1.41	1.10	0.34
	式(2)	$\beta = 3.65 \pm 0.00$	0.72	1.41	1.05	0.32
		$r = 0.38 \pm 0.10$ $x = 1.35 \pm 0.00$				
泊松模型	式(3)	$\alpha = -0.82 \pm 0.34$ $\beta = -11.66 \pm 2.48$	0.51	1.38	1.10	0.33
	式(4)	$\alpha = -0.82 \pm 0.34$ $N_{50} = -2.51 \pm 1.38$	0.51	1.38	1.10	0.33
对数模型	式(5)	— <sup>(2)</sup>	—	—	—	—
	式(6)	$p = 0.08 \pm 0.00$ $r = 0.38 \pm 0.09$ $x = -1.67 \pm 1.84$	0.76	1.42	1.05	0.32
威布模型	式(7)	— <sup>(2)</sup>	—	—	—	—
	式(8)	$\alpha = 0.66 \pm 1.24$ $\beta = 1.39 \times 10^6 \pm 0.00$ $x = 7.81 \pm 8.29$	0.77	1.40	1.07	0.32

注(1): 表示形式为估计值±标准差; (2): 参数估计时不收敛。

### 3 讨论

蜡样芽孢杆菌是导致食源性疾病的病原菌之一, 在各类蜡样芽孢杆菌导致食物中毒事件的文献报道中(表 1), 一般认为  $10^4 \sim 10^5$  CFU/g 可导致食物中毒, 对 1971~1985 年 107 起英国米饭中蜡样芽孢杆菌导致食物中毒的分析表明<sup>[24]</sup>, 蜡样芽孢杆菌含量为  $1.0 \times 10^3 \sim 5.0 \times 10^{10}$  CFU/g, 中值为  $1 \times 10^7$  CFU/g。Granum<sup>[25]</sup> 提出真实的蜡样芽孢杆菌感染量为  $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^8$  CFU/g, Notermans 等<sup>[26]</sup>提到, 欧盟大多数国家在食品保质期中将  $1.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^5$  CFU/g 作为容许限值。由于无法通过人类自愿者进行替代病原菌的研究而获得剂量效应数据, 迄今尚无明确的蜡样芽孢杆菌剂量效应数据。要建立起剂量效应模型需要大量的爆发数据和实验数据, 而相关数据资料较少, 使剂量效应模型构建一直是微生物进行风险评估的难点之一。

本研究调研了近 10 余年来的蜡样芽孢杆菌导致食物中毒的文献报道 70 余起, 但大多属于定性检测,

没有蜡样芽孢杆菌的定量检测结果。最终选用 9 起食品中毒的定量数据(表 1), 构建剂量效应模型由于数据较少导致模型的误差较大(表 2)。定性检测结果也可开展定性或半定量风险评估, 国内也有香肠<sup>[27]</sup>和牛奶<sup>[28]</sup>中蜡样芽孢杆菌的定性研究, 但定量风险评估是将来研究必然趋势之一。

指数模型、泊松模型、对数模型、威布模型这四类模型的构建都是基于相同的假设, 即每个致病菌个体对寄主致病的可能性相同, 显然这个基本假设对于实际情况是不太合理的。因此除了数据来源较少外, 上述假设导致数学检验结果低于其他有害物的剂量效应模型评价。

对比修正的指数模型和对数概率模型, 指数模型用于模拟食品有害物的剂量效应关系历史最长、文献最多, 致病菌如单增李斯特菌<sup>[29]</sup>、蜡样芽孢杆菌<sup>[30]</sup>、沙门菌<sup>[31]</sup>等, 表明指数模型具有良好的剂量效应关系拟合性。然而, 通过拟合的曲线外推低剂量的效应有较大的失真可能性, 出现低剂量外推数据溢出问题(low-dose extrapolation problem)<sup>[32]</sup>, 实际应用仍

需谨慎。本研究中,修正的指数模型也表现了良好的拟合性,与对数概率模型、Gamma 威布模型三者的结果相近。

构建剂量效应模型后,有必要通过流行病学数据或志愿者实验进行验证。但对于蜡样芽孢杆菌而言,文献只有 1955 年 Hauge<sup>[33]</sup>召集人类志愿者进行摄入蜡样芽孢杆菌的试验,最近的志愿者试验是 Langeveld 等<sup>[34]</sup>1996 年通过对 20~60 岁的人员摄入贮存于 7.5 °C、3~14 d 的巴氏灭菌奶,其中样品中含有天然存在的蜡样芽孢杆菌,发现人类摄入超过  $1.0 \times 10^8$  CFU/g 后的食物中毒症状不显著( $P > 0.10$ )。不同研究中蜡样芽孢杆菌的感染剂量存在差别可能和菌种来源、受试人员体制、环境因素等有关。由于尚无米饭的定量试验数据可应用,因此本文采用预测微生物学中常用的数学检验系数进行评价和比较。通过比较,建议选用 Gamma 威布模型作为米饭中蜡样芽孢杆菌最优的剂量效应模型。

当然,剂量效应模型主要由三部分组成:模型假设、模型函数形式和模型参数。剂量效应模型建立的时候还可以包含一些其它信息,如人种、性别、年龄等,从而扩展模型的应用。本文仅基于较少的调研信息构建的剂量效应模型,未考虑疾病发生的更多因素,包括病原体的毒理特征、摄入的病菌数量、患者的总体健康和免疫状况、以及能够改变微生物或寄主状况的食品基质效应<sup>[35]</sup>。本研究仅作为模型方法论证可行性较好,若外推应用时须非常谨慎。

## 4 结 论

基于我国近年来文献报道的 9 起因米饭中蜡样芽孢杆菌导致食物中毒的定量分析结果,分别应用指数模型、泊松模型、对数模型、威布模型四类模型及修正形式拟合了蜡样芽孢杆菌的剂量效应关系,其中修正的指数模型、对数概率模型和 Gamma 威布模型三者拟合性较好,根据数学检验结果,建议选用 Gamma 威布模型作为米饭中蜡样芽孢杆菌最优的剂量效应模型用于蜡样芽孢杆菌风险评估体系中的危害特征分析。

## 参考文献

- [1] 刘秀梅,陈艳. 1992-2001 年食源性疾病暴发资料分析[J]. 卫生研究, 2004, 33(6): 725-727.  
Liu XM, Chen Y. Foodborne disease outbreaks in China from 1992 to 2001 [J]. J Hyg Res, 2004, 33(6): 725-727.
- [2] 吕荣. 蜡样芽孢杆菌食物中毒研究近况[J]. 中国乡村医药杂志, 2003, 10(1): 51.  
Lv R. Current progress of food poisoning caused by *Bacillus cereus* [J]. Chin J Rural Med Pharm, 2003, 10(1): 51.
- [3] Svensson B, Ekclund K, Ogura H. Characterisation of *Bacillus cereus* isolated from milk silo tanks at eight different dairy plants [J]. Int Dairy J, 2004, 14: 17-27.
- [4] Terranova W, Blake PA. *Bacillus cereus* Food Poisoning [J]. New Engl J Med, 1978, 298: 143-144.
- [5] Dong QL. Exposure assessment for *Bacillus cereus* in Chinese-style cooked rice [J]. J Food Process Eng, 2013, 36(3): 329-336.
- [6] FAO, WHO. Food safety risk analysis: a guide for national food safety authorities [EB/OL]. <http://www.who.int/foodsafety/publications/micro/riskanalysis06.pdf>.
- [7] Holcomb DL, Smith MA, Ware JO, et al. Comparison of six dose-response models for use with food-borne pathogens [J]. Risk Anal, 1999, 19(6): 1091-1099.
- [8] 高庆华,宁克清,李宝志. 一起蜡样芽孢杆菌引起的食物中毒[J]. 中华卫生监督与健康杂志, 2002, 1(1): 23-24.  
Gao QH, Ning KQ, Li BZ. A survey of food poisoning caused by *Bacillus cereus* [J]. Chin J Health Insp, 2002, 1(1): 23-24.
- [9] 司志国. 一起学校蜡样芽孢杆菌食物中毒的调查[J]. 中国学校卫生, 2006, 27(4): 331.  
Si ZG. A survey of food poisoning caused by *Bacillus cereus* in school [J]. Chin J School Health, 2006, 27(4): 331.
- [10] 刘小剑. 一起蜡样芽孢杆菌食物中毒的调查报告[J]. 中国热带医学, 2005, 5(9): 1971, 1969.  
Liu XJ. A survey report of food poisoning caused by *Bacillus cereus* in school [J]. China Trop Med, 2005, 5(9): 1971, 1969.
- [11] 段红英,王沁恩,丁程光. 一起蜡样芽孢杆菌食物中毒的调查分析[J]. 长治医学院学报, 2007, 21(4): 257-258.  
Duan HY, Wang QE, Ding CG. Investigation of a case of food poisoning caused by *Bacillus cereus* infection [J]. J Changzhi Med Coll, 2007, 21(4): 257-258.
- [12] 王滨,郑向梅,高景枝. 一起建筑工地食堂食物中毒的实验室检测结果分析[J]. 公共卫生与预防医学, 2007, 18(6): 79-80.  
Wang B, Zheng XM, Gao JZ. Investigation of a case of food poisoning in building field [J]. J Pub Health Prev Med, 2007, 18(6): 79-80.
- [13] 夏年平. 一起由蜡样芽孢杆菌引起的食物中毒的调查报告[J]. 中国当代医药, 2009, 16(10): 123.  
Xia NP. A survey of food poisoning caused by *Bacillus cereus* [J].

- China Mod Med, 2009, 16(10): 123.
- [14] 陶惜丹, 陈春达. 一起蜡样芽孢杆菌引起食物中毒调查[J]. 浙江预防医学, 2010, 22(5): 44, 47.
- Tao XD, Chen CD. A survey of food poisoning caused by *Bacillus cereus* [J]. Zhejiang Prev Med, 2010, 22(5): 44, 47.
- [15] 张爱萍, 穆青辉. 蜡样芽孢杆菌引起食物中毒的实验室分析[J]. 预防医学论坛, 2010, 16(7): 668-669.
- Zhang AP, Mu QH. Laboratory analysis of food poisonings caused by *Bacillus cereus* [J]. Prev Med Trib, 2010, 16(7): 668-669.
- [16] 张飞, 杜文军, 李晓勇. 固镇县一起蜡样芽孢杆菌食物中毒的调查报告[J]. 安徽预防医学杂志, 2012, 18(2): 136.
- Zhang F, Du WJ, Li XY. A survey of food poisoning caused by *Bacillus cereus* in Guzhen county [J]. Anhui J Prev Med, 2012, 18(2): 136.
- [17] Lebine MM, Dupont HL, Formal SB, et al. Pathogenesis of Shigella Dysenteriae 1 (Shiga) Dysentery [J]. J Infect Dis, 1973, 127: 261-269.
- [18] Crockett CS, Haas CN, Fazil A, et al. Prevalence of shigellosis in the U S: consistency with dose-response information [J]. Int J Food Microbiol, 1996, 30: 87-99.
- [19] Dupont HL, Hornick RB, Snyder MJ, et al. Immunity in Shigellosis. II. Protection induced by oral live vaccine or primary infection [J]. J Infect Dis, 1972, 125: 12-16.
- [20] 董庆利. Weibull 模型拟合细菌非线性失活曲线的应用研究[J]. 上海理工大学学报, 2009, 31(4): 387-391.
- Dong QL. Study on applying Weibull model to non-linear inactivation curve of bacteria [J]. J Univ Shanghai Sci Tech, 2009, 31(4): 387-391.
- [21] 王军, 董庆利, 丁甜. 预测微生物模型的评价方法[J]. 食品科学. 2011, 32(21): 268-272.
- Wang J, Dong QL, Ding T. An overview of evaluation methods for predictive microbial growth models [J]. Food Sci, 2011, 32(21): 268-272.
- [22] Beutling D, Bottcher C. *Bacillus cereus* - a risk factor in food [J]. Arch Lebensmittelhyg, 1998, 49(4/5): 90-96.
- [23] Haas CN, Thayyar-Madabusi A, Rose JB, et al. Development of a dose-response relationship for *Escherichia coli* O157:H7 [J]. Int J Food Microbiol, 2000, 1748: 153-159.
- [24] Kramer JM, Gilbert RJ. *Bacillus cereus* and other Bacillus species, In Foodborne Bacterial Pathogens [M]. New York: Marcel Dekker Inc.
- [25] Granum PE. *Bacillus cereus*. In Food Microbiology Fundamentals and Frontiers [M]. Washington D C: ASM Press.
- [26] Notermans S, Dufrenne J, Teunis P, et al. A risk assessment study of *Bacillus cereus* present in pasteurized milk [J]. Food Microbiol, 1997, 14: 143-151.
- [27] 仪淑敏, 李远钊, 张培正, 等. 蜡样芽孢杆菌在营养肉汤和维也纳香肠中的预测模型及其在生产中的应用[J]. 现代食品科技, 2007, 23(6): 11-14.
- Yi SM, Li YZ, Zhang PZ, et al. Grow model and control measurement of *Bacillus cereus* in nutritional broth and Wienerwurst [J]. Mod Food Sci Tech, 2007, 23(6): 11-14.
- [28] 褚小菊, 冯力更, 张筠, 等. 巴氏牛奶中蜡样芽孢杆菌的风险评估[J]. 中国乳品工业, 2006, 34(6): 23-26.
- Chu XJ, Feng LG, Zhang J, et al. Risk assessment of *Bacillus cereus* in pasteurized milk [J]. China Dairy Ind, 2006, 34(6): 23-26.
- [29] Ross T, Rasmussen S, Sumner J, et al. Using a quantitative risk assessment to mitigate risk of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meats in Australia [J]. Food Control, 2009, 20: 1058-1062.
- [30] Bahk GJ, Todd ECD, Hong CH, et al. Exposure assessment for *Bacillus cereus* in ready-to-eat Kimbab selling at stores [J]. Food Control, 2007, 18(3): 682-688.
- [31] Latimer HK, Jaykus LA, Morales RA, et al. A Weighted composite dose-response model for Human Salmonellosis [J]. Risk Anal, 2001, 21(2): 295-305.
- [32] Kang SH, Kodell RL, Chen JJ. Incorporating model uncertainties along with data uncertainties in microbial risk assessment [J]. Regul Toxicol Pharm, 2000, 32: 68-72.
- [33] Hauge S. Food poisoning caused by aerobic spore forming bacilli [J]. J Appl Bacteriol, 1955, 18: 591-595.
- [34] Lagerveld, Leo PM, van Sponen, et al. Consumption by healthy adults of pasteurised milk with a high concentration of *Bacillus cereus*: a double-blind study [J]. J Food Protect, 1996, 59: 723-726.
- [35] WHO. Risk assesement of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat food: Interpretative surmmary[EB/OL]. [http://www.fao.org/ag/agn/agns/jemra\\_riskassessment\\_listeria\\_en.asp](http://www.fao.org/ag/agn/agns/jemra_riskassessment_listeria_en.asp).

(责任编辑: 张宏梁)

## 作者简介



董庆利, 博士, 副教授, 主要研究方向为畜产品安与质量控制。  
E-mail: dongqingli@126.com