

vegetables and fish [J]. Science of the Total Environment, 2005, 35(1):28-37.

[61] JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Evaluation of certain food additives and contaminants [R]. 72th Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive,WHO Technical Report Series 959, 2010.

[62] National Research Council (US). Recommended dietary allowance: 10<sup>th</sup> edition [M]. Washington DC: National Academies Press (US), 1989.

[63] DOE (the US Department of Energy). Integrated risk information system database [DB/OL]. [2017-06-02]. <https://rais.ornl.gov/>.

[64] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on lead in food [J]. EFSA Journal, 2010, 8(4): 1570.

[65] 谢华, 刘晓海, 陈同斌, 等. 大型古老锡矿影响区土壤和蔬菜重金属含量及其健康风险[J]. 环境科学, 2008, 29(12): 3503-3507.

[66] GERASOPOULOS D, OLYMPIOS C H, PASSAM H. International symposium on quality of fruit and vegetables: influence of pre- and post-harvest factors and technology [M]. ISHS Acta Horticulturae ISBN: 978-90-66053-46-5, 1995.

[67] 陈同斌, 宋波, 郑袁明, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜铅含量及其健康风险评估[J]. 中国农业科学, 2006, 39(8): 1589-1597.

[68] HU J, WU F, WU S, et al. Bioaccessibility, dietary exposure and human risk assessment of heavy metals from market vegetables in Hong Kong revealed with an in vitro gastrointestinal model [J]. Chemosphere, 2013, 91(4): 455-461.

[69] ALIA M H H, AL-QAHTANIA K M. Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets [J]. The Egyptian Journal of Aquatic Research, 2012, 38(1): 31-37.

[70] Seventy-seventh Meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Safety evaluation of certain food additives and contaminants [J]. World Health Organization Technical Report, 2000, 62 (S1/2):165-166.

[71] 张懋奎, 周晓明, 王蓓兰, 等. 铅对人类的危害及铅中毒的预防[J]. 社区卫生保健, 2007, 6(5):359-360.

[72] WHO (World Health Organization). Lead poisoning and health [R/OL]. (2016-03-30) [2017-06-02]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/en/>. 2016.

风险评估

基于 3 种模型的市售腐乳中蜡样芽胞杆菌风险的比较性评估研究

王晔茹, 宋筱瑜  
(国家食品安全风险评估中心, 北京 100022)

**摘要:**目的 应用修正指数模型、对数概率模型和 Gamma 威布模型对某市市售腐乳中蜡样芽胞杆菌进行定量风险比较评估研究。方法 利用某市抽检数据, 获得市售腐乳中蜡样芽胞杆菌的初始污染水平, 分别按照修正的指数模型、对数概率模型和 Gamma 威布模型计算市售腐乳蜡样芽胞杆菌的风险。结果 使用市售腐乳蜡样芽胞杆菌的初始污染水平均值作为消费量, Gamma 威布模型计算所得风险略低于另外两个模型, 使用初始污染水平最高值作为消费量, Gamma 威布模型计算所得风险略高于另外两个模型。结论 本研究以蜡样芽胞杆菌风险评估为样本, 为其他微生物开展风险评估提供了研究方法和思路。

**关键词:**蜡样芽胞杆菌; 剂量-效应关系; 暴露评估; 腐乳; 修正指数模型; 对数概率模型; Gamma 威布模型; 风险评估; 食源性致病菌

中图分类号: R155      文献标识码: A      文章编号: 1004-8456(2018)02-0193-04

DOI: 10.13590/j.cjfh.2018.02.014

Evaluation of the risk of *Bacillus cereus* in commercial fermented bean curd based on three models

WANG Ye-ru, SONG Xiao-yu  
(China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

**Abstract: Objective** The risks of *Bacillus cereus* in commercial fermented bean curd were compared using the existing

modified exponential model, log-logistic and Gamma-Weibull model. **Methods** The initial contamination level of *Bacillus cereus* in commercial fermented bean curd was obtained by sampling data from a certain city. The risk of commercial fermented bean curd was calculated according to the modified exponential, log-logistic and Gamma-Weibull models. **Results** Using the average initial contamination level of *Bacillus cereus* in commercial fermented bean curd as the consumption dose, the Gamma-Weibull model calculated the risk slightly lower than the other two models. Using the highest initial contamination level as the consumption dose, the Gamma-Weibull model calculated the risk slightly higher than the other two models. **Conclusion** This study could provide research method and ideas for analyzing the risk of other microorganisms using *Bacillus cereus* risk assessment as an example.

**Key words:** *Bacillus cereus*; dose-response relationship; exposure assessment; fermented bean curd; exponential model; log-logistic model; Gamma-Weibull model; risk assessment; foodborne pathogenic bacteria

蜡样芽胞杆菌(*Bacillus cereus*)属芽胞杆菌属,为革兰阳性杆菌。蜡样芽胞杆菌在环境中广泛存在,主要通过产生腹泻毒素和呕吐毒素导致食源性疾病。腐乳是我国独特的传统调味食品,具有悠久的历史。我国腐乳生产企业虽然在豆腐白坯中接种的是纯培养的霉菌,但是由于整个培菌过程难以做到洁净度高的密闭式生产管理,因此腐乳毛坯上有数量众多的细菌等微生物<sup>[1-4]</sup>。腐乳发酵工艺复杂,包括制坯、接种、腌制和成熟多个环节,目前我国大部分腐乳生产厂家还无法做到对各个工艺环节精确控制。开放式的生产环境和难以精确控制的生产环节可能增加了蜡样芽胞杆菌等有害微生物污染的几率<sup>[5]</sup>。近几年腐乳中蜡样芽胞杆菌污染的报道越来越多<sup>[6]</sup>。有研究<sup>[7]</sup>采集北京市腐乳样品 112 份,样品蜡样芽胞杆菌污染率为 100%,且大部分污染量较高(MPN > 10<sup>3</sup> MPN/g)。

食品中微生物的风险评估是实现微生物危害管理与控制的重要手段之一。关于食品中蜡样芽胞杆菌的风险评估国内外已有相关报道<sup>[8-12]</sup>,例如 NOTERMANS 等<sup>[10]</sup>研究了巴氏消毒奶中蜡样芽胞杆菌的风险评估。DAELMAN 等<sup>[11]</sup>建立了长时效冷藏加工食品中蜡样芽胞杆菌定量微生物暴露评估模型。董庆利<sup>[13]</sup>对某市蒸煮米饭自销售至食用阶段中蜡样芽胞杆菌的风险水平开展了暴露评估。

本研究以某市监管部门 2015 年于超市抽检数据为来源,开展腐乳中蜡样芽胞杆菌的定量暴露评估。通过基于人群蜡样芽胞杆菌食源性疾病暴发事件的剂量-效应模型<sup>[14]</sup>,计算并比较该市居民每餐通过消费腐乳发生蜡样芽胞杆菌食源性疾病的风险,为分析腐乳中蜡样芽胞杆菌风险提供研究方法和思路。

### 1 材料与方法

#### 1.1 腐乳中蜡样芽胞杆菌的检测

2015 年 10 月,以随机抽样的方式从某市范围内的超市随机采集腐乳制品,根据 GB 4789.14—

2014《食品安全国家标准 食品微生物学检验 蜡样芽胞杆菌》<sup>[15]</sup>开展定量检测,以此结果作为腐乳中蜡样芽胞杆菌的初始污染水平。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 暴露评估范围

不同风味及盐度的腐乳,存放及食用时间不同,因此不同类型的腐乳从包装、销售、运输、贮藏到消费的生产消费链较长,不确定性因素较多,本研究将腐乳评估模型简化成即食食品的消费,不考虑存放阶段蜡样芽胞杆菌受时间和温度影响下的生长情况。

本研究采用 2002 年中国居民营养与健康状况调查中对多种腐乳产品的平均每日消费量数据(22.57 g/d),并假设居民一天消费一次腐乳。

#### 1.2.2 暴露评估模型

由于目前尚无明确的蜡样芽胞杆菌剂量-效应数据,本研究参考董庆利等<sup>[14]</sup>选用 2001—2011 年我国 9 起米饭中蜡样芽胞杆菌导致食源性疾病的数据,运用较优的修正指数模型、对数概率模型和 Gamma 威布模型进行计算,比较得到该市居民每餐通过消费腐乳发生蜡样芽胞杆菌引发食源性疾病的不同风险。3 种蜡样芽胞杆菌剂量-效应模型的参数估计见表 1。

表 1 3 种蜡样芽胞杆菌剂量-效应模型的参数估计<sup>[14]</sup>( $\bar{x} \pm s$ )

Table 1 Parameter estimation of three *Bacillus cereus* dose-effect models

| 模型         | 参数估计值                               |
|------------|-------------------------------------|
| 修正指数模型     | $\beta = 3.65 \pm 0.00$             |
|            | $r = 0.38 \pm 0.10$                 |
|            | $\chi = 1.35 \pm 0.00$              |
| 对数概率模型     | $p = 0.08 \pm 0.00$                 |
|            | $r = 0.38 \pm 0.09$                 |
|            | $\chi = -1.67 \pm 1.84$             |
| Gamma 威布模型 | $\alpha = 0.66 \pm 1.24$            |
|            | $\beta = 1.39 \times 10^6 \pm 0.00$ |
|            | $\chi = 7.81 \pm 8.29$              |

注:本次评估不考虑参数不确定性

修正指数模型见公式(1):

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

式中  $r$  为单位致病菌导致的发病率,通过参数估计确定; $\beta$  为表示渐近线形状的参数, $\chi$  为当发病率等于  $1 - P$  时致病菌剂量的对数值( $\log \text{CFU/g}$ )。

对数概率模型见公式(2):

$$P = 1 - \left[ \frac{1 - p}{p} \right] \cdot \exp[-r \cdot (\log N - \chi)] \quad (2)$$

$P$  为致病菌的感染概率,  $p$  为菌数分布对应的概率,其余同公式(1)。

Gamma 威布模型见公式(3):

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

式中,  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $x$  为形状参数。

2 结果

抽样共获得 23 份腐乳样品阳性检测结果,其中最小值为  $2.9 \times 10^3 \text{ CFU/g}$ ,最大值为  $5.2 \times 10^5 \text{ CFU/g}$ ,平均值为  $4.5 \times 10^4 \text{ CFU/g}$ 。

假设该市居民一天消费一次腐乳,采用 2002 年中国居民营养与健康状况调查中对多种腐乳产品的平均每日消费量数据( $22.57 \text{ g/d}$ )。假设该市居民每餐消费该批抽检样品中蜡样芽胞杆菌平均污染量的腐乳,即腐乳中含有  $4.5 \times 10^4 \text{ CFU/g}$  的蜡样芽胞杆菌,平均每餐摄入  $1.02 \times 10^6 \text{ CFU}$  的蜡样芽胞杆菌。使用 3 种模型分别计算,每个消费者每餐发生蜡样芽胞杆菌引起食源性疾病的风险分别为 0.379、0.379 和 0.339。即用 3 种模型计算,持续消费的情况下,每 10 次消费就会发生超过 3 次的蜡样芽胞杆菌引起食源性疾病。假设居民每餐消费该批抽检样品中蜡样芽胞杆菌污染量最高的腐乳,即腐乳中含有  $5.2 \times 10^5 \text{ CFU/g}$  的蜡样芽胞杆菌,每餐摄入  $1.17 \times 10^7 \text{ CFU}$  的蜡样芽胞杆菌。使用 3 种模型分别计算,每个消费者每餐发生蜡样芽胞杆菌引起食源性疾病的风险分别为 0.584、0.584 和 0.605。即用 3 种模型计算,持续消费的情况下,每 10 次消费就会发生超过 5 次的蜡样芽胞杆菌引起食源性疾病(见表 2)。

表 2 不同模型计算所得风险及估计每年的发病次数

Table 2 Calculated risks and estimated incidences per year from different models

| 模型         | 假设消费<br>均值带来的<br>风险 | 估计的每年<br>发病次数 | 假设消费最<br>大值带来的<br>风险 | 估计的每<br>年发病<br>次数 |
|------------|---------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| 修正指数模型     | 0.379               | 0.989         | 0.584                | 1.526             |
| 对数概率模型     | 0.379               | 0.989         | 0.584                | 1.526             |
| Gamma 威布模型 | 0.339               | 0.884         | 0.605                | 1.581             |

在此基础上,本次评估根据 2002 年中国居民营养与健康状况消费量数据,按照腐乳消费人群推算全人群的腐乳年消费平均次数为 2.61 次,计算得到如果持续消费该批抽检样品中蜡样芽胞杆菌平均

含量的腐乳,每个消费者每年平均不会发生超过 1 次(见表 2)蜡样芽胞杆菌引起的食源性疾病;如果持续消费该批抽检样品中蜡样芽胞杆菌含量最高的腐乳,每个消费者每年平均发生超过 1 次(见表 2)蜡样芽胞杆菌引起的食源性疾病,健康风险较高。

3 讨论

国家食品安全风险评估中心食源性疾病预防监测系统提示,蜡样芽胞杆菌引起食源性疾病预防次于沙门菌、金黄色葡萄球菌及其肠毒素、副溶血性弧菌和大肠埃希菌。2011—2014 年共报告食源性疾病预防暴发事件 27 起,发病 617 人,住院 320 人,死亡 1 人,监测发现的病因食品多为蒸煮的米饭、炒饭和蔬菜等,死亡病例是由于食用了剩菜和米饭所致。腐乳是我国一种传统的发酵食品,大部分消费者都是将腐乳直接餐食。目前食源性疾病预防监测系统未见腐乳导致蜡样芽胞杆菌引起食源性疾病的报告。文献报告<sup>[16]</sup>1988 年我国河南省漯河市某建筑公司民工 10 人食用腐乳发生食源性疾病预防。

本研究基于董庆利等<sup>[14]</sup>的模型,分别应用修正指数模型、对数概率模型和 Gamma 威布模型,比较了某市市售腐乳中蜡样芽胞杆菌带来的健康风险。董庆利等<sup>[14]</sup>建议选用 Gamma 威布模型作为米饭中蜡样芽胞杆菌最优的剂量-效应模型用于蜡样芽胞杆菌风险评估体系中的危害特征分析。本研究显示使用该市抽检样品中腐乳初始污染水平的均值作为消费量,Gamma 威布模型计算所得风险略低于另外两个模型,使用该市抽检样品中腐乳初始污染水平最高值作为消费量,Gamma 威布模型计算所得风险略高于另外两个模型。

修正指数模型、对数概率模型和 Gamma 威布模型都是模拟食品有害物的剂量-效应关系的常用模型。相对而言,修正指数模型较简单直接,应用更为广泛。对数概率模型对有害物质的分布进行了假设。Gamma 威布模型可以利用概率值很容易地推断出它的分布参数<sup>[17-20]</sup>。本研究显示对于相同的模型,不同剂量会影响模型最终的评价结果,提示对微生物开展风险评估时,同时采用多种模型、多种剂量可有助于对风险更多的认识和理解。本研究以蜡样芽胞杆菌风险评估为样本,为其他微生物开展风险评估提供了研究方法和思路。

本次评估结果主要存在以下不确定性。首先,污染水平数据存在不确定性,本次评估是假设所有消费者均消费该采样批次中的阳性样品的平均污染量或最高污染量腐乳所带来的健康风险,但是这

些阳性样品值在所有实际消费中所占的比例存在不确定性,如果所占的比例很低,那么人群的实际健康风险也会较低。其次,居民消费量数据存在不确定性,本次评估所采用的居民 3 d 24 h 回顾法获得的平均每日消费量数据,可能高估居民实际每餐腐乳的消费量。再次,本次评估估计居民每年消费腐乳的频次,也存在不确定性。此外,剂量-效应关系模型存在不确定性,本次评估所采用蜡样芽胞杆菌导致食源性疾病的剂量-效应关系模型是基于对我国米饭中蜡样芽胞杆菌污染导致食源性疾病的部分研究拟合的概率模型。最后,我国蜡样芽胞杆菌引起食源性疾病的疾病负担以及食品归因存在不确定性。

参考文献

[ 1 ] 喻世哲,范熠,韩北忠,等. 低盐腐乳生产过程及加工环境中的微生物分析[J]. 中国酿造,2017,36(12):18-22.

[ 2 ] 谢小本. 腐乳发酵过程挥发性风味成分的变化分析[J]. 现代食品, 2018 ( 1 ): 114-116. DOI: 10. 16736/j. cnki. cn41-1434/ts. 2018. 01. 036.

[ 3 ] 刘琪,张佩娜,陈静,等. 发酵豆制品中安全风险因子的研究现状及对策[J]. 中国酿造,2018,37(2):1-5.

[ 4 ] 李岩冰. 绍兴地区主要传统食品的常见微生物检测与安全性评价[D]. 杭州:浙江农林大学,2014.

[ 5 ] 张金兰,鲁绯,张伟伟,等. 腐乳中蜡样芽胞杆菌污染情况的调查分析[J]. 中国酿造,2010,29(10):15-18.

[ 6 ] 周婷婷. 蜡样芽胞杆菌在腐乳中的污染状况及其控制方法研究[D]. 广州:华南理工大学,2013.

[ 7 ] 曹飞扬. 北京市腐乳中蜡样芽胞杆菌检测及毒力基因和耐药性研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2017.

[ 8 ] BAHK G J, TODD E C D, HONG C H, et al. Exposure assessment for *Bacillus cereus* in ready-to-eat kimbab selling at stores[J]. Food Control, 2007, 18(6): 682-688.

[ 9 ] PINA-PEREZ M C, SILVA-ANGULO A B, RODRIGO D, et al.

A preliminary exposure assessment model for *Bacillus cereus* cells in a milk based beverage: evaluating high pressure processing and antimicrobial interventions[J]. Food Control,2012, 26(2): 610-613.

[ 10 ] NOTERMANS S, DUFRENNE J, TEUNIS P, et al. A risk assessment study of *Bacillus cereus* present in pasteurized milk [J]. Food Microbiology, 1997, 14(2): 143-151.

[ 11 ] DAELMAN J, MEMBRE J M, JACXSENS L, et al. A quantitative microbiological exposure assessment model for *Bacillus cereus* in REPFEDs[J]. International Journal of Food Microbiology,2013, 166(3): 433-449.

[ 12 ] NAUTA M J, LITMAN S, BARKER G C, et al. A retail and consumer phase model for exposure assessment of *Bacillus cereus* [J]. International Journal of Food Microbiology,2003, 83(2): 205-218.

[ 13 ] 董庆利. 蒸煮米饭中蜡样芽胞杆菌的定量暴露评估[J]. 食品科学, 2013, 34(21): 306-310.

[ 14 ] 董庆利,王海梅,刘箐,等. 米饭中蜡样芽胞杆菌剂量效应模型的构建[J]. 食品安全质量检测学报,2014, 5 ( 4 ): 1021-1027.

[ 15 ] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 蜡样芽胞杆菌检验:GB 4789. 14—2014 [S]. 北京:中国标准出版社,2014.

[ 16 ] 裴秀藏,法爱玲,刘杰伟. 豆腐乳蜡样芽胞杆菌食物中毒报告[J]. 河南预防医学杂志,1988(3):92.

[ 17 ] LEBINE M M, DUPONT H L, FORMAL S B, et al. Pathogenesis of *Shigella dysenteriae* 1 (*Shiga*) dysentery [J]. J Infect Dis, 1973, 127(3):261-269.

[ 18 ] DUPONT H L, HORNICK R B, SNYDER M J, et al. Immunity in shigellosis. II. Protection induced by oral live vaccine or primary infection[J]. J Infect Dis, 1972, 125(1): 12-16.

[ 19 ] 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.

[ 20 ] LATIMER H K, JAYKUS L A, MORALES R A, et al. A weighted composite dose-response model for human salmonellosis [J]. Risk Anal, 2001, 21(2): 295-305.

· 公 告 ·

总局关于发布《食用油脂中辣椒素的测定》食品补充检验方法的公告

2018 年第 26 号

按照《食品补充检验方法工作规定》有关规定,《食用油脂中辣椒素的测定》食品补充检验方法已经国家食品药品监督管理总局批准,现予发布。

特此公告。

附件:食用油脂中辣椒素的测定(BJS 201801)

食品药品监管总局  
二〇一八年二月二十四日