DOI:10.12441/spyswjs.20230301001 [文章编号] 1673-1689(2025)03-0166-07

婴幼儿配方乳粉中蜡样芽孢杆菌检验的测量不确定度评定

向春燕[1,2] 刘 萍[1,2] 晏 涛[1,2] 郦 娟[1,2] 郑 楠[3] 曾慧君[1,2*]

(1. 武汉食品化妆品检验所,湖北 武汉 430040; 2. 国家市场监管重点实验室(食用油质量与安全),湖北 武汉 430040; 3. 武汉职业技术大学生物工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要:【目的】该研究通过对乳粉样品中蜡样芽孢杆菌(*Bacillus cereus*, *B. cereus*)的检验进行测量不确定度评定,分析影响蜡样芽孢杆菌检验的相关因素。【方法】根据 JJF 1059.1—2012 中的评定程序,通过以下 5 个步骤对婴幼儿配方乳粉中蜡样芽孢杆菌检验进行了不确定度评定:分析不确定度来源、建立测量模型、评定标准不确定度、计算合成标准不确定度及确定扩展不确定度。分析各不确定度分量的贡献程度,并提出相应的改进措施,以提高测量结果的准确性。【结果】在置信水平 95%、自由度(v)为 9 的水平下,k=2.26,扩展不确定度(U_{95})为 0.20。研究结果表明,在蜡样芽孢杆菌检验过程中,重复测量引入的不确定度最大,其次是培养基生长率引入的不确定度。【结论】该研究可为蜡样芽孢杆菌质量控制提供依据,为完善微生物领域不确定度评定提供技术支撑。

关键词:婴幼儿配方乳粉;蜡样芽孢杆菌;测量不确定度

Evaluation of Measurement Uncertainties of *Bacillus cereus* in Infant Formula Milk Powder

XIANG Chunyan[1,2] *LIU Ping*[1,2] *YAN Tao*[1,2] *LI Juan*[1,2] *ZHENG Nan*[3] *ZENG Huijun*[1,2*]

(1. Wuhan Institute for Food and Cosmetic Control, Wuhan 430040, China; 2. Key Laboratory of National Market Supervision (Edible Oil Quality and Safety), Wuhan 430040, China; 3. College of Bioengineering, Wuhan Technical University, Wuhan 430072, China)

Abstract: [**Objective**] The study evaluated the measurement uncertainties of *Bacillus cereus* (*B. cereus*) in milk powder samples to analyze the factors influencing the measurement of *B. cereus*. [**Method**] According to the evaluation procedure in JJF 1059.1—2012, the uncertainties of the plate counting results for *B. cereus* in infant formula milk powder were evaluated through the following five steps: identifying uncertainty sources, establishing the measurement model, assessing standard uncertainties, calculating the combined standard uncertainties, and determining the expanded uncertainties. Contributions from each uncertainty component were analyzed, and corresponding measures were suggested to enhance the accuracy of the measurement results. [**Result**] At a confidence level of 95% and with 9 degrees of freedom (v), the k value was determined to be 2.26, and the expanded uncertainty (U_{95}) was 0.20. The findings indicated that the largest source of uncertainties during the counting process for *B. cereus* arose from repeated measurements, followed by the uncertainty introduced by growth rate in culture media. [**Conclusion**] The study lays a foundation for the quality control of *B. cereus* and

基金项目:国家市场监督管理总局科技计划项目(2020MK131);湖北省教育厅科学技术研究项目(B2018456)。

通信作者:曾慧君(1987—),女,博士,高级工程师,主要从事食品微生物学和分子生物学研究。E-mail: zenghuijuner2017@163.com

收稿日期:2023-03-01 **修回日期:**2023-05-11

provides technical guidance for improving the evaluation of uncertainties in the microbiological field.
Keywords: infant formula milk powder; *Bacillus cereus*; measurement uncertainty

蜡样芽孢杆菌是一种条件致病菌，常存在于以米面和乳为基质的食物中，例如米饭、乳粉等。尽管生产中采用的喷雾干燥、超高温瞬时杀菌、浓缩等技术能有效杀死蜡样芽孢杆菌的菌体，但过度加热也会促使其形成内生孢子和生物膜。如果食用了被其污染的食品，可能会引发呕吐、腹泻等食源性疾病[1-2]。根据文献统计，近年来我国已发生多起由蜡样芽孢杆菌污染引起的食物中毒事件[3-5]。

配方乳粉是婴幼儿除母乳外的主要补充食品，尤其对于6月龄以下的人工喂养婴儿，配方乳粉是其唯一的营养来源。婴幼儿属于低免疫力人群，如果感染蜡样芽孢杆菌，极易引发腹泻等临床症状，严重时甚至可能诱发败血症、菌血症、心膜炎、脑膜炎等并发症，威胁其生命健康[6]。Drazin等[7]报道了一例早产儿因蜡样芽孢杆菌菌血症继发颅内感染的病例，该婴儿虽经积极救治后存活了下来，但仍有后遗症。全国各地机构对其辖区内婴幼儿食品中蜡样芽孢杆菌的污染状况进行了调查和分析，确定蜡样芽孢杆菌是婴幼儿食品中较常见的污染菌[8-10]。

校准和测量能力（calibration and measurement capabilities，CMC）是衡量一个校准实验室在特定测量范围内能够提供准确校准和测量服务的重要技术指标。国际标准化组织[11]对测量不确定度的评定制定了标准方法。同时，中国合格评定国家认可委员会也在其认可体系中对测量不确定度的评定制定了相关规定，要求在微生物检测领域，应根据对检测结果的重要性，列出不确定度来源并作出合理评定[12-13]。国家质量监督检验检疫总局于2012年发布了JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》[14]；随后，联合中国国家标准化管理委员会于2017年发布了GB/T 27418—2017《测量不确定度评定和表示》[15]；此外，国家认证认可监督管理委员会于2016年发布了RB/T 151—2016《食品微生物定量检测的测量不确定度评估指南》[16]。这些文件均可为微生物检测领域测量不确定度的评定和表示提供依据。目前，微生物检测领域的测量不确定度评定主要集中在菌落总数、大肠菌群、金黄色葡萄球菌等方面[17-20]，鲜有关于蜡样芽孢杆菌测量不确定度评定的研究报道。

该研究以婴幼儿配方乳粉这一特殊食品为研究对象，探讨蜡样芽孢杆菌在该基质中的测量不确定度。通过在婴幼儿配方乳粉中蜡样芽孢杆菌测定能力验证考核中对蜡样芽孢杆菌测量不确定度进行评定，分析了不确定度的来源，并量化比较了各操作步骤、计量结果、仪器测量误差等对不确定度的贡献程度[21]，提出了有效措施。这些措施能针对性地对检验过程进行有效控制，从而提高测量结果的准确性。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 样品来源

婴幼儿配方乳粉中蜡样芽孢杆菌测定能力验证考核样品（1.0 g/瓶）：中国检验检疫科学研究院。

1.1.2 材料与试剂

甘露醇卵黄多黏菌素琼脂（mannitol-egg-yolk-polymyxin agar，MYP）、胰酪胨大豆羊血琼脂（trypticase soy sheep blood agar，TSSB）、营养琼脂、蜡样芽孢杆菌生化鉴定试剂盒：北京陆桥技术股份有限公司。

1.1.3 仪器与设备

生化培养箱：LBI-300型，上海龙跃仪器设备有限公司；全自动高压灭菌锅：SX-700型，日本TOMY数字生物有限公司；生物荧光显微镜：CH20-INST-CHN型，德国蔡司公司；生物安全柜：BSC-1804IIA2型，苏州安泰空气技术有限公司。

1.2 试验方法

按照验证考核的作业指导书操作。开启西林瓶（含1.0 g样品）后，立即用无菌移液管吸取5 mL无菌生理盐水进行水化，并涡旋混匀；待样品溶解后，将其全部转移至无菌三角瓶中；接着，用无菌生理盐水清洗西林瓶2次（每次5 mL），并将其全部转移到无菌三角瓶中；然后，在无菌三角瓶中加入45 mL无菌生理盐水，将上述液体涡旋混匀，即得到待测样品原液（共60 mL，等同于待测婴幼儿配方乳粉样品）。

能力验证考核按照GB 4789.14—2014[22]中的蜡样芽孢杆菌平板计数法(第一法)进行检验,重复检验10次。并根据JJF 1059.1—2012中的评定程序,对婴幼儿配方乳粉中蜡样芽孢杆菌检验进行不确定度评定。

2 结果与讨论

2.1 不确定度来源分析

分析整个检验过程,蜡样芽孢杆菌检验不确定度来源主要包括以下5个方面:样品水化和稀释过程引入的测量不确定度、样品加样过程引入的测量不确定度、平板计数引入的测量不确定度、重复测量引入的测量不确定度及培养基生长率引入的测量不确定度。

2.2 测量模型建立

按照GB 4789.14—2014中的蜡样芽孢杆菌平板计数法(第一法)计算要求,本次检验的数学模型见式(1)。

$$T=(A\times B)/(C\times d) \tag{1}$$

式中:

T——样品中蜡样芽孢杆菌数,CFU/g;

A——某一稀释度中蜡样芽孢杆菌典型菌落总数,CFU/g;

B——鉴定结果为蜡样芽孢杆菌的菌落数,CFU/g;

C——用于鉴定的蜡样芽孢杆菌数,CFU/g;

d——稀释因子。

2.3 标准不确定度分量评定

2.3.1 评定样品水化和稀释过程引入的标准不确定度

检验的样品稀释过程包括:第1步,样品中加入5 mL生理盐水水化1次,清洗西林瓶内壁2次(每次5 mL),加入45 mL生理盐水,混匀得到样品原液;第2步,9 mL生理盐水中加入1 mL样品原液得到样品稀释液;第3步及后续各步稀释过程同第2步。每步引入的标准不确定度按式(2)进行计算。

$$u_F=\sqrt{\frac{D_i^2}{C_i^2+D_i^2}\left(u_{C,i}^2+u_{D,i}^2\right)} \tag{2}$$

式中:

u_F——样品水化和稀释过程引入的标准不确定度;

C_i——第 i 步稀释时,被稀释的固体样品质量(g)或样品稀释匀液体积(mL),C_0 为1 g,其他为1 mL;

D_i——第 i 步稀释时,稀释液体积(mL),D_0 为60 mL,其他为9 mL;

$u_{C,i}$——第 i 步稀释时,被稀释的固体样品质量或样品稀释匀液体积引入的标准不确定度;

$u_{D,i}$——第 i 步稀释时,稀释液体积引入的标准不确定度。

能力验证样品为已给定样品,故天平称量引入的标准不确定度忽略不计。移液管及量筒移取引入的标准不确定度参照JJG 196—2006[23],其中A级移液管移取5 mL允差为±0.025 mL、移取9 mL允差为±0.05 mL,量筒移取45 mL允差为±0.25 mL;移液器按照JJG 646—2006[24]中的规定,吸取1 mL时,允许误差为±1.0%,按定义可知,各量具为均匀分布,属于B类不确定度,则:

$$u_{1\,mL}=\frac{1.0\%}{\sqrt{3}\times 1.00}=0.005\,774,$$

$$u_{5\,mL}=\frac{0.025}{\sqrt{3}\times 5.00}=0.002\,887,$$

$$u_{9\,mL}=\frac{0.05}{\sqrt{3}\times 9.00}=0.003\,208,$$

$$u_{45\,mL}=\frac{0.25}{\sqrt{3}\times 45.00}=0.003\,208。$$

综上,水化过程引入的标准不确定度为 $u_{F0}=\sqrt{\frac{60^2}{1^2+60^2}\left(0.002\,887^2\times 3+0.003\,208^2\right)}=0.005\,940$,各分步稀释过程引入的标准不确定度相等,均为 $u_{F1}=\sqrt{\frac{9^2}{1^2+9^2}\left(0.005\,774^2+0.003\,208^2\right)}=0.006\,565$。

根据国标要求,需要计算同一稀释度下典型菌落数合计为20~200 CFU的3个平板的菌落总数。检验中蜡样芽孢杆菌可计数平板的稀释度为1∶10,试验中水化和稀释过程引入的标准不确定度为 $u_F=\sqrt{u_{F0}^2+u_{F1}^2}=0.008\,853$。

2.3.2 评定样品加样过程引入的标准不确定度

根据GB 4789.14—2014检验要求,将1 mL样品原液分别以0.3、0.3、0.4 mL的体积接种至已控干水分的MYP平板中,然后用无菌涂布棒涂布均匀。不确定度来源主要为两次加入0.3 mL、一次

加入0.4 mL的样品原液。其不确定度属于B类不确定度，其中1 mL加样量的标准不确定度等于$u_{1\,mL}$，0.3、0.4 mL加样量的标准不确定度分别为[17]：

$$u_{0.3\,mL}=\frac{u_{1\,mL}}{0.3}=\frac{0.005\,774}{0.3}=0.019\,25,$$

$$u_{0.4\,mL}=\frac{u_{1\,mL}}{0.4}=\frac{0.005\,774}{0.4}=0.014\,44。$$

综上，求得1 mL样品加样体积引入的标准不确定度为$u_V=\sqrt{u_{0.3\,mL}^2+u_{0.3\,mL}^2+u_{0.4\,mL}^2}=0.030\,82$。

2.3.3　评定重复测量引入的标准不确定度

该检测是不同检验员在相同时间，采用相同方法、相同培养条件，同时进行10次重复测验。按照JJF 1059.1—2012定义可知，重复测量呈正态分布，属于A类不确定度。A类不确定度评定采用统计分析法，在数值上等同于标准差。重复测量的标准不确定度按式(3)进行计算。

$$u_{\overline{\lg x}}=\sqrt{\frac{\sum_{i}^{n}(\lg x_i-\overline{\lg x})^2}{n-1}}\qquad(3)$$

式中：

$u_{\overline{\lg x}}$——重复测量引入的标准不确定度；

$\lg x_i$——单次测量的对数值，i=1，2，3，…，10；

$\overline{\lg x}$——重复测量的平均对数值；

n——重复测量次数，n=10。

重复测量引入的标准不确定度分析结果如表1所示。

表1　重复测量引入的标准不确定度评定

Table 1　Evaluation of the standard uncertainty introduced by repeated measurements

测定次数	计数结果	$\lg x_i$	$\sum_{i}^{n}(\lg x_i-\overline{\lg x})^2$	$u_{\overline{\lg x}}$
1	430	2.633		
2	510	2.708		
3	600	2.778		
4	420	2.623		
5	500	2.699	0.022 00	0.049 32
6	470	2.672		
7	520	2.716		
8	440	2.643		
9	470	2.672		
10	550	2.740		
均值	491	2.688		

2.3.4　评定平板计数引入的标准不确定度

MYP平板上的蜡样芽孢杆菌数量反映的是1 mL样液中菌的含量，其由样液中菌落数以及计数准确性等决定。一般用泊松分布(Poisson distribution)来表示平板上菌落数的分布。即评定由平板上菌落数引入的标准不确定度按照泊松分布理论进行计算[25]，其标准不确定度评定按式(4)进行计算。

$$u_z=w_z=\sqrt{\frac{1}{z}}\qquad(4)$$

式中：

u_z——平板上菌落数引入的标准不确定度；

z——可计数平板上1 mL样品中菌落数或平均数，CFU/g；

w_z——泊松分布下菌落总数的标准不确定度。

检验中的$u_z=\sqrt{\frac{1}{491}}=0.045\,13$。

2.3.5　评定培养基生长率引入的标准不确定度

检验中所用平板为商品化MYP平板，该平板为选择性分离平板，按照GB 4789.28—2013[26]中6.2.2的操作要求进行培养，评价平板上菌落的形状、大小和生长密度，并计算生长指数G。目标菌的生长指数$G\geq6$时，培养基可以接受。作者所在课题组自2015年以来，所用的商品化MYP平板生长指数在13~16，平均值为14.645。培养基平均生长率为$R=\frac{14.645}{16}=0.915\,3$，其误差范围为$E_R$=1−0.915 3=0.084 7。培养基生长率符合矩形分布，属于B类不确定度。故其标准不确定度为$u_R=\frac{E_R}{\sqrt{3}}=\frac{0.084\,7}{\sqrt{3}}=0.048\,9$。

2.3.6　计算合成标准不确定度和确定扩展不确定度

综合以上蜡样芽孢杆菌检验中各分量标准不确定度，按照式(5)计算其合成标准不确定度：

$$u=\sqrt{u_{\mathrm{F}}^2+u_V^2+u_z^2+u_{\overline{\lg x}}^2+u_R^2}\qquad(5)$$

式中：

u——合成标准不确定度；

u_{F}——样品水化和稀释过程引入的标准不确定度；

u_V——样品加样过程引入的标准不确定度；

u_z——平板计数引入的标准不确定度；

$u_{\overline{\lg x}}$——重复测量引入的标准不确定度；

u_R——培养基生长率引入的标准不确定度。

查阅 JJF 1059.1—2012 附录 B，当置信水平（P）为 95%、自由度（v）为 9 时，查得 k=2.26，按照式（6）计算蜡样芽孢杆菌测量的扩展不确定度。

$$U_{95}=k_{95}\times u \quad (6)$$

式中：

U_{95}——置信水平为95%时的扩展不确定；

k_{95}——包含因子；

u——合成标准不确定度。

各分量标准不确定度、合成标准不确定度及扩展不确定度计算见表2。

表2 扩展不确定度计算

Table 2 Evaluation of the expanded uncertainty

标准不确定度					合成标准不确定度	扩展不确定度
u_F	u_V	u_z	$u_{\overline{\lg x}}$	u_R	u	U_{95}
0.008 853	0.030 82	0.045 13	0.049 32	0.048 9	0.088 82	0.20

2.4 讨论

各分量的标准不确定度评定结果表明，在蜡样芽孢杆菌平板计数法中，对测量不确定度影响最大的是重复测量，其次为培养基生长率。

该研究中的数据是由不同的检验员某一时间段内在相同的环境、设备下检测所得。有研究者[18-20,27]对菌落总数、霉菌定量检测的不确定度评定分析表明，重复测量对不确定度影响最大。在试验条件未变的情况下，降低重复测量不确定度，是提高检测水平的重要途径。重复测量的不确定度受检验员操作技能的影响较大，实验室可结合食品安全国家标准和实验室实际情况，制定婴幼儿配方食品蜡样芽孢杆菌定量检测作业指导书，规范操作流程，以提高检测结果的准确性。在检验员上岗操作前，要进行充分的技术培训，也可定期对检验员进行考核，通过参加能力验证、实验室间比对，对人员能力进行持续性评价。

该研究对培养基生长率引入的不确定度进行了评定，发现其影响仅次于重复测量引入的不确定度，而许多微生物检测领域不确定度的评定容易忽视这一环节[17-19,27]，可通过控制培养基的质量来降低检测结果的不确定度。培养基生长率是评判培养基质量的指标，应对不同批次的培养基进行长期多次测试，以评估其菌落生长情况，并选择生长率高、稳定性好的培养基进行检测。同时，检验人员还可选择合适的稀释度进行培养，以提高检测的准确性[28]。

我国尚未对婴幼儿食品中蜡样芽孢杆菌的安全限量作出明确规定，仅在蜡样芽孢杆菌食物中毒及处理原则中提到其最低限量为 1.0×10^5 CFU/g[29]。澳大利亚新西兰食品标准法规制定的食品标准中，蜡样芽孢杆菌的最大限量为 1.0×10^2 CFU/g。然而，鉴于婴幼儿低免疫的特殊性，即使少量感染蜡样芽孢杆菌也可能引起食物中毒。例如，叶红萍[30]研究发现，在婴幼儿配方乳粉中，160 CFU/g 的蜡样芽孢杆菌即可诱发食物中毒症状。因此，建议我国在食品安全标准中增加蜡样芽孢杆菌的限量要求，以降低婴幼儿食品的安全风险。

3 结论

在微生物定量检测中，多个因素均可对不确定度产生影响，如环境、人员、仪器设备、培养基等。通过分析蜡样芽孢杆菌平板计数检测过程中各测量不确定度的来源，并评定各来源不确定度分量的大小，从而评估检测过程对测量结果的影响。研究发现，对测量不确定度影响最大的因素是重复测量，其次是培养基生长率，后续可通过各种有效的控制手段对其进行改进和优化，降低测量不确定度，提高检测数据的可靠性和准确性，为检验检测实验室的质量控制提供指导。同时，我国在测量不确定度评定方面多集中于化学检测，在微生物领域的应用相对较少。虽然 RB/T 151—2016 提供了微生物定量检测中重复测量引入不确定度的评定方法，但缺乏对仪器、培养基等引入的不确定度评定的相关阐述[16]。该研究将为微生物领域不确定度评定的完善提供技术支撑。

参考文献

[1] HUSSAIN M S，OH D H. Substratum attachment location and biofilm formation by *Bacillus cereus* strains isolated from different sources：effect on total biomass production and sporulation in different growth conditions[J]. Food Control，2017，77：270-280.

[2] KUMARI S，SARKAR P K. *Bacillus cereus* hazard and control in industrial dairy processing environment[J]. Food Control，2016，69：20-29.

[3] 崔莹，戚浩彧，张濛，等. 2011—2021年河南省市售食品中蜡样芽胞杆菌污染状况调查[J]. 河南预防医学杂志，2022，33(8)：569-571.
CUI Y，QI H Y，ZHANG M，et al. Analysis on contamination of *Bacillus cereus* in food in Henan Province from 2011 to 2021[J]. Henan Journal of Preventive Medicine，2022，33(8)：569-571.(in Chinese)

[4] 陈茜茜，胡佳，刘成风. 一起感染性腹泻病例的调查[J]. 疾病预防控制通报，2019，34(6)：62.
CHEN Q Q，HU J，LIU C F. Investigation on a case of infectious diarrhea[J]. Bulletin of Disease Control & Prevention(China)，2019，34(6)：62.(in Chinese)

[5] 杨芳，司虹，郑晓南，等. 1起“小餐桌”引起蜡样芽胞杆菌食物中毒的调查[J]. 预防医学论坛，2020，26(2)：145-146.
YANG F，SI H，ZHENG X N，et al. Investigation on an outbreak of food poisoning caused by *Bacillus cereus* in a “small dining table”[J]. Preventive Medicine Tribune，2020，26(2)：145-146.(in Chinese)

[6] CEUPPENS S，BOON N，UYTTENDAELE M. Diversity of *Bacillus cereus* group strains is reflected in their broad range of pathogenicity and diverse ecological lifestyles[J]. FEMS Microbiology Ecology，2013，84(3)：433-450.

[7] DRAZIN D，LEHMAN D，DANIELPOUR M. Successful surgical drainage and aggressive medical therapy in a preterm neonate with *Bacillus cereus* meningitis[J]. Pediatric Neurosurgery，2010，46(6)：466-471.

[8] 李文涓，石一，马琳，等. 2012—2016年陕西省市售婴幼儿食品中蜡样芽胞杆菌污染情况调查[J]. 现代预防医学，2017，44(16)：2940-2943.
LI W J，SHI Y，MA L，et al. Investigation on *Bacillus cereus* contamination in commercial infant food in Shaanxi Province during 2012—2016[J]. Modern Preventive Medicine，2017，44(16)：2940-2943.(in Chinese)

[9] 叶玲清，陈伟伟，李闽真，等. 2013—2016年福建省婴幼儿配方乳粉中蜡样芽孢杆菌污染状况调查[J]. 预防医学论坛，2018，24(7)：527-529.
YE L Q，CHEN W W，LI M Z，et al. Investigation on contamination levels of *Bacillus cereus* in infant formula，Fujian Province，2013—2016[J]. Preventive Medicine Tribune，2018，24(7)：527-529.(in Chinese)

[10] 周少君，陈秋霞，宋曼丹，等. 广东省婴幼儿配方食品中蜡样芽胞杆菌的5年污染情况分析[J]. 中国卫生检验杂志，2017，27(14)：2091-2094.
ZHOU S J，CHEN Q X，SONG M D，et al. A five-year survey of *Bacillus cereus* contamination in infant and young children formula food in Guangdong Province[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology，2017，27(14)：2091-2094.(in Chinese)

[11] International Standards Organization. Uncertainty of measurement：part 3：guide to the expression of uncertainty in measurement：ISO/IEC Guide 98-3：2008[S/OL].(2008-10-01)[2023-02-25]. https://www.iso.org/standard/50461.html.

[12] 中国合格评定国家认可委员会. 检测和校准实验室能力认可准则在微生物检测领域的应用说明：CNAS-CL01-A001：2022[EB/OL].(2022-12-24)[2023-02-25]. https://www.cnas.org.cn/rkgf/sysrk/rkyyzz/2018/03/889076.shtml.

[13] 中国合格评定国家认可委员会. 测量不确定度的要求：CNAS-CL01-G003：2021[EB/OL].(2021-11-30)[2023-02-25]. https://www.cnas.org.cn/rkgf/sysrk/rkyyzz/2023/01/910523.shtml.

[14] 国家质量监督检验检疫总局. 测量不确定度评定与表示：JJF 1059.1—2012[S]. 北京：中国标准出版社，2013.

[15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 测量不确定度评定和表示：GB/T 27418—2017[S]. 北京，中国标准出版社，2018.

[16] 国家认证认可监督管理委员会. 食品微生物定量检测的测量不确定度评估指南：RB/T 151—2016[S]. 北京：中国标准出版社，2017.

[17] 游元丁，赵阳，林雪丹，等. 食品中金黄色葡萄球菌测量不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报，2021，12(6)：2468-2473.
YOU Y D，ZHAO Y，LIN X D，et al. Evaluation of uncertainty in measurement of *Staphylococcus aureus* in food[J]. Journal of Food Safety and Quality，2021，12(6)：2468-2473.(in Chinese)

[18] 崔妍，许传鹏，齐欣，等. 原料乳中菌落总数的测量不确定度评定[J]. 乳业科学与技术，2019，42(5)：25-29.
CUI Y，XU C P，QI X，et al. Uncertainty evaluation for the determination of aerobic plate count in raw milk[J].

Journal of Dairy Science and Technology，2019，42（5）：25-29.（in Chinese）

[19] 胡婕，毛林夏，李昱贤，等. 面包中霉菌检测结果的测量不确定度评定[J]. 中国口岸科学技术，2021，3(7)：95-99.
HU J，MAO L X，LI Y X，et al. Uncertainty evaluation of the results of enumeration of moulds in bread[J]. China Port Science and Technology，2021，3（7）：95-99.（in Chinese）

[20] 赵丽，胡宝翠，王琳琳，等. 糕点中菌落总数测量结果的不确定度的评定[J]. 食品安全质量检测学报，2020，11(14)：4836-4840.
ZHAO L，HU B C，WANG L L，et al. Evaluation of uncertainty of aerobic plate count in pastry[J]. Journal of Food Safety and Quality，2020，11(14)：4836-4840.（in Chinese）

[21] 靳浩元，刘军. 测量不确定度的评定方法及应用研究[J]. 计量科学与技术，2021，65(5)：124-131.
JIN H Y，LIU J. The evaluation method and application research of measurement uncertainty [J]. Metrology Science and Technology，2021，65（5）：124-131.（in Chinese）

[22] 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，2015.

[23] 国家质量监督检验检疫总局. 常用玻璃量器：JJG 196—2006[S]. 北京：中国计量出版社，2007.

[24] 国家质量监督检验检疫总局. 移液器：JJG 646—2006[S]. 北京：中国计量出版社，2007.

[25] Advisory Commission for Microbiology. Uncertainty of quantitative determinations derived by cultivation of microorganisms[S]. Helsinki：Centre for Metrology and Accreditation，2003.

[26] 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 培养基和试剂的质量要求：GB 4789.28—2013[S]. 北京：中国标准出版社，2014.

[27] 郑东宇，乔昕，王燕梅，等. 保健品检验中样品性状对实验室微生物定量不确定度评定的影响[J]. 中国卫生检验杂志，2020，30(9)：1046-1049.
ZHENG D Y，QIAO X，WANG Y M，et al. Effect of sample characteristics on quantification uncertainty evaluation of laboratory microorganism in health care products test[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology，2020，30(9)：1046-1049.（in Chinese）

[28] 张卫军，王洪艳. 食品中菌落总数检测结果不确定度的评定[J]. 现代预防医学，2013，40(3)：533-535.
ZHANG W J，WANG H Y. Uncertainty evaluation on test results of total number of colonies in food [J]. Modern Preventive Medicine，2013，40(3)：533-535.（in Chinese）

[29] 中华人民共和国卫生部. 蜡样芽胞杆菌食物中毒诊断标准及处理原则：WS/T 82—1996[S]. 北京：中国标准出版社，1997.

[30] 叶红萍. 从雅士利婴儿配方奶粉中检出蜡样芽胞杆菌[J]. 海峡预防医学杂志，2008，14(1)：4.
YE H P. Detection of *Bacillus cereus* from Yashili infant formula[J]. Strait Journal of Preventive Medicine，2008，14(1)：4.（in Chinese）

（责任编辑：许艳超）