

# 吸收法测定纺织品抗菌性能的不确定度评定

胡凌云, 射本康夫

上海可泰检验有限公司, 上海

收稿日期: 2021年11月28日; 录用日期: 2021年12月21日; 发布日期: 2021年12月30日

## 摘要

目的: 建立纺织品抗菌性试验的不确定度分析方法。方法: 以吸收法测定纺织品对金黄色葡萄球菌的抑菌值为例, 分析不确定度来源; 采用A类或B类方法评定各分量的不确定度; 根据测量模型和不确定度传播律, 求灵敏系数、相关系数, 计算合成不确定度, 确定扩展不确定度。结果: 当抑菌值为3.13时, 吸收法测定的扩展不确定度为0.73。结论: 本文为抗菌性吸收法的测量不确定度评估提供参考。

## 关键词

抗菌性, 测量不确定度, 吸收法, 纺织品

# The Uncertainty Evaluation of Absorption Method in Antibacterial Activity of Textile

Lingyun Hu, Yasuo Imoto

Shanghai QTEC Testing Laboratory Co., Ltd., Shanghai

Received: Nov. 28<sup>th</sup>, 2021; accepted: Dec. 21<sup>st</sup>, 2021; published: Dec. 30<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

**Objective:** To establish an uncertainty analysis method for the determination of antibacterial activity of textile products. **Methods:** Taking the absorption method against *Staphylococcus aureus* as an example, the uncertainty source was analyzed, the uncertainty factors were evaluated by Type A or Type B, the sensitivity coefficient and the correlation coefficient can be gotten according to the measurement model and the uncertainty propagation law, the combined standard uncertainty was calculated, and the expanded uncertainty was reported. **Results:** The expanded uncertainty is 0.73 when the antibacterial activity value is 3.13. **Conclusion:** This paper provides reference for the uncertainty evaluation of the determination of antibacterial activity value.

## Keywords

Antibacterial Activity, Measurement Uncertainty, Absorption Method, Textile

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

测量不确定度, 简称不确定度, 是根据所用到的信息, 表征赋予被测量值分散性的非负参数[1] [2]。评定测量不确定度, 可以了解测量结果的可信赖程度; 进而还可以对测量系统设计提供参考[3] [4]。

《GB/T 20944.2-2007 纺织品抗菌性能的评价第 2 部分: 吸收法》测定纺织品抗菌性能[5], 是将待测试样与对照样分别用试验菌液接种, 并进行培养后洗脱, 测定洗脱液中的菌落数并计算抑菌率或抑菌值, 以此评价试样的抗菌效果。目前尚没有相关的不确定度评定文献。自 2019 年 12 月始, 由新冠病毒引发的肺炎肆虐全球, 抗病毒产品供不应求。虽然抗菌产品与抗病毒产品的作用机理大不相同[6], 但是具有抗菌性能纺织品的测试样品数量仍然暴增。测试报告越多, 越需要了解抗菌性测量结果的可信赖程度。

不确定度评定的方法有灰色系统理论法[7], 贝塞尔公式法等。本文按照《JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示》, 用贝塞尔公式、GUM 法对抑菌值的测量不确定度进行评定。国际标准 ISO 20743:2013 中 8.1 吸收法[8], 以及日本标准 JIS L 1902:2015 中 8.1 [9], 都有类似抗菌性能试验方法, 其抑菌值的测量不确定度也可以参考本文。

## 2. 建立测量模型和分析不确定度来源

### 2.1. 试验菌种、仪器与试剂

- 1、菌种: 金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus* NBRC12732。
- 2、瓶口分液器 25 mL: 最小刻度 0.5 mL, 可估读至 0.1 mL。
- 3、瓶口分液器 10 mL: 最小刻度 0.2 mL, 可估读至 0.1 mL。
- 4、移液器 1 mL: 1000 uL 时, 校准证书上报告相对扩展不确定度为  $U_{rel} = 0.2\%$ , ( $k = 2$ )。
- 5、计数器
- 6、营养肉汤(NB): 美国 BD 公司, 货号 234000。
- 7、营养肉汤 1/20 (1/20NB):

| 步骤 1     |        | 步骤 2    |        |
|----------|--------|---------|--------|
| 营养肉汤(NB) | 0.8 g  | 步骤 1 溶液 | 25 mL  |
| 吐温 80    | 1.0 g  | 二级水     | 475 mL |
| 二级水      | 100 mL |         |        |

- 8、平板计数琼脂(PCA): 上海博微生物科技有限公司, 货号 BW001。
- 9、吐温 80: 富士和光纯药株式会社, 货号 166-21595。
- 10、氯化钠: 江苏强盛功能化学股份有限公司,  $\geq 99.5\%$ 。
- 11、洗出用生理盐水: 氯化钠 8.5 g, 吐温 80 2.0 g, 二级水定容至 1000 mL。

12、生理盐水: 氯化钠 8.5 g, 二级水定容至 1000 mL。

## 2.2. 试验步骤

### 2.2.1. 制样

从有抗菌效果的样品上选取待测试样, 剪成 3 cm × 3 cm 大小, 称取 0.40 g ± 0.05 g 作为一个试样, 放入约 30 mL 玻璃小瓶里, 共制作 3 个待测试样。另取无抗菌效果的标准布作为对照试样, 也制作 3 个平行样。高温高压灭菌后备用。

### 2.2.2. 稀释液准备

生理盐水分注在长试管中, 每支 9 mL, 作为稀释液。高温高压灭菌后, 存储在 4°C ± 2°C 冰箱内备用。

### 2.2.3. 菌液调制

用 1/20 NB 调节菌液浓度为 1 × 10<sup>5</sup> CFU/mL ~ 3 × 10<sup>5</sup> CFU/mL, 作为试验菌液。

### 2.2.4. 试样接种

用移液器取试验菌液 0.2 mL 分散接种在每个小瓶内的试样上。

### 2.2.5. 接种后培养洗脱

将已接种试验菌液的 3 个待测试样和 3 个对照样小瓶在 37°C ± 2°C 下培养 18 h~24 h。培养后分别加入洗出用生理盐水 20 mL, 将细菌洗下。

### 2.2.6. 稀释

用移液器取 1 mL 洗脱液, 注入 9 mL 稀释液, 即稀释 10 倍。继续稀释 100、1000、10000 倍。包括洗脱液共 5 个稀释度, 每个稀释度各取 1 mL 分别注入两个培养皿中。加入 45°C~46°C 的平板计数琼脂约 15 mL。待培养基凝固后, 将培养皿倒置, 37°C ± 2°C 下培养 24 h~48 h。

### 2.2.7. 菌落数测定

培养后, 计数出现 30 个~300 个菌落培养皿上的菌落数(CFU)。若无稀释的小于 30 个, 则按实际数量记录。

## 2.3. 建立测量模型

### 2.3.1. 按照式(1)计算菌落数

$$M = \frac{Z}{a} \times \left( \frac{a+b}{a} \right)^x \times V \quad (1)$$

式中:  $M$ ——每个试样的菌落数, 对照试样用  $C$  表示, 待测试样用  $T$  表示;

$Z$ ——2 个培养皿菌落数的平均值; 对照试样用  $Z_C$  表示, 待测试样用  $Z_T$  表示;

$a$ ——移液器移液体积,  $a = 1$  mL;

$b$ ——稀释液体积,  $b = 9$  mL;

$x$ ——稀释次数,  $x = 1, 2, 3, 4$ ;

$\left( \frac{a+b}{a} \right)^x$ ——稀释倍数;

$V$ ——洗出液的体积,  $V = 20$  mL。

### 2.3.2. 按照式(2)计算抑菌值

$$A = \lg C - \lg T \quad (2)$$

式中:  $A$ ——抑菌值;

$\lg C$ ——3 个对照样接种并培养 18~24 小时后, 测得的菌落数的平均值的常用对数值;

$\lg T$ ——3 个待测试样接种并培养 18~24 小时后, 测得的菌落数的平均值的常用对数值;

### 2.3.3. 建立测量模型

若对对照样稀释 4 次( $x=4$ ), 待测试样稀释 1 次( $x=1$ ), 则由式(1)可得:

$$\lg C = \lg \left[ \frac{Z_C}{a} \times \left( \frac{a+b}{a} \right)^4 \times V \right], \lg T = \lg \left[ \frac{Z_T}{a} \times \left( \frac{a+b}{a} \right) \times V \right]$$

代入式(2):

$$A = \lg \left[ \frac{Z_C}{a} \times \left( \frac{a+b}{a} \right)^4 \times V \right] - \lg \left[ \frac{Z_T}{a} \times \left( \frac{a+b}{a} \right) \times V \right]$$

$$A = \lg Z_C - 5 \lg a + 4 \lg(a+b) + \lg V - \lg Z_T + 2 \lg a - \lg(a+b) - \lg V \quad (3)$$

式(3)即是抑菌值的测量模型。虽然从数学上讲, 有些项可以抵消, 但从不确定度来讲, 这些步骤都带来不确定度, 所以不能抵消。

## 2.4. 测量不确定度来源分析

根据抑菌值的测量模型式(3), 培养皿的菌落数、移液器移液体积、稀释液体积、洗出液体积都带来不确定度, 其中培养皿的菌落数用 A 类方法评定, 其它 3 项可以用 B 类方法评定。

取样的代表性差异, 以及试样尺寸差异, 体现于重复性不确定度, 包括在菌落数的不确定度中。

由于菌液是悬浊液, 所以取 2 个培养皿菌落数的平均值之后, 悬浊液不均匀性带来的不确定度就不再单独考虑。

操作过程环境温度及稀释液温度, 都会影响结果的准确性[10]。试验操作在 23℃ 室温下进行, 洗出液和稀释液使用前均保存在 4℃ ± 2℃ 冰箱内, 本次评定不考虑温度带来的不确定度。

## 3. 评定标准不确定度

### 3.1. 合成标准不确定度的计算公式

若令:  $y_1 = \lg Z_C$ ,  $y_2 = \lg a$ ,  $y_3 = \lg(a+b)$ ,  $y_4 = \lg V$ ,  $y_5 = \lg Z_T$ ; 则式(3)可写成:

$$A = y_1 + (-5)y_2 + 4y_3 + y_4 + (-1)y_5 + 2y_2 + (-1)y_3 + (-1)y_4 \quad (4)$$

根据不确定度传播律, 当测量模型为  $Y = A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_N X_N$ , 且各输入量不相关时, 合成标准不确定度  $u_c(y)$  可用公式(5)计算,

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N A_i^2 u^2(x_i)} \quad (5)$$

因此抑菌值  $A$  的合成标准不确定度  $u_c(A)$  按式(6)计算:

$$u_c(A) = \sqrt{u^2(y_1) + 5^2 u^2(y_2) + 4^2 u^2(y_3) + u^2(y_4) + u^2(y_5) + 2^2 u^2(y_2) + u^2(y_3) + u^2(y_4)}$$

$$u_c(A) = \sqrt{u^2(y_1) + 29u^2(y_2) + 17u^2(y_3) + 2u^2(y_4) + u^2(y_5)} \quad (6)$$

### 3.2. 标准不确定度的 A 类评定

#### 3.2.1. 重复试验数据

对培养皿的菌落数  $Z$  ( $Z_C$  和  $Z_T$ ), 进行 7 次独立观测 ( $m = 7$ ), 每次 3 个平行样 ( $n = 3$ ), 得到菌落数 7 组数据以及每次的抑菌值见表 1。可用 A 类评定方法得到实验标准偏差。

#### 3.2.2. 实验标准偏差

第  $j$  次独立观测时的实验标准偏差  $s_j(Z_j)$ , 用贝塞尔公式(7)计算:

$$s_j(Z_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Z_{ij} - \bar{Z}_j)^2} \quad (7)$$

式中:  $n$ ——平行样的数量,  $n = 3$ ;

$Z_{ij}$ ——第  $j$  次独立观测时, 得到  $n$  个独立测得值  $Z_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

$\bar{Z}_j$ ——第  $j$  次独立观测时,  $n$  个独立测得值的算术平均值。

以第 1 组数据为例, 用式(7)计算得到第 1 次独立观测时的实验标准偏差  $s(Z_C)$  和  $s(Z_T)$  见表 2。为方便统计, 将待测试样稀释 100 倍和不稀释的数据, 全部换算成稀释 10 倍。其它 6 组实验标准偏差见表 3。

#### 3.2.3. 平均值的标准不确定度

合并样本标准偏差  $s_p$  按式(8)计算:

$$s(Z) = s_p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m s_j^2}{m}} \quad (8)$$

式中:  $s(Z)$ ——实验标准偏差;

$s_p$ ——合并样本标准偏差;

$s_j$ ——第  $j$  次独立观测时的实验标准偏差;

$m$ ——独立观测次数 ( $j = 1, 2, \dots, m$ );

在过程参数  $s_p$  已知的情况下, 由该测量过程对培养皿的菌落数 ( $Z$ ) 在同一条件下进行  $n$  次独立重复观测, 则测量结果的 A 类标准不确定度按公式(9)计算:

$$u_A(Z) = s_p / \sqrt{n} \quad (9)$$

用式(8)、式(9)计算得到培养皿菌落数的 A 类标准不确定度如下:

对照样菌落数的合并样本标准偏差:

$$s(Z_C) = s_p = \sqrt{\frac{1}{7} (7.0887^2 + 6.5256^2 + 3.5^2 + 16.703^2 + 3.9686^2 + 9.5394^2 + 9.7596^2)} = 9.1502$$

对照样菌落数的标准不确定度(平行样  $n = 3$ ):

$$u_A(Z_C) = \frac{9.1502}{\sqrt{3}} = 5.2830$$

待测试样菌落数的合并样本标准偏差:

$$s(Z_T) = s_p = \sqrt{\frac{1}{7} (481.00^2 + 2.2338^2 + 44.945^2 + 2.8308^2 + 0.7006^2 + 104.75^2 + 243.32^2)} = 208.25$$

待测试样菌落数的标准不确定度(平行样  $n = 3$ ):

$$u_A(Z_T) = \frac{208.25}{\sqrt{3}} = 120.24$$

**Table 1.** Seven groups of test data and antibacterial activity value  
**表 1.** 试验数据 7 组及抑菌值

| 试验次数 $M$ | 对照样菌落数 $Z_C$ |       |       | 待测试样菌落数 $Z_T$ |       |       | 抑菌值 $A$ |
|----------|--------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------|
|          | 稀释倍数         | 培养皿 1 | 培养皿 2 | 稀释倍数          | 培养皿 1 | 培养皿 2 |         |
| 1        | 10,000       | 65    | 70    | 100           | 96    | 101   | 2.22    |
|          | 10,000       | 83    | 79    | 100           | 37    | 32    |         |
|          | 10,000       | 83    | 73    | 10            | 45    | 41    |         |
| 2        | 10,000       | 159   | 147   | 1             | 157   | 137   | 3.98    |
|          | 10,000       | 148   | 152   | 1             | 125   | 147   |         |
|          | 10,000       | 130   | 151   | 1             | 198   | 160   |         |
| 3        | 10,000       | 51    | 61    | 10            | 45    | 31    | 2.79    |
|          | 10,000       | 46    | 59    | 10            | 120   | 135   |         |
|          | 10,000       | 48    | 50    | 10            | 98    | 82    |         |
| 4        | 10,000       | 62    | 67    | 1             | 48    | 54    | 4.10    |
|          | 10,000       | 85    | 110   | 1             | 90    | 108   |         |
|          | 10,000       | 78    | 93    | 1             | 46    | 52    |         |
| 5        | 10,000       | 83    | 92    | 1             | 105   | 93    | 4.00    |
|          | 10,000       | 111   | 79    | 1             | 99    | 84    |         |
|          | 10,000       | 84    | 94    | 1             | 88    | 82    |         |
| 6        | 10,000       | 60    | 64    | 10            | 228   | 207   | 2.59    |
|          | 10,000       | 42    | 44    | 1             | 197   | 201   |         |
|          | 10,000       | 48    | 60    | 10            | 180   | 178   |         |
| 7        | 10,000       | 41    | 46    | 100           | 44    | 44    | 2.26    |
|          | 10,000       | 67    | 59    | 100           | 45    | 40    |         |
|          | 10,000       | 60    | 48    | 1             | 118   | 107   |         |

**Table 2.** The experimental standard deviation  $s(Z_C)$  and  $s(Z_T)$  of the 1<sup>st</sup> test

**表 2.** 第 1 次独立观测的实验标准偏差  $s(Z_C)$  和  $s(Z_T)$

|      | 稀释倍数   | 对照样菌落数 |       | 菌落数平均值 | 3 平行样菌落数平均值 | 实验标准偏差根据式(7)  |
|------|--------|--------|-------|--------|-------------|---|
|      |        | 培养皿 1  | 培养皿 2 |        |             |   |
| 对照样  | 10,000 | 65     | 70    | 67.5   | 75.5        | $s(Z_{C1}) = \sqrt{\frac{1}{2}(8^2 + 5.5^2 + 2.5^2)} = 7.0887$            |
|      | 10,000 | 83     | 79    | 81     |             |   |
|      | 10,000 | 83     | 73    | 78     |             |   |
| 待测试样 | 10     | 960    | 1010  | 985    | 457.67      | $s(Z_{T1}) = \sqrt{\frac{1}{2}(527.33^2 + 112.67^2 + 414.67^2)} = 481.00$ |
|      | 10     | 370    | 320   | 345    |             |   |
|      | 10     | 45     | 41    | 43     |             |   |

**Table 3.** The experimental standard deviation  $s(Z_C)$  and  $s(Z_T)$  of the 2<sup>nd</sup> to 7<sup>th</sup> test**表 3.** 第 2 次至第 7 次独立观测的实验标准偏差  $s(Z_C)$  和  $s(Z_T)$ 

| 试验次数     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $s(Z_C)$ | 6.5256 | 3.5    | 16.703 | 3.9686 | 9.5394 | 9.7596 |
| $s(Z_T)$ | 2.2338 | 44.945 | 2.8308 | 0.7006 | 104.75 | 243.32 |

### 3.2.4. 抑菌值的最佳估计值

由于式(2)是非线性函数, 所以抑菌值  $A$  的最佳估计值应按式(10)计算:

$$A = \bar{A} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m A_j \quad (10)$$

将表 1 中抑菌值数据代入式(10):

$$A = \frac{1}{7} [2.22 + 3.98 + 2.79 + 4.10 + 4.00 + 2.59 + 2.26] = 3.13$$

### 3.3. 标准不确定度 B 类评定

移液器移液体积、稀释液体积、洗出液体积, 可以用 B 类评定方法得到标准偏差估计值。

移液器移液体积  $a = 1$  mL; 校准证书上报告相对扩展不确定度为  $U_{rel} = 0.2\%$ , ( $k = 2$ )。则 B 类标准不确定度为:

$$u_B(a) = \frac{0.2\% \times 1 \text{ mL}}{k} = 0.001 \text{ mL}$$

稀释液体积  $b = 9$  mL, 使用瓶口分液器分装, 瓶口分液器最小刻度 0.2 mL, 可估读至 0.1 mL。假设为均匀分布, 那么  $k = \sqrt{3}$ , 则 B 类标准不确定度为:

$$u_B(b) = \frac{0.1 \text{ mL}}{\sqrt{3}} = 0.057735 \text{ mL}$$

洗出液体积  $V = 20$  mL, 使用瓶口分液器分注, 瓶口分液器最小刻度 0.5 mL, 可估读至 0.1 mL。假设为均匀分布, 那么  $k = \sqrt{3}$ , 则 B 类标准不确定度为:

$$u_B(V) = \frac{0.1 \text{ mL}}{\sqrt{3}} = 0.057735 \text{ mL}$$

## 4. 计算合成标准不确定度

### 4.1. 不确定度传播律

公式(11)被称为不确定度传播律, 是计算合成标准不确定度的通用公式。

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)} \quad (11)$$

式中:  $y$ ——被测量  $Y$  的估计值, 又称输出量的估计值;

$x_i$ ——输入量  $X$  的估计值, 又称第  $i$  个输入量的估计值;

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$ ——被测量  $Y$  与有关的输入量  $X_i$  之间的函数对于输入量  $x_i$  的偏导数, 称灵敏系数;

$u(x_i)$ 、 $u(x_j)$ ——分别是输入量  $x_i$  和  $x_j$  的标准不确定度;

$r(x_i, x_j)$ ——输入量  $x_i$  和  $x_j$  的相关系数。

## 4.2. 计算灵敏系数

由表 1 中数据先计算对照样和待测试样菌落数的平均值:

$$Z_C = 79.333, \quad Z_T = 143.56$$

再由定义  $y_1 = \lg Z_C$ ,  $y_2 = \lg a$ ,  $y_3 = \lg(a+b)$ ,  $y_4 = \lg V$ ,  $y_5 = \lg Z_T$ ; 计算灵敏系数如下:

$$\begin{aligned} \frac{\partial y_1}{\partial Z_C} &= \frac{1}{Z_C \ln 10} = 0.0054743; & \frac{\partial y_2}{\partial a} &= \frac{1}{a \ln 10} = 0.43429 \text{ mL}^{-1}; \\ \frac{\partial y_3}{\partial a} &= \frac{1}{(a+b) \ln 10} = 0.043429 \text{ mL}^{-1}; & \frac{\partial y_3}{\partial b} &= \frac{1}{(a+b) \ln 10} = 0.043429 \text{ mL}^{-1}; \\ \frac{\partial y_4}{\partial V} &= \frac{1}{V \ln 10} = 0.021715 \text{ mL}^{-1}; & \frac{\partial y_5}{\partial Z_T} &= \frac{1}{Z_T \ln 10} = 0.0030251 \end{aligned}$$

## 4.3. 计算合成不确定度

使用 A 类和 B 类标准不确定度的评定结果以及灵敏系数, 计算各输出量的合成标准不确定度的平方如下:

$$u_c^2(y_1) = \left( \frac{\partial y_1}{\partial Z_C} \right)^2 u_A^2(Z_C) = 8.3642 \times 10^{-4}; \quad u_c^2(y_5) = \left( \frac{\partial y_5}{\partial Z_T} \right)^2 u_A^2(Z_T) = 0.13230$$

$$u_c^2(y_2) = \left( \frac{\partial y_2}{\partial a} \right)^2 u_B^2(a) = 1.8861 \times 10^{-7}; \quad u_c^2(y_4) = \left( \frac{\partial y_4}{\partial V} \right)^2 u_B^2(V) = 1.5718 \times 10^{-6}$$

而  $y_3$  有 2 个输入量  $a$  与  $b$ , 且  $a$  与  $b$  不相关  $r(x_i, x_j) = 0$ , 则:

$$\begin{aligned} u_c^2(y_3) &= \left( \frac{\partial y_3}{\partial a} \right)^2 u_B^2(a) + \left( \frac{\partial y_3}{\partial b} \right)^2 u_B^2(b) \\ \left( \frac{\partial y_3}{\partial a} \right)^2 u_B^2(a) &= 1.8861 \times 10^{-9}; \quad \left( \frac{\partial y_3}{\partial b} \right)^2 u_B^2(b) = 6.2869 \times 10^{-6}; \\ u_c^2(y_3) &= 1.8861 \times 10^{-9} + 6.2869 \times 10^{-6} = 6.2888 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

可以看到  $y_3$  的 2 个不确定度分量中, 移液器带来的仅占 0.03%, 主要是稀释液体积带来的不确定度。汇总各分量的标准不确定度如表 4。

**Table 4.** The summary of uncertainty component's contribution

**表 4.** 不确定度各分量贡献汇总表

| 分量名称        | 标准不确定度                         | 灵敏系数                       | 合成不确定度                                 |
|-------------|--------------------------------|----------------------------|--|
| 对照样(标准布)菌落数 | $u_A(Z_C) = 5.2830$            | $5.4743 \times 10^{-3}$    | $u_c^2(y_1) = 8.3642 \times 10^{-4}$   |
| 移液器         | $u_B(a) = 0.001 \text{ mL}$    | $0.43429 \text{ mL}^{-1}$  | $29u_c^2(y_2) = 5.4697 \times 10^{-6}$ |
| 稀释液体积       | $u_B(b) = 0.057735 \text{ mL}$ | $0.043429 \text{ mL}^{-1}$ | $17u_c^2(y_3) = 1.0691 \times 10^{-4}$ |
| 洗出液体积       | $u_B(V) = 0.057735 \text{ mL}$ | $0.021715 \text{ mL}^{-1}$ | $2u_c^2(y_4) = 3.1435 \times 10^{-6}$  |
| 待测试样菌落数     | $u_A(Z_T) = 120.24$            | $3.0251 \times 10^{-3}$    | $u_c^2(y_5) = 0.13230$                 |



将以上数据代入式(6), 得到抑菌值的合成标准不确定度:

$$u_c(A) = \sqrt{8.3642 \times 10^{-4} + 5.4697 \times 10^{-6} + 1.0691 \times 10^{-4} + 3.1435 \times 10^{-6} + 0.13230} = 0.365$$

## 5. 确定扩展不确定度

在通常测量中, 一般取包含因子  $k$  为 2, 则扩展不确定度  $U$  为:

$$U = k \times u_c(A) = 2 \times 0.365 = 0.73$$

## 6. 报告测量结果

抑菌值  $A = 3.13$  时, 扩展不确定度  $U = 0.73$ , 即:  $A = 3.13 \pm 0.73$ , 包含因子  $k = 2$ 。

综合考虑各分量的标准不确定度, 以及灵敏系数可知, 不确定度的来源中, 待测试样重复性带来的不确定度贡献最大, 其次分别是对照样重复性和稀释液体积的不确定度。

## 7. 讨论

待测试样(纺织品)本身抗菌性能不均匀, 导致不确定度较大。JIS L 1902:2015 标准较前一版本, 增加了待测试样的试验成立判定: “3 个平行样菌落数对数值的最大值和最小值的差小于 2 时, 判定试验成立”; 而 3 个对照样(标准布)的必须小于 1, 试验才判定成立。即考虑到纺织品抗菌性能的不均匀性。

为减少稀释带来的不确定度, SN 标准可以采用取 10 mL 洗脱液( $a = 10$  mL)注入 90 mL 稀释液( $b = 90$  mL)中[11], 即此时灵敏系数减小 10 倍。

抑菌值的计算是将菌落数取对数, 所以测量模型复杂化, 不确定度评定的计算步骤增多。

## 参考文献

- [1] 张明霞, 林志国, 吉黎明, 等. GB/T 27418-2017 测量不确定度评定和表示[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [2] 叶德培, 赵峰, 施昌彦, 等. JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定和表示[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [3] 朱建敏, 周胜, 胡友森. 反应堆压力容器水位测量不确定度评定研究[J]. 核科学与技术, 2017, 5(1): 29-35.
- [4] 邓昱, 张昕宇, 何涛, 等. 太阳能热水器热性能试验装置热性能测量不确定度分析[J]. 可持续能源, 2016, 6(1): 12-21.
- [5] 郑宇英, 商成杰, 邹海清, 等. GB/T 20944.2-2007 纺织品抗菌性能的评价第 2 部分: 吸收法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [6] 胡力主. 纺织品抗菌性能与抗病毒性能评价方法比较[J]. 印染助剂, 2020(9): 62-64.
- [7] 岳涛, 张秀杰, 郭艳丽. 灰色系统理论在化学检测不确定度评定中的应用[J]. 化学工程与技术, 2013(3): 199-202.
- [8] Technical Committee ISO/TC 38 with CEN/TC 248 (2013) ISO 20743: 2013 Textiles-Determination of Antibacterial Activity of Textile Products. International Organization for Standardization, Switzerland.
- [9] 日本一般社团法人纤维评价技术协议会. JIS L 1902:2015 纤维制品的抗菌性试验方法及抗菌效果[S]. 东京: 一般财团法人日本规格协会, 2015.
- [10] 王俊起, 王友斌, 薛金荣, 等. 纺织品抗菌功能测试方法研究[J]. 中国卫生工程学, 2003(8): 129-132.
- [11] 李志培, 邓明义. SN 0168-92 出口食品平板菌落计数[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.