

# 电感耦合等离子体质谱法测定食品中铅的不确定度评定

金芝梅<sup>1,2</sup>, 张妍楠<sup>1,2\*</sup>, 王富强<sup>1,2</sup>, 张永国<sup>1,2</sup>, 赵康平<sup>1,2</sup>, 陈泽<sup>1,2</sup>

(1. 兰州分离科学研究所, 兰州 730010; 2. 甘肃国信润达分析测试中心, 兰州 730010)

**摘要:** **目的** 评定电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)测定食品中铅的不确定度。**方法** 根据 GB 5009.12《食品安全国家标准 食品中铅的测定》, 采用电感耦合等离子体质谱法测定食品中铅, 根据不确定度评定规程, 建立不确定度评定的数学模型, 系统性评价测量过程的不确定度。**结果** 当食品中铅含量为 0.333 mg/kg 时, 其扩展不确定度为 0.03 mg/kg ( $P=95\%$ ,  $k=2$ ), 测定结果为  $(0.333\pm 0.03)$  mg/kg。**结论** 标准曲线拟合引入的不确定度是食品中铅测量不确定度的主要贡献因子。**关键词:** 电感耦合等离子体质谱法; 食品; 铅; 不确定度

## Uncertainty evaluation for the determination of lead in food by inductively coupled plasma-mass spectrometry

JIN Zhi-Mei<sup>1,2</sup>, ZHANG Yan-Nan<sup>1,2\*</sup>, WANG Fu-Qiang<sup>1,2</sup>, ZHANG Yong-Guo<sup>1,2</sup>, ZHAO Kang-Ping<sup>1,2</sup>, CHEN Ze<sup>1,2</sup>

(1. The Separating Scientific Institute of Lanzhou, Lanzhou 730010, China;  
2. Gansu Guoxinrun da Analytical Testing Center, Lanzhou 730010, China)

**ABSTRACT: Objective** To evaluate the uncertainty of determination of lead in food by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). **Methods** Based on the method of GB 5009.12—2017 “National food safety standard determination of lead in foods”, the lead in food was measured by ICP-MS. According to the evaluation rules of uncertainty, the mathematical model of uncertainty evaluation was established, then the systematic evaluation of uncertainty was evaluated in the whole measurement process. **Results** When the concentration of lead in food was 0.333 mg/kg, the expanded uncertainty was 0.03 mg/kg and the result was expressed as  $(0.333\pm 0.03)$  mg/kg. **Conclusion** The uncertainty introduced by standard curve fitting is the main factor contributing to the uncertainty of the measurement of lead in food.

**KEY WORDS:** inductively coupled plasma mass spectrometry; food; lead; uncertainty

## 0 引言

目前重金属污染已逐渐成为了食品污染的重要组成部分, 其中铅污染是最严重的重金属污染之一<sup>[1]</sup>。铅可损

害人体神经、血液、消化和免疫等系统, 对人体健康带来了许多不良影响, 铅已列为食品污染物监测的必测项目<sup>[2]</sup>。因此从食品安全和人类健康等方面研究和监管食品中铅的含量, 具有至关重要的科学价值和现实意义<sup>[3-4]</sup>。根

\*通信作者: 张妍楠, 硕士, 工程师, 主要研究方向为质谱食品检测中的应用。E-mail: xphxph113@163.com

\*Corresponding author: ZHANG Yan-Nan, Master, Engineer, Gansu Institute of Business and Technology, Co., Ltd., Lanzhou 730010, China. E-mail: xphxph113@163.com

据 GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》<sup>[5]</sup>, 电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)是国内外发展最迅速的一种新型检测技术<sup>[6-8]</sup>, 其进样技术简单、极低的检出限、运行周期比较短、受干扰程度小等, 更重要的是可多元素同时测定和与其他进样技术联用<sup>[9-10]</sup>。为确保检测结果的精密性和准确性, 需要进行测量不确定度的评定, 从而减少实验误差, 满足分析要求<sup>[11-12]</sup>。本研究依据 GB 5009.12—2017 中的第二法部分, 并依据标准 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》<sup>[13]</sup>, 剖析食品中铅测定实验过程中的不确定度的主要来源, 对测量不确定度进行分析评定。对食品中铅含量进行准确测量是保障食品安全的重要前提, 也是对检测结果的重要说明。本研究评估 ICP-MS 法测量食品中铅含量的不确定度, 作为食品中铅含量检测结果质量进行定量评定和对检测结果偏差作全面评估的一项重要参数, 以期为企业质量控制提供相关的数据支持和技术支撑。

## 1 方法与材料

### 1.1 仪器与试剂

iCAP Q 电感耦合等离子体仪[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; CEM MARs6 微波消解仪(培安有限公司); ME204E 电子天平[梅特勒仪器(中国)有限公司]; BHW-09C 恒温消解仪(上海博通化学公司)。

硝酸(优级纯, 四川西陇化工有限公司)。本方法所使用实验用水为去离子水。

### 1.2 测定方法

依据 GB 5009.12—2017<sup>[14]</sup>, 在满足实验室温湿度条件的情况下, 使用电感耦合等离子体质谱仪进行测定。微波消解内罐中称取 0.5 g(精确至 0.0001 g)样品, 加入 6 mL 硝酸(优级纯), 2 mL 一级蒸馏水, 旋紧罐盖放置 1 h, 放入微波消解仪进行消解。自然冷却, 在控温电热板上于 100 °C 加热赶酸后, 用水定容至 25 mL 容量瓶中, 混匀备用, 同时做空白试验。参照 ICP-MS 检测流程, 测定空白溶液及系列标准物质, 根据测得的响应值, 建立相应的线性方程, 并利用该线性方程读出浓度值计算其结果。

### 1.3 建立数学模型及不确定度来源识别

根据 GB 5009.12—2017 中测量结果的计算公式建立评定铅含量测量不确定度的数学模型。本研究计算铅元素含量计算公式如下:

$$W = \frac{C \times V}{m \times 1000} \quad (1)$$

式中:  $W$ —试样中元素含量, mg/kg;

$V$ —试样定容体积, mL;

$C$ —测定试样中元素浓度,  $\mu\text{g/L}$ ;

$m$ —试样质量, g。

根据数学模型分析及方法简述, 可得出 ICP-MS 法测定食品中铅含量不确定度主要来源于: (1)样品前处理过程引入的不确定度; (2)标准物质配制引入的不确定度; (3)样品重复测定引入的不确定度; (4)拟合标准曲线引入的不确定度。

## 2 结果与分析

### 2.1 样品前处理过程引入的不确定度

#### 2.1.1 样品称量引入的标准不确定度 $u(m)$

本测定使用电子分析天平(精确至 0.0001 g), 该天平的最大允差为 $\pm 0.0001$  g, 按均匀分布计算, 则  $k=3$ , 样品称量引起的标准不确定度为:

$$u(m) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0.0001}{\sqrt{3}} = 0.000058 \text{ g}。$$

同一样品重复称取 10 次, 称取质量为 0.5000 g, 则由样品质量引起的相对不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(m) = \frac{u(m)}{10 \times m} = \frac{0.000058}{10 \times 0.5000} = 0.0012\%。$$

#### 2.1.2 样品定容体积 $V$ 的标准不确定度 $u(V)$

样品的定容体积  $V$  的标准不确定度包括 2 个分量:

(1)容量器具的标准不确定度( $V_1$ ): 参照 JJG 196—2006《常用玻璃量器检定规程》<sup>[15]</sup>: 所使用 25 mL 容量瓶符合 A 级要求, 其容量允差为 $\pm 0.025$  mL。按均匀分布, 其标准不确定度为:

$$u(V_1) = \frac{0.025 \text{ mL}}{\sqrt{3}} = 0.014 \text{ mL}。$$

(2)实验室温度效应引入的不确定度( $V_2$ ): 根据: JJG 196—2006《常用玻璃量器检定规程》<sup>[15]</sup>规定, 定容时温度环境在 $(20 \pm 5)$  °C 进行, 水的体积膨胀系数为  $2.1 \times 10^{-4}$  °C<sup>-1</sup>, 由温度效应导致的容量瓶最大相对体积变化为  $2.1 \times 10^{-4}$  °C<sup>-1</sup> × 25 mL × 5 °C = 0.026 mL<sup>[16]</sup>。按均匀分布, 其标准不确定度为:

$$u(V_2) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0.026 \text{ mL}}{\sqrt{3}} = 0.015 \text{ mL}。$$

因此, 由样品溶液的定容体积  $V$  引入的标准不确定度为:

$$u(V) = \sqrt{u(V_1)^2 + u(V_2)^2} = \sqrt{0.014^2 + 0.015^2} = 0.021 \text{ mL}。$$

样品定容体积  $V$  引入的相对不确定度为  $u_{\text{rel}}(V) = u(V)/V = 0.021/25 = 0.084\%$ 。

#### 2.1.3 消解回收率引入的不确定度 $u(\bar{R})$

对样品加标回收过程引入的不确定度, 参考 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》与 CNAS—GL06—2019《化学分析中不确定度的评估指南》<sup>[17]</sup>, 同时做 3 组加标回收实验, 根据表 1 中的回收率数据, 分

别计算加标回收率平均值  $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ 、回收率的标准偏差

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

为  $S(x)$ 、加标回收率不确定度  $u(\bar{R}) = S(x)/\sqrt{n}$ 、加标回收率相对不确定度  $u_{rel}(\bar{R}) = u(\bar{R})/\bar{R}$ , 结果如表 2 所示。

表 1 加标回收率实验结果  
Table 1 Experimental results of standard recovery

序号	加标值/(mg/kg)	实际测定值/(mg/kg)	回收率/%
1	0	0.333	/
2	0.4	0.727	98.5
3	0.4	0.719	96.5
4	0.4	0.733	100.0

表 2 加标回收率引入的不确定度  
Table 2 Uncertainty results of the standard recovery

项目	回收率平均值 $\bar{R}$	标准偏差 $S(x)$	加标回收率标准不确定度 $u(\bar{R})$	加标回收率相对不确定度 $u_{rel}(\bar{R})$
铅	98.3	1.76	1.01	1.03%

## 2.2 标准物质配制引入的不确定度 $u(C)$

### 2.2.1 由标准储备液引入的标准不确定度 $u(C_1)$

已知铅标准溶液 GSB—1742—2004(19B027-3)浓度为 1000  $\mu\text{g/mL}$ , 证书上铅元素的相对扩展不确定度为  $U=0.7\%(k=2)$ , 则标准储备液引入的相对标准不确定度  $u(C_1) = U/k = 0.7\%/2 = 0.35\%$ 。

### 2.2.2 稀释过程引入的标准不确定度 $u(C_2)$

本测定将 1000  $\mu\text{g/mL}$  标准储备液配制成 50  $\mu\text{g/L}$  标准使用液, 稀释过程使用 A 级 5 mL 移液管和 100 mL 容量瓶管各 3 支。

#### 2.2.2.1 移液管 $u(V_3)$

5 mL 移液管引起的相对不确定度有 2 个分量:

(1) 移液管的容量引起的不确定度  $u(V_{31})$

A 级 5 mL 单标移液管的容量允许偏差为  $\pm 0.01$  mL, 按均匀分布有:

$$u(V_{31}) = a/\sqrt{3} = 0.01/\sqrt{3} = 0.0058 \text{ mL}。$$

(2) 移液管温度变化引起的不确定度  $u(V_{32})$

设温度变化为  $\pm 5$   $^{\circ}\text{C}$ , 20  $^{\circ}\text{C}$  时水的膨胀系数:  $\alpha = 2.1 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , 按均匀分布, 则有: 由温度效应导致的移液管最大相对体积变化为  $2.1 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times 5 \text{ mL} \times 5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0.00525 \text{ mL}^{[15]}$ 。按均匀分布, 其标准不确定度为:

$$u(V_{32}) = a/\sqrt{3} = 0.00525/\sqrt{3} = 0.0030 \text{ mL}。$$

则移液管带来的标准不确定度为:

$$u(V_3) = \sqrt{u(V_{31})^2 + u(V_{32})^2} = \sqrt{0.0058^2 + 0.0030^2} = 0.0065 \text{ mL}。$$

相对不确定度为:

$$u_{rel}(V_3) = 0.0065/5 = 0.13\%。$$

#### 2.2.2.2 容量瓶 $u(V_4)$

100 mL 容量瓶引起的不确定度来自 2 个分量:

(1) 容量允差 20  $^{\circ}\text{C}$  时, A 级 100 mL 容量瓶的容量允差为  $\pm 0.10$  mL, 取矩形分布, 则容量瓶体积引入的不确定度为:

$$u(V_{41}) = a/\sqrt{3} = 0.1/\sqrt{3} = 0.058 \text{ mL}。$$

(2) 设温度变化为  $\pm 5$   $^{\circ}\text{C}$ , 20  $^{\circ}\text{C}$  时水的膨胀系数:  $\alpha = 2.1 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , 按均匀分布, 则由温度效应导致的容量瓶最大相对体积变化为  $2.1 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \times 100 \text{ mL} \times 5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0.105 \text{ mL}^{[16]}$ , 则容量瓶温度引入的不确定度为:

$$u(V_{42}) = a/\sqrt{3} = 0.105/\sqrt{3} = 0.061 \text{ mL}。$$

则容量瓶带来的标准不确定度:

$$u(V_4) = \sqrt{u(V_{41})^2 + u(V_{42})^2} = \sqrt{0.058^2 + 0.061^2} = 0.084 \text{ mL}。$$

相对不确定度为:

$$u_{rel}(V_4) = 0.084/100 = 0.084\%。$$

而稀释过程引入的相对不确定度是移液管和容量瓶带来的相对不确定度的合成:

$$u_{rel}(C_2) = \sqrt{u(V_3)^2 + u(V_4)^2} = \sqrt{0.13\%^2 + 0.084\%^2} = 0.15\%。$$

稀释 3 次, 则相对不确定度为:

$$u_{rel}(C_2) = \sqrt{0.15\%^2 + 0.15\%^2 + 0.15\%^2} = 0.26\%。$$

最后, 标准物质配制过程中引入的相对不确定度为标准储备液及稀释 3 次相对不确定度的合成, 则

$$u_{rel}(C) = \sqrt{u_{rel}(C_1)^2 + u_{rel}(C_2)^2} = \sqrt{0.35\%^2 + 0.26\%^2} = 0.44\%。$$

## 2.3 样品重复测定引入的不确定度

可通过连续测量得到测量列的方式, 采用 A 类方法评定, 在重复性条件下, 同一样品重复 10 次测量其铅含量, 得到的数据如表 3 所示。

表 3 10 次重复测量数值  
Table 3 Repeated measurements for 10 times

测量值/(mg/kg)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.331	0.335	0.327	0.338	0.337	0.326	0.335	0.330	0.335	0.338

此 10 次测量的平均值为:  $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 0.333 \text{ mg/kg}$ ,

因此单次实验标准差为： $S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.0044 \text{ mg/kg}$ ，因此测量重复性引入的标准不确定度为  $u(\bar{x}) = S(x)/\sqrt{n} = 0.0014$ ，则测量重复性引入的相对标准不确定度为： $u_{\text{rel}}(\bar{x}) = u(\bar{x})/\bar{x} = 0.42\%$ 。

## 2.4 拟合标准曲线引入的不确定度

以待测元素信号值和浓度做标准曲线，结果见表4。其引入的标准不确定度按式下列(1)和(2)计算，结果见表5所示。

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Ra_j - A_j)^2}{n-2}} \quad (1)$$

$$u(C_b) = \frac{S_R}{B} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{p} + \frac{(C_0 - \bar{C})^2}{\sum_{j=1}^n (C_j - \bar{C})^2}} \quad (2)$$

式中： $C_j$ -各标准液浓度值( $\mu\text{g/L}$ )； $Ra_j$ -各标准溶液的实际响应值； $A_j$ -根据回归曲线计算的理论相应值； $B$ -斜率； $S_R$ -标准曲线的残差标准差； $n$ -标准溶液测定次数，本实验  $n=6$ ； $p$ -待测样品的重复测定次数，本实验  $p=10$ ； $C_0$ -待测样品浓度的平均值( $\mu\text{g/L}$ )； $\bar{C}$ -回归曲线各点浓度的平均值( $\mu\text{g/L}$ )。

表4 铅标准曲线及其含量的计算

Table 4 Standard curves of lead and tis content calculation

元素	铅
标准曲线	$f(x)=73733.2867x+7887.8645$
相关系数( $R^2$ )	0.9992
线性范围/ $(\mu\text{g/L})$	0~50
称样量/g	0.5000
定容体积/mL	25.00
$C_0$ / $(\mu\text{g/L})$	6.660
$W$ / $(\text{mg/kg})$	0.333

## 2.5 合成标准不确定度评定

按下式将表6所示各项不确定度分量进行合成，则检测结果的总合成相对不确定度为：

$$u_{\text{rel}} = \sqrt{u_{\text{rel}}(m)^2 + u_{\text{rel}}(V)^2 + u_{\text{rel}}(\bar{R})^2 + u_{\text{rel}}(C)^2 + u_{\text{rel}}(\bar{X})^2 + u_{\text{rel}}(C_b)^2} = 4.46\%$$

标准不确定度  $u = W \times u_{\text{rel}} = 0.333 \times 4.46\% = 0.015 \text{ mg/kg}$ 。

表5 计算标准曲线拟合引入的不确定度  
Table 5 Uncertainty resulting from the fitting process of standard curve

元素	铅		
	$C_j$	$Ra_j$	$A_j$
	0	7865	7888
	1	78895	89216
标准曲线	5	318050	360702
	10	670684	768963
	30	1801298	2140697
	50	3070410	3738792
$S_R$		37865	
$B$		73733.2876	
$\bar{C}$		16	
$C_0$		6.660	
$u(C_b)$		0.2865	
$u_{\text{rel}}(C_b)$		4.30%	

表6 各项不确定度分量一览表

Table 6 The list of relative uncertainty components for lead

不确定度分量	铅
样品称量 $u_{\text{rel}}(m)$	0.0012%
样品定容体积 $u_{\text{rel}}(V)$	0.084%
加标回收率 $u_{\text{rel}}(\bar{R})$	1.02%
标准物质 $u_{\text{rel}}(C)$	0.44%
校准曲线 $u_{\text{rel}}(C_b)$	4.3%
样品重复性 $u_{\text{rel}}(\bar{X})$	0.42%
合成相对不确定 $u_{\text{rel}}$	4.46%
合成标准不确定度 $u$	0.015 mg/kg

## 2.6 扩展不确定度的评定

该测量误差分布属正态分布，在95%置信水平，包含因子  $k=2$ ，则食品铅的扩展不确定度：

$$U = u \times k = 0.015 \times 2 = 0.03 \text{ mg/kg}$$

在本测定中，电感耦合等离子体质谱法重复测定食品中铅含量的结果可表示为： $W=0.333 \pm 0.03 \text{ mg/kg}$  ( $k=2$ )。

## 3 结论

本研究依据 JJF 1059.1—2012 和 GB 5009.12—2017，系统分析了食品中铅测量过程中引入的不确定度，结果表明当食品中铅含量为  $0.333 \text{ mg/kg}$  时，其扩展不确定度为  $0.03 \text{ mg/kg}$  ( $P=95\%$ ,  $k=2$ )，测量结果为  $(0.333 \pm 0.03) \text{ mg/kg}$ 。

主要贡献因子为标准曲线拟合引入的不确定度, 因此, 标准曲线配置是重点关注的关键环节将有助于实验人员进行质量控制, 从而达到检测结果的精确性和准确性。

### 参考文献

- [1] ZHANG YH, HOU DY, OCONNOR D, *et al.* Lead contamination in Chinese surface soils: Source identification, spatial-temporal distribution and associated health risks [J]. *Crit Rev Een Sci Tec*, 2019, 49(15): 1386–1426.
- [2] 赵静, 孙海娟, 冯叙桥. 食品中重金属铅污染状况及其检测技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(9): 122–127.  
ZHAO J, SUN HJ, FENG XQ. Research progress on the pollution of heavy metals lead and its detection technology in food [J]. *Food Ferment Ind*, 2014, 40(9): 122–127.
- [3] JIN YL, LIU P, WU J, *et al.* A systematic review on food lead concentration and dietary lead exposure in China [J]. *Chin Med J-Peking*, 2014, 127(15): 2844–2849.
- [4] 毛伟峰, 杨大进, 隋海霞, 等. 我国成人居民膳食中铅暴露风险评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2016, 28(1): 107–110.  
MAO WF, YANG DJ, SUI HX, *et al.* Risk assessment of dietary lead exposure in Chinese adult population [J]. *Chin J Food Hyg*, 2016, 28(1): 107–110.
- [5] GB 5009. 12—2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S].  
GB 5009. 12—2017 National food safety standard-Determination of lead in foods [S].
- [6] ZHANG N, SHEN K, YANG XM, *et al.* Simultaneous determination of arsenic, cadmium and lead in plant foods by ICP-MS combined with automated focused infrared aching and cold trap [J]. *Food Chem*, 2018, 264(30): 462–470.
- [7] LAM J, CHAN K, YIP Y, *et al.* Accurate determination of lead in Chinese herbs using isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry (ID-ICP-MS) [J]. *Food Chem*, 2010, 121(2): 552–560.
- [8] 冯先进, 屈太原. 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)最新应用进展[J]. *中国无机分析化学*, 2011, 1(1): 46–52.  
FENG XJ, QU TY. The latest application progress of inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Inorg Anal Abst of China*, 2011, 1(1): 46–52.
- [9] GRASSIN DS, MARTIN M, HAMZA OUI O, *et al.* A high-resolution ICP-MS method for the determination of 38 inorganic elements in human whole blood, urine, hair and tissues after microwave digestion [J]. *Talanta*, 2019, 199: 228–237.
- [10] 张建, 田志强, 卢垣宇, 等. 电感耦合等离子体质谱法检测白酒中 28 种元素[J]. *食品科学*, 2013, 34(22): 257–260.  
ZHANG J, TIAN ZQ, LU HY, *et al.* Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) for determination of 28 trace elements in Chinese liquor [J]. *Food Sci*, 2013, 34(22): 257–260.

- [11] 闫顺华, 王秀霞, 严娅, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定高钙片中铅、砷、铬和镉含量的不确定度评定[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(16): 118–123.  
YAN SH, WANG XX, YAN Y, *et al.* Uncertainty evaluation for the determination of Pb, As, Cr and Cd in high calcium tablets by ICP-MS [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(16): 118–123.
- [12] 段玉林, 卢静, 龙珍, 等. 微波消解电感耦合等离子体质谱法测定大米样品中铅含量的不确定度评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(14): 4763–4767.  
DUAN YL, LU J, LONG Z, *et al.* Uncertainty evaluation for determination of lead content in rice by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(14): 4763–4767.
- [13] JJF 1059. 1—2012 测量不确定度评定与表示[S].  
JJF 1059. 1—2012 Measurement uncertainty evaluation and representation [S].
- [14] GB 5009. 12—2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S].  
GB 5009. 12—2017 National food safety standards-Determination of lead in food [S].
- [15] JJG 196—2006 常用玻璃量器检定规程[S].  
JJG 196—2006 General glass spectrometer verification regulations [S].
- [16] 安永鹏. 电感耦合等离子体质谱法测定保健食品(杞髓冲剂)中 4 种矿物元素的不确定度评定[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(1): 196–201.  
AN YP. Uncertainty evaluation for the determination of four mineral elements in health food (Qisui granule) by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(1): 196–201.
- [17] CNAS—GL06—2019 化学分析中不确定度的评估指南[S].  
CNAS—GL06—2019 Guidance on quantifying uncertainty in chemical analysis [S].

(责任编辑: 王 欣)

### 作者简介



金芝梅, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品中金属元素检测。

E-mail: jzm199037@163.com



张妍楠, 硕士, 工程师, 主要研究方向为质谱在食品检测中的应用。

E-mail: xphxph113@163.com