

# 火焰原子吸收分光光度法测定土壤中镍含量的 不确定度评定

张艳燕<sup>1</sup>, 钟坚海<sup>1\*</sup>, 郝延涛<sup>1</sup>, 刘明健<sup>1</sup>, 苏雪香<sup>1</sup>, 郑瑞娟<sup>2</sup>

(1. 龙岩海关, 龙岩 364000; 2. 龙岩学院化学与材料学院, 龙岩 364012)

**摘要:** **目的** 评定火焰原子吸收法测定土壤中镍含量的不确定度。**方法** 对种植基地土壤进行消解后定容, 参照 GB/T 17139-1997, 采用火焰原子吸收分光光度法测定土壤中镍含量。通过对镍含量计算公式的分析, 对试样水分、样品称量、消解液定容体积、标准溶液的配制、标准曲线的拟合等各个影响因素的不确定度分量进行计算及评估, 计算合成的不确定度, 并且通过调整标准曲线范围来降低结果的不确定度。**结果** 当标准曲线浓度由 0~3.0  $\mu\text{g/mL}$  调整为 0~1.0  $\mu\text{g/mL}$  时, 当土壤中镍含量为 43.5 mg/kg 时, 扩展不确定度从 5.0 mg/kg 降到了 1.2 mg/kg ( $k=2$ )。**结论** 样品溶液质量浓度引入的不确定度是土壤中镍含量测定的测量不确定度的主要因素, 其中标准曲线引入的不确定度贡献最大, 可以通过调整标准曲线浓度范围, 从而有效降低不确定度, 对准确测量土壤中镍含量具有一定的意义。

**关键词:** 火焰原子吸收法; 土壤; 镍; 不确定度

## Uncertainty evaluation for determination of Ni in soil by flame atomic absorption spectrometry

ZHANG Yan-Yan<sup>1</sup>, ZHONG Jian-Hai<sup>1\*</sup>, HAO Yan-Tao<sup>1</sup>, LIU Ming-Jian<sup>1</sup>,  
SU Xue-Xiang<sup>1</sup>, ZHENG Rui-Juan<sup>2</sup>

(1. Longyan Custom, Longyan 364000, China;

2. College of Chemistry and Materials Science, Longyan University, Longyan 364012, China)

**ABSTRACT: Objective** To evaluate the uncertainty for the determination of Ni content in soil by flame atomic absorption spectrometry. **Methods** The soil was firstly diluted with constant volume after digestion, then the Ni content was determined with flame atomic absorption spectrophotometry according to the standard of GB/T 17139-1997. Finally, by the analysis of the equation of Ni content, the uncertainty components of various influencing factors such as sample moisture, sample weighing, sample constant volume after digestion, standard solution and fitting of standard curve were calculated and evaluated to calculate the uncertainty of synthesis. Also, the concentration range of the standard curve was adjusted to reduce the uncertainty of the testing results. **Results** The experimental results showed that when the content of Ni in the soil was 43.5 mg/kg, the extended uncertainty was reduced from 5.0 mg/kg to 1.2 mg/kg ( $k=2$ ) as the range of the standard curve turned to 0–1.0  $\mu\text{g/mL}$  from 0–3.0  $\mu\text{g/mL}$ . **Conclusion** The

基金项目: 龙岩市科技计划项目(2019LYF5020、2019LYF13004)

Fund: Supported by the Science and Technology Plan of Longyan (2019LYF5020, 2019LYF13004)

\*通讯作者: 钟坚海, 高级工程师, 主要研究方向为实验室分析检测技术。E-mail: 253773178@qq.com

\*Corresponding author: ZHONG Jian-Hai, Senior Engineer, Longyan Custom, No.20, Longyan Avenue, Xinluo District, Longyan 364000, China. E-mail: 253773178@qq.com

uncertainty of mass concentration is the main factor that influences the uncertainty of Ni content testing, especially the uncertainty of standard curve. The uncertainty of Ni content testing would be reduced by adjusting the range of standard curve, which is of certain significance for the accurate measurement of Ni content in soil.

**KEY WORDS:** flame atomic absorption spectrophotometry; soil; Ni; uncertainty

## 1 引言

近年来,随着经济社会的发展,土壤重金属污染受到了人们广泛的关注,重金属一旦进入土壤环境中便难以迁移和降解。镍是引起我国土壤污染的重金属之一<sup>[1]</sup>,土壤中微量的镍可以刺激植物生长,过量的镍能阻滞植物生长发育,导致植物生长不良,对植物造成危害,直至死亡。镍可以在植物体内积蓄,当积蓄超出正常含量的植物进入食物链时,就会影响动物乃至人类的健康<sup>[2]</sup>。火焰原子吸收分光光度法是一种灵敏度高、快捷、准确的测试手段,广泛应用于环保、医疗、食品等行业中重金属的测定<sup>[3]</sup>。镍作为实验室土壤检测的常规项目,按照 ISO/IEC 17025-2017《检测和校准实验室能力认可准则》以及国家计量认证评审准则对实验室的要求,评定测试方法的不确定度是对检测数据客观真实性的评价<sup>[4-5]</sup>,实验室需建立不确定度评估。已有的土壤不确定评估包括钾<sup>[3]</sup>、铅<sup>[6]</sup>、镉<sup>[7-10]</sup>、砷<sup>[11-13]</sup>、铜<sup>[14,15]</sup>、汞<sup>[16-18]</sup>、钴<sup>[19]</sup>等。本文依据 GB/T 17139-1997《土壤质量 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法》<sup>[20]</sup>测定土壤中镍含量的检测过程,按照国家计量技术规范 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》<sup>[4]</sup>,对土壤中镍含量进行不确定度评定,并通过调整样品溶液浓度,使其位于工作曲线的中间位置,进而减小测量的不确定度,以期为土壤中镍含量的准确检测提供参考依据,同时为其他类似方法测定重金属不确定度提供参考。

## 2 材料与方法

### 2.1 试剂与仪器

#### 2.1.1 试剂与样品

镍标准溶液(125 mL/瓶子, 1000 μg/mL, 美国 Inorganic Ventures 公司); 盐酸、硝酸、氢氟酸(分析纯, 西陇化工股份有限公司); 高氯酸(优级纯, 天津市鑫源化工有限公司)。土壤样品采集于上杭县蛟洋生姜种植基地。

#### 2.1.2 实验仪器

AA800 火焰原子吸收光谱仪(美国 PE 公司); PL1002E 电子天平(上海梅特勒托利多仪器有限公司); EHD20 电热消解仪(北京莱伯泰科仪器股份有限公司); Milli-Q A10 超纯水系统(美国密理博有限公司)。

### 2.2 实验方法

按照 GB/T 17139-1997 方法,准确称取 0.2-0.5 g 土壤样品于聚四氟乙烯坩埚中,用水润湿后,用盐酸-硝酸-氢氟酸-

高氯酸全分解方法消解,将消解液转移到 50 mL 容量瓶中定容,以火焰原子吸收法测定样品消解液中镍的含量。

### 2.3 数学模型

土壤样品中镍的含量  $w(\text{mg}/\text{kg})$ 按下式计算:

$$W = \frac{c \times V}{m \times (1 - f)}$$

式中,  $c$  为试液的吸光度减去空白试液的吸光度,然后在校准曲线上查得镍的含量,  $\text{mg}/\text{L}$ ;  $V$  为试液定容的体积,  $\text{mL}$ ;  $m$  为称取试样的重量,  $\text{g}$ ;  $f$  为试样水分的质量含量, %。

## 3 结果与分析

### 3.1 镍含量测定不确定度分量的来源

按土壤样品中镍的数学计算模型,考虑各主要影响因素,绘制测量不确定度因果图,如图 1 所示。

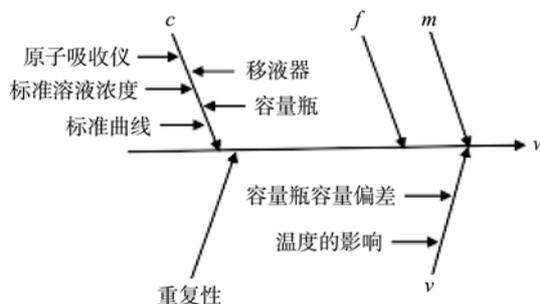


图1 测量不确定度评定因果图

Fig.1 Causality map of measurement uncertainty assessment

### 3.2 试样水分含量引入的不确定度 $U_{rel}(f)$

本实验使用的天平为特种准确度级别,从电子天平检定证书上获得天平最大允许误差为  $\pm 0.5 \text{ mg}$ ,需独立称量 2 次,按均匀分布,其标准不确定度为

$$U(m) = \sqrt{\left(\frac{0.5}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.4083 \text{ mg}.$$

称土壤样品  $w_1 = 32.3261 \text{ g}$  (含称量瓶重量), 在  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  下烘至恒重,取出冷却至室温后重量  $w_2 = 32.1495 \text{ g}$ 。2 次称量相对标准不确定度分别为:

$$U_{rel}(w_1) = 0.4083 \text{ mg} / 32.3261 \text{ g} = 0.000013;$$

$$U_{rel}(w_2) = 0.4083 \text{ mg} / 32.1495 \text{ g} = 0.000013.$$

因此,样品含水量的相对标准不确定度为:

$$U_{rel}(f) = \sqrt{U_{rel}^2(w_1) + U_{rel}^2(w_2)} = 0.000018.$$

### 3.3 样品称量引入的不确定度 $U_{rel}(m)$

天平标准不确定度同 3.2, 称样量为 502.6 mg, 则其相对标准不确定度为  $U_{rel}(m)=0.00082$ 。

### 3.4 样品消解后定容引入的不确定度 $U_{rel}(V)$

#### 3.4.1 容量瓶容量偏差

容量瓶的真实容积并不完全与标称容积一致。样品消解后用 50 mL(B 级)容量瓶定容。按检定证书其容量偏差为 0.06 mL, 假定为三角分布, 其标准不确定度为

$$U(L) = \frac{0.06}{\sqrt{6}} = 0.02449 \text{ mL}。$$

#### 3.4.2 温度的影响

由于液体和容量器皿受温度变化致使其体积膨胀或收缩, 而产生溶液体积变化的不确定度。本文使用的容量瓶在 21 °C 下校准, 实验温度为 25 °C, 液体的体积膨胀系数  $\alpha = 2.1 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ , 假定满足均匀分布, 使用 50 mL 容量瓶时, 温度引起的容量瓶体积标准不确定度为

$$U(T) = 4 \times 50 \times 2.1 \times \frac{10^{-4}}{\sqrt{3}} = 0.02425 \text{ mL}。$$

将上述 2 个分量合成, 得到体积测量的标准不确定度为  $U(V) = \sqrt{U^2(L) + U^2(T)} = 0.03446 \text{ mL}$ , 其相对标准不确定度为  $U_{rel}(V) = U(V)/V = 0.00069$ 。

### 3.5 测定样品溶液质量浓度引入的不确定度 $U_{rel}(C)$

#### 3.5.1 标准溶液配制过程引入的不确定度 $U_{rel}(\text{标})$

标准溶液的配制过程: 首先用 1000  $\mu\text{L}$  移液器移取 2.5 mL 1000  $\mu\text{g}/\text{mL}$  镍标液, 定容至 50 mL, 得到 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$  镍标准使用液; 再分别取 0、0.2、0.5、1.0、2.0、3.0 mL 镍标准使用液, 定容至 50 mL, 得到 0、0.2、0.5、1.0、2.0、3.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$  镍标准系列溶液。另外再从 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$  镍标准使用液分别移取 0、0.1、0.3、0.5、0.8、1.0 mL, 定容至 50 mL, 得到 0、0.1、0.3、0.5、0.8、1.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$  镍标准系列溶液。

镍标准溶液证书浓度值为 1000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 其扩展不确定度为 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 取  $k=2$ , 则其标准不确定度为  $U(\text{标}1) = 5 \mu\text{g}/\text{mL}$ , 相对标准不确定度为  $U_{rel}(\text{标}1) = 0.005$ 。

1000  $\mu\text{L}$  移液器按校准证书其扩展不确定度为 0.9  $\mu\text{L}(k=2)$ , 因此标准不确定度为 0.45  $\mu\text{L}$ , 相对标准不确定度  $U_{rel}(\text{标}2)$  为 0.00045。校准时温度为 24 °C, 与使用温度基本一致, 温度的影响可忽略。

50 mL 容量瓶引入的不确定度同 3.4,  $U_{rel}(\text{标}3)$  为 0.00069。

标准溶液配制引入的相对合成标准不确定度为:

$$U_{rel}(\text{标}) = \sqrt{U_{rel}^2(\text{标}1) + U_{rel}^2(\text{标}2) + U_{rel}^2(\text{标}3)} = 0.0051。$$

#### 3.5.2 火焰原子吸收仪器测定引入的不确定度 $U_{rel}(\text{仪})$

根据火焰原子吸收检定证书, 其扩展不确定度为 0.005  $\mu\text{g}/\text{mL}(k=2)$ , 因此其标准不确定度为 0.0025  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,

相对标准不确定度为  $U_{rel}(\text{仪}) = 0.0025/0.423 = 0.0059$ 。

#### 3.5.3 标准曲线引入的不确定度评定 $U_{rel}(\text{曲})$

2 个浓度范围的标准曲线及其相关的数据计算见表 1 和表 2。

被测物质镍的浓度是通过工作曲线计算出来的, 工作曲线线性关系好坏直接影响分析结果的可靠性。根据表 1 和表 2 的测量数据, 拟合出工作曲线方程为  $Y = 0.0206X - 0.0005 (r^2 = 0.999)$  和  $Y = 0.0206X + 0.0001 (r^2 = 0.999)$ 。其中,  $Y$  为标准系列镍的吸光度;  $X$  为标准系列镍的浓度 ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )。标准曲线的标准偏差为:

$$S_{R-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-2}} = 0.00087;$$

$$S_{R-2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-2}} = 0.00018。$$

由标准曲线引入的被测量溶液中镍浓度的标准不确定度  $U(\text{曲})-1$  和  $U(\text{曲})-2$  为:

$$U(\text{曲})-1 = \frac{S_R}{b} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(\bar{c} - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} = 0.024;$$

$$U(\text{曲})-2 = \frac{S_R}{b} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(\bar{c} - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} = 0.0044。$$

式中,  $S_R$  为标准曲线的标准偏差;  $p$  为土壤样品重复测定次数;  $n$  为标准曲线中测量点数目;  $\bar{c}$  为消解液中镍浓度的测量平均值 ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ );  $\bar{x}$  为工作曲线各校准点浓度的平均值 ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ );  $y_i$  为标准曲线系列中各点吸光度值;  $x_i$  为由标准曲线得到的各点镍浓度 ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ );  $y$  为标准系列镍的吸光度。

标准曲线相对标准不确定度为

$$U_{rel}(\text{曲})-1 = \frac{U(\text{曲})-1}{C} = \frac{0.024}{0.423} = 0.057;$$

$$U_{rel}(\text{曲})-2 = \frac{U(\text{曲})-2}{C} = \frac{0.0044}{0.423} = 0.010。$$

因此, 测定样品溶液质量浓度引入的相对标准不确定度为:

$$U_{rel}(C)-1 = \sqrt{U_{rel}^2(\text{标}) + U_{rel}^2(\text{仪}) + U_{rel}^2(\text{曲})};$$

$$= \sqrt{0.0051^2 + 0.0059^2 + 0.057^2} = 0.058$$

$$U_{rel}(C)-2 = \sqrt{U_{rel}^2(\text{标}) + U_{rel}^2(\text{仪}) + U_{rel}^2(\text{曲})}。$$

$$= \sqrt{0.0051^2 + 0.0059^2 + 0.010^2} = 0.013$$

### 3.6 测量重复性不确定度

测量的重复性属于 A 类不确定度。在相同条件下, 对同一土壤样品重复测定 11 次, 得到镍含量实验结果如表 3, 通过检测结果计算出平均值  $\bar{C}$  和标准偏差  $S$ , 按公式  $U(S) = S/\sqrt{n}$  计算出标准不确定度  $U(S)$ , 进一步可计算出测量重复性的相对标准不确定度  $U_{rel}(S)$ 。

表 1 标准曲线浓度范围 0~3.0 μg/mL 及数据计算  
Table 1 Standard curve of the concentration around 0~3.0 μg/mL and data calculation

序号	$x_i$	$y_i$	$y$	$y_i - y$	$(y_i - y)^2$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	0	0	-0.0005	0.0005	$2.5 \times 10^{-7}$	-1.12	1.2544
2	0.2	0.0044	0.00362	0.00078	$6.1 \times 10^{-7}$	-0.92	0.8464
3	0.5	0.0085	0.0098	-0.0013	$1.7 \times 10^{-6}$	-0.62	0.3844
4	1.0	0.0203	0.0201	0.0002	$4.0 \times 10^{-8}$	-0.12	0.0144
5	2.0	0.0402	0.0407	-0.0005	$2.5 \times 10^{-7}$	0.88	0.7744
6	3.0	0.0617	0.0613	0.0004	$1.6 \times 10^{-7}$	1.88	3.5344

表 2 标准曲线浓度范围 0~1.0 μg/mL 及数据计算  
Table 2 Standard curve of the concentration around 0~1.0 μg/mL and data calculation

序号	$x_i$	$y_i$	$y$	$y_i - y$	$(y_i - y)^2$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	0	0	0.0001	0.0001	$1.0 \times 10^{-8}$	-0.45	0.2025
2	0.1	0.0021	0.00216	0.00006	$3.6 \times 10^{-9}$	-0.35	0.1225
3	0.3	0.0064	0.00628	-0.00012	$1.4 \times 10^{-8}$	-0.15	0.0225
4	0.5	0.0105	0.0104	-0.0001	$1.0 \times 10^{-8}$	0.05	0.0025
5	0.8	0.0168	0.01658	-0.00022	$4.8 \times 10^{-8}$	0.35	0.1225
6	1.0	0.0205	0.0207	0.0002	$4.0 \times 10^{-8}$	0.55	0.3025

表 3 测量重复性的不确定度分量评估( $n=11$ )  
Table 3 Uncertainty component evaluation for measurement repeatability ( $n=11$ )

元素	检测结果/(mg/kg)	$\bar{w}$ /(mg/kg)	$S$ /(mg/kg)	$U(S)$ /(mg/kg)	$U_{rel}(S)$
镍含量	43.47,42.65,42.34,44.40, 42.75,43.47,43.37,44.50, 44.40, 43.06,44.40	43.5	0.0077	0.24	0.0055

### 3.7 合成不确定度

土壤样品镍含量的相对合成标准不确定度为:

$$U(w) - 1 = \sqrt{U_{rel}^2(f) + U_{rel}^2(m) + U_{rel}^2(V) + U_{rel}^2(C) + U_{rel}^2(S)}$$

$$= \sqrt{0.000018^2 + 0.00082^2 + 0.00069^2 + 0.058^2 + 0.0055^2}$$

$$= 0.058,$$

$$U(w) - 1 = U_{rel}(w) - 1 \times \bar{w} = 0.058 \times 43.5 = 2.5 \text{ mg/kg}。$$

$$U(w) - 2 = \sqrt{U_{rel}^2(f) + U_{rel}^2(m) + U_{rel}^2(V) + U_{rel}^2(C) + U_{rel}^2(S)}$$

$$= \sqrt{0.000018^2 + 0.00082^2 + 0.00069^2 + 0.013^2 + 0.0055^2}$$

$$= 0.014,$$

$$U(w) - 2 = U_{rel}(w) - 2 \times \bar{w} = 0.014 \times 43.5 = 0.61 \text{ mg/kg}。$$

### 3.8 扩展不确定度

取 95%置信水平,  $k=2$ , 则扩展不确定度为

$$U - 1 = U(w) - 1 \times 2 = 2.5 \times 2 = 5.0 \text{ mg/kg};$$

$$U - 2 = U(w) - 2 \times 2 = 0.6 \times 2 = 1.2 \text{ mg/kg}。$$

当标准曲线范围为 0~3 mg/kg 缩小为 0~1.0 mg/kg 时, 其扩展不确定度由 5.0 mg/kg 降到了 1.2 mg/kg。说明通过

调整标准曲线浓度范围, 使样品溶液浓度位于曲线中间位置时, 可以有效减小测量不确定度。这与吕勇<sup>[12]</sup>报道的原子荧光法测定土壤中砷含量的测量不确定结果一致。

### 3.9 各不确定度分量贡献度

各不确定度分量汇总见图 2。由图 2 可知样品溶液质量浓度引入的不确定度是测量不确定度的主要因素, 而进一步对其进行分析发现, 标准曲线引入的不确定度贡献最大。

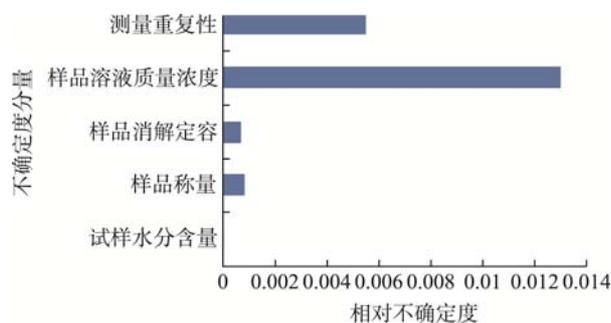


图 2 不确定度分量汇总  
Fig.2 Uncertainty components summary

### 3.10 结果报告

用火焰原子吸收光谱测定方法,对土壤样品中的镍进行 11 次重复测定,其含量平均值为  $\bar{W}-1=(43.5\pm 5.0)$  mg/kg,  $k=2$ 。 $\bar{W}-2=(43.5\pm 1.2)$  mg/kg,  $k=2$ 。

## 4 结论与讨论

本研究从试样水分、样品称量、消解液定容体积、标准溶液的配制、标准曲线等各个影响因素评定土壤镍含量的不确定度,比较了 2 个不同范围标准曲线对最终扩展不确定度的影响。实验表明,通过调整标准曲线浓度范围,使样品溶液浓度位于曲线中间位置时,有效减小测量不确定度,为土壤中镍含量的测量准确性提供参考依据。

### 参考文献

- [1] 环境保护部,国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[EB/OL]. [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417\\_270670.htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm). 2014-04-17  
Ministry of Environmental Protection, Ministry of Land and Resources. Report on the national general survey of soil contamination [EB/OL]. [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417\\_270670.htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm). 2014-04-17
- [2] 刘艳. 重金属镍污染土壤的生态风险评价[M]. 北京: 北京林业大学, 2007.  
Liu Y. Ecological risk assessment of soil polluted by heavy metal nickel [M]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.
- [3] 陶健. 火焰原子吸收分光光度法测定土壤中钾的不确定度报告[J]. 分析实验室, 2008, (27): 470-473.  
Tao J. Uncertainty report in determination of potassium in soil by atomic absorption spectrometry [J]. Chin J Anal Lab, 2008, (27): 470-473.
- [4] JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示[S].  
JJF 1059.1-2012 Evaluation and expression of uncertainty in measurement [S].
- [5] JJF 1135-2005 化学分析测量不确定度评定[S].  
JJF 1135-2005 Evaluation of uncertainty in chemical analysis measurement [S].
- [6] 钟楨媛. 原子吸收光谱法对土壤中铅量测定的不确定度评定[J]. 环境与发展, 2019, 31(8): 94, 96.  
Zhong ZY. Evaluation of uncertainty in determination of lead in soil by atomic absorption spectrometry [J]. Environ Dev, 2019, 31(8): 94, 96.
- [7] 袁惠, 任叶刚, 史敏. 电感耦合等离子体质谱法测定土壤中镉含量的不确定度评定[J]. 分析仪器, 2018, (6): 83-87.  
Yuan H, Ren YG, Shi M. Uncertainty evaluation for determination of Cd in soil by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Anal Instrum, 2018, (6): 83-87.
- [8] 谢银凤, 王克全, 郝欣欣. 石墨炉原子吸收法测定土壤中镉的不确定度评定[J]. 环境监测与预警, 2017, 9(4): 22-25.  
Xie YF, Wang KQ, Hao XX. Evaluation on uncertainty of cadmium in soil determined by graphite furnace atomic absorption [J]. Environ Monit Forewarn, 2017, 9(4): 22-25.
- [9] 钱毅玲. 原子吸收法测定土壤中镉的不确定度评定[J]. 广州化工, 2017, 45(20): 110-113.  
Qian YL. Evaluation of uncertainty in determination of cadmium in soil by atomic absorption spectrometry [J]. Guangzhou Chem Ind, 2017, 45(20): 110-113.
- [10] 戴慧峰, 何涛, 陈丽娟, 等. 石墨炉原子吸收分光光度法检测土壤中镉含量的不确定度计算[J]. 上海农业科技, 2014, (4): 33-34.  
Dai HF, He T, Chen LJ, et al. Uncertainty evaluation in determination of soil by graphite furnace atomic absorption spectrophotometry [J]. Shanghai Agric Sci Technol, 2014, (4): 33-34.
- [11] 高海文, 罗琼, 单江华. 原子荧光法测定土壤砷含量的不确定度评定[J]. 现代农业科技, 2015, (18): 206-208.  
Gao HW, Luo Q, Shan JH. Uncertainties evaluation of the soil arsenic content by atomic fluorescence spectrometry [J]. Mod Agric Sci Technol, 2015, (18): 206-208.
- [12] 吕勇. 原子荧光法测定土壤中砷含量的测量不确定度评定[J]. 广东化工, 2015, 42(18): 165-166.  
Lv Y. Determination of arsenic in soil by atomic fluorescence spectrometry [J]. Guangdong Chem Ind, 2015, 42(18): 165-166.
- [13] 刘立志, 汪聪慧, 陕红, 等. 应用 ICP-MS 测定土壤砷含量的不确定度评定[J]. 现代科学仪器, 2013, (5): 115-119.  
Liu LZ, Wang CH, Shan H, et al. Uncertainty evaluation in determination of soil arsenic using ICP-MS [J]. Mod Sci Instrum, 2013, (5): 115-119.
- [14] 杜桂荣, 王春叶, 郭国龙, 等. 火焰原子吸收光谱法测定土壤中铜质量分数的不确定度评定[J]. 铀矿冶, 2016, 35(2): 142-144.  
Du GR, Wang CY, Guo GL, et al. Uncertainty evaluation of copper content in soil by AAS determination [J]. Uranium Min Metall, 2016, 35(2): 142-144.
- [15] 谢炜. 土壤中铜的不确定度评定[J]. 广东化工, 2016, 43(13): 264-265.  
Xie W. Evaluating the uncertainty measurement of copper in soil [J]. Guangdong Chem Ind, 2016, 43(13): 264-265.
- [16] 王秀平, 李明亮, 张明秀, 等. 原子荧光光谱法测定农田土壤中汞的不确定度研究[J]. 农产品质量与安全, 2018, (3): 71-75.  
Wang XP, Li ML, Zhang MX, et al. Uncertainty evaluation of mercury in farmland soil by atomic fluorescence spectrometry [J]. Qual Saf Agro Prod, 2018, (3): 71-75.
- [17] 刘雯, 蔡熹, 王婕. 催化热解-原子吸收法测定土壤中汞的不确定度评定[J]. 科协论坛, 2013, (6): 141-142.  
Liu W, Cai X, Wang J. Evaluation of uncertainty in determination of lead in soil by heat dissipation-atomic absorption spectrometry [J]. Sci Technol Assoc Forum, 2013, (6): 141-142.
- [18] 陈武军, 王珊, 张玓, 等. 原子荧光法测定土壤中总汞不确定度的评定

[J]. 化学分析计量, 2012, (5): 16-18.

Chen WJ, Wang S, Zhang D, *et al.* Uncertainty evaluation of mercury in soil by atomic fluorescence spectrometry [J]. Chem Anal Meterage, 2012, (5): 16-18.

[19] 谢焱鑫, 陈任翔, 刘莲, 等. 火焰原子吸收法测定土壤中的钴及其不确定度分析[J]. 低碳世界, 2017, 21: 1-2.

Xie YX, Chen RX, Liu L, *et al.* Uncertainty assessment of Co in soil by atomic absorption spectrometry [J]. Low Carbon World, 2017, 21: 1-2.

[20] GB/T 17139-1997 土壤质量 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法[S].  
GB/T 17139-1997 Soil quality-Determination of nickel-flame atomic absorption spectrophotometry [S].

(责任编辑: 李磅礴)

## 作者简介



张艳燕, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 328564032@qq.com



钟坚海, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为实验室分析检测技术。

E-mail: 253773178@qq.com