

# 石墨炉原子吸收光谱法测定干香菇中铅含量的 不确定度评定

范稚莉<sup>1,2</sup>, 王海燕<sup>2</sup>, 明荔莉<sup>2</sup>, 冯家望<sup>2</sup>, 唐梓意<sup>2</sup>, 李婉莹<sup>2</sup>, 李珍妮<sup>2</sup>, 叶明琴<sup>1\*</sup>

(1. 广西大学农学院, 南宁 530003; 2. 拱北海关技术中心, 珠海 519000)

**摘要:** **目的** 评定石墨炉原子吸收光谱法测定干香菇中铅含量的不确定度。**方法** 按照 CNAS-GL 006:2019 《测量不确定度的要求的评估方法》, 建立结果不确定度评估数学模型, 量化不确定度分量, 计算扩展不确定度。**结果** 干香菇样品中铅的测定结果为 0.64 mg/kg, 扩展不确定度为 0.06 mg/kg ( $k=2$ )。 **结论** 影响铅测定不确定度的主要因素是试样溶液中铅的质量浓度的测定, 且基本由标准曲线拟合引入。试样消化液定容体积和样品质量引入的不确定度较小, 可忽略不计。

**关键词:** 石墨炉原子吸收光谱法; 干香菇; 铅含量; 不确定度评定; 标准曲线拟合

## Uncertainty evaluation in determination of lead content in dried shiitake mushroom by graphite furnace atomic absorption spectrometry method

FAN Zhi-Li<sup>1,2</sup>, WANG Hai-Yan<sup>2</sup>, MING Li-Li<sup>2</sup>, FENG Jia-Wang<sup>2</sup>, TANG Zi-Yi<sup>2</sup>, LI Wan-Ying<sup>2</sup>, LI Zhen-Ni<sup>2</sup>, YE Ming-Qin<sup>1\*</sup>

(1. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530003, China;  
2. Gongbei Customs Technology Center, Zhuhai 519000, China)

**ABSTRACT: Objective** To evaluate the uncertainty of determination of lead in dried shiitake mushroom by graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Methods** According to CNAS-GL 006:2019 *Evaluation method for requirements of measurement uncertainty*, a mathematical model for result uncertainty evaluation was established, the components of uncertainty were quantified, and the expanded uncertainty was calculated. **Results** The assay result for lead in the dried shiitake mushroom sample was 0.64 mg/kg, with the expanded uncertainty of 0.06 mg/kg ( $k=2$ ). **Conclusion** The main factor affecting the uncertainty of lead determination is the determination of lead mass concentration in sample solution, which is basically introduced by standard curve fitting. The uncertainties introduced by the constant volume of sample digest and sample quality are small and can be ignored.

**KEY WORDS:** graphite furnace atomic absorption spectrometry; dried shiitake mushrooms; lead content; uncertainty evaluation; standard curve fitting

基金项目: 海关总署科研项目(2019HK115)、珠海进出口公共技术服务平台产学研协同创新计划项目(IETP202001019)

Fund: Supported by the Research Project of the General Administration of Customs (2019HK115), and Zhuhai Import and Export Public Technology Service Platform Industry University Research Collaborative Innovation Project(IETP202001019)

\*通信作者: 叶明琴, 硕士, 副教授, 主要研究方向为花卉装饰与盆景, 切花保鲜。E-mail: 780064502@qq.com

\*Corresponding author: YE Ming-Qin, Master, Associate Professor, College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530003, China. E-mail: 780064502@qq.com

## 0 引言

铅是蓄积性毒物,痕量水平的铅就可对人产生毒害作用。其主要损害造血系统、神经系统和肾脏,对心血管系统、生殖功能也有损害<sup>[1]</sup>。由于其毒性大、难降解、且易于生物积累而备受关注。国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)将铅列为可能的人类致癌物<sup>[2]</sup>,世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会制定了铅的暂定每周可耐受摄入量(provisional tolerable weekly intake, PTWI)为0.025 mg/kg 体重质量<sup>[3]</sup>。由于水体及沉积物中的铅经食物链传递在水生动物体内富集,之后进入人体,对人体神经系统、消化系统、心血管系统、生殖系统、免疫系统等造成损伤<sup>[4-5]</sup>。食用菌因味美营养,含有丰富的蛋白质、脂肪、维生素和碳水化合物,是低热量高蛋白食品,备受消费者的青睐<sup>[6]</sup>,尤其以香菇为甚,是人们餐桌必备佳品。香菇又名冬菇、花菇,是世界上第二大食用菌<sup>[7]</sup>。我国香菇总产量和消耗量居世界前列,人们利用香菇研发加工出不同层次的产品20多种<sup>[8]</sup>。因而其质量安全愈受到重视,尤其是菌类产品中铅污染问题。我国GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[9]</sup>规定食用菌及其制品铅限量值为1.0 mg/kg。

石墨炉原子吸收法是测定食品中铅含量的常用的方法,由于实验环境、设备仪器和人为等因素,会引入一定的不确定度<sup>[10]</sup>。根据CNAS-CL01-G003-2019《测量不确定度的要求》<sup>[11]</sup>:实验室应评定和应用测量不确定度,并建立维护测量不确定度有效性的机制;实验室应有具备能力的人员,正确评定、报告和应用测量不确定度。因此,进行不确定评定非常必要,尤其是检测结果在限量值附近时。本研究尝试在方法学中引入不确定度,依据JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》<sup>[12]</sup>分析不确定度来源,找出影响测定结果的主要因素,为食用菌中铅含量测定的质量控制提供参考,以提高测定结果的准确性和可靠性。

## 1 材料与方 法

### 1.1 样 品

市售干香菇,粉碎后混匀,作为待测样品。

### 1.2 检验依据

GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》<sup>[13]</sup>中第一法:石墨炉原子吸收光谱法。

### 1.3 仪器与试剂

#### 1.3.1 仪器设备

PL403 分析天平(感量 1 mg, 美国 METTLER

TOLEDO公司); PE 900Z 型原子吸收分光光度计(美国珀金埃尔默公司); EG35A 微控数显电热板(控温精度±1 °C, 北京莱伯泰科公司)。

#### 1.3.2 标准物质

铅标准溶液(GSB 04-1742-2004, 质量浓度为1000 μg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试中心), 相对扩展不确定度为0.7%,  $k=2$ 。

#### 1.3.3 试 剂

硝酸(HNO<sub>3</sub>)(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); 高氯酸(HClO<sub>4</sub>)(优级纯, 广州化学试剂厂)。

## 1.4 检测步骤

#### 1.4.1 试样预处理

样品粉碎, 过20目筛, 混匀。称取1 g(精确到0.001 g)均匀的粉末样品, 置于150 mL 高脚烧杯中。

#### 1.4.2 样品消解

加入20 mL 硝酸和1 mL 高氯酸, 加盖浸泡过夜, 于微控数显电热板上消解, 当消化液呈无色透明并伴有白烟时, 放冷, 将试样消化液移入25 mL 容量瓶中, 用少量去离子水多次洗涤高脚烧杯, 洗液合并于容量瓶并用去离子水定容至刻度, 混匀。同时做试剂空白实验。

#### 1.4.3 铅标准曲线系列

将国家有色金属及电子材料分析测试中心提供的1000 μg/mL 的标准溶液逐级稀释为40.0 μg/L 的标准使用液。设置石墨炉原子吸收光谱仪测定条件后, 测定时自动稀释为以下标准系列: 0.0、5.0、10.0、20.0、30.0、40.0 μg/L。

#### 1.4.4 测 定

设定好仪器工作条件和工作参数, 待石墨炉原子吸收光谱仪稳定后依次测定, 先测量标准溶液得到标准曲线后, 分别测定试剂空白和样品溶液。

## 2 数学模型

样品中铅含量见公式(1)。

$$X = \frac{(\rho - \rho_0) \times V}{m \times 1000} \quad (1)$$

式(1)中:  $X$ —试样中铅的含量(mg/kg);

$V$ —试样消化液定容体积(mL);

$\rho$ —试样溶液中铅的质量浓度(μg/L);

$\rho_0$ —空白溶液中铅质量浓度(μg/L);

$m$ —试样质量(g);

1000—换算系数;

## 3 不确定度来源分析

不确定度来源分析参考CNAS—GL006:2019《化学分析中不确定度的评估指南》<sup>[14]</sup>, 样品称量引入不确定度主要由天平校准和重复性引入; 样品处理部分不确定度主要由

试样消化液定容时所用的容量瓶的校准和温度效应引入;标准曲线绘制过程不确定度主要由标准储备溶液配制成标准使用液过程中使用的容量瓶和分度吸管的校准、标准曲线的拟合、检测仪器的线性误差及测量重复性引入;不确定度来源还包括样品测试过程中重复测定样品引入。

## 4 不确定度分量的分析和量化

### 4.1 样品质量

由感量为 1 mg 的分析天平称取约 1 g 样品(精确到 0.001 g)3 份,其质量分别为 1.001 g、1.001 g 和 1.019 g,得到样品质量平均值 $\bar{m}$ 为 1.007 g。此分析天平的有效校准证书出具的测量示值误差的扩展不确定度为:  $U=2$  mg,  $k=2$ 。称样前先称取高脚烧杯一次,然后称取待分析的样品与高脚烧杯一次,因此完成一次样品称量需使用分析天平 2 次。

由此得到样品质量的标准不确定度为:

$$u(m) = \frac{U(m)}{k} = \frac{2 \times 2}{2} = 2 \text{ mg}$$

则相对不确定度为:  $U(m) = \frac{u(m)}{\bar{m}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{1.007} = 0.0020$ 。

### 4.2 消化液体积

试样消化液定容至 25 mL 容量瓶。其不确定度主要是由容量瓶和移液管的校准、定容操作的变动性和温度的变动所引起。

#### 4.2.1 容量瓶允差

25 mL 容量瓶在 20 °C 时 B 级容量允差为  $\pm 0.06$  mL<sup>[15]</sup>, 假设为矩形分布, 其标准不确定度为:

$$u_j(V) = 0.06/\sqrt{3} = 0.035 \text{ mL}$$

#### 4.2.2 温度效应

实验室工作温度在  $(20 \pm 4)$  °C 之间变动。产生的不确定度按均匀分布处理, 其标准不确定度为:

$$u_t(V) = 25 \times 2.1 \times 10^{-4} \times 4/\sqrt{3} = 0.012 \text{ mL}$$

样品的消化液体积( $V$ )的标准不确定度按公式(2)合成:

$$u(V) = \sqrt{u_j^2(V) + u_t^2(V)} \quad (2)$$

$$= \sqrt{0.035^2 + 0.012^2} = 0.037 \text{ mL}$$

则样品消化液体积的相对不确定度为:

$$U(V) = \frac{u(V)}{V} = \frac{0.037}{25} = 0.0015$$

### 4.3 试样溶液中铅的质量浓度和空白溶液中铅质量浓度

试样溶液中铅的质量浓度( $\rho - \rho_0$ )由石墨炉原子吸收分光光度计测定, 计算公式如式(3):

$$\rho - \rho_0 = \frac{A - A_0}{B} \quad (3)$$

$\rho$ —试样溶液中铅的质量浓度( $\mu\text{g/L}$ );

$\rho_0$ —空白溶液中铅质量浓度( $\mu\text{g/L}$ );

$A$ —试样溶液中铅的吸光值;

$A_0$ —空白溶液中铅的吸光值;

$B$ —校准曲线的斜率。

其中, 试样溶液中铅测定的不确定度来源主要有: 标准曲线拟合引入的不确定度分量; 标准溶液及配制引入的相对不确定度; 石墨炉原子吸收光谱仪自动稀释标准系列引入的不确定度分量(仪器线性误差及测量重复性等); 重复测定样品产生的相对不确定度。

#### 4.3.1 标准曲线拟合

使用 1000  $\mu\text{g/mL}$  铅标准溶液逐级稀释配制成 40.0  $\mu\text{g/L}$  的标准溶液, 测定过程中通过仪器自动进样器吸取不同体积的 40.0  $\mu\text{g/L}$  的铅标准溶液注入石墨炉, 原子化后测其吸光度值, 得到质量浓度为: 0.0、5.0、10.0、20.0、30.0、40.0  $\mu\text{g/L}$  的标准系列, 以质量浓度为横坐标, 吸光度值为纵坐标, 制作标准曲线。标准系列每个点分别被测量 3 次, 结果见表 1。

用 0.0  $\mu\text{g/L}$  的标准溶液作为空白校准吸光度, 得线性拟合曲线方程, 计算得: 截距  $b_0 = 0.0009$ , 斜率  $b = 0.0022$ 。数学模型为:  $A = 0.0022b + 0.0009$ 。

根据贝塞尔公式残差标准偏差  $s$  为<sup>[16]</sup>:

表 1 校准曲线测定结果  
Table 1 Measurement result of calibration curve

序号	标准溶液浓度(X)/C/( $\mu\text{g/L}$ )	测定吸光度(Y)/A				
		Y 1	Y 2	Y 3	$\bar{Y}_i$	$\hat{Y}_i$
1	0	0.0002	0.0002	0.0006	0.0003	0.0000
2	5.0	0.0118	0.0115	0.0125	0.0119	0.0119
3	10.0	0.0228	0.0234	0.0244	0.0235	0.0217
4	20.0	0.0426	0.0425	0.0430	0.0427	0.0434
5	30.0	0.0655	0.0648	0.0767	0.0690	0.0651
6	40.0	0.0865	0.0845	0.0868	0.0859	0.0868
$A = bC + b_0 = 0.0022C + 0.0009$		$r^2 = 0.9971$				

注:  $\bar{Y}_i$  为 3 次测量所得吸光度的平均值,  $\hat{Y}_i$  为标准曲线拟合计算所得理论吸光度值。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{0.0000585}{18-2}} = 0.00191。$$

浓度的方差和:  $s_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 1187.5。$

标准曲线拟合引入的标准不确定度为:

$$u_s = \frac{s}{b} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(\bar{x}' - \bar{x})^2}{s_{xx}}} = \frac{0.00191}{0.0022} \times \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{18} + \frac{(25.76 - 17.5)^2}{1187.5}} = 0.58 \mu\text{g/L}。$$

式中:

$n$ —测试标准溶液的次数,  $n=6 \times 3=18$ ;

$p$ —测试样品的次数,  $p=3$ ;

$\bar{x}$ —各个标准溶液浓度的平均值,  $\bar{x}=17.5 \mu\text{g/L}$ ;

$\bar{x}'$ —试样溶液中铅的质量浓度的平均值,  $\bar{x}' = 25.76 \mu\text{g/L}$ ;

$b$ —工作曲线的斜率,  $b=0.0022$ ;

$i$ —测试标准溶液的次数。

则标准曲线拟合引入的相对不确定度  $U_s$  为:

$$U_s = \frac{u_s}{\bar{x}} = \frac{0.58}{25.76} = 0.023。$$

#### 4.3.2 标准使用液

在上述标准曲线拟合不确定度中未考虑校准溶液浓度的不确定度。实际测量过程中, 铅标准使用液如下配制:

中间标准使用液①: 吸取 1.0 mL (1000±1)  $\mu\text{g/mL}$  铅标准溶液于 100 mL 容量瓶中, 用 5%硝酸稀释并定容至刻度, 得到中间标准使用液质量浓度为 10  $\mu\text{g/mL}$ 。

中间标准使用液②: 吸取 10.0 mL 中间标准使用液①于 100 mL 容量瓶中, 用 5%硝酸稀释并定容至刻度, 得到中间标准使用液质量浓度为 1.0  $\mu\text{g/mL}$ 。

标准使用液: 吸取 4.00 mL 中间标准使用液②于 100 mL 容量瓶中, 用 2%硝酸稀释并定容至刻度, 得到标准使用液质量浓度为 40.0  $\mu\text{g/L}$ 。

(1)铅标准溶液的相对不确定度

已知铅标准溶液 1000  $\mu\text{g/mL}$ , 相对扩展不确定度为 0.7%, 属正态分布,  $k=2$ , 则:

$$U(C_{\text{stock}}) = \frac{0.7\%}{2} = 0.0035。$$

(2)100 mL 容量瓶的相对不确定度

允差: A 级 100 mL 容量瓶 20 °C 容量允差为 ±0.10 mL, 按照矩形分布估算, 其标准不确定度为  $0.1/\sqrt{3}=0.058 \text{ mL}$ 。

温度效应: 由于稀释操作中 100 mL 容量瓶和 1 mL 吸管具有基本相同的温度, 因此在计算不确定时, 可以忽略温度效应带来的影响。

A 级 100 mL 容量瓶的相对不确定度为:

$$U(V_{\text{vol}}) = \frac{u(V_{\text{vol}})}{V_{\text{vol}}} = \frac{0.058}{100} = 0.00058。$$

(3)移液管引入的相对不确定度

1 mL 分度吸管(容量允差为 0.008 mL):

$$u(V_{p1}) = 0.008/\sqrt{3} = 0.0046 \text{ mL}; U(V_{p1}) = \frac{u(V_{p1})}{V_{p1}} = \frac{0.0046}{1} = 0.0046;$$

5 mL 分度吸管(容量允差为 0.025 mL):

$$u(V_{p2}) = 0.025/\sqrt{3} = 0.014 \text{ mL}; \text{移取 } 4.00 \text{ mL 标准中间标}$$

准使用液②时的不确定度  $U(V_{p2}) = 0.014/4 = 0.0035$ ;

10 mL 分度吸管(容量允差为 0.05 mL):

$$u(V_{p3}) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029 \text{ mL}; U(V_{p3}) = 0.029/10 = 0.0029。$$

(4)铅标准使用液相对不确定度

考虑到 100 mL 容量瓶和各分度吸量管的温度效应已被忽略, 而由于校准所带来的相关性也可被忽略, 使用相对不确定度的合成方法, 得到:

$$U(C_{\text{std}}) = \sqrt{U^2(C_{\text{stock}}) + 3U^2(V_{\text{vol}}) + U^2(V_{p1}) + U^2(V_{p2}) + U^2(V_{p3})} = \sqrt{0.0035^2 + 3 \times 0.00058^2 + 0.0046^2 + 0.0035^2 + 0.0029^2} = 0.012。$$

#### 4.3.3 标准曲线绘制

校准曲线由原子吸收分光光度计自动稀释得到, 因此其校准曲线绘制的影响因素主要是原子吸收分光光度计的不确定度引入。

根据 PE PinAAcle 900Z 型原子吸收分光光度计的检定证书, 其线性误差为 +3.1%, 测量重复性为 1.5%,  $k=3$ , 则:

$$U(C_x) = \frac{\sqrt{0.031^2 + 0.015^2}}{3} = 0.011。$$

#### 4.3.4 测量重复性

称取同一干香菇样品 3 份进行平行测试, 测定结果见表 2。

表 2 样品中铅含量的测定结果  
Table 2 Determination result of lead content in sample

序号	样品质量 /g	试样总体积/mL	试样溶液中铅浓度/( $\mu\text{g/L}$ )	样品铅含量/(mg/kg)
1	1.000	25.0	25.38	0.63
2	1.001	25.0	26.76	0.67
3	1.019	25.0	25.15	0.62

由表 2 得  $p=3$ ,  $\bar{x}'=0.64 \text{ mg/kg}$ ,

$$S_{x'} = \sqrt{\frac{1}{p-1} + \sum (x'_j - \bar{x}')^2} = 0.026。$$

样品重复测量相对不确定度:  $U_{\text{rep}} = \frac{S_{x'}}{\bar{x}'} = \frac{0.026}{0.64} = 0.041。$

#### 4.3.5 试样溶液中铅的质量浓度( $\rho_s$ )的相对不确定度合成

由上可知,  $U(\rho_s) = \sqrt{U_s^2 + U^2(C_{\text{std}}) + U^2(C_x) + U_{\text{rep}}^2} = \sqrt{0.023^2 + 0.012^2 + 0.011^2 + 0.041^2} = 0.050。$

试样溶液中铅浓度平均值为: 25.76  $\mu\text{g/L}$ , 则试样溶液中铅的质量浓度( $\rho_s$ )的相对不确定度为:

$$u(\rho_s) = U(\rho_s) \times \bar{\rho}_s = 0.050 \times 25.76 = 1.28 \mu\text{g/L}。$$

#### 4.3.6 空白溶液中铅质量浓度的相对不确定度合成

空白溶液中铅质量浓度( $\rho_0$ )的影响因素与试样溶液中铅的质量浓度( $\rho_s$ )相同, 因此所得到的标准不确定度也是相当的, 即

$$u_{c0} = \frac{s}{b} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(\bar{x}' - \bar{x})^2}{s_{xx}}} = \frac{0.00191}{0.0022} \times \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{18} + \frac{(0.000 - 17.5)^2}{1187.5}}$$

$$= 0.56 \mu\text{g/L}.$$

但在实际测定中, 试剂空白溶液铅的吸光度为 -0.0011, 远远小于试样溶液铅中的吸光度 0.0542, 试剂空白溶液铅的质量浓度(-0.0253 μg/L)为负值, 因此只考虑试样溶液中铅的质量浓度引入的不确定度分量即可。

### 5 合成标准不确定度与扩展不确定度

试样中铅含量的相对不确定度为:

$$U_c(\text{Pb}) = \sqrt{U^2(m) + U^2(v) + U^2(\rho_s)}$$

$$= \sqrt{0.0020^2 + 0.0015^2 + 0.050^2} = 0.050.$$

$$u(\text{Pb}) = 0.050 \times 0.64 = 0.032 \text{ mg/kg}.$$

取包含因子  $k=2$ , 得到铅含量的扩展不确定度:

$$U = 2u_c(\text{Pb}) = 0.06 \text{ mg/kg}.$$

### 6 铅含量测量结果报告

铅含量的扩展不确定度为  $U=2u_c(\text{Pb})=0.06 \text{ mg/kg}$ 。

本研究中铅含量测量结果表示为:  $\text{Pb}=(0.64 \pm$

$0.06) \text{ mg/kg}, k=2$ 。

### 7 各分量的相对贡献

各分量引入不确定度如表 3 所示。

由表 3 可见, 试样溶液中铅的质量浓度是此测量结果不确定度的主要分量, 试样消化液定容体积和样品质量引入的不确定度较小。其中试样溶液中铅的质量浓度的不确定度又主要是由标准曲线拟合引入的。

### 8 结论与讨论

本研究发现, 不确定度的最主要影响因素是标准曲线的拟合, 因此, 在石墨炉原子吸收光谱法测定干香菇样品中铅含量时, 应重点关注工作曲线的拟合程度。在实验开始前, 做好预实验, 确定标准曲线的范围, 使用有证书及在有效期范围内的标准物质; 选用的设备, 材料都要在国家规定的允许误差范围内, 对仪器设备定期进行维护, 做好期间核查, 以减少不确定度, 保证实验结果的可靠性。

表 3 分量及其不确定度  
Table 3 Components and their uncertainty

符号	名称	数值 $X$	标准不确定度	相对不确定度
$\rho$	试样溶液中铅的质量浓度	25.76 μg/L	1.28 μg/L	0.050
$\rho_{0*}$	空白溶液中铅质量浓度	0.00 μg/L	0.56 μg/L	/
$V$	试样消化液定容体积	25.0 mL	0.037 mL	0.0015
$m$	样品质量	1.007 g	2 mg	0.0020
$X$	试样中铅的含量	0.64 mg/kg	0.032 mg/kg	0.050

注: \*试剂空白溶液铅的吸光度远远小于试样溶液铅中的吸光度, 故不考虑试剂空白溶液铅的质量浓度的不确定度分量。

### 参考文献

[1] 周公度, 王颖霞. 元素周期表和元素知识集萃(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.  
ZHOU GD, WANG YX. Periodic table and element knowledge collection (second edition) [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2018.

[2] TCHOUNWOU PB, YEDJOU CG, PATLOLLA AK, et al. Heavy metals toxicity and the environment [J]. EXS, 2012, 101(101): 133-164.

[3] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants-72th Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive [S]. WHO Technical Report Series 959, 2011.

[4] KOEDRITH P, KIM HL, WEON JI, et al. Toxicogenomic approaches for understanding molecular mechanisms of heavy metal mutagenicity and carcinogenicity [J]. Int J Hyg Environ Health, 2013, 216(5): 587-598.

[5] 董喆, 李梦怡, 张会亮, 等. 原子吸收法测定泡菜中铅含量的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(3): 1011-1117.

DONG Z, LI MY, ZHANG HL, et al. Uncertainty evaluation for determination of lead in pickled vegetables by atomic absorption spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(3): 1011-1117.

[6] 林霞. 试论食用菌产业现状及前瞻[J]. 科技创新与应用, 2015, (32): 290-301.  
LIN X. Discussion on the status quo and prospects of the edible fungus industry [J]. Technol Innov Appl, 2015, (32): 290-301.

[7] 方芳. 新编食用菌生产手册[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2011.  
FANG F. Newly compiled edible fungus production manual [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 2011.

[8] 林静波. 食用菌加工技术[M]. 长春: 吉林科学出版社, 2007.  
LIN JB. Edible fungus processing technology [M]. Changchun: Jilin Science Press, 2007.

[9] GB 2762—2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].  
GB 2762—2017 National food safety standard-Limit of pollutants in food [S].

[10] 龚纯, 刘小辉. 石墨炉-原子吸收法测定饮用纯净水中铅含量的不确定

度[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(7): 2781-2784.

GONG C, LIU XH. Uncertainty of determination of lead content in pure drinking water by graphite furnace-atomic absorption method [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(7): 2781-2784.

[11] CNAS-CL01-G003-2019 测量不确定度的要求[S].

CNAS-CL01-G003-2019 Requirements for measurement uncertainty [S].

[12] 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].

[13] 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].

[14] CNAS-GL006:2019 化学分析中不确定度的评估指南[S].

CNAS-GL006:2019 Guidelines for the evaluation of uncertainty in chemical analysis [S].

[15] JJG 196—2006 中华人民共和国国家计量检定规程 常用玻璃量器[S].

JJG 196—2006 National metrological verification regulation of the People's Republic of China-Working glass container [S].

[16] 王伟, 赵嵩卿, 王晶晶. 标准偏差计算公式的一种讲解方法[J]. 教育

教学论坛, 2020, (44): 293-294.

WANG W, ZHAO CQ, WANG JJ. An explanation method of standard deviation calculation formula [J]. Educ Teach Forum, 2020, (44): 293-294.

(责任编辑: 张晓寒)

## 作者简介



范稚莉, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测分析研究。

E-mail: 175938364@qq.com



叶明琴, 硕士, 副教授, 主要研究方向为花卉装饰与盆景, 切花保鲜。

E-mail: 780064502@qq.com