

# 电感耦合等离子体质谱法和石墨炉原子吸收光谱法测定金银花中镉含量不确定度评估的比较

张 潇, 李尔春, 刘 越, 张 鑫, 张亚锋\*

(西安市食品药品检验所, 西安 710054)

**摘 要:** **目的** 评定电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)和石墨炉原子吸收光谱法(graphite furnace atomic absorption spectrometry, GFAAS)测定金银花中镉的不确定度。**方法** 分别用 ICP-MS 法和 GFAAS 法测定金银花中镉含量, 建立结果不确定度评估数学模型, 分析与探讨测定过程中产生不确定度的来源。**结果** 结果表明当镉的测定结果为 0.217、0.226 mg/kg 时, 其扩展不确定度分别为 0.0096、0.0162 mg/kg,  $k=2$ 。**结论** 测定过程的不确定度主要来源于待测液浓度和方法回收率。ICP-MS 法引入的相对标准不确定度小于 GFAAS 法, 能更合理地对样品中镉的不确定度进行合理评定。

**关键词:** 镉; 电感耦合等离子体质谱法; 石墨炉原子吸收光谱法; 不确定度

## Comparative study of uncertainty evaluation for the determination of cadmium content in *Lonicerae Japonicae Flos* by inductively coupled plasma-mass spectrometry and graphite furnace atomic absorption spectrometry

ZHANG Xiao, LI Er-Chun, LIU Yue, ZHANG Xin, ZHANG Ya-Feng\*

(Xi'an Institute for Food and Drug Control, Xi'an 710054, China)

**ABSTRACT: Objective** To evaluate the uncertainty of determination of cadmium in *Lonicerae Japonicae Flos* by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAAS). **Methods** The cadmium contents in *Lonicerae Japonicae Flos* were determined by ICP-MS and GFAAS, respectively, and the uncertainties were analyzed and discussed by the mathematical model of result uncertainty evaluation which was established. **Results** It resulted that the expanded uncertainties of these two methods were 0.0096 and 0.0162 mg/kg ( $k=2$ ), respectively, when the determination results of cadmium were closed to 0.217 and 0.226 mg/kg. **Conclusion** The concentration of the solution to be measured and the recovery are major factors in calculating the uncertainty. The relative standard uncertainty introduced by ICP-MS method is less than that by GFAAS, which can reasonably evaluate the uncertainty of cadmium in samples.

**KEY WORDS:** cadmium; inductively coupled plasma-mass spectrometry; graphite furnace atomic absorption spectrometry; uncertainty

\*通讯作者: 张亚峰, 硕士, 副主任药师, 主要研究方向为药品与食品质量分析。E-mail: 27327242@qq.com

\*Corresponding author: ZHANG Ya-Feng, Master, Associate Chief Pharmacist, Xi'an Institute for Food and Drug Control, Xi'an 710054, China. E-mail: 27327242@qq.com

## 1 引言

金银花(*Lonicerae Japonicae Flos*)为忍冬科忍冬属植物忍冬(*Lonicera japonica* Tunb)的干燥花蕾或带初开的花。性甘寒气芳香,具有清热解毒、凉散风热、善清解血毒等功效,临床上用于各种热性病,如发疹、咽喉肿痛等,均有明显效果<sup>[1-5]</sup>。但有研究发现金银花对有毒重金属元素镉具有较强的富集能力<sup>[6,7]</sup>,极易导致镉含量超标,严重影响了金银花药材的质量和临床药效。在保证药材安全及药效条件下,如何准确测定金银花中的镉含量显得日益重要。

目前镉含量测定方法主要有石墨炉原子吸收光谱法<sup>[8-11]</sup>、紫外可见分光光度法<sup>[12]</sup>、氢化物-原子荧光光谱法<sup>[13]</sup>,及电感耦合等离子体质谱(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)<sup>[14]</sup>法等。其检验原理、检出限及灵敏度等各不相同,对一定浓度范围内的准确度也存在较大差异。检测人员可根据样品特性及实验条件综合考虑,选择最佳方法。

近几年来,随着我国国际贸易的迅速发展,市场竞争日益激烈,采用不确定度来确定测量结果的可信程度成为必然。随着GUM93《测量不确定度表示指南》<sup>[15]</sup>、《化学测量领域不确定度评定指南》<sup>[16]</sup>、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》<sup>[17]</sup>等一系列标准的颁布,不确定度理论逐步深入,其对实验室的质量管理和质量保证的评估更加成熟。辜忠春等<sup>[5]</sup>、王欣美等<sup>[18]</sup>分别采用单一原子吸收法或ICP-MS法测定药材中镉含量的不确定度,分析引入不确定度的主要因素,对之后分析测量过程具有指导意义。不足之处在于未对比不同仪器测量同一样品引入的不确定度,本文采用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)和石墨炉原子吸收光谱法(graphite furnace atomic absorption spectrometry, GFAAS)对金银花中镉含量的不确定度进行分析,全面分析2种检测方法在该情况下所出具检测报告的准确度,为检验人员根据实验室条件选择合理的检测方法提供依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器与试剂

Nexion 350x 电感耦合等离子体质谱仪(美国铂金埃尔默仪器上海有限公司); ZEE nit 700P 原子吸收光谱仪(德国耶拿分析仪器股份公司); BSA124-CW 电子天平(德国赛多利斯科学仪器(北京)有限公司); ETHOS-One 微波消解仪(意大利迈尔斯通)。

镉标准溶液(GBW(E)080119, 100 μg/mL, 中国计量科学研究院); 硝酸(优级纯, 美国默克公司); 氢氟酸(分析纯, 苏州晶锐化学股份有限公司); 实验用水为一级水。

NIFDC-PT-141 能力验证样品: 编号 AA0010111(细粉

状样品), 中国食品药品检定研究院。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 标准溶液的配制

标准贮备液: 准确移取镉单元素溶液标准物质 1 mL, 用体积分数 2%硝酸(以浓硝酸为基准)稀释并定容至 100 mL 容量瓶, 质量浓度为 1.0 μg/mL。

标准中间液: 准确移取上述镉标准贮备液 10 mL, 用体积分数 2%硝酸(以浓硝酸为基准)稀释并定容至 100 mL 容量瓶, 质量浓度为 100 ng/mL。

标准工作液: 分别用 1 mL 刻度吸量管移取 0.5 mL, 1 mL 单标线吸量管移取 1 mL, 2 mL 刻度吸量管移取 1.5 mL, 2 mL 单标线吸量管移取 2 mL, 3 mL 单标线吸量管移取 3 mL, 准确移取移取上述标准中间液, 并用体积分数 2%硝酸(以浓硝酸为基准)稀释并定容至 100 mL 容量瓶配制 0.0、0.50、1.0、1.5、2.0、3.0 ng/mL 标准系列溶液。

#### 2.2.2 供试品的制备

精密称取 0.5 g 金银花样品置于聚四氟乙烯罐中, 加入 8 mL 硝酸, 2 mL 氢氟酸, 按照微波消解仪中消解程序进行消解, 消解条件见表 1。消解完全后, 冷却至室温取出, 置于 140 °C 控温电热板上赶酸至 1~2 mL。冷却至室温后将消化液转移至 25 mL 容量瓶中, 用少量水分多次洗涤消解罐, 洗涤液合并于容量瓶中, 定容至刻度, 摇匀, 备用, 同时做空白和平行实验。

#### 2.2.3 ICP-MS 法测定金银花中的镉含量

将 ICP-MS 调至最佳工作状态, 以锗(Ge)为内标元素, 待仪器稳定后, 按照表 2 操作条件, 分别测定 2.2.1 和 2.2.2 中标曲、样品空白及样品溶液中镉含量。

表 1 微波消解条件  
Table 1 Microwave digestion condition

阶段	升温时间 /min	保持时间 /min	功率/W	温度/°C
阶段 1	15	-	1800	130
阶段 2	-	5	1800	130
阶段 3	15	-	1800	180
阶段 4	-	20	1800	180

表 2 ICP-MS 主要工作参数  
Table 2 Operating parameters of ICP-MS

工作参数	设定值	工作参数	设定值
射频功率/W	1200	采样锥和 截取锥	镍
等离子体气流速 /(L/min)	18.00	氧化物	< 2%
辅助气流速/(L/min)	1.20	双电荷	< 3%



## 2) 温度差引入的不确定度

20 °C时水的膨胀系数  $\alpha=2.1 \times 10^{-4}$ , 假设实验过程中环境温度波动范围  $\Delta T=2$  °C, 忽略温度对容量瓶体积的微小影响, 则温度带来的不确定度分量为:

$$u(V_{C,25}) = \frac{\alpha V \Delta T}{\sqrt{3}} = \frac{2.1 \times 10^{-4} \times 25.0 \times 2}{\sqrt{3}} = 0.0061 \text{ mL};$$

定容过程产生的合成不确定度为

$$u(V_{25}) = \sqrt{0.017^2 + 0.0061^2} = 0.018 \text{ mL};$$

定容过程产生的相对不确定度为:

$$u_{rel}(V_{25}) = \frac{u(V_{25})}{V_{25}} = \frac{0.018}{25} = 0.072\%$$

由于定容后浓度超线性范围, 故用 2 mL 单标线吸量管移取 2 mL 至 10 mL 单标线容量, 用 2% 硝酸定容至刻度。

则同理, 10 mL 容量瓶的标准不确定度  $u(V_{10})=0.012$  mL, 相对标准不确定度  $u_{rel}(V_{10})=0.12\%$ 。

2 mL 单标线吸量管的标准不确定度  $u(V_2)=0.0058$  mL, 相对标准不确定度  $u_{rel}(V_2)=0.29\%$ 。

因此, 样品消解液定容体积引入的不确定度

$$u_{rel}(V) = \sqrt{(0.072\%)^2 + (0.12\%)^2 + (0.29\%)^2} = 0.32\%$$

3.1.4 待测液浓度 C 的不确定度  $u_{rel}(C)$ 

## (1) 标准物质引入的不确定度

根据镉标准储备液(GBW(E)080119)标准物质证书上给出镉标准溶液浓度(100  $\mu\text{g/mL}$ )的相对不确定度为  $U=0.888(k=2)$ ,

将其转化为相对标准不确定度为:  $U_{rel} = \frac{0.8\%}{2} = 0.4\%$ 。

## (2) 配制过程引入的不确定度

根据 2.2.1 标准溶液配制过程, 此过程不确定度主要来源包括: 量器允许误差引入的标准不确定度  $u(V_A)$ , 温度误差引入的标准不确定度  $u(V_C)$ 。计算过程同 3.1.3, 结果如表 5。

因此, 由各量具引入的相对合成标准不确定为:

$$u_{rel}(V) = \sqrt{2 \times (0.0040)^2 + (0.0029)^2 + (0.0029)^2 + (0.0012)^2 + (0.0092)^2 + (0.0046)^2 + 8 \times (0.00063)^2} = 0.013$$

## (3) 标准曲线拟合引入的不确定度

标准曲线拟合引入的不确定度按以下公式计算<sup>[20,21]</sup>:

$$u = \frac{s}{b} \sqrt{\frac{1}{P} + \frac{1}{n} + \frac{(c - \bar{c})^2}{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}}$$

$$S_A = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n [A - (a + bc_i)]^2}$$

式中:  $S_A$ -校准曲线的标准差;

$P$ -样品溶液的测定次数;

$n$ -标准溶液(含空白溶液)的测定总次数;

$b$ -校准曲线的斜率;

$a$ -校准曲线的截距;

$c$ -由校准曲线求得的样品溶液中浓度;

$\bar{c}$ -各标准溶液中浓度的平均值;

$c_i$ -由标准曲线方程得出的标准溶液中浓度的测定值;

$A$ -标准溶液各点响应值与内标回收率的比值(ICP-MS法)或各标准溶液实际吸光度值的均值(GFAAS法)。

表 5 各量具相对标准不确定度评定结果  
Table 5 Relative standard uncertainty of each volumetric glassware

玻璃器具	$u(V_A)/\text{mL}$	$u(V_C)/\text{mL}$	容量(mL)	次数	$u_{rel}(V)$
1 mL 单标线吸量管	0.0040	0.00024	1	2	0.0040
2 mL 单标线吸量管	0.0058	0.00048	2	1	0.0029
3 mL 单标线吸量管	0.0087	0.00073	3	1	0.0029
10 mL 单标线吸量管	0.012	0.0024	10	1	0.0012
1 mL 刻度吸量管	0.0046	0.00024	0.5	1	0.0092
2 mL 刻度吸量管	0.0069	0.00048	1.5	1	0.0046
100 mL 单标线容量瓶	0.058	0.024	100	8	0.00063

分别用 ICP-MS 法和 GFAAS 法测定标准曲线, 标准曲线拟合引入的不确定度分别见表 6、表 7。

因此, 由待测液浓度 C 引入的不确定度  $u(C)$  分别为:

ICP-MS 法:

$$u_{rel}(C_1) = \sqrt{(0.4\%)^2 + (0.013)^2 + (0.0116)^2} = 1.79\%$$

GFAAS 法:

$$u_{rel}(C_2) = \sqrt{(0.4\%)^2 + (0.013)^2 + (0.0224)^2} = 2.62\%$$

3.1.5 方法回收率引入的不确定度  $u_{rel}(R)$ 

通过加标回收实验, 分别采用 ICP-MS 法与 GFAAS 法测定实验结果并计算回收率, 由回收率  $R$  引入的不确定度根据 JJF1059-2012<sup>[22]</sup>计算:

$$u^2(R) = \frac{(b^+ + b^-)^2}{12}$$

计算结果见表 8。

### 3.2 合成不确定度 $u(X)$

通过引入合成不确定度, 综合分析整个检测过程引入的不确定度大小。根据分析可得各不确定份量和其相对标准不确定度如表 9 所示。因此 2 种方法的合成相对标准不确定度分别为:

ICP-MS 法:

$$u_{rel}(X) = \sqrt{u_{rel}^2(rep_1) + u_{rel}^2(m) + u_{rel}^2(V) + u_{rel}^2(C_1) + u_{rel}^2(R_1)}$$

$$= \sqrt{(0.377\%)^2 + (0.082\%)^2 + (0.32\%)^2 + (1.79\%)^2 + (1.20\%)^2} = 2.21\%$$

表 6 ICP-MS 法标准溶液测定结果  
Table 6 Determination results of standard solutions by ICP-MS

质量浓度/(ng/L)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
$A/(cps)$	0.000026	0.012432	0.026082	0.038501	0.050983	0.075911
标准曲线	$Y=0.0253X+0.000198(0.99996)$					
$S_A=0.00042$	$b=0.0253$	$P=6$	$n=6$	$c=0.872$	$u=0.0101$	$u_{rel}=0.0116$

表 7 GFAAS 法标准溶液测定结果  
Table 7 Determination results of standard solutions by GFAAS

质量浓度/(ng/L)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
	0.00408	0.02946	0.06245	0.08474	0.10963	0.16280
吸光度 $A$	0.00375	0.03056	0.05881	0.08628	0.10736	0.15978
	0.00294	0.03077	0.05713	0.08812	0.10855	0.16278
吸光度均值 $\bar{A}$	0.00359	0.03027	0.05946	0.08638	0.10851	0.16179
标准曲线	$Y=0.0526X+0.00493(0.99949)$					
$S_A=0.0022$	$b=0.0526$	$P=6$	$n=18$	$c=0.915$	$u=0.0205$	$u_{rel}=0.0224$

表 8 回收率引入的不确定度评估结果  
Table 8 Uncertainty aroused from recovery rate

方法	回收率/%		平均回收率/%	相对标准偏差/%	$u(R)/\%$	$u_{rel}(R)/\%$
	最小值	最大值				
ICP-MS 法	96	100	96	2.89	1.15	1.20
GFAAS 法	100	108	104	5.44	2.31	2.22

注: 回收率实验在称量 0.2 g 的待测样品中加入 50 ng/L 镉标准溶液 0.6 mL, 同时做本底及空白实验, 按照 2.2.2 中同法处理。

表 9 影响镉测定结果的不确定度分量一览表  
Table 9 List of uncertainty components that affect the results of determination of cadmium

不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	相对标准不确定度	
		ICP-MS 法	GFAAS 法
$u(rep)$	样品称量、容量瓶定容、移液管使用、仪器波动及人员操作的重复性	0.377%	0.974%
$u(m)$	样品称量	0.082%	0.082%
$u(V)$	定容体积	0.32%	0.32%
$u(C)$	标准物质、标液配制、标曲拟合	1.79%	2.62%
$u(R)$	前处理及测定产生的基体干扰	1.20%	2.22%
$u_{rel}(X)$	相对标准合成不确定度	2.21%	3.58%

GFAAS 法:

$$u_{rel}(X) = \sqrt{\frac{u_{rel}^2(rep_2) + u_{rel}^2(m) + u_{rel}^2(V) + u_{rel}^2(C_2) + u_{rel}^2(R_2)}{(0.974\%)^2 + (0.082\%)^2 + (0.32\%)^2 + (2.62\%)^2 + (2.22\%)^2}} = 3.58\%$$

由表 9 中可以看出,不同不确定度分量对 2 种方法引入的相对标准不确定度不同。对 2 种测定方法,方法回收率、待测液浓度引入的相对不确定度较大,样品称量引入的不确定度最小。整体而言,ICP-MS 法引入的相对标准不确定度较小。

### 3.3 结果表示

经 ICP-MS 法与 GFAAS 法 6 次重复测出的平均值分别为  $X_1(0.217 \text{ mg/kg})$ 、 $X_2(0.226 \text{ mg/kg})$ 。在 95%置信度水平下,包含因子  $k=2$ ,则扩展不确定度为:

ICP-MS 法:

$$U(X) = u_{rel}(X) \times X_1 \times k = 0.0221 \times 0.217 \times 2 = 0.0096 \text{ mg/kg};$$

GFAAS 法:

$$U(X) = u_{rel}(X) \times X_2 \times k = 0.0358 \times 0.226 \times 2 = 0.0162 \text{ mg/kg}。$$

则 2 种方法对样品结果表示分别为: ICP-MS 法:  $(0.217 \pm 0.0096) \text{ mg/kg}$ ,  $k=2$ ;

GFAAS 法:  $(0.226 \pm 0.0162) \text{ mg/kg}$ ,  $k=2$ 。

## 4 结论

测定金银花中镉含量时,影响测量结果的主要因素为:待测液浓度(包括标准物质、标液配制及标曲拟合)、方法回收率,而重复性、定容体积、样品称量引入的相对标准不确定度依次减小。因此在之后的操作过程中,可以加强对主要因素重点控制,加强常规操作及样品重复测定次数来减少结果的不确定度,从而保证结果的准确性。

此外,由 2 种测试方法的不确定度结果来看,ICP-MS 法的各不确定度数值均小于 GFAAS 法。原因可能是 ICP-MS 法采用内标校正法测定样品,抗干扰能力强、检出限低、准确度和精密度较高,在低含量测定时比较准确,且整个过程简便快捷,可优先采用。而 GFAAS 法测定镉含量明显偏高,以后测试过程可以通过引入基体改进剂减小不确定度。

根据测定结果,此金银花样品中镉含量测定结果接近相关标准<sup>[23]</sup>中  $\leq 0.3 \text{ mg/kg}$  的限量要求,原因可能是在栽培过程中使用少量含镉的工业磷肥或农药,为防止镉含量超标对其质量的影响,以后应严格控制植物生长环境及仓贮等条件。

### 参考文献

[1] 孟建荣,徐强,王溶溶. 原子吸收光谱法测定不同批次、不同产地金银

花中镉的含量[J]. 中国现代应用药学, 2014, 31(9): 1107-1110.

Meng JR, Xu Q, Wang RR. Determination of Cd in honeysuckles by graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2014, 31(9): 1107-1110.

[2] 邹耀华. 石墨炉 AAS 法分析金银花中镉及其分布规律[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, (11): 2679-2681.

Zou YH. Analysis on distribution characteristics of cadmium residues in honeysuckle by GFAAS [J]. Chin J Health Lab Technol, 2011, (11): 2679-2681.

[3] 周妮,杨定清,谢永红,等. 石墨炉原子吸收光谱法测定金银花中铅镉的研究[J]. 中国测试, 2009, 35(5): 88-90.

Zhou Y, Yang DQ, Xie YH, et al. Determination of Pb and Cd in honeysuckles by graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. China Measure Test, 2009, 35(5): 88-90.

[4] 王锦芳,王纯健. 金银花药材中重金属铅、镉含量分析[J]. 海峡药学, 2010, 22(10): 72-74.

Wang JF, Wang CJ. Content analysis of heavy metals lead and cadmium in flos lonicerae [J]. Strait Pharm J, 2010, 22(10): 72-74.

[5] 辜忠春,姚胜海,杨柳,等. 原子吸收法测定金银花中铜的不确定度分析[J]. 食品研究与开发, 2017, (7):120-124.

Gu ZC, Yao SH, Yang L, et al. Evaluation of uncertainty for determination of copper in lonicera japonica flos by FAAS [J]. Food Res Dev, 2017, (7): 120-124.

[6] 张金莲,张文. 金银花中微量元素分析[J]. 微量元素与健康研究, 2004, 21(3): 22.

Zhang JL, Zhang W. Analysis of trace elements in honeysuckle [J]. Stud Trace Elem Health, 2004, 21(3): 22.

[7] 刘周莉,陈玮,何兴元,等. 低浓度镉对忍冬生长及光合生理的影响[J]. 环境化学, 2018, 37(2):223-228.

Liu ZL, Chen W, He XY, et al. Effects of low concentration cadmium on the growth and photosynthetic physiology of lonicera japonica thunb [J]. Environ Chem, 2018, 37(2): 223-228.

[8] 徐小艳. 微波消解-石墨炉原子吸收光谱法连续测定水果和蔬菜中铅镉[J]. 食品科学, 2009, 30(10): 206-208.

Xu XY. Continuous determination of lead, chromium and cadmium in fruit and vegetable by microwave digestion-graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. Food Sci, 2009, 30(10): 206-208.

[9] 邓世林,李新风,邓富良,等. 悬浮液进样石墨炉原子吸收光谱法测定苧麻中镉[J]. 理化检验-化学分册, 2004, 40(2): 79-81.

Deng SL, Li XF, Deng FL, et al. GFAAS determination of cadmium in ramie by sampling with suspension [J]. PhysTest Chem Anal B, 2004, 40(2): 79-81.

[10] 翁棣,翟国庆. 微波消解-石墨炉原子吸收法测定壳聚糖中的痕量镉[J]. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(4): 567-569.

Weng D, Zhai GQ. GFAAS determination of trace amount cadmium in chitosan by micro wave [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2005, 25(4): 567-569.

[11] GB 5009.15-2014 食品中镉的测定[S].

GB 5009.15-2014 Determination of cadmium in food [S].

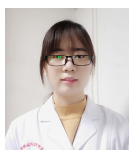
[12] 宁文吉,张桂芳,董桂贤,等. 水中镉的达旦黄-吐温 80 分光光度快速测定法[J]. 职业与健康, 2006, 22(1): 33.

Yu WJ, Zhang GF, Dong GX, et al. Rapid spectrophotometric determination of cadmium in water by dadanhuang-tween 80 [J]. Occup Health, 2006, 22(1): 33.

- [13] Guo X, Guo X. Studies on the reaction between cadmium and potassium tetrahydroborate in aqueous solution and its application in atomic fluorescence spectrometry [J]. *Anal Chim Acta*, 1995, 310(2): 377–385.
- [14] 燕娜, 赵生国, 高芸芸. 动态反应池-电感耦合等离子体质谱法测定酒中的镉、汞、铅和铬[J]. *食品科学*, 2013, 34(12): 300–303.  
Yan N, Zhao SG, Gao YY. Determination of cadmium, mercury, lead and chromium in wines by inductively coupled plasma-mass spectrometry with dynamic reaction cell [J]. *Food Sci*, 2013, 34(12): 300–303.
- [15] Taylor BN, Kunatt CE. Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results (1994 Edition) [Z].
- [16] Eurachem/CITAC. Quantifying uncertainty in analytical measurement [S].
- [17] JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示[S].  
JJF 1059.1-2012 Evaluation and representation of measurement uncertainty [S].
- [18] 王欣美, 王柯, 季申. ICP-MS 法测定中药中铜、砷、镉、汞、铅含量的不确定度评定[J]. *药学研究*, 2012, 31(3): 136–140.  
Wang XM, Wang K, Ji S. Evaluation of uncertainty for the determination of Cu, As, Cd, Hg, Pb in TCM by ICP-MS [J]. *J Pharm Res*, 2012, 31(3): 136–140.
- [19] JJG 1036-2008 电子天平检定规程[S].  
JJG 1036-2008 Verification regulation of electronic balance [S].
- [20] 张建辉, 石国荣, 杨代明, 等. 超声波提取-原子荧光光度法测定食品中无机砷及其不确定度的评估[J]. *食品与机械*, 2009, 25(5):117–120.  
Zhang JH, Shi GR, Yang DM, *et al.* Evaluation of uncertainty in measurement of inorganic arsenic in foods by ultrasonic-atomic fluorescence spectrometry [J]. *Food Mach*, 2009, 25(5): 117–120.
- [21] CNAS-GL 06: 2006 化学分析中不确定度的评估指南[S].  
CNAS-GL 06: 2006 Guidelines for the evaluation of uncertainty in chemical analysis [S].
- [22] JJF 1059-2012 测量不确定度评定与表示[S].  
JJF 1059-2012 Evaluation and representation of uncertainty in measurement [S].
- [23] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 (2015 年版一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.  
China Pharmacopoeia Committee. *Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Part 1, 2015)* [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2015.

(责任编辑: 韩晓红)

### 作者简介



张 潇, 硕士, 主要研究方向为食品质量分析。  
E-mail: 591205680@qq.com



张亚峰, 硕士, 副主任药师, 主要研究方向为药品及食品质量分析。  
E-mail: 27327242@qq.com