

## 微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定刺梨果汁中铅不确定度评定

冉茂乾<sup>1,2</sup>, 李志<sup>1,2</sup>, 陈露<sup>1,2</sup>, 徐孟怀<sup>1,2</sup>, 游元丁<sup>1,2</sup>, 焦彦朝<sup>3\*</sup> (1. 六盘水市山地特色生态产品研究中心, 贵州六盘水 553000; 2. 国家果蔬检测重点实验室(六盘水), 贵州六盘水 553000; 3. 贵阳海关综合技术中心, 贵州贵阳 550081)

**摘要** [目的]对微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定刺梨果汁中铅含量的不确定度进行评定。[方法]考虑整个测定过程中的不确定度来源, 对各因素影响结果进行系统分析, 建立微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定刺梨果汁中铅的测量不确定度数学模型。[结果]标准溶液系列的配制、线性拟合求样品的浓度以及回收率是影响该方法不确定度的主要因素。采用该方法测定刺梨汁中铅含量的测定结果为(0.114±0.007)mg/L( $k=2, P=95\%$ )。[结论]该方法可用于微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定刺梨果汁中铅的不确定度评定。

**关键词** 微波消解-石墨炉原子吸收法; 刺梨汁; 铅; 不确定度

中图分类号 TS207.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)21-0198-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.21.059



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Uncertainty Evaluation for Determination of Lead in *Rosa roxburghii* tratt Juice by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry with Microwave Digestion

RAN Mao-qian<sup>1,2</sup>, LI Zhi<sup>1,2</sup>, CHEN Lu<sup>1,2</sup> et al (1. Liupanshui Mountain-featured Ecological Product Research Center, Liupanshui, Guizhou 553000; 2. State Key Inspection Laboratory of Fruit and Vegetable Products (Liupanshui), Liupanshui, Guizhou 553000)

**Abstract** [Objective] The uncertainty of determination of Pb in *Rosa roxburghii* tratt juice by microwave digestion-graphite furnace atomic absorption spectrometry was evaluated. [Method] The sources of the measurement uncertainty were analyzed and the effects of some factors on the uncertainty were discussed. And then the mathematical model of uncertainty for determination of Pb in *Rosa roxburghii* tratt juice was established. [Result] The main sources of the measurement uncertainty were the preparation of standard solution, the recoveries and the method of linear fitting for sample concentration. The result of the determination of Pb in *Rosa roxburghii* tratt juice was (0.114±0.007) mg/L ( $k=2, P=95\%$ ). [Conclusion] This method is applicable to the uncertainty evaluation during determination of the content of Pb in *Rosa roxburghii* tratt juice by microwave digestion-graphite furnace atomic absorption spectrometry.

**Key words** Microwave digestion-graphite furnace atomic absorption spectrometry; *Rosa roxburghii* tratt juice; Lead; Uncertainty; Microwave digestion

刺梨是蔷薇科野生植物<sup>[1]</sup>, 其果实含有丰富的营养成分, 有水果中的“维生素C之王”之称, 是药食两用的水果, 是极具开发价值的第三代特色水果<sup>[2-3]</sup>。刺梨鲜果通过提取浓缩后制成的刺梨汁不仅保留了刺梨独特风味和大部分的营养成分, 同时也是制备刺梨饮料的原料。铅(Pb)是一种蓄积性的重金属元素, 对人体大脑、神经系统、免疫系统有损害作用, 使机体的抵抗力下降<sup>[4]</sup>, 除此之外铅还有致癌、致胎儿畸以及致基因突变作用<sup>[5]</sup>。测量不确定度与测量结果相关联, 是根据所用到的信息, 表征合理地赋予被测量之值分散性的非负参数<sup>[6-8]</sup>, 是对检测数据准确性和有效性的科学评价。笔者采用微波消解-石墨炉原子吸收光谱法检测铅(Pb)含量, 原理为刺梨汁中铅离子被石墨炉原子化后, 在特征吸收波长 283.3 nm 处测定吸光度, 一定浓度范围内其吸光度与铅的含量成正比, 符合 Lambert-Beer 定律<sup>[9]</sup>。根据该原理, 对被测样品中铅浓度进行检测, 找出不确定度的影响因素并进行评估, 保证检测结果的置信度和准确性。

## 1 材料与方

**1.1 试验材料** 刺梨果汁。石墨炉原子吸收光谱仪, 岛津 AA-7000; 微波消解仪, 麦尔斯通 Ethos UP-MAXI; 超纯水系统, 热电 UV/UF。优级纯硝酸、高氯酸; 铅标准溶液

1 000 μg/mL, 有色金属及电子材料分析测试中心, GSB 04-1742-2004; 高纯氩气。试验所用器皿均用 20% 硝酸溶液浸泡 24 h, 洗净后去离子水冲洗晾干待用。

**1.2 试验方法** 参照国家标准 GB 5009.12-2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》<sup>[9]</sup> 对样品进行检测, 方法有所改动。准确量取 5 mL 刺梨汁于微波消解罐中, 加入 8 mL 优级纯硝酸和 1 mL 优级纯高氯酸, 常温下预消解 4 h 后, 按设定的微波消解程序对样品进行消解, 待消解完成后冷却, 卸压, 取出消解罐, 于 170 °C 赶酸仪中赶酸至剩余体积 0.5~1.0 mL, 冷却, 转移至 25 mL 容量瓶中, 定容待测。

**1.3 数学模型** 测量不确定度参照 JJF 1059.1-2012《测量不确定度的评定与表示》<sup>[7]</sup> 的方法评定。通过测定铅标准系列的吸光度与浓度关系, 建立标准曲线方程。将刺梨汁样品测定的吸光度带入曲线方程求得铅元素浓度。样品中铅含量计算公式为:

$$X = (C \times V) / (V_0 \times 1000)$$

式中,  $X$  为样品中铅的含量(mg/L);  $C$  为供试样品待测液中测定值扣除空白后铅的浓度(μg/L);  $V$  为供试样品的稀释体积(mL);  $V_0$  为供试样品的体积(mL)。

**1.4 不确定度来源分析** 根据被测量  $X_{(Pb)}$  的数学模型分析, 测定刺梨果汁中铅含量的不确定度来源包括: 配置标准溶液浓度的不确定度分量  $u_{rel}(1)$ 、样品测定引入的不确定分量  $u_{rel}(2)$  (包括标准曲线拟合引入的不确定度分量  $u_{rel}(2)$ 、回收率的不确定度分量  $u_{rel}(3)$ )、校准仪器的不确定分量  $u_{rel}(4)$  和重

基金项目 海关总署科研项目(2018IK053)。

作者简介 冉茂乾(1989-), 男, 贵州遵义人, 助理工程师, 硕士, 从事农产品农产品检验检疫研究。\* 通信作者, 研究员, 硕士, 从事动植物食品检验检疫研究。

收稿日期 2019-06-11

复性的不确定度分量  $u_{\text{rel}}(5)$ 、试样量取的不确定度分量  $u_{\text{rel}}(6)$  和试液定容的不确定度分量  $u_{\text{rel}}(7)$ , 最后合为一个总试验分量  $u_{\text{rel}}(\text{total})$ 。其因果关系如图 1。

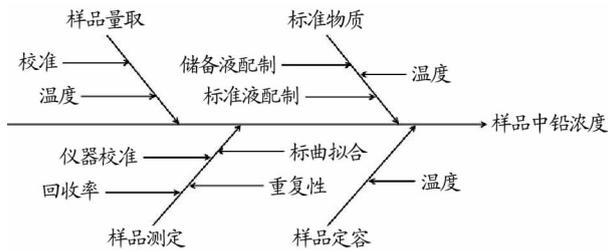


图 1 不确定度来源因果关系  
Fig. 1 Causality of uncertainty

## 2 结果与分析

**2.1 配制标准溶液浓度的不确定度分量  $u_{\text{rel}}(1)$**  由铅标准溶液按逐级稀释的方法配制标准曲线工作液。配制所用的移液管、容量瓶及环境温度如表 1 所示。

**2.1.1 铅标准贮备液的不确定度分量。** 铅贮备液由国家有色金属及电子材料分析测试中心提供, 批号为 GSB 04-1742-2004, 贮备液标准值为  $1\ 000\ \mu\text{g}/\text{mL}$ , 给定的标准不确定度为 0.7%, 则  $u_{\text{rel}}(C) = 0.007$ 。

**2.1.2 配制标准溶液浓度引起的不确定度各分量。** 100 mL A 级容量瓶的最大允许误差为 0.1 mL; 1 mL A 级移液管的最大允许误差为 0.008 mL; 2 mL A 级移液管的最大允许误差为 0.012 mL; 5 mL A 级移液管的最大允许误差为 0.025 mL; 10 mL A 级移液管的最大允许误差为 0.05 mL。

配制标准工作液系列过程中共用了 100 mL A 级容量瓶 8 个、1 mL A 级移液管 4 支、2 mL A 级移液管 1 支、5 mL A 级移液管 1 支、10 mL A 级移液管 2 支; 水的体积膨胀系数按  $2.1 \times 10^{-4}\ \text{mL}/\text{C}$ , 按均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ 。据《JJG 196—2006 常用玻璃器皿》规定, 容量瓶和移液管属于 B 类不确定度评定, 按三角分布,  $k = \sqrt{6}$ , 则容量瓶和移液管的相对不确定度见表 2。

表 1 配制铅标准溶液所用移液管、容量瓶及环境温度

Table 1 Pipettes, volumetric flasks and ambient temperature used to prepare lead standard solutions

配制铅标准溶液 Preparation of lead standard solution	移液管 Pipettes (A 级) mL	配制温度 Preparation temperature °C	容量瓶 Volumetric flasks (A 级) mL
储备液 Stock solution (100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	1	20±4	100
储备液 Stock solution (10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	1	20±4	100
储备液 Stock solution (1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	1	20±4	100
工作液 Working solution (10.0 ng/mL)	1	20±4	100
工作液 Working solution (20.0 ng/mL)	2	20±4	100
工作液 Working solution (40.0 ng/mL)	5	20±4	100
工作液 Working solution (60.0 ng/mL)	10	20±4	100
工作液 Working solution (80.0 ng/mL)	10	20±4	100

表 2 标准溶液系列配制引入的相对不确定度

Table 2 Relative uncertainty introduced by standard solution series preparation

类别 Type	标准不确定度 Standard uncertainty		相对标准不确定度 Relative standard uncertainty	
	4 °C 温差 4 °C temperature difference	量器允许误差 Gauge allowable error	4 °C 温差 4 °C temperature difference	量器允许误差 Gauge allo- wable error
100 mL 容量瓶 100 mL volumetric flask	$100 \times 4 \times 0.000\ 21/\sqrt{3} = 0.048\ 497$	$0.1/\sqrt{6} = 0.040\ 820\ 0$	0.000 485	0.000 408
10 mL 移液管 10 mL pipette	$100 \times 4 \times 0.000\ 21/\sqrt{3} = 0.004\ 850$	$0.05/\sqrt{6} = 0.020\ 400\ 0$	0.000 485	0.002 040
5 mL 移液管 5 mL pipette	$5 \times 4 \times 0.000\ 21/\sqrt{3} = 0.002\ 425$	$0.025/\sqrt{6} = 0.010\ 210\ 0$	0.000 485	0.002 040
2 mL 移液管 2 mL pipette	$2 \times 4 \times 0.000\ 21/\sqrt{3} = 0.000\ 970$	$0.012/\sqrt{6} = 0.000\ 489\ 9$	0.000 485	0.002 450
1 mL 移液管 1 mL pipette	$1 \times 4 \times 0.000\ 21/\sqrt{3} = 0.000\ 485$	$0.008/\sqrt{6} = 0.000\ 326\ 6$	0.000 485	0.003 270

标准溶液系列配制引入的合成相对不确定度分量为:

$$u_{\text{rel}}(1) = \sqrt{0.007^2 + 8 \times 0.000\ 408^2 + 3 \times 0.002\ 04^2 + 0.002\ 45^2 + 4 \times 0.003\ 27^2 + 8 \times 0.000\ 485^2} = 0.010\ 6$$

**2.2 标准曲线拟合引入的不确定度分量  $u_{\text{rel}}(2)$**  标准溶液共配制 6 个点, 每个点测 3 组数据, 取平均值。根据 6 个点的平均测试数据, 用最小二乘法拟合线性回归方程  $y = B_1x + B_0$  进行计算:  $y = 0.002\ 518\ 2x + 0.007\ 646$ 。标准工作曲线如图 2 所示。

对样品溶液重复测定 6 次, 测定值分别为 21.682 1、22.586 4、23.324 7、22.443 8、21.780 6 和 24.627 6  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 平均测定值为 22.741 0  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 标准偏差 (SD) 为 1.009 3, 相对标准偏差 (RSD) 为 4.44%。刺梨汁中铅含量为 0.114 mg/L。

根据 CNAS-GL006—2018 化学分析中不确定度的评估指南<sup>[6]</sup>, 标准曲线拟合引入的相对不确定度按下式计算:

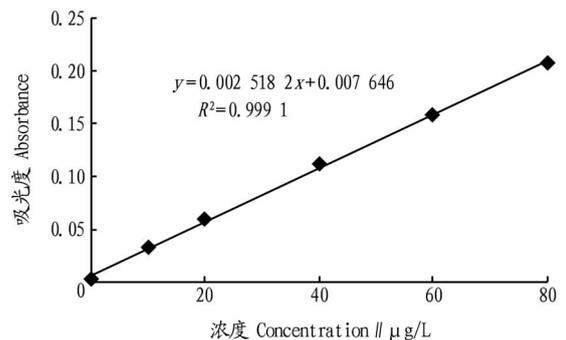


图 2 标准工作曲线

Fig. 2 Standard working curve

$$\mu_{(2)} = \frac{S_R}{B_1} \sqrt{\frac{1}{p} + \frac{1}{n} + \frac{(X-\bar{C})^2}{S_{xx}}}$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2$$

$$S_R = \sqrt{\sum_{i=1}^n [A_i - (CB_1 + B_0)]^2 / (n-2)}$$

式中,  $B_1 = 0.002\ 518\ 2$ ,  $B_0 = 0.007\ 646$ ,  $S_R$  为标准溶液吸光度的残差的标准偏差,  $\bar{C}$  为标准溶液的平均浓度;  $p$  为样品的测量次数;  $n$  为标准溶液的测量次数;  $S_{xx}$  为标准溶液浓度残差的平方和。

标准溶液系列的测量次数  $n$  为 18 次, 样品的测量次数  $p$  为 6 次, 标准溶液的平均浓度  $\bar{C}$  为  $35\ \mu\text{g/L}$ , 标准溶液吸光度的残差的标准偏差  $S_R$  为 0.02, 样品的溶液浓度为  $22.741\ \mu\text{g/L}$ , 根据上述公式计算得  $u_{\text{rel}}(2) = 0.017\ 6$ 。

**2.3 回收率产生的不确定度分量  $u_{\text{rel}}(3)$**  试验过程中分析方法的偏差通过加标试验来确定, 即回收率的测定。样品在消解过程中因溶液中剩余酸量的一致, 导致待测样液的基质背景存在一定差异, 同时样品在前处理过程中各项操作也不可能完全保持一致, 从而导致回收率存在一定偏差。该试验通过 0.10、0.15 和 0.22 mg/L 3 组加标, 每组 2 次平行共测得 6 组数据, 计算加标回收率为 88.0%~101.4%, 平均回收率为 94.2%, 标准偏差为 4.8% (表 3)。

表 3 刺梨汁中铅加标回收率试验测定结果

Table 3 Test results of lead addition recovery test in Rosa roxburghii tratt juice

样品铅含量 Sample lead content mg/L	加标值 Add values mg/L	测定值 Measured value mg/L	回收 率( $R$ ) Recovery rate/%	平均回 收率( $\bar{R}$ ) Average recovery rate/%	标准偏 差( $S$ ) Standard deviation %
0.114	0.10	0.202	88.0	94.2	4.8
0.114	0.10	0.205	91.0		
0.114	0.15	0.256	94.7		
0.114	0.15	0.253	92.7		
0.114	0.22	0.337	101.4		
0.114	0.22	0.329	97.7		

标准不确定度按平均值的标准偏差计算:  $u(R) = S/\sqrt{n} = 0.048/\sqrt{6} = 0.019\ 6$ 。

设  $k$  为在计算测量结果扩展不确定度时所使用的包含因子, 假设测量结果服从正态分布, 在 95% 置信概率下  $k = 1.96$ 。

$$\begin{aligned} u_{\text{rel}}(\text{total}) &= \sqrt{u_{\text{rel}}(1)^2 + u_{\text{rel}}(2)^2 + u_{\text{rel}}(3)^2 + u_{\text{rel}}(4)^2 + u_{\text{rel}}(5)^2 + u_{\text{rel}}(6)^2 + u_{\text{rel}}(7)^2} \\ &= \sqrt{0.010\ 6^2 + 0.017\ 6^2 + 0.020\ 8^2 + 0.005^2 + 0.000\ 8^2 + 0.002\ 1^2 + 0.000\ 41^2} \\ &= 2.97\% \end{aligned}$$

**2.9 相对扩展不确定度** 不确定度各分量按正态分布处理, 取  $k = 2$ , 置信水平  $p = 95\%$ , 则扩展不确定度为:  $u_{\text{rel}} = k \times u_{\text{rel}}(\text{total}) = 2 \times 2.97\% = 5.94\%$ , 因此  $U_X = u_{\text{rel}} \times X = 0.006\ 8\ \text{mg/L}$ , 则刺梨果汁中铅含量的分析检测结果为  $X = (0.114 \pm 0.007)\ \text{mg/L}$ ,  $k = 2$ 。

设  $t = (1 - \bar{R})/u(R)$ , 当  $t < k$  时, 可认为实际回收率与 1 之间不存在显著性差异; 当  $t > k$ , 那么认为实际回收率与 1 之间存在显著性差异。计算  $t = (1 - \bar{R})/u(R) = (1 - 0.942)/(0.019\ 6) = 2.96 > k$ 。因此实际回收率与 1 之间存在显著性差异, 必须考虑由回收率引起的不确定度<sup>[10]</sup>, 则回收率相对不确定度为:  $u_{\text{rel}}(3) = u(R)/\bar{R} = 0.019\ 6/0.942 = 0.020\ 8$ 。

**2.4 校准仪器所引起的不确定度分量  $u_{\text{rel}}(4)$**  校准仪器所引起的不确定度由贵州省计量测试院根据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》<sup>[7]</sup> 对此次试验用石墨炉原子吸收光谱仪所出计量证书, 此次试验用石墨炉原子吸收光谱仪的扩展不确定度为 1%,  $k = 2$ , 则其相对标准不确定度为  $u_{\text{rel}}(4) = 0.01/2 = 0.005$ 。

**2.5 重复性试验不确定度分量  $u_{\text{rel}}(5)$**  重复 6 次测定样品中铅含量, 待测样品中铅含量为  $22.741\ \mu\text{g/L}$ , 相对标准偏差  $S$  为 4.44%, 则重复性试验不确定度分量为:  $u(R) = \frac{S}{\sqrt{n}} =$

$$\frac{0.044\ 4}{\sqrt{6}} = 0.018\ 1, u_{\text{rel}}(5) = \frac{u(R)}{\bar{C}} = \frac{0.018\ 1}{22.741} = 0.000\ 8。$$

**2.6 试样量取不确定度分量  $u_{\text{rel}}(6)$**  量取样品 5.0 mL 用 5 mL 的 A 级分度吸量管, 最大允差为 0.025 mL,  $k = \sqrt{6}$ ; 水的体积膨胀系数按  $2.1 \times 10^{-4}\ \text{mL}/^\circ\text{C}$ ,  $k = \sqrt{6}$ 。因此,  $u(V) = 0.025/\sqrt{6} = 0.010\ 21$ ;  $u_{\text{rel}}(V) = u(V)/V = 0.010\ 21/5 = 0.002\ 042$ ;  $u(t) = 4 \times 5 \times 0.000\ 21/\sqrt{3} = 0.002\ 425$ ;  $u_{\text{rel}}(t) = u(t)/V = 0.002\ 425/5 = 0.000\ 485\ 0$ 。

试样量取产生的不确定度分量:  $u_{\text{rel}}(6) = \sqrt{u_{\text{rel}}(V)^2 + u_{\text{rel}}(t)^2} = \sqrt{0.002\ 042^2 + 0.000\ 485\ 0^2} = 0.002\ 10$ 。

**2.7 样品待测液定容不确定度分量  $u_{\text{rel}}(7)$**  试样定容 50 mL A 级容量瓶, 根据校准证书查得 50 mL A 级容量瓶的最大允差为 0.05 mL,  $k = \sqrt{6}$ ; 水的体积膨胀系数按  $2.1 \times 10^{-4}\ \text{mL}/^\circ\text{C}$ ,  $k = \sqrt{3}$ , 因此,  $u_{\text{rel}}(V_{50}) = 0.05/\sqrt{6} = 0.020\ 41$ ,  $u_{\text{rel}}(7) = u_{\text{rel}}(V_{50})/V = 0.020\ 41/50 = 0.000\ 41$ 。

**2.8 合成标准不确定度  $u_{\text{rel}}(\text{total})$**  将测量结果的各影响因素的不确定度分量及数值列于表 4。根据 JJF 1059《测量不确定度评定与表示》对合成标准不确定度的计算方法, 当每个不确定度分量不相关时, 标准合成不确定度计算公式为:  $u_{\text{rel}}(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)}$ 。因此合成标准不确定度为:

### 3 结论与讨论

石墨炉原子吸收法测定刺梨果汁中铅含量的不确定度的评定最终结果为  $(0.114 \pm 0.007)\ \text{mg/L}$ 。从不确定度的来源来看, 回收率  $u_{\text{rel}}(3)$ 、标准系列拟合直线求样品浓度 (下转第 218 页)

植株根系发达、茎秆壮、群体结构合理、水肥利用适当,对水稻产量的增加起到了积极的促进作用。

表1 不同处理下不同土层深度中根系体积的变化

Table 1 Changes of root volume in different soil layers under different treatments

日期 Date	处理 Treatment	各层次根系体积 Root volume in different soil layers//cm <sup>3</sup> /株				合计 Total
		0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	
08-03	S <sub>1</sub>	37.2	2.0	0	0	39.2
	S <sub>2</sub>	39.0	5.0	0.6	0	44.6
	S <sub>3</sub>	44.6	3.2	0	0	47.8
08-27	S <sub>1</sub>	110.4	60.6	16.2	4.4	191.7
	S <sub>2</sub>	136.8	48.3	20.0	12.9	218.1
	S <sub>3</sub>	132.4	48.4	28.1	9.6	218.6
09-27	S <sub>1</sub>	156.3	57.2	40.8	33.1	287.1
	S <sub>2</sub>	171.3	105.3	97.5	52.8	426.9
	S <sub>3</sub>	190.0	78.6	60.1	51.0	379.6

表2 不同处理水稻的收获指数

Table 2 Harvest index of paddy rice in each treatment

处理 Treatment	渗漏强度 Seepage rate mm/d	茎干重 Dry weight of stem g	叶干重 Dry weight of leaves g	产量 Yield g	收获指数 Harvest index
S <sub>1</sub>	1	75.19	30.48	97.88	0.48
S <sub>2</sub>	2	69.49	29.23	135.16	0.58
S <sub>3</sub>	3	55.39	17.97	144.80	0.66

通过对水稻产量与稳定后的茎蘖数及株高的对比,结果表明 S<sub>3</sub> 处理水稻株高最低,分蘖数最小,然而产量最高,也就是说水稻的株高并不是越高越好,在一定范围内产量随株高的增加而增加,但超出一定范围,株高增加却会导致产量的下降,原因是叶面积系数有一个最佳值,大于这个值相对应的产量减少。株高越高,越容易倒伏;分蘖数越多,无效分蘖也随之增多,不利于水稻的增产。因此,控制水稻植株的株高与分蘖在合理的范围内,对水稻的生长与产量的提高具

(上接第 200 页)

$u_{rel}(2)$  及标准溶液配制  $u_{rel}(1)$  引起的不确定度影响最大,是该试验结果的控制关键,其他来源的不确定度影响因素较小,可以忽略。因此,在今后的检测过程中,为了提高检验检测水平,获得具有较小不确定度的测量结果,应加强对这 3 个方面的质量控制,以保障检测结果的准确性和符合性。

表4 各分量的相对标准不确定度

Table 4 Relative standard uncertainty of each component

序号 No.	不确定度分量来源 Uncertainty component source	符号 Symbol	相对标准不确定度 Relative standard uncertainty $u_{rel}(i)/x_i$
1	标准溶液配制	$u_{rel}(1)$	0.010 6
2	标准曲线拟合	$u_{rel}(2)$	0.017 6
3	回收率	$u_{rel}(3)$	0.020 8
4	校准仪器	$u_{rel}(4)$	0.005 0
5	重复性	$u_{rel}(5)$	0.000 8
6	样品量取	$u_{rel}(6)$	0.002 1
7	样品定容	$u_{rel}(7)$	0.000 4

有重要意义。

### 3 结论

(1)不同的田间渗漏对水稻生长指标的影响。S<sub>1</sub> 处理(渗漏强度为 1 mm/d)下水稻分蘖数最大,而在株高及根系体积方面,S<sub>2</sub> 处理(渗漏强度为 2 mm/d)水稻均取得最大值。

(2)渗漏强度的提高虽然减少了茎、叶的干重,但能有效提高水稻产量及收获指数。S<sub>3</sub> 处理(渗漏强度为 3 mm/d)的水稻产量较 S<sub>1</sub> 处理提高了 47.9%,收获指数提高了 37.5%。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中华人民共和国 2017 年国民经济和社会发展统计公报[R]. 2018.
- [2] SHAO G C, DENG S, LIU N, et al. Effects of controlled irrigation and drainage on growth, grain yield and water use in paddy rice[J]. European journal of agronomy, 2014, 53: 1-9.
- [3] 庞桂斌, 徐征和, 杨士红, 等. 控制灌溉水稻叶片水分利用效率影响因素分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 233-241.
- [4] 肖梦华, 俞双恩, 章云龙. 控制排水条件下淹水稻田田面及地下水氮浓度变化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 180-186.
- [5] 郭相平, 张展羽, 殷国玺. 稻田控制排水对减少氮磷损失的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2006, 24(3): 307-310.
- [6] 邢文刚, 陈立娜, 邵光成, 等. 控制排水条件下水稻产量影响指标敏感性的通径分析[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(3): 41-45.
- [7] 郭以明, 郭相平, 樊峻江, 等. 蓄水控灌模式对水稻产量和水分生产效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(3): 61-63.
- [8] 李磊. 以渗漏强度为控制指标的水田降渍试验研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2015: 74.
- [9] 钟朝章, 潘慧庄, 陈洁芳. 稻田渗漏与稻根生长的试验[J]. 灌溉排水, 1986(3): 8-13.
- [10] 钟朝章, 潘慧庄. 稻田渗漏强度与漏水漏肥试验[J]. 灌溉排水, 1984, 3(1): 42-47.
- [11] 陈惠哲, 朱德峰, 林贤青, 等. 土壤透水状况对水稻根系生长与氮素利用的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 34-37.
- [12] 孙雪梅, 俞双恩, 邵园园. 淹水条件下渗漏强度对稻田 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 质量浓度的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(1): 109-114.
- [13] 彭世彰, 黄万勇, 杨士红, 等. 田间渗漏强度对稻田磷素淋溶损失的影响[J]. 节水灌溉, 2013(9): 36-39.
- [14] 邵园园, 俞双恩, 孙雪梅. 淹水条件下渗漏强度对稻田 TP 浓度的影响[J]. 水资源保护, 2011, 27(3): 24-27.

### 参考文献

- [1] 涂国云, 刘利花. 刺梨的营养成份及保健药用[J]. 中国林副特产, 2006(1): 68-70.
- [2] 吴洪娥, 金平, 周艳, 等. 刺梨与无籽刺梨的果实特性及其主要营养成分差异[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(8): 221-223.
- [3] 李达, 姜楠. 刺梨中 VC SOD 及黄酮含量的测定及其相互影响[J]. 农产品加工, 2016(5): 49-50, 57.
- [4] 王姣, 王蓓, 迟志娟, 等. 微波消解-石墨炉原子吸收法测定茶叶中铅含量的测量不确定度评定[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(30): 10681-10682, 10749.
- [5] 益磊, 黄美山, 李飞. 石墨炉原子吸收法测定螺旋藻中铅含量的不确定度评定[J]. 安徽医药, 2012, 16(2): 177-179.
- [6] 中国合格评定国家认可委员会. 化学分析中不确定度的评估指南: CNAS-GL006: 2018[S]. 北京: 中国合格评定国家认可委员会, 2018.
- [7] 国家市场监督管理总局. 测量不确定度评定与表示: JJF 1059. 1-2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [8] 赵立群, 毛燕. 湿法消解-火焰原子吸收法测定小麦粉中锌含量的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(7): 1689-1694.
- [9] 中华人民共和国卫生部. 食品中铅的测定: GB 5009. 12-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] 李应东, 刘耀敏, 张凤桦. 高氯酸湿消化-原子荧光光度法测定饲料中总砷的不确定度评定[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(2): 115-119.