

分析测试经验介绍 (427 ~ 432)

电感耦合等离子体质谱法测定地龙药材中铅、砷、汞、镉、铜元素的残留量

马 彧^{1*}, 李正刚^{1*}, 曲涵婷³, 赵 艳², 王路宏¹

(1. 四平市食品药品检验所, 吉林 四平 136000; 2. 吉林省药品检验研究院, 吉林 长春 130000;
3. 四平市社会精神病院, 吉林 四平 136001)

摘要: 建立电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定不同产地和批次地龙药材中铅(Pb)、砷(As)、汞(Hg)、镉(Cd)、铜(Cu)5种重金属元素的含量。采用微波消解进行样品前处理, 结果表明: 5种重金属元素的线性关系良好($r \geq 0.9996$), 平均回收率在 92.8%~95.2% 范围内, 方法的检出限在 0.001 0~0.092 mg/kg 范围内。方法灵敏度高, 重复性好, 方法准确。不同产地和批次的样品中 5 种重金属元素均有检出。地龙药材中 Pb、As、Hg、Cd、Cu 这 5 种重金属元素需要重点监控。

关键词: 微波消解; 电感耦合等离子体质谱; 地龙; 重金属元素

中图分类号: O657.63

文献标志码: B

文章编号: 1006-3757(2022)04-0427-06

DOI: 10.16495/j.1006-3757.2022.04.010

Determination of Pb, As, Hg, Cd, Cu in Pheretima by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

MA Yu^{1*}, LI Zheng-gang^{1*}, QU Han-ting³, ZHAO Yan², WANG Lu-hong¹

(1. *Siping Institute for Food and Drug Control, Siping 136000, Jilin China;*

2. Jilin Institutes for Drug Control, Changchun 130000, China;

3. Siping Social Psychiatric Hospital, Siping 136001, Jilin China)

Abstract: An Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) method has been set up to determine the contents of five heavy metal elements, namely lead (Pb), arsenic (As), mercury (Hg), cadmium (Cd) and copper (Cu), in different habitats and batches of Pheretima. The sample was pretreated by microwave digestion. The results showed that the linearity of the five heavy metal elements were good ($r \geq 0.9996$), the average recoveries were in the range of 92.8%~95.2%, and the detection limits of the method were in the range of 0.001 0~0.092 mg/kg. The detection method is of highly sensitive, repeatable and accurate. Five heavy metal elements were detected in samples from different habitats and batches. These five heavy metal elements of Pb, As, Hg, Cd and Cu in Pheretima need to be monitored with emphasis.

Key words: microwave digestion; ICP-MS; Pheretima; heavy metal elements

收稿日期: 2022-09-26; 修订日期: 2022-11-16.

基金项目: 吉林省中药材标准及中药饮片炮制规范(项目编号: JLPZGF-2020-052)

作者简介: 马彧(1971-), 男, 主任药师, 研究方向: 药品质量标准, E-mail: 346819014@qq.com;

李正刚(1982-), 男, 硕士, 医药工程师, 研究方向: 中药质量标准, E-mail: 1011403708@qq.com

通信作者: 王路宏, 女, 主任药师(三级), 研究方向: 药品质量标准研究, E-mail: 517677231@qq.com

*: 同等贡献作者 [These authors contributed equally to this work].

地龙为常用的动物类中药材,喜生于腐殖质土壤中,多为野生,也有养殖,全国均有分布.具有清热定惊、通络、利尿等功效^[1].地龙最早收载于《神农本草经》,现标准收载在《中华人民共和国药典》(一部 2020 版)中^[2],其临床应用广泛.

地龙药材在野生环境和养殖过程中均可能受到重金属元素、真菌毒素、农药残留物等污染^[3-5].重金属元素在人体中产生蓄积毒性作用,会严重损害人体的新陈代谢和正常的生理功能^[6-9].因此,测定地龙中的重金属元素具有十分重要的意义.

当前,中药材中重金属元素的测定方法主要有比色法、原子吸收分光光度法、电感耦合等离子法等.其中,《中华人民共和国药典》(一部 2020 版)地龙药材标准对地龙中重金属元素采用硫代乙酰胺作显色剂,标准铅溶液作为对照品,进行重金属的总量控制,样品需要在 500~600 °C 高温下灰化完全,且方法的专属性、灵敏度以及结果的人为判断误差较大.原子吸收分光光度法(AAS)中样品前处理操作复杂,所需试剂种类繁多,分析测定的过程中也需要采用不同的溶液导入方式,并且仪器调节校准费时,操作步骤繁琐.本研究采用灵敏度更高、专属性更好、操作更加简便快捷的微波消解-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)进行样品的前处理和检测^[10-14],对不同产地、不同批次地龙药材中铅(Pb)、砷(As)、汞(Hg)、镉(Cd)、铜(Cu)5种重金属元素的含量进行测定,为进一步提高地龙药材的质量,保证其用药安全提供依据.

1 试验部分

1.1 仪器和试剂

MARS 型微波消解仪(美国 CEM 公司);NexION 350X 型电感耦合等离子体质谱仪[铂金埃尔默仪器(上海)有限公司];BT125D 型电子天平(北京赛多利斯仪器天平有限公司).

Pb、As、Hg、Cd、Cu 5 种重金属元素的单元素标准溶液批号分别为:GSB04-1742-2004、GSB04-1714-2004、GSB04-1729-2004、GSB04-1721-2004、GSB04-1725-2004,质量浓度均为 1 000 µg/mL.内标元素铋(Bi)、锗(Ge)、铟(In)单元素标准溶液批号分别为:GSB04-1719-2004、GSB04-1728-2004、GSB04-1731-2004,质量浓度均为 1 000 µg/mL.金(Au)元素标准品溶液(批号:GSB04-1715-2004),质

量浓度为 1 000 µg/mL.以上标准品均来自国家有色金属及电子材料分析测试中心.硝酸为优级纯(MERCK 公司),水为超纯水.地龙药材样品:共 10 批,基本信息如表 1 所列.

表 1 地龙药材样品基本信息

Table 1 Basic information of samples of Pheretima

药材编号	样品名称	产地
DL1	广地龙	海南
DL2	广地龙	广东
DL3	广地龙	广东
DL4	广地龙	广东
DL5	广地龙	广西
DL6	广地龙	广西
DL7	沪地龙	湖北
DL8	沪地龙	河南
DL9	沪地龙	河南
DL10	沪地龙	浙江

1.2 仪器工作条件

射频功率 1.6 kW;氦气流速 1.1 L/min,等离子体气体流速 15.0 L/min,辅助气流速 1.0 L/min;扫描次数为 20 次,重复 3 次测样.采用在线内标法,以 ⁷²Ge 作为 ⁶³Cu、⁷⁵As 内标,¹¹⁵In 作为 ¹¹⁴Cd 内标,²⁰⁹Bi 作为 ²⁰²Hg、²⁰⁸Pb 内标.

1.3 标准曲线的绘制

标准贮备溶液的配制:分别精密量取 Pb、As、Hg、Cd、Cu 单元素标准溶液 0.10、0.05、0.10、0.10、1.00 mL,置于 100 mL 量瓶中,使用 10% 硝酸溶液稀释配制成 Pb、As、Hg、Cd、Cu 的质量浓度分别为 1.0、0.5、1.0、1.0、10.0 µg/mL 的单元素标准品贮备溶液.

标准溶液的配制:分别精密量取 Pb、As、Cd、Cu 单元素标准品贮备溶液 0.00、0.05、0.25、0.50、1.00 mL 置于 50 mL 量瓶中,使用 10% 硝酸溶液稀释制成 Pb、As(质量浓度分别为 0、1、5、10、20 ng/mL)、Cd(质量浓度分别为 0.0、0.5、2.5、5.0、10.0 ng/mL)、Cu(质量浓度分别为 0、10、50、100、200 ng/mL)的混合标准溶液.另精密量取 Hg 标准贮备液 0.00、0.10、0.25、0.50、1.00、2.50 mL,置于 50 mL 量瓶中,使用 10% 硝酸溶液稀释制成 Hg(质量浓度分别为 0.0、0.2、0.5、1.0、2.0、5.0 ng/mL)的标准溶液.

内标溶液的配制: 分别精密量取 Ge、In、Bi 元素标准溶液 0.1 mL, 置于同一 100 mL 容量瓶中, 使用水稀释至刻度, 摇匀, 制成 3 种内标元素(1 000 ng/mL)的混合溶液, 再精密量取上述混合溶液 1 mL, 置于 100 mL 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 制成 3 种内标元素(10 ng/mL)的混合溶液, 即得。

1.4 样品制备

精密称取 0.5 g 供试品粉末, 置于耐高温的聚四氟乙烯消解罐内, 加 8 mL 硝酸和 2 mL 过氧化氢浸泡过夜, 按表 2 条件进行消解, 放冷, 转入 50 mL 量瓶中, 使用纯化水洗涤消解罐并转入量瓶, 加入 Au 单元素溶液 200 μ L(质量浓度为 1 μ g/mL), 加水定容至刻度, 摇匀。除不加 Au 单元素标准溶液外, 同法制备空白溶液。

表 2 微波消解程序

Table 2 Procedure of microwave digestion

开始温度/℃	加热时间/min	结束温度/℃	保持时间/min
20	10	150	10
150	20	160	15
160	20	180	20

2 结果与讨论

2.1 样品处理方法

ICP-MS 测定方式是将样品溶液泵入雾化室后, 进行雾化, 之后进入质谱内部检测, 故需要样品溶液澄清。供试品消解的常用试剂一般是酸类, 包括硝酸、盐酸、高氯酸、硫酸、氢氟酸以及一定比例的混合酸(如体积比为 4 : 1 的硝酸 : 盐酸)等, 也可使用少量过氧化氢。其中硝酸引起的干扰最小, 是供试品制备的首选酸。试剂的纯度应为优级纯以上。供试品溶液制备时应同时制备试剂空白, 标准溶液的介质和酸度应与供试品溶液保持一致^[10, 15-16]。本次研究分别考察了硝酸 : 盐酸(体积比为 4 : 1)、硝酸 : 高氯酸(体积比为 4 : 1)、硝酸 : 过氧化氢(体积比为 4 : 1)消解试剂的效果。试验结果表明, 硝酸 : 过氧化氢(体积比为 4 : 1)消解后的样品溶液透明无色, 澄清度效果最好, 故优选硝酸 : 过氧化氢(体积比为 4 : 1)作为消解液。

2.2 线性方程和检出限

取混合对照溶液, 按上述仪器测定条件进行测

定, 以各元素浓度为横坐标, 以待测元素与内标元素响应值的比值为纵坐标绘制标准曲线。结果表明, 5 种元素在各自线性范围内线性关系良好($r \geq 0.999\ 6$), 结果如表 3 所列。

表 3 线性方程、线性范围和检出限

Table 3 Linear equation, linear range and detection limit

元素	回归方程	r	线性范围/ (ng/mL)	检出限/ (mg/kg)
Pb	$Y=1.488X+0.964$	0.999 8	0~20	0.012
Cd	$Y=0.335X+0.011$	0.999 9	0~10	0.002 3
As	$Y=0.383X-0.003$	0.999 7	0~20	0.003 2
Cu	$Y=3.818X+3.610$	0.999 6	0~200	0.092
Hg	$Y=0.537X+0.014$	0.999 6	0~5	0.001 0

测定 11 份空白溶液的响应值, 分别求出 5 种元素浓度的标准偏差(σ), 以 3σ 所对应的待测元素的浓度作为检出限, 结果如表 3 所列。结果表明方法的灵敏度较好。

2.3 精密度考察

取地龙样品(DL1)溶液, 依法连续测定 6 次, 测定结果: Pb、As、Hg、Cd、Cu 的相对标准偏差(RSD)分别为 3.2%、4.1%、3.4%、2.6%、3.5%、3.3%($n=6$), 表明仪器的精密度较好。

2.4 重复性考察

取地龙样品(DL1), 平行制备 6 份样品溶液, 测定结果: Pb、As、Hg、Cd、Cu 的 RSD 分别为 4.3%、5.1%、4.4%、4.8%、5.2%、5.1%($n=6$), 表明方法重复性较好。

2.5 加标回收率试验

精密称取地龙样品(DL1)9 份, 每份约 0.5 g, 分别加入约相当于样品中待测重金属元素含量 50%、100%、150% 的标准溶液, 其余操作同样品溶液的配制, 按上述仪器测定条件进行测定, 计算加标回收率, 结果表明方法准确性较好, 具体如表 4 所列。

2.6 样品测定

本次共收集到不同产地的 10 批次地龙药材, 并对每批样本进行 Pb、As、Hg、Cd、Cu 5 种重金属元素的含量检测, 每份样品平行取样, 按上述供试品溶液制备方法消解处理和仪器测定条件进行测定, 采用外标曲线法进行样品含量的计算, 结果如表 5 所列。

表 4 5 种金属元素回收率试验结果 ($n=9$)
Table 4 Recoveries of five heavy metal elements ($n=9$)

元素	样品质量/ μg	加入质量/ μg	测得质量/ μg			回收率/%			平均值/%
Pb	5.56	2.50	8.01	7.98	7.86	98.00	96.80	92.00	95.2
	5.56	5.00	10.32	10.12	10.29	95.20	91.20	94.60	
	5.56	10.00	15.32	15.01	15.22	97.60	94.50	96.60	
Cd	0.56	0.25	0.79	0.80	0.78	92.00	96.00	88.00	94.8
	0.56	0.50	1.02	1.08	1.03	92.00	104.00	94.00	
	0.56	1.00	1.52	1.49	1.54	96.00	93.00	98.00	
As	0.62	0.25	0.85	0.86	0.87	92.00	96.00	100.00	93.7
	0.62	0.50	1.08	1.05	1.07	92.00	86.00	90.00	
	0.62	1.00	1.53	1.51	1.51	97.00	95.00	95.00	
Cu	0.29	0.15	0.43	0.43	0.44	93.33	93.33	100.00	94.6
	0.29	0.30	0.57	0.56	0.58	93.33	90.00	96.67	
	0.29	0.45	0.72	0.70	0.73	95.56	91.11	97.78	
Hg	7.56	3.50	10.61	10.78	10.76	87.14	92.00	91.43	92.8
	7.56	7.00	14.15	14.35	14.12	94.14	97.00	93.71	
	7.56	11.00	17.82	17.72	17.91	93.27	92.36	94.09	

表 5 样品中 Pb, As, Hg, Cd, Cu 的含量
Table 5 Contents of Pb, As, Hg, Cd and Cu in samples
(mg/kg , $n=2$)

批号	Pb	Cd	As	Hg	Cu	总量
DL1	11.12	1.11	1.23	0.58	15.11	29.15
DL2	12.31	0.23	2.71	0.31	13.33	28.89
DL3	7.81	1.63	0.38	0.42	7.21	17.45
DL4	5.63	1.44	1.61	0.71	12.92	22.31
DL5	11.64	5.37	0.45	2.31	10.34	30.11
DL6	7.86	1.21	3.23	1.84	21.85	35.99
DL7	12.34	3.38	1.47	0.34	33.13	50.66
DL8	6.85	2.56	2.33	1.85	11.38	24.97
DL9	7.83	3.93	3.16	0.48	5.82	21.22
DL10	10.72	2.51	0.68	2.71	15.21	31.83

目前,《中华人民共和国药典》(2020 版)中仅给出了部分中药材及饮片重金属及有害元素的具体含量限值(铅、镉、砷、汞、铜质量浓度分别不超过 5.0、1.0、2.0、0.2、20.0 mg/kg)。由表 5 可知,10 批地龙药材均没有达到一般要求。有 4 批地龙药材中 5 种重金属元素的总量大于《中华人民共和国药典》(一部 2020 版)中地龙药材标准所规定的 30 mg/kg 。

3 结论

本文建立了 ICP-MS 法测定地龙药材中 Pb、As、Hg、Cd、Cu 5 种重金属元素的含量。经方法学验证,方法灵敏度高、操作较简便,结果准确度较高。测定结果表明,地龙药材中 Pb、As、Hg、Cd、Cu 5 种重金属元素残留情况需要高度重视。同时,更应该从地龙野生或养殖的源头环境开始,关注其土壤、水源、化肥和农药等多因素影响情况,从而建立重金属污染的防控措施,保障公众用药安全有效^[17-18]。由于本次收集的样品批次局限,因此仅作参考,更多的重金属元素残留情况仍然有待分析工作者进行积累和改进。

参考文献:

[1] 周晓,季倩,张汉明,张磊.地龙的研究进展[J].药学实践杂志,2015,33(5):396-400. [ZHOU Xiao, JI Qian, ZHANG Han-ming, ZHANG Lei. Research progress on Pheretima[J]. Journal of Pharmaceutical Practice, 2015, 33 (5): 396-400.]

[2] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(一部2020年版)[M].北京:中国医药科技出版社,2020,1:127.

[3] 李勇,丁冠华.基于ICP-MS法对地龙、水蛭中重金属及有害元素的测定及分析[J].辽宁中医杂志,

- 2018, 45(10): 2152-2155. [LI Yong, DING Guan-hua. Determination and analysis of heavy metals and harmful elements in Pheretima and Hirudo with microwave digestion by ICP-MS[J]. Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine, 2018, 45 (10): 2152-2155.]
- [4] 李耀磊, 徐健, 金红宇, 韩笑, 安丽萍, 马双成. 冬虫夏草及产区土壤中5种重金属及有害元素污染评价[J]. 药物分析杂志, 2019, 39(4): 677-684. [LI Yao-lei, XU Jian, JIN Hong-yu, HAN Xiao, AN Li-ping, MA Shuang-cheng. Pollution assessment of five heavy metals and harmful element in Cordyceps and its habitat's soil[J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2019, 39 (4): 677-684.]
- [5] 左甜甜, 王莹, 张磊, 石上梅, 申明睿, 刘丽娜, 孙磊, 金红宇, 马双成. 中药中外源性有害残留物安全风险评估技术指导原则[J]. 药物分析杂志, 2019, 39(10): 1902-1907. [ZUO Tian-tian, WANG Ying, ZHANG Lei, SHI Shang-mei, SHEN Ming-rui, LIU Li-na, SUN Lei, JIN Hong-yu, MA Shuang-cheng. Guideline of risk assessment of exogenous harmful residues in traditional Chinese medicines[J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2019, 39 (10): 1902-1907.]
- [6] 李耀磊, 张晓滕, 张冰, 林志健, 管珂, 金红宇, 马双成. 基于临床用药导向的中药有害成分风险评估方法应用研究[J]. 中国药物警戒, 2022, 19(5): 475-480. [LI Yao-lei, ZHANG Xiao-meng, ZHANG Bing, LIN Zhi-jian, ZAN Ke, JIN Hong-yu, MA Shuang-cheng. Research on the application of clinical drug-oriented risk assessment method for harmful components of traditional Chinese medicine[J]. Chinese Journal of Pharmacovigilance, 2022, 19 (5): 475-480.]
- [7] 谭洪泉, 李正刚, 邵大志, 赵艳, 马彧. 生脉饮(人参方)中重金属及有害元素的含量测定与风险评估[J]. 中国药物评价, 2022, 39(4): 314-317. [TAN Hong-quan, LI Zheng-gang, SHAO Da-zhi, ZHAO Yan, MA Yu. Determination and risk assessment of heavy metals and harmful elements in Shengmai Yin solution[J]. Chinese Journal of Drug Evaluation, 2022, 39 (4): 314-317.]
- [8] 邵大志, 张亦萌, 张强, 曲涵婷, 程焱, 李正刚, 马彧. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定参苓白术散中重金属及有害元素含量[J]. 质量与安全检验, 2022, 32(2): 21-23. [SHAO Da-zhi, ZHANG Yi-meng, ZHANG Qiang, QU Han-ting, CHENG Yan, LI Zheng-gang, MA Yu. Determination of heavy metals and harmful elements in shenling baizhu powder with microware digestion-ICP-MS[J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2022, 32 (2): 21-23.]
- [9] 聂黎行, 钱秀玉, 蒋沁悦, 李翔, 李静, 左甜甜, 常艳, 金红宇, 戴忠, 马双成. 中成药中重金属及有害元素残留分析、风险评估和限量制定建议[J]. 药学报, 2020, 55(11): 2695-2701. [NIE Li-xing, QIAN Xiu-yu, JIANG Qin-yue, LI Xiang, LI Jing, ZUO Tian-tian, CHANG Yan, JIN Hong-yu, DAI Zhong, MA Shuang-cheng. Analysis and health risk assessment, including recommendation of limits for heavy metals and harmful elements in Chinese patent medicines[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2020, 55 (11): 2695-2701.]
- [10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(四部2020年版)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [11] 罗志明. ICP-MS法对人参健脾丸有害金属元素的测定研究[J]. 中国食品工业, 2022(6): 119-122. [LUO Zhi-ming. Effect of ICP-MS on ginseng jianpi pill determination of harmful metal elements[J]. China Food Industry, 2022 (6): 119-122.]
- [12] 刘嘉乐, 谢秋红, 李正刚, 邵大志, 王丹彧, 马彧. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定启脾丸中重金属及有害元素含量[J]. 现代食品, 2021(24): 181-184. [LIU Jia-le, XIE Qiu-hong, LI Zheng-gang, SHAO Da-zhi, WANG Dan-yu, MA Yu. Determination of heavy metals and harmful elements in qipi pill by microware digestion-ICP-MS[J]. Modern Food, 2021 (24): 181-184.]
- [13] 李正刚, 马彧, 刘嘉乐, 赵磊, 赵艳. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定何首乌药材及黑豆黄酒炮制后饮片中重金属及有害元素含量[J]. 中国医药导刊, 2021, 23(4): 281-284. [LI Zheng-gang, MA Yu, LIU Jia-le, ZHAO Lei, ZHAO Yan. Determination of heavy metals and harmful elements in polygoni multiflori radix and processed product by semen sojae atricolor and rice wine with microware digestion-ICP-MS[J]. Chinese Journal of Medicinal Guide, 2021, 23 (4): 281-284.]
- [14] 张玉伟, 田方园, 姚元成, 刁瑞丽, 范圣此, 李秀凤, 孟兆青. ICP-MS法测定前列欣胶囊中铅、镉、铜、汞、砷的残留量[J]. 中国药物评价, 2019, 36(6): 430-434. [ZHANG Yu-wei, TIAN Fang-yuan, YAO Yuan-cheng, DIAO Rui-li, FAN Sheng-ci, LI Xiu-feng, MENG Zhao-qing. Determination of Pb, Cd, Cu, Hg and As residues in qianliexin capsules by ICP-MS[J]. Chinese Journal of Drug Evaluation, 2019, 36

- (6): 430-434.]
- [15] 孔令锋, 王欢, 李成森, 郭汉文, 孙苓苓. ICP-MS同时测定骨折挫伤胶囊中重金属的含量[J]. 药学研究, 2020, 39(7): 388-389, 397. [KONG Ling-feng, WANG Huan, LI Cheng-sen, GUO Han-wen, SUN Ling-ling. Analysis of metal elements in Guzhecushang Capsules by ICP-MS[J]. Journal of Pharmaceutical Research, 2020, 39 (7): 388-389, 397.]
- [16] 卢晓林, 曲婷丽, 许晋芳, 赵正保. 山西朔州甘草中重金属及有机氯农药残留含量测定[J]. 山西医科大学学报, 2019, 50(5): 626-631. [LU Xiao-lin, QU Ting-li, XU Jin-fang, ZHAO Zheng-bao. Content determination of heavy metals and organochlorine pesticides residue in glycyrrhiza from different habitats of Shanxi[J]. Journal of Shanxi Medical University, 2019, 50 (5): 626-631.]
- [17] 陈林明, 林晓坤, 王智民, 杨群华, 黄寿辉. 两广地区地龙中22种无机元素量变规律研究[J]. 中南药学, 2021, 19(12): 2622-2627. [CHEN Lin-ming, LIN Xiao-kun, WANG Zhi-min, YANG Qun-hua, HUANG Shou-hui. Quantitative variation of 22 inorganic elements in pheretima from Guangdong and Guangxi[J]. Central South Pharmacy, 2021, 19 (12): 2622-2627.]
- [18] 徐雯, 方琦, 漆亮亮. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定土壤中铬、铜、锌、镉、铅、镍的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2021, 57(10): 923-927. [XU Wen, FANG Qi, QI Liang-liang. Determination of chromium, copper, zinc, cadmium, lead and nickel in soil by ICP-MS with microwave digestion[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B:Chemical Analysis), 2021, 57 (10): 923-927.]

请速订阅 2023 年《分析测试技术与仪器》

如果您想

了解当代分析测试领域的新进展和新动向

交流分析测试研究的新理论与新成果

开发分析测试研究工作的新技术与新方法

扩展分析测试仪器的新用途与新功能

研制分析测试的新仪器与新组件

.....

请您订阅向国内外公开发行的《分析测试技术与仪器》杂志, 刊号 $\frac{\text{ISSN } 1006-3757}{\text{CN } 62-1123/O6}$, 邮发代号: 54-90, 定价: 15 元/册, 全年定价 60 元. 投稿请与《分析测试技术与仪器》编辑部联系, 联系电话: 0931-4968280, E-mail: fxcs@licp.cas.cn, 网址: <http://www.fxcsjyq.net>, 联系人: 魏丽萍, 地址: 甘肃省兰州市天水中路 18 号, 中国科学院兰州化学物理研究所.