

doi:10.3969/j.issn.2095-1035.2021.01.001

水载流-原子荧光光谱法同时 测定土壤中痕量砷、汞

荣耀^{1,2} 贺攀红^{1,2} 杨珍^{1,2} 杨有泽^{1,2} 孙银生^{1,2} 龚治湘³

(1. 河南省核工业地质局, 郑州 450044;

2. 河南省核工业放射性核素检测中心, 郑州 450044;

3. 重庆民泰新农业科技发展集团有限公司, 重庆 400060)

摘要 改变原子荧光光谱法以稀酸为载流的进样方式, 以水为载流在新型双道原子荧光光谱仪上同时测定了土壤中的痕量砷(As)、汞(Hg)。采用王水水浴加热溶解样品, 用 50 g/L 硫脲-抗坏血酸混合溶液预先将砷还原为 As(III), 保持 10% (体积分数) 以上盐酸浓度, 不转移直接定容静置后测定。优化了仪器工作条件, 详细考察了以水为载流测定的可行性, 选择了同时测定 As、Hg 所需的硼氢化钾浓度和盐酸浓度。节省了酸试剂用量, 操作快速, 单个样品测定仅需 20 s 左右。方法检出限 As 为 0.005 mg/kg, Hg 为 0.000 8 mg/kg, 相对标准偏差(RSD, $n=7$) 在 1.0%~7.4%, 经土壤国家标准物质和实际样品验证, 适合土壤中痕量 As、Hg 的同时快速测定。

关键词 水载流; 原子荧光光谱法; 土壤; 砷; 汞

中图分类号: O657.31; TH744.11

文献标志码: A

文章编号: 2095-1035(2021)01-0001-06

Simultaneous Determination of Trace Arsenic and Mercury in Soil by Atomic Fluorescence Spectrometry with Water as Carrier

RONG Yao^{1,2}, HE Panhong^{1,2}, YANG Zhen^{1,2}, YANG Youze^{1,2},
SUN Yinsheng^{1,2}, GONG Zhixiang³

(1. Henan Province Nuclear Industry Geology, Zhengzhou, Henan 450044, China;

2. Henan Radionuclide Detection Center of Nuclear Industry, Zhengzhou, Henan 450044, China;

3. Chongqing Mintai New Agricultural Technology Development Group Co., Ltd., Chongqing 400060, China)

Abstract In this paper, the trace arsenic and mercury in soil were determined by a new dual channel atomic fluorescence spectrometer with water as carrier instead of acid as carrier. The samples were dissolved by heating in an aqua regia bath. The arsenic was pro-reduced to As(III) by 50 g/L thiourea ascorbic acid mixed solution and the concentration of hydrochloric acid was kept above 10% (volume fraction). The samples were determined directly after standing at constant volume without transfer. The working conditions of the instrument were optimized, the feasibility of using water as carrier was investigated in detail, and the concentration of potassium

收稿日期: 2020-04-10 修回日期: 2020-05-20

基金项目: 2018 年度重庆市第五批科技计划项目(cstc2018jszx-cyzdX01144)

作者简介: 荣耀, 男, 高级工程师, 主要从事光谱分析研究。E-mail: rongtq@163.com

本文引用格式: 荣耀, 贺攀红, 杨珍, 等. 水载流-原子荧光光谱法同时测定土壤中痕量砷、汞[J]. 中国无机分析化学, 2021, 11(1): 1-6.

RONG Yao, HE Panhong, YANG Zhen, et al. Simultaneous Determination of Trace Arsenic and Mercury in Soil by Atomic Fluorescence Spectrometry with Water as Carrier[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(1): 1-6.

borohydride and hydrochloric acid for the simultaneous determination of arsenic and mercury were selected. The operation of the method is fast, the determination of a single sample only takes about 20 s, and the amount of acid reagent is saved. The detection limits of arsenic and mercury are 0.005 mg/kg and 0.000 8 mg/kg respectively and the relative standard deviation (RSD%, $n = 7$) is between 1.0% and 7.4%. Results for national standard material and practical sample test are satisfactory. It is suitable for the simultaneous and rapid determination of trace arsenic and mercury in soil.

Keywords water as carrier; atomic fluorescence method; soil; arsenic; mercury

前言

土壤污染问题近年来受到重视,2018 年生态环境部先后修订发布了两项土壤环境质量标准,对污染物风险筛查项目作了明确规定,其中 As、Hg 为必测项目^[1]。关于 As、Hg 元素的测定目前应用较为广泛的方法是原子荧光光谱法(AFS),AFS 以其选择性强、检出限低、多元素同时测定的优点在土壤等各类样品测定中得到广泛应用^[2-3]。

在使用 AFS 法测定土壤中 As、Hg 的具体实践中,土壤样品的前处理多采用水浴法^[4-5]和微波消解法^[6-7],单独测定 Hg 时也有采用催化热解法^[8],这些方法均能够满足土壤前处理的需要。目前 AFS 法的应用研究除前处理方面外,主要集中在一些测定条件的选择上。例如对仪器工作参数设定、硼氢化物浓度、溶液介质浓度、离子干扰和掩蔽、As 元素价态的还原等方面进行探讨^[9-10],而对于测定时所用载流液

的研究关注较少。在多数的工作中,AFS 法测定多采用 5% 的稀盐酸^[11-13]或者稀硝酸^[14-15]作为载流,以克服管路中的记忆效应,试液消耗量较大。

本法针对 AFS 法测定土壤 As、Hg 时用作载流的介质进行研究,改变传统以稀酸为载流的方式,选择用去离子水作载流,详细研究以水为载流后的记忆效应情况,考察其可行性。同时优化 As、Hg 同时测定时所需的盐酸浓度、硼氢化钾浓度等条件,建立以水为载流在同一份试液中 AFS 法同时快速测定土壤中 As、Hg 的方法,获得了满意的结果。

1 实验部分

1.1 主要仪器

CAF-1800 双道原子荧光光谱仪(重庆民泰新农业科技发展集团有限公司)。As、Hg 空心阴极灯(北京有色金属研究总院);50 mL 规格的一次性 PP 刻度塑料管;主要仪器工作条件见表 1。

表 1 原子荧光光谱仪工作条件

Table 1 Operating conditions of atomic fluorescence spectrometer

元素	负高压/V	灯电流/mA	载气流量/(mL·min ⁻¹)	屏蔽气流量/(mL·min ⁻¹)	原子化器高度/mm	取样时间/s	读数时间/s
砷	240	30	1 000	500	10.0	5.0	12.0
汞	240	15	1 000	500	10.0	5.0	12.0

1.2 主要试剂

As 单元素标准储备溶液(国家有色金属及电子材料分析测试中心);质量浓度为 10.00 mg/L,介质为硝酸(1.0 mol/L)。

Hg 单元素标准储备溶液(国家有色金属及电子材料分析测试中心);质量浓度为 10.00 mg/L,介质为硝酸(1.0 mol/L)。

As 和 Hg 的混合标准溶液:将 As 和 Hg 的单元素标准储备溶液分别逐级稀释成质量浓度为 100 μg/L 的单元素标准溶液,使用时根据需要配制成不同质量浓度的 As 和 Hg 混合标准溶液,介质为 10% (体积分数,下同)盐酸溶液。

硫脲-抗坏血酸混合溶液:称取 5.0 g 硫脲和

5.0 g 抗坏血酸,溶于 100 mL 水中,混匀。

硼氢化钾-氢氧化钠混合溶液:称取 1.5 g 硼氢化钾和 1.0 g 氢氧化钠,溶于 100 mL 水中,混匀。

实验所用无机试剂均为优级纯,王水(1+1),盐酸溶液(1+1),实验用水为去离子水(电阻率大于 18.0 MΩ·cm),实验所用器皿均需用 20% 的硝酸浸泡 24 h。

1.3 实验方法

准确称取 0.1 g(准确至 0.000 1 g)土壤样品于 50 mL PP 刻度塑料管中,加入 5.0 mL 王水(1+1)溶液,在电炉上用烧杯水浴法煮沸 1 h(中间摇动几次),取出冷却后不转移,直接加入 2.5 mL 硫脲-抗坏血酸混合溶液、5.0 mL 盐酸(1+1),小体积定容

至 25 mL,静置待上层溶液澄清后,不分取试液直接上机测定。同步制备两个试剂空白进行实验。

测定时双毛细管进样,一根进试液,一根进硼氢化钾-氢氧化钠溶液。取样 5 s 后,将双管放入去离子水中以水为载流,读取数据 12 s 后完成测定,依次进行下一个样品测定。

2 结果与讨论

2.1 样品溶解方式选择

As、Hg 均属于易挥发元素,高温易造成损失,采用电炉烧杯水浴法比传统水浴锅更有利于使水浴始终保持沸腾状态,反应温度更均匀恒定。同时为尽可能减少操作环节上的污染,选用一种带刻度的 50 mL PP 塑料管进行溶样,溶解完全后不用转移洗涤,直接小体积定容至 25 mL,静置沉淀后测定。达到全过程不转移、不过滤,可以有效减少污染。

2.2 测定条件优化原则

As、Hg 分别测定时通常选取 As、Hg 测定的最优条件进行测定。但在同一溶液双道同时测定 As、Hg 情况下,进行条件优化的原则有两个,其一是要根据土壤样品中 As、Hg 含量的高低、元素的测

定灵敏度来综合考虑试液参数和仪器工作条件。其二是考虑 As 或者 Hg 某一条件改变不影响其测定灵敏度的情况下优先选择另一元素条件进行测定。

土壤样品中一般 As 含量高为微克级,而 Hg 含量一般为纳克级,故在进行条件选择时,优先以 Hg 的测定条件来优化试液定容体积、硼氢化钾浓度、负高压、原子化器高度等(灯电流可单独设定,选各自最优化条件)。

2.3 水作为载流进样

在传统原子荧光光谱仪提升试液过程时,多数使用稀盐酸(5%)作载流,主要目的是清洗管路中样品残留,以消除管路中的记忆效应。本法改变载流方式,采用以水为载流的方式来提升样品。

考察以水为载流进样方式的可行性:1)以水为载流,用 10.0 $\mu\text{g/L}$ 的 As 和 1.0 $\mu\text{g/L}$ 的 Hg 标准溶液进行实验,采用 As、Hg 标准溶液和试剂空白溶液多次交替测定的方式,考察标准溶液和试剂空白溶液的荧光强度值变化,计算相对标准偏差(RSD),考察以水为载流消除记忆效应的效果;2)以稀盐酸(5%)为载流,采用方法 1)同样操作进行实验,结果见表 2。

表 2 记忆效应
Table 2 Memory effect

载流方式	样品类型	荧光强度							RSD/%
去离子水	As 标准溶液	3 233	3 174	3 172	3 196	3 202	3 173	3 204	0.7
	As 试剂空白	155	158	154	159	156	157	143	3.5
	Hg 标准溶液	10 493	10 542	10 656	10 618	10 484	10 748	10 692	1.0
	Hg 试剂空白	846	862	856	865	845	868	873	1.3
稀盐酸(5%)	As 标准溶液	3 121	3 047	3 059	2 991	2 973	3 121	2 995	2.0
	As 试剂空白	140	145	146	143	149	153	147	2.8
	Hg 标准溶液	10 382	10 256	10 443	10 308	10 492	10 207	10 347	1.0
	Hg 试剂空白	772	778	814	800	809	816	835	2.9

由表 2 数据可知:1)以水为载流和以稀盐酸为载流两种进样方式,As、Hg 标准溶液的荧光强度相对标准偏差均小于 2%;2)以水为载流交替测定 As、Hg 试剂空白的荧光强度相对标准偏差分别为 3.5%和 1.3%,表明试剂空白受到 As、Hg 标准溶液的影响较小,记忆效应可忽略。由此,以水为载流的进样方式能够满足测试需求,以水为载流进行测定是可行的,操作简单的同时节省了大量酸试剂。

2.4 KBH_4 浓度

KBH_4 作为反应溶液,其浓度影响测定砷化氢生成速度。浓度过低会出现气态物生成不完全,过高又会产生大量氢气,产生稀释作用^[16],需要选择

较为合适的 KBH_4 浓度进行实验。按照实验方法,配制 2.0~30 g/L 的 KBH_4 系列溶液,在不同 KBH_4 浓度下考察 0.5 $\mu\text{g/L}$ Hg 标准溶液和 5.0 $\mu\text{g/L}$ As 标准溶液的荧光强度值变化,图 1 结果表明,在 KBH_4 质量浓度为 2~10 g/L, Hg 的荧光强度保持稳定,在 10~30 g/L, Hg 的荧光强度随着 KBH_4 质量浓度的增加而逐渐降低。As 的荧光强度值变化与 Hg 不同,在 KBH_4 质量浓度为 2~20 g/L 时,As 的荧光强度值随 KBH_4 浓度增加而增加,在 20~30 g/L 范围内保持稳定。

当 As、Hg 元素分别测定时,As 选取 20 g/L 而 Hg 选择 2.0 g/L 的 KBH_4 浓度实验。本法采用 As、Hg 同一溶液双道同时测定, Hg 含量低要尽可

能提高 Hg 的测定灵敏度, 本法选择 10 g/L 的 KBH_4 浓度来建立标准曲线和测定样品。在整个测定过程中, 保持 KBH_4 浓度不变。

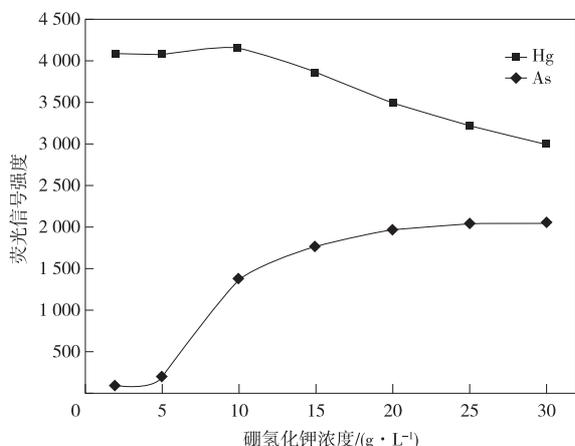


图1 KBH_4 质量浓度对荧光强度的影响
Figure 1 Effect of KBH_4 concentration on fluorescence intensity.

2.5 盐酸浓度

AFS 使用盐酸作为试液反应介质, 在酸性介质下硼氢化钾分解与 As、Hg 等进行反应生成氢化物气体。不同浓度的盐酸对测定影响不一, 盐酸浓度不足反应不完全, 过量促使硼氢化钾大量分解, 产生大量氢气, 减少氢化物在原子化器中的停留时间。考察在不同盐酸浓度下 As、Hg 的荧光强度值变化来确定最佳的盐酸浓度。在选定的实验条件下, 分别使用 0.4 $\mu\text{g/L}$ 的汞标准溶液和 40.0 $\mu\text{g/L}$ 的砷标准溶液进行实验, 结果见图 2。

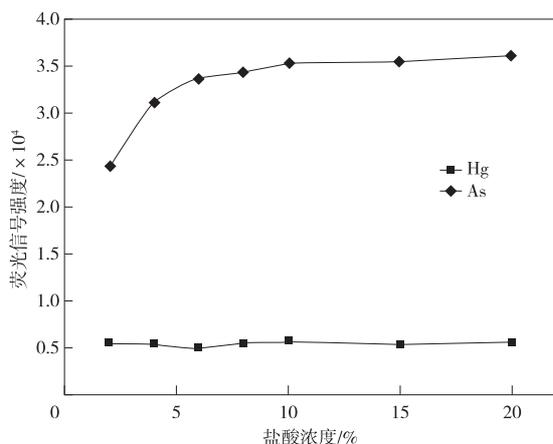


图2 盐酸浓度对荧光强度的影响
Figure 2 Effect of hydrochloric acid concentration on fluorescence intensity.

图 2 结果显示, 盐酸浓度在 2%~20% 时, Hg 荧光强度变化不明显。As 荧光强度在 2%~10%

呈上升趋势, 大于 10% 盐酸浓度的荧光强度趋于稳定。考虑本法采取 As、Hg 同试液测定, 选用 10% 的盐酸浓度进行实验。

2.6 校准曲线和检出限

将 As 和 Hg 的混合标准溶液逐级进行稀释, 配制 As 和 Hg 的混合标准工作溶液系列。其中, As 的质量浓度依次为 0、10.0、20.0、30.0、40.0、50.0 $\mu\text{g/L}$, Hg 的质量浓度依次为 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 $\mu\text{g/L}$, 加入 5.0 mL 盐酸、10.0 mL 硫脲-抗坏血酸混合溶液, 定容至 50 mL, 静置 30 min 后待测。按照优化后的工作条件进行测定, 以 As 和 Hg 的质量浓度为横坐标, 其对应的荧光强度值为纵坐标绘制校准曲线。结果表明, 在实验浓度范围内, As 和 Hg 的质量浓度与荧光强度值呈线性, As 的线性回归方程为 $y=339.5x+137.5$, 相关系数为 $r=0.9997$; Hg 的线性回归方程为 $y=7228.5x-102.4$, 相关系数为 $r=0.9999$ 。

在选定的工作条件下连续测定 11 次样品空白, 以 $3\sigma/K$ (式中: σ 为样品空白标准偏差, K 为校准曲线斜率) 计算得到 As 的方法检出限为 0.02 $\mu\text{g/L}$, Hg 的方法检出限为 0.003 $\mu\text{g/L}$ 。按照实验方法取样量为 0.1 g, 定容至 25 mL, 计算样品中 As 的检出限为 0.005 mg/kg, Hg 的检出限为 0.0008 mg/kg, 优于国家标准^[17]中 As 0.01 mg/kg, Hg 0.002 mg/kg 的检出限指标。

2.7 标准及样品分析

按照实验方法对 5 个土壤标准物质 GBW07402、GBW07403、GBW07408、GBW07423、GBW07425 中 As 和 Hg 进行测定, 结果见表 3。表 3 结果显示, As 和 Hg 的测定值与其对应的标准值基本吻合, 相对标准偏差(RSD)在 1.5%~7.4%。

表 3 土壤标准物质中 As 和 Hg 的分析结果
Table 3 Analysis results of arsenic and mercury in soil reference materials ($n=7$)

样品编号	元素	测定值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	标准值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/%
GBW07402	As	13.2	13.7	1.6
	Hg	0.012	0.015	6.5
GBW07403	As	3.8	4.4	3.3
	Hg	0.057	0.060	2.6
GBW07408	As	12.5	12.7	1.8
	Hg	0.013	0.017	7.3
GBW07423	As	8.3	8.4	1.5
	Hg	0.031	0.032	7.4
GBW07425	As	7.4	7.4	1.7
	Hg	0.050	0.060	5.2

同时按照实验方法测定了 2 个土壤实际样品中的 As 和 Hg,根据初测结果加入不同量的 As 单标准溶液和 Hg 单标准溶液,结果见表 4。表 4 结果显示,实际土壤样品的加标回收率在 87%~109%。

表 4 样品分析结果

Table 4 Sample analysis results

样品名称	元素	测定值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	加标量/ μg	测得总量/ μg	回收率/ %
土壤 1 [#]	As	28.4	2.50	4.94	87
	Hg	0.357	0.030 0	0.067 0	108
土壤 2 [#]	As	0.543	0.050	0.095	92
	Hg	0.508	0.050	0.101	109

3 结论

提出采用以水载流的进样方式改变了传统以稀盐酸为载流的做法,在满足工作要求情况下,可以节省大量酸试剂,在短时间内(半天)测定样品未出现记忆效应的影响,需进一步验证在长时间测定工作中的影响情况,也为水为载流在其它元素测定中的应用提供一种新的研究思路。

参考文献

- [1] 生态环境部,国家市场监督管理总局. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准:GB 15618—2018[S]. 北京:中国环境科学出版社,2018.
Ministry of Ecology and Environment, State Administration of Market Supervision and Administration. Soil environmental quality risk control standard for soil contamination of agricultural land:GB 15618—2018[S]. Beijing:China Environmental Science Press,2018.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 土壤质量总汞、总砷、总铅的测定原子荧光法第 2 部分:土壤中总砷的测定:GB/T 22105.2—2008[S]. 北京:中国质检出版社,2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. Soil quality-analysis of total mercury, arsenic and lead contents-atomic fluorescence spectrometry-part 2:Analysis of total arsenic contents in soils:GB/T 22105.2—2008[S]. Beijing:China Quality Inspection Press,2008.
- [3] 陈保,刀仕强,蒲泓君,等. 微波消解-双道原子荧光光谱法同时测定土壤中的砷和汞[J]. 热带生物学报,2017,8(3):348-352.
CHEN Bao, DAO Shiqiang, PU Hongjun, et al. Simultaneous determination of arsenic and mercury in soil by microwave digestion and double channel atomic fluorescence spectrometry[J]. Journal of Tropical Biology, 2017,8(3):348-352.
- [4] 赵振平,张怀成,冷家峰,等. 王水蒸气发生-原子荧光光谱法测定土壤中的砷、锑和汞[J]. 中国环境监测,2004,20(1):44-46.
ZHAO Zhenping, ZHANG Huaicheng, LENG Jiafeng, et al. The method of VG-AFS with clearing by aqua regia to determine of As, Sb and Hg in the soil[J]. Environmental Monitoring in China, 2004, 20(1):44-46.
- [5] 贡海燕. 沸水浴消解-氢化物发生原子荧光法测定土壤中的汞[J]. 山西科技,2018,33(5):41-43.
YUN Haiyan. Determination of Hg in soil by boiling water digestion-hydride generation atomic fluorescence spectrometry [J]. Shanxi Science and Technology, 2018,33(5):41-43.
- [6] 赵根成,王朝明,贾劲松,等. 微波消解-原子荧光法同时测定土壤中的总砷和总汞[J]. 现代农业科技,2014(16):196-197,200.
ZHAO Gencheng, WANG Chaoming, JIA Jinsong, et al. Simultaneous determination of As and Hg in soil by microwave digestion and atomic fluorescence spectrometry [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(16):196-197,200.
- [7] 祝正辉. 原子荧光光谱法测定土壤中的砷和汞[J]. 理化检验-化学分册,2015,51(7):952-954.
ZHU Zhenghui. Determination of arsenic and mercury in soil by AFS[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2015, 51(7):952-954.
- [8] 郝聪聪,邢培哲,毛雪飞,等. 催化热解-金汞齐原子荧光法快速测定农田土壤中痕量汞[J]. 农产品质量与安全,2019(6):16-20.
HAO Congcong, XING Peizhe, MAO Xuefei, et al. Fast determination of trace mercury in farmland soil by catalytic pyrolysis gold amalgam atomic fluorescence spectrometry[J]. Quality and Safety of Agro-products, 2019(6):16-20.
- [9] 宋伟,张志,郑平,等. 土壤中砷·汞·铅·镉·铬的研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(34):21001-21002,210541.
SONG Wei, ZHANG Zhi, ZHENG Ping, et al. Study on determination methods for As, Hg, Pb, Cd and Cr in soil[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(34):21001-21002,210541.
- [10] 张洪文,张永辉,韩康琴,等. 多道全自动原子荧光光谱法测定土壤中的砷和汞[J]. 中国无机分析化学,2014,

- 4(1):18-21.
ZHANG Hongwen, ZHANG Yonghui, HAN Kangqin, et al. Determination of arsenic and mercury in soils by multi-channel automatic atomic fluorescence spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2014, 4(1):18-21.
- [11] 秦玉燕, 唐玉娟, 唐莹莹, 等. 氢化物发生原子荧光法同时测定土壤中砷和汞的含量[J]. 农业研究与应用, 2016(3):43-47.
QIN Yuyan, TANG Yujuan, TANG Yingying, et al. Simultaneous determination of As and Hg in soil by hydride atomic fluorescence spectrometry[J]. Agricultural Research and Application, 2016(3):43-47.
- [12] 许娟娟, 王伟, 陈欢, 等. 石墨消解-盐酸保存液定容结合原子荧光法测定土壤中总汞的研究[J]. 化学试剂, 2019, 41(7):721-724.
XU Juanjuan, WANG Wei, CHEN Huan, et al. Graphite digestion-hydrochloric acid preservation liquid diluting combined with atomic fluorescence spectrometry for determination of total mercury in soil[J]. Chemical Reagents, 2019, 41(7):721-724.
- [13] 林琳, 张海燕, 张军, 等. 微波消解试样-原子荧光光谱法测定土壤中砷和锑[J]. 理化检验-化学分册, 2010, 46(10):1155-1157.
LIN Lin, ZHANG Haiyan, ZHANG Jun, et al. AFS determination of arsenic and antimony in soil with microwave assisted sample digestion[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B; Chemical Analysis, 2010, 46(10):1155-1157.
- [14] 李晋荣, 党晋华, 宋姗娟, 等. 双道原子荧光光谱法测定土壤中汞[J]. 中国无机分析化学, 2017, 7(3):1-3.
LI Jinrong, DANG Jinhua, SONG Shanjuan, et al. Determination of mercury in soil by double-channel atomic fluorescence spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2017, 7(3):1-3.
- [15] 钟陶陶. 自动石墨消解-原子荧光法同时测定土壤中砷、汞、硒[J]. 化学工程师, 2019(7):29-31.
ZHONG Taotao. Simultaneous determination of arsenic, mercury and selenium in soil by automatic graphite digestion-atomic fluorescence spectrometry[J]. Chemical Engineer, 2019(7):29-31.
- [16] 代立勤. 氢化物发生-原子荧光光谱法测定食品中微量元素的分析研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2010.
DAI Liqin. Studies on determination of trace elements in food by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry[D]. Shihezi: Shihezi University, 2010.
- [17] 环境保护部. 土壤和沉积物汞、砷、硒、铋、锑的测定 催化热解/原子荧光法: HJ 680—2013[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
China Ministry of Environmental Protection. Soil and sedimen-determination of mercury, arsenic, selenium, bismuth, antimony-Microwave dissolution/Atomic fluorescence spectrometry: HJ 680—2013[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2013.