

Pretreatment of Soil Sample—Microwave Digestion

Ting Gao^{1,2}, Xuanping Yang¹, Wenxiang Hu^{2*}

¹Beijing Xianghu Science and Technology Development Co., LTD, Beijing

²Jingdong Xianghu Laboratory of Beijing Excalibur Space Military Academy of Medical Sciences, Beijing

Email: ^{*}huwx66@163.com

Received: Apr. 12th, 2017; accepted: Apr. 27th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

The soil samples were digested by one-time microwave digestion method, and the better digestion condition was found. The results showed that the digestion effect of nitric acid - hydrochloric acid - hydrofluoric acid system and nitric acid - hydrogen peroxide - hydrofluoric acid system were the same when the soil sample was 0.1000 g. The former method was better than the latter one when the soil sample was 0.1500 g. Therefore, it was recommended to choose the nitric acid - hydrochloric acid - hydrofluoric acid system in soil microwave digestion. The higher the purity of the acid, the better the accuracy of the test.

Keywords

Microwave Digestion, Soil, Sample Pretreatment, Xianghu Microwave Digestion Instrument

土壤样品前处理——微波消解研究

高 婷^{1,2}, 杨萱平¹, 胡文祥^{2*}

¹北京祥鹤科技发展有限公司, 北京

²北京神剑天军医学科学院京东祥鹤实验室, 北京

Email: ^{*}huwx66@163.com

收稿日期: 2017年4月12日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

摘 要

采用微波消解的办法, 对土壤样品进行一次性消解处理, 以期找到较优消解条件, 将土壤消解完全。结果发现土壤称样量0.1000 g时, 用硝酸-盐酸-氢氟酸体系和硝酸-过氧化氢-氢氟酸体系消解效果相

^{*}通讯作者。

同,土壤称样量0.1500 g时,前者消解效果较后者好,所以在进行土壤微波消解时建议优先选择硝酸-盐酸-氢氟酸体系。为了检测的准确性酸的纯度越高越好。

关键词

微波消解, 土壤, 样品前处理, 祥鹤微波消解仪

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

土壤作为农业生产的主要载体和生态环境的重要组成部分,其质量好坏很大程度上决定了农业产品质量的高低,其质量的优劣是目前评定无公害农产品、绿色农产品或者有机农产品的必要条件。土壤重金属污染问题也已成为日益严重的生态问题。

分析土壤中重金属的检测是尤为重要的项目,特别是样品的前处理更是至关重要的环节。早些年世界各国进行土壤背景值调查中采用了不同的分解土样方法。例如:日本用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 法[1],美国用 HCl-HNO_3 法,英国用 HNO_3 法[2],其他许多国家用热王水提取[2]。当时齐文启等人就提出用 $\text{HCl-HNO}_3\text{-HF-HClO}_4$ 的全消解法处理土样,与前面几种办法相比,全消解法在分解土样时比较平静,且蒸发温度高,能有效地分解有机物和矿物晶格。这种办法一直沿用许久[3]-[12],后又有人尝试过用王水水浴溶样[13],较全消解体系降低了成本,提高了效率。但这些方法一般是在电热板上使用聚四氟乙烯坩埚加热进行样品的消解,整个操作过程比较繁琐,温度不易控制,溶液易溢出,坩埚易变形等。

自上世纪八十年代微波技术逐渐引起人们的重视后,它的应用也越来越广。微波加热是能量直接作用于被加热物质,利用被加热物质的极性分子,在微波电磁场中快速转向及定向排列,从而产生撕裂和相互摩擦而发热,样品因微波的作用其表面层不断地搅动破裂,不断地产生新鲜表面与酸反应,促使样品迅速消解。利用微波的特性,在分析化学中使用微波作为热源分解试样,可以得到较目前常规的加热消解方法更快、更好的效果。而且,通常微波消解试样是与密闭增压溶样结合起来的,这就使微波消解技术具备了一些独特的优点。首先,可以迅速有效地分解试样,缩短溶样时间。其次,试剂用量少,一般只需几毫升。第三,试样在消解过程中的损失和交叉污染的可能性大大降低。另外,能耗降低,易于实现自动操作,同时可减少常规消解酸雾对环境的污染[14]。

我国国家标准多采用混酸完全消解的方法[15],如国家标准方法 GB/T17140 和 GB/T17139 等[16] [17] [18]。近年来,微波消解技术在土壤前处理中得到广泛的利用,北京祥鹤科技发展有限公司自主研发的祥鹤系列微波消解仪自上市以来,受到农业部和环保部及各省市等相关企事业单位的一致好评,为了方便用户使用祥鹤系列消解仪器进行土壤消解,本文摸索了一系列消解条件,找到了较好的微波消解实验方法。实验表明,用本仪器进行土壤消解实验方便快捷,进一步减少了酸的用量,保护环境、减少成本的同时,消解效果也很好,消解的很完全。

2. 材料与方法

2.1. 供试仪器与试剂

试剂: 硝酸、盐酸、双氧水、氢氟酸,去离子水。前期实验用土壤为京东燕郊开发区北边随机取样

土壤，115℃烘箱干燥后，研磨，过 100 目筛。

仪器及简介：XH-800B 智能温压双控微波消解仪(见图 1)，或 XH-800C 电脑双控微波消解仪。

2.2. 实验方法

2.2.1. 第一次实验

称取 0.2000 g 土壤样品于聚四氟乙烯消解罐中，依次加入硝酸 5 mL，盐酸 2 mL，双氧水 2 mL，摇匀，于室温下放置 0.5 h。然后将其放入外罐中，拧紧盖子，放入消解仪中，按照表 1 条件进行微波消解，待温度降到 50℃，压力小于 0.1 时，拧开盖子取出消解罐，将里面的溶液摇匀倒出，静置片刻观察溶液颜色及残渣情况。

实验结果：见图 2。均未消解完全，溶液颜色为黄色，且残渣很多，图中白色溶液为空白试剂对照。

XiangHu

智能温压双控微波消解仪
XH-800B 型



仪器简介

XH-800B型智能温压双控微波消解仪为样品提供了快速、安全、自动化的解决方案。在高压条件下加快样品消解反应的速度，广泛应用于食品、农产品、环境保护、疾病控制、质量监督、商品检验、科研院所、高等院校等单位。

仪器特点

仪器采用连续微波加热，升温快速、均匀，大大延长了仪器的使用寿命。腔体采用大容积奥氏体不锈钢材料精制而成，内外采用进口特氟隆喷涂，厚度达5层，具有耐高温、耐工业强酸的功能。炉门和腔体结合紧密，特殊设计双保护安全炉门，多重复合一体式模具冲压成型高强度防辐射泄漏炉门，具有不变形、耐冲击波、防止微波泄漏等安全性能。仪器采用温、压双控系统对消解罐的压力和温度进行控制，实时显示。当罐内的压力超过设定的保护值时，微波会自动停止加热，安全防护具有双保险功能。当罐内的压力超过防爆膜所能承受的压力时，防爆膜先行破裂，气体排出，防止罐体受损和对人体的伤害。

主要技术指标

- 微波功率0~1000W(6个罐子)/1200W(10个罐子)自动连续可调。
- 采用高精度的铂电阻温度传感器，检测频率：150~200个数据/秒，速率升温，温度控制范围：0~260℃，测温精度：±0.1℃；控温精度：±1℃
- 压力控制范围：0~6MPa，最高耐压15MPa；测压精度：0.01MPa，控压精度：≤±0.05MPa，检测频率：150~200个数据/秒。
- 压力监控系统，实时检测反应体系中的压力变化(0~100bar)，达到设定的压力及时提出警告并自动关闭微波电源。
- 四轴同向匀速旋转转盘，使样品在微波的环境中受热更加均匀，大大增加了仪器的精密度和样品消解的一致性和检测的精确度。
- 腔体容积≥4L，依据腔体采用奥氏体不锈钢材质，内腔3层特氟隆涂层超防腐腐蚀；可同时处理10个超高压(10MPa)大容量(100mL)消解罐。
- 大容量100ml微波消解罐，罐内消解容量10~50ml，耐压外罐采用全进口高强度材料PEEK整体压铸制成，壁厚达10mm，罐盖和罐体连接处厚度为20mm，高压高压下无损坏。
- 多选择样品处理，可多达10个样品同时处理，也可分别处理1~8/10个样品
- 触摸屏控制界面，大屏幕液晶显示，实时显示温度及反应温度，压力，并可实时显示温度曲线，可分步设定温度并可存储16个反应数据组，每个数据组10个反应阶段。
- 自动保护功能：当控温和控压中某一系统失时，仪器会自动切断微波发射，并且报警。
- 泄压控制装置：在紧急状态下迅速离停止反应。
- 冷却功能：炉腔内强制快速风冷，通风采用耐腐蚀、大风量离心式风机，排风量≥5M³/min，反应完毕后，微波停止发射，转盘和风扇继续工作15分钟，待罐子冷却后，仪器自动关闭。
- 微波泄漏符合国家标准。

配置单

名称	数量	名称	数量
主机	1 (套)	外罐扳手	2 (个)
泄压棒	1 (套)	高压吊钩	2 (套)
聚四氟乙烯盘	1 (套)	250V/10A保险管	2 (套)
PEEK外罐(含主罐一套)	8/10 (套)	排风管	1 (个)
聚四氟乙烯(含主罐一套)	8/10 (套)	溢流器	1 (个)
防爆膜	1 (套)		

地址：北京市海淀区上地信息园1号新科创业园2号楼1005室
 电话：100089
 服务电话：010-64844291 010-84945003 010-82895037
 传真电话：010-64844291
 E-mail: xianghu100@ sina.com
 网址: www.xianghu.com.cn
 北京新科科技发展有限公司

Figure 1. XH-800B brief introduction of intelligent temperature and pressure dual-control microwave digestion instrument

图 1. XH-800B 智能温压双控微波消解仪简介



Figure 2. The first digest results

图 2. 第一次消解结果

Table 1. Microwave digestion device digestion system conditions**表 1.** 微波消解仪消解系统条件

操作步骤	工作时间(min)	工作温度(°C)	压力上限(MPa)	功率(W)
1	10	120	6	1000
2	5	120	6	1000
3	10	160	6	1000
4	5	160	6	1000
5	10	180	6	1000
6	8	180	6	1000
7	10	200	6	1000
8	30	200	6	1000

注：1.3.5.7 为升温时间；2.4.6.8 为保温时间。

2.2.2. 第二次实验

根据文献报道[19] [20] [21] [22] [23]，选择十种不同的酸体系进行筛选最优的消解条件，实验操作同 2.2.1，仪器条件见表 2。消解方法及消解结果评价见表 3，消解实验结果见图 3。

实验结论：据相关研究人员给出的指导意见，五号和六号是消解完全的。三号、四号、七号、八号颜色较其他的深些，除八号略有一点灰白残渣外，其他都没有残渣，是否消解完全需要进一步的验证。

2.2.3. 第三次实验

选用第二次实验结果得到 HNO₃、HF 体系和 HNO₃、HCl、H₂O₂ 两个体系进行实验仪器条件的筛选。并第三次实验时加入 HNO₃、HCl、HF 体系空白对照，以确定空白对照溶液的颜色。

第三次实验操作同上，仪器条件同 2.2.2，消解方法及消解结果评价见表 4，消解结果见图 4。

实验结论：① 通过对 HNO₃、HCl、HF 体系空白对照发现酸体系本身的颜色就是深黄色，所以这个体系也是可以将土壤消解完全的。

② 用 HNO₃、HF 体系不能将 0.1552 g 土壤消解完全，而 HNO₃、HCl、H₂O₂ 体系可以，后者较前者的消解效果好些，用后者继续优化消解条件。

2.2.4. 第四次实验

选择 HNO₃、HF、H₂O₂ 和 HNO₃、HCl、HF 两个体系进行实验仪器条件的优化。

第四次实验操作同上，按照表 5 仪器条件完成操作。消解方法及结果见表 6，消解结果见图 5。

实验结论：两个体系均将土壤消解完全，继续优化仪器条件。

2.2.5. 第五次实验

选择 HNO₃、HF、H₂O₂ 和 HNO₃、HCl、HF 两个体系进行实验仪器条件的优化。

第五次实验操作同上，按照表 7 的仪器条件完成操作，消解方法及消解结果评价见表 8。消解结果见图 6。

2.2.6. 第六次实验

选择 HNO₃、HF、H₂O₂ 和 HNO₃、HCl、HF 两个体系进行实验仪器条件的优化。

第六次实验操作同上，按照表 9 仪器条件完成操作。消解方法及消解结果评价见表 10。消解结果见图 7。

实验结论：两个体系均未能将土壤消解完全，但通过残渣情况看图 7 中 2 号消解效果更好一些。

Table 2. Microwave digestion instrument digestion system conditions
表 2. 微波消解仪消解系统条件

操作步骤	工作时间(min)	工作温度(°C)	压力上限(MPa)	功率(W)
1	10	120	6	1000
2	5	120	6	1000
3	10	160	6	1000
4	5	160	6	1000
5	10	180	6	1000
6	8	180	6	1000
7	10	200	6	1000
8	15	200	6	1000

Table 3. Digestion method and evaluation of digestion results
表 3. 消解方法及消解结果评价

消解方法	酸体系(mL)	土壤称量	消解液颜色	残渣颜色	消解评价
1	HNO ₃ (4)、HCl(4)、H ₂ O ₂ (2)	0.2 g	黄色	灰黑	不完全
2	HNO ₃ (6)、HCl(2)、H ₂ O ₂ (2)	0.2 g	黄色	灰黑	不完全
3	HNO ₃ (6)、HCl(2)、HF(2)	0.2g	深黄色	无残渣	待定
4	HNO ₃ (5)、HCl(3)、HF(2)	0.2 g	深黄色	无残渣	待定
5	HNO ₃ (6)、HF(2)、H ₂ O ₂ (2)	0.2 g	无色	无残渣	完全
6	HNO ₃ (6)、HF(4)	0.2 g	无色	灰白色	完全
7	HNO ₃ (5)、HCl(2.5)、HF(2.5)	0.2 g	深黄色	无残渣	待定
8	HNO ₃ (5)、HCl(2)、HF(3)	0.2 g	深黄色	灰白色	待定
9	HNO ₃ (5)、HCl(3)、H ₂ O ₂ (2)	0.2 g	黄色	灰黑色	不完全
10	HNO ₃ (5)、HCl(2)、H ₂ O ₂ (3)	0.2 g	黄色	灰黑色	不完全

Table 4. Digestion method and evaluation of digestion results
表 4. 消解方法及消解结果评价

消解方法	酸体系(mL)	土壤称量	消解液颜色	残渣颜色	消解评价
1	HNO ₃ (3)、HF(2)	0.1061 g	无色	无残渣	完全
2	HNO ₃ (3)、HF(1)、H ₂ O ₂ (1)	0.1065 g	无色	无残渣	完全
3	HNO ₃ (3)、HF(2)	0.1552 g	浅黄色	灰白	不完全
4	HNO ₃ (3)、HF(1)、H ₂ O ₂ (1)	0.1533 g	无色	无残渣	完全
5	HNO ₃ (3)、HF(2)	无	无色	无	
6	HNO ₃ (3)、HF(1)、H ₂ O ₂ (1)	无	无色	无	
7	HNO ₃ (3)、HCl(1)、HF(1)	无	深黄色	无	

Table 5. Microwave digestion device digestion system conditions**表 5.** 微波消解仪消解系统条件

操作步骤	工作时间(min)	工作温度(°C)	压力上限(MPa)	功率(W)
1	10	120	6	1000
2	5	120	6	1000
3	10	160	6	1000
4	5	160	6	1000
5	10	180	6	1000
6	15	180	6	1000

Table 6. Digestion method and evaluation of digestion results**表 6.** 消解方法及消解结果评价

消解方法	酸体系(mL)	土壤称量	消解液颜色	残渣颜色	消解评价
1	HNO ₃ (3)、HF(1)、H ₂ O ₂ (1)	0.1023 g	无色	无残渣	完全
2	HNO ₃ (3)、HF(1)、H ₂ O ₂ (1)	0.1576 g	无色	无残渣	完全
3	HNO ₃ (3)、HCl(1)、HF(1)	0.1046 g	深黄色	无残渣	完全
4	HNO ₃ (3)、HCl(1)、HF(1)	0.1568 g	深黄色	无残渣	完全

Table 7. Microwave digestion device digestion system conditions**表 7.** 微波消解仪消解系统条件

操作步骤	工作时间(min)	工作温度(°C)	压力上限(MPa)	功率(W)
1	10	120	6	1000
2	5	120	6	1000
3	10	160	6	1000
4	20	160	6	1000

Table 8. Digestion method and evaluation of digestion results**表 8.** 消解方法及消解结果评价

消解方法	酸体系(mL)	土壤称量	消解液颜色	残渣颜色	消解评价
1	HNO ₃ (3)、HF(1)、H ₂ O ₂ (1)	0.1521 g	无色	灰黑	不完全
2	HNO ₃ (3)、HF(1)、H ₂ O ₂ (1)	0.1018 g	无色	无残渣	完全
3	HNO ₃ (3)、HCl(1)、HF(1)	0.1528 g	深黄色	灰白	不完全
4	HNO ₃ (3)、HCl(1)、HF(1)	0.1016 g	深黄色	无残渣	完全

Table 9. Microwave digestion device digestion system conditions**表 9.** 微波消解仪消解系统条件

操作步骤	工作时间(min)	工作温度(°C)	压力上限(MPa)	功率(W)
1	10	120	6	1000
2	20	120	6	1000

Table 10. Digestion method and evaluation of digestion results

表 10. 消解方法及消解结果评价

消解方法	酸体系(mL)	土壤称量	消解液颜色	残渣颜色	消解评价
1	HNO ₃ (3)、HF(1)、H ₂ O ₂ (1)	0.1048g	浅黄色	灰白	不完全
2	HNO ₃ (3)、HCl(1)、HF(1)	0.1008g	深黄色	灰白	不完全

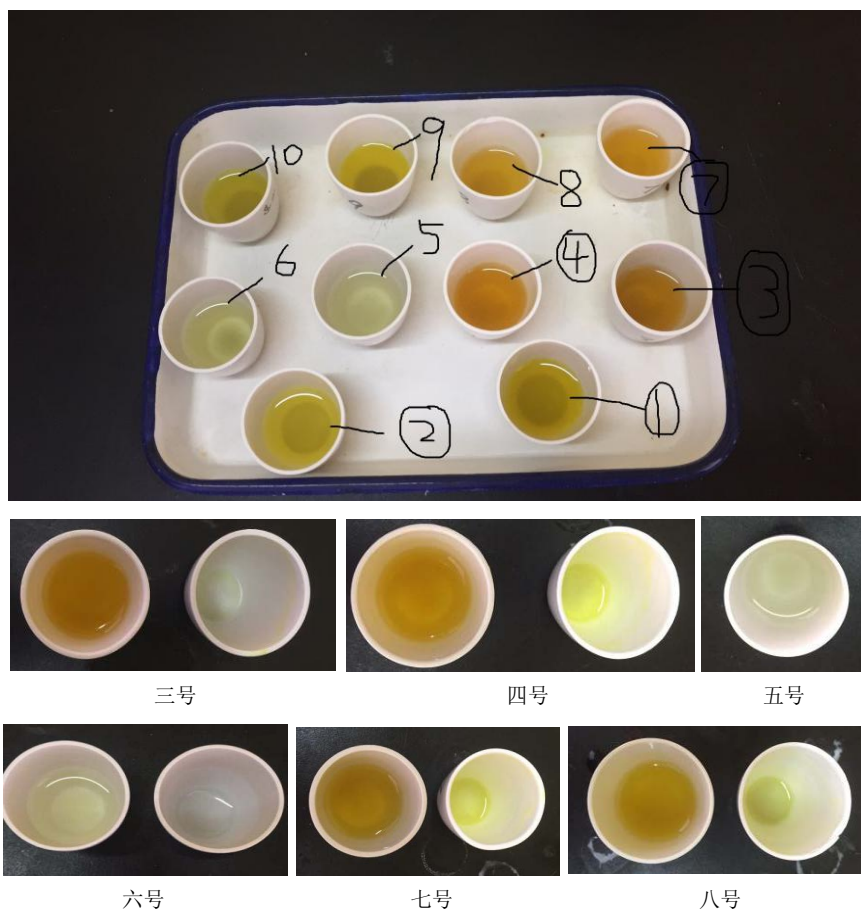


Figure 3. The second digestion results

图 3. 第二次消解结果



Figure 4. The third digestion results

图 4. 第三次消解结果



Figure 5. The fourth digestion results
图 5. 第四次消解结果

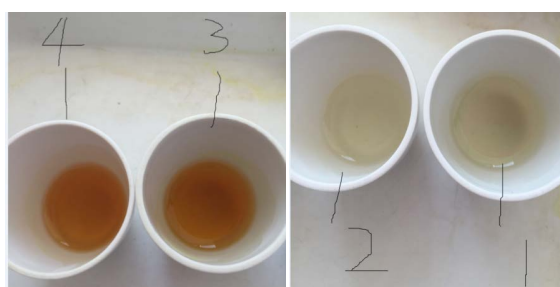


Figure 6. The fifth digestion results
图 6. 第五次消解结果



Figure 7. The sixth digestion results
图 7. 第六次消解结果

3. 实验结论

用本仪器进行土壤消解实验方便快捷，用酸量少，消解完全。通过多组实验对比，找到较优微波消解条件，具体操作如下。

将取样土壤置于 115℃ 烘箱干燥后，研磨，过 100 目筛。

XH-800B 智能温控微波消解仪共配有十个高压微波消解罐，任选一个聚四氟乙烯副罐作为空白对照罐，即只加入混酸不加土壤样品。

分别九次精密称取 0.1000 g 土壤样品于九个消解罐内罐中，依次加入硝酸 3 mL，盐酸 1 mL，氢氟酸 1 mL (或者硝酸 3 mL，氢氟酸 1 mL，双氧水 1 mL)，摇匀，将一片防爆膜置于副罐泄压阀内拧紧后，将内罐盖盖上，于室温下放置 0.5 h。然后将其放入 PEEK 消解外罐中，再盖上外罐盖子拧紧，放入祥鹄微波消解仪中，按照表 11 所列条件在消解仪上设置实验参数进行微波消解，完成后待温度降到 50℃，压力小于 0.1 MPa 时，先放气，再拧开外罐盖子取出消解罐，进行后续处理即可。

Table 11. Xianghu microwave digestion instrument experimental parameters of the soil
表 11. 祥鹤微波消解仪消解土壤的实验参数

操作步骤	工作时间(min)	工作温度(°C)	压力上限(MPa)	功率(W)
1	10	120	6	1000
2	5	120	6	1000
3	10	160	6	1000
4	20	160	6	1000

本实验研究中所用的土壤是在河北省三河市燕郊开发区北边采样的,为随机取样,非标准土壤样品。因我国土壤类型繁多,成土母质及成土过程差异很大,土壤样品的基质可能存在较大差异,若 160°C 消解不完全可尝试再调高温度,温度上限详见仪器使用说明书。

在土壤样品微波消解实验过程中,发现氢氟酸对土壤能否消解完全起到至关重要的作用。参考文献方法[24],为了减少溶剂对检测的影响,所用的酸的纯度至少也要优级纯。

这次实验尚未对消解液中重金属进行检测,微波消解实验条件的正交设计和均匀设计尚在进行中,其他相关研究工作也会继续进行。

参考文献 (References)

- [1] 中国环境监测总站. 全国土壤环境背景值研究参考资料一[M]. 杨国治,译. 北京: 中国环境监测总站, 1989: 125.
- [2] 吴燕玉. 环境地球化学制图及应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989: 68, 124-125.
- [3] 常平, 王松君, 孙春华, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定黄铁矿中微量元素[J]. 岩矿测试, 2002, 21(4): 304-306.
- [4] 王松君, 常平, 王璞君, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定黄铜矿中多元素[J]. 岩矿测试, 2004, 23(3): 228-230.
- [5] 叶家瑜, 江宝林. 区域地球化学勘查样品分析方法[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 119-125.
- [6] 王松君, 常平, 王璞君, 侯天平, 侯悦. ICR-AES 测定闪锌矿中 9 种元素的方法[J]. 吉林大学学报(理学版), 2006, 44(6): 993-996.
- [7] 岩石矿物分析编写组. 岩石矿物分析(第一分册)[M]. 第 4 版. 北京: 地质出版社, 2011: 290-293.
- [8] 曹成东, 魏轶. 电感耦合等离子体-原子发射光谱法快速测定土壤中全硫[J]. 光谱实验室, 2010, 27(4): 1546-1548.
- [9] 蒋天成, 刘守廷. ICP-AES 快速测定土壤中硫含量[J]. 光谱实验室, 2007, 24(2): 99-101.
- [10] 李冰, 马新荣, 杨红霞, 何红蓼. 封闭酸溶-电感耦合等离子体原子发射光谱法同时测定地质样品中硼砷硫[J]. 岩矿测试, 2003, 22(4): 241-247.
- [11] 查立新, 马玲, 刘洪青, 孙伟. 全谱直读电感耦合等离子体发射光谱法测定地球化学样品中的微量硫[J]. 光谱实验室, 2011, 28(5): 2679-2682.
- [12] 温宏利, 马生凤, 马新荣, 等. 水溶样-电感耦合等离子体发射光谱法同时测定铁铜铅锌硫化物中 8 个元素[J]. 岩矿测试, 2011, 30(5): 566-571.
- [13] 刘玖芬, 刘晓煌, 赵正鹏, 刘淑亮. 水溶样 ICP-AES 同时测定土壤样品中的铜铅锌铁锰钼和硫[J]. 光谱实验室, 2013, 30(2): 798-803.
- [14] 金卫兵, 任娟娟. 微波消解技术及其在环境监测中的应用[J]. 科技信息, 2011, 1: 377-357.
- [15] 国家环境保护局. GB15618-1995 土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [16] Charlesw, O.S., Everett, M., Mc Carthy, R., et al. (2003) A Comparative Study of Heavy Metal Concentration and Distribution in Deposited Street Dust in a Large and a Small Urban: Bi Mingham and Coventry, West Midlands, UK. *Environmental International*, 29, 563-573. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00015-1)

- [17] 王京文, 徐文, 周航, 张莉丽. 土壤样品中重金属消解方法的探讨[J]. 浙江农业科学, 2007(2): 223-225.
- [18] 李海峰, 王庆仁, 朱永官. 土壤重金属测定两种前处理方法的比较[J]. 环境化学, 2006(1): 108-109.
- [19] 杜继伟. 微波消解-ICP-MS 测定土壤中的微量重金属元素[J]. 黑龙江环境通报, 2015, 39(1): 43-46.
- [20] 孙秀敏, 雷敏, 李璐, 等. 微波消解-ICP-MS 法同时测定土壤中 8 种重(类)金属元素[J]. 分析实验室, 2014, 33(10): 1177-1180.
- [21] 苏荣, 王晓飞, 洪欣, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定土壤中 10 种重金属元素[J]. 现代化工, 2015, 35(1): 175-177.
- [22] 王敏, 赵冲厚, 李晴, 等. 微波消解-原子吸收分光光度法测定土壤中重金属的研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(16): 7128-7129, 7176.
- [23] 汪小红, 叶有标, 葛小红, 吴小珍. 微波消解 ICP-MS 法同时测定土壤中的九种元素的探讨[J]. 海峡科技与产业, 2016(9): 108-109.
- [24] 刘善江, 高利娟, 姚志东, 等. 微波消解法在制备土壤重金属统一测试溶液中的应用[J]. 现代仪器, 2008, 14(6): 25-27, 30.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org