

提高原子吸收分光光度计结果准确度的有效途径

相 薇, 周会芳, 崔 庆, 杨宝峰*

(北京市房山区农业环境和生产监测站, 北京 102488)

摘 要: 原子吸收分光光度计主要用于分析微量到痕量级的元素, 具有检出限低、选择性好、精密度高、抗干扰能力强等特点, 广泛应用于地质、冶金、化工、农业、食品、生物、医药、环境保护等领域。原子吸收分光光度计主要有火焰和石墨炉原子化器两大类, 在分析过程中影响测量的可变因素很多, 各种测量条件不易重复, 对测定结果的准确度影响较大, 因此, 如何选择仪器的最佳工作条件十分重要。本文通过对仪器准备工作、仪器状态以及实验过程等影响因素进行分析优化, 总结出一些提高原子吸收分光光度计准确度的有效途径, 以保证检测结果的准确性。

关键词: 原子吸收分光光度计; 石墨炉; 火焰; 影响因素; 最佳条件

Effective ways to improve the accuracy of atomic absorption spectrophotometer

XIANG Wei, ZHOU Hui-Fang, CUI Qing, YANG Bao-Feng*

(Beijing Fangshan District Monitoring Station of Agricultural Environment and Production, Beijing 102488, China)

ABSTRACT: Atomic absorption spectrophotometer is mainly used for analysis of trace elements, it has the characteristics of low detection limit, good selectivity, high precision, and strong anti-interference ability, and is widely used in the fields of geology, metallurgy, chemical industry, agriculture, food, biology, medicine, environmental protection, etc. Atomic absorption spectrophotometer is mainly divided into two categories, including flame and graphite furnace atomic device. Many variable factors can affect the measurement during the analysis, and various measurement conditions are not easy to repeat, having large influence on accuracy of determination results, therefore, it is very important to choose the best working conditions. This paper analyzed and optimized the influencing factors of the instrument preparation, status of the instrument and experiment process, and summed up some effective ways to improve the accuracy of atomic absorption spectrophotometer, so as to ensure the accuracy of test results.

KEY WORDS: atomic absorption spectrophotometer; graphite furnace; flame; influencing factors; best conditions

1 引言

原子吸收是指基态原子对光辐射能的共振吸收, 通过测量基态原子对光辐射能的吸收程度来测定样品中的某元素的含量。自从1955年原子吸收分光光度计诞生后, 迅

速应用于分析化学的各个领域, 如地质、冶金、化工、农业、食品、生物、医药、环境保护等领域。可测定 1×10^{-9} 到 0.1% 浓度范围内的 70 多种元素^[1]。

原子吸收分光光度计主要用于分析微量到痕量级的元素, 由于其原子蒸气中基态原子数比激发态原子数多,

*通讯作者: 杨宝峰, 副研究员, 主要研究方向为实验室管理。E-mail: fshzjz@163.com

*Corresponding author: YANG Bao-Feng, Associate Research Fellow, Beijing Fangshan District Monitoring Station of Agricultural Environment and Production, No.24, Liangxiang West Road, Fangshan District, Beijing 102488, China. E-mail: fshzjz@163.com

因此具有检出限低、选择性好、精密度高、抗干扰能力强等特点^[2]。空心阴极灯提供光源,待测元素通过原子化后对特征波长辐射产生吸收,从阴极灯发射光谱被减弱的程度,可计算出待测元素的含量^[3]。在分析过程中影响测量的可变因素很多,各种测量条件不易重复,对测定的灵敏度和准确度影响较大,因此,如何选择仪器的最佳工作条件十分重要^[4,5]。本文通过对仪器准备工作、仪器状态以及实验过程等影响因素进行分析优化,以保证检测结果的准确性。

2 仪器准备工作

为保证仪器的测量精密度,使其更加高效运行,必须有良好的环境条件。原子吸收仪器应单独放置,不得与其他仪器混放,仪器上方需有排风装置,以免出现环境污染;室内不得放置有机试剂,避免试剂对测量产生增感效应影响结果的准确性;石墨炉电源要与主机电源不同,要用 220 V 稳定电源供电,同时需要增加稳压装置,电流不稳会造成石墨炉加热开关未打开,导致仪器不能正常使用^[6]。循环冷却水装置温度不宜设定过低,宜是室温的 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,温差过大会在炉体及石英窗处产生水雾,影响背景值^[7];火焰检测器需要的乙炔气纯度要在 99% 以上,当瓶内压力小于 0.5 Mpa 时就要更换,否则乙炔瓶内溶解物流入管道容易造成堵塞,无法点火,实验过程中乙炔分压表压力调到 0.09 Mpa 进行测定^[8,9]。石墨炉检测器的氩气纯度应在 99.999% 以上,保护测定元素及石墨管不被氧化。

3 仪器状态的优化

3.1 足够的空心阴极的预热时间

为使光源稳定,必须对灯进行预热,使灯内原子蒸气的分布及厚度恒定,这样才会使灯内原子蒸气产生的辐射和自吸收稳定^[10]。自吸收是指由于阴极内部温度高于外部,阴极外部的原子蒸气会吸收一定的辐射,造成测定灵敏度降低^[11]。

3.2 升温程序及基体改进剂的优化

石墨炉分析中,升温程序至关重要,灰化及原子化温度掌握的好,使得基本共存物质大部分被除去,待测元素以相同的化学形态进入原子化阶段,将使气相化学干扰和背景吸收干扰大幅度减小^[12],从而能获得良好的分析结果。以土壤和农产品中的 Pb 和 Cd 的检测为例,邹智^[13]在石墨炉原吸吸收法测定铅量时得到的最优化灰化温度为 1200 $^{\circ}\text{C}$,原子化温度为 1800 $^{\circ}\text{C}$; Cd 灰化温度为 600 $^{\circ}\text{C}$,原子化温度为 1300 $^{\circ}\text{C}$ 检测结果较好。黄小红^[14]在研究石墨炉原子吸收光谱法测定土壤中的镉时分析出,在灰化温度超过 600 $^{\circ}\text{C}$ 时, Cd 的损失趋势增大,原子化温度在小于 1300 $^{\circ}\text{C}$ 时,原子化不完全,峰太宽,若大于 1300 $^{\circ}\text{C}$,虽然峰面积稳定但会影响石墨管的使用寿命。

当基体成分复杂时,加入基体改进剂,能够更好地消除复杂基体造成的干扰,提高灵敏度和准确度。最常用的基体改进剂有硝酸铵、酒石酸、抗坏血酸、磷酸、磷酸二氢铵、硝酸镁、氯化钡等。钱洪智等^[15]使用氯化钡作为基体改进剂测定杭白菊中的铅,峰型得到大幅改善,所得结果更加准确、稳定。王丹红等^[16]采用硝酸镁-氯化钡混合基体改进剂测定海带中的铅,可有效消除高盐带来的干扰,回收率为 87%~110%。段明革等^[17]采用微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定蔬菜中微量铅和镉,选用磷酸二氢铵作基体改进剂,结果铅和镉的检出限分别为 1.83 和 0.394 $\mu\text{g}/\text{kg}$,回收率分别为 94%~109%、96%~108%,RSD 分别为 2.8%~6.3%和 2.4%~6.6%,选用优质的磷酸氢二铵可较好消除基体干扰。孙汉文等^[18]以琼脂为悬浮剂,磷酸二氢铵为基体改进剂,研究了土壤悬浮液的稳定性和基体改进剂效应及干扰效应,建立了以悬浮体进样-基体改进剂效应石墨炉原子吸收法测定土壤中痕量铅和镉的新方法。

3.3 合适的进样位置

石墨炉分析时一般采用自动进样器进样,需要调整好进样针的深度和进样体积。一般进样深度为距石墨管内壁底部剩三分之一左右为宜,使样液在石墨管上呈半圆形,位置太高导致进样不完全,太低会使样液平行喷在石墨管上^[19]。防止进样针位置不正确造成样品留在石墨管表面,减少石墨管寿命^[20]。同时应保证进样针干净,防止样液留在针上使进样不完全,进样针头脏后要及时更换。

3.4 石墨管的保护

氩气纯度要在 99.999% 以上,保护气流量不宜偏小防止氧化。石墨锥两边的气流量要一致,否则石墨管也容易烧断。要及时清洗石墨锥和石墨帽上的积碳,清洗后,要检查其上的通气小孔,不要堵塞。原子化温度不宜过高,长时间使用石墨炉后,石墨管会因反复高温灼烧造成损失,同时注意定期擦洗温度传感器的滤光片表面^[21]。样品消解时尽量少使用高氯酸,使用后要排酸排净。样品基质复杂也会影响石墨管的寿命,因此对于这类样品稀释后再测量。

3.5 光路调节

使用原子吸收分光光度计分析样品时,光路的调节十分重要,直接影响测量的灵敏度和稳定性。光轴偏移造成偏光会损失光能量,降低灵敏度^[22]。进行火焰分析时,调整空心阴极灯的位置使灯的位置、燃烧器及读数装置成一条直线,使光通量达到最大,以获得较高的灵敏度和准确度。另外取、装元素灯时应拿灯座,不要拿灯管,以防止灯管破裂或者通光窗口被沾污,导致光能量下降^[23,24]。

3.6 燃烧头调节

燃烧头高度不同、火焰高度不同、基态原子数不同,要根据元素特点和仪器推荐条件进行优化^[25]。另外高含量

样品做完, 应取下燃烧头放在自来水下冲洗干净并用滤纸仔细把缝口积碳擦除, 然后甩掉水滴晾干以备再次使用。同时用纯水喷雾几分钟以清洗雾化器。由于乙炔燃烧时会产生烟尘, 使透镜变模糊, 影响测量结果的准确性, 需要定期清洗燃烧头两边的透镜。

燃烧头的长缝点燃后应呈现均匀的火焰, 若火焰不均匀, 说明缝被碳或无机盐沉积物或溶液液滴堵塞, 需清除。先用滤纸插入擦拭, 必要时卸下燃烧头进行超声清洗。

3.7 雾化器的维护

雾化器直接影响仪器分析测定的灵敏度和准确度, 当仪器工作状态出现问题时要及时清洗雾化器^[26]。样品前处理必须完全, 不可直接测量含有颗粒状的液体, 易损伤雾化器, 需净化或过滤后测量。

4 实验过程的优化

4.1 化学试剂的选用

在原子吸收光谱实验中, 试剂空白的大小影响着检测结果的准确性和重复性, 实验中要尽量把试剂空白降到最低, 实验用酸的纯度是影响试剂空白的重要因素, 尽量选用高纯酸, 在实验前对酸进行试剂检测^[27-29]。在徐立生等的原子吸收法测定土壤重金属元素时空白值的降低方法中, 也指出了纯度高的酸可大大降低空白值。

4.2 干净的实验器皿

无机痕量分析对器皿的选择十分重要, 普通硬质玻璃的器皿容易产生较高的 Pb 空白, 而石英材质的空白较低^[31]。

实验后器皿要仔细清洗, 用硝酸和水以体积比 3:97 浸泡过夜后, 先用自来水冲洗, 再蒸馏水洗净, 污染严重或器皿使用时间较长的需采用二次净化, 即在器皿中加 5 mL 硝酸, 置电热板上加热回流 1 h, 进一步清洗器皿, 最后蒸馏水洗净, 晾干, 条件允许最好将校准曲线配制使用的器皿单独浸泡, 以免造成交叉污染^[32,33]。

4.3 正确的校准曲线

样品的测定值应落在校准曲线的线性范围内, 校准曲线为 4~6 个点, 线性一般要达到 0.999, 至少要大于 0.995^[34]。为减小由于标准配制产生的误差, 应从较高浓度的储备液逐步稀释至工作标准溶液, 标准系列应在测定时现配, 不能隔日使用, 且要与样品溶剂相匹配。根据不同元素选用不同的曲线校准方法, 比如镉可以选择二次校准曲线测量。

4.4 增加平行测定

由于重金属检测很容易引入污染, 因此需增加样品的平行测定和增加同一样品的测定次数以保证结果准

确可靠^[35]。

4.5 消解方法

用原子吸收分析样品时, 样品前处理消解得越充分, 赶酸越彻底, 检测结果越准确^[36]。在进行农产品重金属测定中, 对称取的 2.0 g 样品加入 5 mL 硝酸:1 mL 过氧化氢进行消解, 消解完全后逐渐升温进行赶酸, 温度不超过 130 °C, 赶酸至近干, 检测结果良好^[37]。徐小艳等^[38]用原子吸收法测定蔬菜水果中重金属含量时, 选用硝酸和过氧化氢 (V:V=5:1) 对样品进行消解, 得到的回收率为 95%~101.9%。高芹等^[39]用硝酸、硝酸:高氯酸、硝酸:氢氟酸、硝酸:盐酸以及硝酸:过氧化氢这 5 种不同的消解方法分析农产品中铅和镉的含量, 得出结果为硝酸:过氧化氢的消解方法效果更佳。对于土壤样品, 可称取 0.2 g 加入体积比 5:1:3 的硝酸:高氯酸:氢氟酸共 9 mL 进行消解赶酸, 可达到良好的检测结果。刘蕊等^[40]用硝酸、高氯酸和氢氟酸各 10 mL 对 1 g 土壤进行消解, 用原子吸收法测定其镉含量, 回收率可达 94%~109%。邓华等^[41]用 4 种消解方法分析土壤中重金属含量, 得出硝酸:高氯酸:氢氟酸的消解方法对各种重金属都有较理想的消解效果。

5 结 论

原子吸收分光光度计已在农业、食品、生物、医药、环境保护等众多领域得到了广泛应用, 由于检测结果会受到很多因素的影响, 需要对仪器的工作环境、各项参数及前处理过程等应影响因素进行优化, 才能保证原子吸收分光光度计处于最佳的工作状态, 从而提高仪器稳定性和灵敏度, 保证检测结果的可靠性。

参考文献

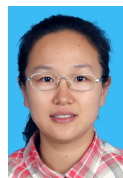
- [1] 刘克玲. 原子光谱学进展的综述[J]. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(1): 95-103.
Liu KL. Review of Atomic Spectroscopy [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2005, 25(1): 95-103.
- [2] 邓勃. 石墨炉原子吸收光谱分析中化学改进技术的进展[J]. 现代科学仪器, 2009, (1): 100-115.
Deng B. Recent development of chemical modification technique in graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. Mod Sci Instrum, 2009, (1): 100-115.
- [3] 潘海燕, 张鑫. 原子吸收法测定土壤中铜锌铅镉[J]. 环境工程, 2005, 23(1): 68-69.
Pan HY, Zhang X. Determination of copper in soil by atomic absorption method zinc lead and cadmium [J]. Environ Eng, 2005, 23(1): 68-69.
- [4] 李昌厚. 原子吸收分光光度计仪器及其应用的最新进展[J]. 生命科学仪器, 2006, 4(4): 3-8.
Li CH. The latest progress of atomic absorption spectrophotometer instrument and its application [J]. Life Sci Instrum, 2006, 4(4): 3-8.
- [5] 商博东. 石墨炉原子吸收中背景吸收干扰及其消除方法[J]. 职业与健康, 2000, (4): 52-53.

- Shang BD. Graphite furnace atomic absorption background absorption interference and its elimination method [J]. *Occup Health*, 2000, (4): 52-53.
- [6] 路学军. 石墨炉原子吸收法测定铅、镉的干扰及消除[J]. *环境监测管理与技术*, 1997, (3): 45-46.
- Lu XL. Graphite furnace atomic absorption method for the determination of lead, cadmium interference and eliminate [J]. *Environ Monit Manag Technol*, 1997, (3): 45-46.
- [7] 李祥, 赵贤豹. 原子吸收分光光度计在水环境监测中常出现的问题及解决措施[J]. *生态环境与保护*, 2012, 18(12): 9-10.
- Li X, Zhao XB. Atomic absorption spectrophotometer in water environment monitoring the problems and solutions [J]. *Ecol Environ Protect*, 2012, 18(12): 9-10.
- [8] 董亦斌, 束嘉秀, 王素萍, 等. 催化动力学--火焰原子吸收原理及应用[J]. *云南冶金*, 2005, 34(2): 69-71.
- Dong YB, Shu JX, Wang SP, *et al.* The principle and application of catalytic kinetic - flame atomic absorption [J]. *Yunnan Metallur*, 2005, (2): 69-71.
- [9] 王哲, 王宇杰, 张洪利. 影响火焰原子吸收分光光度计灵敏度的主要因素[J]. *仪器仪表与分析检测*, 2006, 63(2): 42-43.
- Wang Z, Wang YJ, Zhang HL. The main factors influencing the flame atomic absorption spectrophotometer sensitivity [J]. *Instrum Anal Test*, 2006, 63(2): 42-43.
- [10] 杜丽丽, 聂富强, 杜米芳, 等. 原子吸收分光光度计火焰法线性误差及检出限检定不确定度评定[J]. *现代测量与实验室管理*, 2012, 20(6): 36-38.
- Du LL, Nie FQ, Du MF, *et al.* Flame atomic absorption spectrophotometer method and linear error detection limit calibration uncertainty evaluation [J]. *Adv Meas Lab Manag*, 2012, 20(6): 36-38.
- [11] 朱颜苹, 段桂玲, 元学红. 原子吸收分光光度法测定土壤中的重金属[J]. *绿色科技*, 2012, (7): 175-176.
- Zhu YP, Duang GL, Yuan XH. Atomic absorption spectrophotometric method for determination of heavy metals in soil [J]. *Green Technol*, 2012, (7): 175-176.
- [12] 马戈, 谢文兵, 于桂红, 等. 石墨炉原子吸收光谱法测定蘑菇中的镉、铅[J]. *分析化学*, 2003, 31(9): 1109-1111.
- Ma G, Xie WB, Yu GH, *et al.* Graphite furnace atomic absorption spectrometry determination of cadmium and lead in the mushroom [J]. *Anal Chem*, 2003, 31(9): 1109-1111.
- [13] 邹智. 石墨炉原子吸收法测定铅量时灰化温度与原子化温度的优化[J]. *湖南有色金属*, 2016, 32(3): 79-80.
- Zou Z. When the amount of graphite furnace atomic absorption spectrometry lead ashing temperature and atomization temperature optimization [J]. *Hunan Nonfer Metal*, 2016, 32(3): 79-80.
- [14] 黄小红. 石墨炉原子吸收光谱法测定土壤中的镉[J]. *质量资讯*, 2007, 32(5): 143-144.
- Huang XH. Graphite furnace atomic absorption spectrometry determination of cadmium in soil [J]. *J Qual Inf*, 2007, 32(5): 143-144.
- [15] 钱洪智, 陈国征, 王炫征, 等. 氯化钼作基体改进剂-石墨炉原子吸收光谱法快速测定抗白菊中铅[J]. *中国卫生检验杂志*, 2007, 17(12): 2342.
- Qian HZ, Chen GZ, Wang XZ, *et al.* Palladium chloride as a matrix modifier quickly in water by graphite furnace atomic absorption spectrometry determination of lead in hangzhou white chrysanthemum [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2007, (12): 2342.
- [16] 王丹红, 涂满娣, 吴文晔, 等. 石墨炉原子吸收法加基体改进剂测定海带中铅[J]. *分析试验室*, 2008, 27(3): 405-407.
- Wang DH, Xu MD, Wu WX, *et al.* Graphite furnace atomic absorption method and matrix modifier determination of lead in kelp [J]. *J Anal Lab*, 2008, 27(3): 405-407.
- [17] 段明革, 马会国, 郎明林. 微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定蔬菜中微量铅和镉[J]. *中国卫生检验杂志*, 2006, 16(11): 1350-1351.
- Duan MG, Ma HG, Lang ML. Microwave digestion-graphite furnace atomic absorption spectrometry determination of trace lead and cadmium in vegetables [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2006, 16(11): 1350-1351.
- [18] 孙汉文, 温晓华, 梁淑轩. 悬浮体进样-基体改进效应石墨炉原子吸收光谱法直接测定土壤中的铅和镉[J]. *光谱学与光谱分析*, 2005, 26(5): 950-954.
- Sun HW, Wen XH, Liang SX. Suspension sampling - matrix to improve effect of graphite furnace atomic absorption spectrometry determination of lead and cadmium in soil directly [J]. *Spectrosc Spectr Anal*, 2005, 26(5): 950-954.
- [19] 成涛, 曹希明. 如何提高原子吸收光谱分析中石墨炉测量结果的准确性[J]. *职业与健康*, 2009, 25(12): 1264-1265.
- Cheng T, Cao XM. How to enhance the graphite furnace atomic absorption spectrometric analysis the accuracy of the measurement results [J]. *Occup Health*, 2009, 25(12): 1264-1265.
- [20] 汤峰. 饮用水中重金属元素石墨炉原子吸收绝对分析法研究[J]. *现代仪器*, 2001, (4): 39-40.
- Tang F. Heavy metals in drinking water by graphite furnace atomic absorption analysis absolutely [J]. *Mod Instrum*, 2001, (4): 39-40.
- [21] 薛光荣. 原子吸收光谱分析化学干扰及消除方法研究[J]. *上海计量测试*, 2001, 28(1): 33-37.
- Xue GR. Chemical interference and eliminate the atomic absorption spectrum analysis method research [J]. *J Shanghai Meas Test*, 2001, 28 (1): 33-37.
- [22] 杨磊, 李阿宁, 杨昔萍, 等. 火焰原子吸收分光光度计应用中的影响因素与最佳条件[J]. *中国化工贸易*, 2014, (1): 256.
- Yang L, Li AN, Yang XP, Li X. Influence factors of flame atomic absorption spectrophotometer used and the best conditions [J]. *J Chem Ind Trade China*, 2014, (1): 256.
- [23] 范东升. 浅谈火焰原子吸收分光光度计应用重金属分析的优缺点[J]. *环境*, 2013, (z2): 9.
- Fan DS. Introduction to flame atomic absorption spectrophotometer and the advantages and disadvantages of the application of heavy metal analysis [J]. *J Environ*, 2013, (z2): 9.
- [24] 曹金峰. 常规火焰原子吸收光谱法测定水中的痕量砷[J]. *纯碱工业*, 2002, 4: 7-12.
- Cao JF. Conventional flame atomic absorption spectrometry determination of trace arsenic in water [J]. *Soda Ash Ind*, 2002, 4: 7-12.
- [25] 丁新宇, 李洪山. 原子吸收分光光度计的发展与维护[J]. *生命科学仪器*, 2009, 7(5): 58-60.
- Ding XY, Li HS. The development and maintenance of the atomic absorption spectrophotometer [J]. *Life Sci Instrum*, 2009, 7(5): 58-60.
- [26] 张飞. 原子吸收光谱法测定土壤中重金属的探讨[J]. *环境与发展*, 2012, 25(3): 218-221

- Zhang F. Atomic absorption spectrometry was developed for the determination of heavy metals in soil to explore [J]. *Environ Dev*, 2012, 25(3): 218–221
- [27] 李卓. 原子吸收分光光度法测定土壤重金属在消解过程中存在的问题与对策探讨[J]. *绿色科技*, 2014, (1): 179–180.
- Li Z. Atomic absorption spectrophotometry soil heavy metals in the process of digestion problems and countermeasures [J]. *Green Technol*, 2014, (1): 179–180.
- [28] 宋珺. 提高原子吸收分光光度计石墨炉法测定 Pb 的灵敏度的研究[J]. *铁路节能环保与安全卫生*, 2008, 35(4): 205–206.
- Song J. The sensitivity of the graphite furnace atomic absorption spectrophotometer method was developed for the determination of Pb [J]. *Railway Energy Conserv, Environ Prot Health*, 2008, 35(4): 205–206.
- [29] 邓敬颂, 王佛娇, 戴修纯, 等. 原子吸收分光光度计石墨炉法测定 Cd 的改进剂选择与实验条件优化[J]. *分析仪器*, 2006, (4): 48–51.
- Deng JS, Wang FJ, Dai XC, *et al.* Graphite furnace atomic absorption spectrophotometer method was developed for the determination of Cd improver selection and optimization experiment conditions [J]. *Anal Instrum*, 2006, (4): 48–51.
- [30] 徐立生, 蔡裕丰. 原子吸收法测定土壤中金属元素时空白值的降低方法[J]. *环境科学与管理*, 2009, 34(9): 122–123.
- Lue LS, Cai YF. Atomic absorption method for the determination of metal elements in soil blank value reduction method [J]. *Environ Sci Manag*, 2009, 34(9): 122–123.
- [31] 高鹏. 痕量分析中容器的选择与洗涤[J]. *油气田环境保护*, 2002, 12(1): 41–43.
- Gao P. Trace analysis in the selection of the container and wash the oil [J]. *Gas Field Environ Prot*, 2002, 12 (1): 41–43.
- [32] 周德英. 样品中痕量元素的分析及其容器的选择和清洗[J]. *新疆环境保护*, 1985, (1).
- Zhou DY. The analysis of trace elements in the sample and the selection of the container and cleaning [J]. *Xinjiang Environ Prot*, 1985, (1).
- [33] 魏向利, 雷用东, 马小宁, 等. 土壤重金属检测中器皿清洗方法的改进[J]. *安徽农业科学*, 2014, (18): 5737–5738.
- Wei XL, Lie YD, Ma XN, *et al.* Soil heavy metal testing of vessel cleaning method improvement [J]. *Anhui Agric Sci*, 2014, (18): 5737–5738.
- [34] 冯志强, 刘宁, 赵颖彬, 等. 无机痕量分析的影响因素与控制措施[J]. *广州化工*, 2015, (20): 112–114.
- Feng ZQ, Liu N, Zhao YB, *et al.* Inorganic trace analysis of influence factors and control measures [J]. *Guangzhou Chem Ind*, 2015, (20): 112–114.
- [35] 孙国祿, 廖天江, 陈浩龙. 如何提高土壤中重金属检测的准确性[J]. *东方青年教师*, 2012, (10).
- Sun GL, Liao TJ, Chen HL. How to improve the accuracy of the detection of heavy metals in soil [J]. *Oriental Youth Teachers*, 2012 (10).
- [36] 陈山. 土壤重金属测定的前处理的方法的改进[J]. *环境与发展*, 2011, (12): 155–156.
- Chen S. Improve processing method for the determination of soil heavy metal [J]. *Environ Dev*, 2011, (12): 155–156.
- [37] 吴晓霞, 黄芳, 杨慧. 土壤重金属测定中不同消解方法的对比研究[J]. *南京晓庄学院学报*, 2010, 26(3): 44–47.
- Wu XX, Huang F, Yang H. Soil heavy metals in the determination of different digestion methods of contrast research [J]. *J Nanjing Xiaozhuang Coll*, 2010, 26(3): 44–47.
- [38] 徐小艳, 孙远明, 苏文焯, 等. 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铬镉[J]. *食品科学*, 2009, 30(10): 206–208.
- Xu XY, Sun YM, Su WZ, *et al.* Microwave digestion - graphite furnace atomic absorption spectrometry for determination of lead chrome cadmium in fruits and vegetables [J]. *Food Sci*, 2009, 30(10): 206–208.
- [39] 高芹, 邵劲松. 微波消解石墨炉原子吸收光谱法测定农产品中铅、镉[J]. *中国卫生检验杂志*, 2005, 15(6): 725–726.
- Gao Q, Shao JS. Microwave digestion graphite furnace atomic absorption spectrometry determination of lead, cadmium in agricultural [J]. *J China Health Lab Technol*, 2005, 15(6): 725–726.
- [40] 刘蕊, 胡本涛. 石墨炉原子吸收法测定土壤中的镉[J]. *黑龙江环境通报*, 2003, 27(4): 44–45.
- Liu R, Hu BT. Graphite furnace atomic absorption for determination of cadmium in soil [J]. *Heilongjiang Environ Bull*, 2003, 27(4): 44–45.
- [41] 邓华, 许丹丹, 李明顺, 等. 不同消解方法分析土壤中重金属含量的比较[J]. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 28(3): 80–83.
- De H, Xu DD, Li MS, *et al.* Different digestion methods to analyze the comparison of heavy metal content in the soil [J]. *J Guangxi Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2010, 28(3): 80–83.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



相 薇, 研究实习员, 主要研究方向为农产品农药残留、土壤环境重金属、畜牧水产兽药残留的定量及定性检测。

E-mail: fshzjz@163.com



杨宝峰, 副研究员, 主要研究方向为实验室管理。

E-mail: fshzjz@163.com