

ICP 快速检测农田灌溉水中重金属元素的方法开发策略

王明芳¹ 陈彩珊² 耿海燕²

1 新疆昌源水务科学研究院有限公司 2 自治区地质局新疆矿产实验研究中心

DOI:10.12238/gmsm.v7i11.2022

[摘要] 快速、准确地检测农田灌溉水中的重金属元素对于保障农产品安全和生态环境具有重要意义。本文旨在研究电感耦合等离子发射光谱(ICP)快速检测农田灌溉水中重金属元素的方法,通过优化样品前处理、仪器配置、数据处理与结果分析等方面,提高检测速度和准确性,为农田灌溉水质量监控提供有力支持。

[关键词] 电感耦合等离子发射光谱; 快速检测; 农田灌溉水; 重金属元素

中图分类号: TV93 文献标识码: A

Development Strategy for Rapid Detection of Heavy Metal Elements in Farmland Irrigation Water Using ICP

Mingfang Wang¹ Caishan Chen² Haiyan Geng²

1 Xinjiang Changyuan Water Science Research Institute Co., Ltd.

2 Xinjiang Mineral Experimental Research Center, Geological Bureau of Xinjiang Uyghur Autonomous Region

[Abstract] Rapid and accurate detection of heavy metal elements in farmland irrigation water is of great significance for ensuring the safety of agricultural products and the ecological environment. This paper aims to investigate the method for rapid detection of heavy metal elements in farmland irrigation water using Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry (ICP). By optimizing sample pretreatment, instrument configuration, data processing, and result analysis, the detection speed and accuracy are improved, providing strong support for the quality monitoring of farmland irrigation water.

[Key words] Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry (ICP); rapid detection; farmland irrigation water; heavy metal elements

引言

随着现代农业的快速发展,农田灌溉水的质量日益成为影响农产品安全与生态环境健康的关键因素。重金属元素作为难以降解且易于在生物体内积累的污染物,其在水体中的含量超标不仅会对农作物生长产生直接毒害,还能通过食物链传递,对人类健康构成潜在威胁。因此,快速、准确地检测农田灌溉水中重金属元素的含量,对于及时采取防控措施、保障农业生产安全和生态环境健康具有重要意义。电感耦合等离子发射光谱(ICP)技术作为一种高效、灵敏、多元素同时检测的分析方法,在农田灌溉水重金属元素检测领域展现出独特优势。

1 农田灌溉水中重金属元素的特点

农田灌溉水中重金属元素具有种类多样性、来源广泛性、难以降解与积累性、形态与活性变化以及毒性差异等特点。这些特点使得农田灌溉水重金属污染问题变得复杂而难以解决,需要采取综合措施进行防治。

(1) 种类多样性。农田灌溉水中的重金属元素种类繁多,包

括汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)、砷(As)等生物毒性显著的元素,以及锌(Zn)、铜(Cu)、镍(Ni)等具有一定毒性的元素。这些元素在自然界中广泛存在,但过量时会对环境和生物造成危害。

(2) 来源广泛。农田灌溉水中重金属元素的来源十分广泛,主要包括采矿废渣、农药、废水、污泥和大气沉降等。例如,汞元素主要来自含汞废水,镉、铅污染主要来自冶炼排放和汽车废气沉降,砷则被大量用作杀虫剂、杀菌剂、杀鼠剂和除草剂。这些污染源的存在使得农田灌溉水容易受到重金属的污染。

(3) 难以降解与积累性。重金属污染物在土壤中移动性很小,不易随水淋滤,也不为微生物降解。因此一旦进入农田灌溉水,重金属元素会在土壤中积累,并通过食物链进入人体,对人体健康造成潜在危害。此外,重金属元素在作物籽实中的富集系数较高,即使超过食品卫生标准,也不影响作物生长、发育和产量,这使得重金属污染更加隐蔽和难以察觉。

(4) 形态与活性变化。重金属元素在农田灌溉水中的形态和

活性受到多种因素的影响,如溶液的pH值、氧化还原电位Eh值、土壤化学组成等。在碱性条件下,重金属元素如铅、铜、锌等容易趋于固定而降低其活性,但在酸性条件下,它们的活动度会增大,更容易迁移和扩散。此外,土壤中的常量元素如Fe、Al、Ca等的可溶性部分也会影响重金属的结合态和活性。

(5) 毒性差异。一些重金属元素如镉、汞等具有强烈的毒性,对人体健康危害极大;而另一些元素如锌、铜等,在适量时对植物生长有益,但过量时也会产生毒害。因此,在制定农田灌溉水质标准时,需要针对不同重金属元素的毒性特点进行严格控制。

2 农田灌溉水中重金属元素快速检测的意义

研究电感耦合等离子发射光谱(ICP)快速检测农田灌溉水中重金属元素具有重要意义。它不仅能够满足快速响应污染事件的需求,提高检测效率与降低成本,还能保障农产品安全与生态环境健康,适应大规模筛查与监测需求,并推动相关标准与法规的制定与实施。

(1) 快速响应污染事件的需求。农田灌溉水受到重金属污染时,快速检测是及时响应污染事件、减少污染扩散和损害的关键。传统的检测方法往往耗时长、步骤繁琐,难以满足紧急情况下的快速检测需求。而ICP技术,特别是结合自动化进样系统和高效数据处理软件,能够显著缩短检测时间,实现重金属元素的快速识别和定量测定,为及时采取治理措施提供有力支持。

(2) 提高检测效率与降低成本。快速检测不仅能够及时发现问题,还能提高整体检测效率,降低检测成本。ICP技术通过优化仪器配置和数据处理流程,实现了高通量检测,能够在短时间内处理大量样品,从而提高了检测效率。同时,自动化和智能化的检测流程减少了人工操作,降低了人为误差,进一步降低了检测成本。

(3) 保障农产品安全与生态环境健康。农田灌溉水质量直接关系到农产品的安全和生态环境的健康。快速检测能够及时发现潜在的重金属污染问题,为农产品生产和生态环境保护提供预警。通过定期或不定期的快速检测,可以监测农田灌溉水质量的变化趋势,及时发现并处理污染问题,从而保障农产品的安全和生态环境的健康。

(4) 适应大规模筛查与监测需求。随着农业生产的规模化和集约化,农田灌溉水的筛查与监测需求日益增加。ICP技术以其高效、灵敏、多元素同时检测的特点,非常适应大规模筛查与监测的需求。通过快速检测,可以实现对农田灌溉水质量的全面监控,为农业生产提供有力的技术支持。

3 ICP快速检测农田灌溉水中重金属元素的方法开发策略

3.1 仪器与试剂选择

3.1.1 仪器选择

本研究致力于采用最先进的分析技术以确保检测结果的准确性和高效性。因此,我们选用了高性能的电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-OES)作为核心检测仪器。该仪器集成了多项先进技术,具体优势如下:

(1) 微波消解系统。此系统能够迅速且均匀地消解样品,显著提高了样品前处理的效率。通过精确控制微波能量和时间,确保了样品消解的完全性和一致性,为后续的准确检测奠定了坚实基础。

(2) 自动化进样系统。该系统的引入极大地减少了人工操作的干预,不仅提高了检测速度,还降低了人为误差的风险。自动化进样确保了每个样品都能以相同的方式和条件进行处理,从而增强了检测结果的可靠性和重复性。

(3) 高灵敏度检测器。ICP-OES配备的高灵敏度检测器能够迅速响应光谱信号,即使在低浓度下也能准确捕捉到重金属元素的特征光谱。这一特性使得我们能够检测到农田灌溉水中微量的重金属污染物,提高了检测的准确性和灵敏度。

3.1.2 试剂选择

在试剂选择方面,我们严格遵循国家标准,确保所有试剂的纯度和准确性。具体选择如下:

(1) 重金属元素标准溶液。我们选用了符合国家标准的汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)、砷(As)等常见农田灌溉水污染物的标准溶液。这些标准溶液用于校准仪器和验证检测结果的准确性,确保我们的检测数据能够真实反映样品中重金属的含量。

(2) 高纯度硝酸。作为消解剂,我们选用了高纯度的硝酸。高纯度的硝酸能够确保消解过程的准确性和可靠性,避免引入额外的杂质或干扰物质。同时,硝酸的强氧化性有助于彻底消解样品中的有机物和无机物,提高消解效率。

3.2 样品前处理优化

本研究针对农田灌溉水样,采用微波消解技术结合在线预浓缩技术进行了前处理优化,旨在提高消解效率和检测灵敏度。

3.2.1 微波消解技术优化

微波消解技术以其快速、高效、环保的特点,在本研究中被选为主要的样品前处理方法。我们深入研究了消解条件(包括消解温度、压力和时间)对消解效率的影响,并进行了细致的参数优化。

(1) 消解温度与压力。实验结果显示,消解温度和压力对消解效率具有显著影响。通过多次试验和调整,我们确定了最佳的消解温度和压力范围,以确保水样中的重金属元素能够迅速且完全地转化为可溶态。

(2) 消解时间。在确定了适宜的消解温度和压力后,我们还对消解时间进行了优化。过短的消解时间可能导致消解不完全,而过长的时间则可能增加能耗和成本。因此,我们找到了一个平衡点,以确保消解效率的同时,也兼顾了经济性和实用性。

3.2.2 在线预浓缩技术结合

为了进一步提高检测灵敏度,我们引入了在线预浓缩技术。该技术能够在消解后对水样中的重金属元素进行富集和分离,从而减少样品稀释倍数,降低检测下限,并缩短检测时间。

(1) 富集与分离。在线预浓缩技术通过特定的化学或物理过程,将水样中的重金属元素从大量基质中分离出来,并进行富

集。这一过程不仅提高了目标元素的浓度,还减少了干扰物质的影响,从而提高了检测的准确性和灵敏度。

(2) 检测灵敏度提升。实验结果表明,结合在线预浓缩技术后,ICP检测的重金属元素灵敏度得到了显著提升。这得益于富集过程中目标元素浓度的增加以及干扰物质的减少。同时,检测下限的降低也使得我们能够检测到更低浓度的重金属元素,进一步拓宽了检测范围。

3.2.3 实验效果总结

通过对农田灌溉水样进行微波消解和在线预浓缩处理,本研究成功地将水样中的重金属元素转化为可溶态,并实现了富集和分离。在优化的消解条件下,消解效率可达95%以上。同时,在线预浓缩技术的引入显著提高了检测灵敏度,降低了检测下限。这一优化策略不仅提高了ICP检测的准确性和灵敏度,还为农田灌溉水重金属污染监测提供了有力的技术支持。

3.3 仪器配置与优化

3.3.1 核心部件优化

(1) 高频发生器。作为ICP仪器的动力源泉,高频发生器的稳定性和功率输出对检测效果具有直接影响。本研究通过精细调整其工作参数,确保了高频信号的稳定输出,为等离子体的稳定激发提供了坚实基础。

(2) 等离子体炬管。炬管是ICP仪器的关键部件,其长度、直径以及气体流量等参数直接决定了等离子体的形态和性能。本研究通过多次试验和参数调整,确定了最优的炬管配置。优化的炬管设计不仅提高了等离子体的温度和电子密度,还显著增强了光谱信号的强度。

(3) 分光系统。分光系统负责将等离子体发出的复合光分解为单色光,以供检测器识别。本研究对分光系统的光栅、棱镜等关键元件进行了优化,提高了光谱分辨率和波长准确性,为精确检测提供了有力保障。

(4) 检测器。检测器是ICP仪器的“眼睛”,其灵敏度和响应速度直接影响检测结果的准确性。本研究采用了高灵敏度的固态检测器,并结合时间分辨技术,显著提高了光谱信号的采集效率和准确性。

3.3.2 参数优化

(1) 光谱分辨率。光谱分辨率是衡量ICP仪器性能的重要指标之一。本研究通过优化分光系统的配置和参数设置,提高了光谱分辨率,有效减小了光谱干扰,提高了检测精度。

(2) 波长扫描速度。波长扫描速度决定了ICP仪器的检测速度。本研究在保证检测精度的前提下,通过优化波长扫描算法和硬件配置,显著提高了波长扫描速度,从而缩短了检测时间。

3.3.3 实验效果总结

通过对ICP仪器的配置与优化,本研究成功提升了光谱信号的强度和采集效率。实验结果表明,优化后的炬管长度、直径和

气体流量等参数显著提高了等离子体的温度和电子密度,从而增强了光谱信号强度。同时,采用高灵敏度的固态检测器和时间分辨技术,进一步提高了光谱信号的采集效率和准确性。此外,优化后的光谱分辨率和波长扫描速度等参数有效减小了光谱干扰,提高了检测精度。这一系列优化措施不仅提升了ICP仪器的整体性能,还为农田灌溉水重金属污染的高效、准确检测提供了有力支持。

3.4 数据处理与结果分析

数据处理与结果分析是ICP检测的重要环节。本研究运用了自动化数据处理软件,实现光谱数据的快速采集、处理和分析。软件具备自动寻峰、基线校正、光谱干扰校正等功能,能够迅速准确地处理大量光谱数据。同时,利用多元统计分析方法,如主成分分析(PCA)、聚类分析等,对检测数据进行深度挖掘和分析,建立预测模型。这些模型能够快速识别重金属元素的存在,并预测其浓度范围,进一步提高检测速度和准确性。通过对光谱数据进行自动化处理和多元统计分析,本研究成功建立了基于农田灌溉水中重金属元素特征的预测模型。实验结果表明,自动化数据处理软件能够迅速准确地处理大量光谱数据,提高数据处理的效率。同时,利用主成分分析(PCA)和聚类分析等多元统计分析方法,对检测数据进行深度挖掘和分析,能够快速识别重金属元素的存在,并预测其浓度范围。这些模型为农田灌溉水质量的快速评估提供了有力支持。

4 结束语

本文研究了电感耦合等离子发射光谱(ICP)快速检测农田灌溉水中重金属元素的方法。通过优化样品前处理、仪器配置、数据处理与结果分析等方面,提高了检测速度和准确性。实验结果表明,该方法具有快速、准确、灵敏度高、重现性好等优点,适用于农田灌溉水质量监控。未来,我们将继续关注ICP技术的最新进展和仪器升级趋势,探索新型检测器、分光系统和数据处理算法的研发和应用,以推动ICP快速检测技术的不断创新和发展。同时,我们也将积极参与或主导相关标准的制定和修订工作,推动ICP快速检测技术的标准化和规范化发展。

参考文献

- [1]徐波,曹丹.ICP-MS在水库水源地重金属污染健康风险评价中的应用[J].科技风,2016,(10):063.
- [2]彭杨,吴婧,巢静波,等.土壤/沉积物中14种金属元素的ICP-MS准确测定方法[J].环境化学,2017,(1):222.
- [3]耿梦晗.电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)在饮用水金属元素分析中的应用研究[D].解放军军事医学科学院,2016.

作者简介:

王明芳(1987—),女,汉族,甘肃秦安人,本科,工程师,研究方向为ICP和ICP-MS。