

粮食重金属检测技术升级实践研究

张永

阳泉市综合检验检测中心

DOI:10.32629/as.v9i1.3599

[摘要] 粮食安全是国家长治久安的根基,重金属污染已经成为制约粮食品质提高的主要障碍。当前以实验室分析为主的检测体系,虽然准确度很高,但是存在流程复杂、周期长、费用高昂等现实问题,不能满足粮食流通各个环节现场快速筛查的需要。本文主要研究检测技术升级路径,对光谱分析、电化学传感等技术原理的改进空间进行研究,提出便携式设备集成方案,构建起现场初筛和实验室确证相结合的分级协同检测模式。依靠技术创新和流程再造来构建起全面、迅速、可靠的质量安全风险防控体系,给提高我国粮食质量安全风险防控能力提供系统的技术支撑和实践范例。本研究对于完善粮食安全治理体系具有重大意义,可以给出从实验室到田间地头实现检测技术的可行性方案。

[关键词] 粮食安全; 重金属检测; 光谱分析; 电化学传感

中图分类号: S162.5+3 **文献标识码:** A

Research on the Upgrade of Heavy Metal Detection Technology in Food

Yong Zhang

Yangquan Comprehensive Inspection and Testing Center

[Abstract] Food security serves as the cornerstone of national stability and prosperity. Heavy metal contamination has emerged as a major obstacle to improving grain quality. While current laboratory-based detection systems demonstrate high accuracy, their complex procedures, lengthy processing times, and high costs make them inadequate for rapid on-site screening during grain distribution. This study explores technological upgrades in detection methods, investigates potential improvements in spectral analysis and electrochemical sensing principles, and proposes an integrated portable device solution. It establishes a tiered collaborative detection model combining field preliminary screening with laboratory confirmation. Through technological innovation and process optimization, this research constructs a comprehensive, efficient, and reliable quality and safety risk prevention system, providing systematic technical support and practical examples for enhancing China's food safety capabilities. The findings hold significant implications for refining the food security governance framework and offer feasible solutions for transitioning detection technologies from laboratory settings to field applications.

[Key words] food security; heavy metal detection; spectral analysis; electrochemical sensing

工业化的发展加快了农田土壤重金属的积累,镉、铅、砷等有害物质会经过作物吸收进入到食物链当中,对人体健康造成潜在危害。现阶段我国粮食重金属检测主要依靠原子吸收光谱等实验室方法,这些方法虽然可以得到准确的数据,但是需要复杂的前处理、昂贵的仪器和专业的操作人员,单个样品的检测耗时数小时到数天,不能满足收购、储运等环节现场快速决策的需求。由于技术手段的落后造成监管存在时空盲区,不能对全链条实施有效的监控。因此推动检测技术向现场化、智能化、高效化方向发展,就成为保证粮食安全的迫切需要。通过系统分析目前存在的技术瓶颈,研究快速检测技术的集成应用方案,构建分

级协同的检测新模式,为完善粮食重金属风险防控体系提供技术路径和实践参考,对提高我国粮食安全治理能力有重大意义。

1 现有检测技术体系分析

1.1 实验室标准检测方法

原子吸收光谱法通过测量特定波长的光被待测元素原子吸收的程度来实现定量分析,火焰原子化可以检测铜、锌等常量元素,石墨炉原子化可以检测镉、铅等痕量元素,检出限可以达到微克每千克级别。该方法成熟度高,数据可靠性强,但是需要消解样品,使用强酸强碱,操作人员要求具有专业技能,单个样品检测耗时一般在数小时。原子荧光光谱法对砷、汞等元素有较

高的灵敏度,用化学蒸气发生系统将待测元素转化为气态氢化物或原子蒸气,再通过荧光信号强度进行定量。电感耦合等离子体质谱法可以同时测定多种元素,检测速度快,但是仪器购置费用高达数百万元,运行维护费用高,主要用在大型检测机构和科研院所。这些方法成为粮食重金属检测的技术基础,保证监管执法的权威性、准确性,但是对大量的样品却无能为力。

1.2 快速检测技术应用现状

便携式X射线荧光光谱仪是根据元素特征X射线原理,将样品简单研磨后直接测量,数分钟内即可得到结果,设备重量一般在两公斤以内,适合田间地头现场检测。该技术对铅、镉等高原子序数元素比较敏感,但是对砷等轻元素的检测能力较差,容易受样品水分、颗粒度的影响,测量精度和实验室方法有差距。电化学传感技术利用重金属离子在电极表面的氧化还原反应产生电流信号,利用微电子技术集成传感器芯片,达到微型化、便携化的目的。溶出伏安法通过富集、溶出两个阶段提高灵敏度,可以检测铅、镉、铜等多种元素,但是样品需要消解或者提取处理,电极易受到有机物的干扰,重复性稳定性有待提高。胶体金免疫层析试纸条利用抗原抗体特异性结合原理,用颜色深浅目视判读或者用读数仪定量,操作十分简单,但是只能提供半定量结果,用于初步筛查超标样品。快速检测方法正在基层监管、企业自检中推广使用,但是技术成熟度、应用规范不完善。

2 检测技术升级路径

2.1 光谱分析技术优化路径

在光谱分析技术方面,出现了一些新的方法,为重金属检测提供新的解决办法。激光诱导击穿光谱技术利用激光激发产生等离子体,通过分析其发射光谱来实现多元素的同时检测,不需要前处理,检测速度快^[1]。在粮食检测应用时要依照样品特性调节仪器参数,创建校准模型来提升准确性。近红外光谱技术利用分子振动特性,依靠化学计量学模型可以实现无损检测,尽管它对重金属直接检测的灵敏度不高,但是可以通过分析重金属和基质相互作用所引起的光谱变化,建立间接检测模型,用作快速筛查工具。结合表面增强技术的拉曼光谱提高检测灵敏度,具有实验室应用的潜力,但是稳定性、抗干扰能力还需要提高。

2.2 电化学传感技术创新发展

电化学传感技术由于灵敏度高、成本低、容易微型化,在重金属检测方面得到了迅速的发展。丝网印刷电极技术可以实现电极一次性使用,可以有效防止交叉污染。在电极表面修饰纳米材料、功能分子等可以明显提高传感器的选择性、灵敏度。石墨烯、碳纳米管等新型碳材料由于具有良好的导电性以及大比表面积,因此被用作电极修饰材料。分子印迹技术是用特定识别位点的聚合物来实现对目标离子的选择性识别。微流控芯片技术把样品处理、分离、检测等各个功能都集成到微型平台上,大幅度提高了分析的自动化水平和效率,非常适合于大样本的高效快速分析。

2.3 技术集成与实用化方向

光谱和电化学技术的发展要以系统集成和实际应用为方

向。在硬件方面要促进设备小型化、智能化,研制出方便简单、便于操作的现场检测仪器。从软件上改善数据处理算法,提高分析模型的准确度和适应度。根据粮食样品基质复杂的特性,研制专门的样品前处理方法以及抗干扰技术。并且建立标准化的操作流程和质量把控体系,从而保证检测结果可靠且能对比。减少设备成本,提高设备的使用寿命与稳定性属于技术成果推广运用方面的重要工作。未来要加大产学研合作力度,促使实验室技术转化为实用化的产出来满足基层粮食安全检测的实际需要。

3 分级检测模式构建

3.1 分级协同检测体系构建

建立“现场快速筛查-实验室精准确证”的分级检测模式,这是改进粮食重金属检测效能的有效办法。在粮食收购、储运等前端环节用便携设备对大量样品做现场快速检测,按照预设的安全阈值对样品做初步分类。检测合格的批次可以直接进入流通环节,疑似超标的样品取样送实验室用标准的方法精确分析。分级模式可以很好地改善检测资源的配置情况,提高工作效率。为保证体系运行效率,应该对应对策略的灵敏度、特异性提出规定,结合校正模型,不同层次检测数据的法律效力和衔接标准等方面制定标准操作规程和质量控制要求,建立完善的检测管理体系。

3.2 多技术融合验证机制

依据不同的原理,将检测技术组合起来使用,可以创建起有效的交叉验证体系。实践中使用X射线荧光光谱、电化学传感器等快速筛查技术进行初步检测,对筛查异常的样品再用原子吸收光谱等标准方法复核验证。利用各种技术原理互相验证来识别并消除单一方法所造成的系统误差。对特殊基质样品或者存在争议的检测结果可以用三种以上的不同原理的分析方法进行平行检验,并对数据进行对比^[2]。在产地环境监测时,把土壤快速检测同作物现场筛查融合起来,创建重金属迁移累积评价模型。多技术融合的验证机制就成了一个多层次质控网,提高了检测结果的可靠性及科学性。

3.3 全链条数据整合应用

建立贯穿种植、加工、流通、消费全流程的数据监测平台,是实现检测效能提升的关键基础。将各个检测环节所获取的不同技术检测信息整合到一起,形成一个粮食质量安全数据库。用大数据分析和人工智能技术,深入探究重金属污染的时空分布规律以及影响因素,给风险预警和源头控制提供决策支持。平台要具有数据自动采集、智能分析、可视化等功能,能够实现监测信息实时共享和业务协同。通过历史数据建模可以动态调整快速筛查的阈值,提高现场检测精度。全过程数据整合应用可以提高监管水平,也可以给产业规划、质量追溯提供科学依据,从而建立完整的风险管控体系。

4 技术应用保障措施

4.1 标准规范与质量控制体系建设

创建完备的技术标准体系,才是新检测方法得以推行的根基。要按照现场快速筛查技术的特点来制定包含操作流程、性

能指标、适用范围等全部内容的规范,确定它和实验室确认方法的技术衔接途径^[3]。要创建统一的设备评价准则,就检测限、准确度、精密度等关键技能指标提出量化标准,制订设备认证管理制度。还要建立起全过程的质量控制网,即标准物质定期校准、实验室比对验证、检测记录可追溯等。对采样、制样、检测各个环节实行标准化操作,保证检测结果的准确性、可比性,给监管工作提供可靠的技术依据。

4.2 技术能力与人员培训机制

专业人才队伍建设成了技术推广运用的主要依靠。应该创建分类别、分层级的培训体系,对实验室技术人员主要培训仪器原理和数据处理技能,对现场检测人员主要培训设备操作和快速判断能力。制作标准化培训教材、创建网络学习平台、组织技能竞赛等形式增强培训效果。推动建立检测人员职业资格认证制度,把专业技术能力同岗位晋升、绩效考核挂钩。同时还对粮食生产经营人员开展科普宣传工作,提高风险防范意识,构成专业的从业者与生产经营者一起参与的质量安全管理体系。

4.3 设备研发与推广应用创新

先进适用的检测设备的研发推广,属于技术落地的重要一环。研发的重点应该放在智能化、集成化上,开发出适合于田间复杂环境的多功能一体化检测设备^[4]。采用材料创新、工艺改进的办法来削减生产成本,改善设备的可靠程度和使用寿命。采取示范应用、技术培训、售后服务相结合的方法在主产区设立技术服务站。健全售后服务系统,迅速解决使用过程中遇到的技术问题。依靠政府补贴、税收优惠等政策来削减使用成本,促使产学研合作加快成果转化,构建起研发、生产、应用、服务的良性循环,从而推进检测技术在基层的大范围使用。

5 检测技术应用实践的效能评估

5.1 技术性能评价指标体系构建

为了保证检测技术升级的效果,必须创建起合理的性能评价指标体系。该体系应该包含方法学指标、操作性能指标、经济效益指标三个方面。方法学指标有检出限、定量限、准确度、精密度、选择性等主要参数,用来评价技术的分析性能。操作性能指标为检测时间、前处理复杂度,自动化程度、环境适应性等方面来表现技术实际的使用情况。经济效益指标有设备成本、运行费用、维护费用、使用寿命等,评价技术的经济性。通过制定标准化的评价方法和测试程序来对各种检测技术做出客观比较,从而给技术的选择和改进提供依据,保证所采用的技术可以满足实际检测的需要。

5.2 技术升级效益评估与优化

检测技术升级实际效用要依靠科学的评价体系来验证。评价应该看技术升级在提高检测效率、扩大监测范围、降低检测

成本等各方面所取得的成效。建立比较分析的方法,从单批次检测所用的时间、单位样品的检测费用、年测样的品种等方面来评价升级前后检测效率的改变^[5]。通过对实际运用数据的搜集、分析来评价新的技术是否适合基层以及是否值得推广。并且建立持续改进机制,按照评价结果来对技术方案加以调整优化。效益评价还要考虑到社会效益,即对粮食安全保障水平的提高、消费者信心的增强等产生的影响,给技术升级的持续进行提供决策支持。

6 结论与展望

6.1 结论

本文对粮食重金属检测技术体系现状进行了系统的分析,对目前实验室检测方法效率低、快速检测技术成熟度不够等主要问题提出了以技术融合、模式创新为主的升级路径。优化光谱分析、电化学传感等新型检测技术,形成现场快速筛查、实验室精准确证相结合的分级协同检测模式,可以提高检测工作的覆盖面和执行效率。该模式在实践中有较好的应用前景,能从根本上解决目前的粮食重金属检测难题,对完善粮食质量安全风险防控体系具有重大的现实意义。

6.2 展望

未来粮食重金属检测技术将会朝着智能化、集成化、网络化方向不断发展。一方面要推动光谱、电化学、生物传感等技术的相互交叉应用,研发出高精度、低成本、操作简单的智能化检测设备。另一方面要构建覆盖“田间、仓储、流通”全链条的数字化监测网络,利用物联网、大数据技术实现风险预警和溯源管理。同时要健全标准体系、完善质量控制机制,加大技术推广应用和人员培训力度,推动产学研用深度融合,努力构建起技术先进、运行高效、保障有力的现代化粮食安全检测体系。

【参考文献】

- [1]康然.粮食重金属污染现状及快检技术研究进展[J].粮食加工,2025,50(06):123-128.
- [2]高琦.粮食质量安全检测技术对粮食安全的保障作用研究[J].中外食品工业,2025,(21):70-72.
- [3]魏智化,程野,赵秦.粮食中重金属检测技术及发展趋势研究[J].现代食品,2025,(07):90-94.
- [4]刘伟,张江玉,杨洁,等.粮食中重金属检测技术研究进展[J].邢台学院学报,2024,39(01):188-192.
- [5]江爽.粮食中重金属检测技术的具体分析[J].农业开发与装备,2022,(07):130-132.

作者简介:

张永(1987—),男,汉族,河北定州人,本科,工程师,研究方向:食品、农产品及粮食检验检测。