

农产品快速检测技术应用现状与发展趋势

周虹 马航赢 李平

临沧市检验检测认证院

DOI:10.32629/as.v9i7.4169

[摘要] 农产品质量安全关系到国计民生和社会稳定,而快速检测技术作为保证食品安全、守护公众健康的有力保障,在从农田到餐桌的全链条监管当中,尤其在源头生产管控、市场流通监督以及最终消费端风险防控这些方面,都起着不可替代的作用。基于此,本文对目前农产品快速检测技术的应用情况和特点进行了系统的综述,涉及免疫层析技术、分子生物学技术、光谱分析技术等主要的技术体系,并且对各种技术在不同的应用场景下所具有的优势以及存在的不足进行了详细的论述。同时文章对现有的技术在检测灵敏度、设备的便携性、操作的智能化、成本的可控性等各方面存在的现实问题和障碍做了详细的分析。在此基础上,结合物联网技术、人工智能算法、微型化、集成化检测设备的最新发展动向,从农产品快速检测技术高效现场化、高精度精准化、强功能智能化、多技术深度融合等方向进行展望,为提高我国农产品质量安全监管体系的效能和水平提供一些思路。

[关键词] 农产品检测; 快速检测技术; 质量安全; 应用现状; 发展趋势

中图分类号: F762 文献标识码: A

Current Status and Development Trends of Rapid Detection Technologies for Agricultural Products

Hong Zhou Hangying Ma Ping Li

Lincang Institute of Inspection, Testing and Certification, Lincang

[Abstract] The quality and safety of agricultural products is a social issue closely related to national economy, people's livelihoods, and social stability. As a powerful tool for ensuring food safety and safeguarding public health, rapid detection technology plays an irreplaceable role throughout the entire supply chain—from farm to table—particularly in source production control, market circulation supervision, and risk prevention at the consumer end. This paper provides a systematic review of the current application status and characteristics of rapid detection technologies for agricultural products, covering major technical systems such as immunochromatographic techniques, molecular biology methods, and spectroscopic analysis. It elaborates on the advantages and limitations of these technologies across various application scenarios. Furthermore, the article analyzes existing challenges and barriers in terms of detection sensitivity, device portability, operational intelligence, and cost-effectiveness. Based on this foundation, and considering recent advances in Internet of Things (IoT) technology, artificial intelligence algorithms, miniaturization, and integrated detection devices, the paper explores future directions including efficient on-site testing, high-precision accuracy, enhanced intelligent functionality, and deep integration of multiple technologies, offering insights for improving the efficiency and effectiveness of China's agricultural product quality and safety supervision system.

[Key words] agricultural product testing; rapid detection technology; quality and safety; application status; development trends

随着我国居民生活水平的不断提高、健康意识的不断增强,消费者对农产品质量与安全越来越重视,需求也越来越精细化。农产品质量安全监管中传统的检测方法,如色谱法、质谱法等,虽然准确度高、精密度高,但是操作过程比较繁琐,需要专业人

员来完成,检测时间较长,而且很大程度上依赖于专业的实验室环境以及昂贵的仪器设备。由于这些局限性,传统的办法不能满足现场、实时、快速的筛查要求,在农产品生产、流通的第一线更是如此。快速检测技术由于操作简单易懂、检测周期短、成

本低等优势,正在成为现代农产品质量安全监管体系中不可缺少的重要组成。该技术不仅可以对农产品种植、养殖的源头进行投入品的监控和早期的风险预警,在加工、仓储、运输等流通环节也可以进行过程控制,在最终的市场终端和消费环节也可以给消费者提供即时的质量安全保障,形成了一条从田间到餐桌的全链条、高效率的监管应用网络。

1 农产品快速检测技术应用现状

1.1 主流技术及应用情况详细说明。第一,免疫层析技术,主要原理是利用抗原与抗体之间特异性结合反应,用胶体金试纸条为代表,被广泛用于食品和农产品安全领域的各种有害物质快速检测,包括农药残留、兽药残留(常见瘦肉精和多种抗生素)、真菌毒素(黄曲霉毒素等)等。该技术由于操作步骤简单、结果表现直观明了而被基层监管单位和生产企业所采用。但是检测灵敏度较低,对样品基质复杂的成分也容易产生干扰,从而影响结果的准确性。第二,分子生物学技术,主要是以聚合酶链式反应(PCR)和它的一些衍生技术(实时荧光定量PCR、环介导等温扩增技术LAMP)为主要手段,可以对特定的目标物(致病微生物中沙门氏菌、大肠杆菌,转基因成分)进行准确的检测和鉴定。该类技术具有很高的检测灵敏度和很好的特异性,但是对实验操作人员的专业知识和技能要求很高,相关的检测设备购置和维护成本也比较高,因此目前主要应用于专业实验室环境下的快速检测。第三,光谱分析技术,包括近红外光谱、拉曼光谱等,通过采集农产品内部成分的特征光谱信息,不破坏样品进行无损检测,可以用于农药残留量、重金属元素含量、多项品质指标(水分含量、糖分含量)的快速测定和评价。该技术的优势在于一般不需要复杂的样品前处理过程,检测速度快,但是它的分析结果容易受到样品本身物理形态、表面状态和外部光照条件等因素的影响,而且建立稳定的定量或者定性分析模型需要大量的有代表性的样本数据来训练和验证。生物传感器技术的基本原理就是将具有特异性识别功能的生物元件(酶、抗体、核酸适配体等)和可以将生物识别事件转化为可量化的电信号或者光信号的物理化学换能器结合起来,实现对目标分析物的定量或者半定量检测。

1.2 应用效果和问题。目前各类快速检测技术在我国农产品质量安全监管体系中得到了广泛的应用,起到了不可替代的作用。具体实践有三个方面,一是规模化种植基地蔬果等农产品的农药残留快速筛查和初步判断,二是畜禽屠宰场内肉类产品“瘦肉精”等违禁添加物的现场即时检测,三是城市农贸市场、生鲜超市等流通环节上市生鲜农产品的随机抽样及快速检验。这些应用大大提高了监管的及时性、全面性,给食品安全提供了强有力的保障。但是快速检测技术在推广和深入应用过程中还存在着许多亟待解决的现实问题。部分快速检测方法灵敏度和准确性都存在问题,在检测下限上很难达到传统的实验室标准方法要求,在实践中容易出现假阳性或者假阴性结果,从而影响监管判断的可靠性。农产品样品基质复杂多变,含有蛋白质、油脂、天然色素等成分,这些成分会对检测过程造成干扰,使得检测信

号不稳定或者背景噪声过高,进而影响到结果的重现性和准确性。再次,虽然技术不断发展,但是高端的快速检测设备,比如便携式PCR仪、高精度光谱仪等,由于购置和维护费用较高,在基层特别是县级以下监管部门的推广受到资金的制约,不能得到广泛的使用。

2 农产品快速检测技术发展趋势

2.1 微流控芯片技术、纳米材料制备与应用技术等众多前沿科技不断革新并深入融合之后,现代检测设备正在发生着一场深刻的变革,其主要走向就是向着高度集成化、极致小型化和高度轻便便携式形态不断推进。以近几年来备受学术界和产业界共同关注的“芯片实验室”(Lab-on-a-Chip)技术为例,该技术用极其巧妙的微米甚至纳米尺度流道设计和多功能模块(进样、混合、反应、分离、检测等)的系统性集成,把传统实验室里通常需要多种大型仪器、多个独立操作台才能完成的复杂流程,比如繁琐的样品前处理、精密的生化反应、灵敏的信号检测等,都浓缩整合到了一块儿,只用了数平方厘米甚至更小面积的微型芯片载体。高度集成化、模块化的微系统从根本上实现了对传统实验室功能的微型化复现,并且给它带来了强大的现场快速、高效的检测能力;其整体设备体积相比传统的大型分析仪器要小得多,一般可以缩小到十分之一甚至几分之一,重量也大大减轻。另外由于微尺度下传质传热效率的明显提高、反应流程的合理整合,典型检测任务的完成时间大大缩短,一般可以达到10分钟到30分钟这个范围。由于体积小、重量轻、速度快、效率高,在体积、重量、速度、效率等方面都具有明显的优势,因此这些微型化便携式设备可以非常贴合并完全满足基层市场监管巡查、野外环境现场实时监测、流通环节食品安全快速初筛、突发公共事件应急执法处置等各种场景中检测设备对自身提出的要求,即要具备良好的便携性来适应移动和野外作业,操作流程要简单易懂以减少对专业人员的依赖,而且能迅速得到可靠的检测结果以作出即时决策。因此,该技术路线既是对目前检测方式的革命性变革,也是现场快速检测领域具有明确的发展前景和生命力的一个重要的发展方向。

2.2 智能化、自动化,人工智能(AI)、机器学习技术不断发展、深度整合,正在给快速检测带来前所未有的改变和冲击。把这些前沿的技术同传统的检测流程进行系统的、深层次的结合,就可以达到对大量的检测数据即时地捕捉、动态地深入分析,并且能够对结果做出智能的判定和即时的风险预警。就实际应用而言,用基于复杂神经网络的前沿深度学习模型所建立起来的高性能图像识别算法,可以以很高的准确率自动识别、量化、分析试纸条上非常细微的颜色梯度变化和模式特征,有效地避免由于操作人员视觉疲劳或者经验不同造成的主观判断偏差和人为误差,大大提高了检测过程的客观性、结果的一致性和整体可靠性。与此同时,物联网(IoT)技术得到广泛应用和创新性运用,可以把分布在生产、流通、销售各个环节的大量的、分布式的快速检测设备,用无线网络的方式无缝、稳定地接入到统一的云端管理平台和中央大数据中心。全方位、高可靠的设备互联

保证每次检测得到的关键数据(准确的时间戳、具体的地理位置、完整的样本溯源信息、原始结果和处理结果等)可以实时、自动、加密地上传到云端,并且可以实现标准化的归档、跨部门、跨区域的安全可控共享和协同分析。为创建起一个涵盖范围更广、反应速度更快、信息互相连接程度更高的全国乃至全球的农产品质量安全智能监测和全链条追溯网络,提供了一个不可缺少且十分有力的技术支撑和数据保障,从根本上提高了食品安全监管体系整体效能、前瞻性预警能力和应急响应速度。

2.3多技术融合和多目标检测,单一分析检测技术由于自身固有的缺陷,很难对越来越复杂的现实检测问题做出全面的应对。所以未来的发展趋势将会明显地趋向于各种分析技术的联合使用和深度融合。将快速简便的免疫层析技术同能提供丰富信息的光谱技术(拉曼光谱、荧光光谱等)结合起来,就能创建起功能互补的检测平台,在达成快速现场定性筛查的时候,也能做到精确的实验室定量分析,从而实现了检测速度和精度的双管齐下。例如把高特异性的聚合酶链式反应(PCR)技术同响应迅速、便于微型化的生物传感器技术融合起来,可以明显改善对痕量目标物的检测灵敏度,而且能加强识别时的特异性,削减交叉反应的危险。除此之外,检测对象也由单一目标向多元化发展,多目标同步检测技术也成了重要的研究方向。以一次实验同时检测多种农药残留或者多种重金属离子为例,开发出集成化的检测方法或者阵列传感器,可以大大提高综合检测效率,节约时间、成本,满足高通量、高效率的现代检测要求,这是未来食品安全、环境监测等领域的技术发展方向。

2.4绿色化和低成本化同时推进的发展途径,在绿色化方面,积极研发、大力引进环境友好型、低生态影响的检测试剂和耗材,如采用不依赖昂贵酶制剂、反应条件温和的无酶等温扩增技术,使用可在自然环境中快速、完全降解的生物基或者环保高分子材料制成的试纸条和反应载体,从源头上大大减少甚至消除检测过程中产生的化学污染和固体废弃物,切实降低对生态环境的负面影响。在低成本化方面,系统地开发和规模化推广经济高效的检测核心材料,即合成工艺更简单、原料来源更广泛、价格比传统贵金属纳米材料便宜的纳米金颗粒,以及生物相容性好、荧光性能稳定、制备成本低的碳量子点等新型功能纳米材料,从根源上有效地降低单次检测的物料和经济成本。另外,通过不断改进并简化整个技术操作流程,比如省去繁琐的核酸或

者蛋白提取纯化步骤,直接快速检测复杂样品基质中的目标物等高度简化前处理与检测一体化的方法,在保证足够灵敏度的基础上,大大缩减了操作时间、设备依赖以及人员技能需求,使检测技术更加简便易用,用户友好,现场适用,从而更好地满足基层单位、资源匮乏地区或者即时检测等众多场合的需求,使其可以得到更好的应用和推广。

3 结论

农产品快速检测技术是保证食品质量、公共健康的“第一道防线”,它在基层市场监管、企业内部自检和最终消费端安全保障中起着不可替代的作用。但是目前该领域在检测灵敏度、操作流程标准化和整体应用成本等各方面还存在着需要解决的主要问题。伴随着技术不断向微型便携化、智能化和多技术平台交叉融合的方向迅速发展,快速检测技术必将成为农产品全链条质量安全监管中越来越关键、越来越具有主动性的一部分,在建立贯穿全程的、高效可靠的食品安全保障体系方面发挥着越来越大的作用。

【参考文献】

- [1]李金娟.应用现代分子生物学技术检测农产品质量安全的现状与发展趋势[J].江西农业,2018(14):127-129.
- [2]白永强.快速检测在沂水县农产品检测中的应用现状分析[J].中外食品工业,2024,(10):72-74.
- [3]商春锋,张辰辰,相丽新,等.济宁市食品及农产品安全监管中快速检测技术的应用现状及对策研究[J].现代食品,2021,(24):154-157.
- [4]郑琳,王小博.快速检测技术在水产品检测中的应用现状及发展前景[J].食品工业科技,2018,39(10):342-346.
- [5]周艳华,胡金梅,李涛.食品快速检测技术[M].中国纺织出版社,2021.08.215.

作者简介:

周虹(1980—),女,汉族,云南临翔人,大学本科,高级农艺师(副高级),临沧市检验检测认证院,研究方向:农产品质量安全。

马航赢(1992—),男,回族,云南南涧人,硕士研究生,工程师,临沧市检验检测认证院,研究方向:农产品质量安全。

李平(1999—),女,汉族,贵州安顺人,大学本科,助理农艺师(初级),临沧市检验检测认证院,研究方向:农产品质量安全。