

食品检测技术在农药残留检测中的应用研究

马兴梅

宁夏公众第三方检测有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 农药残留通过食物链进入生态循环,其检测对农业可持续发展意义重大。色谱技术凭借高效分离能力成为核心手段,免疫分析、生物传感器及光谱技术各有优势。当前存在检测技术局限、样品前处理复杂、检测标准不统一等问题。通过推动技术创新融合、简化前处理方法、完善标准体系等优化策略,可提升检测效率与准确性,为农药残留管控提供技术支撑,保障食品与生态安全。

关键词: 食品检测技术;农药残留检测;应用

引言

农药残留是农业生产中难以避免的问题,其在作物、土壤和水体中的存在及迁移,对生态平衡和食品安全构成潜在威胁。食品检测技术是把控农药残留风险的关键。本文聚焦色谱、免疫分析、生物传感器和光谱等技术在该领域的应用,分析当前面临的技术、前处理及标准问题,并探讨优化策略,旨在为构建更高效的农药残留检测体系提供思路,助力农业安全与生态保护。

1 农药残留概述

农药残留是农业生产环节中难以完全规避的现象,源于防治病虫害、杂草等过程中化学制剂的应用。这些物质在发挥作用后,部分未能完全分解或挥发,会以不同形式留存于农作物表面、内部组织,乃至周边土壤与水体中,形成持续的存在状态。这种留存状态并非静态,而是会随着环境条件发生变化。温度、湿度的波动会影响残留物质的降解速度,光照强度的差异可能改变其化学结构,进而导致其在不同介质中的转移路径呈现复杂性。即便在作物收获后,某些稳定性较强的成分仍可能保持一定活性,通过食物链的传递进入更广泛的生态循环。关注农药残留的核心意义,在于其可能对生态系统的平衡产生潜在影响。当残留物质在土壤中积累到一定程度,会改变土壤微生物的群落结构,影响土壤的肥力与通气性,间接制约后续作物的生长态势。进入水体的残留成分,则可能对水生生物的生存环境造成干扰,破坏水域生态的自然调节能力。从更细致的层面观察,农药残留的存在形态具有多样性。有些以游离态附着于作物表皮,通过简单的清洗即可部分去除;有些则通过渗透作用进入植物细胞内部,与生物大分子结合形成稳定的复合体,增加了分离与降解的难度。这种差异使得对残留状况的评估需要结合作物种类、种植方式及农药特性进行综合分析。对农药残留的系统研究,不仅

需要追踪其在生产链中的转移规律,还需探索其与生物机体的相互作用机制。了解不同残留成分在代谢过程中的转化路径,有助于更精准地判断其潜在影响范围,为制定科学的防控策略提供依据。通过持续的监测与分析,能够逐步建立起更完善的残留评估体系,为农业生产的可持续发展提供技术支撑。

2 食品检测技术在农药残留检测中的应用分析

2.1 色谱技术

(1) 色谱技术凭借其高效的分离能力,成为农药残留检测领域的核心手段之一,其基于不同物质在固定相和流动相之间分配系数的差异实现分离,通过检测器捕捉各组分的特征信号完成定性与定量分析,在复杂基质样品中能有效区分结构相似的农药成分,包括同分异构体及代谢产物,这种高选择性使其在多组分同时检测场景中展现出不可替代的优势。(2) 现代色谱技术已从传统的气相色谱、液相色谱向多维联用系统发展,气相色谱-质谱联用技术通过气相色谱的高效分离与质谱的精准定性相结合,可识别样品中痕量的挥发性农药残留,液相色谱-串联质谱技术则突破了热稳定性差、极性农药的检测瓶颈,能在不衍生化的情况下完成对多种化合物的同步分析,显著提升了检测的灵敏度与准确性。(3) 色谱技术的创新应用体现在样品前处理与分离系统的协同优化上,采用分散固相萃取、QuEChERS等快速净化方法减少基质干扰,结合超高效液相色谱的超高压分离系统,实现了农药残留检测的快速化与微量化,同时智能化色谱工作站的应用,通过算法优化分离条件与数据解析过程,进一步缩短了检测周期,满足了大规模样品筛查的需求^[1]。

2.2 免疫分析技术

(1) 免疫分析技术基于抗原与抗体的特异性识别反应,具有高灵敏度和强特异性的特点,其通过将农药分

子与载体蛋白偶联制备抗原,诱导机体产生特异性抗体,利用抗体对目标农药的专一结合能力实现痕量检测,这种技术在复杂基质中能有效规避其他成分的干扰,尤其适用于快速筛查大量样品中的特定农药残留。

(2) 酶联免疫吸附技术作为免疫分析主流方法,以酶巧妙标记抗体或抗原,能把免疫反应信号精准转为可检测的酶催化反应产物,进而借助比色法完成定量分析。化学发光免疫分析技术别出心裁地引入发光底物,通过化学反应释放的光子强度来精确表征农药残留量,显著提升了灵敏度,拓展了低浓度农药残留检测的应用范围。(3) 免疫分析技术的创新发展体现在纳米材料的引入与多元检测体系的构建上,将纳米颗粒作为标记物或信号放大载体,增加了免疫反应的信号强度,提高了检测的稳定性,同时基于芯片的多通道免疫分析系统实现了一次实验对多种农药残留的同步检测,结合自动化操作平台,大幅提升了检测效率,满足了现场快速检测的实际需求。

2.3 生物传感器技术

(1) 生物传感器技术将生物识别元件与物理化学换能器相结合,实现对农药残留的实时检测。其生物识别元件可选酶、抗体等,能特异性识别目标农药并反应,经换能器转为可量化信号。这种技术集成了生物识别的特异性与传感器的快速响应特性,为农药残留检测提供了全新的技术路径。(2) 纳米材料的应用推动了生物传感器性能的显著提升,碳纳米管、石墨烯等纳米材料因其大比表面积和优良的导电性,被用作传感器的电极材料,增强了电子传递效率,提高了检测灵敏度,而量子点等荧光纳米材料的引入,则优化了光学传感器的信号输出,使其在可视化检测中展现出独特优势,可实现农药残留的半定量快速判断。(3) 生物传感器的创新方向聚焦于微型化与集成化,柔性传感器开发能适应不同形态样品检测需求,可直附作物表面原位监测。多参数生物传感器阵列整合多种生物识别元件,能同时检测多种农药残留。结合无线传输技术的便携式检测装置,打破传统实验室检测时空限制,为田间实时监测提供了可能^[2]。

2.4 光谱技术

(1) 光谱技术利用农药分子对特定波长光的吸收、反射或荧光特性进行检测,无需复杂样品前处理,可直接非破坏性分析样品。红外光谱能识别分子振动能级跃迁产生的特征吸收峰,实现农药残留定性鉴别;拉曼光谱基于分子振动非弹性散射效应,可在分子水平提供农药结构信息,适用于多种状态样品检测。(2) 近红外光谱技术凭借其对于样品穿透能力强的特点,可用于农产品表面及内部农药残留的快速检测,通过建立农药残留

浓度与光谱特征的关联模型,实现对未知样品的定量分析,而荧光光谱技术则利用农药分子在特定波长光激发下产生的荧光发射特性,通过荧光强度与浓度的相关性进行检测,尤其适用于具有荧光特性的农药残留分析。

(3) 光谱技术的创新应用体现在多光谱融合与化学计量学方法的结合上,将不同波段光谱信息融合,丰富样品特征数据、提高检测准确性。机器学习算法引入优化了光谱数据解析,构建高精度模型提升对复杂基质低浓度农药残留识别能力。便携式光谱仪的开发,使其在现场快速检测中发挥出越来越重要的作用。

3 食品检测技术在农药残留检测应用中存在的问题与优化策略

3.1 存在的问题

3.1.1 检测技术的局限性

现有检测技术在面对复杂基质样品时仍存在灵敏度与特异性的平衡难题,部分痕量农药残留因基质效应干扰,在低浓度区间(如 ng 级以下)易出现信号抑制或增强,导致定量偏差。部分新型农药因结构复杂、代谢路径不明,传统色谱-质谱联用技术的数据库缺乏针对性碎片信息,难以实现精准定性,而免疫分析技术受限于抗体制备的特异性,对结构类似物易产生交叉反应,影响检测结果的准确性。生物传感器技术虽具备实时检测优势,但在多组分同时分析时,不同生物识别元件间的信号干扰尚未完全消除,且长期稳定性受环境因素(如 pH 值、温度波动)影响显著,限制了其在复杂检测场景中的大规模应用。

3.1.2 样品前处理复杂

样品前处理作为农药残留检测的关键环节,其操作复杂性直接制约检测效率的提升,农产品基质中含有的脂类、色素、多糖等干扰物质,需通过多步净化流程去除,传统液液萃取法不仅消耗大量有机溶剂,且萃取效率受分配系数波动影响较大,重复性难以保证。QuEChERS方法虽简化了操作步骤,但在高含水量样品中仍存在提取溶剂分层困难的问题,且分散固相萃取填料的吸附平衡时间因基质差异需反复优化,增加了操作的不确定性。对于固体样品如谷物、土壤,在研磨均质操作里,若对颗粒度把控不到位,会致使目标物无法完全溶出;而植物组织中的细胞结构若未得到充分破坏,胞内残留的农药便难以释放出来。这些情况叠加在一起,使得前处理过程耗时过长,成为制约快速检测实现的主要瓶颈^[3]。

3.1.3 检测标准不统一

检测标准的碎片化导致不同检测结果缺乏可比性,

同一类农药在不同基质样品中的检测限规定存在差异,部分标准中针对极性农药的前处理方法未考虑其在水溶液中的溶解特性,导致实际回收率与标准要求偏差较大。多残留检测标准中对目标化合物的选择未能涵盖新型农药及代谢产物,使得部分潜在风险物质处于监控盲区,而不同检测技术间的方法验证参数(如精密度、准确度)缺乏统一判定标准,导致同一实验室采用不同仪器时数据一致性降低。标准物质的溯源体系不完善,部分农药标准品的稳定性数据不足,在长期储存过程中发生降解或异构化,直接影响定量结果的可靠性,这种标准体系的不统一增加了检测结果的争议性,也为数据整合分析带来了技术障碍。

3.2 优化策略

3.2.1 推动检测技术的创新与融合

基于多维分离原理构建新型联用系统,将离子淌度色谱与高分辨质谱结合,利用离子淌度差异实现同分异构体的快速区分,同时通过碰撞截面数据库匹配提升定性准确性,突破传统色谱技术在结构相似物分离中的局限。开发基于纳米材料的复合检测平台,将金属有机框架构架材料作为固相萃取吸附剂与表面增强拉曼基底集成,实现样品净化与信号放大的一体化处理,显著提升痕量检测的灵敏度。构建多技术协同的智能检测网络,利用光谱技术进行样品快速筛查,对阳性样品自动引导至色谱-质谱系统进行确证,结合机器学习算法优化检测流程,实现从样品导入到结果输出的全自动化,大幅提升检测效率与准确性。

3.2.2 简化样品前处理方法

研发新型绿色萃取技术,将超临界流体萃取与微波辅助相结合,借助超临界CO₂出色的渗透能力以及微波产生的热效应,通过二者协同作用,促使农药分子更快地从基质中溶出。此技术能大幅削减有机溶剂的使用量,同时将萃取时间缩短至传统方法所需时长的三分之一左右。设计集成化前处理装置,将样品研磨、提取、净化模块整合为一体,通过微流控芯片实现微量样品的在线处理,利用电渗流驱动替代传统离心分离,实现目标物的快速富集与基质去除。开发智能响应型吸附材料,基

于分子印迹技术制备对特定农药具有靶向识别能力的纳米颗粒,在复杂基质中可选择性吸附目标物,减少净化步骤,同时结合磁分离技术实现材料的快速回收与重复利用,降低前处理成本与操作复杂度。

3.2.3 完善检测标准体系

建立基于风险评估的标准物质体系,针对新型农药及代谢产物开发系列标准品,通过稳定性研究确定储存条件与有效期,构建覆盖生产链全环节的标准物质溯源网络,确保检测数据的可比性与准确性。制定矩阵式检测标准框架,根据农药理化性质与基质特性分类制定检测方法,针对极性农药优化水溶性提取体系,对热不稳定农药建立低温前处理流程,同时统一不同技术的方法验证参数,明确检测限、回收率等关键指标的判定标准。构建动态更新的标准数据库,整合不同检测技术的特征图谱与碎片信息,通过大数据分析实时补充新型农药的检测参数,开发标准方法的数字化应用工具,实现检测流程的标准化操作与数据的自动化核验,提升标准体系的适用性与时效性^[4]。

结语

综上所述,食品检测技术在农药残留检测中虽已取得显著应用成效,但仍面临技术、前处理及标准层面的挑战。通过创新融合检测技术,如多维联用系统与智能网络构建;简化前处理,如绿色萃取与集成化装置开发;完善标准体系,如动态数据库与统一参数制定,可突破现有瓶颈。未来,需持续推动技术革新与体系完善,以更精准、高效的检测能力,筑牢食品安全与生态保护的防线,为农业可持续发展注入新动能。

参考文献

- [1]孟金艳.食品检测技术在农药残留检测中的应用研究[J].现代食品,2025(9):149-152.
- [2]龚力军.食品检测技术在农药残留检测中的应用研究[J].食品安全导刊,2022(3):133-135.
- [3]吴云.食品安全检测技术在农产品农药残留检测中的应用[J].食品安全导刊,2024(24):190-192.
- [4]何玉玲.食品安全检测技术在农产品农药残留检测中的应用[J].农业工程技术,2020,40(20):81.