

食品农药残留检测现状与分析

张晨娟 张慧慧 孙继亮

内黄县产品质量检验检测中心 河南 安阳 456350

摘要: 食品农药残留检测对保障食品安全意义重大。本文先阐述传统化学分析、色谱分析、联用及新兴检测技术,分析液-液萃取等样品前处理技术。接着指出检测存在技术灵敏度与选择性不足、多残留检测困难,前处理方法通用性局限、操作繁琐,人员专业水平差异、设备性能不稳定等问题。最后探讨检测技术向高灵敏度、高选择性发展,多残留检测技术普及,前处理技术简便、快速、绿色化,智能化与自动化检测等发展趋势。

关键词: 食品农药残留检测;检测技术;样品前处理;发展趋势

引言:在食品产业蓬勃发展的当下,农药的广泛使用虽保障了农产品产量,却也带来了农药残留问题。农药残留超标的食品流入市场,会严重威胁消费者健康,引发一系列食品安全事件。食品农药残留检测作为把控食品安全的关键环节,能精准识别食品中的农药残留种类与含量,为食品安全监管提供科学依据。当前,随着分析技术的不断进步,食品农药残留检测技术日益丰富,但同时也面临着诸多挑战,深入研究其现状与发展趋势十分必要。

1 食品农药残留检测技术分类

1.1 传统化学分析技术

传统化学分析技术以化学反应原理为核心构建检测体系,分光光度法是其中应用较为广泛的一种^[1]。其检测原理依托物质分子对特定波长光子的选择性吸收,基本操作流程需先完成样品提取与净化,去除基质干扰后制备待测液,将溶液置入比色皿并选择匹配光源与波长进行吸光度测定,依据比尔定律建立标准曲线,将吸光度数值转换为农药残留浓度。这类技术在特定农药残留检测中具备显著优势,操作流程相对简便,无需复杂精密仪器,设备购置与维护成本较低,对实验环境与人员操作规范的依赖程度不高,适合基础检测场景与批量样品初筛,相关技术体系已在食品理化分析领域经过长期实践验证。

1.2 色谱分析技术

气相色谱法依托不同物质在气相与固定相间分配系数的差异实现分离检测,样品经预处理后进入汽化室转化为气态,由载气携带通过色谱柱,组分与固定相持续发生吸附与解吸作用,最终按分配系数差异依次流出并被检测器识别,适配挥发性良好且热稳定的农药残留检测,分离效率与重复性表现突出。液相色谱法以液体为流动相,通过高压泵推动样品流经固定相色谱柱,依据

不同物质在液相中的溶解度、吸附特性差异完成分离,可避免高温汽化对目标物的破坏,适配极性较强、热不稳定或分子量较大的农药残留检测,在复杂基质干扰物分离方面具备更强适应性。

1.3 联用技术

气相色谱-质谱联用技术整合气相色谱的高效分离能力与质谱的定性定量优势,先通过气相色谱将复杂样品组分分离,再将各组分引入质谱系统,依据分子质量与碎片离子特征完成精准识别与含量测定,在复杂基质食品中优势显著,可有效降低基质干扰影响,提升定性准确性与检测灵敏度,适用于多残留筛查与痕量分析场景。液相色谱-质谱联用技术结合液相色谱对非挥发性、热不稳定农药的分离优势与质谱的高特异性识别能力,通过液相色谱完成复杂组分分离后,利用质谱获取目标物的分子结构信息,实现精准定性定量,能有效提升检测准确性与灵敏度,为复杂食品体系的农药残留分析提供可靠技术支撑。

1.4 新兴检测技术

免疫分析技术依托抗原与抗体的特异性结合反应构建检测体系,通过标记物将结合反应转化为可检测信号,实现农药残留的定性或定量分析。酶联免疫吸附测定法为常用技术类型,具备高特异性、高灵敏度与操作简便的特点,适合现场快速筛查,可在短时间内完成大量样品检测,为食品农药残留的快速监管提供技术支撑,后续可通过材料改性 with 信号增强技术进一步提升检测性能。生物传感器技术将生物识别元件与信号转换元件整合,通过生物识别元件与农药残留的特异性结合,将反应转化为电、光、热等可检测信号,实现农药残留的实时、在线监测,生物识别元件涵盖酶、抗体、核酸适配体等类型,具备响应速度快、便携性强的优势,是食品农药残留检测技术的重要发展方向。

2 食品农药残留检测样品前处理技术

2.1 液-液萃取

液-液萃取基于溶剂间溶解度差异构建分离体系，核心逻辑是选择与样品基质不相溶的有机溶剂，利用目标农药在有机溶剂与样品基质中溶解能力的差异，使目标农药从样品基质中转移至有机溶剂相，从而实现目标物与基质干扰物的分离^[2]。该技术操作流程简便，无需复杂仪器设备，在成分相对简单的样品农药残留提取中应用广泛。溶剂选择需兼顾目标农药溶解性与基质兼容性，通过控制萃取温度、震荡速率与萃取时间，可提升目标农药提取效率，适用于基质干扰较少的食品样品前处理，是食品农药残留检测中传统且成熟的前处理手段，相关技术原理已在食品理化分析领域得到长期验证与应用。

2.2 固相萃取

固相萃取以固体吸附剂作为固定相，利用固定相与目标化合物之间的吸附、分配等作用，实现目标化合物与样品基质中干扰物的分离。操作过程中，样品溶液通过固定相时，目标化合物被固定相选择性吸附，基质干扰物则随洗脱液流出，随后选用适配的洗脱溶剂洗脱固定相上的目标化合物，完成目标物的富集与净化。该技术可有效去除样品基质中的蛋白质、脂质等干扰物质，提升后续检测的准确性与灵敏度，在复杂基质食品样品前处理中应用广泛。固定相种类可根据目标农药性质灵活选择，适配不同极性与结构的农药残留提取，凭借富集效果显著、溶剂用量少等特点，成为现代食品农药残留检测前处理的核心技术之一。

2.3 固相微萃取

固相微萃取整合采样、萃取、浓缩与进样等多个环节，无需额外溶剂，依托萃取纤维涂层对目标农药的吸附作用实现分离与富集。萃取过程中，萃取纤维直接与样品接触，目标农药被纤维涂层选择性吸附，随后通过热解吸或溶剂解吸方式将目标物引入检测仪器完成分析。该技术简化前处理流程，减少溶剂污染，操作便捷且耗时较短，在现场快速检测场景中展现出明显优势。针对挥发性较强的农药残留，萃取纤维涂层可高效吸附目标物，无需复杂的样品制备过程，能快速完成样品前处理，适配现场监管与应急检测需求，是近年来食品农药残留快速前处理技术的重要发展方向。

2.4 超临界流体萃取

超临界流体萃取利用超临界流体的特殊物理化学性质开展萃取操作，超临界流体是处于临界温度与临界压力以上的流体，兼具气体的扩散性与液体的溶解性，常

用二氧化碳作为超临界流体。萃取过程中，超临界流体在高压状态下与样品充分接触，选择性溶解目标农药，随后通过调节温度或压力使超临界流体变为气态，实现目标农药与流体的分离，完成提取过程。该技术无需使用有机溶剂，环境友好，且能避免高温对目标物的破坏，在热不稳定、易氧化的农药残留提取中表现出独特优势^[3]。萃取效率受压力、温度等参数影响，通过优化工艺参数可提升目标农药提取效果，适配对热敏感农药残留的前处理需求，在高端食品与特殊样品检测中应用逐步扩大。

3 食品农药残留检测中存在的问题

3.1 技术层面

灵敏度与选择性不足制约检测技术的应用效果。低浓度农药残留的信号易被食品基质干扰物掩盖，常规检测手段难以精准捕捉有效信息，导致定量分析准确性下滑。复杂食品基质中的蛋白质、脂质等物质，会与检测体系发生非特异性相互作用，干扰目标物与检测试剂的结合，削弱检测系统的选择性，部分技术对结构相似的农药分子区分能力较弱，易出现误判或漏检。多残留检测存在诸多阻碍，不同农药的极性、挥发性等理化性质差异显著，单一检测技术难以适配所有类型农药，多种农药共存时会产生相互干扰，影响目标物分离与识别，部分技术在单一残留检测中表现良好，拓展至多残留检测后，定性定量可靠性明显下降。

3.2 样品前处理层面

前处理方法的通用性存在明显局限，多数方法仅适配特定类型或基质的食品样品。高油脂、高糖分、高纤维等不同特性的食品样品，目标农药的存在形态与基质干扰方式各不相同，单一前处理方法无法兼顾各类样品的提取需求。更换样品类型时需调整前处理流程、更换吸附剂或萃取溶剂，增加检测工作复杂度，无法满足多样化食品样品的检测需求，难以形成统一高效的前处理技术体系。部分前处理方法操作步骤繁琐，包含多次萃取、净化、离心、过滤等环节，每一步操作均需严格控制时间、温度、试剂用量等参数。繁琐流程不仅延长前处理耗时，还增加人为操作失误概率，影响检测结果的重复性与准确性，同时消耗检测人员大量时间与精力，降低整体检测效率，难以适配大批量食品样品的快速检测需求。

3.3 人员与设备层面

检测人员的专业知识与技能水平存在明显差异，部分人员对农药残留检测的原理、技术操作、数据处理等内容掌握不够扎实。对不同检测技术的操作规范理解

不透彻,易出现样品处理不当、仪器参数设置错误等问题,影响检测流程的规范性与检测结果的准确性。专业能力参差不齐还导致检测人员对异常数据的分析与处理能力不足,无法及时识别检测过程中的问题,进一步影响检测工作质量与效率。检测设备的性能稳定性直接制约检测工作开展,部分设备长期运行后会出现灵敏度下降、重复性变差等问题,无法满足精准检测要求。设备维护存在明显不足,日常校准、故障维修、零部件更换等环节不够及时规范,导致设备运行状态不稳定,造成检测数据偏差,增加检测成本与时间成本,制约检测工作的连续性与高效性。

4 食品农药残留检测发展趋势

4.1 检测技术向高灵敏度、高选择性发展

食品农药残留检测对灵敏度与选择性的要求持续提升,推动现有检测技术优化与新型技术研发。通过开发新型高灵敏度检测器,优化检测信号放大机制,可增强低浓度农药残留信号识别能力,突破痕量检测技术瓶颈^[4]。高效分离材料的研发与应用,能强化目标物与基质干扰物的分离效果,减少非特异性作用带来的干扰,提升检测选择性。结合材料科学与分析化学的交叉融合,对现有检测技术的反应体系、分离流程进行优化,可进一步提升检测性能,满足食品中痕量、超痕量农药残留的检测需求,适配食品安全监管的严格标准。

4.2 多残留检测技术的普及

食品安全监管需求不断提高,推动多残留检测技术逐步成为行业主流。食品中农药残留污染多呈现多种类别共存的特点,单一残留检测已无法满足全面监管需求。通过优化检测体系,整合分离与检测技术优势,可实现不同理化性质农药残留的高效分离与精准检测。研发适配多类别农药的统一检测方案,优化样品前处理与检测参数,能突破不同农药性质差异带来的检测局限,减少相互干扰,提升多残留检测的效率与准确性。随着技术不断成熟,多残留检测技术将逐步普及,成为食品农药残留常规检测的核心手段,全面覆盖食品中各类潜在农药污染。

4.3 样品前处理技术向简便、快速、绿色化发展

样品前处理作为检测流程的关键环节,其发展方向聚焦于简便化、快速化与绿色化,以适配大规模食品样品检测需求。通过简化操作步骤,研发一体化前处理设备,可缩短前处理耗时,降低操作复杂度,减少人为操

作误差。绿色化发展核心在于减少有机溶剂使用,研发环保型萃取溶剂与吸附材料,降低检测过程中的环境污染与试剂消耗。新型前处理技术通过整合萃取、净化等环节,实现一步式处理,提升处理效率的同时,兼顾环境友好性,既能满足大批量样品快速检测需求,也符合绿色分析化学的发展理念,推动食品农药残留检测向环保高效方向迈进。

4.4 智能化与自动化检测的发展

人工智能、自动化控制等技术与食品农药残留检测的深度融合,推动检测过程向智能化、自动化转型。通过引入人工智能算法,可实现检测数据的自动分析、异常信号的精准识别,降低人为数据处理误差,提升检测结果的准确性与可靠性^[5]。自动化控制技术应用于样品前处理、进样、检测等全流程,可实现检测过程的无人值守,减少人为操作干预,提升检测效率。智能化检测设备的研发的,结合传感器技术与数据传输技术,可实现检测数据的实时采集与分析,为食品安全监管提供快速响应支撑,推动食品农药残留检测向高效、精准、智能化方向发展。

结束语

食品农药残留检测技术正处于不断革新与完善阶段。从传统检测技术到新兴技术的涌现,从复杂的前处理方法到简便绿色化的发展,从人工操作到智能化自动化的转变,都彰显着检测技术的进步。面对当前检测中存在的各类问题,通过持续的技术研发与创新,推动检测技术向更高水平发展,能够更精准、高效地检测食品中的农药残留,为食品安全筑牢坚实防线,保障消费者的饮食健康与安全。

参考文献

- [1]王艳红.现代食品检测中农药残留技术及质量控制措施[J].中国食品工业,2023(20):62-64.
- [2]宋小龙.农产品质量安全控制与农药残留检测技术分析[J].现代食品,2023,29(8):185-187.
- [3]杨雪,吕东岩.大数据与人工智能在食品农药残留检测中的应用[J].食品安全导刊,2025(11):18-26.
- [4]张金亮.食品农药残留检测方法的标准化与国际化研究[J].高等农业教育研究,2025(12):40-48.
- [5]马云鹏.农药残留检测技术进展[J].食品科学,2023,41(15):145-150.