

Application of Colloidal Gold Rapid Detection Technology in Food Safety

Liangyu Chen

Shenzhen Zhuorun Testing Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518114, China

Abstract

Food safety is a crucial foundation of public health. Residues of agricultural and veterinary drugs, as major risk factors, continue to pose threats to food quality and public health. Traditional laboratory detection methods rely on large instruments, require complex sample pretreatment, have long detection cycles, and are costly, making them difficult to meet the needs of grassroots supervision, enterprise self-inspection, and on-site rapid screening. Against this background, colloidal gold rapid detection technology has emerged, leveraging the integrated advantages of specific antigen-antibody recognition and chromatographic separation.

Keywords

Colloidal gold rapid detection technology; Food safety; Application

胶体金快检技术在食品安全的应用

陈亮宇

深圳市卓润检测技术有限公司, 中国 · 广东 深圳 518114

摘要

食品安全乃是公共健康的关键基础所在。农兽药残留作为主要的风险因素, 持续对食品质量以及公众健康造成威胁。传统的实验室检测方法依靠大型仪器, 需要进行复杂的样品前处理, 检测周期较长, 并且成本较高, 很难契合基层监管、企业自检以及现场快速筛查的需求。在这样的背景状况下, 胶体金快检技术借助抗原与抗体特异性识别以及层析色谱分离的集成优势而出现, 可实现对食品中微量农兽药残留的定性或者半定量检测, 弥补了传统方法在现场即时检测领域的空缺, 为食品安全风险的早期预警以及产业链质量控制提供了关键的技术途径。

关键词

胶体金快检技术; 食品安全; 应用

1 引言

胶体金快检技术是一种集成检测方法, 它基于胶体金颗粒信号标记、抗原与抗体特异性免疫反应以及层析色谱技术, 把金纳米颗粒当作核心信号载体, 借助免疫层析流程达成对目标分析物的快速检测。这项技术的核心优势在于: 检测周期短, 操作简便, 灵敏度可达到 ng/mL 级别, 而且成本低, 不需要依赖大型仪器, 可契合现场即时检测的需求。该技术在食品安全领域应用广泛, 在农药残留与兽药残留检测方面, 为农产品质量控制、公共健康保障以及基层监管提供了高效的技术支持。本文将针对其原理特点、应用场景以及发展趋势展开探讨, 揭示其在食品安全风险预警中的关键价值^[1]。

【作者简介】陈亮宇 (1998-), 男, 中国广东深圳人, 助理工程师, 从事食品安全工程研究。

2 胶体金快检技术的原理与核心特点

2.1 技术基本原理

胶体金快检技术是一种集成检测方法, 它融合了胶体金颗粒信号标记、抗原与抗体特异性免疫反应以及层析色谱技术。其中, 胶体金作为核心信号载体, 是由氯金酸经过还原反应生成的金纳米颗粒。这种颗粒有高电子密度以及显色特性, 在 520 至 550nm 波长处会呈现出强吸收峰, 可凭借肉眼直接观察到红色条带。该技术的免疫层析流程如下: 把特异性抗体固定在硝酸纤维素膜 (也就是 NC 膜) 的检测线 (即 T 线) 和质控线 (即 C 线) 处。当样本中的目标分析物与胶体金标记抗体相结合后, 会凭借层析作用迁移到 T 线, 形成“抗体 - 目标物 - 胶体金标记抗体”免疫复合物并显色。而 C 线则用于验证检测体系的有效性。结果判读标准是: 若 T 线与 C 线都显色, 则判定为阳性; 要是仅 C 线显色, 就是阴性; 若 C 线不显色, 那么检测无效^[2]。

2.2 核心技术特点

该技术有诸多优势: 其一, 检测周期较短, 一般是 5 至

30 分钟，不需要进行复杂的样品前处理工作，可达成现场采样、即时检测以及结果判读的一体化操作流程；其二，操作较为简便，依靠试纸条或者卡式装置便可完成，不需要专业技术人员，适合基层监管以及企业自检的场景；其三，基于抗原与抗体的特异性结合原理，检测灵敏度可达到 ng/mL 级别，可以契合多数食品安全限量标准的筛查要求；其四，结果依靠肉眼直接观察即可，无需依赖大型分析仪器，检测成本相较于传统实验室方法明显更低。

3 胶体金快检技术在农药残留与兽药残留检测中的应用

3.1 农药残留检测

农药残留是影响食品安全的关键风险因素，对其进行精准且快速的检测，对于农产品质量把控以及公共健康保障而言意义重大。胶体金快检技术依据抗原与抗体特异性免疫识别以及层析色谱分离的原理，借助靶向识别农药分子和抗体的特异性结合，达成对食品中微量农药残留的现场定性或者半定量检测，为食品安全风险预警开辟了高效的技术途径^[3]。

3.1.1 主要检测目标

胶体金快检技术围绕食品产业链里典型的农药残留类型搭建了多维度筛查体系，核心检测目标包含四大类化合物。这些化合物的化学特性以及它们所带来的健康风险情况如下：

有机磷类农药：属于广谱杀虫剂，其中囊括敌敌畏、乐果以及马拉硫磷等多种类型，该类农药会抑制乙酰胆碱酯酶的活性，干扰神经信号的传递过程，倘若出现过量残留的情况，便有可能引发中枢神经系统毒性，有机磷类农药在果蔬以及谷物的种植环节有着广泛的应用，而叶菜类蔬菜是其主要的残留载体。

氨基甲酸酯类农药：包含灭多威、克百威、异丙威等，其凭借竞争性抑制乙酰胆碱酯酶的活性来发挥杀虫功效；若短期大量摄入，会引发胆碱能危象。这类农药大多时候被用于果树以及蔬菜虫害的防治工作中，在浆果类中较容易检测出残留情况。

拟除虫菊酯类农药：包括氯氰菊酯、溴氰菊酯等，这类农药依靠作用于昆虫神经系统的钠离子通道来发挥毒性，它有高脂溶性的特点，容易在油脂类食品中富集，若长期暴露，可能会干扰人体内分泌系统，对生殖发育产生潜在的影响。

3.1.2 技术应用实例

胶体金快检技术用于农药残留检测时，能呈现出针对不同基质食品的较高适配性以及灵敏度，其典型应用场景具体如下：

果蔬中有机磷农药残留检测：对于生菜、草莓这类容易残留有机磷农药的生鲜果蔬样本，在进行有机磷农药残留检测时，运用“匀浆 - 超声提取 - 离心净化”这样的前处理

流程，借助胶体金试纸条可在 10 分钟之内完成检测工作。该检测方式的检出限处于 0.01-0.1 毫克每千克的范围，契合 GB2763-2024《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》中叶菜类蔬菜对于敌敌畏、乐果的限量规定，并且与气相色谱法检测结果的一致性超过了 93%。

谷物中拟除虫菊酯类残留检测：对于小麦、水稻这类谷物样本，运用“粉碎 - 固相萃取净化”的前处理方式，胶体金快检卡可同时检测氯氰菊酯、溴氰菊酯等多种残留物质。其检测限为 0.05mg/kg，符合 GB2763-2024 中小麦中氯氰菊酯的限量规定，与高效液相色谱法的检测结果一致性超过 92%，适用于粮食收购环节的快速质量筛查工作。

3.1.3 技术优势

胶体金快检技术于农药残留检测领域呈现出三方面核心优势，对食品安全监管效能起到了提升作用：

现场快速筛查能力突出：有效克服传统实验室检测前处理繁杂、检测周期漫长的局限，借助简化前处理流程，达成“采样 - 检测 - 判读”一体化操作，整体耗时 ≤ 30 分钟，可契合农贸市场、种植基地等场景的即时检测需求。

基质适应性强：对于高色素、高水分、高油脂这类复杂基质样本而言，借助优化缓冲液配方的方式，可有效降低果蔬当中多酚、有机酸以及谷物里面淀粉、蛋白质给检测带来的干扰，把假阳性率控制在 5% 以内。

批量检测效率高：运用多通道试纸条设计方式，借助独立检测通道达成多个样本的平行检测，单批次可完成 12 个样本的同步筛查工作，检测时间 ≤ 30 分钟。相比传统单样本检测模式，其效率提高了 8 至 12 倍，提高了基层监管部门的批量筛查能力，为农产品质量安全风险预警给予技术支持。

3.2 兽药残留检测

兽药残留属于动物源食品安全监管方面的核心议题，经由食物链传递所带来的潜在健康风险，已然成为全球公共卫生领域备受关注的重点，胶体金快检技术依靠抗原与抗体之间特异性识别以及层析色谱可快速分离的综合优势，达成了对动物源食品里微量兽药残留的现场高效筛查工作，给养殖环节的质量把控以及流通领域的风险预警提供了关键技术方面的支持^[4]。

3.2.1 主要检测目标

胶体金快检技术针对兽药残留检测所设定的目标，着重关注养殖环节中那些使用频率较高或者存在非法添加情况的高风险化合物，其核心主要包含以下几类：

抗生素类：作为抗感染治疗方面的主流药物，它的残留风险在养殖的整个链条中都存在着。磺胺类药物被广泛用于畜禽细菌性感染的防治工作中，要是长期接触的话，会诱导细菌耐药基因出现水平转移的情况，使得临床抗生素的治疗效果降低。四环素类药物由于有广谱抗菌的特性，大多时候被用作饲料添加剂，很容易在动物的肝脏以及肌肉组织里

蓄积, 这有可能会对人体肠道菌群的稳态以及矿物质吸收造成干扰。 β -内酰胺类药物属于人畜共用的抗生素, 其残留有可能引发 I 型过敏反应, 而且还可能加快耐药菌株的进化速度, 在乳制品中需要严格把控残留阈值。

β -受体激动剂类: 克伦特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇等化合物被非法添加于饲料中, 这些化合物会激动 $\beta 2$ 受体, 促进肌肉蛋白合成, 虽然可提高瘦肉率, 然而却有着强心脏毒性。人体摄入后, 有可能引发心律失常、高血压等心血管系统损伤, 它们属于国家明确禁止的非法添加剂。

驱虫药类: 在畜禽寄生虫防治工作中, 阿苯达唑、伊维菌素这类广谱驱虫药大多时候会被使用, 然而如果出现过量残留的情况, 这些药物会借助食物链进行传递, 它们所产生的毒性效应涉及了神经系统损伤以及生殖发育毒性等方面, 这无疑会对孕妇和婴幼儿的健康构成潜在的威胁。

其他类别: 硝基呋喃类代谢物属于禁用兽药, 有遗传毒性以及致癌性, 要达成“零残留”管控, 氯霉素由于骨髓抑制副作用被列为动物源性食品禁用药物, 其残留检测需要达到 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 级别的灵敏度。

3.2.2 技术应用实例

胶体金快检技术在兽药残留检测领域可呈现出对于复杂基质样本有较高适配性以及灵敏度的特点, 其典型的应用场景主要涉及以下几个方面:

畜禽产品里四环素类残留的检测: 对于鸡肉、猪肉这类高蛋白基质的样本, 运用“匀浆-离心-稀释”这三步前处理办法, 胶体金试纸条可在 15 分钟之内完成检测工作。它的检出限达到 5-10 ng/mL , 符合 GB31650-2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》里鸡肉中四环素以及猪肉中土霉素的限量规定, 和高效液相色谱法检测结果的一致性超过 92%。

牛奶中 β -内酰胺类抗生素残留检测: 考虑到生鲜乳有高水分基质特性, 运用直接稀释法, 借助胶体金免疫层析法可在 10 分钟内完成检测工作, 其检出限达到 2 至 5 ng/mL , 该数值远远低于国家标准限值, 此方法可迅速排查奶牛养殖过程中非法使用青霉素类兽药的情况, 与液相色谱-串联质谱法检测结果相比, 一致性超过 95%, 目前已在乳制品企业原料验收环节得到广泛应用。

3.2.3 技术优势

胶体金快检技术在兽药残留检测中的核心优势体现在以下方面:

养殖环节的源头管控: 积极支持养殖场以及屠宰场对畜禽样本展开自我检测, 借助“采样-检测-判读”这样完整的一体化流程, 可及时地识别出兽药滥用的行为, 从养殖的源头方面降低残留风险, 减少不合格产品流入市场的情况

发生。就比如说, 生猪养殖企业利用尿液样本对“瘦肉精”类物质进行快速筛查, 可以把检出的阳性率有效地控制在 0.1% 以下。

复杂基质适配性: 对于高蛋白、高油脂、高水分这类复杂基质, 借助优化硝酸纤维素膜的孔径、调节标记抗体的浓度以及缓冲液的离子强度, 可有效降低基质成分对免疫反应造成的非特异性干扰, 把假阳性率控制在 5% 以下。

法规符合性: 所有的检测限可符合国内外兽药残留限量标准, 像欧盟 EC No. 37/2010 针对氯霉素的标准, 以及中国 GB31650-2019 针对磺胺类的要求, 可为进出口动物源食品检验检疫打造快速筛查工具, 可贸易合规性管控以及国际市场准入。

4 胶体金快检技术的现存挑战与发展趋势

为了加强胶体金快检技术在农兽药残留检测方面的应用价值, 未来的研究将会把重点放在以下几个方向上: 灵敏度的提升, 凭借结合纳米材料来提高信号强度, 或者利用核酸适配体取代抗体以提高识别精度, 把检测限降低到 pg/mL 级别; 智能化定量检测, 借助分析条带灰度值来实现半定量或定量分析, 取代肉眼判读, 减少主观误差; 标准化体系的建设, 推动胶体金快检技术的国家标准制定, 统一检测流程以及质量控制要求, 提升技术可靠性与监管认可度^[5]。

5 结语

胶体金快检技术凭借快速、简便、灵敏这些核心优势, 在食品安全农兽药残留检测里呈现出应用价值, 有力地支撑了基层监管、企业自检以及现场风险筛查工作。不过, 它依然面临着一些挑战, 像灵敏度与定量能力不够、复杂基质前处理需要简化以及多重检测能力有限等。未来, 借助纳米材料信号提高、多通道试纸条开发、智能化定量检测以及标准化体系建设等方式, 这项技术有希望突破当前的局限, 提高检测精度与效率, 为食品安全监管提供更可靠的技术保障, 帮助构建起从农田到餐桌的全链条质量安全防线。

参考文献

- [1] 李莉, 张登洲, 林光强. 胶体金快检技术在基层农产品质量安全监管中的应用推广现状及对策[J]. 现代食品, 2025,(03):149-152.
- [2] 李学林. 胶体金快检技术在豇豆质量安全监管中的应用[J]. 云南农业, 2024,(11):51-52.
- [3] 农彩美. 胶体金免疫层析技术在食品安全检测中的应用[J]. 现代食品, 2021,(09):108-110.
- [4] 张丽霞, 王学松. 胶体金免疫层析技术在食品安全检测中的应用[J]. 广东化工, 2021,48(01):180-181+163.
- [5] 翟培, 韩晋辉. 胶体金免疫层析技术在食品安全现场快速检测中的应用[J]. 现代农业科技, 2020,(04):225-227+229.