

食品中农药残留快速检测方法的研究与比较分析

武付蕾

单县市场监督管理局检验检测中心 山东 菏泽 274300

【摘要】：为了筛选出适合不同食品检测场景的农药残留快速检测技术，提高食品质量安全筛查的效率和准确性，本文对酶抑制法、胶体金免疫层析法、酶联免疫吸附法、光谱检测法这四种主流的快速检测技术进行了系统的探究，并对其检测原理、技术流程以及应用特点进行了阐述，同时通过实测实验数据对比分析了各种方法的灵敏度、准确度、检测时间、适用范围以及实际操作成本。实验结果表明，不同的检测技术适配的场景不一样，酶抑制法适合基层大批量初步筛查，胶体金免疫层析法适合现场快速定性检测，酶联免疫吸附法适合批量定量检测，光谱检测法适合无损、广谱快速检测。本文通过对各种技术优缺点的梳理，给出不同的检测技术选择方案，给食品农药残留日常检测、风险预警和质量控制提供技术上的参考。

【关键词】：食品检测；农药残留；快速检测；技术对比；质量安全

DOI:10.12417/3041-0630.26.12.066

1 引言

农药残留快速检测技术由于操作简便、检测速度快、便携性强、成本低等特点，是食品源头控制、市场流通筛查、基层监管检测的主要技术手段。目前市面上快速检测技术种类繁多，不同的检测原理、性能指标、适用场景之间存在着明显的差别，部分检测方法灵敏度低、抗干扰差、检测范围小。因此本文选择了目前应用最广的四种农药残留快速检测技术，通过实验实测和数据分析，对各种技术的综合性能进行系统的比较，确定不同场景下最优的检测方案，为食品农药残留快速检测工作规范化、精准化开展提供理论和数据支持。

2 主流农药残留快速检测方法原理及技术流程

2.1 酶抑制法

酶抑制法是基层食品农药残留检测中使用最广泛、应用最成熟的快速检测技术，主要检测对象是有机磷类和氨基甲酸酯类农药。该技术的核心原理是生物酶催化反应机理，动植物体内胆碱酯酶能催化乙酰胆碱水解，有机磷和氨基甲酸酯类农药会特异性抑制胆碱酯酶的生物活性，阻止乙酰胆碱水解反应的发生。检测时利用显色反应体系颜色的变化程度来判断样品中农药残留的抑制率，从而判断农药残留是否超标。

核心检测计算公式为

$$Y = \frac{\Delta A_0 - \Delta A}{\Delta A_0} \times 100\%$$

式中，Y 为胆碱酯酶抑制率， ΔA_0 为空白对照组溶液吸光度变化值， ΔA 为待测样品溶液吸光度变化值。当抑制率数值大于 50% 的时候，可以认为样品中农药残留超标。该技术检测流程简单，不需要复杂的样品前处理，只需要将样品捣碎、浸提、过滤，加入酶试剂、底物和显色剂，然后在恒温条件下

反应 30 分钟，就可以得到检测结果，适合于大批量样品的初步筛查。

2.2 胶体金免疫层析法

胶体金免疫层析法属于基于抗原抗体特异性免疫反应的快速检测技术，依靠胶体金标记显色体系来达成可视化检测。技术原理是用胶体金颗粒的显色特性，把农药特异性抗体标记在胶体金颗粒上，样品中的农药抗原会和试纸条上的抗体发生特异性结合，通过竞争免疫反应阻断试纸条检测线显色，根据试纸条检测线和对照线的显色状态来实现农药残留的定性、半定量检测。

该技术不需要使用大型的检测仪器，只需要用成品检测试纸条就可以进行检测，样品前处理过程非常简单，只需要简单的提取、稀释，10 到 15 分钟就可以完成一次检测。技术核心优势是特异性很强，只对目标农药有反应，可以有效地避开食品中色素、杂质等基质的干扰，主要用在单一类型高风险农药的现场快速筛查上，常见的检测品种有果蔬中毒死蜱、三唑磷、百菌清等常用农药。

2.3 酶联免疫吸附法

酶联免疫吸附法是定量快速检测技术，把免疫特异性反应和酶催化显色放大反应结合起来，检测的准确度介于快速筛查技术和实验室精密检测技术之间。技术原理是将农药抗原固定在酶标板孔内，样品中的农药残留抗原与固定抗原竞争结合特异性抗体，用酶催化底物显色，溶液吸光度与样品中农药残留含量成负相关关系，结合标准曲线可以准确计算出农药残留浓度。

$$A = kC + b$$

式中，A 为酶催化显色后溶液吸光度，C 为样品中农药残

留浓度，k 为线性拟合斜率，b 为线性拟合截距。该技术可以同时检测一批样品，单块酶标板可以完成 96 个样品的检测，检测灵敏度高、重复性好，抗基质干扰的能力比传统的酶抑制法更好。检测流程包括样品浸提、离心净化、加样孵育、显色读数、数据拟合计算等步骤，单次批量检测时间大约 2-3 小时，适合实验室批量定量筛查，可以准确地判定出农药残留的具体含量。

2.4 光谱快速检测法

光谱快速检测法属于新型无损快速检测技术，主要包含近红外光谱和拉曼光谱两种检测模式，利用物质分子振动光谱特性来完成农药残留的快速识别和定量。技术原理就是不同农药分子有专属光谱特征峰，食品样品中残留农药的光谱峰值强度和农药含量成线性关系，用建立的光谱数据库和拟合模型可以快速识别出农药种类以及计算出残留浓度。

$$A(\lambda) = \alpha(\lambda) \cdot C \cdot L$$

式中，A(λ)为特定波长下样品光谱吸光度，α(λ)为对应波长下农药分子的摩尔吸收系数，C 为样品表面农药残留浓度，L 为光谱检测光程。该技术最大的优点就是不需要破坏样品、不需要化学试剂、检测速度快，单次检测只需要 1 到 3 分钟，可以实现无损原位检测，适合于完整的果蔬、粮食等食品的快速筛查。同时检测广谱性强，可以同时检测出多种农药残留，打破了传统快速检测技术只针对某一种农药残留检测的局限性，是目前快速检测技术的主要发展方向。

3 不同检测方法性能对比实验分析

3.1 实验材料与条件

为了保证对比数据的真实性、客观性，本次实验选择市场常见的青菜、苹果、黄瓜、小麦四种食品样品，选择有机磷、氨基甲酸酯、三唑类、拟除虫菊酯四类常用农药作为检测对象，统一配制梯度浓度农药残留样品，分别用四种检测方法做平行实验，每组实验重复 3 次，取平均值作为实验结果，统一实验温度、湿度、反应时间等环境参数，排除外界干扰因素。

3.2 核心性能指标对比结果

通过实测实验，统计出四种检测方法的检测限、准确率、检测时长、单样检测成本、适用范围等主要指标，具体的对比数据如下表所示。

参考文献：

[1] 卢丽芹,张海.无损快速检测技术在果品农药残留检测中的应用研究[J].世界热带农业信息,2026,(8):43-45.
[2] 张一凡,万福宝,俞涵,等.大米中农药残留检测技术研究进展[J].粮油科学与工程,2026,40(4):39-44.

表 1 核心性能指标对比结果

检测方法	最低检测限 mg/kg	检测准确率%	单样检测时长 min	单样检测成本 元	适用农药类型	样品破坏性
酶抑制法	0.05	82.3	25-30	0.8-1.2	有机磷、氨基甲酸酯类	破坏性检测
胶体金免疫层析法	0.01	95.6	10-15	3-5	单一靶向农药	轻微破坏性
酶联免疫吸附法	0.005	98.2	120-180 (批量)	2-3	多类靶向农药	破坏性检测
光谱快速检测法	0.02	91.5	1-3	0.5-0.8	广谱多类农药	无损检测

灵敏度上酶联免疫吸附法最低，检测灵敏度最高，能准确地检测出微量的农药残留，适合于低浓度残留样品的检测。胶体金免疫层析法其次，光谱检测法灵敏度中等，酶抑制法灵敏度最低，对于微量超标样品的识别能力较差。酶联免疫吸附法由于具有精确的定量反应机制，准确率最高、数据重复性最好。胶体金免疫层析法特异性好，几乎不产生交叉反应，准确率居中。光谱检测法容易受到食品样品的色泽、质地、杂质的影响，准确度有所降低。酶抑制法受样品基质、温度的影响较大，易出现假阳性、假阴性结果，准确率最低。

5 结论

本文通过对四种主流食品农药残留快速检测技术的系统研究，并通过实验数据对比分析，得出各种技术的主要优势和不足。酶抑制法成本低、操作简便、高通量，适合基层大批量初步筛查，但是灵敏度和准确率较低、检测范围小。在食品质量安全检测工作当中，要依照检测场景、检测需求以及样品数量来挑选合适的检测技术，借助多技术联用的检测方式，克服单个技术的检测不足，从而加强农药残留筛查的整体水平。