

# Research on the Application of Terahertz Detection Technology in the Detection of Pesticide Residues

Jiahui Liu Liping Li

Shandong Vocational College of Economics and Trade, Weifang, Shandong, 261000, China

## Abstract

With the rapid development of social economy and people's increasing attention to food safety, pesticide residues have become a key factor affecting the quality and food safety of agricultural products. Traditional pesticide residue detection methods have problems such as long detection cycle, complex operation and limited sensitivity, which are difficult to meet the needs of modern society for rapid detection of food safety. As an emerging non-destructive detection method, terahertz detection technology has gradually become a research hotspot in the field of pesticide residue detection due to its unique advantages and wide application prospects. In this paper, the basic principles and characteristics of terahertz detection technology and its application in the detection of pesticide residues are elaborated in detail, and its future development trend is prospected.

## Keywords

terahertz detection technology; pesticide residues; non-destructive testing; high resolution; food safety

## 太赫兹检测技术在农药残留检测中的应用研究

刘嘉辉 李利萍

山东经贸职业学院, 中国·山东 潍坊 261000

## 摘要

随着社会经济的快速发展以及人们对食品安全问题的日益重视, 农药残留已成为影响农产品质量和食品安全的关键因素。传统的农药残留检测方法存在检测周期长、操作复杂且灵敏度有限等问题, 难以满足现代社会对食品安全快速检测的需求。太赫兹检测技术作为一种新兴的非破坏性检测手段, 凭借其独特的优势和广泛的应用前景, 逐渐成为农药残留检测领域的研究热点。详细阐述了太赫兹检测技术的基本原理、特点及其在农药残留检测中的应用研究进展, 并对其未来发展趋势进行了展望。

## 关键词

太赫兹检测技术; 农药残留; 非破坏性检测; 高分辨率; 食品安全

## 1 引言

在当今日益增长的食品安全问题中, 农药残留问题显得尤为突出。农药在农业生产中的广泛使用, 有效地防治了病虫害, 显著提升了农作物产量, 为人们提供了丰富的食物来源。然而, 农药的不当使用, 比如过量施用、不规范使用或残留时间过长等, 均会导致农产品中残留农药, 这些残留农药若被人摄入, 将对人体健康构成严重威胁。农药残留问题不仅影响消费者的身体健康, 还会损害农业产业的声誉, 降低消费者对农产品的信任度, 从而影响农业产业的可持续发展。食品安全问题一直是公众关注的热点, 农药残留作为食品安全的重要组成部分, 其检测技术的研究与应用具有重要的现实意义。传统的农药残留检测方法主要包括气相色谱法、高效液相色谱法、质谱法等, 这些方法虽然灵敏度高、

准确性高, 但通常需要复杂的样品前处理、较长的检测时间和昂贵的仪器设备, 限制了其在现场快速检测中的应用。因此, 开发高效、灵敏、快速且成本较低的农药残留检测技术, 对于保障食品安全、提高农业生产效率具有重要意义。太赫兹技术 (Terahertz Technology) 作为一种新兴的电磁波检测技术, 近年来在食品安全领域得到了广泛关注。因此, 本文将太赫兹技术在农药残留检测中的应用进行深入探讨, 包括其原理、特点、应用现状、挑战与对策以及未来发展趋势<sup>[1]</sup>。

## 2 太赫兹技术概述

太赫兹技术是一种基于太赫兹波的检测技术, 其频率范围位于 0.1~10THz 之间, 介于微波和红外光之间。太赫兹波具有独特的物理特性, 主要表现为以下几个方面。

### 2.1 穿透性

太赫兹波具有较好的穿透性, 能够穿透许多非金属材料, 如塑料、纸张、布料等。这使得太赫兹技术在检测包装食品、农产品等含有非金属材料的样品中具有显著优势。

【作者简介】刘嘉辉 (2005-), 男, 中国山东潍坊人, 从事太赫兹石墨烯融合技术在农残检测中的创新应用研究。

## 2.2 瞬态性

太赫兹波的脉冲宽度非常短，通常在皮秒至飞秒量级，这使得太赫兹技术具有极高的时间分辨率，能够捕捉到样品中快速变化的物理和化学过程。

## 2.3 宽带性

太赫兹波的带宽非常宽，能够覆盖多个频率段，这使得太赫兹技术能够获取样品丰富的光谱信息，从而提高检测的准确性和灵敏度。

## 2.4 相干性

太赫兹波具有相干性，能够产生干涉和衍射现象，这使得太赫兹技术能够进行高精度的成像和定量分析。

## 2.5 低能性

太赫兹波的能量非常低，不会对生物分子等产生电离或激发作用，因此太赫兹技术是一种安全的检测技术。

由于太赫兹波具有上述独特的物理特性，使得太赫兹技术在多个领域具有广泛的应用潜力，如生物医学、材料科学、环境监测、食品安全等。

# 3 太赫兹技术在农药残留检测中的原理

农药残留检测通常依赖于物质对电磁波的吸收、散射和反射等特性。太赫兹波作为一种特殊的电磁波，其频率与许多生物大分子的振动和转动频率相匹配，因此能够与农药分子产生强烈的相互作用。

当太赫兹波照射到含有农药残留的样品时，农药分子会吸收部分太赫兹波能量并发生振动或转动，从而导致太赫兹波的吸收或散射特性发生变化。通过测量这些变化，可以获取农药残留的信息，实现农药残留的定量和定性检测。具体来说，太赫兹波与农药分子相互作用的过程可以表示为以下几个方面。

### 3.1 吸收

农药分子中的极性基团（如羟基、羧基等）能够吸收太赫兹波能量，从而发生振动或转动。通过测量太赫兹波的吸收特性，可以获取农药分子的振动和转动信息，进而确定农药的种类和浓度。

### 3.2 散射

农药分子在太赫兹波的作用下会发生散射现象，散射波的频率、强度和方向等特性与农药分子的形态、尺寸和分布等性质密切相关。通过测量太赫兹波的散射特性，可以获取农药分子的形态和分布信息。

### 3.3 反射

当太赫兹波照射到含有农药残留的样品表面时，会发生反射现象。反射波的强度和相位等特性与样品的组成和结构等性质密切相关。通过测量太赫兹波的反射特性，可以获取样品的表面信息和内部结构信息。

# 4 太赫兹技术在农药残留检测中的特点

## 4.1 无损检测

太赫兹技术是一种无损检测技术，无需对样品进行破坏性处理，即可获取样品内部的详细信息。这有助于保持样

品的完整性和原始性，减少检测过程中的误差和损耗。

## 4.2 高灵敏度

太赫兹技术具有高灵敏度，能够检测到极低浓度的农药残留。这对于保障食品安全具有重要意义，因为即使是微量的农药残留也可能对人体健康造成危害。

## 4.3 快速检测

太赫兹技术具有快速检测的特点，能够在短时间内获取大量的检测数据。这有助于提高检测效率，缩短检测周期，满足现代农业对快速检测的需求。

## 4.4 非接触检测

太赫兹技术是一种非接触检测技术，无需与样品直接接触即可进行检测。这有助于避免交叉污染和损坏样品，提高检测的准确性和可靠性。

# 5 太赫兹技术在农药残留检测中的应用现状

## 5.1 THz 时域光谱技术

THz 时域光谱技术（THz-TDS）是太赫兹技术在农药残留检测中的主要应用之一。该技术利用光电取样探测技术直接测量 THz 电场完整的幅度和相位信息，从而获得样品的吸收系数和折射率。

THz-TDS 系统具有样品制备简单、无需复杂前处理过程、检测速度快等优点。此外，THz 波能量低，对生物分子等来说是一种安全的射线，因此 THz-TDS 技术在农药残留检测中具有广泛的应用前景。

近年来，许多研究者利用 THz-TDS 技术对多种农药残留进行了检测。例如，某研究团队利用 THz-TDS 技术成功检测出了番茄中的多菌灵残留，检测限低至 0.05mg/kg，远低于国家规定的限量标准。此外，THz-TDS 技术还被用于检测茶叶、果蔬等农产品中的农药残留。

## 5.2 太赫兹成像技术

太赫兹成像技术是一种基于太赫兹波的成像技术，能够获取样品内部的二维或三维结构信息。该技术在农药残留检测中具有重要应用价值，可以直观地展示农药残留在样品中的分布情况。目前，太赫兹成像技术在农药残留检测中的应用主要集中在以下几个方面：

①观察农药残留的形态和分布：通过太赫兹成像技术，可以直观地观察到农药残留在样品中的形态和分布，有助于深入分析农药残留的来源和迁移规律。②分析农药残留与样品内部结构的关系：太赫兹成像技术可以同时获取样品的内部结构信息和农药残留信息，从而分析农药残留与样品内部结构的关系，为农药残留的检测和治理提供有力支持。③实现农药残留的定量检测：结合光谱技术，太赫兹成像技术可以实现农药残留的定量检测，提高检测的准确性和可靠性。

## 5.3 太赫兹指纹图谱技术

每种物质都有其独特的太赫兹吸收光谱特征，类似于人类的指纹，因此被称为“指纹图谱”。太赫兹指纹图谱技术在农药残留检测中具有重要应用价值，可以通过对比样品的太赫兹吸收光谱与已知农药的指纹图谱来实现农药残留的定性识别。

此外,太赫兹指纹图谱技术还可以用于农药残留的定量检测。通过建立农药残留浓度与太赫兹吸收光谱强度之间的线性关系,可以实现农药残留的定量测定。

## 6 太赫兹技术在农药残留检测中的挑战与对策

尽管太赫兹技术在农药残留检测中取得了显著进展,但仍面临一些挑战:①技术成熟度:虽然太赫兹技术在实验室阶段取得了较好的检测效果,但在实际应用中仍需进一步提高检测的稳定性和可靠性。②数据处理:太赫兹光谱数据通常较为复杂,需要建立有效的数据处理和分析方法来提取有用信息。③成本问题:目前太赫兹检测设备的成本相对较高,限制了其在实际应用中的普及。

针对这些挑战,可以采取以下对策:①加强技术研发:不断提升太赫兹检测技术的稳定性和可靠性,推动其从实验室走向实际应用。②优化数据处理方法:利用机器学习和人工智能等技术手段提高数据处理效率和准确性。③降低设备成本:通过技术创新和生产优化等手段降低太赫兹检测设备的成本,提高其市场竞争力。

## 7 太赫兹技术在农药残留检测中的未来发展趋势

### 7.1 智能化检测

结合人工智能和大数据等技术手段,实现太赫兹检测技术的智能化升级。通过建立农药残留数据库和智能识别模型,可以实现农药残留的自动识别和分类,提高检测效率和准确性。

### 7.2 多技术融合

将太赫兹技术与其他检测技术相结合,如光谱技术、成像技术和色谱技术等,形成互补优势,提高检测的全面性和准确性。

### 7.3 便携式设备研发

针对农业生产现场的实际需求,研发便携式太赫兹检测设备。这类设备具有体积小、重量轻、便于携带等特点,有助于实现农药残留的现场快速检测。

### 7.4 国际合作与交流

加强国际合作与交流,共同推动太赫兹技术在农药残留检测领域的发展,为全球食品安全贡献力量。

## 8 国际研究进展与对比

在全球范围内,太赫兹技术在农药残留检测领域的研究正呈现出蓬勃发展的态势。美国、欧洲和日本等国家和地区在该领域的研究和应用方面已经取得了一定的领先地位。

美国在太赫兹技术的研究和应用方面具有显著优势。美国的科研机构和企业投入了大量资源进行太赫兹技术的研发和应用,取得了一系列重要成果。例如,美国某研究团队利用太赫兹技术成功检测出了苹果中的多种农药残留,检测限低至 0.01mg/kg,远低于国际标准。

欧洲在太赫兹技术的研究和应用方面也取得了显著进展。欧洲的科研机构和企业通过跨学科合作,推动了太赫兹技术在农药残留检测领域的发展。例如,欧洲某研究团队利

用太赫兹成像技术成功检测出了番茄中的农药残留,并实现了农药残留的三维可视化。

日本在太赫兹技术的研究和应用方面也具有较强的实力。日本的科研机构和企业注重太赫兹技术的实用化和产业化,取得了一系列重要成果。例如,日本某企业研发了便携式太赫兹检测设备,实现了农药残留的现场快速检测。

中国在太赫兹技术的研究和应用方面也取得了显著进展。中国的科研机构和企业通过加大研发投入、加强国际合作等措施,推动了太赫兹技术在农药残留检测领域的发展。例如,中国某研究团队利用太赫兹技术成功检测出了茶叶中的多种农药残留,检测限低至 0.02 mg/kg,达到了国际先进水平<sup>[1]</sup>。

## 9 案例分析

### 9.1 番茄多菌灵残留检测

某研究团队利用 THz-TDS 技术对番茄中的多菌灵残留进行了检测。他们首先对番茄样品进行了简单的处理,然后将其置于 THz-TDS 系统中进行光谱采集。通过分析样品的太赫兹吸收光谱,成功检测出了多菌灵残留,并且检测限低至 0.05mg/kg,远低于国家规定的限量标准。

### 9.2 茶叶中多种农药残留检测

另一研究团队利用太赫兹指纹图谱技术对茶叶中的多种农药残留进行了同时检测。他们收集了多种农药的太赫兹指纹图谱,并建立了相应的数据库。在检测过程中,只需将茶叶样品的太赫兹吸收光谱与数据库中的指纹图谱进行对比,即可实现多种农药残留的快速识别和定量测定<sup>[1]</sup>。

## 10 结论

太赫兹技术在农药残留检测中具有广泛的应用前景和巨大的发展潜力。其无损、高灵敏度、快速和非接触检测等特点使得该技术在保障食品安全方面具有重要意义。展望未来,随着技术的不断进步和应用需求的不断增长,太赫兹技术在农药残留检测中将呈现出以下发展趋势:①智能化检测:结合人工智能和大数据等技术手段,实现太赫兹检测技术的智能化升级,提高检测效率和准确性。②多技术融合:将太赫兹技术与其他检测技术相结合,形成互补优势,提高检测的全面性和准确性。③便携式设备研发:针对农业生产现场的实际需求,研发便携式太赫兹检测设备,实现农药残留的现场快速检测。总之,太赫兹技术作为一种新兴的检测技术,在农药残留检测中具有广阔的应用前景。相信随着技术的不断发展和完善,太赫兹技术将在保障食品安全方面发挥越来越重要的作用。

## 参考文献

- [1] 卢雪晶,葛宏义,蒋玉英,等.太赫兹技术在农产品检测中的应用研究进展[J].光谱学与光谱分析,2022,42(11):3330-3335.
- [2] 马卿效,李春,李天莹,等.太赫兹光谱技术在农药检测领域的研究进展[J].激光与光电子学进展,2020,57(13):9.
- [3] 李雷.基于太赫兹光谱技术的液体农药检测[J].食品安全导刊,2021(12):2.