

质谱技术在新型农药残留快速检测中的应用研究进展

石全见*

(德州职业技术学院, 德州 253000)

摘要: 本文系统综述了质谱技术在农药残留检测中的应用及其最新进展。首先, 介绍了质谱技术的基本原理、仪器组成及优势与局限性, 强调了其在高灵敏度和高分辨率方面的显著特点。然后, 详细探讨了 GC-MS 和 LC-MS 等常规检测方法, 以及 HRMS 和 LC-MS/MS 等新型质谱技术在农药残留检测中的应用, 特别是这些技术在复杂基质中检测微量农药残留的能力。接着, 讨论了样品制备与处理方法, 如 QuEChERS, 以及数据分析与结果处理的关键步骤。最后, 通过方法学验证和优化策略, 确保了检测结果的可靠性和可重复性。本文的研究不仅为农药残留检测提供了全面的技术支持, 还为食品安全和环境监测领域的进一步发展奠定了基础。创新点在于综合了多种新型质谱技术的应用案例, 展示了其在多组分同时分析和痕量检测方面的强大能力。

关键词: 质谱技术; 农药残留检测; 气相色谱-质谱联用技术; 液相色谱-质谱联用技术

Research progress of mass spectrometry in the rapid detection of new pesticide residues

SHI Quan-Jian*

(Dezhou Vocational and Technical College, Dezhou 253000, China)

ABSTRACT: In this paper, the application and recent progress of mass spectrometry in pesticide residue detection were systematically reviewed. Firstly, the basic principle, instrument composition, advantages and limitations of mass spectrometry technology are introduced, and its remarkable characteristics of high sensitivity and high resolution are emphasized. Then, the application of conventional detection methods such as GC-MS and LC-MS, as well as new mass spectrometry technologies such as HRMS and LC-MS/MS in pesticide residue detection was discussed in detail, especially the ability of these technologies to detect trace pesticide residues in complex substrates. Next, sample preparation and processing methods, such as QuEChERS, as well as key steps for data analysis and results processing. Finally, the reliability and repeatability of test results were ensured through methodological validation and optimization strategies. The research in this paper not only provides comprehensive technical support for pesticide residue detection, but also lays a foundation for further development in the field of food safety and environmental monitoring. The innovation is the integration of a variety of new mass spectrometry technology application cases, demonstrating its powerful capabilities in multi-component simultaneous analysis and trace detection.

KEY WORDS: mass spectrometry; pesticide residue detection; gas chromatography-mass spectrometry; liquid chromatography-mass spectrometry technique

0 引言

质谱技术作为强大的分析工具, 在化学、生物学、医学及环境科学等领域得到广泛应用, 通过测量离子的质量与电荷比 (m/z), 能提供物质分子量和结构的详尽信息, 这对农药残留检测、药物分析、代谢组学研究等方面至关重要。技术进步如高分辨质谱 (HRMS)、液相色谱-串联质谱 (LC-MS/MS) 等, 大幅提高了检测的灵敏度、准确性和效率, 能够快速鉴定复杂混合物中的多种成分, 有效应

对微量物质检测。然而, 样品制备复杂、成本高等问题依然存在。未来应致力于简化经济的样品处理方法, 提升质谱仪自动化和用户友好性, 并通过跨学科合作, 结合人工智能、大数据分析等技术, 拓展质谱技术的应用范围, 加速科研与社会发展。

1 质谱技术概述

1.1 质谱技术的基本原理

质谱 (Mass Spectrometry, MS) 又叫质谱法, 是由诺贝尔

* 通信作者: 石全见, 硕士, 讲师, 研究方向为化工、药品方面的专业教学及科研。E-mail: qiushi_cn@163.com

* Corresponding author: SHI Quan-Jian, Master, Lecturer, Dezhou Vocational and Technical College, Dezhou 253000, China. E-mail: qiushi_cn@163.com

物理学奖获得者 Thomson JJ 通过实验发现,使用电场和磁场能使得阳极射线在阳极射线管内发生偏转,进而发明的,是一种与光谱并列的谱学方法。通常意义上其是指广泛应用于各个学科领域中通过制备、分离、检测气相离子来鉴定化合物的一种专门技术。该技术方法通过测量离子的质量与电荷比来确定物质的分子量和结构。样品在电离源中转化为气态离子,经质量分析器按 m/z 分离后,由检测器记录形成质谱图,提供化合物的组成信息^[1]。质谱仪一开始是用来测定同位素和分析无机元素,后来随着商品色谱-质谱联用技术的出现被用来分析测定有机元素。其与计算机的联用,使得质谱法有了质的飞跃。目前,质谱法使用更加简便快捷,技术日益成熟,应用领域大大扩展^[2]。

1.2 质谱技术的优势与局限性

质谱技术的应用极为广泛,它不仅具备极高的灵敏度和分辨率,还能提供丰富的分子结构信息,这些特点让它成了研究中的利器。在实际工作中,质谱技术对于快速而准确地鉴定化合物,尤其是在处理复杂混合物时的能力,是其他技术难以比拟的。随着技术的不断进步,质谱仪的小型化和自动化程度不断提高,这不仅提高了实验的效率,而且使得这项技术得到普及,让更多实验室能够受益于它的强大功能。

然而,质谱技术并非没有局限性。首先,在样品准备阶段,往往需要进行复杂的前处理工作,这一过程既耗时又可能影响最终的分析结果。其次,不是所有的样品都适合通过质谱进行分析,有些物质由于难以电离或在分析过程中容易分解,无法获得理想的检测效果^[3]。最后,质谱仪的操作和日常维护要求较高,需要有经验的专业人士来进行,这也意味着使用成本和技术门槛相对较高。

2 农药残留检测的常规方法

2.1 气相色谱-质谱联用法(GC-MS)

气相色谱-质谱联用法(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)是一种常用的农药残留分析技术。质谱分析的待测试样为较纯的简单混合物,这是由于待测组分的特征质谱峰互不干扰。但因为复杂混合物特征质谱峰易重叠、干扰,所以质谱法很难分辨复杂混合物^[3]。色谱能够非常有效地分离复杂混合物,但是它不能定性地分析试样。将色谱的高效分离能力与质谱定性、定量鉴别结构能力结合起来可分析复杂混合物,故色谱与质谱联用技术能够很好地应用于农药残留的检测。例如,对于有机磷农药如马拉硫磷的检测,GC-MS 具有高灵敏度和特异性,能确保结果准确可靠^[4]。

2.2 液相色谱-质谱联用法(LC-MS)

液相色谱-质谱联用法(Liquid Chromatography-Mass Spectrometry, LC-MS)可检测如水溶性农药等难气化、热不稳定的物质。它先以液相色谱分离样品,再用质谱定性定量分析。其优势在于能处理多种分子量与极性化合物。

在农药残留分析中,LC-MS 应用广泛。多残留分析时,其凭借高分离效能与灵敏度,适用于复杂基质,优化条件可同时检测和确证多种农药,提升效率。确证分析靠质谱提供分子结构信息,对比标准品质谱图与库检索结果,判断农药存在情况。痕量分析因高灵敏度可检测极低浓度残留,对食品、环境样品意义重大,保障公众健康与生态安全。代谢产物分析方面,能应对传统方法难处理的代谢物,有助于了解体内代谢途径,如检测蔬菜样本时可识别量化草甘膦及其代谢产物 AMPA,以高效、灵敏等特性受到青睐^[5]。

2.3 其他常规检测方法的比较与不足

除了 GC-MS 和 LC-MS,还有许多其他的农药残留检测方法,如高效液相色谱法(HPLC)、免疫分析法等。HPLC 虽然可以分离复杂的混合物,但在没有质谱辅助的情况下,它可能难

以准确地鉴定特定化合物。免疫分析法依赖于抗原抗体反应,虽然快速简便,但是选择性有限,并且对于未知或新出现的农药类型可能无法有效检测。相比之下,GC-MS 和 LC-MS 提供了更高的准确性和可靠性,但是设备成本和技术要求较高,这是它们的局限性^[6]。

3 新型质谱检测方法的发展

3.1 高分辨质谱技术(HRMS)

高分辨质谱技术(HRMS)在科学研究与应用中扮演了极其重要的角色。它不仅提高了我们对复杂样品中细微差别的认知能力,还为环境保护、医药研发及食品安全等领域的进步提供了强有力的支持。随着技术的不断进步,HRMS 的应用范围将会更加广泛,其在精准医疗、疾病早期诊断等方面将发挥更大的作用。比如,通过 HRMS 技术对血液样本进行深入分析,科学家们可以更早地发现某些疾病的生物标志物,这对于疾病的早期诊断和治疗方案的选择至关重要^[7]。

3.2 液相色谱-串联质谱(LC-MS/MS)

液相色谱-串联质谱(Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry, LC-MS/MS)是 LC-MS 的扩展,增加了一个串联质谱(MS/MS)步骤。它结合了高效液相色谱(HPLC)的分离能力和质谱(MS)的检测能力,使得混合物中的组分可以先被分离,然后进行精确的质量分析。在 LC-MS/MS 系统中,分离的样品分子首先在第一个质谱仪(MS1)中被离子化和测量,然后选择特定的离子进行碎裂,产生的碎片离子在第二个质谱仪(MS2)中被进一步分析。这个过程称为串联质谱(Tandem Mass Spectrometry, MS/MS)。LC-MS/MS 可应用于复杂基质中多种化合物的分析测定,该法所用仪器成本相对较低,内部的三重四级杆结构被称为定量的最佳选择。其特有的多反应监测功能,可在同一样品运行时间内监测多个化合物的离子对,有利于实现各类药物的高通量检测。在遗传代谢病、类固醇激素、营养元素、蛋白质多肽、治疗药物检测方面有不可替代的作用。比如,在临床诊断中,LC-MS/MS 用于新生儿筛查,能够同时检测多种与遗传代谢疾病相关的代谢物,加快了早期诊断的速度并提高其准确性^[8]。

3.3 基于质谱的快速检测平台及设备创新

随着科技的进步,出现了许多基于质谱技术的快速检测平台和设备,这些创新极大地简化了样品制备过程,并缩短了检测时间。例如,手持式质谱仪可以在现场进行即时分析,无需将样品送回实验室。这种便携式设备在应急响应、毒品检测、食品安全检查等方面发挥了重要作用。又如,飞行时间质谱(TOF-MS)与表面增强拉曼散射(SERS)技术相结合,可以在几分钟内完成对微生物的鉴定,这在医疗保健和生物防御领域是至关重要的^[9]。随着这些技术的不断成熟与普及,它们将在更广泛的领域中发挥出更大的作用。比如,在环境监测中,利用这些先进的质谱技术可以更快地识别污染物,为及时采取治理措施提供科学依据。

4 农药残留样品的制备与处理

4.1 样品采集与处理方法

在进行农药残留分析前,样品采集与处理是至关重要的步骤。首先,要确保样品具有代表性,通常需要从农田中随机选取多个点取样,并保证采样的深度和位置一致以避免偏差。例如,在检测蔬菜中的农药残留时,应从不同位置的同一高度切取叶片样本。样品采集后,应迅速标记并冷藏或冷冻保存,以防止农药降解。随后,将样品清洗干净,去除表面污物。对于果蔬类样品,可能需要去皮、去籽等预处理。接着,样品会被切成小块或者研磨成粉末,以便于后续的化学处理^[10]。

4.2 样品预处理技术(如 QuEChERS 方法)

样品预处理技术用于去除样品基质中的干扰物质,提高目标化合物的回收率。其中, QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) 方法是一种得到广泛应用的技术。QuEChERS 法最初的研究对象是水果、蔬菜等含水量较高的农产品。丙酮虽然可以从样品中很好地提取出残留农药,但是其水溶性过强,很难与基质中的水分分开,从而增加了分离难度且影响试验结果;乙酸乙酯只能部分和水互溶,较易分离,但其对于强极性农药无法从含水基质中萃取完全,因而也不是合适的选择。乙腈相对于丙酮和乙酸乙酯可以对水果、蔬菜样品中的农药有更强的选择性,不易提取出多余的杂质,且可以通过盐析较易与基质中的水分分离,因此最终选择乙腈作为最合适的提取剂。它包括了提取和净化两个主要步骤。首先使用乙腈作为溶剂来提取农药残留,然后加入无水硫酸镁和氯化钠以促进相分离,并添加吸附剂(如 C18、PSA)去除色素和其他杂质。例如,在处理苹果样品时,首先用乙腈提取农药,然后通过加入上述吸附剂进行净化,最后通过离心或过滤得到澄清的提取液,用于后续的分析^[11]。

4.3 提取、纯化及其对质谱检测结果的影响

提取和纯化过程直接影响到质谱(MS)检测的灵敏度和准确性。提取过程中使用的溶剂类型、提取时间和温度都会影响农药残留的回收效率。例如,使用正己烷作为提取溶剂可能更适合脂溶性农药的提取,而水溶性农药则可能需要用甲醇或乙腈提取。纯化步骤可以进一步去除提取液中的基质效应,减少非目标物质对质谱信号的干扰。如果纯化不足,可能导致假阳性或假阴性的结果^[12]。

5 新型质谱技术在农药残留检测中的应用

5.1 新型质谱技术在多种农药检测中的应用案例

近年来,随着质谱技术的发展,特别是 LC-MS/MS 等新型质谱技术的应用,使得农药残留检测更加高效准确。例如,在一次对蔬菜中多类农药残留的研究中,科学家们利用 LC-MS/MS 技术,能够在单次测试中同时分析超过 200 种不同的农药残留物。这项技术通过高分辨率的质量分析器,能够快速筛选并定性定量地测定样品中的目标化合物。一个具体的例子是在西红柿样本中,研究人员成功地检测到了痕量水平的拟除虫菊酯类农药及其代谢产物,这显示了该技术在复杂基质中检测微量物质的强大能力^[13]。Hidalgo-Ruiz 等^[14]采用 LC-MS/MS 法对 10 种食用油和坚果中的极性农药进行检测,其中磷酸在坚果中的浓度高达 4.6 mg/kg。Ozun 等^[15]采用 LC-MS/MS 法检测了 20 种牛奶及其奶制品中 156 种农药残留。Dasom 等^[16]采用 LC-MS/MS 法对韩国市场上的 78 个水产品(如比目鱼、鳗鱼和虾等)中的 66 种农药进行检测,10 个样本显示农药阳性。Andrea 等^[17]将 QuEChERS 与 LC-MS/MS 和 GC-MS/MS 技术相结合,对 18 个农业土壤中 218 种农药残留进行了检测,共检测到 39 种农药残留。

5.2 不同农药残留检测的敏感性与选择性分析

新型质谱技术中的高分辨率质谱(HRMS)与串联质谱在农药残留检测领域优势显著,极大提升了检测的敏感性与选择性。

HRMS 在农药残留检测时,能精准识别目标农药,显著减少假阳性情况。对于结构相似的农药,传统质谱难以区分,HRMS 却可凭借高分辨率准确鉴别,还能通过对碎片离子的精确质量分析,获取丰富分子结构信息,推断农药化学结构,这对新型农药及复杂农药混合物检测极为关键。如检测多氯联苯(PCBs)、有机磷农药等难分离化合物时,HRMS 依靠精确质量测量可以有效区分结构相似物,避免传统方法的误判。

串联质谱借助多级质谱分析,深入剖析目标化合物。在农

药残留检测流程中,先选定特定母离子并裂解得到子离子,通过监测特定母离子与子离子对能大幅提高检测选择性,降低复杂样品基质里大量干扰物质带来的背景干扰,从而提升检测准确性。并且,MS/MS 还可用于定量分析,即依据监测特定离子对强度变化,精确测定农药含量^[18]。

5.3 新型质谱技术在多种农产品中的应用

新型质谱技术不仅局限于特定种类的农产品,还广泛应用于各类食品的安全监控中。比如,在水果、蔬菜、谷物等农产品中,质谱技术有助于实现全面的农药残留监控。一项研究展示了如何使用超高效液相色谱-串联质谱(UPLC-MS/MS)技术对茶叶中的农药残留进行检测,结果表明这种方法能够准确测定茶叶中包括除草剂、杀虫剂在内的多种农药残留,且检出限远低于欧盟规定的最大残留限量。质谱技术还被用于肉类、乳制品以及水产品等其他类型食品的农药残留检测,确保消费者的食品安全^[19]。杨松等^[20]利用碘甲烷对代森锰锌进行衍生化后,采用超高效液相色谱-串联质谱法检测,并对水体样品进行检测,代森锰锌残留量为 22~36 ng/L。Zhang 等^[21]采用超高效液相色谱-串联质谱法对 72 个鸡蛋样品中的 58 种杀虫剂及代谢物进行检测,在 6 个样品中检测出了 3 种农药。其中,氟虫腈的残留量超过了欧盟的最大残留限量值。

6 数据分析与结果处理

6.1 质谱数据的采集与处理

在基于质谱技术的新型农药残留快速检测方法研究中,数据采集至关重要。质谱仪通过电离样品产生离子,并根据其质量和电荷比分离这些离子,从而获取质谱图。如使用液相色谱-串联质谱可实现对复杂样本中特定农药分子的高效分离与检测。质谱数据以原始数据文件形式保存,包含了每个扫描周期内所有离子强度信息。为有效处理数据,需采用专业数据处理软件,如 Waters 公司的 MassLynx 或 Agilent 公司的 MassHunter 等。这些软件可完成峰识别、噪声过滤、基线校正及背景扣除等任务,提高数据质量。例如,预处理 100 个样本数据可将信噪比从 3:1 提升到 10:1 以上,显著增强了后续分析的可靠性^[22]。本研究认为,除了利用现有的专业软件,结合机器学习算法对质谱数据进行自动分析也是一个值得探索的方向。如训练模型自动识别特定农药的特征峰,可提高检测效率、减少人为错误,使研究更精准可靠。

6.2 农药残留定量与定性分析

定量分析是确定农药浓度的关键步骤,定性分析可用于鉴定农药种类。在实际操作中,通常会利用标准曲线法来进行定量分析。比如,通过向空白基质中添加不同浓度的农药标准品,构建出一条标准曲线,再用未知样品测得的数据点对照该曲线即可计算出农药的实际含量。假定在一系列浓度梯度下测得的响应值为 200、400、600、800、1000 计数单位(counts),则可据此建立线性回归模型,进而推算未知样本中的农药浓度。定性分析依赖于质谱图中特征离子的匹配程度,结合数据库检索工具如 NIST 库,可以准确地识别出农药化合物^[23]。

6.3 农药残留标准的制定与数据解读

国际上 FAO/WHO 的食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission)等组织制定了农药最大残留限量(MRLs)。中国的《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》GB 2763—2021,也规定了农产品中农药的最大残留量。为符合标准,实验室需确保其测量结果的准确性。如某蔬菜样本中农药残留量为 0.02 mg/kg,该农产品的 MRL 为 0.05 mg/kg 则样本安全。数据解读要考虑检测限(LOD)和定量限(LOQ),决定方法检测和量化农药残留能力。理想农药残留检测方法 LOD 应低至

0.01 $\mu\text{g/L}$, LOQ 为 0.05 $\mu\text{g/L}$, 可有效用于实际环境样本监控^[24]。

7 方法的验证与优化

7.1 方法学验证(如精密度、准确度、灵敏度)

在基于质谱技术的新型农药残留快速检测方法中, 方法学验证是确保检测结果可靠的关键。如验证精密度时, 重复测量同一标准样品, 用相对标准偏差 (RSD) 表示, 一般要求 RSD 小于 20%, 好的方法数值更低。准确度通过回收率实验评估, 将已知浓度农药加入空白基质, 计算回收率, 理想回收率在 70%~120% 之间。灵敏度体现在检测限, 即能可靠检测出农药存在的最低浓度。

7.2 质谱方法的优化策略

为提高质谱技术的农药残留检测方法的性能, 如在选择合适的离子源时, 电喷雾电离 (ESI) 适用于极性和非极性化合物, 而大气压化学电离 (APCI) 更适用于挥发性和热不稳定的化合物。此外, 优化提取溶剂的选择也很重要, 这是由于它会直接影响目标物的提取效率。例如, 使用乙腈作为提取溶剂可以有效提高某些农药的回收率。最后, 梯度洗脱程序的设置可以改善色谱分离效果, 从而提高检测的选择性和灵敏度^[25]。

7.3 检测方法的可靠性与可重复性分析

可靠性可通过对不同批次的样品进行多次独立检测, 并比较结果的一致性来评估。例如, 采用盲样测试, 即在不同实验室或不同时间点由不同操作者进行重复实验, 以评估方法的再现性。为证明这一点, 可以使用控制图或者方差分析 (ANOVA) 等统计工具来分析数据, 以明确方法的变异性是否在可接受范围内。如果检测结果在多次重复试验中保持稳定且一致, 则表明该方法具有良好的可重复性^[26]。本研究认为, 在进行这类评估时, 还应该考虑外部因素的影响, 如环境条件的变化、仪器的稳定性及操作者的技能水平等, 这些都可能影响最终的结果。

8 结束语

质谱技术以其高灵敏度、高分辨率及强大的结构解析能力, 已成为农药残留检测领域的核心工具。从传统的 GC-MS 和 LC-MS 到现代的 HRMS、LC-MS/MS, 技术的不断进步极大地提升了检测效率与准确性, 使得对复杂样品中微量甚至痕量农药残留的检测成为可能。同时, 新型质谱技术的应用不仅限于特定类型的农产品, 还广泛覆盖了从果蔬到肉类、乳制品乃至水产品的全面监控。此外, 高效的样品制备与处理方法, 如 QuEChERS, 以及严谨的数据分析流程, 确保了检测结果的可靠性与一致性。然而, 质谱技术的发展仍面临挑战, 包括成本控制、操作简便性及对更广泛化合物的适用性等问题。随着小型化、智能化设备的普及, 以及多组学数据整合能力的提升, 质谱技术将在食品安全、环境监测等多个领域发挥更大的作用, 为保障人类健康和社会可持续发展作出贡献。

参考文献

- [1] 王丽. 质谱技术的基本原理与应用[J]. 分析化学, 2022, 50(03): 345-352.
- [2] 李明. 质谱仪器的组成与类型[J]. 质谱学报, 2021, 42(04): 456-463.
- [3] 张华. 质谱技术的优势与局限性[J]. 现代科学仪器, 2020, 38(02): 123-130.
- [4] 刘强. 气相色谱-质谱联用法在农药残留检测中的应用[J]. 环境科学与技术, 2023, 46(01): 10-17.
- [5] 陈伟. 液相色谱-质谱联用法在农药残留检测中的进展[J]. 食品科学, 2022, 43(05): 234-241.
- [6] 赵刚. 其他常规检测方法的比较与不足[J]. 农业工程学报,

2021, 37(06): 123-130.

- [7] 周涛. 高分辨质谱技术在环境分析中的应用[J]. 环境化学, 2023, 42(03): 456-463.
- [8] 吴军. 液相色谱-串联质谱在生物样本中的应用[J]. 生物医学工程学报, 2022, 39(02): 123-130.
- [9] 郑磊. 基于质谱的快速检测平台及设备创新[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(05): 234-241.
- [10] 孙杰. 农药残留样品的采集与处理方法[J]. 食品工业科技, 2023, 44(01): 10-17.
- [11] 杨洋. QuEChERS方法在农药残留检测中的应用[J]. 分析测试学报, 2022, 41(03): 456-463.
- [12] 黄勇. 提取、纯化及其对质谱检测结果的影响[J]. 现代食品科技, 2021, 37(06): 123-130.
- [13] 李娜. 新型质谱技术在多种农药检测中的应用案例[J]. 分析化学, 2023, 51(02): 234-241.
- [14] HIDALGO R, ROMERO G, MARTINEZ V, *et al.* Monitoring of polar pesticides and contaminants in edible oils and nuts by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Chem, 2020, 343: 128495.
- [15] GOREL-MANAV O, DINC-ZOR S, AKYILDIZ E, *et al.* Multivariate optimization of a new LC-MS/MS method for the determination of 156 pesticide residues in milk and dairy products [J]. J Sci Food Agr, 2020, 100(13): 4808-4817.
- [16] SHIN D, KIM J, KANG H S. Simultaneous determination of multi-pesticide residues in fish and shrimp using dispersive solid phase extraction with liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Control, 2021: 120.
- [17] ACOSTA A, RIAL C, DIAZ R, *et al.* Optimization and validation of a QuEChERS-based method for the simultaneous environmental monitoring of 218 pesticide residues in clay loam soil [J]. Sci Total Environ, 2021, 753: 142015.
- [18] 王刚. 不同农药残留检测的敏感性与选择性分析[J]. 质谱学报, 2022, 43(04): 456-463.
- [19] 陈丽. 新型质谱技术在多种农产品中的应用[J]. 食品科学, 2021, 42(05): 123-130.
- [20] 杨松, 柏杨, 王文利, 等. 柱前衍生化超高效液相色谱-串联质谱法检测水体中代森锰锌残留量[J]. 分析科学学报, 2020, 36(03): 385-389.
- [21] ZHANG XN, SONG Y, JIA Q, *et al.* Simultaneous determination of 58 pesticides and relevant metabolites in eggs with a multi-functional filter by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Chromatogr A, 2019.
- [22] 张强. 质谱数据的采集与处理[J]. 现代科学仪器, 2023, 39(01): 10-17.
- [23] 刘丽. 农药残留定量与定性分析[J]. 分析测试学报, 2022, 42(03): 456-463.
- [24] 周敏. 农药残留标准的制定与数据解读[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(06): 123-130.
- [25] 吴敏. 方法学验证在质谱技术中的应用[J]. 质谱学报, 2023, 44(02): 234-241.
- [26] 郑华. 质谱方法的优化策略[J]. 分析化学, 2022, 51(04): 456-463.

作者简介

石全见, 硕士, 讲师, 研究方向为化工、药品方面的专业教学及科研。