气质联用法在食品农残检测中的应用

叶菁菁
第一师阿拉尔市食品药品检验所　新疆省阿拉尔市　843300

【摘　要】食品中农药残留问题直接关系到人体健康与食品安全，精准高效的检测技术是保障食品安全的重要支撑。气质联用法（GC-MS）凭借高分离能力、高灵敏度及强定性能力等优势，在食品农残检测中得到广泛应用。本文围绕气质联用法展开研究，分析其应用于食品农残检测的关键要点，进而探讨该技术在食品农残检测中的未来发展趋势，为食品农残检测工作提供参考。

【关键词】气质联用法；食品；农残检测

Application of Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) in the Detection of Pesticide Residues in Food

Ye Jingjing
Alar City Food and Drug Inspection Institute, Alar City, Xinjiang Province　843300

【Abstract】The issue of pesticide residues in food directly impacts human health and food safety; therefore, precise and efficient detection technologies serve as a crucial support for ensuring food safety. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), owing to its advantages such as high separation capability, high sensitivity, and strong qualitative analysis capacity, is widely employed in the detection of pesticide residues in food. This paper focuses on GC-MS, analyzes the key considerations for its application in the detection of pesticide residues in food, and further explores the future development trends of this technology in this field, providing a reference for pesticide residue detection practices.

【Key words】气质联用法；Food；Pesticide residue detection

引言

随着农业现代化的推进，农药在农作物种植中被广泛使用，以提高产量、防治病虫害。农药的不合理使用会导致食品中出现农药残留，农药残留超标的食品被人食用，大剂量的摄入可致急性中毒，出现如引发呕吐、抽搐等症状，而小剂量的长期摄入又会在体内出现累积效应，对人体肝、肾脏等器官造成损伤，影响免疫系统、内分泌系统等，甚至增加致癌风险，对人体健康造成严重的危害。因此，农药残留的严格检测是非常重要且必要的。气质联用法结合了气相色谱的高效分离能力与质谱的准确鉴定能力，能够实现对多种农药残留的同时分离与定性定量分析，成为食品农残检测领域的重要技术手段。深入研究气质联用法在食品农残检测中的应用，明确其技术要点与发展方向，对于提升食品农残检测水平、保障食品安全具有重要意义。

1 气质联用仪技术概述

在现代化学检测领域，气质联用仪是分析复杂有机化合物的重要设备，能把气相色谱和质谱这两种技术串联起来，前者负责分离混合物，后者用于鉴定和测量物质，两者的结合有助于提升检测的准确性和效率。气相色谱部分的核心是色谱柱，在检测时，样品先被加热变成气体，在载气推动下进入色谱柱。由于不同化合物和色谱柱内固定材料的吸附、溶解能力不同，它们在柱内移动速度有快有慢，停留时间也不同。在这样的前提下，原本混合在一起的化合物被逐一分开，以气态形式按顺序流出，进入质谱部分继续检测。而质谱系统由离子源、质量分析器和离子检测器组成，离子源就像“转换器”，通过电子轰击或化学电离等方式，将进入的有机分子变成带电离子。这些离子进入质量分析器以后，由于各自的质荷比（质量和电荷的比值）不同，在电磁场作用下会沿着不同的轨迹运动，从而实现分离。

2 气质联用仪的优点

气质联用仪把气相色谱和质谱两种技术结合在一起，成为食品检测的重要工具。气相色谱的核心是色谱柱，能利用柱内固定材料和流动气体的相互作用，将食品中混合的各种化合物分开。质谱则通过将化合物变成带电离子，再根据离子的质量和电荷比例进行分析，来准确判断化合物的分子结构。气质联用技术通过协同作用既可以高效分离复杂化合物，又可以鉴定物质成分。在检测食品中的有害物质时，食品本身复杂的成分会带来很大挑战，食品中除了蛋白质、脂肪、糖类这些主要成分外，还有色素、香料等其他物质，这

些成分会干扰对有害物质的检测。特别是色素，容易和有害物质一起在检测过程中被洗脱出来，造成检测图谱上的峰重叠，导致很难准确判断有害物质的种类和含量。在这样的情况下，气质联用仪的优势则显现出来。与单独使用气相色谱或液相色谱相比，气质联用仪在分离化合物以后，质谱能提供详细的分子结构信息，可以解决仅靠出峰时间相似难以确定物质种类的问题。与液质联用技术相比，气质联用仪利用物质在气态下挥发性的差异进行分离，对于那些在高温下性质稳定的化合物来说，分离效果更好，能更清晰地把不同物质区分开，从而实现更准确的检测。

3 气质联用法应用于食品农残检测中的要点

3.1 样品前处理要点

食品样品基质复杂，含有蛋白质、脂肪、碳水化合物、色素等多种干扰物质，这些物质不仅会影响气相色谱的分离效果，还可能污染质谱检测器，导致检测灵敏度下降或出现假阳性结果。因此，样品前处理是气质联用法检测食品农残过程中至关重要的环节，其主要目的是去除基质干扰、浓缩目标农药残留。

样品采集与制备方面，需要保证样品的代表性和均匀性。根据检测对象的不同，按照相关标准规范进行采样，如采集蔬菜样品时，应从不同部位、不同植株上采集，避免采集单一部位或受损样品。采集后的样品需及时进行处理，去除蔬菜的根、烂叶等杂质，并进行匀浆或粉碎处理。对于易变质的样品，需在低温条件下保存，防止农药残留因样品变质而发生变化。

提取方法的选择与优化是样品前处理的核心。常用的提取方法有溶剂萃取法、固相萃取法（SPE）方法等。溶剂萃取法是利用目标农药残留与基质在有机溶剂中溶解度的差异进行提取，常用的有机溶剂有乙腈、乙酸乙酯、正己烷等。在选择溶剂时，需考虑目标农药的极性，如对于极性较强的有机磷类农药，可选择乙腈作为提取溶剂；对于极性较弱的有机氯类农药，正己烷或乙酸乙酯更为合适。同时，可通过振荡、超声、微波辅助等方式提高提取效率，超声提取通过超声波的空化作用加速溶剂对样品基质的渗透，促进目标组分的溶出，适用于多种食品样品的处理。

净化环节旨在去除提取液中的干扰物质。固相萃取法是常用的净化方法，其利用目标组分与干扰物质在固相萃取柱固定相上保留行为的差异实现分离。根据目标农药的性质选择合适的固相萃取柱，如检测酸性农药时可选择阳离子交换柱，检测碱性农药时选择阴离子交换柱，检测非极性农药时选择 C18 反相柱等。在操作过程中，需注意活化、上样、淋洗和洗脱等步骤的参数控制，活化步骤需用适当的溶剂湿润固定相，确保其保持良好的吸附性能；淋洗步骤需选择合适的淋洗剂和体积，在不洗脱目标组分的前提下尽可能去除干扰物质；洗脱步骤则需选择强洗脱能力的溶剂，确保目标组分完全洗脱。

浓缩步骤需避免目标农药的损失。常用的浓缩方法有旋转蒸发、氮吹浓缩等。旋转蒸发适用于大量样品的浓缩，操作时需控制水浴温度和真空度，温度过高可能导致易挥发农药的损失，对于沸点较低的农药，需将水浴温度控制在 30–40℃。氮吹浓缩适用于小体积样品的浓缩，通过氮气吹扫使溶剂挥发，操作时需控制氮气流量，流量过大可能导致样品飞溅，同时需避免样品完全蒸干，可保留少量溶剂后进行定容。

3.2 标准溶液配制要点

标准溶液是气质联用法定量分析食品中农药残留的基础，其浓度的准确性直接影响检测结果的可靠性，在配制过程中需注意以下要点：

标准品的选择与储存方面，应选择纯度高、稳定性好的有证标准品，确保标准品的质量符合检测要求。标准品通常分为固体标准品和液体标准品，固体标准品需在干燥、避光的条件下储存；液体标准品若为有机溶剂溶液，需密封后置于低温环境中储存，避免溶剂挥发和标准品分解。在使用标准品前，需检查标准品的外观和有效期，若发现标准品出现结晶、变色等异常情况，应停止使用。

储备液的配制需保证浓度准确。对于固体标准品，需采用精密天平（精度不低于 0.1mg）准确称量，称量过程中需避免标准品的吸湿和损失，可在干燥器中进行称量。将称量好的标准品置于容量瓶中，加入适量的有机溶剂，通过超声或振荡使其完全溶解，然后定容至刻度，摇匀后得到储备液。储备液的浓度通常较高，可在低温条件下储存，储存时间根据标准品的稳定性确定，每次使用前需摇匀。中间液和工作液的配制需采用逐级稀释的方法，避免直接稀释导致的浓度误差。根据检测需求，将储备液用有机溶剂稀释成中间液，再将中间液稀释成不同浓度的工作液，用于绘制标准曲线。配制好的工作液应现用现配，若需短期储存，需置于低温避光环境中，并在规定时间内使用。

标准溶液的稳定性需进行验证。由于农药标准品可能会因光照、温度、储存时间等因素发生分解，需定期对标准溶液的浓度进行核查。同时，在配制标准溶液过程中，需做好记录，包括标准品的批号、称量量、稀释步骤、配制日期等，以便追溯。

3.3 检测离子选择要点

在气质联用法检测食品农残过程中，检测离子的选择直接影响检测的灵敏度和特异性。通过选择合适的特征离子，可有效排除基质干扰，提高对目标农药残留的定性定量准确性。

特征离子的选择需基于目标农药的质谱图。每种农药在

质谱离子源中电离后会产生多种离子，包括分子离子峰和碎片离子峰。分子离子峰是农药分子失去一个电子形成的离子峰，其质荷比等于农药的相对分子质量，可作为定性分析的重要依据，但部分农药的分子离子峰强度较弱，甚至难以检测到。

食品基质中的某些成分可能会影响目标农药离子的电离效率，导致离子强度增强或减弱，即基质效应。基质效应可能会使检测结果出现偏差，因此在选择检测离子时，需结合实际样品基质进行优化。可通过比较纯溶剂标准溶液与基质匹配标准溶液中目标农药的质谱图，选择受基质效应影响较小的离子作为检测离子。

此外，需注意避免离子干扰。当样品中存在与目标农药具有相同质荷比离子的干扰物质时，会影响检测结果的准确性。在选择检测离子时，需通过查阅相关文献或标准方法，了解可能存在的干扰物质及其特征离子，选择目标农药特有的、干扰较少的离子作为检测离子。若存在无法避免的干扰，可通过优化气相色谱分离条件，使目标农药与干扰物质在色谱上实现分离，再结合离子选择进行检测。

4 气质联用法应用于食品农残检测中的未来趋势

4.1 检测技术的发展趋势

随着食品农残检测要求的不断提高，气质联用法将向更高灵敏度、更高选择性和更快速的方向发展。高分辨率质谱（HRMS）与气相色谱的联用（GC–HRMS）将成为重要的发展方向之一。高分辨率质谱具有更高的质量精度和分辨率，能够准确区分质荷比相近的离子，有效降低背景干扰，提高对低浓度农药残留的检测能力。例如，在检测复杂基质食品中痕量农药残留时，GC–HRMS 可通过精确质量数筛选目标离子，减少假阳性结果的出现，满足日益严格的农残限量标准要求。

多维气相色谱与质谱的联用也将得到更广泛的应用。多维气相色谱通过将两根不同固定相的色谱柱串联，实现对复杂样品的二维分离，大幅提高了分离能力，能够解决传统一维气相色谱中难以分离的共流出物问题，可实现对更多种类农药残留的同时检测，尤其适用于复杂基质食品中多组分农残的检测，未来在高通量农残筛查中具有广阔的应用前景。

此外，小型化、便携化的气质联用设备将逐步发展。随着微型化技术的发展，小型化气相色谱与小型化质谱的联用设备将不断涌现，这类设备具有体积小、重量轻、功耗低等特点，可实现对食品样品的现场快速检测，如在农产品批发市场、超市等场所对食品进行实时农残筛查，及时发现问题食品，提高食品安全监管的效率。

4.2 数据处理的改进与优化

随着气质联用法检测的农药种类不断增多，产生的检测数据量也日益庞大，对数据处理的效率和准确性提出了更高要求，数据处理技术的改进与优化将成为未来发展的重要趋势。

智能化数据处理软件的开发与应用是关键方向。基于机器学习、人工智能等技术的数据分析软件将逐渐应用于食品农残检测的数据处理中。这类软件可实现对质谱图的自动解析，通过比对标准质谱库和建立的模型，自动识别目标农药残留，减少人工解析的工作量和误差。同时，软件可对检测数据进行统计分析，如对不同批次样品的农残含量进行趋势分析，预测农残污染的变化规律，为食品安全风险评估提供数据支持。

数据库和谱库的完善也至关重要。建立更全面、更准确的农药残留标准质谱数据库，构建食品农残检测数据库，整合不同地区、不同种类食品的农残检测数据，实现数据的共享与利用，有助于相关部门掌握食品农残污染的整体情况，制定更有效的监管措施。此外，数据可视化技术将得到进一步发展。通过数据可视化软件将检测数据以图表、热力图等形式直观展示，可帮助检测人员更清晰地了解样品中农残的种类和含量分布情况，快速发现异常数据。

结束语

当前，气质联用法已广泛应用于食品安全监测体系，可有效应对食品复杂基质带来的干扰问题，确保检测的准确性和稳定性。未来，随着食品包装材料和工艺的持续演化，检测技术亦需同步迭代，提升智能化水平。气质联用技术的持续完善将为推动我国食品安全检测体系现代化建设提供坚实支撑。

参考文献

[1]钟学远. 气质联用法测定土壤中 8 种有机氯农药方法探究[J].广州化工,2024,52(13):90–92.
[2]林培渲. 气相色谱–质谱联用法在食品检测中的应用分析[J].中外食品工业,2024,(13):84–86.
[3]徐欢,刘双龙. 气质联用法在食品农药残留检测中的应用[J].食品安全导刊,2024,(18):144–146.
[4]张军忠. 基于气质联用法的农产品农残检测实验分析[J].品牌与标准化,2024,(04):7–9.
[5]邢倩倩,刘振民,洪青,等. 气相色谱—质谱联用技术在食品分析方面的应用进展[J].食品与机械,2023,39(06):234–240.