

保健食品农药残留检测方法研究现状与展望

牟英迪¹, 曲艳^{2*}

(1. 济南市食品药品检验检测中心, 济南 250100; 2. 烟台市蓬莱区疾病预防控制中心, 烟台 265600)

摘要: 当前, 保健食品中的农药残留问题备受关注, 农药残留对健康构成潜在威胁, 这推动了行业对检测手段的需求。本文重点分析了高效液相色谱法 (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)、气相色谱法 (Gas Chromatography, GC)、液相色谱-质谱联用法 (Liquid Chromatograph-Mass Spectrometry, LC-MS) 等常用检测方法的特点, 并且探讨了免疫检测、光谱法、电化学传感器等新兴技术的应用, 综合评估了不同方法的适用性及检测成本, 为行业选择有效的检测手段提供参考。

关键词: 保健食品; 农药残留; 检测方法; 质量控制

0 引言

当前随着保健食品市场的快速增长, 其安全性和农药残留问题受到了高度关注。作为以天然原料为主的食品类别, 保健食品在种植、加工过程中不可避免地接触农药残留, 导致潜在健康风险。检测技术的发展为保障食品安全提供了重要支持, 文章旨在通过深入分析当前主要检测方法及其在保健食品中的应用状况, 总结不同检测技术的优势, 探讨基于行业需求的最佳检测策略, 这对于推动保健食品行业的健康发展具有重要意义。

1 保健食品中农药残留的现状概述

近年来, 随着消费者对健康和营养的关注日益增强, 保健食品市场需求迅速增长。然而, 作为以天然成分和功效为核心的食品类别, 保健食品中农药残留问题引发了广泛关注。农药残留的存在不仅威胁消费者的健康, 还会直接影响保健食品的质量与市场声誉。深入分析农药残留的来源及其在保健食品中的检出情况和趋势, 成为保障食品安全的重要课题。保健食品中的农药残留主要源于三个方面。一是原料来源问题。保健食品通常以植物、草药或其他天然成分为主要原料, 这些原料在栽培过程中往往会接触各种农药, 如杀虫剂、除草剂等, 以防治病虫害, 确保产量与外观质量。二是生产过程中的污染。从收获到最终加工成保健食品的过程中, 原料容易受到外部环境

或加工机械设备的二次污染, 增加了农药残留的风险。三是环境污染。土壤、水源及空气中的农药残留, 会通过自然沉积过程进入植物体内, 导致不可避免的农药累积^[1]。

农药残留对健康的影响具有多样性和复杂性。长期摄入含有农药残留的食品, 会对人体多系统产生慢性毒害, 如肝肾损害、神经系统障碍等, 甚至具有致癌、致畸、致突变的风险。因此, 控制农药残留对于保障消费者的身体健康至关重要, 特别是对于那些以健康需求为目标的保健食品消费者而言, 其安全性要求更为严格。随着检测技术的进步, 保健食品中农药残留的检测变得更为精准和快速。近年来, 检测手段的多样化和标准化程度的提升, 使得市场监管部门能够有效发现和控制在农药残留超标的情况^[2]。与此同时, 公众对于食品安全的关注, 促使检测频率和检测项目不断增加, 相关法律法规也日趋完善, 这一趋势将进一步带动保健食品行业的自律性, 保障消费者对健康食品的信任。

2 农药残留检测对保健食品行业的积极影响

2.1 促进行业生产和质量控制提升

农药残留检测技术的进步, 为保健食品行业的生产和质量控制带来了重要推动力。精确化和多样化的检测手段, 使行业能更好地管控产品质量, 并通过技术创新优化生产流程, 从而提升生产效率和质量可靠性。农药残留检测技术在此过程中的广泛应用已成为企业保障产品安全性、提高市场竞争力的重要

第一作者: 牟英迪, 主任药师, 研究方向为食品药品检验。

* 通信作者: 曲艳, 主管护师, 研究方向为疾病防控。E-mail: quy19820218@163.com

支撑。农药残留检测技术在生产流程中的应用, 促使企业不断优化原料选用和种植管理^[3]。例如, 通过精准的残留检测, 企业可以选用符合高标准的无污染或低污染原料, 降低农药残留风险。种植管理上, 农药残留检测技术推动了绿色种植。企业可根据检测结果优化种植方案, 如减少农药使用量、采用生物防治手段等, 从而在种植阶段就降低农药残留风险。在加工流程上, 农药残留检测技术具有监督和提升作用。加工过程中的各环节, 如清洗、提取、混合等, 都有引入或放大农药残留的风险^[4]。现代检测技术可以精准监测这些流程中的农药残留情况, 为工艺改进提供数据支撑。例如, 企业可以通过分析不同工艺环节的检测数据, 及时发现隐患并采取必要措施优化工艺, 以减少或消除残留污染源。另外, 农药残留检测的广泛应用, 同样促使行业在质量管理上日趋规范化。在质量控制体系中, 检测技术的介入保障了产品的最终合格性, 实现了从原料采购到成品出厂的全程质量追溯。严格的检测流程为企业树立了高标准的质量意识, 使其在每一生产环节都能做到精细化管理, 确保消费者能够获得安全可靠的保健食品^[5]。

2.2 加强市场监管与消费信心

农药残留检测的标准化, 对保健食品行业的市场监管起到了极大的促进作用。检测标准化的逐步完善, 提高了行业透明度, 为监管机构提供了科学依据, 以便实施有效监督。通过统一标准衡量农药残留安全性, 行业各方能够在同一尺度上衡量安全性, 有助于避免标准差异产生的质量参差不齐的问题。标准化体系的建立, 使得保健食品的生产、加工、销售全过程得以在严格的监管框架下进行, 从而有效减少了农药残留超标现象, 同时提高了企业的合规意识, 推动行业朝向规范化方向发展^[6]。另外, 严格的检测与标识制度在提升消费者信心方面发挥了关键作用。近年来, 消费者对食品安全日益重视, 对农药残留等潜在风险的担忧也不断加剧。为消除这些疑虑, 保健食品行业逐渐建立起严格的检测制度, 使得产品在流通前需要通过严格的残留检测, 从源头上控制农药残留的风险, 这表明企业对产品安全的高度重视, 并进一步赢得消费者的信任^[7]。标识制度的完善使得消费者能够更透明地了解产品的安全性, 通过清晰的标签信息了解产品是否通过了农药残留检测, 这有效增加了信息透明度, 使消费者在选择保健食品时更加放心^[8]。严格的标识制度还承担了普及食品安全知识的责任, 通过向消费者展示产品检测结果可以在潜移默化中提升消费者的安全意识, 使他们对食品的质量和和安全要求更加严苛。这种双向信任的建立有助于提高市场对保健食品的认知度和认可度, 推动整个行业的

诚信经营, 形成了良性的市场循环。

3 保健食品中农药残留的主要检测方法与展望

3.1 常见的农药残留检测方法

一些检测方法凭借其高灵敏度、稳定性和适用范围, 已广泛应用于保健食品中农药残留的精确检测, 满足了行业多样性和准确性的需求。常见的农药残留检测方法包括以下方面。

第一, 高效液相色谱法(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)。基本原理是利用液相流动相将样品成分通过色谱柱进行分离, 然后在检测器中识别和量化各成分。其应用优势在于适用于检测中高极性和不易挥发的农药残留, 如有机磷类和氨基甲酸酯类农药, 且具有较高的灵敏度和分辨率, 能在复杂基质中准确识别低浓度的目标物^[9]。HPLC的特点之一是重现性较好, 能够提供稳定的数据, 适合保健食品的质量控制和批量检测。相较于其他色谱方法, 样品前处理相对简单, 特别适用于水溶性或较极性的化合物检测。同时, 定量精确性较高, 能够根据保健食品中微量残留的要求, 检测到微克甚至纳克级别的浓度, 确保检测的精细度和可靠性。HPLC也存在不足之处, 对一些低极性或挥发性强的农药检测效果较差, 因此在检测项目中需与其他检测方法联用^[10]。HPLC在农药残留限量检测、食品安全风险评估和标准制定中发挥了重要作用, 在实际操作中, 可以与其他技术(如样品前处理和光谱法)结合, 进一步提升检测效率和适用范围。

第二, 气相色谱法(Gas Chromatography, GC)及气相色谱-质谱联用法(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)。这是检测挥发性和半挥发性农药残留的主要方法。GC通过将样品气化, 使其在气相流动相中进行分离, 尤其适合分析低极性且热稳定的农药, 比如有机氯类和有机磷类农药。GC的高分辨率和分离效率使其能在复杂样品中实现精确的定量分析, 满足对残留水平较低的农药成分检测需求^[11]。GC为食品安全检测提供了高效、准确的分析工具, 尤其在多组分农药筛查和定量分析中表现卓越, 其快速分析能力支持大规模检测需求。GC-MS将气相色谱的分离功能与质谱的定性优势相结合, 极大提高了检测的准确性和灵敏度。它可以通过质谱分析获得各成分的特征离子峰, 提供可靠的定性信息, 适用于多种成分的同时分析。例如, 在多农药检测中, GC-MS可一次性识别和定量多种残留物, 提高了检测效率和数据的可靠性。此外, 这种方法的选择性较高, 有助于在复杂基质中识别出低浓度的目标农药, 尤其在成分多样的样品中尤为有效^[12]。

第三, 液相色谱-质谱联用法(Liquid Chromatography-Mass

Spectrometry, LC-MS)。LC-MS 结合了液相色谱的分离功能和质谱的定性分析优势, 特别适用于高极性、非挥发性和热不稳定的农药成分检测。LC-MS 的优势在于其对多农药的快速、高效分析, 通过多反应监测模式, 能够同时检测多种目标化合物, 适合于多农药的批量筛查和定量分析。它的灵敏度高, 可检测到纳克甚至皮克级别的浓度, 满足了保健食品中微量残留的严格检测要求。其还能减少样品前处理过程中的损耗, 从而提高检测的重现性和准确性。这种联用技术在保健食品检测中尤为重要, 因为该领域要求高灵敏度和低检出限, 以保障消费者的健康。

3.2 新兴的农药残留检测技术

近年来, 随着保健食品行业对农药残留快速检测需求的增加, 新兴检测技术逐步涌现, 为农药残留的高效检测提供了更多选择。这些技术不仅提高了检测的灵敏度和准确度, 还在便捷性和实时性上具备独特优势。下面介绍几种新兴检测技术。

第一, 免疫检测技术。酶联免疫吸附法因其高灵敏度、快速检测的特性, 在保健食品农药残留检测中具有重要应用。利用抗原-抗体特异性结合原理, 将目标农药分子与特异性抗体结合, 再通过酶促反应产生显色或荧光信号, 实现农药残留的检测和定量。由于抗体与农药分子间的高特异性, 能够在较低浓度下精确检测到特定类型的农药, 适合检测常见的有机磷类和氨基甲酸酯类等农药^[13]。这种技术的检测速度快, 操作简便, 无需复杂的仪器设备, 特别适合现场和大样本筛查。检测过程通常仅需几十分钟, 即可得出较为可靠的初步结果, 能有效减少实验室检测的工作量和时间成本, 为保健食品生产和流通环节中的快速检测提供了便捷手段。目前, 在保健食品行业中, 酶联免疫吸附法作为一种高效、经济的快速检测方法, 已成为初步筛查农药残留的主流选择。其便捷性和较高的灵敏度, 使得生产商能够在早期检测阶段控制产品质量, 确保食品安全, 为消费者提供健康可靠的保健食品^[14]。建议将免疫检测作为初筛工具, 与色谱法(如 HPLC 或 GC)结合, 用于确证和定量分析, 确保结果的准确性。

第二, 光谱法。光谱法主要包括红外光谱和拉曼光谱, 已在农药残留检测中展现出重要应用, 尤其因其高灵敏度和非破坏性特点而备受关注。红外光谱通过分析样品分子对不同波长红外光的吸收特性来识别化学成分。农药分子中具有特定官能团, 这些基团在红外光下会吸收特定波长的光, 从而产生独特的光谱特征^[15]。此方法适用于快速识别复杂样品中的农药残留, 且不需对样品进行过多前处理。拉曼光谱基于分子振动产生的散射光特征, 用于检测样品的分子结构。拉曼光谱对于化

学基质复杂的样品, 能够快速、准确地识别, 并定量分析目标农药成分。其优势在于即使在水溶性样品中也能进行检测, 使其在保健食品检测中具有广泛适应性。红外和拉曼光谱法的共同优势在于其快速检测能力, 且检测过程非破坏性, 不会破坏样品结构。近年来, 便携式光谱仪的发展, 使这些方法更适用于现场检测, 进一步增强了其在农药残留筛查中的实际应用潜力。综合考虑检测效率、成本和准确性, 推荐结合多种光谱法, 实现快速、精准的食品农药残留分析。

第三, 电化学传感器和纳米技术。电化学传感器与纳米技术的结合, 为农药残留检测带来了创新性进展, 尤其在提高检测灵敏度和便携性方面展现出巨大潜力。电化学传感器通过检测农药分子在电极表面发生的氧化还原反应, 生成电化学信号, 从而实现定量分析^[16]。此类传感器检测速度快、操作简单、成本低廉, 适合在现场条件下进行即时检测。然而, 传统电化学传感器在微量农药检测时灵敏度受限, 这为纳米技术的引入提供了良好契机。纳米材料的高比表面积和独特的表面性质, 使其在传感器中表现出优异的信号放大效果。通过将纳米颗粒、纳米管或纳米片等材料修饰在电极表面, 电化学传感器的检测灵敏度和选择性能够得到显著提升。例如, 纳米金、纳米银等材料的加入, 不仅可以增强电极与农药分子之间的相互作用, 还能提供更丰富的活性位点, 使传感器对目标农药分子表现出更高的响应强度和更低的检测限。电化学传感器与纳米技术的结合, 在保健食品农药残留检测中具有实用性强、应用广泛的优势。这种技术能够在复杂基质中进行精确检测, 即使在低浓度的情况下也可靠, 特别适用于多残留农药的快速筛查。纳米技术的加入, 使传感器小型化、便携化成为可能, 便于在现场应用。此类传感器不需要复杂的操作步骤, 也不依赖大型设备, 极大地提高了检测效率, 适合快速监测需求^[17]。

在保健食品的农药残留检测中, 检测方法的选择需综合考虑检测成本、灵敏度及样品处理要求等因素, 从而确保检测的准确性和效率。高效液相色谱法(HPLC)和液相色谱-质谱联用法(LC-MS)适合检测极性较高或非挥发性农药, 具有较高的灵敏度, 但样品前处理相对复杂, 成本较高, 适用于对精确性要求高的检测。气相色谱法(GC)及气相色谱-质谱联用法(GC-MS)在挥发性农药检测中具备显著优势, 灵敏度高且选择性好, 但设备成本较高, 适合用于实验室内的全面检测^[18]。相比之下, 免疫检测技术和电化学传感器操作简便、成本较低, 适用于快速筛查, 尤其在现场和流通环节能有效发挥作用。光谱法适合于复杂基质中的多成分分析, 前处理需求少, 但设备昂贵, 适用于高精度分析需求。根据保健食品的种

类和成分特点,检测方法的选择应遵循多样性与适用性相结合的原则^[19]。对于植物提取物类保健食品,HPLC和LC-MS较适用,因为这类成分中含有较多极性成分;对于含油类保健食品,GC和GC-MS因其对低极性物质的适应性较好,能满足高灵敏度需求。对于快速检测和批量筛查需求,ELISA和便携式电化学传感器提供了可靠选择^[20]。对于成分复杂的食品,建议结合多种传感器技术进行联合检测,以提升检测的准确度。同时,应加强对操作人员的培训,提升他们对食品的检测能力。此外,还应衡量检测成本、灵敏度,针对不同的需求灵活选择检测技术。

4 结束语

保健食品中农药残留的有效检测是保障食品安全的重要环节。不同检测方法各有优势,新兴技术的加入提高了检测效率与灵敏度。通过采取合理选择检测手段,保健食品行业能够实现更高质量的控制。这些措施不仅增强了产品的安全性与消费者的信心,而且为保健食品行业的长远发展奠定了坚实的基础。

参考文献

- [1] 梁谋,江志杰,李强,等.保健食品抽样工作分析与建议[J].食品安全导刊,2021,(07):48-49.
- [2] 赵德胜.农产品检测技术的质量安全控制[J].甘肃农业,2020,(10):95-96,101.
- [3] 王军,张倩,曹盟盟.农产品质量安全控制与农药残留检测技术[J].江西农业,2022,(12):66-68.
- [4] 倬华珍,李晶,张琦,等.果蔬农产品农药残留快速检测技术的有效应用进展[J].吉林蔬菜,2023,(02):111-112.
- [5] 周明洁,刘妍.农产品农药残留检测技术探讨[J].中国食品工业,2023,(19):69-71.
- [6] 祝愿,李俊,赖飞,等.农产品中农药残留快速检测技术研究进展[J].现代食品,2023,29(11):85-89.
- [7] 盖梦.农产品农药残留检测技术的运用探讨[J].中国食品工业,2023,(17):77-79.
- [8] 耿熠博,袁利杰,王祥,等.QuEChERS-UPLC-MS/MS同时测定植物源保健食品中15种农药残留[J].食品工业,2023,44(03):304-311.
- [9] 莫世清.气相色谱质谱联用食品检验探析[J].工业微生物,2023,53(02):67-69.
- [10] 关辉.运用信息化技术提升食品药品检验检测的时效性[J].自然科学,2023,(11):165-168.
- [11] 刘静,闫晗.药品质量检测技术中注射剂质量检测技术浅析[J].医药卫生,2021,(05):214,216.
- [12] 程鑫,程华.HPLC-电化学检测法测定美沙拉秦的成分[J].质量安全与检验检测,2021,31(02):37-38,50.
- [13] 石峰,王维剑.药品食品特征组分检测及监管关键技术体系构建与应用[J].中国科技成果,2022,23(08):9-9.
- [14] 傅小红.食品农药残留检测中的样品前处理技术研究[J].食品安全导刊,2022,(29):156-158.
- [15] 邓晓雨,刘庆,王爱丽.食品检测中农药残留的检测技术分析[J].食品安全导刊,2022,(34):4-6.
- [16] 殷艳.气-质联用技术在食品农药残留检测中的运用[J].食品安全导刊,2022,(26):187-189.
- [17] 张申平,周静,杜茹芸,等.高分辨质谱在食品农药残留检测中的研究进展[J].分析测试学报,2023,42(04):502-509.
- [18] 孟祥云,耿瑞肖.分析气相色谱-质谱法在食品药品安全检测中的应用[J].医药卫生,2022,(08):219-222.
- [19] 乔永飞,王馨翊,冯涛,等.人参农药残留的检测方法及去除技术研究进展[J].食品安全质量检测学报,2023,14(24):140-151.
- [20] 陈德勇.基于多维分析技术的贝母特征识别及农药残留检测方法开发[D].新疆维吾尔自治区:塔里木大学,2022.