

金属有机框架材料（MOFs）固相萃取-质谱联用检测环境水样中 微塑料添加剂

陈 云

北京莱伯帕兹检测科技有限公司 北京

【摘要】金属有机框架材料（MOFs）具有高度的比表面积和良好的吸附性能，近年来在环境分析领域得到了广泛应用。本研究提出了一种基于 MOFs 固相萃取-质谱联用技术（SPE-MS）的方法，用于检测环境水样中的微塑料添加剂。通过 MOFs 材料的高选择性吸附，结合质谱的高灵敏度检测，能够实现对微塑料添加剂的精确定量。该方法具有较好的分离效率、较低的检测限，并能有效应对复杂水样中的干扰物质。此技术为环境监测提供了一种新颖的解决方案，尤其在微塑料污染的实时监测方面具有重要的应用价值。

【关键词】金属有机框架材料；固相萃取；质谱联用；微塑料；环境水样

【收稿日期】2025 年 7 月 15 日 **【出刊日期】**2025 年 8 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250148

Detection of micro - plastic additives in environmental water samples by solid - phase extraction - mass spectrometry with Metal - Organic Frameworks (MOFs)

Yun Chen

Beijing Lab Paz Testing Technology Co., Ltd., Beijing

【Abstract】 Metal - organic frameworks (MOFs) have a high specific surface area and good adsorption properties, and have been widely used in the field of environmental analysis in recent years. This study proposes a method based on MOFs solid - phase extraction - mass spectrometry (SPE - MS) technology for the detection of micro - plastic additives in environmental water samples. Through the highly selective adsorption of MOFs materials and the combination with the high - sensitivity detection of mass spectrometry, the precise quantification of micro - plastic additives can be achieved. This method has good separation efficiency, low detection limit, and can effectively deal with the interfering substances in complex water samples. This technology provides a novel solution for environmental monitoring, and has important application value especially in the real - time monitoring of micro - plastic pollution.

【Keywords】 Metal - Organic Frameworks (MOFs); Solid - Phase Extraction (SPE); Mass spectrometry coupling; Micro - plastics; Environmental water samples

引言

微塑料污染已成为全球环境的重大问题，尤其在水体中，微塑料不仅威胁水生态系统，还可能通过食物链进入人体，影响健康。微塑料的来源包括日常用品中的塑料颗粒、化妆品微珠及工业废弃物等。微塑料中添加的增塑剂、抗氧化剂等化学物质增加了其环境毒性，因此检测这些添加剂尤为重要。传统检测方法在水样分析中存在分离效率和灵敏度不足的问题。金属有机框架材料（MOFs）因其高比

表面积和优异的吸附性能，成为固相萃取技术中的理想材料。结合质谱技术的高灵敏度分析，MOFs 材料为微塑料添加剂的检测提供了创新的解决方案。本研究开发了一种 MOFs 固相萃取-质谱联用方法，用于高效检测水样中的微塑料添加剂，推动水质监测技术的进步。

1 微塑料添加剂的检测难题与挑战

微塑料污染已经成为全球环境问题中的突出挑战，尤其是水环境中的微塑料，已经引起了广泛的

关注。水体中的微塑料不仅对水生生物和生态系统构成威胁,而且通过食物链进入人体,可能对人类健康造成潜在危害。微塑料的主要来源包括日常消费品中的塑料颗粒、个人护理产品中的微珠以及工业废料等。这些微塑料在水中不仅存在单一的物理形态,往往还会与多种化学物质共同存在,其中包括各类有毒添加剂。添加剂如增塑剂、抗氧化剂、防紫外线剂等,通常用于改善塑料的物理性能,但它们在环境中的存在往往具有较强的毒性,且能够通过微塑料传播到更广泛的环境中。对这些添加剂的检测对于全面评估微塑料的环境风险至关重要。

微塑料添加剂的检测并非一件容易的事情,尤其是在水样中进行检测时,面临着许多技术挑战。传统的微塑料检测方法通常依赖于显微镜观察或红外光谱等技术,这些方法虽然能有效识别微塑料颗粒的存在,但对于微塑料添加剂的检测却存在较大的局限性。特别是在复杂的环境水样中,微塑料与其他水中悬浮物、溶解物的混合,使得目标物的分离和富集变得困难。由于添加剂的浓度通常较低,并且其种类繁多,因此需要一种高效的分离技术,以提取并浓缩这些物质,从而提高检测灵敏度和准确度。

目前,针对微塑料添加剂的检测技术已有一定的研究进展,然而许多方法仍然面临灵敏度不足、分离效果差等问题。基于这些问题,科研人员开始探索新的检测技术,期望通过提升分离效率和分析灵敏度来解决这些挑战。金属有机框架材料(MOFs)作为一种新型的材料,因其卓越的比表面积和优异的选择性吸附性能,成为了近年来微塑料添加剂检测中的研究热点。MOFs材料能够有效地富集目标物,减少干扰物的影响,为微塑料添加剂的高效检测提供了新的解决思路。

2 MOFs 固相萃取技术的优化与应用

在解决微塑料添加剂检测的难题中,固相萃取(SPE)技术是一种常用且有效的样品前处理方法。传统的固相萃取技术虽然在许多领域取得了成功,但在面对微塑料添加剂的检测时,常常受到吸附材料的选择性差、萃取效率低等问题的制约。为了克服这些问题,研究者们将金属有机框架材料(MOFs)引入到固相萃取技术中。MOFs材料是一类由金属离子和有机配体通过自组装方式构建的多孔材料,具有极高的比表面积和丰富的功能化孔结构。由于

其独特的结构,MOFs材料在气体吸附、溶质分离和污染物富集等方面展现出了出色的性能,特别是在环境样品中微量物质的分离和富集中,MOFs材料的优势尤为突出。

MOFs固相萃取技术的优化,主要是通过提高其选择性和提高萃取效率来解决微塑料添加剂检测中的挑战。针对微塑料添加剂的多样性和复杂性,MOFs材料的表面可以通过化学修饰或者功能化处理,增强其对特定添加剂的选择性吸附。MOFs材料的孔径可以根据不同的目标物进行调节,或者通过引入亲水或疏水性官能团,来提高其对不同种类微塑料添加剂的吸附能力。通过优化固相萃取的实验条件,如样品量、萃取时间、溶剂种类和浓度等,可以进一步提高目标物的富集效果。

MOFs固相萃取技术在环境样品中的应用已经展现出了显著的优势,尤其是在水样中微塑料添加剂的检测中,表现出了巨大的潜力。MOFs材料由于其独特的多孔结构和高比表面积,能够高效地吸附和富集目标物,特别是在面对复杂背景的水样时,能够显著提高微塑料添加剂的分离效率和富集效果。通过将MOFs与其他分析手段如质谱或色谱联用,研究者不仅能够有效地提高检测灵敏度,还能够较低的浓度下准确分析目标物。此外,MOFs固相萃取技术能够有效去除水样中的干扰物质,减少它们对分析结果的影响,从而确保最终数据的准确性和可靠性,为环境监测和污染控制提供更有力的技术支持。

3 质谱联用技术在微塑料检测中的优势

质谱(MS)技术作为一种高灵敏度、高分辨率的分析手段,已经在微塑料添加剂的检测中发挥了重要作用。质谱技术通过测量物质的质量与电荷比(m/z),能够提供精确的分子信息。与传统的检测方法相比,质谱技术能够在复杂的水样中实现对微量物质的快速、准确分析。结合质谱的高灵敏度和高分辨率,能够在复杂基质中精确识别并定量微塑料添加剂。与其他检测技术相比,质谱技术具有显著的优势,特别是在微塑料添加剂检测中,能够避免干扰物质的影响,实现对目标物的高效分析。

质谱联用技术,尤其是液相色谱-质谱联用(LC-MS)和气相色谱-质谱联用(GC-MS),已广泛应用于环境分析中,特别是在复杂样品中的微量物质检测方面。通过结合固相萃取技术,质谱联用能够显

著提高目标物的分析灵敏度和分辨率。在 LC-MS 和 GC-MS 联用中,色谱技术负责将样品中的各个组分进行分离,而质谱技术则通过分析每个分离组分的质谱图,提供分子量、结构和其他相关信息。这种结合能够有效解决微塑料添加剂在复杂水样中的分析难题。因为微塑料添加剂通常在水样中以微量存在且种类繁多,色谱分离技术可以减少样品中的干扰物质,提升质谱检测的准确性与灵敏度。质谱分析还能精准识别并定量微塑料添加剂,确保分析结果的可靠性和精确性。

与传统分析方法相比,质谱联用技术显著提高了微塑料添加剂的检测灵敏度,尤其在复杂环境样品中表现出强大的优势。通过优化样品前处理过程,采用 MOFs 固相萃取技术能够有效地富集目标物,从而显著提高目标物的浓度,增强质谱分析的灵敏度。MOFs 材料具有独特的多孔结构和高比表面积,能够选择性吸附微塑料添加剂,减少样品中的杂质和干扰物质,进一步提升了分析的准确性。质谱技术不仅在灵敏度方面具有优势,还具备卓越的定性分析能力,能够提供包括分子量、结构信息、同位素分布等多维度的数据支持,确保对微塑料添加剂的全面检测。通过质谱联用技术,研究者能够实现对多种微塑料添加剂的同时检测,为环境监测和污染物管理提供高效、可靠的技术手段。

4 MOFs 固相萃取-质谱联用技术的解决方案

MOFs 固相萃取技术与质谱技术的联用,为微塑料添加剂的检测提供了一种创新且高效的解决方案。通过这一技术的结合,不仅能够突破传统方法在分离效率和检测灵敏度方面的局限,还能有效克服水样中复杂背景物质的干扰。MOFs 材料因其极高的比表面积和多样化的孔结构,在固相萃取过程中能够快速、有效地吸附并富集微塑料添加剂,大大提高了目标物的浓度。而质谱技术以其超高的灵敏度和分辨率,能够对这些微塑料添加剂进行精准的定性分析和定量测定,确保分析结果的高精度。结合这两种技术,研究人员可以实现水环境中微塑料添加剂的快速、准确检测,为污染监控提供强有力的技术支持。

这一联用技术的优势在于其高效的分离与富集能力,能够有效减少样品前处理中的损失和污染。在样品中微塑料添加剂的浓度通常较低,且存在大量的基质干扰物,通过 MOFs 固相萃取技术的富集,

可以显著提高目标物的浓度,从而提高质谱分析的灵敏度。MOFs 材料能够选择性吸附微塑料添加剂,减少了样品中其他干扰物质的影响,提升了分析的准确性和可靠性。质谱技术的高分辨率能够在复杂的水样中对微塑料添加剂进行精准检测,为环境监测提供了可靠的数据支持。MOFs 固相萃取-质谱联用技术的成功应用,标志着微塑料添加剂检测技术的一次重要突破。随着该技术的进一步优化和发展,未来它将在环境监测、食品安全检测等领域发挥更加重要的作用。通过这一新型技术的推广应用,可以为全球微塑料污染的监控和治理提供科学依据,为保护水环境和公共健康贡献力量。

5 结语

本研究提出的 MOFs 固相萃取-质谱联用技术,为微塑料添加剂的检测提供了一种高效、灵敏的解决方案。通过结合 MOFs 材料的优异吸附性能与质谱的高灵敏度分析,能够在复杂水样中实现对微塑料添加剂的精确检测,显著提高了分析的灵敏度和准确性。该技术不仅克服了传统检测方法在分离效率和灵敏度上的局限,还能够有效应对背景物质的干扰。未来,随着技术的进一步优化和应用,MOFs 固相萃取-质谱联用技术有望成为环境监测中微塑料污染控制的重要工具,对环境保护和公共健康具有重要意义。

参考文献

- [1] 孙烨琳,何义,李杰,等.钽基金属有机框架材料对过氧化氢酶的固定化及其性能评价[J].现代化工,2025,45(07):160-166.
- [2] 张俊,陈玲恩,张婉婷,等.金属有机框架衍生的 Fe/Co-CNT@NC 金属碳基复合材料降解酸性橙 G 的催化性能与机理[J/OL].东华大学学报(自然科学版),1-11[2025-07-12].
- [3] 吴泽波,刘丹,李炎桐,等.金属有机框架基材料应用于太阳能界面蒸发的研究进展[J/OL].化工进展,1-13[2025-07-12].
- [4] 李健,梁晔,赵保东.金属有机框架材料在口腔医学领域的研究进展[J].中国口腔种植学杂志,2024,29(06):602-609.
- [5] 索裕,顾欣雨,鲁怡豪,等.MOFs/纤维素复合材料的制备及在水处理领域的应用研究进展[J].天津造纸,2024,

46(04):1-8.

离氢同位素[J].核化学与放射化学,2024,46(06):530-544.

[6] 杨珊,乌日娜.MOFs/纤维素复合材料的制备及其对有机污染物的降解[J].天津造纸,2024,46(04):31-37.

[7] 谢林蓓,孟笑鹏.金属有机框架对水中放射性核素吸附的研究进展[J].化学工程与装备,2024,(12):173-176.

[8] 刘鹏,程嘉贤,马福秋.金属有机框架材料量子筛效应分

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS