

环形离子淌度技术在环境样品中针对全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)的非靶向分析应用

Sarah Dowd, Kari L. Organtini, Frank L Dorman

Waters Corporation

摘要

全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)是一组合成化合物，已被确定为一类受到高度关注的环境污染物。随着关于使用和生产传统PFAS的新法规出台，业界出现了PFAS的替代化合物。此外，PFAS污染的修复工作可能也会产生新的含氟化合物。使用串联四极杆质谱的靶向分析方法在监管方法中发挥着重要作用，但针对的传统和新型PFAS种类相对较少。非靶向分析(NTA)结合高分辨率质谱是用于发现和鉴定新型PFAS的一种强大的补充技术。本研究使用SELECT SERIES™ Cyclic™ IMS质谱仪，将HRMS与液相色谱和离子淌度分离技术相结合，能够在复杂环境样品中检出更多特征。本应用纪要中介绍的工作流程利用软件工具可靠地鉴定了环境水样中的已知PFAS，并发现了一系列之前未报告的PFAS。

优势

- 基于精确质量数、保留时间、预期碎片离子和碰撞截面(CCS)可靠地鉴定复杂基质中的已知PFAS
 - 利用针对PFAS的独特化学性质而设计的基于IMS的筛选条件发现新型PFAS
 - 通过结合离子淌度分离进行额外的谱图比对，改善已知和未知化合物的结构表征
-

简介

全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)是工业用品和消费品中一组常用的化合物，以疏水性和不粘特性著称。PFAS的化学结构为碳骨架和多个氟原子。强大的碳-氟键使这些化合物不易降解，并因此被称为“永久性化学品”。PFAS由于可能会对健康造成不利影响，而受到越来越多的关注。全氟辛酸(PFOA)和全氟辛烷磺酸(PFOS)这两种问题突出的PFAS已在全球大部分地区被禁止使用和生产。随着人们对某些PFAS潜在健康风险的认识不断加深，预计将出台更为广泛的禁令。为了应对相关法规，化学品制造商通过采用不同链长的化合物或替代官能团，试图在保留PFAS优势的同时减少潜在的健康风险。

据估算，目前已制造或使用的PFAS种类超过一万种（如果根据不同的PFAS定义，这一数字甚至可能高达七百万）¹⁻²。虽然靶向技术能够检出这些低浓度化合物，但目前能够检测的靶标数量有限。即使是美国的最新方法：EPA方法1633和ASTM D8421，其靶标列表中也分别只有40种和44种PFAS，而这仅占可能存在于环境样品中的PFAS种类的一小部分³⁻⁴。采用高分辨率质谱(HRMS)的非靶向分析(NTA)是一种强大的技术，可用于检测和鉴定样品中的已知和新型PFAS⁵。

本应用纪要将SELECT SERIES Cyclic IMS质谱仪与ACQUITY™ UPLC™系统（配备PFAS解决方案方法包用于控制PFAS背景污染）联用，对环境样品进行NTA分析，检测和鉴定新型及非预期PFAS。离子淌度谱是一种基于离子大小、形状和电荷进行分离的气相分离技术。IMS的加入为复杂样品的NTA提供了额外的分离维度，并提高了系统的峰容量，因此具有重要优势。IMS漂移时间的测定可与碰撞截面（CCS，通常以Å为单位²）相关联，可作为与离子形状相关的额外鉴定指标⁶⁻⁷。SELECT SERIES Cyclic IMS平台的一大优势在于能够通过交互式软件控制自定义IMS分离过程。在本次分析中，IMS参数经过调整，以便在环形离子淌度装置的单圈循环中，为漂移时间较短的离子（如小分子和卤代化合物）获得理想的IMS分离效果。由于PFAS可能以低浓度存在于复杂样品中，因此采用数据非依赖型采集(HDMS^E)，以便在单次进样中获取尽可能多的信息。检出的峰先与内部HRMS PFAS谱库比对以进行鉴定。对于未鉴定的峰，根据其在离子淌度维度中检测到的漂移时间进行选择，并进一步审查。

实验

样品描述

环境样品此前已按照EPA方法1633进行制备和分析³。样品前处理的详细信息和靶向分析结果请参阅沃特世应用纪要720008118ZH。所有使用的标准品（目标分析物、提取内标和非提取内标）均购自Wellington Laboratories。在分析环境样品的同时，还分析了溶剂空白以及30种PFAS的混标（PFAC30PAR天然PFAS溶液

/混合物，购自Wellington Laboratories)。

本应用纪要中探讨的环境样品包括当地采集的地表水，以及美国中西部一家污水处理机构友情提供的进水和出水。

质谱条件

本次分析所用的系统包括配备PFAS解决方案方法包 (P/N: 176004548 <<https://www.waters.com/nextgen/global/shop/application-kits/176004548-pfas-solution-installation-kit-with-oasis-150mg-kit-1.html>>) 的ACQUITY UPLC I-Class Plus，以及SELECT SERIES Cyclic IMS质谱仪。LC分离采用Atlantis™ Premier BEH™ C₁₈ AX混合模式色谱柱作为隔离柱和分析柱。此前的研究已经证明，混合模式填料对PFAS分析具有优势，尤其适合检测短链化合物⁹。MS在负离子电喷雾模式下运行，质量数范围为 m/z 50–1200。数据采集通过HDMS^F完成，Cyclic IMS室采用单圈循环，传输室设置碰撞能量阶梯(10–40 eV)。

液相色谱条件

液相色谱系统:	ACQUITY UPLC I-Class PLUS，经PFAS方法包改良
样品瓶:	聚丙烯样品瓶和聚乙烯瓶盖 (P/N: 186005230)
隔离柱:	Atlantis™ Premier BEH C ₁₈ AX 2.5 μm, 2.1 x 50 mm (P/N: 186009390)
分析柱:	Atlantis Premier BEH C ₁₈ AX 1.7 μm, 2.1 x 100 mm (P/N: 186009368)
柱温:	35 °C
样品温度:	10 °C
进样体积:	25 μL
流速:	0.3 mL/min

流动相A: 2 mM乙酸铵水溶液

流动相B: 含0.1%(v/v)氢氧化铵的甲醇溶液

梯度表

时间 (min)	流速 (mL/min)	%A	%B	曲线
0	0.300	99	1	起始
2	0.300	99	1	6
3	0.300	75	25	6
8	0.300	50	50	6
15	0.300	15	85	6
16	0.300	0	100	6
20	0.300	0	100	6
20.1	0.300	100	0	6
23.5	0.300	100	0	6
24	0.300	99	1	6

质谱条件

质谱系统: SELECT SERIES Cyclic IMS

电离模式: ESI⁻

毛细管电压: 0.5 kV

锥孔电压: 10 V

采集模式: HDMS^E

采集范围: m/z 50-1200

碰撞能量：	低能量： 4 eV 高能量： 10-40 eV
质量分辨率：	V模式(60,000 FWHM)
IMS分辨率：	单圈，~65 FWHM
IMS TW静态高度：	15 V
IMS运行周期：	51.6 ms

数据管理

使用MassLynx™软件（版本：4.2）采集数据，并在waters_connect™平台的UNIFI™应用程序中（版本：3.2）处理数据。

用于筛查可疑物的已知PFAS数据库

环境样品中PFAS的检测基于与特定应用的UNIFI科学数据库进行比对，该科学数据库包含100多种化合物，用于筛查可疑的PFAS¹⁰。每个数据库条目都包含化合物名称、分子式、结构以及通过实验方式分析参比标准品得出的检测结果。在本研究过程中，我们更新了谱库中Wellington PFAC30PAR天然PFAS溶液/混合物中30种化合物的观测保留时间和CCS值。此外，还根据理论生成的PFAS谱库以及EPA CompTox PFAS结构列表对其他可疑PFAS进行了筛查^{2,10}。

结果与讨论

图1所示为本研究中采用的工作流程示意图。所述实验为定性实验，仅用于确定在三个样品中检出的PFAS。采用HDMS^F进行数据非依赖型采集，仅通过一次进样即可测量母离子和子离子的精确质量数，以及CCS值。在waters_connect的UNIFI应用程序中，利用基于IMS分析的精确质量数筛查方法处理数据。4D峰提取、高低CE能量数据的对齐，以及与目标谱库的比较均在该应用程序内自动完成。然后将检测到的峰分为两类：与靶标列表匹配的峰（已鉴定峰）和不匹配的峰（候选峰）。用于筛查可疑物的PFAS靶标列表包含之前使用HRMS分析过的大

约100种化合物¹⁰。检测到的与靶标列表不匹配的峰（候选峰）仍然完成了可用于数据库搜索的精确质量数测量、高低CE谱图对齐以及CCS测量。每次进样的候选物列表可能很多，因此需要进一步筛选以限制可能的PFAS鉴定列表。

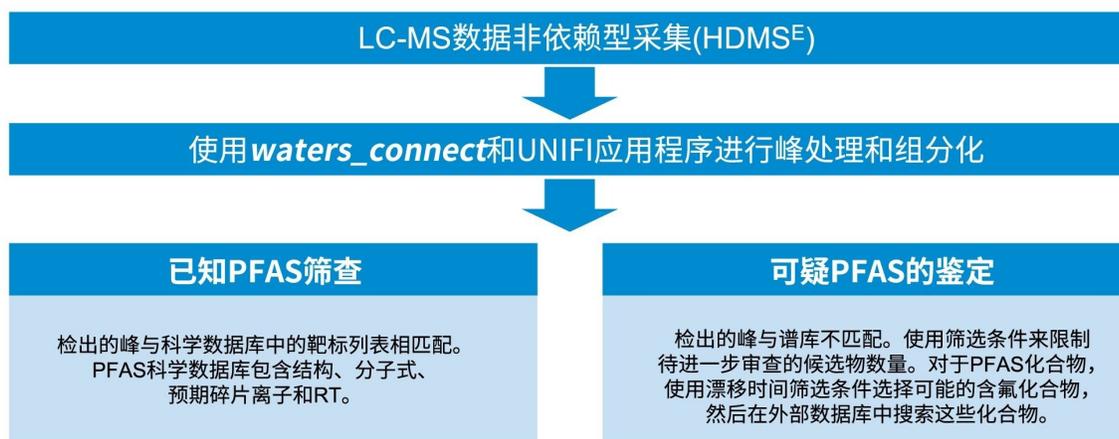


图1.使用LC-IMS-MS鉴定环境样品中PFAS的方法示意图

根据精确质量数(<5 ppm)、鉴定的碎片离子和RT误差来鉴定样品中的已知PFAS。此外，还将观测碰撞截面(CCS)值与PFAS标准品的实测CCS值比较，以确认鉴定结果。在Charbonnet等人建议的置信度标度中，这些化合物应列为1级或2a级¹¹。在水样中鉴定出多种传统PFAS，包括全氟烷基磺酸(PFSA)、全氟烷基羧酸(PFCA)和氟调聚物磺酸盐(FTS)。为便于报告，这些化合物在溶剂空白中要么未检出，要么其峰响应是空白进样中峰响应的三倍以上。图2显示了根据靶标列表在地表水样品中鉴定出的化合物。对于短链PFCA，由于去质子化离子通常难以观测，且没有较多特征碎片离子（两种短链PFCA：PFBA和PFPeA在靶向分析中通常只能监测一个MRM通道），因此可靠鉴定并非易事。使用LC-IMS-HRMS分析短链PFCA观察到的离子是脱羧离子 $[M-H-CO_2]^-$ ，是靶向分析中监测的碎片离子。在这些实验中，与确证标准品相比，CCS的额外鉴定特征提高了短链PFCA鉴定的可信度。例如，地表水样品中PFBA的鉴定基于检出的 $[M-H-CO_2]^-$ 离子，其精确质量数测量值为 m/z 168.9902（质量数误差为0.8 ma或4.7 ppm），保留时间误差为0.11 min，与PFBA标准品的实测CCS偏差为-0.35%。因此，PFBA鉴定结果中有三个鉴定指标与确证标准品相匹配。

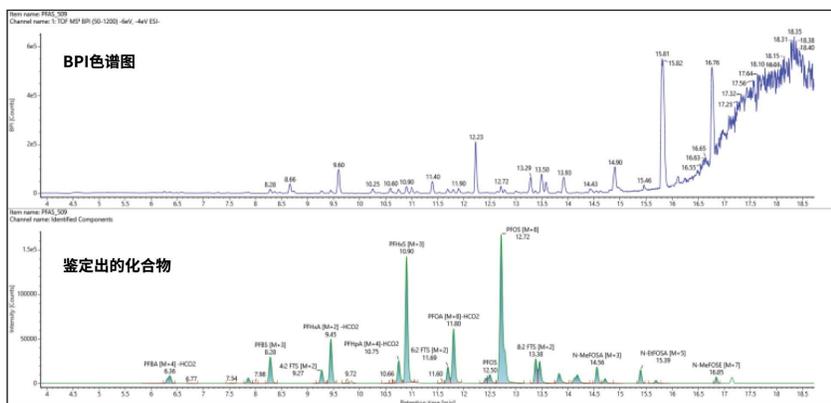


图2.基峰强度(BPI)色谱图(上图)与地表水样品中鉴定出的化合物(下图)对比

在NTA中使用离子淌度的优势之一在于,该技术可以对组分的保留时间和漂移时间进行对齐,从而净化谱图(图3)。使用HDMS^E时,在IMS分离之后,传输室中会发生CID碎裂,母离子和碎片离子的观测漂移时间相同。由于去除了色谱共洗脱但漂移时间不同的离子,低碰撞能量和高碰撞能量(CE)谱图变得更加清晰。这种谱图清晰度有助于解析未知化合物和确认已知目标化合物。

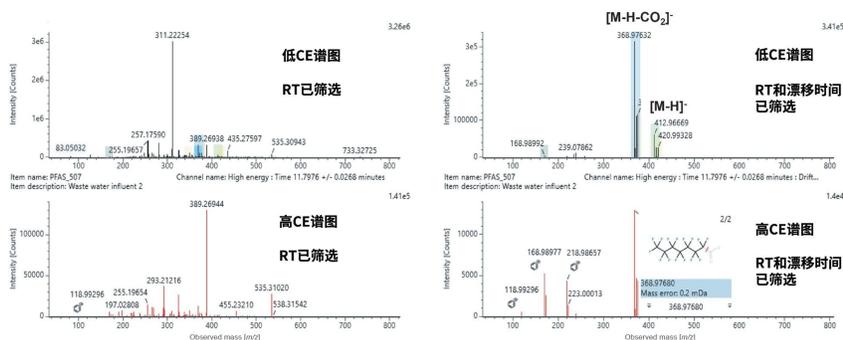


图3.废水进水样品中PFOA的低CE和高CE谱图。左图是仅对保留时间对齐的谱图,右图是经过保留时间和漂移时间对齐后更清晰的谱图。高CE谱图中的碎片离子可能与PFOA和同位素标记标准品有关。

除了之前发现的PFAS以外，我们还在废水样品中鉴定出未在EPA方法1633中列为靶标的化合物，包括：全氟丙烷磺酸(PFPrS)、全氟丁烷磺酰胺(FBSA)、全氟环己烷磺酸乙酯(PFeCHS)、6:2氟调聚物磷酸二酯(6:2 diPAP)和6:2/8:2氟调聚物磷酸二酯(6:2/8:2 diPAP)。图4显示了废水进水样品中6:2 diPAP的XIC和质谱图。6:2 diPAP的数据库条目中具有在高CE谱图中观察到的预期碎片离子，根据Charbonnet等人建议的置信度标度，其鉴定置信水平为2b（基于特征碎片离子证据推测）¹¹。

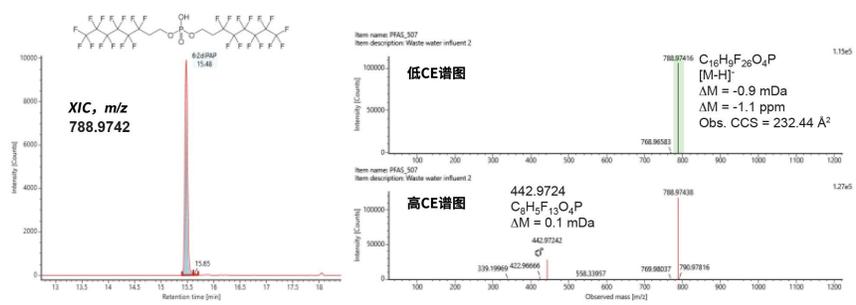


图4.6:2氟调聚物磷酸二酯(6:2 diPAP)的色谱图和质谱图，该化合物是在废水进水样品的已知PFAS筛查中发现的。HRMS PFAS谱库中的预期碎片离子与高CE谱图中的碎片离子相匹配。

非靶向筛查的挑战之一在于，如何在LC-MS色谱图中的数千个检出的特征中找出未知PFAS。以前用于查找含氟化合物的策略包括Kendrick质量数亏损图、共有碎片离子搜索和质量数亏损筛选。本研究使用离子淌度来筛选可能的含氟或卤代化合物。之前的研究已经证明，与m/z相近的非卤代有机分子相比，含有卤素（如氟）的化合物CCS值更小¹²⁻¹⁴。MacNeil等人证明，通过选择其观测m/z相对较小的离子，可以筛选出未知的PFAS化合物¹⁴。该研究采用了该策略，并通过GC-IMS-HRMS从参比物质NIST SRM 2585中鉴定出六种之前未报告的PFAS化合物。本研究采用类似的策略，按观测m/z和漂移时间筛选所检出的特征（图5）。利用UNIFI中的离子淌度数据查看器工具选择该漂移区域并创建筛选条件。

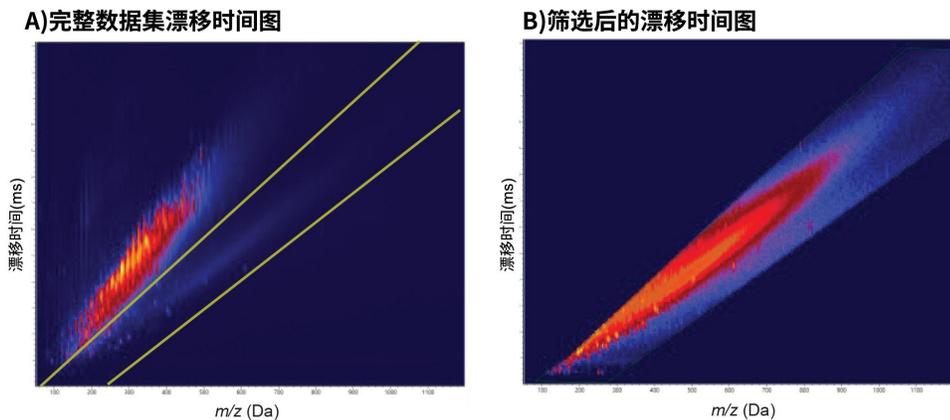


图5.上图：A)废水出水样品的完整数据集和B)筛选潜在PFAS化合物后的数据集（A图黄线内所示区域）的漂移时间-质荷比(m/z)图。下图：C)应用漂移时间和 m/z 筛选条件之前（上图）和之后（下图）废水出水样品的基峰强度色谱图比较。

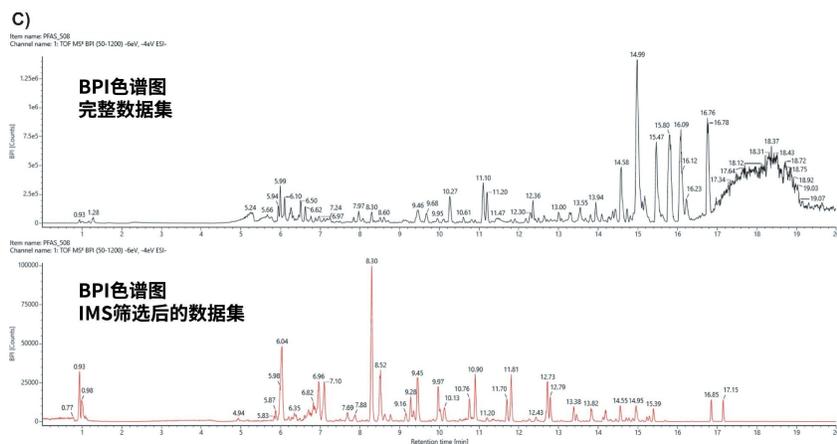


图5.上图：A)废水出水样品的完整数据集和B)筛选潜在PFAS化合物后的数据集（A图黄线内所示区域）的漂移时间-质荷比(m/z)图。下图：C)应用漂移时间和 m/z 筛选条件之前（上图）和之后（下图）废水出水样品的基峰强度色谱图比较。

在数据审查工作流程中，将漂移时间和 m/z 筛选条件应用于处理后的峰列表。图6显示了废水进水样品中通过筛选条件的候选物。通过将漂移时间和 m/z 筛选条件应用于

处理后的数据集，候选峰的数量从每次进样10,000多个未鉴定特征减少到300以下。候选物的数量还可以使用强度、质量数误差、共有碎片离子和同位素模式进行优化，以供进一步审查。尽管筛选条件的目的是找出含氟化合物，但某些卤代化合物也可能满足条件，其中许多候选化合物是氯化或溴化污染物。

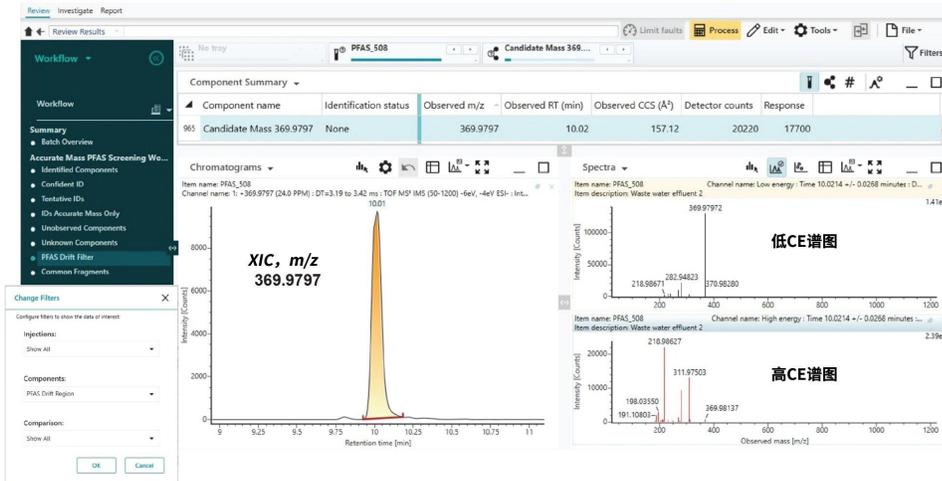


图6.使用漂移时间- m/z 筛选条件在废水进水样品中筛选出的候选化合物 (m/z 369.979, RT 10.01 min) 示例。低CE和高CE谱图按候选物的RT和漂移时间对齐，并用于通过UNIFI中的工具进行结构表征。

废水出水样品中通过漂移时间和 m/z 筛选条件的高强度候选物初步鉴定为N-甲基全氟丁烷磺酰氨基乙酸(MeFBSAA) (图7)。之前已在环境样品中检出该化合物¹⁵⁻¹⁶。该化合物的结构与已知PFAS N-甲基全氟辛烷磺酰氨基乙酸(N-MeFOSAA)相似，后者在EPA 1633和ASTM D8421的靶标列表中。MeFBSAA的高CE谱图包括与N-MeFOSAA的谱库谱图经历了相同中性丢失的碎片离子： $C_2H_3O_2$ 丢失、 $C_3H_6NO_2$ 丢失和 $C_3H_6NO_4S$ 丢失 (图8)。判定该候选物为MeFBSAA的置信度为2b级：基于特征碎片离子证据推测¹¹。虽然在两种废水样品中均检出MeFBSAA，但在出水样品中检出的峰面积高于在进水样品中检出的峰面积。

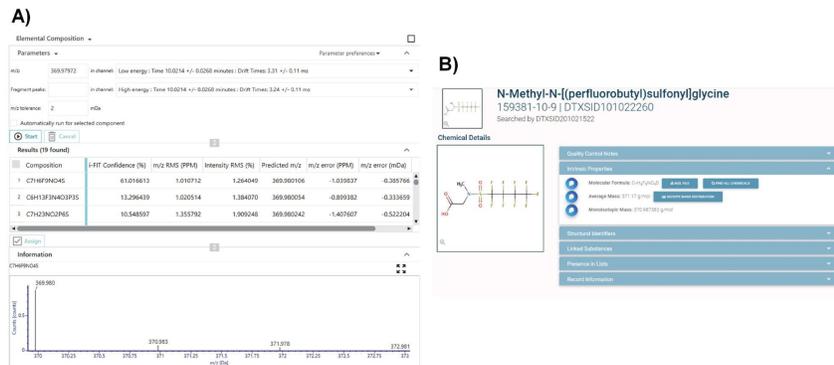


图7.A) m/z 369.9797处候选物的元素组成计算器结果。根据*i-FIT*置信度(使用同位素模式算法对每个分子式进行评分)，最佳拟合分子式为 $C_7H_6F_9NO_4S$ 。B) 由于该分子式与实验或理论PFAS谱库不匹配，因此在*CompTox Dashboard*上搜索该分子式是否可能存在PFAS结构。匹配分子式为N-甲基-N-[(全氟丁基)磺酰基]甘氨酸或N-甲基全氟丁烷磺酰氨基乙酸(*MeFBSAA*)。

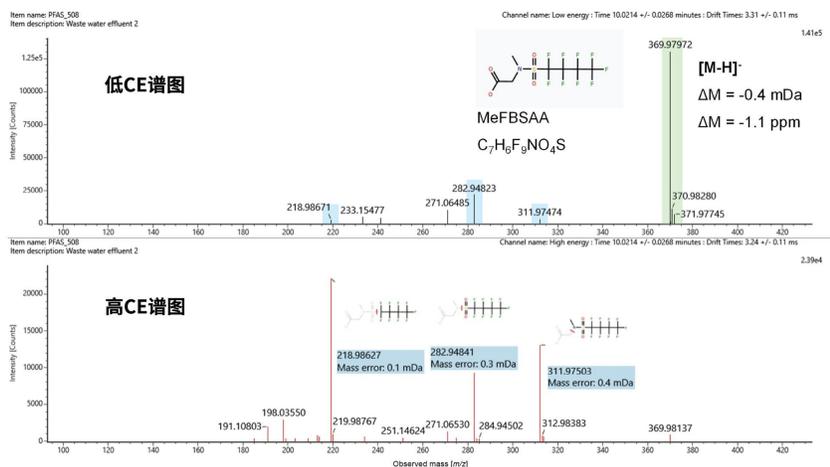


图8.样品中*MeFBSAA*的高CE和低CE谱图，图中标注了理论碎片离子。

进一步解析废水出水样品中检出的多卤代离子的离子淌度筛选后峰列表表明，还存在以下三种低浓度的其他相关化合物：N-甲基全氟丙烷磺酰氨基乙酸(*MeFPrSAA*)、N-

甲基全氟戊烷磺酰氨基乙酸(MeFPeSAA)和N-甲基全氟己烷磺酸酰胺乙酸(MeFHxSAA) (图9)。本系列鉴定出的化合物随着CF₂基团的增加,其RT和CCS也有所增加。这三种化合物鉴定结果的置信水平为2c: 基于特征同系物证据推测¹¹。之前的IMS研究已经阐述了如何为不同的PFAS分子亚类生成关联CCS和m/z的特有趋势线^{7, 13}。图9B是该系列化合物的观测CCS-m/z关系图,其中包括来自确证标准品的N-MeFOSAA的实测CCS。如图所示,随着CF₂重复序列数量增加,此关系呈线性,这有助于提高化合物鉴定的确定性。这条趋势线可用于预测具有相同头部基团的化合物(例如N-甲基全氟庚烷磺酰氨基乙酸(C₁₀H₆F₁₅NO₄S))的CCS,此前在这些样品中未观察到这些化合物

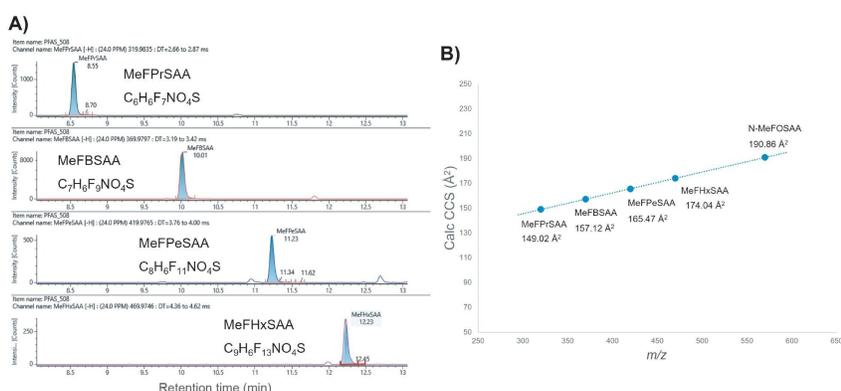


图9.A)在同一种废水出水样品中检出的一系列相关化合物 (MePrSAA、MeFBSAA、MePeSAA和MeFHxSAA) 的XIC。B)这些化合物和N-MeFOSAA (CCS值基于确证标准品确定) 的CCS计算值与m/z的关系图。

结论

使用HRMS对环境样品进行非靶向分析是检测和发现新型PFAS的一项重要技术。虽然PFAS的潜在数量很多且在不断增加,但确证标准品数量有限,因此需要能够获取丰富信息的分析方法进行化合物鉴定。仅根据m/z筛查PFAS可能导致鉴定结果不明确。离子淌度提供了额外的分离维度,并提供了CCS值,可增加PFAS特征分配的可信度。waters_connect软件中的精确质量数筛查工具能够在自动化工作流程中将环境样品中检出的峰指认为PFAS。要可靠地鉴定已知PFAS,需要借助精确质量数、保留时间误差、特征碎片离子和实测CCS等指标。

对于未知PFAS的发现和表征，由于这类化合物与其他具有相似 m/z 的化合物类别相比，具有明显的质量数/CCS趋势线，因此IMS带来了额外的优势。本研究基于观测峰漂移时间和 m/z 筛选检出峰，发现了环境样品中存在的多卤代物（即使其强度水平很低）。通过漂移时间对齐获得的谱图清晰度使理论碎片与推测结构匹配，如MeFBSAA所示。未知物的峰检测和对齐、筛选以及结构表征均在同一个数据处理软件解决方案中完成。由于许多PFAS的确证标准品难以找到，因此采用LC-IMS-HRMS生成的数据以及额外的CCS指标对推测结构的确定性有很大助益。

参考资料

1. Schymanski E, Zhang J, Thiessen P, Chirsir P, Kondic, T, Bolton, E. Per- and Polyfluoroalkyl substances (PFAS) in PubChem: 7 Million and Growing. *Environ.Sci.Technol.* 2023 57 (44): 16918–16928
2. US Environmental Protection Agency. *CompTox Chemicals Dashboard*. PFAS Structures in DSSTox (2022年8月更新) .<https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical-lists/PFASSTRUCTV5> <
<https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical-lists/PFASSTRUCTV5>>
3. US Environmental Protection Agency. Analysis of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Aqueous, Solid, Biosolids, and Tissue Samples by LC-MS/MS. January 2024
4. ASTM D8421–22, Standard Test Method for Determination of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Aqueous Matrices by Co-solvation followed by Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry (LC/MS/MS), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022, www.astm.org <
<http://www.astm.org/>>
5. Liu Y, D’ Agostino LA, Qu G, Jiang G, Martin JW. High-resolution mass spectrometry (HRMS) methods for non-target discovery and characterization of poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in environmental and human samples. *Trends Anal Chem* 2019, 115420
6. McCullagh M, Hodgkinson M, Dilllon L, van Bevel B, Burgess JA, Jogsten IE. 使用UPLC/带有离子淌度的质谱检测和鉴定环境样品中的全氟烷基和全氟烷基化合物(PFAS). 沃特世应用纪要, [720005090ZH](https://www.waters.com). 2014年6月.
7. Dodds JN, Hopkins ZR, Knappe DRU, Baker ES. Rapid Characterization of Per- and Polyfluoroalkyl substances (PFAS) by Ion Mobility Spectrometry-Mass Spectrometry (IMS-MS). *Anal Chem* 2020, 92, 6, 4427–4435

8. Organtini KL, Rosnack KJ, Plummer C, Hancock P, Burt O. 根据EPA 1633分析全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)第2部分：水相基质分析.沃特世应用纪要, [720008143ZH](#).2023年12月.
9. Organtini KL, Rosnack KJ, Hancock P. 使用Atlantis BEH C18 AX混合模式色谱柱将超短链PFAS纳入单次进样的PFAS检测范围.沃特世应用纪要, [720008034ZH](#).2023年8月.
10. Twohig M, Fujimoto G, Mohan A, Organtini K, Rosnack KJ, Hird S. 环境样品中全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)的非靶向分析方法.沃特世应用纪要 [720007184ZH](#).2021年3月.
11. Charbonnet JA, McDonough CA, Xiao F, Schwichtenberg T, Cao D, Kaserzon S, Thomas KV, Dewapriya P, Place BJ, Schymanski EL, Field JA, Helbling DE, Higgins, CP.Communicating Confidence of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Identification via High-Resolution Mass Spectrometry. *Environ.Sci.Technol.Lett.*2022, 9, 473–481
12. Mullin L, Jobst K, DiLorenzo RA, Plumb R, Reiner EJ, Yeung LWY, Jogsten IE.Liquid chromatography-ion mobility-high resolution mass spectrometry for analysis of pollutants in indoor dust: Identification and predictive capabilities.*Analytica Chimica Acta.*2020 Aug 1125: 29–40
13. Foster M, Rainey M, Watson C, Dodds JN, Kirkwood KI, Fernandez FM, Baker ES.Uncovering PFAS and Other Xenobiotics in the Dark Metabolome Using Ion Mobility, Mass Defect Analysis, and Machine Learning.*Environ.Sci.Technol.*2022, 56, 12, 9133–9143
14. MacNeil A, Li X, Amiri R, Muir DCG, Simpson A, Simpson MJ, Dorman FL, Jobst KJ.Gas Chromatography-(Cyclic) Ion Mobility Mass Spectrometry: A Novel Platform for the Discovery of Unknown Per-/Polyfluoroalkyl Substances.*Anal.Chem.*2022, 94: 11096–11103
15. Huset CA, Barlaz MA, Barofsky DF, Field JA.Quantitative Determination of Fluorochemicals in Municipal Landfill Leachates.*Chemosphere.* 2011 Mar 82, 10, 1380–1386
16. Newton S, McMahan R, Stoeckel JA, Chislock M, Lindstrom A, Strynar M. Novel Polyfluorinated Compounds Identified Using High Resolution Mass Spectrometry Downstream of Manufacturing Facilities near Decatur, Alabama.*Environ.Sci.Technol.*2017, 51, 1544–1552

特色产品

[ACQUITY UPLC I-Class PLUS系统 <https://www.waters.com/134613317>](https://www.waters.com/134613317)

[SELECT SERIES Cyclic IMS <https://www.waters.com/waters/global/SELECT-SERIES-Cyclic-IMS-ion-mobility-mass-spectrometer/nav.htm?cid=135021297>](https://www.waters.com/waters/global/SELECT-SERIES-Cyclic-IMS-ion-mobility-mass-spectrometer/nav.htm?cid=135021297)

[waters_connect <https://www.waters.com/waters/nav.htm?cid=135040165>](https://www.waters.com/waters/nav.htm?cid=135040165)

[UNIFI科学信息系统 <https://www.waters.com/waters/global/UNIFI-Scientific-Information-System/nav.htm?cid=134801648>](https://www.waters.com/waters/global/UNIFI-Scientific-Information-System/nav.htm?cid=134801648)

[MassLynx MS软件 <https://www.waters.com/513662>](https://www.waters.com/513662)

720008269ZH, 2024年2月



© 2025 Waters Corporation. All Rights Reserved.

[使用条款](#) [隐私策略](#) [商标](#) [招聘](#) [法律和隐私声明](#) [危险化学品生产经营许可证](#) [Cookie](#) [Cookie](#)
[设置](#)

沪ICP备06003546号-2 京公网安备 31011502007476号