

以鱼类参比样品作为案例研究，使用高灵敏度LC-MS/MS方法分析动物产品中的全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)

Stuart Adams, Nicola Dreolin, Kari L. Organtini, Peter Hancock

Waters Corporation

摘要

PFAS已在复杂的食品中检测到，例如鱼、肉和其他动物源性食品。我们通过之前开发的碱消解和弱阴离子交换(WAX) SPE方法得到了合适的萃取物，并在ACQUITY™ Premier UPLC™系统与Xevo™ TQ Absolute串联四极杆质谱仪联用系统上进行了分析。UPLC方法已更新，在分离动物源性食品样品中的已知污染物（胆酸）的同时提高了时间效率。UniSpray™被评估作为比电喷雾电离更合适、更灵敏的替代方案，在几乎所有研究的PFAS中，它的响应（峰面积）提高了至少3倍，信噪比提高了1.5倍。基于溶剂标准品的仪器灵敏度表明，除PFBA外，所有PFAS的估算方法定量限均为0.025 µg/kg（PFBA的估算值为0.05 µg/kg）。使用两种Fapas鱼PFAS参比样品评估方法的总体性能，PFOS、PFOA、PFNA、PFHxS的总体回收率在86%~118%之间，处于EURL POPs PFAS方法指南文件中规定的偏差范围内。内标的回收率均在80%~120%之间（FTreDA除外，它经历了基质增强）。总体而言，使用参比样品评估方法性能的结果在几乎所有情况下都达到或超过了EURL POPs PFAS指南文件中规定的方法性能要求，从萃取物中回收的PFAS分析物的估计定量限为0.025 µg/kg或更低。

优势

- 与之前的UPLC方法相比，提高了时间效率，缩短了样品分析时间（LC运行时间缩短50%），并且成功分离了动物源食品样品中的已知PFOS干扰物

- UniSpray电离技术能够提高PFAS分析物的灵敏度，减少了进样体积，减少了LC-MS/MS系统上的基质负荷
- 通过用于UPLC改良的全新隔离柱和PFAS方法包，尽可能地减少了系统和溶剂污染物，从而提高结果的可信度

简介

近年来，全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)日益引发关注，并不只局限于环境污染。人们已经认识到，膳食摄入是人群暴露于这些物质的重要途径。2020年，欧洲食品安全局(EFSA)确定了2007~2018年研究期间，鱼、肉、蛋类和水果/水果制品是通过饮食导致人类暴露量最大的食品。根据这项研究，EFSA为总共四种PFAS（PFOA、PFNA、PFHxS和PFOS）设定的推荐每周耐受摄入量(TWI)为4.4 ng/kg体重¹。

欧盟(EU)于2022年修订了有关某些动物源食品样品中PFAS最大残留量的法规²。其中还包括了食品中PFAS采样和分析的规定³。2022年还发布了一项建议，概述了应当分析哪些PFAS，以及需要分析的其他PFAS³，我们已经在之前发布的应用纪要中报道过其中的许多PFAS⁴。2022年，EURL POPs发布了针对PFAS方法的指南，其中提供了关于预期方法性能和定量限的更多详细信息^{5,6}。

之前的应用纪要介绍和讨论了动物源性食品中30种常见PFAS的碱性萃取和SPE纯化的综合数据集⁴。本研究的重点是展示使用更新的隔离柱和PFAS方法包改良的ACQUITY Premier UPLC系统与配备UniSpray电离源的Xevo TQ Absolute串联四极杆质谱仪联用，可以提高灵敏度并缩短分析时间。

实验

样品前处理

空白白鱼肉匀浆、鱼肉QC样品(T0696QC)和鱼肉参比样品(TBK011RM)均购自Fapas[®]（英国）。所有样品均储存于冷冻柜(-20 °C)中，临萃取前置于冰箱(4 °C)中过夜解冻。所有标准品均购自Wellington Laboratories。该方法包含总共30种PFAS，具体如下：羧酸盐：C4-C14；磺酸盐：C4-C10；醚：GenX、ADONA、9Cl-PF3ONS、11Cl-PF3OUdS；前体：FBSA、FHxSA、FOSA、NMeFOSAA、NEtFOSAA、4:2 FTS、6:2 FTS、8:2 FTS。

萃取前，称取2 g样品到50 mL离心管中，并加标萃取标准品（MPFAC-24ES和M3-HFPODA）。将含有0.02 M氢氧化钠的10 mL甲醇添加到每个样品中。使用摇床以500 RPM震荡样品1小时。震荡后，将样品在4 °C下以4000 RPM离心10分钟。萃取完成后，取0.5 mL上清液加入14.5 mL的水稀释，制备固相萃取(SPE)样品，然后使用

Oasis™ WAX for PFAS, 6 cc, 150 mg SPE小柱 (P/N: 186009345 <

<https://www.waters.com/nextgen/global/shop/sample-preparation--filtration/186009345-oasis-wax-for-pfas-analysis-6-cc-vac-cartridge-150mg-sorbent-per.html>>) 进行固相萃取(SPE)。为了在SPE之前调整样品pH, 向所有样品中加入4 μL 50%甲酸水溶液。完整的SPE过程在图1的步骤2-5中有详细说明。

使用0.005~1 ng/mL (相当于0.025~5 μg/kg) 范围内的溶剂标准曲线进行样品分析。



图1. 萃取物的SPE纯化程序。标有(*)的步骤表示应先用该步骤的溶剂冲洗样品管, 然后再执行该步骤。

标记标准品

在样品前处理之前将萃取标准品 (通常称为内标) 加标到样品中(1 μg/kg), 用于校准天然化合物的回收率和基质效应。在样品完成纯化后复溶时加入进样标准品 (通常称为回收率标准品), 用于校准提取标准品的复溶变化、基质效应和进样变化 (相当于1 μg/kg)。有了萃取和进样标准品, 常规样品分析就无需进行基质匹配。这种方法在之前发表的一篇应用纪要中讨论过⁷。

Unispray与电喷雾电离的比较

使用相同的LC-MS/MS系统分析为此目的生成的数据集, 分析时使用了相同的流动相、标准曲线样品和样品萃取物

。各运行在24小时内完成。这样做的目的是减少系统间的差异、细微的流动相组成差异，以及任何可能影响生成结果组响应的变化。

方法性能评估

由于难以获得纯净的“不含PFAS”的鱼肉样品，研究中使用了溶剂标准品来估算仪器检测限，标准曲线范围为0.005~1 ng/mL。使用两种白鱼的Fapas样品评估总体方法性能，其中T0696QC进行了五次重复萃取，TBK011RM进行了四次重复萃取。然后根据EURL POPs PFAS指导文件中规定的标准评估这些重复测定的结果⁵。

液相色谱条件

液相色谱系统：	ACQUITY Premier UPLC（带PFAS分析方法包）
样品瓶：	聚丙烯自动进样器样品瓶（P/N：186005219），带预开口隔垫盖（P/N：186000305）
分析柱：	ACQUITY Premier UPLC BEH™ C ₁₈ , 2.1 × 50 mm, 1.7 μm（P/N：186009452）
隔离柱：	Atlantis™ Premier BEH C ₁₈ AX隔离柱, 2.1 x 50mm, 5 μm（P/N：186010926）
柱温：	35 °C
样品温度：	4 °C
进样体积：	5 μL
流速：	0.3 mL/min
流动相A：	2 mM乙酸铵水溶液
流动相B：	含2 mM乙酸铵的甲醇/乙腈(v/v,1/1)溶液

梯度表

时间 (min)	%A	%B	曲线
0.0	95	5	0
0.5	75	25	6
3.0	50	50	6
6.5	15	85	6
7.0	5	95	6
8.5	5	95	6
9.0	95	5	6
11	95	5	6

MS条件

质谱系统:	Xevo TQ Absolute
电离模式:	UniSpray负离子
离子源温度:	100 °C
撞击器电压:	0.9 kV
脱溶剂气温度:	350 °C
脱溶剂气流速:	900 L/h
锥孔气流速:	150 L/h
MRM方法:	有关完整MRM方法的详细信息, 请参见附录

数据管理

软件:

waters_connect™定量软件平台

结果与讨论

改善LC方法的柱效和与干扰基质化合物之间的分离度

在ACQUITY Premier UPLC系统中的隔离柱更换为Atlantis Premier BEH C₁₈ AX隔离柱，因为这样可以更好地分离潜在的背景污染物与分析峰。在实验室更换甲醇供应商时，发现流动相中同时含有PFBA和PFOA的“自然污染”流动相。该流动相被用来评估BEH C₁₈ AX隔离柱的性能。图2显示了流动相中PFBA和PFOA污染物与两种分析物的分析峰之间的分离情况。结果表明，隔离柱能够有效处理系统污染，使流动相污染与PFAS分析峰分隔至少30秒。

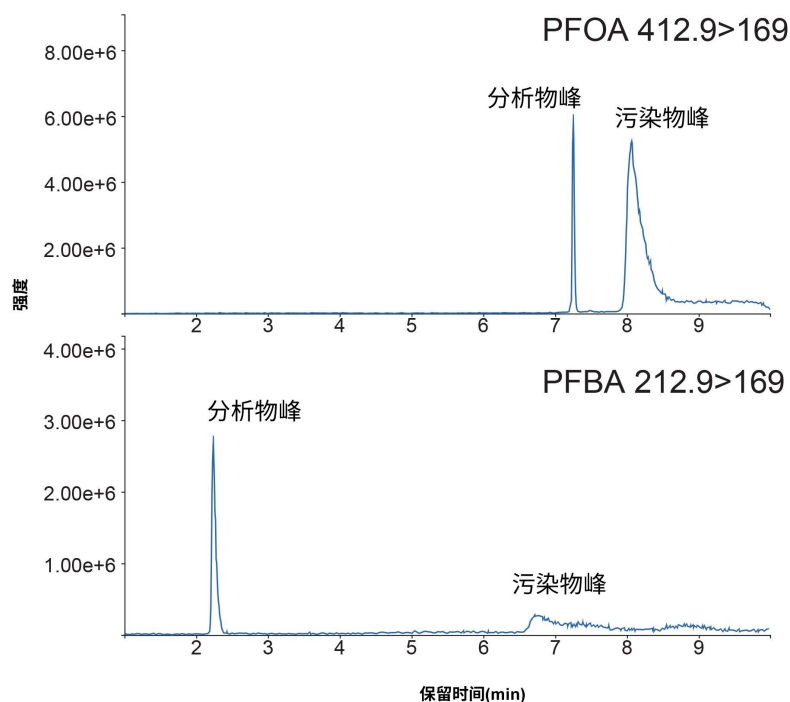


图2. Atlantis Premier BEH C₁₈ AC隔离柱处理“自然”污染流动相的柱效。

以鱼类参比样品作为案例研究，使用高灵敏度LC-MS/MS方法分析动物产品中的全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)6

沃特世之前开发了一种利用ACQUITY BEH C₁₈, 2.1 × 100 mm色谱柱的UPLC方法，用于分析动物源食品样品中的PFAS，运行时间为22分钟⁴。我们最初将色谱柱尺寸从2.1 × 100 mm减小至2.1 × 50 mm，考察了样品通量。该方法使用沃特世方法转换计算器进行了转换⁸。按照计算器的指示，将进样体积从10 μL减少到5 μL，以利用更少的样品进样至LC系统。本次测试50 mm色谱柱方法，着眼于解决内脏和鸡蛋样品中的已知胆酸问题⁴。图3展示了如何直接转换方法，以及遇到的共洗脱胆酸问题的示例。

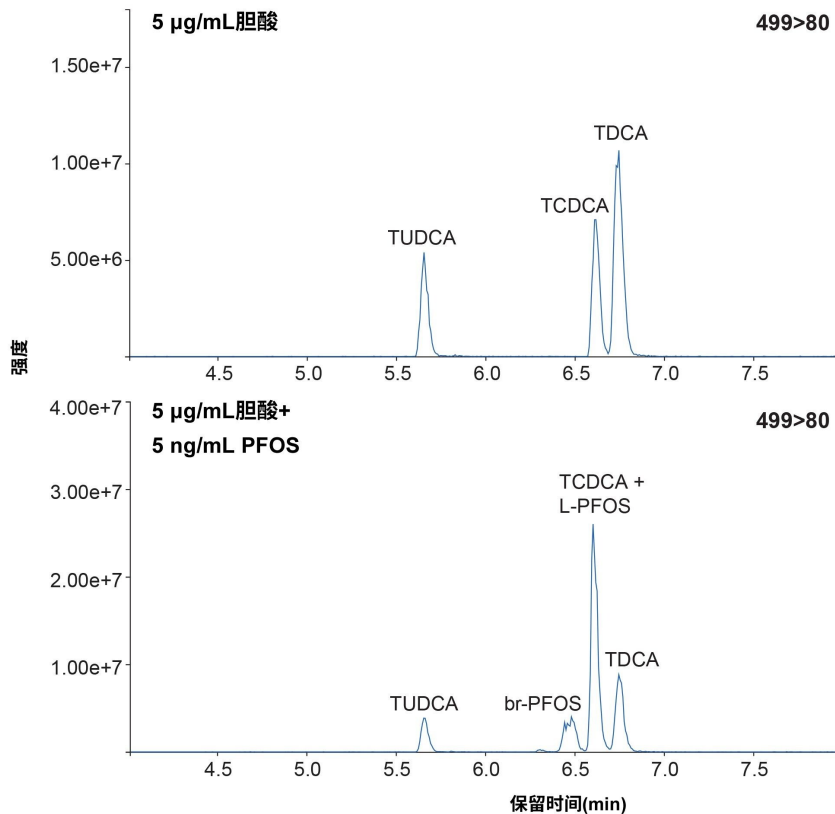


图3.在ACQUITY Premier BEH C₁₈ 50 mm色谱柱上，胆酸（牛磺鹅脱氧胆酸(TCDCA)、牛磺脱氧胆酸(TDCA)和牛磺熊脱氧胆酸(TUDCA)）与PFOS共洗脱。

根据之前的研究可知，调整有机流动相的组成可改善与胆酸的分离度。通过系统地改变乙腈与甲醇的比率，发现使用50/50 (v/v)甲醇/乙腈混合物能在不影响分析结果的前提下实现LC方法时间效率的理想平衡。胆酸与PFOS的分离结果如图4所示。

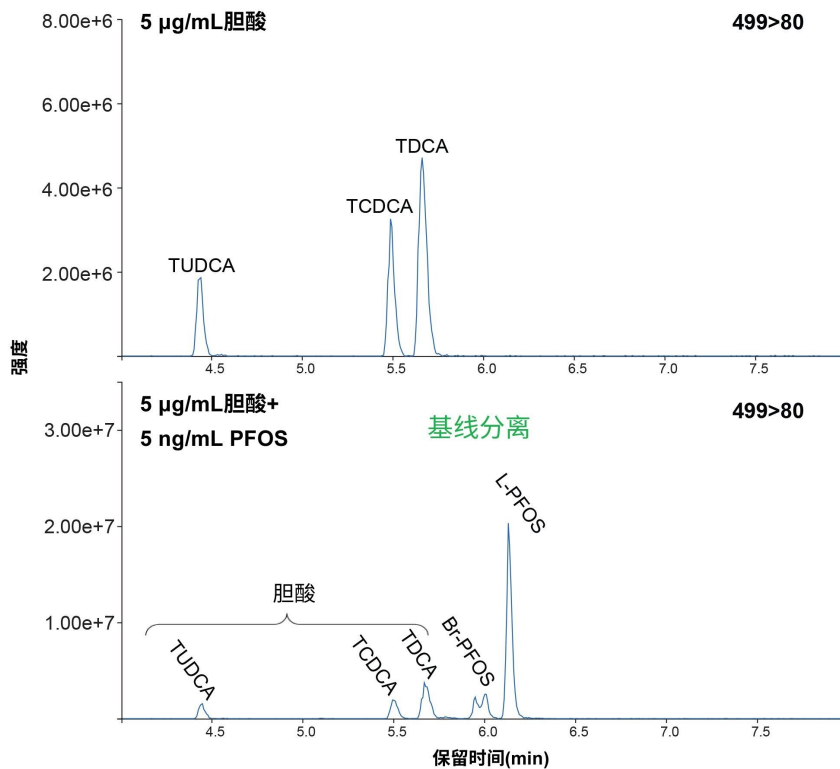


图4.改善PFOS与胆酸（牛磺鹅脱氧胆酸(TCDCA)、牛磺脱氧胆酸(TDCA)和牛磺熊脱氧胆酸(TUDCA)）的分离效果。

改进方法检测，电喷雾和UniSpray电离之间的比较

UniSpray相较于电喷雾在提高响应值和信号方面的优势已在若干已经发表的应用纪要中得到展示^{9,10}。我们计算并比较了在整个校准范围(0.005–1 ng/mL)内使用UniSpray和电喷雾得到的标准品响应（峰面积）结果，一般而言，使用UniSpray得到的分析物响应至少是电喷雾电离的四倍（PFTriDA和PFTreDA除外，它们的响应至少为高3倍）。在逐点比较计算得到的信噪比(S/N)时，仅PFBA没有显著增加信噪比。其余PFAS分析物的信噪比至少提高了1.5倍，但在许多情况下，可以提高两倍。图5更详细地展示了在不同PFAS类别中测得的增量。

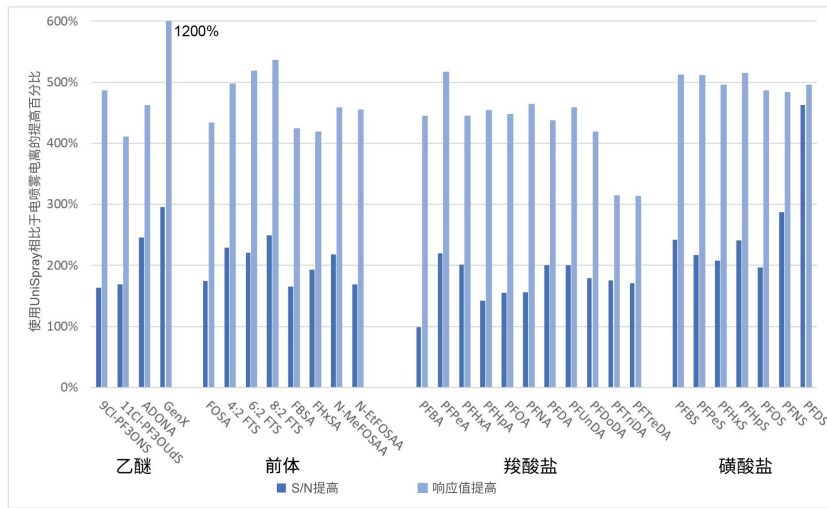


图5. UniSpray与电喷雾在PFAS分析物在响应和信噪比上的差异比较。

在作为方法性能评估一部分的鱼肉参比样品分析中，也观察到响应和S/N均有所增加。鱼肉参比样品的响应和S/N也有类似的提高。图6展示了与电喷雾电离相比，UniSpray在同一参比样品中的响应情况。

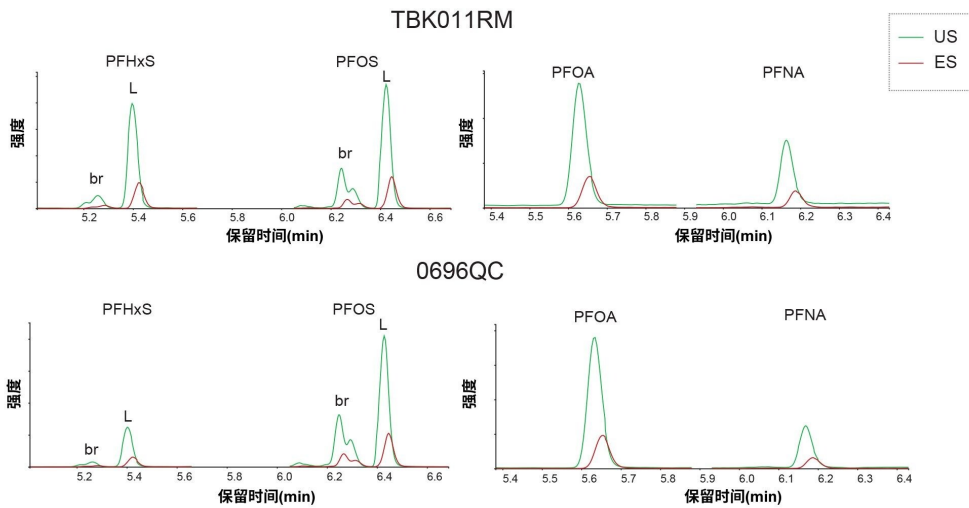


图6. UniSpray与电喷雾电离分析鱼肉参比样品得到的PFOA、PFNA、PFHxS和PFOS色谱图比较。

以鱼类参比样品作为案例研究，使用高灵敏度LC-MS/MS方法分析动物产品中的全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)9

使用参比样品评估方法性能

方法性能使用购自Fapas的两种鱼肉参比样品进行评估。方法性能标准摘自EURL POPs指导文件⁵。简而言之，标准曲线样品的残差为标示值的 $\pm 20\%$ 。天然样品的回收率应介于 $80\% \sim 120\%$ 之间，RSD%应 $\leq 20\%$ 。根据进样标准品的响应值计算，内标回收率应在 $35\% \sim 140\%$ 之间⁵。

由于很难找到真正洁净且未受污染的样品用作基质空白，系统使用浓度范围为 $0.005 \sim 1 \text{ ng/mL}$ （相当于样品中的 $0.025 \sim 5 \text{ } \mu\text{g/kg}$ ）的溶剂标准品进行了校准。根据标准曲线图估算出的所有PFAS分析物的方法LOQ约为 $0.025 \text{ } \mu\text{g/kg}$ ，PFBA除外，其LOQ为 $0.05 \text{ } \mu\text{g/kg}$ （原因是确认试剂空白存在污染问题）。根据随天然标准品提供的分析证书，在处理软件中调整标准曲线范围。PFOS和PFHxS支链异构体根据其各自的线性异构体进行定量（使用线性内标）。所有标准曲线图的残差均在 $\pm 20\%$ 以内，所有 R^2 值均为0.99或更高，并显示出线性响应。图7展示了食品中4种受管制PFAS分析物（PFOA、PFNA、PFHxS和PFOS）的典型标准曲线图。

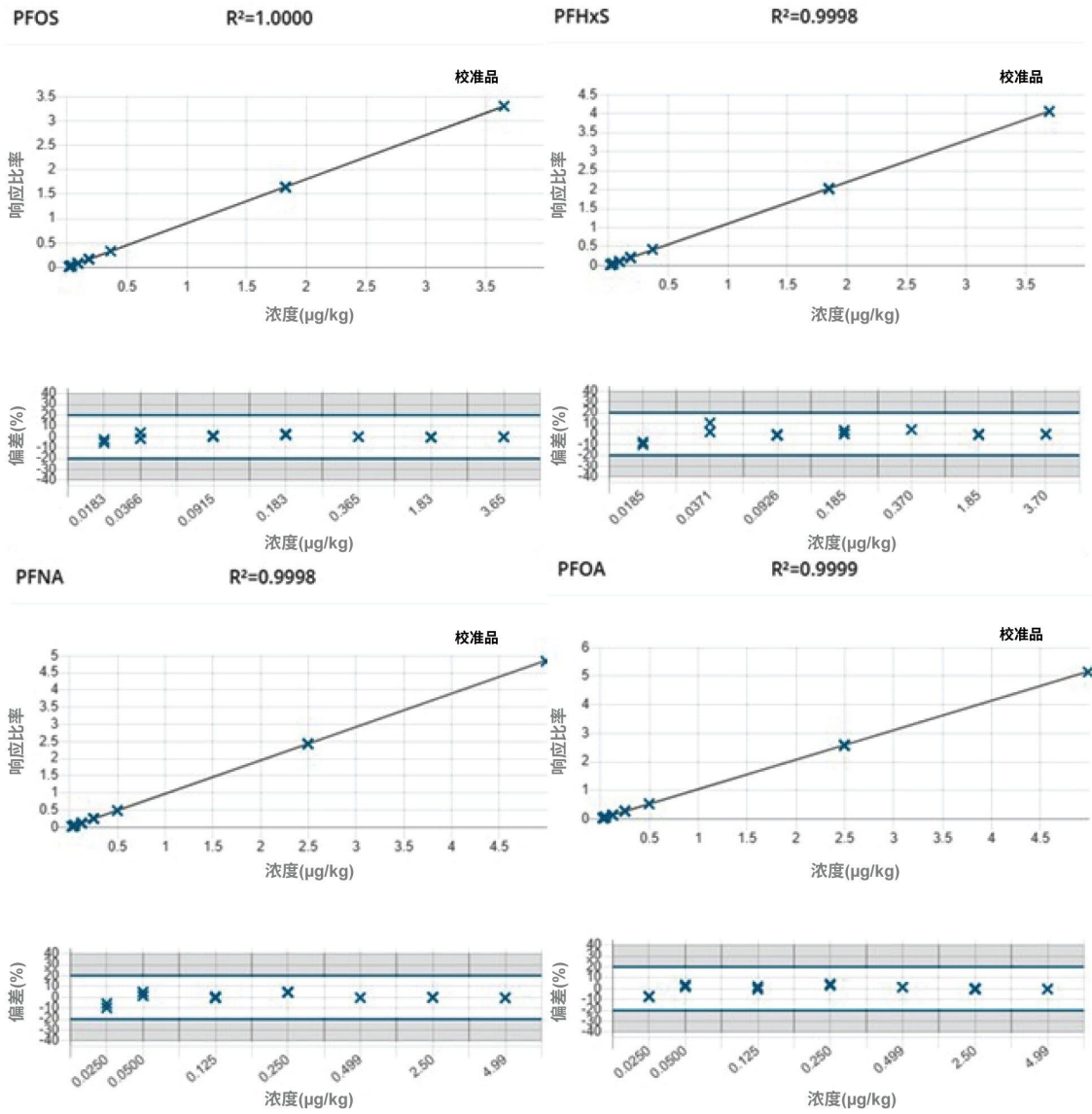


图7.PFOA、PFNA、PFHxS和PFOS (0.005~1 ng/mL)的标准曲线图。

测定两种Fapas[®]样品的正确度和重复性，并使用其参比值确定样品中PFAS的回收率。将可接受标准设定为80%~120%，两种参比样品均达到了这一标准。研究中还评估了重复性或RSD(r)%，在所有情况下均低于EURL POPs PFAS指导文件中规定的20%，其最高值为14%⁵。图8展示了两种参比样品的分析结果与指定值的对比。

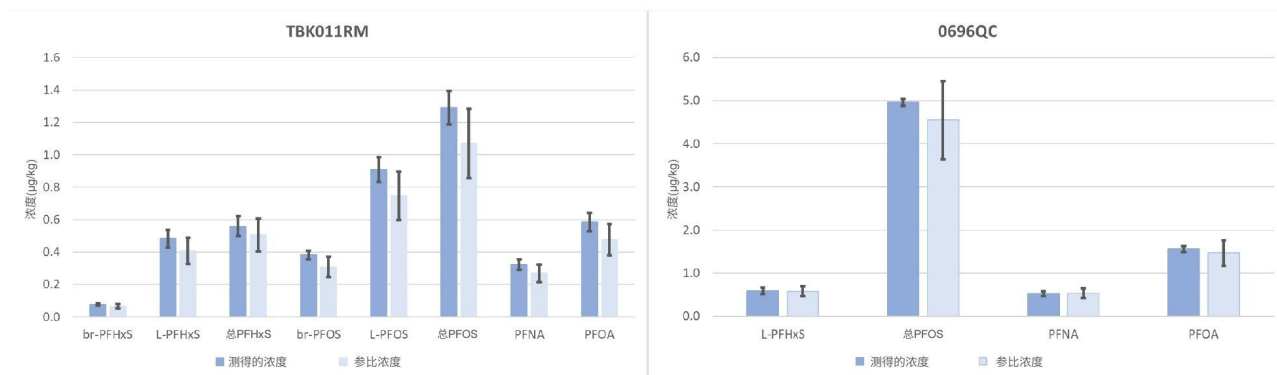


图8. *Fapas*[®]样品的测定值与参比样品0696QC ($n=5$)和TBK011RM ($n=4$)指定值的对比结果。

内标的回收率根据EURL POPs PFAS指导文件中的以下计算公示，使用进样标准品进行评估⁶。

$$R_{ILIS} = (S_{ILIS}/m_{ILIS}) \div (S_{RS}/m_{RS}) \times 1/RRF_{ILIS} \times 100$$

m_{ILIS} : 加入到试样中的内标(ILIS)的含量(μg)

m_{RS} : 最终萃取物中回收率标准品(RS)的含量(μg)

S_{ILIS} : 内标(ILIS)的响应值

S_{RS} : 回收率标准品(RS)的响应值

RRF_{ILIS} : 内标(ILIS)的相对响应因子

所有内标的回收率均在80%~120%的范围内，但FOSA除外（未回收），而PFTreDA的回收率超过了指定的回收上限(140%)。这一范围明显小于EURL POPs PFAS指导文件中35%~140%的规定范围⁵。FOSA预计不会被回收，因为FOSA是一种中性PFAS，会在甲醇清洗阶段从SPE小柱上洗脱下来。对于PFTreDA较高的回收率，可以合理解释为：与作为进样标准品存在的标记PFDA相比，源中的基质效应增强了PFTreDA的响应。两种电离源（UniSpray和电喷雾）中均能观察到此现象。图9展示了两种鱼肉参比样品的内标回收率结果。

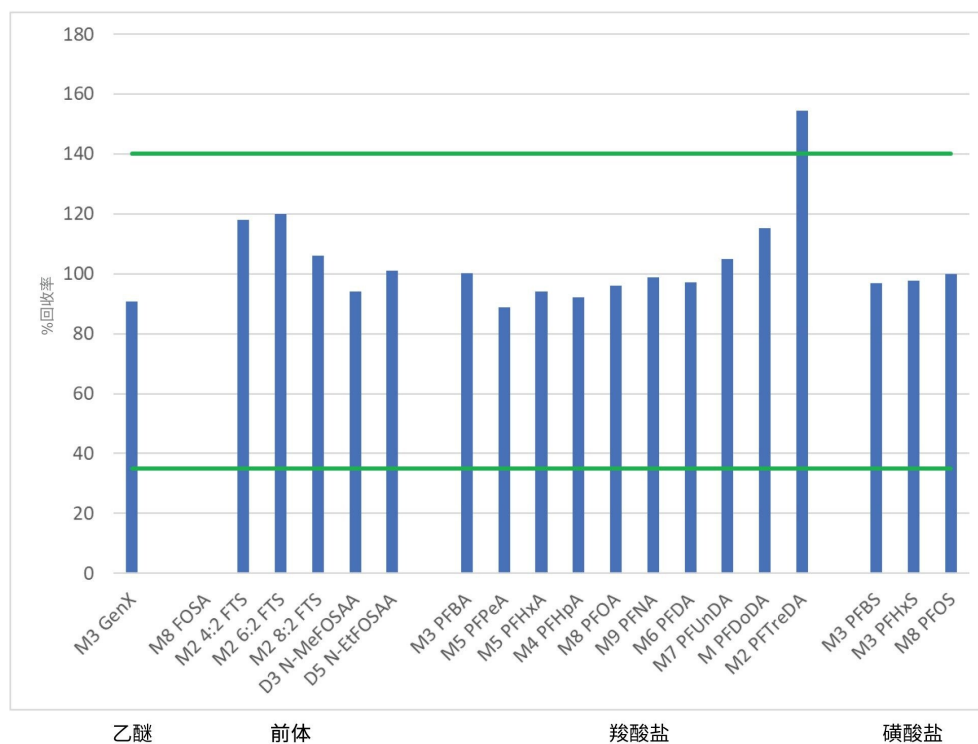


图9.参比样品中的内标回收率。

结论

Atlantis Premier BEH C₁₈ AX隔离柱可以更好地分离进入UPLC系统的流动相污染物和PFAS分析物的分析峰。改进后的UPLC方法可提供一种更具有时间效率的方法，提高了样品通量，并且能够分离动物源性食品样品中的已知干扰物（胆酸）。与电喷雾相比，UniSpray为所研究的化合物提供了明显更好的响应和信噪比。总体而言，使用参比样品评估方法性能的结果在几乎所有情况下都达到或超过了EURL POPs PFAS指南文件中规定的方法性能要求，从萃取物中回收的PFAS分析物的估计定量限为0.025 µg/kg或更低。

参考资料

1. Schrenk D, Bignami M, *et al*, EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAM Panel), Risk to Human Health Related to the Presence of Perfluoroalkyl Substances in Food. *EFSA*, 2020;18(9).
2. Commission Regulation (EU) 2022/2388, Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as Regards Maximum Levels of Perfluoroalkyl Substances in Certain Foodstuffs, L 316/38, 8.12.2022.
3. Commission Recommendation (EU) 2022/1431, on the Monitoring of Perfluoroalkyl Substances in Food. L 221/105, 26.8.2022.
4. Organtini K, Adams S, Hird S, Jandova R, 高灵敏度分析鱼、肉、可食用内脏和鸡蛋中全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)的完整工作流程, 沃特世应用纪要, [720007482ZH](#), 2022.
5. EURL for Halogenated POPs in Feed and Food (2022): Guidance Document on Analytical Parameters for the Determination of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food and Feed, version 1.2 of 11 May 2022. 在线获取: https://eurl-pops.eu/core-working-groups#_pfas <https://eurl-pops.eu/working-groups#_pfas> .
6. EURL for Halogenated POPs in Feed and Food (2022): Guidance Document on Analytical Parameters for the Determination of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food and Feed, ANNEX version 1.0 of 11 May 2022. 在线获取: https://eurl-pops.eu/core-working-groups#_pfas <https://eurl-pops.eu/working-groups#_pfas> .
7. Organtini K, Oehrle S, Hird S, Adams S, Jandova R, 基质匹配还是同位素稀释? 比较用于测定乳制品中PFAS的两种定量方法, 沃特世应用纪要, [720007687ZH](#), 2022.
8. 方法转换器2.0版, 沃特世下载 (P/N: [667005222](#) <<https://www.waters.com/waters/support.htm?lid=134891632>>) 。
9. Organtini K, Oehrle S, Rosnack K, An Alternative Ionization Technique for Perfluorinated Alkyl Substances (PFAS) Analysis: Evaluating UniSpray for Water and Soil Samples, Waters Application Note, [720006760](#), 2020.
10. Willmer H, Organtini K, Adams S, 通过UPLC-MS/MS直接进样法常规测定饮用水中的全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)以满足欧盟饮用水指令2020/2184的要求, 沃特世应用纪要, [720007413ZH](#), 2021.

附录表

化合物	PFAS编号	RT	母离子	碎片离子	定量离子	CV	CE	内标	内标的类型
PFBA	羧酸类	2.6	212.9	189	x	10	10	¹³ C-PFBA	
				19			14		
PFPeA	羧酸类	3.54	262.9	219	x	10	5	¹³ C ₂ -PFPeA	
				19			14		
PFHxA	羧酸类	4.33	312.9	269	x	5	10	¹³ C ₂ -PFHxA	
				119			20		
PFHpA	羧酸类	5.03	362.9	319		15	10	¹³ C ₂ -PFHpA	
				169	x		15		
PFOA	羧酸类	5.63	412.9	369	x	10	10	¹³ C ₂ -PFOA	
				169			15		
PFNA	羧酸类	6.18	462.9	418.9	x	10	10	¹³ C ₂ -PFNA	
				219			15		
PFDA	羧酸类	6.65	512.9	468.9	x	15	9	¹³ C ₂ -PFDA	
				219			15		
PFUnDA	羧酸类	7.08	562.9	518.9	x	25	20	¹³ C ₂ -PFUnDA	
				269			10		
PFDoDA	羧酸类	7.45	612.9	568.9		30	10	¹³ C-PFDoDA	
				169	x		25		
PFTriDA	羧酸类	7.76	662.9	618.9	x	5	10	¹³ C-PFDoDA	
				169			30		
PFTreDA	羧酸类	8.04	712.9	668.9	x	10	15	¹³ C ₂ -PFTreDA	
				169			25		
PFBS	磺酸类	4.09	298.9	99.1		15	30	¹³ C ₂ -PFBS	
				80.1	x		30		
PFPeS	磺酸类	4.8	348.9	99.1		10	30	¹³ C ₂ -PFHxS	
				80.1	x		30		
PFHxS	磺酸类	5.41	398.9	99.1		10	30	¹³ C ₂ -PFHxS	
				80.1	x		35		
PFHpS	磺酸类	5.95	448.9	99.1		15	35	¹³ C ₂ -PFHxS	
				80.2	x		35		
PFOS	磺酸类	6.44	498.9	99.1		15	40	¹³ C ₂ -PFOS	
				80.2	x		40		
PFNS	磺酸类	6.88	548.9	99.2		20	40	¹³ C ₂ -PFOS	
				80.2	x		40		
PFDS	磺酸类	7.25	598.9	99.1		25	40	¹³ C ₂ -PFOS	
				80.2	x		40		
GenX (HFPO-DA)	乙醚	5.59	285	169	x	5	7	¹³ C ₂ -GenX	
				119			35		
ADONA	乙醚	5.19	376.9	251	x	10	10	¹³ C ₂ -GenX	
				85			25		
9Cl-PF3ONS	乙醚	6.72	530.9	350.9	x	15	25	¹³ C ₂ -PFOS	
				83			25		
11Cl-PF3OUds	乙醚	7.46	630.9	450.8		30	30	¹³ C ₂ -PFOS	
				83			30		
4:2 FTS	母离子	4.15	326.9	307		15	20	¹³ C ₂ -4:2 FTS	
				81.1	x		35		
6:2 FTS	母离子	5.48	426.9	407		15	25	¹³ C ₂ -6:2 FTS	
				80.8	x		30		
8:2 FTS	母离子	6.54	526.9	506.8		15	30	¹³ C ₂ -8:2 FTS	
				80.8	x		35		
FBSA	母离子	5.17	297.9	119.9		25	15	¹³ C ₂ -FOSA	
				78	x		25		
FHxSA	母离子	6.4	398	169		30	25	¹³ C ₂ -FOSA	
				78.1			25		
FOSA	母离子	7.32	497.9	78.2	x	40	30	¹³ C ₂ -FOSA	
				418.9	x		20		
N-MeFOSAA	母离子	6.85	569.9	219.1		35	25	D ₂ -N-MeFOSAA	
				525.9			20		
N-EtFOSAA	母离子	7.06	584	418.8	x	15	20	D ₂ -N-EtFOSAA	
				119			20		
¹³ C ₂ -PFBA		2.6	217	172	x	10	10	¹³ C ₂ -PFBA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				223	x	10	5		
¹³ C ₂ -PFPeA		3.54	267.9	223	x	10	5	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				272.9	x	10	5		
¹³ C ₂ -PFHxA		4.33	317.9	119.9		10	20	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				321.9			15		
¹³ C ₂ -PFHpA		5.03	366.9	169		15	10	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				375.9			10		
¹³ C ₂ -PFDA		5.63	420.9	172	x	5	15	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				426.9	x	10	10		
¹³ C ₂ -PFNA		6.18	471.9	223	x	10	15	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				473.9			10		
¹³ C ₂ -PFDA		6.65	518.9	223	x	5	15	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				524.9	x		10		
¹³ C ₂ -PFUnDA		7.08	569.9	274		5	15	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				569.9	x		10		
¹³ C ₂ -PFDoDA		7.45	614.9	169		10	25	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				669.9	x		10		
¹³ C ₂ -PFTreDA		8.04	714.9	169		25	35	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				99			25		
¹³ C ₂ -PFBS		4.09	301.9	80		10	30	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				99.1			35		
¹³ C ₂ -PFHxS		5.41	401.9	80.1	x	10	40	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				99.1			40		
¹³ C ₂ -PFOS		6.44	506.9	80.1	x	15	40	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				78.1	x	35	25		
¹³ C ₂ -FOSA		7.32	505.9	418.7		15	15	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				418.9	x	35	20		
D ₂ -N-MeFOSAA		6.85	572.9	418.9		20	20	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				506.8			15		
D ₂ -N-EtFOSAA		7.06	589	418.9	x	30	20	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				308.9			20		
¹³ C ₂ -4:2 FTS		4.15	328.9	81	x	40	15	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				408.8			25		
¹³ C ₂ -6:2 FTS		5.48	428.9	80.8	x	10	30	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				506.8			30		
¹³ C ₂ -8:2 FTS		6.54	528.9	81	x	10	25	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				99			35		
¹³ C ₂ -GenX		5.59	287	119	x	5	12	¹³ C ₂ -PFOA	萃取(MPFAC-24ES + M3-HFPODA)
				169			12		
¹³ C ₂ -PFBA		2.6	216	172		10	10	-	进样(MPFAC-C-1S)
				370			10		
¹³ C ₂ -PFOA		5.63	415	169	x	10	15	-	进样(MPFAC-C-1S)
				99.1			40		
¹³ C ₂ -PFOS		6.44	503	80.2	x	5	40	-	进样(MPFAC-C-1S)
				470			10		
¹³ C ₂ -PFDA		6.65	515	219	x	20	15	-	进样(MPFAC-C-1S)

以鱼类参比样品作为案例研究，使用高灵敏度LC-MS/MS方法分析动物产品中的全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)5

特色产品

ACQUITY Premier系统 <<https://www.waters.com/waters/nav.htm?cid=135077739>>

UniSpray离子源 <<https://www.waters.com/waters/nav.htm?cid=134891755>>

Xevo TQ Absolute串联四极杆质谱仪 <<https://www.waters.com/nextgen/global/products/mass-spectrometry-systems/xevo-tq-absolute.html>>

waters_connect定量软件平台 <https://www.waters.com/nextgen/global/products/informatics-and-software/waters_connect-for-quantitation.html>

720008108ZH, 2023年10月



© 2024 Waters Corporation. All Rights Reserved.

[使用条款](#) [隐私](#) [商标](#) [招聘](#) [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