

## 高灵敏度分析鱼、肉、食用内脏和鸡蛋中全氟和多氟烷基化合物(PFAS)的完整工作流程

---

Kari L. Organtini, Stuart Adams, Simon Hird, Renata Jandova

Waters Corporation

---

### 摘要

全氟和多氟烷基化合物(PFAS)的环境释放和污染已导致多种食物来源受到污染。鱼、肉、可食用内脏和鸡蛋等复杂食品需要全面的样品提取和净化。对这类样本，先进行碱分解和提取，然后进行弱阴离子交换(WAX) SPE，制备适合分析的样品。在与Xevo TQ-XS联用的ACQUITY UPLC I-Class PLUS上进行高灵敏度LC-MS/MS分析。采用六种不同的商品类型对方法进行了评估，包括鲑鱼、罗非鱼、碎牛肉、牛肝、牛肾和鸡蛋。结果证明，这一方法能针对30种不同化学类别的PFAS化合物提供具有准确性、高灵敏度及稳定性的分析，能够检出欧洲食品安全局(EFSA)和美国食品药品监督管理局(FDA)报告中公布的挑战性浓度。

### 优势

- 一种可从各种食品基质中提取多种PFAS的单一方法
- 在Xevo TQ-XS上进行高灵敏度分析，可检测亚ng/g水平的PFAS，与EFSA和FDA报告中公布的挑战性浓度一致
- 利用PFAS方法包改良液相色谱系统，尽可能减少系统和溶剂中潜在的污染物，确保结果准确，提高结果可信度

---

## 简介

由于人们日益关切全氟和多氟烷基化合物(PFAS)长期暴露的影响，PFAS分析的范围已从仅限环境基质扩展到食品分析领域。过去十年来，在食品（包括但不限于鸡蛋、牛奶、巧克力蛋糕和快餐）中发现的PFAS污染引发了越来越多的媒体关注。为保护公众健康、了解膳食暴露，亟需一种能够分析多种食品的方法。

为此，全球许多机构一直在研究PFAS对食品的影响。欧洲食品安全局(EFSA)于2020年发布的最新报告确定，在2007年至2018年研究期间，鱼类、肉类、水果/水果制品和蛋类/蛋制品是人类通过饮食摄入PFAS的最主要来源<sup>1</sup>。根据这项研究，EFSA为总共4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。

EFSA在动物源性食品的研究中发现，PFAS的平均浓度因样本类型而异。PFOA、PFNA、PFHxS和PFOS在家畜和野味肉类中的含量为0.02-1.59 ng/g，农场饲养的可食用内脏中的含量为0.087-1.18 ng/g，鲑鱼和鳟鱼的含量为0.003-0.83 ng/g，鸡蛋和蛋制品中的浓度范围为0.06-0.35 ng/g。所有关注的样本类型的中位检测浓度为0.32 ng/g。除了EFSA研究外，FDA也在总膳食研究(Total Diet Study, TDS)中监测高消费食品中的污染物（包括PFAS）<sup>2</sup>。在2019年的最新研究中，TDS报告在罗非鱼中发现了0.087 ng/g PFOS。这些研究和报告证明了这类样品适用分析方法所需的灵敏度。

在之前的应用纪要中讨论了从可食用农产品中提取PFAS的策略<sup>3</sup>，本研究的重点将放在肉类、可食用内脏、鱼和鸡蛋上。由于样品前处理需求的差异，这些食品商品将分开处理。农产品是一种更易于提取的基质，可采用QuEChERS提取和分散SPE法。由于动物源样本中存在可以结合PFAS的蛋白质和脂肪，因此增加了样品前处理的复杂性。从肉类、鱼类和类似基质中提取PFAS有多种方法。其中一种最有效的方法是对样品进行碱提取（通常是氢氧化钠的甲醇或乙腈溶液），然后进行固相萃取(SPE)净化<sup>4,5</sup>。本研究正是采用这种方法，评估了从六种不同的食品基质（鲑鱼、罗非鱼、碎牛肉、牛肝、牛肾和鸡蛋）中提取30种PFAS的情况。使用弱阴离子交换(WAX)填料进行SPE净化。在经过PFAS方法包改良并与Xevo TQ-XS联用的ACQUITY UPLC I-Class PLUS上进行分析，以满足高灵敏度分析要求。

---

## 实验

### 样品前处理

---

冷冻鲑鱼、冷冻罗非鱼、碎牛肉、牛肝、牛肾和鸡蛋样本购自当地杂货店。使用Ninja厨房搅拌机将鱼和肉制成匀浆。样品储存于冷冻柜(-20 °C)中，临提取前置于冰箱(4 °C)中过夜解冻。鸡蛋是新鲜制备的，从壳中取出蛋清和蛋黄，在混合后二次取样。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。

提取前，称取2 g样品到50 mL离心管中，并加入1 ng/g提取标准品（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SPEX Sample Prep Geno/Grinder以500 RPM震荡样品1小时。震荡后，将样品在室温下以4000 RPM离心10 min。提取完成后，取0.5 mL上清液加入14.5 mL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（部件号：[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>](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)。完整的SPE过程在图1的步骤2-5中有详细说明。

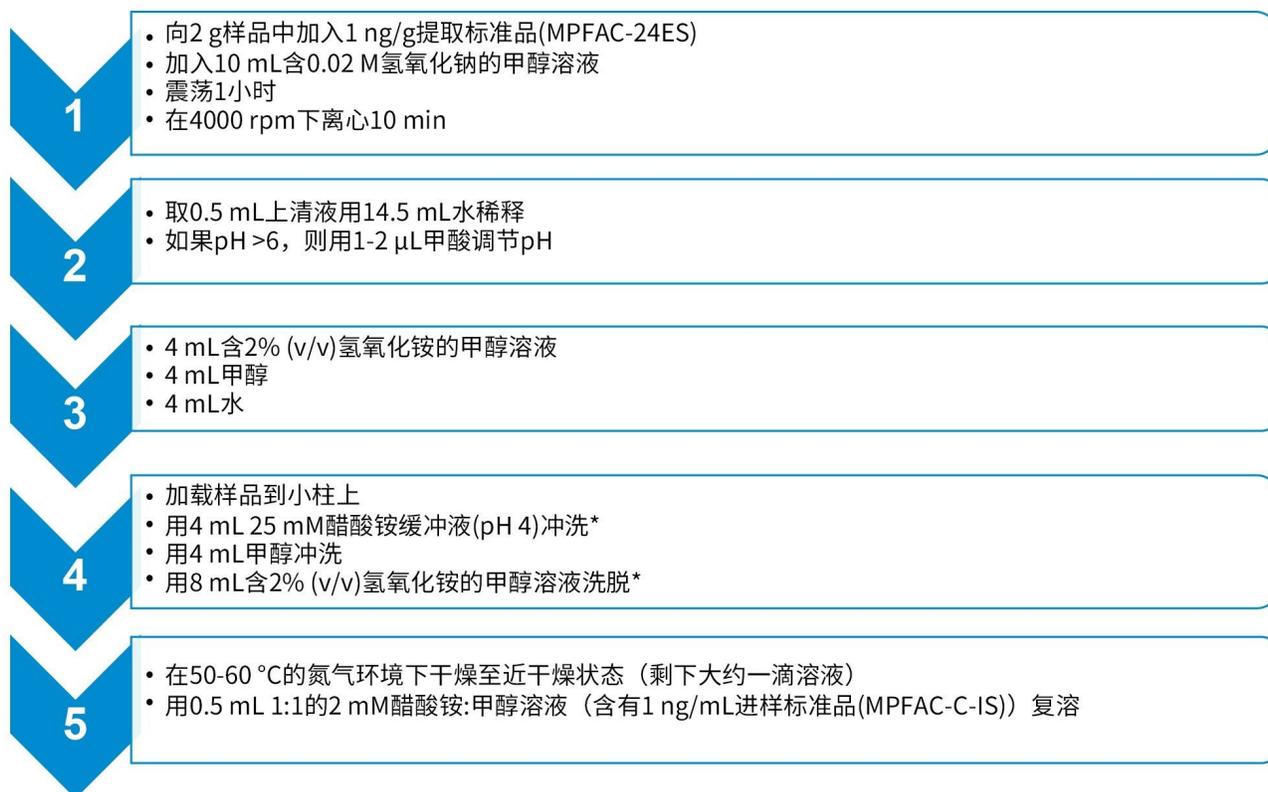


图1.提取物的SPE净化程序。标有(\*)的步骤表示应先用该步骤的溶剂冲洗样品管，然后再加入SPE小柱。

使用0.01–5 ng/mL（相当于0.05–25 ng/g）范围内的溶剂校准曲线进行样品分析。使用0.001–5 ng/mL范围内的基质后加标（或基质匹配）校准曲线评估检测限(LOD)和定量限(LOQ)。在提取和分析过程中使用同位素标记的提取物（MPFAC-24ES和M3-HFPODA）和进样标准品(MPFAC-24ES)执行同位素稀释计算。在样品前处理之前将提取标准品加入样品中，用于校正天然化合物的回收率和基质效应。在样品完成净化后复溶时加入进样标准品，用于校正提取标准品的复溶变化、基质效应和进样变化。由于存在提取标准品和进样标准品，因此对于常规的样品分析无需基质匹配，但是可采用基质匹配来替代同位素稀释方法。

## 液相色谱条件

液相色谱系统：	ACQUITY UPLC I-Class PLUS，配备PFAS分析方法包
样品瓶：	聚丙烯自动进样器样品瓶，带聚乙烯盖（部件号：186005230）
色谱柱：	ACQUITY UPLC BEH C <sub>18</sub> 2.1x 100 mm, 1.7 um（部件号：186002352），带ACQUITY色谱柱在线过滤器（部件号：205000343）
柱温：	35 °C
样品温度：	4 °C
进样体积：	10 µL
流速：	0.3 mL/min
流动相A：	水 + 2 mM醋酸铵
流动相B：	甲醇 + 2 mM醋酸铵

## 梯度表

時間 (分)	%A	%B	曲線
0	95	5	初期条件
1	75	25	6
6	50	50	6
13	15	85	6
14	5	95	6
17	5	95	6
18	95	5	6
22	95	5	6

## 质谱条件

质谱系统:	Xevo TQ-XS
电离模式:	ESI-
离子源温度:	100 °C
毛细管电压:	0.50 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

色谱软件：	MassLynx v4.2
质谱软件：	MassLynx v4.2
信息学软件：	带TargetLynx 4.2版的MassLynx 4.2版

---

## 结果与讨论

每种商品以3个浓度水平（0.1 ng/g、1.0 ng/g和5 ng/g）加标5份重复样品，用于评估该方法。图2显示了在提取前添加到鲑鱼中的每种PFAS的提取定量离子迹线的示例色谱图，最低水平为0.1 ng/g。除鸡蛋外，所有样品的检测限和定量限（LOD和LOQ）均已确定，见附表2。LOD和LOQ值是根据每个样品加入PFAS标准品后的基质空白提取物计算得出的。在TargetLynx中执行计算时，LOD和LOQ的信噪比标准分别为3和10。

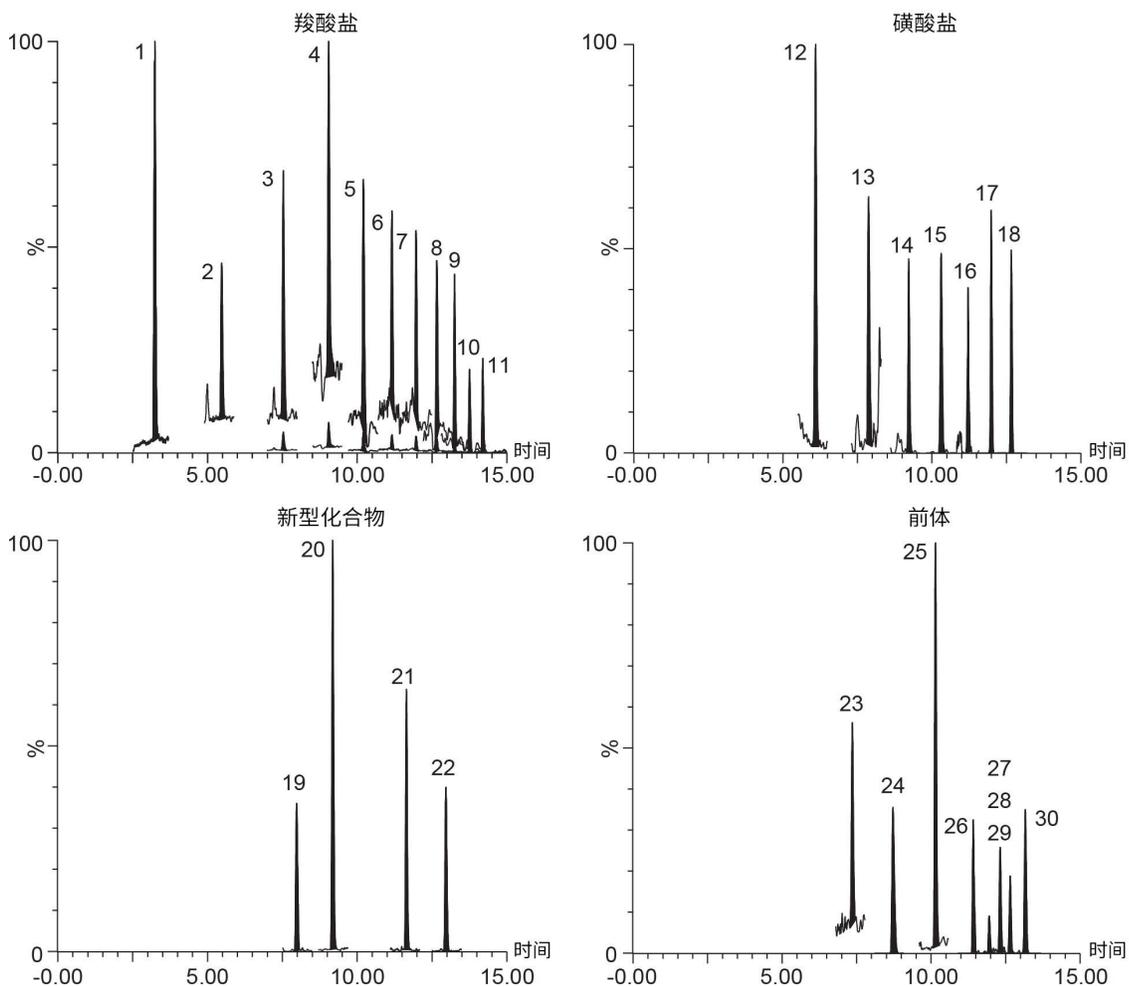


图2.加标浓度为0.1 ng/g的鲑鱼中每种PFAS的定量离子提取离子流色谱图（浓度为1.0 ng/g时显示出峰23）。峰匹配结果见附录。注：峰3-11的放大图与峰1和2的显示方式相同。

肉和类肉样本中最常见的基质干扰化合物是牛磺脱氧胆酸(TDCA)。这是一组标称分子质量为499.7 amu的异构体，它们的MRM通道499 > 80与常用的PFOS定量通道相同。本研究在牛肝和鸡蛋中检出了TDCA，使用499 > 91 MRM作为PFOS特有的定量通道。图3A展示了肝脏和鸡蛋中PFOS的499 > 91 MRM通道，并用不含这种干扰物的碎牛肉作为比较（鱼和肾脏也不含有）。除了交替通道，图3B表明TDCA的存在不会引发肝脏中的任何基质抑制或增强效应（原因为499 > 91通道的色谱分离度和专属性），如在连续样品分析期间（样品包括鲑鱼、罗非鱼、碎牛肉、肝脏和肾脏）进样标准M-PFOS的峰面积所示。如图3B所示，碎牛肉似乎有另一个基质抑制来源，但并不是TDCA，也不是可以在M-PFOS MRM通道中检测到的同分异构体干扰物。即使牛肉中存在基质效应，使用进样和提取内标也可以实现准确且可重现的定量分析，如表1所示。

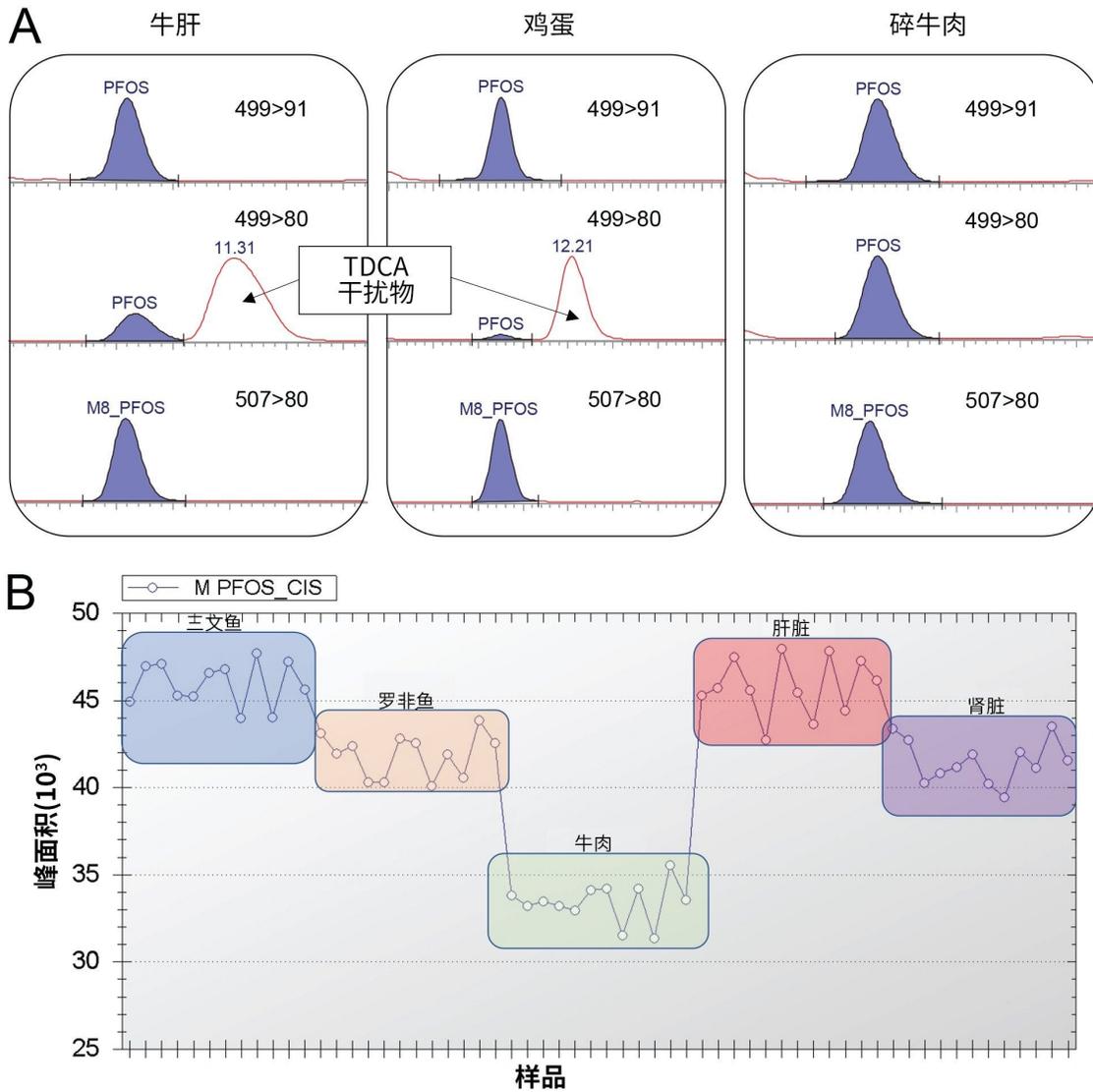


图3.(A)牛肝、鸡蛋和碎牛肉中PFOS MRM通道499 > 91和499 > 80以及M8-PFOS的色谱图，显示牛磺脱氧胆酸(TDCA)是肝脏和鸡蛋中499 > 80通道的干扰物。(B)每种样本基质（鲑鱼、罗非鱼、牛肉、肝脏和肾脏）12次进样（x轴）的M-PFOS进样标准品峰面积（y轴）。

由于缺乏真正的空白基质以及提取溶剂存在污染问题，我们使用了同位素标记的提取标准品来评估方法回收率。回收率值以及n=15种提取物的标准偏差如图4所示。目前没有官方指南或标准来比较食品中PFAS的回收率结果。FDA有一套关于在各种基质（包括食品）中验证化学方法的通用指南，可参考用作回收率指南<sup>6</sup>。此文件在浓度为1 ng/g时允许的回收率范围为40-120%。使用WAX SPE方法无法回收中性磺酰胺，因为它们会在去除基质所需的

甲醇清洗步骤中流失到废液中，导致图4中 $^{13}\text{C}_8$ -FOSA（全氟辛烷磺酰胺）的回收率较低。如果需要回收磺胺类药物，可以使用Oasis HLB替代SPE，但不适用于本研究中涵盖的所有PFAS化合物。除磺胺类化合物外，长链羧酸盐也很难从鸡蛋、鲑鱼和罗非鱼中回收，导致回收率低于FDA指南中要求的40%。此外，NEtFOSAA在罗非鱼中的回收率仅为30%。除了这些棘手化合物外，其余PFAS的回收率均在FDA指南要求的范围内。

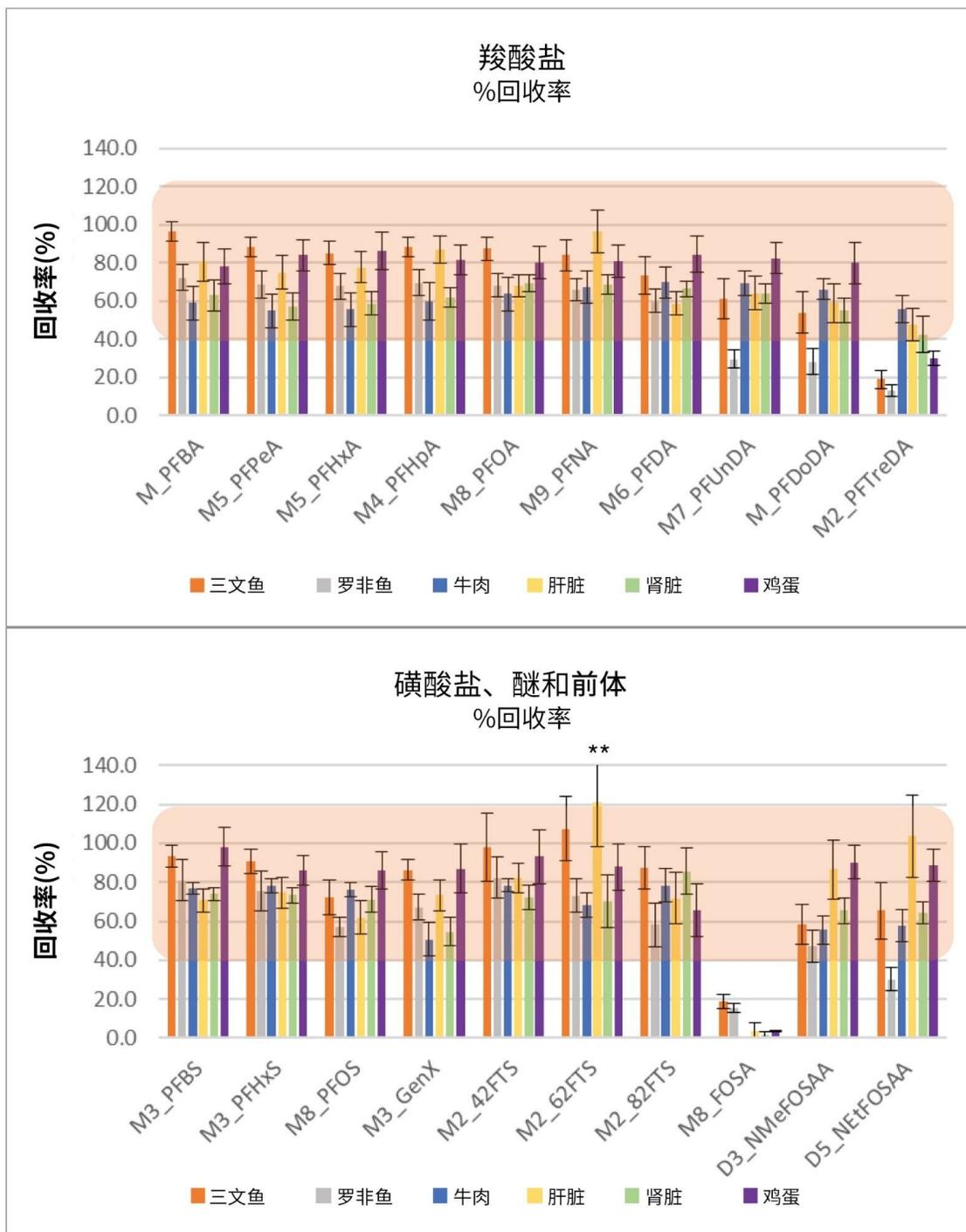


图4.每种基质中的回收率百分比，除了鸡蛋n=5外，所有基质n=15。\*\*标准偏差超出比例为143%。橙色区域为FDA指南在1 ng/g浓度下的回收率标准(40-120%)。

在三种不同的加标水平下，通过比较计算浓度与每个PFAS预期浓度的偏差百分比来评估该方法的准确性。表1列出了每种样品的平均计算浓度（使用同位素稀释法）以及百分比偏差（或准确度）。对于1.0和5.0 ng/g的加标浓度，以及肾脏、肝脏、罗非鱼和牛肉的0.1 ng/g加标水平，平均浓度在预期值的17%以内。肝脏和鲑鱼在0.1 ng/g水平预期值的30%以内。每个浓度下5个重复样品的%RSD值也显示在表1中。除了0.1 ng/g加标水平下肝脏和鲑鱼的RSD分别为21.9和28.4之外，剩余所有样品的RSD均低于20%。偏差和RSD值证明了该方法的精密度和重现性。

		鸡蛋	肾脏	肝脏	罗非鱼	三文鱼	牛肉
0.1 ng/g	平均值(ng/g)	-	0.11	0.10	0.12	0.076	0.11
	%平均偏差	-	14	2.0	19	24	8.0
	%RSD	-	12	22	16	28	13
1.0 ng/g	平均值(ng/g)	1.0	1.1	1.1	1.2	1.0	1.1
	%平均偏差	3.0	11	14	16	3.0	14
	%RSD	7.1	5.7	6.7	7.9	9.0	4.3
5.0 ng/g	平均值(ng/g)	-	5.5	5.7	5.8	5.6	5.5
	%平均偏差	-	9.0	13	16	12	9.8
	%RSD	-	6.9	17	15	6.7	3.7

表1.鸡蛋、肾脏、肝脏、罗非鱼、鲑鱼和牛肉中每个加标水平的平均计算浓度、平均偏差百分比和% RSD (n=5)。

此外，将NIST标准参考物质1947（密歇根湖鱼组织）与加标样品一起提取和分析，衡量方法的准确度。该参考物质报告了四种PFAS（PFNA、PFDA、PFUnDA、PFTriDA）的NIST确定浓度，但由于缺乏数据未指明不确定度。在分析过程中，提取并分析了NIST 1947的n=8个重复样品，比较数据见图5。虽然NIST SRM未提供不确定度，但实验结果与NIST值没有显著差异，进一步证明了方法准确度。

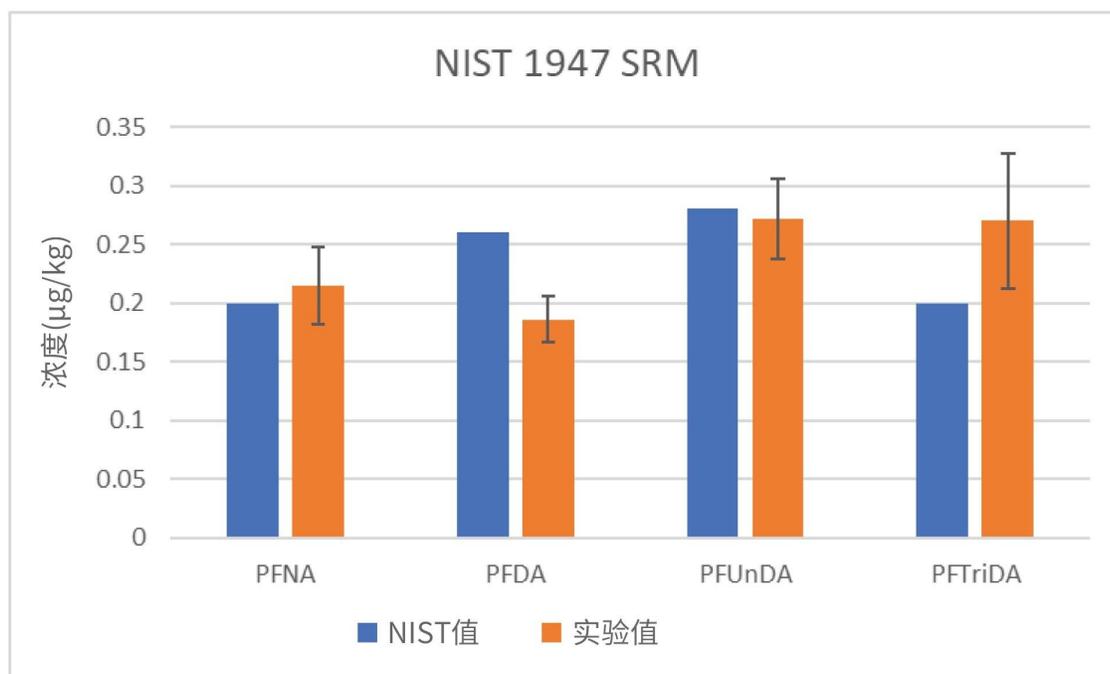


图5.比较NIST报告值与NIST 1947 SRM（密歇根湖鱼组织）中四种PFAS的实验值。实验值 $n=8$ 。

最后，在本研究中使用的鸡蛋和牛肝样品中检测到了可检测量的PFAS，对这些样品进行了准确鉴定和定量（图6）。牛肝含有0.76 ng/g PFOS（0.52 ng/g线性，0.24 ng/g支化），而鸡蛋中的PFPeA、PFHxA、PFHpA和PFOA含量分别为0.18、0.25、0.29和0.13 ng/g。

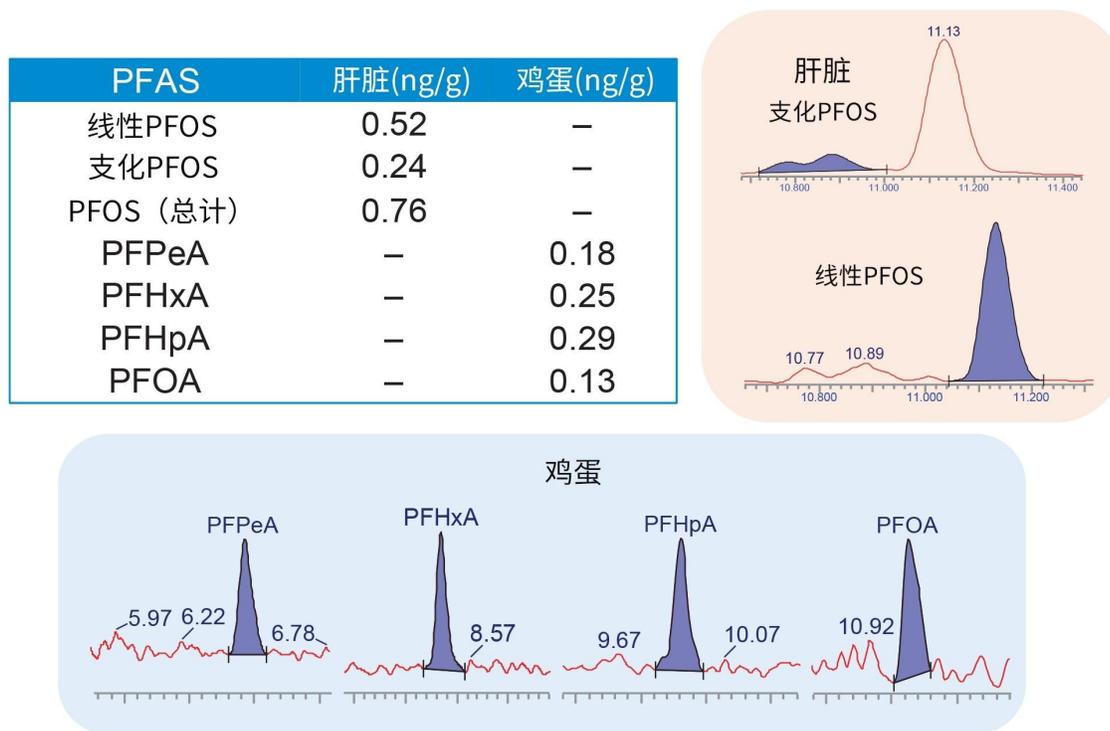


图6.在当地杂货店购买的牛肝和鸡蛋样品中检出的PFAS。

## 结论

由于人们日益关切全氟和多氟烷基化合物(PFAS)长期暴露的影响，PFAS分析的范围已从仅限环境基质扩展到食品分析领域。为保护公众健康、了解膳食暴露，亟需一种能够分析多种食品的方法。EFSA已确定动物源性食品是人类通过饮食摄入PFAS的最主要来源。为此，我们成功实施了碱分解提取和WAX SPE净化程序，从肉类、鱼类、食用内脏和鸡蛋等棘手食品样本中提取PFAS。使用Xevo TQ-XS对提取物进行灵敏、准确的分析，检测限和定量限均在亚ng/g范围内，满足EFSA推荐的PFAS最高摄入量要求。利用PFAS方法包改良液相色谱系统还可以尽可能减少系统和溶剂中潜在的污染物，从而提高结果可信度。除C13和C14羧酸盐外，所有化合物的回收率均符合FDA标准。同位素稀释法的使用考虑了回收率，让用户能够在计算样品中的PFAS浓度时准确校正回收率。在从当地杂货店购买的两种不同食品样本中检测到五种PFAS。这种全面的方法可以分析复杂食品基质中的PFAS，结果可信度高，由此可以更好地监测并了解PFAS对食物源带来的环境影响。

---

## 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. *EFS2*.2020;18(9).
2. Food and Drug Administration. Analytical Results of Testing Food for Pfas From Environmental Contamination. June 2021 [cited 2021 December 15]. 参考网站: <https://www.fda.gov/food/chemical-contaminants-food/analytical-results-testing-food-pfas-environmental-contamination> <  
<https://www.fda.gov/food/chemical-contaminants-food/analytical-results-testing-food-pfas-environmental-contamination>> .
3. Organtini K, Hird S, Adams S. 利用QuEChERS从可食用农产品中提取全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)并在 Xevo TQ-XS上进行高灵敏度分析. 沃特世应用纪要, [720007333ZH](#), 2021年8月.
4. Sadia M, Yeung LWY, Fiedler H. Trace Level Analyses of Selected Perfluoroalkyl Acids in Food: Method Development and Data Generation. *Environmental Pollution*.2020;263.
5. Delinsky AD, Strynar MJ, Nakayama SF, Varns JL, Ye X, McCann PJ, Lindstrom AB. Determination of Ten Perfluorinated Compounds in Bluegill Sunfish (*Lepomis Macrochirus*) Fillets. *Environmental Research*.2009;109:975–984.
6. Food and Drug Administration Foods Program. Guidelines for the Validation of Chemical Methods in Food, Feed, Cosmetics, and Veterinary Products, 3<sup>rd</sup> edition. October 2019.

化合物	PFAS组	母离子	碎片离子	定量离子*	CV	CE	内标	内标的种类	图2的峰归属
PFBA	羧酸盐	213.0	169	x	10	10	<sup>13</sup> C-PFBA		1
PFPeA	羧酸盐	262.9	219	x	10	5	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFPeA		2
PFHxA	羧酸盐	312.9	269	x	5	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFHxA		3
			119		5	20			
PFHpA	羧酸盐	362.9	319	e, s	15	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFHpA		4
			169	b, k, l, t	15	15			
PFOA	羧酸盐	412.9	369	e, s	10	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA		5
			169	b, k, l, t	10	15			
PFNA	羧酸盐	462.9	419		10	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFNA		6
			219	x	10	15			
PFDA	羧酸盐	512.9	468.9		15	9	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFDA		7
			219	x	15	15			
PFUnDA	羧酸盐	562.9	518.9	e, l, s, t	25	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFUnDA		8
			269	b, k	25	20			
PFDoDA	羧酸盐	612.9	568.9		30	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFDoDA		9
			169	x	30	25			
PFTrDA	羧酸盐	662.9	618.9	e, s	5	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFDoDA		10
			169	b, k, l, t	5	30			
PFTreDA	羧酸盐	712.9	668.9	e, s	10	25	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFTreDA		11
			169	b, k, l, t	10	15			
PFBS	磺酸盐	298.9	80.1	x	15	30	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFBS		12
			99.1		15	30			
PFPeS	磺酸盐	348.9	79.9	x	10	30	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFHxS		13
			98.9		10	30			
PFHxS	磺酸盐	398.9	80.1	x	10	35	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFHxS		14
			99.1		10	30			
PFHpS	磺酸盐	448.9	80.1	x	15	35	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS		15
			99.1		15	35			
PFOS	磺酸盐	498.9	80.1	b, k, s, t	15	40	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS		16
			99.1	e, l	15	40			
PFNS	磺酸盐	548.9	80.1	x	20	40	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS		17
			99.1		20	40			
PFDS	磺酸盐	598.9	80.1	x	46	46	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS		18
			99.1		46	46			
GenX (HFPO-DA)	醚	285.0	169	x	5	7	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -GenX		19
			119		5	35			
ADONA	醚	376.9	251	x	10	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -GenX		20
			85		10	25			
9Cl-PF3ONS	醚	530.9	350.9	x	15	25	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS		21
			82.9		15	25			
1Cl-PF3OUdS	醚	630.9	450.9	x	30	30	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS		22
			82.9		30	30			
4:2 FTS	前体	326.9	306.9	x	15	15	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -4:2 FTS		23
			80.9		15	35			
6:2 FTS	前体	426.9	407	x	10	20	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -6:2 FTS		25
			80.1		12	32			
8:2 FTS	前体	526.9	506.8	x	15	25	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -8:2 FTS		27
			80.9		15	37			
FBSA	前体	297.9	78	x	25	25	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -FOSA		24
			118.9		25	15			
FHSa	前体	398.0	78.1	x	30	25	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -FOSA		26
			169		30	25			
FOSA	前体	497.9	78	x	40	30	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -FOSA		30
			418.9	x	35	25			
N-MeFOSAA	前体	569.9	219.1		35	20	D <sub>7</sub> -N-MeFOSAA		28
			418.9	x	15	20			
N-EtFOSAA	前体	584.0	525.9		15	20	D <sub>7</sub> -N-EtFOSAA		29
			418.9	x	15	20			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFBA	-	216.9	172	x	10	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			223	x	10	5			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFPeA	-	267.9	272.9	x	10	5	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			119.9		10	20			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFHxA	-	317.9	321.9	x	15	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			169		15	15			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFHpA	-	366.9	375.9	x	5	15	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			172		5	10			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	-	420.9	426.9	x	10	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			223		10	15			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFNA	-	471.9	473.9	x	5	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			219		5	15			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFDA	-	519	524.9	x	5	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			219		5	15			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFUnDA	-	569.9	569.9	x	10	10	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			169		10	25			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFDoDA	-	614.9	169		25	35	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			669.9	x	25	10			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFTreDA	-	714.9	169		25	35	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			669.9	x	25	10			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFBS	-	301.9	80.1		10	30	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS	提取(MPFAC-24ES)	-
			99.1		10	25			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFHxS	-	401.9	80.1		10	40	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS	提取(MPFAC-24ES)	-
			99.1		10	35			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS	-	506.9	80.1		15	40	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS	提取(MPFAC-24ES)	-
			99.1		15	40			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -FOSA	-	505.9	79.1		35	25	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			418.9		30	20			
D <sub>7</sub> -N-EtFOSAA	-	589	506.9		30	15	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			418.9		35	20			
D <sub>7</sub> -N-MeFOSAA	-	572.9	482.7		35	15	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			308.9		40	15			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -4:2 FTS	-	328.9	81		40	25	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS	提取(MPFAC-24ES)	-
			409		10	20			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -6:2 FTS	-	428.9	80.9		10	27	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS	提取(MPFAC-24ES)	-
			506.9		10	20			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -8:2 FTS	-	528.9	81		10	35	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS	提取(MPFAC-24ES)	-
			169		5	12			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -GenX	-	287	119		5	12	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	提取(MPFAC-24ES)	-
			370		10	10			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOA	-	415	169		10	15	-	进样(MPFAC-C-1S)	-
			80.1		5	40			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFOS	-	503	99.1		5	40	-	进样(MPFAC-C-1S)	-
			470		20	10			
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFDA	-	515	219		20	15	-	进样(MPFAC-C-1S)	-

附表1.方法中所含PFAS的质谱方法条件。(\*) x表示MRM用作所有基质的定量离子。以下字母表示MRM用作指定基

质类型的的定量离子：(s)鲑鱼、(t)罗非鱼、(b)碎牛肉、(l)肝脏、(k)肾脏和(e)鸡蛋。

	LOD (ng/g)					LOQ (ng/g)				
	肾脏	肝脏	牛肉	罗非鱼	三文鱼	肾脏	肝脏	牛肉	罗非鱼	三文鱼
PFBA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.072	0.049	0.059	N/A	0.067
PFPeA	N/A	0.010	N/A	N/A	N/A	0.049	0.053	0.021	N/A	0.034
PFHxA	0.083	0.016	N/A	0.033	0.028	0.312	0.086	N/A	0.130	0.099
PFHpA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.016	0.016	0.010	0.038	0.088
PFOA	0.014	0.017	0.012	0.010	0.027	0.054	0.059	0.036	0.033	0.049
PFNA	0.019	0.031	0.012	0.006	0.005	0.021	0.040	0.016	0.007	0.012
PFDA	0.040	0.017	0.021	0.009	0.010	0.044	0.021	0.037	0.015	0.022
PFUnDA	0.029	0.013	0.014	0.016	0.026	0.044	0.089	0.026	0.078	0.080
PFDODA	0.031	0.010	0.022	0.005	0.009	0.070	0.013	0.027	0.007	0.014
PFTriDA	0.015	0.020	0.015	0.015	0.014	0.025	0.034	0.028	0.030	0.030
PFTreDA	0.005	0.020	0.020	0.006	0.005	0.006	0.024	0.025	0.013	0.008
PFBS	0.021	0.016	0.018	0.012	0.012	0.035	0.032	0.032	0.025	0.025
PFPeS	0.024	0.031	0.017	0.011	0.029	0.034	0.053	0.022	0.013	0.047
PFHxS	0.008	0.016	0.016	0.007	0.011	0.015	0.018	0.018	0.017	0.024
PFHpS	0.015	0.025	0.020	0.018	0.008	0.021	0.031	0.024	0.022	0.016
PFOS	0.016	0.023	0.005	0.008	0.010	0.019	0.033	0.006	0.010	0.029
PFNS	0.065	0.050	0.045	0.020	0.021	0.065	0.050	0.045	0.020	0.021
PFDS	0.035	0.035	0.070	0.010	0.030	0.035	0.035	0.070	0.010	0.030
GenX	0.020	0.020	0.015	0.015	0.005	0.026	0.025	0.021	0.022	0.010
ADONA	0.022	0.011	0.015	0.010	0.005	0.029	0.015	0.017	0.010	0.009
9ClPF3ONS	0.038	0.022	0.025	0.013	0.008	0.045	0.031	0.035	0.022	0.018
11ClPF3OUdS	0.025	0.019	0.019	0.013	0.017	0.030	0.023	0.024	0.018	0.021
4_2 FTS	0.259	0.163	0.186	0.134	0.131	0.576	0.469	0.542	0.458	0.448
6_2 FTS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
8_2 FTS	0.070	0.034	0.051	0.037	0.036	0.106	0.062	0.094	0.088	0.082
FBSA	0.022	0.035	0.015	0.006	0.007	0.023	0.035	0.015	0.007	0.007
FHxSA	0.030	0.020	0.025	0.010	0.021	0.030	0.020	0.025	0.010	0.022
FOSA	0.025	0.020	0.015	0.005	0.004	0.025	0.021	0.019	0.005	0.004
NMeFOSAA	0.040	0.020	0.017	0.018	0.025	0.052	0.036	0.030	0.052	0.021
NEtFOSAA	0.023	0.029	0.016	0.010	0.033	0.043	0.044	0.045	0.022	0.084

附表2. 每种基质的LOD和LOQ (ng/g)

---

## 特色产品

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

[Xevo TQ-XS三重四极杆质谱仪 <https://www.waters.com/134889751>](https://www.waters.com/134889751)

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

[TargetLynx <https://www.waters.com/513791>](https://www.waters.com/513791)

720007482ZH, 2022年1月

© 2022 Waters Corporation. All Rights Reserved.

[使用条款](#) [隐私](#) [商标](#) [网站地图](#) [招聘](#) [Cookie](#) [Cookie](#) [设置](#)

沪 ICP 备06003546号-2

京公网安备 31011502007476号