

## 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

---

Kari L. Organtini, Simon Hird, Stuart Adams

Waters Corporation

---

### 摘要

环境中全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)暴露的相同来源也会导致食物源受到污染。使用受PFAS污染的水和土壤种植农产品会导致这些化合物被吸收到植物的可食用水果和蔬菜部分。因此,如果有一种简单直接的方法来监测农产品中PFAS的存在情况,将会大有裨益。本研究采用基于QuEChERS提取的FDA C-010.01方法,使用DisQuE分散固相萃取(dSPE)产品提取PFAS,然后在ACQUITY UPLC I-Class PLUS与Xevo TQ-XS联用系统上进行高灵敏度LC-MS/MS分析。该方法在包括生菜、草莓、蔓越莓、胡萝卜和马铃薯在内的5种不同商品类型中进行了评价。通过对FDA方法进行一些细微调整,证明这种用于分析农产品中PFAS的方法可准确、可靠地分析30种不同化学类别的PFAS化合物。

### 优势

- 利用QuEChERS提取和dSPE净化从可食用农产品中高效、简单地萃取PFAS
- 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报告中公布的检测浓度一致
- 利用PFAS方法包改良液相色谱系统,分离可能的系统和溶剂污染物,从而提高结果可信度

---

## 简介

全氟烷基和多氟烷基化合物(PFAS)普遍应用于日常产品中，对环境的影响显而易见。环境问题通常也会影响我们的食物源。

就农产品而言，PFAS会影响用于灌溉和种植农作物的水和土壤，造成污染。研究表明，可食用植物会吸收PFAS，其中可食用部分对短链PFAS（PFBA和PFPeA）的吸收率较高，植物根部和梗/茎对PFAS的吸收范围较宽<sup>1,2</sup>。由于灌溉用水通常也是饮用水或地下水，因此可能通过任何环境污染途径（生产排放、消防泡沫、垃圾渗滤液等）引入污染<sup>3</sup>。土壤污染可能以类似的机制发生，但使用生物固体作为肥料已成为农作物污染的主要问题<sup>4</sup>。

尽管一些国家/地区对水中PFAS的浓度规定了法规限值或建议限值，但尚未对生物固体或食品中的PFAS设定限值。欧洲食品安全局(EFSA)评估并发布了有关食品中存在PFAS而导致人类健康风险的数据。2020年发布的最新报告得出以下结论：在评价的27种PFAS中，鱼类、水果和鸡蛋的暴露水平最高<sup>5</sup>。本研究提交的数据采用了一系列提取和分析技术。美国食品药品监督管理局(FDA)在其总膳食研究中监测高消费食品中的污染物<sup>6</sup>。为了能够将PFAS纳入该研究，他们创建并验证了食品中PFAS的提取方法<sup>7</sup>。该方法(FDA C-010.01)<sup>8</sup>先实施QuEChERS提取而后进行分散固相萃取(dSPE)净化。QuEChERS（Quick（快速）、Easy（简便）、Cheap（经济）、Effective（有效）、Rugged（稳定）和Safe（安全））是一种广泛使用的提取技术，一开始用于提取食品中的农药，并经常用于测定其他污染物。该技术使用盐和乙腈，通过盐析和相分离机制提取目标化合物。使用ACQUITY UPLC I-Class PLUS与Xevo TQ-XS联用系统进行分析，评价这项快速、简单的提取技术从各种农产品样品中提取PFAS的性能。

---

## 实验

### 样品前处理

从当地食品杂货店购得农产品样品，本研究使用草莓、蔓越莓、长叶莴苣、整根胡萝卜和黄褐色马铃薯。使用Ninja厨房搅拌机将各种农产品的可食用部分均质化。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。

使用DisQuE AOAC QuEChERS盐提取5 g各样品。提取前，将一套购自Wellington Laboratories的20种同位素标记标准品(MPFAC-24ES + M3HFPO-DA)以1 ng/g的浓度添加至5 g各样品中作为替代物。图1概述了完整的QuEChERS提取和dSPE净化程序。进样前，将MPFAC-C-IS作为内标添加至各样品中，得到最终浓度1 ng/g（样品瓶中的浓度为0.25 ng/mL）。使用SPEX Sample Prep Geno/Grinder执行振摇步骤。在同位素稀释法中使用替代物和内标物计算天然PFAS浓度。替代标准品可校正回收率计算结果，因为它们在样品前处理全程都存在于样品

中。内标仅在提取后出现，用于校正替代物在进样过程中发生的任何变化。

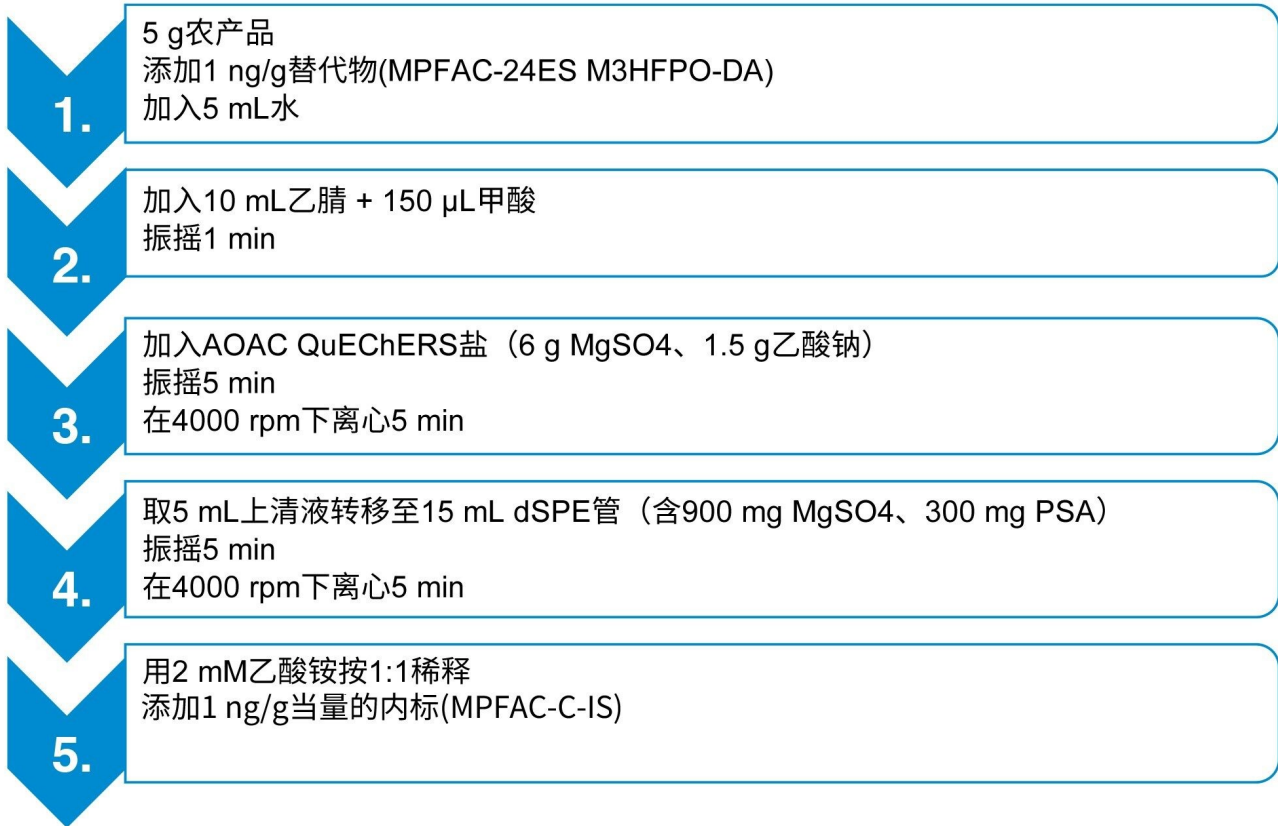


图1.使用DisQuE AOAC盐 (部件号: [186006812](#)) 和15 mL dSPE管 (部件号: [186008077](#)) 从农产品样品中提取PFAS的完整QuEChERS方法

使用0.01~5 ng/mL (相当于0.04~40 ng/g) 范围内的溶剂标准曲线。由于存在替代物和内标，因此无需基质匹配，但是可采用基质匹配来替代同位素稀释方法。

## 方法条件

液相色谱条件

液相色谱系统:	ACQUITY UPLC I-Class PLUS FTN, 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
色谱柱:	ACQUITY UPLC BEH C <sub>18</sub> 2.1 × 100 mm, 1.7 μm
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乙酸铵

## 梯度表

时间(min)	%A	%B	曲线
0	95	5	初始
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-
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
MS方法:	MS方法信息见附录

## 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的MassLynx 4.2版

## 调整FDA指南方法

FDA方法使用无缓冲版本的QuEChERS。使用蔓越莓作为基质比较无缓冲盐 ( $\text{MgSO}_4$ 和 $\text{NaCl}$ ) 与两种不同的缓冲方法 (AOAC和 CEN) <sup>9,10</sup>, 确定PFAS分析最高效的提取条件。图2中的条形图展示了三种盐组合得到的回收率示例。某些化合物的回收率存在一些差异, 但一般而言, 三种盐组合对PFAS的提取效果相同, 因此选择AOAC方法进一步评价。

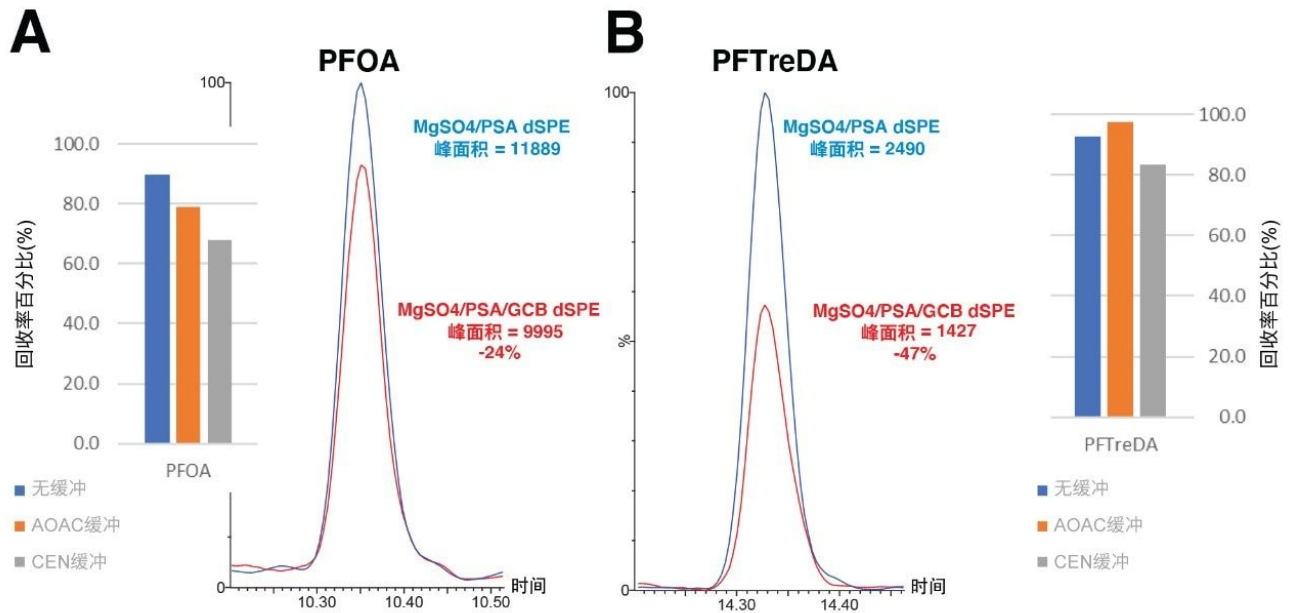


图2.不同QuEChERS盐的评价结果, 用条形图中的回收率表示; 峰叠加图显示了dSPE净化中包含GCB的影响。(A) PFOA和(B) PFTreDA的结果。

评价dSPE使用的吸附剂, 重点考察石墨化炭黑(GCB)的添加量。在该比较中, dSPE吸附剂的其余部分保持一致, 均使用900  $\text{MgSO}_4$ 和300 PSA (每15 mL试管)。在使用和不使用150 mg GCB的情况下测试该配置, 因为已知GCB对化合物具有很强吸附性, 会导致某些化合物的回收率下降。图2中的叠加峰展示了使用和不使用GCB时峰响应的影响。使用GCB时, 峰响应 (对应于回收率) 下降, 这种影响随着C-F链长增加愈发明显。因此, 最终dSPE

净化方法中删除了GCB。

对发布的FDA方法所做的最后调整是在LC-MS/MS分析之前增加稀释步骤，目的是改善先洗脱PFAS的峰形，因为在100%乙腈条件下进样会导致PFBA、PFPeA和4:2 FTS等化合物的峰分裂和展宽。图3展示了增加稀释步骤对早洗脱物的好处，该图还证明，即使晚洗脱物（例如PFNA）的响应有所下降，也不会对灵敏度产生显著的负面影响。

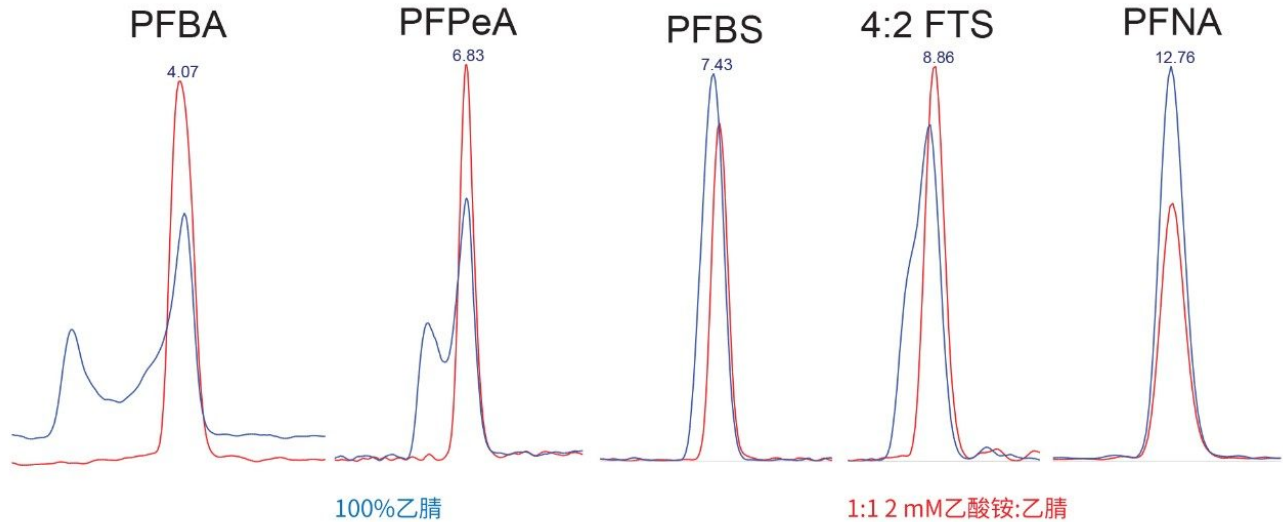


图3.通过样品稀释获得的峰形校正图示。蓝色峰为未稀释样品，红色峰为用2 mM乙酸铵水溶液按1:1稀释后的结果。

## 结果与讨论

FDA指南方法仅使用生菜作为唯一的代表性农产品样品进行了验证。本研究将范围扩展到五种不同的商品类别，如表1所述。分析物数量从FDA方法最初规定的16种增加至总共30种PFAS，包括以下化合物；羧酸盐： $C^4-C^{14}$ ；磺酸盐： $C^4-C^{10}$ ；新型化合物：GenX、ADONA、9Cl-PF3ONS、11Cl-PF3OUdS；前体：FBSA、FHxSA、FOSA、NMeFOSAA、NEtFOSAA、4:2 FTS、6:2 FTS、8:2 FTS。

农产品	商品类别	加标浓度	羧酸盐	磺酸盐	新型化合物	前体物质
长叶莴苣	高含水量	0.1 ng/g	95-118 (9.4)	78-118 (17)	108-121 (12)	87-135 (5.7)
		1.0 ng/g	80-90 (4.2)	92-101 (4.4)	86-95 (5.4)	69-99 (3.0)
		5 ng/g	84-95 (4.9)	99-104 (5.4)	94-103 (6.1)	82-108 (6.2)
黄褐色马铃薯	高淀粉含量	0.1 ng/g	72-121 (7.0)	95-111 (12)	95-104 (10)	81-110 (10)
		1.0 ng/g	77-93 (6.1)	92-102 (5.0)	85-96 (6.5)	68-103 (3.8)
		5 ng/g	71-84 (4.0)	76-83 (3.5)	74-85 (4.6)	62-85 (4.1)
整根胡萝卜	低含水量	0.1 ng/g	78-132 (6.6)	94-110 (12)	90-101 (9.5)	94-108 (8.9)
		1.0 ng/g	79-98 (6.9)	91-103 (5.7)	88-106 (6.2)	79-102 (5.0)
		5 ng/g	75-89 (8.0)	80-87 (4.0)	77-86 (5.6)	70-89 (4.5)
草莓	高糖	0.1 ng/g	89-110 (10)	89-118 (7.9)	100-111 (14)	104-128 (6.3)
		1.0 ng/g	82-98 (3.2)	92-98 (4.2)	86-101 (5.6)	75-104 (3.0)
		5 ng/g	90-99 (7.4)	99-105 (6.5)	95-105 (7.3)	86-105 (7.3)
蔓越莓	高酸和高糖	0.1 ng/g	85-99 (8.6)	86-99 (11)	87-102 (19)	83-106 (8.1)
		1.0 ng/g	85-101 (8.3)	95-103 (5.6)	91-101 (8.5)	80-101 (4.8)
		5 ng/g	65-93 (5.4)	80-89 (2.7)	79-93 (5.1)	70-89 (3.3)

表1.三种不同加标浓度下各商品的回收率百分比(%)范围，每种浓度下的提取次数 $n=5$ 。以( $n$ )表示的值为平均%*RSD*。

每种农产品商品以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。以0.1 ng/g的最低浓度预添加至马铃薯中的各种PFAS的提取定量离子迹线的示例色谱图参见图4。另外，在基质中可检测到PFHxS、PFOS、NMeFOSAA和NEtFOSAA的支化和线性异构体，如图5所示，基质中PFOS的浓度为0.05 ng/g。



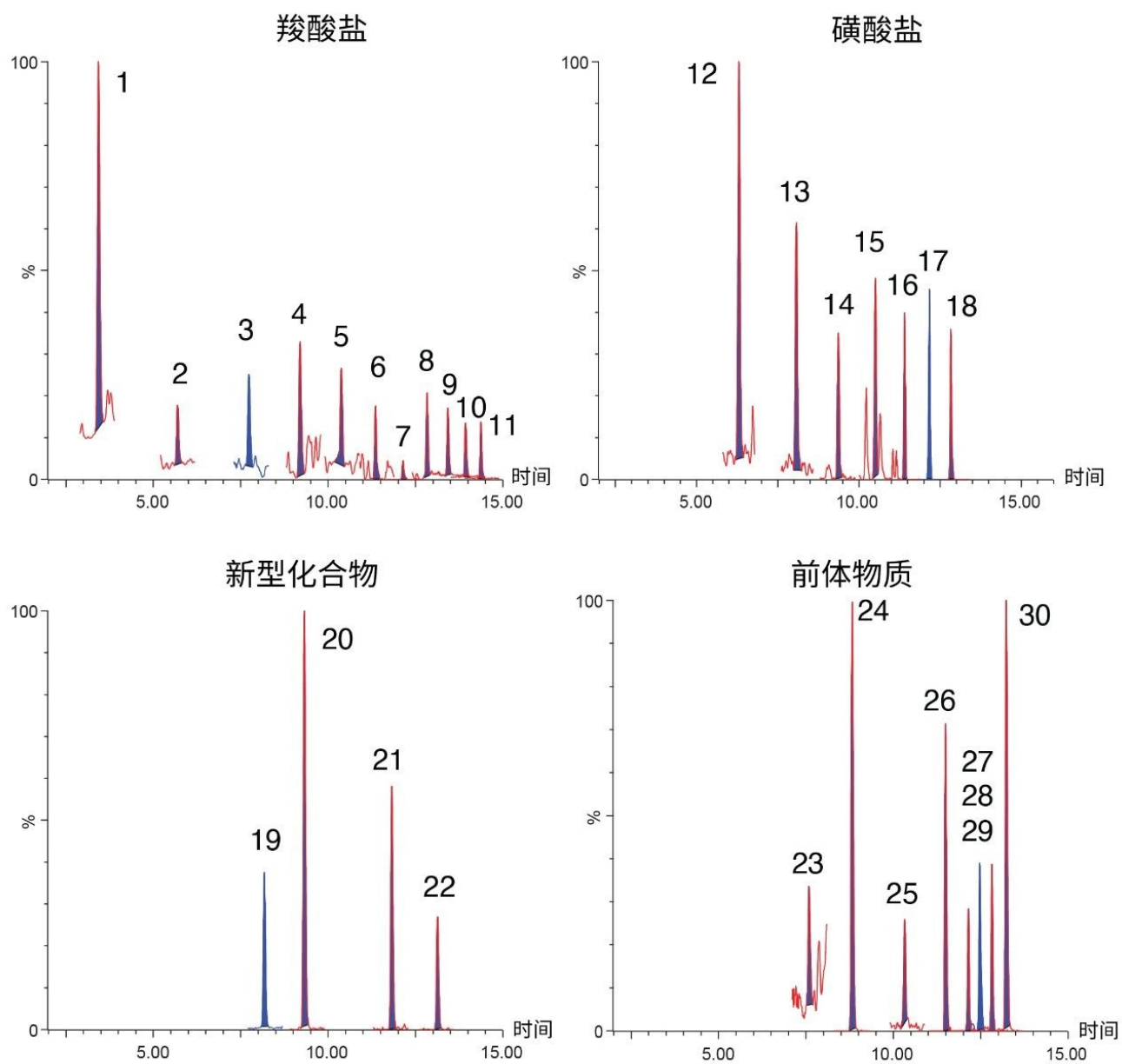


图4.马铃薯中加标浓度分别为0.1 ng/g的各种PFAS定量离子的提取离子流色谱图。峰鉴定结果见附录。

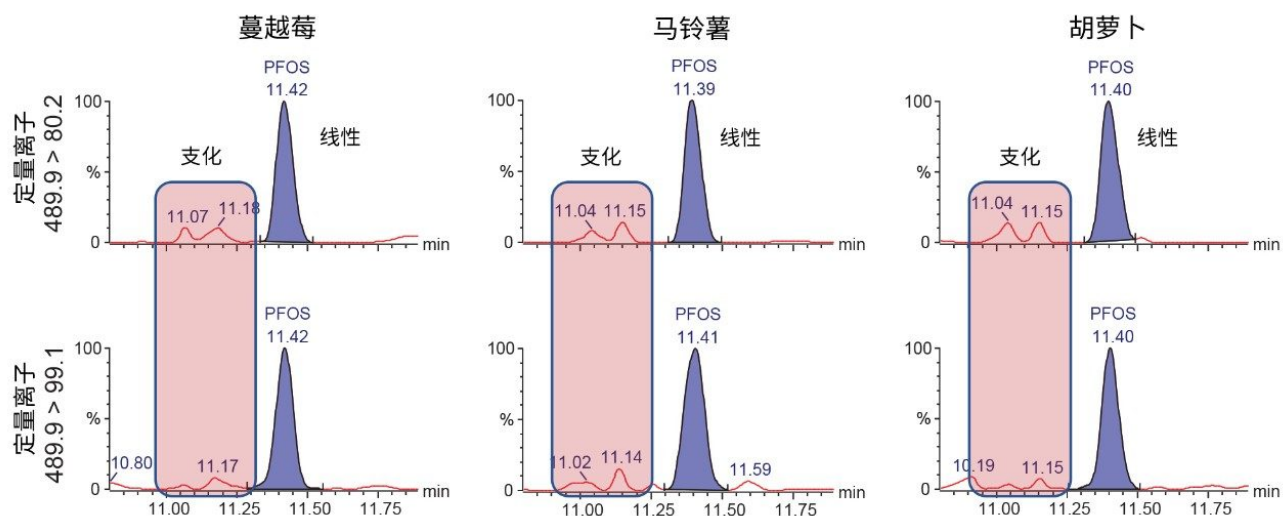


图5.蔓越莓、马铃薯和胡萝卜基质中加标浓度为0.05 ng/g的支化和线性PFOS异构体的检测结果

通过比较预加标基质样品与以相同浓度后加标的基质空白的响应值来计算回收率。回收率计算之前执行的唯一校正为内标校正（在制备样品后添加内标以校正系统方差和基质效应）。表1显示了每种商品在各浓度水平下所有化合物的实测回收率范围，按PFAS类别划分，括号中的值表示平均%RSD。总体而言，所有商品组的回收率在62~135%的范围内，平均回收率为72~113%。图6展示了所有商品中各浓度水平下每个PFAS组的平均回收率。加标浓度为1.0 ng/g和5.0 ng/g的所有商品的%RSD均低于10%。加标浓度为0.1 ng/g的样品的%RSD均低于20%。FDA指南规定，在1 ng/g浓度下，可接受的回收率范围为40~120%，%RSD不得超过22%<sup>11</sup>。报告的回收率处于该可接受范围内，仅在低加标浓度下存在少数超过120%的异常值。所有%RSD都处于可接受范围内。这些实验值表明，提取和分析方法准确且可重现。

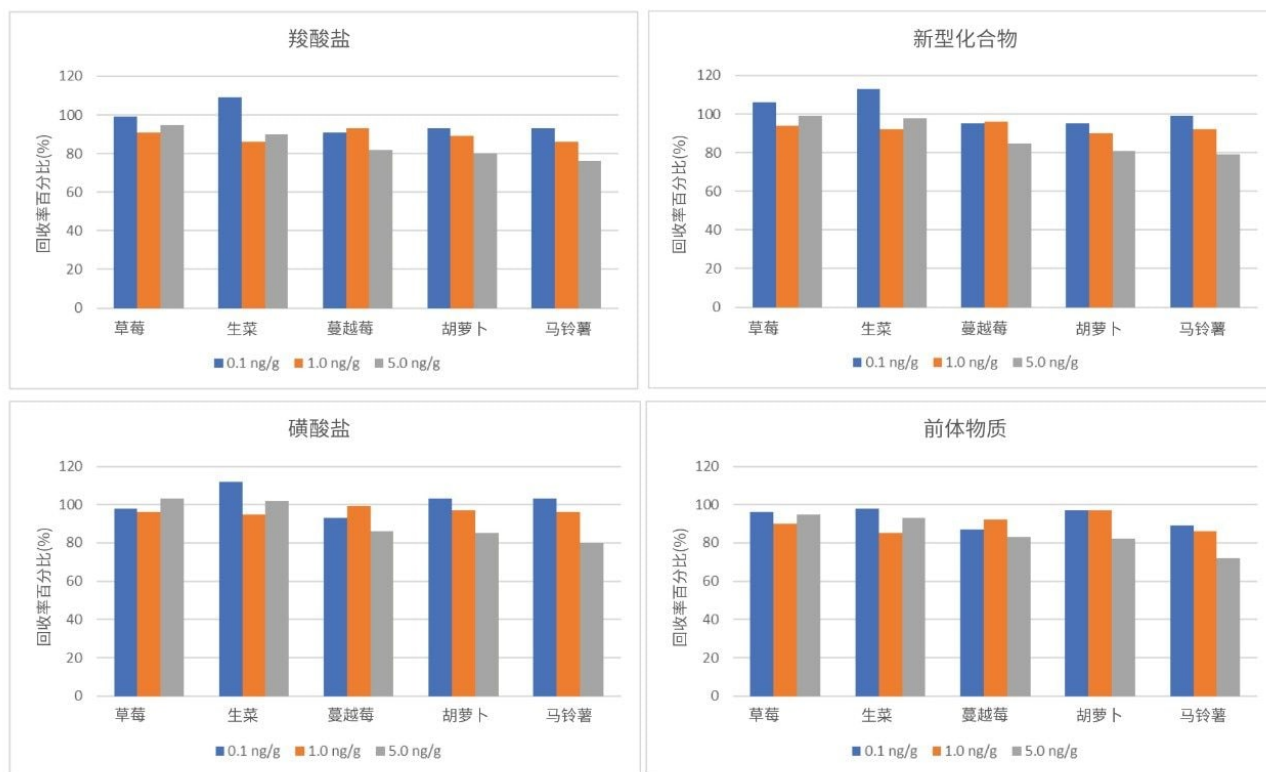


图6.每种被测商品在各浓度水平下提取5次的平均回收率百分比

考虑到有基质增强或抑制效应可能影响计算浓度，以及提取过程中可能出现样品损失，因此利用在QuEChERS提取前加入样品中的同位素标记标准品（替代物）执行同位素稀释计算。图7中的箱线图展示了使用溶剂标准曲线时该校正如何在具有最大基质效应的基质（蔓越莓、胡萝卜和马铃薯）中计算出更准确的结果。这些样品中PFAS的预期浓度为5 ng/g。在不使用任何同位素稀释校正的情况下，蔓越莓、胡萝卜和马铃薯中的平均浓度分别为3.6、4.0和4.2 ng/g。在不经校正的情况下，计算浓度的分布范围也较宽。使用替代物进行同位素稀释计算，蔓越莓、胡萝卜和马铃薯的平均浓度分别为4.7、4.6和4.8 ng/g，分布范围更窄。

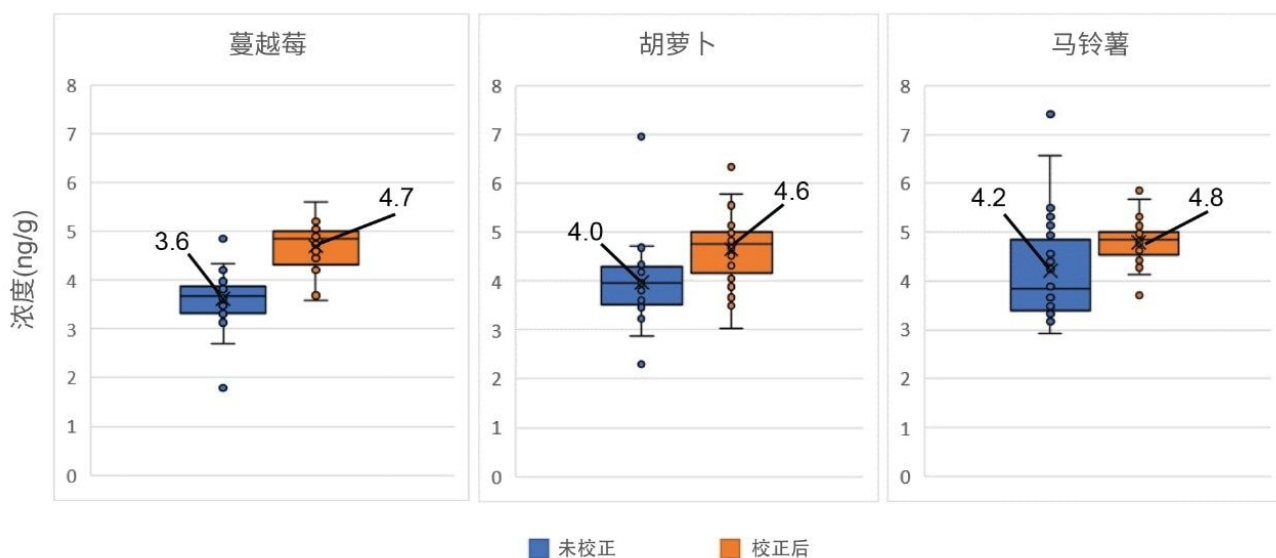


图7.使用同位素标记的替代物进行同位素稀释计算，以执行浓度校正。预期浓度为5 ng/g。不使用替代物时的计算浓度（蓝色）校正使用同位素稀释时的计算浓度（橙色）。标记的数据点为平均值。

## 结论

基于QuEChERS的FDA方法C-010.01在细微调整提取程序后成功用于分析不同可食用农产品样品中的PFAS。QuEChERS提取快速简便，仅需少量样品和少量有机溶剂。评价的PFAS组合已扩展至30种化合物。总体而言，该方法在回收率方面的性能符合FDA指南标准，用户可以对结果准确度充满信心。此外，该方法还具有良好的重现性，重复提取的%RSD值很低。该方法可快速轻松地分析可食用农产品中的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. Blaine AC, Rich CD, Sedlacko EM, *et al.* Perfluoroalkyl Acid Uptake in Lettuce (*Lactuca sativa*) and Strawberry (*Fragaria ananassa*) Irrigated with Reclaimed Water. *Environ Sci Technol*

.2014;48(24):14361–14368.

2. Lechner M, Knapp H. Carryover of Perfluorooctanoic acid (Pfoa) and Perfluorooctane sulfonate (Pfos) From Soil to Plant and Distribution to the Different Plant Compartments Studied in Cultures of Carrots (*Daucus carota ssp.sativus*), Potatoes (*Solanum tuberosum*), and Cucumbers (*Cucumis sativus*). *J Agric Food Chem*.2011;59(20):11011-11018.
3. Brown JB, Conder JM, Arblaster JA, Higgins CP. Assessing Human Health Risks from Per- and Polyfluoroalkyl Substance (PFAS)-Impacted Vegetable Consumption: a Tiered Modeling Approach. *Environ Sci Technol*.2020; 54(23):15202–15214.
4. Blaine AC, Rich CD, Hundal LS, *et al*. Uptake of Perfluoroalkyl acids into Edible Crops via Land Applied Biosolids: Field and Greenhouse Studies. *Environ Sci Technol*.2013;47(24):14062-14069.
5. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAM Panel), Schrenk D, Bignami M, *et al* .Risk to Human Health Related to the Presence of Perfluoroalkyl Substances in Food.EFS2.2020;18(9).
6. Food and Drug Administration. Analytical Results of Testing Food for PFAS from Environmental Contamination. June 2021 [cited 2021 July 14]. Available from: <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>>
7. Genualdi S, Young W, DeJager L, Begley T. Method Development and Validation of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Foods from FDA’ s Total Diet Study Program. *J Agric Food Chem* .2021;69(20):5599-5606.
8. Genualdi S, DeJager L. FDA Method Number C-010.01. Determination of 16 Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food Using Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS). *US Food and Drug Administration*.2019.
9. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. Official Method 2007.01. Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate.2007.
10. European Committee for Standardization EN 15662. Foods of Plant Origin - Multimethod for the Determination of Pesticide Residues using GC- and LC-Based Analysis following Acetonitrile Extraction/Partitioning and Clean-up by Dispersive SPE – Modular QuEChERS Method.2018.

11. 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.

## 附录

Compound	PFAS group	Parent	Fragment	CV	CE	Internal standard	Fig 4 peak assignment
PFBA	carboxylate	213.0	169	8	5	<sup>13</sup> C-PFBA	1
PFPeA	carboxylate	262.9	218.9	5	5	<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFPeA	2
PFHxA	carboxylate	312.9	268.9	16	6	<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFHxA	3
			118.9	16	21		
PFHpA	carboxylate	362.9	318.9	14	8	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFHpA	4
			168.9	14	14		
PFOA	carboxylate	412.9	368.9	22	7	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOA	5
			168.9	22	15		
PFNA	carboxylate	462.9	418.9	18	9	<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFNA	6
			218.9	18	15		
PFDA	carboxylate	512.9	468.9	6	9	<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -PFDA	7
			218.9	6	15		
PFUnDA	carboxylate	562.9	518.9	8	8	<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFUnDA	8
			268.9	8	14		
PFDoDA	carboxylate	612.9	568.9	12	12	<sup>13</sup> C-PFDoDA	9
			168.9	12	21		
PFTriDA	carboxylate	662.9	168.9	14	22	<sup>13</sup> C-PFDoDA	10
			218.9	14	20		
PFTreDA	carboxylate	712.9	218.9	14	22	PFTreDA	11
			168.9	14	20		
PFBS	sulfonate	298.9	80.1	7	27	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFBS	12
			99.1	7	27		
PFPeS	sulfonate	348.9	79.9	32	31	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFHxS	13
			98.9	32	25		
PFHxS	sulfonate	398.9	80.1	38	35	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFHxS	14
			99.1	38	29		
PFHpS	sulfonate	448.9	79.9	16	34	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOS	15
			98.9	16	34		
PFOS	sulfonate	498.9	79.9	30	42	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOS	16
			98.9	30	40		
PFNS	sulfonate	548.9	80.1	24	40	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOS	17
			99.1	24	36		
PFDS	sulfonate	598.9	80.1	46	46	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOS	18
			99.1	46	46		
GenX (HFPO-DA)	emerging	285.0	169	5	7	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -GenX	19
			GenX	119	5		
ADONA	emerging	376.9	251	12	10	<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -GenX	20
			377.3	84.9	12		
9Cl-PF3ONS	emerging	531.0	351	14	22	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOS	21
			82.9	14	20		
11Cl-PF3OUdS	emerging	631.0	450.9	16	26	<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFNA	22
			631.2	82.9	16		
4:2 FTS	precursor	326.9	306.9	42	18	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -4:2 FTS	23
			327.3	80.9	42		
6:2 FTS	precursor	427.0	406.9	12	22	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -6:2 FTS	25
			427.3	80.1	12		
8:2 FTS	precursor	526.9	506.9	28	26	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -8:2 FTS	27
			527.3	80.9	28		
FBSA	precursor	297.9	78	25	25	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFHpA	24
			118.9	25	15		

Compound	PFAS group	Parent	Fragment	CV	CE	Internal standard	Fig 4 peak assignment
FHxSA	precursor	398.0	78.1	30	25	<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFHpA	26
			169	30	25		
FOSA	precursor	498.0	77.9	40	29	<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -FOSA	30
N-MeFOSAA	precursor	569.9	418.9	36	15	D <sub>3</sub> -N-MeFOSAA	28
			168.9	36	27		
N-EtFOSAA	precursor	584.0	418.9	34	15	D <sub>3</sub> -N-EtFOSAA	29
			525.9	34	18		
<sup>13</sup> C-PFBA	-	217	172	7	8	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFPeA	-	268	223	11	7	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
<sup>13</sup> C <sub>5</sub> -PFHxA	-	318	273	10	6	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
			120	10	18		
<sup>13</sup> C <sub>4</sub> -PFHpA	-	367	322	16	7	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
			172	16	15		
<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOA	-	421	376	6	8	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
			172	6	16		
<sup>13</sup> C <sub>9</sub> -PFNA	-	472	172	7	18	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
			223	7	18		
<sup>13</sup> C <sub>6</sub> -PFDA	-	519	473.9	25	7	<sup>13</sup> C-PFDA	-
			219	25	13		
<sup>13</sup> C <sub>7</sub> -PFUnDA	-	569.9	524.9	9	8	<sup>13</sup> C-PFDA	-
			273.9	9	14		
<sup>13</sup> C-PFDoDA	-	615	569.9	23	10	<sup>13</sup> C-PFDA	-
			168.9	23	22		
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFTrDA	-	715	168.9	18	25	<sup>13</sup> C-PFDA	-
			219	18	25		
<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFBS	-	301.9	80.1	34	28	<sup>13</sup> C-PFOS	-
			99.1	34	24		
<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -PFHxS	-	402	80.1	13	38	<sup>13</sup> C-PFOS	-
			99.1	13	30		
<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -PFOS	-	507	80.1	36	34	<sup>13</sup> C-PFOS	-
			99.1	36	34		
<sup>13</sup> C <sub>8</sub> -FOSA	-	506	77.9	13	28	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
D <sub>5</sub> -N-EtFOSAA	-	589	418.9	24	17	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
			482.9	24	13		
D <sub>3</sub> -N-MeFOSAA	-	573	418.9	17	18	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
			515	17	18		
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -4:2 FTS	-	329	309	14	18	<sup>13</sup> C-PFOS	-
			80.9	14	21		
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -6:2 FTS	-	429	409	48	21	<sup>13</sup> C-PFOS	-
			80.9	48	27		
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -8:2 FTS	-	529	509	20	27	<sup>13</sup> C-PFOS	-
			80.9	20	37		
<sup>13</sup> C <sub>3</sub> -GenX	-	287	169	5	12	<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-
			119	5	12		
<sup>13</sup> C <sub>2</sub> -PFOA	-	415	370	10	10	-	-
			169	10	15		
<sup>13</sup> C-PFOS	-	503	80.1	5	40	-	-
			99.1	5	40		
<sup>13</sup> C-PFDA	-	515	470	20	10	-	-
			219	20	15		



---

## 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)

720007333ZH, 2023年8月修订



© 2024 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](#)