

使用两种通过式净化柱结合 6495 UHPLC-MS/MS 检测鸡蛋中的 28 种全氟和多氟烷基化合物

作者

张子豪，吴翠玲
安捷伦科技（中国）有限公司

前言

全氟和多氟烷基化合物 (Per/Polyfluoroalkyl substances, PFAS) 是一类人工合成的含氟有机化合物，广泛应用于多个领域。PFAS 性质稳定且具有生物累积性，对人类生殖、免疫、肝功能和内分泌系统等具有潜在危害，因此对各种基质中的 PFAS 化合物进行监测和控制已经引起全球众多国家和组织的重视。

准确分析食品中的 PFAS 化合物对于保障食品安全至关重要。为此，安捷伦针对不同的食品基质类型推出了两种高效混合模式通过式净化小柱，并提供了完整的解决方案。其中，Captiva EMR PFAS Food II 小柱 (750 mg, 6 mL) 适用于处理动物源食品（肉、蛋、奶等）、干性植物种子类食品（如大豆、花生等）、饲料和油等基质。

本文选择适用于鸡蛋基质的 Agilent Captiva EMR PFAS Food II 通过式小柱和 A 品牌复合高效除脂专用柱，利用高灵敏度 Agilent 6495D 三重四极杆液质联用系统，从净化效果和回收率结果方面对两种通过式净化柱进行了对比。结果表明，Captiva EMR PFAS Food II 在对鸡蛋中的脂质去除、颜色净化以及 28 种 PFAS 回收率结果方面均优于 A 品牌同类产品。

28 种 PFAS 分析

准确称取适量待测样品，加入乙腈后涡旋振荡提取，经离心后分别过 Captiva EMR PFAS Food II 小柱和 A 品牌复合除脂柱净化；盐析分层后，取部分上清液，经氮吹浓缩后上机检测。详细的样品前处理流程见图 1。

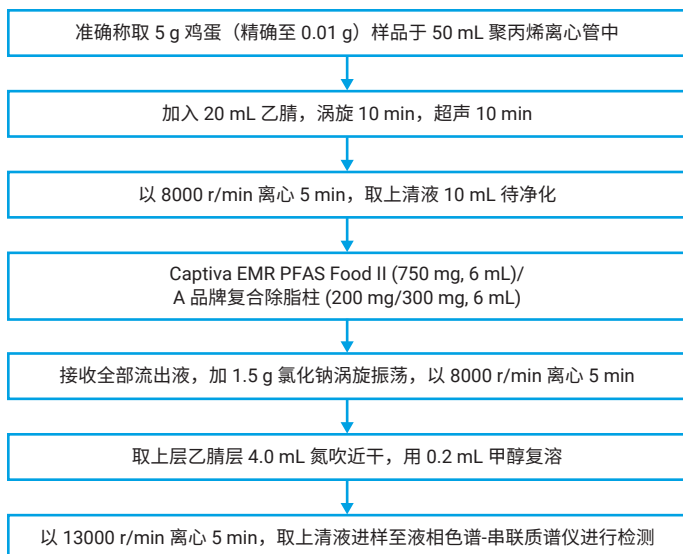


图 1. 鸡蛋中 PFAS 的前处理方法流程

液相色谱条件

液相色谱	Agilent 1290 Infinity III 液相色谱系统																
色谱柱	分析柱: Poroshell 120 PFP 色谱柱, 2.1 × 150 mm, 2.7 μm 延迟柱: InfinityLab PFC 延迟柱, 4.6 × 30 mm																
流速	0.2 mL/min																
柱温	40 °C																
进样量	5 μL																
流动相	A: 5 mmol/L 甲酸铵水溶液 (含 0.01% 甲酸) ; B: 甲醇																
洗脱程序	<table border="1"> <tr> <th>时间 (min)</th> <th>B (%)</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>后运行时间:</td> <td>4 min</td> </tr> </table>	时间 (min)	B (%)	0	45	2	55	6	65	14	70	15	100	22	100	后运行时间:	4 min
时间 (min)	B (%)																
0	45																
2	55																
6	65																
14	70																
15	100																
22	100																
后运行时间:	4 min																

质谱条件

质谱型号	Agilent 6495D 三重四极杆质谱系统
离子源模式	ESI (-)
干燥气温度	200 °C
干燥气流速	14 L/min
鞘气温度	250 °C
鞘气流速	11 L/min
雾化气压力	20 psi
毛细管电压	3000 V (-)
扫描模式	MRM (具体参数见表 1)

表 1. 28 种 PFAS 的 MRM 参数

化合物	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	碎裂电压 (V)	碰撞能量 (V)
PFBA	213	169*	166	10
¹³ C ₄ -PFBA	217	172	166	2
PFPeA	263	219*	166	2
		69		80
¹³ C ₅ -PFPeA	268	223	166	2
PFHxA	313	269*	166	5
		119		10
¹³ CPFHxA	318	273	166	2
PFHpA	363	319*	166	2
		169		15
¹³ C ₄ -PFHpA	367	322	166	2
4m-PFOA	413	119*	166	20
5m-PFOA	413	219*	166	6
iso-PFOA	413	369*	166	3
PFOA	413	369*	166	3
		219*		4
		169*		13
¹³ C ₈ -PFOA	421	376	166	2
PFNA	463	419*	166	2
		219		17
¹³ C ₉ -PFNA	472	427	166	2
PFDA	513	469*	166	2
		219		17
¹³ C ₆ -PFDA	519	474	166	2
PFUnDA	563	519*	166	5
		269		20

化合物	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	碎裂电压 (V)	碰撞能量 (V)
¹³ C ₇ -PFUnDA	570	525	166	5
PFDoDA	613	569*	166	5
		269		20
¹³ C ₂ -PFDoDA	615	570	166	5
PFTrDA	663	619*	166	5
		169		21
PFTeDA	713	669*	166	9
		169		29
¹³ C ₂ -PFTeDA	715	670	166	9
PFBS	299	99	166	37
		80*		41
¹³ C ₃ -PFBS	302	80	166	41
PFPeS	349	99*	166	30
		80		40
PFHxS	399	99*	166	41
		80		50
¹³ C ₃ -PFHxS	402	80	166	50
PFHpS	449	99	166	41
		80*		55
1m-PFOS	499	419	166	20
5m-PFOS	499	80*	166	65
iso-PFOS	499	80*	166	65
PFOS	499	99	166	49
		80*		65
¹³ C ₈ -PFOS	507	80	166	65
PFNS	549	99	166	50
		80*		70
PFDS	599	99	166	53
		80*		75
6-2-F53B	531	351*	166	25
		83		45
8-2-F53B	631	451*	166	25
		83		45
ADONA	377	251*	166	10
		85		30
HPFO-DA	285	169*	166	1
		185		9
¹³ C ₂ -HFPO-DA	287	169	166	1

注：* 表示定量离子，针对不同的样品基质，根据基质干扰情况，可以采用不同的定量离子

两种方法净化效果比较

根据本文所述的分析方法，分别比较了上样后的接收液、氮吹后以及氮吹后的复溶液的状态，结果见图 2。通过颜色对比发现，经 Captiva EMR PFAS Food II 净化后得到的溶液颜色更浅，尤其是氮吹后的复溶液几乎无色，表明对有色干扰物的去除更干净，获得了更优异的净化效果。另外，还对两种方法净化后的脂质扫描图进行了比较，如图 3 所示。从图中可以看出，经 Captiva EMR PFAS Food II 净化后，脂质（尤其是保留较强的脂质）得到更彻底的去除，这有助于有效延长色谱柱使用寿命并更大程度减小对仪器的污染。



图 2. 经 Captiva EMR PFAS Food II 和 A 品牌竞品净化后的状态对比

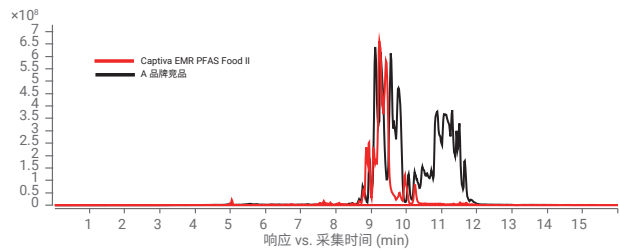


图 3. 经 Captiva EMR PFAS Food II 和 A 品牌竞品净化后的脂质扫描图

两种方法回收率比较

按照本文所述的样品前处理方法，制备目标化合物浓度为 0.5 μg/kg 的加标样品，经提取净化后上机检测。使用内标法计算目标化合物的回收率，并对结果进行统计。从图 4 所示的统计结果中可以看出，大部分 PFAS 化合物在两种净化方式下的回收率无明显差异；但使用 A 品牌竞品净化时，PFPeS 和 8-2-F53B 的回收率高于 120%；而使用 Captiva EMR PFAS Food II 净化后，28 种 PFAS 的回收率均在 70%–120% 之间。28 种 PFAS 的 MRM 色谱图见图 5。

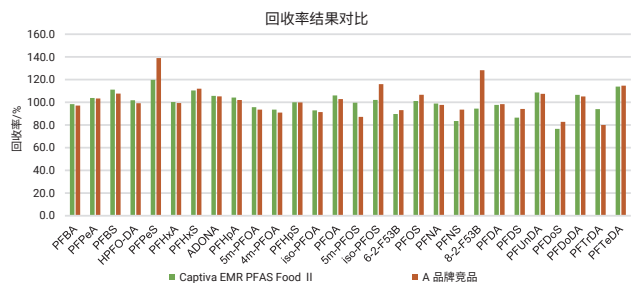


图 4. 经 Captiva EMR PFAS Food II 和 A 品牌竞品净化后的鸡蛋中 28 种 PFAS 的回收率结果对比

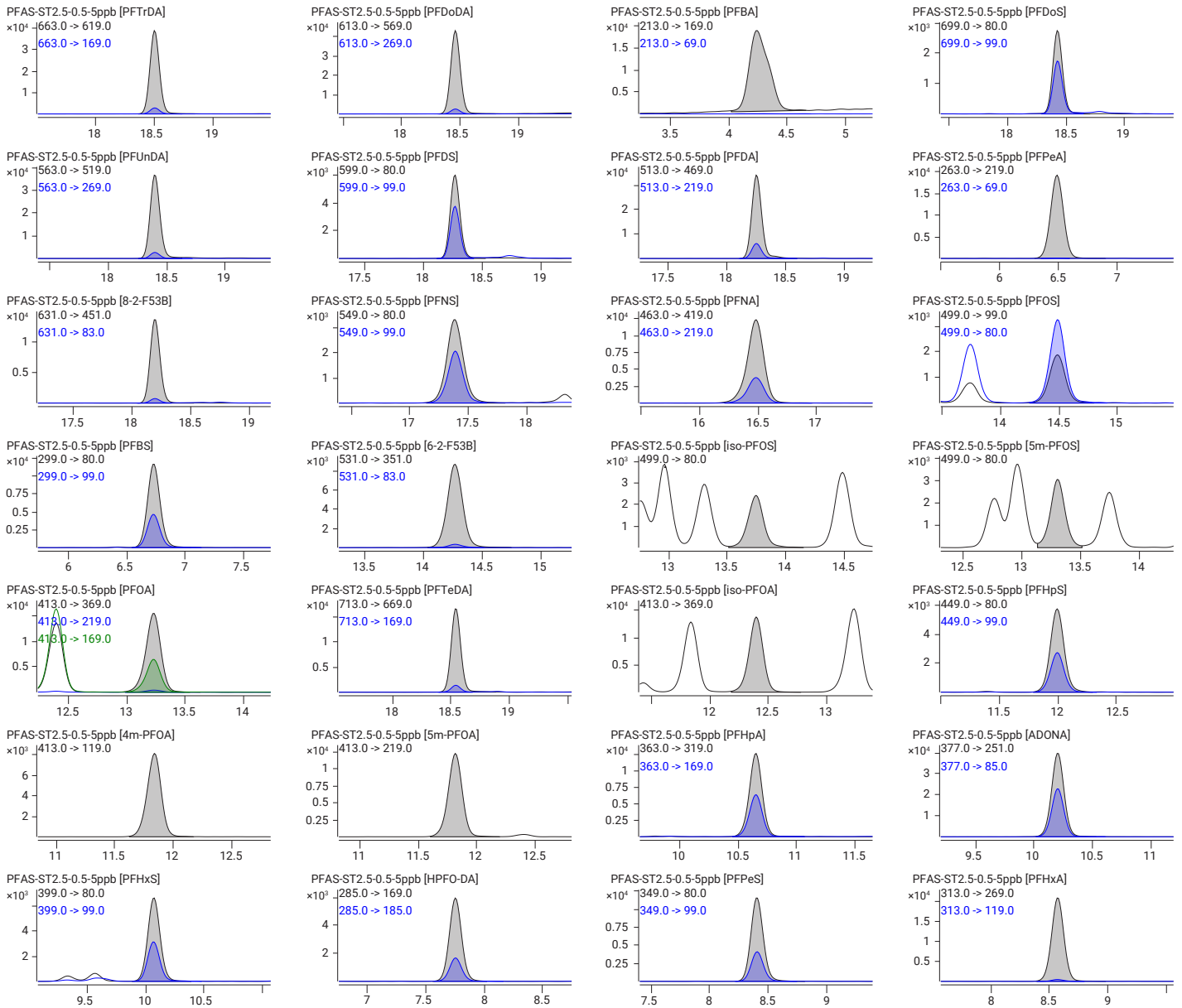


图 5. 28 种 PFAS 的 MRM 色谱图

产品订购信息

消耗品	部件号
Agilent InfinityLab 无 PFC HPLC 转换工具包, 用于带 G7120A 和 G7167B 的 1290 Infinity II 系统	5004-0006
InfinityLab PFC 延迟柱, 4.6 × 30 mm	5062-8100
Agilent Poroshell 120 PFP 色谱柱, 2.1 × 150 mm, 2.7 μm	订制
Agilent Captiva EMR PFAS Food II 小柱, 750 mg, 6 mL, 30/包	5610-2232
Agilent Bondesil 散装氯化钠, 100 g	5982-5750

查找当地的安捷伦客户中心:

www.agilent.com/chem/contactus-cn

免费专线:

800-820-3278, 400-820-3278 (手机用户)

联系我们:

LSCA-China_800@agilent.com

在线询价:

www.agilent.com/chem/erfq-cn



微信搜一搜

安捷伦视界

www.agilent.com

DE-013386

安捷伦对本资料可能存在的错误或由于提供、展示或使用本资料所造成的间接损失不承担任何责任。

本文中的信息、说明和指标如有变更,恕不另行通知。

© 安捷伦科技(中国)有限公司, 2026
2026年3月19日, 中国出版
5994-8905ZHCN

