

# 测定食用油中的 14 种多环芳烃化合物

使用 Captiva EMR-Lipid 净化并通过 GC/MS/MS 进行分析

## 作者

Limian Zhao  
安捷伦科技有限公司

## 摘要

本应用简报介绍了用于分析五种食用油中的重多环芳烃 (PAH) (超过四个环) 残留物的多组分分析方法的开发与验证。所用的油分别为：南瓜籽油、橄榄油、鳄梨油、杏仁油和葡萄籽油。以 20:80 乙酸乙酯/乙腈为萃取溶剂通过液液萃取 (LLE) 对油样品进行萃取，然后进行 Captiva EMR-Lipid 和 Bond Elut Jr PSA 通过式净化。然后使用异辛烷对净化后的样品洗脱液进行反萃取，以便在 GC/MS/MS 分析之前去除水。EMR-Lipid 结合 PSA 通过式净化能够实现高效选择性净化，使油共萃取残留物的去除率达到 95% 以上。极低的样品背景噪音有利于在 GC/MS/MS 中使用大体积进样方法，并提供满足欧盟委员会法规要求的定量限 (LOQ) (0.9–2 ng/g)，以及可接受的定量准确度和精密度结果。

## 前言

PAHs 是一类普遍存在的有毒化合物，其特征是具有热力学稳定的稠合芳香环结构。PAH 化合物可根据稠合芳香环的数量进行分类，例如分为轻 PAHs（具有 2-3 个环）和重 PAHs（具有 4-6 个环）。重 PAHs 比轻 PAHs 更稳定且毒性更高。使用火焰直接加热的种子和籽粒干燥过程被认为是食用油中最主要的 PAHs 来源。种子烘焙过程中使用的高温是可能引起污染的另一个原因。此外，由于 PAHs 具有高亲脂性，因此也容易在油中发生生物累积。由于它们具有疑似或经证实的致突变性和致癌性，这些化合物已经得到广泛研究和监管。美国食品药品监督管理局 (FDA) 要求对海鲜中低 ppb 级的 PAH 进行分析<sup>[1]</sup>。欧盟委员会 (EC) 规定了四种重 PAH 化合物（苯并(a)芘、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽和蒽）的分析方法标准，要求每种 PAH 的定量限 (LOQ) 达到 0.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$  且检出限 (LOD) 达到 0.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>[2]</sup>。

油中 PAHs（尤其是重 PAHs）分析所面临的主要挑战包括：

- 从油基质中萃取 PAH 分析物并尽可能减少油共萃取物
- 选择性样品萃取物净化，去除不需要的油共萃取物，保留目标 PAH 化合物

为了提高萃取效率和净化油基质，通常需要使用大量溶剂进行多次萃取，萃取时间更长，而且需要 SPE、冷冻或 GPC 净化，以及对大量待浓缩溶液进行重复干燥<sup>[3-7]</sup>。

安捷伦增强型脂质去除 (EMR-Lipid) dSPE 净化产品自 2015 年推出以来就备受关注。EMR-Lipid dSPE 吸附剂可以与脂类的无支链烃链发生选择性相互作用，在溶液中留下大量目标分析物以供分析。这一选择性相互作用使其成为脂质食品基质多类别、多组分分析的理想选择。与传统的 Bond Elut EMR-Lipid (50%) 相比，Captiva EMR-Lipid 过滤柱只需更少的水进行吸附剂活化 (20%)。这有助于简化工作流程，并改善疏水性化合物在净化过程中

的回收率<sup>[8]</sup>。N-丙基乙二胺 (PSA) 吸附剂可以与脂肪酸有效相互作用，在 Captiva EMR-Lipid 后提供进一步的净化，但不影响中性 PAH 的回收率。Bond Elut Jr PSA 可以轻松连接至 EMR-Lipid 小柱。在压力或真空作用下，样品依次流经两种吸附剂，实现出色的油基质净化。

本研究考察了使用 Captiva EMR-Lipid 过滤柱和 Bond Elut Jr PSA 通过式净化进行样品前处理，并通过 GC/MS/MS 分析油中的 14 种 PAH 化合物。开发此方法的目的在于，改善先前使用 Bond Elut EMR-Lipid dSPE 净化来测定食品中 PAH 的方法的局限性<sup>[9,10]</sup>。图 1 显示了本研究中考察的重 PAHs 的结构和 LogP 值。

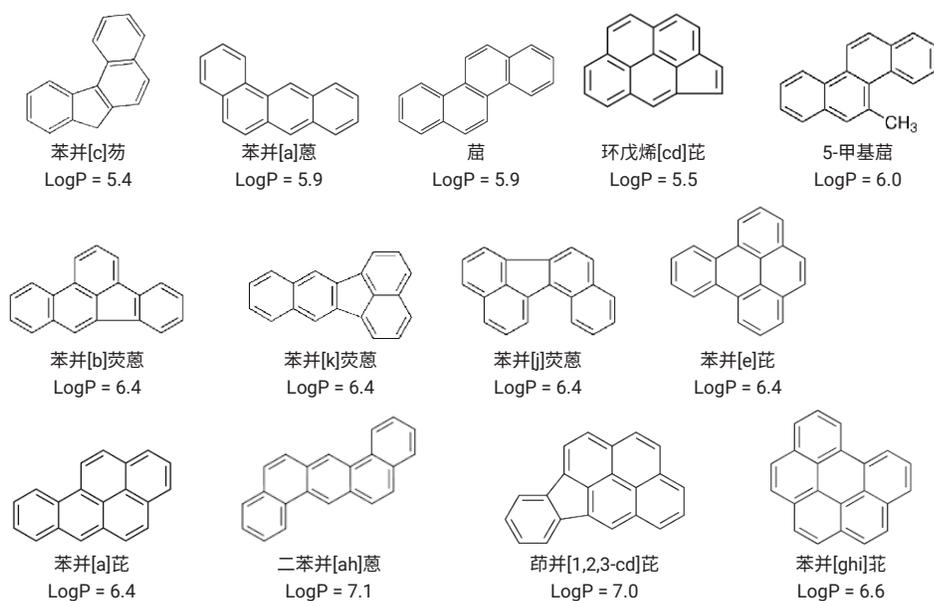


图 1. 重 PAH 分析物结构和 LogP

## 实验部分

### 化学品与试剂

PAH 混标 (货号 5191-4508) 和氘代 PAH 内标 (IS) 混合物 (货号 5191-4509) 由安捷伦科技公司提供。HPLC 级乙腈 (ACN)、丙酮和乙酸乙酯 (EtOAc) 购自 Honeywell (Muskegon, MI, USA)。试剂级异辛烷购自 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)。

### 溶液与标准品

用丙酮由储备液配制浓度为 4 µg/mL 和 250 µg/mL 的两种工作溶液。用丙酮配制浓度为 10 µg/mL 的内标工作溶液。两种工作溶液均装在棕色玻璃样品瓶中, 在 4 °C 的冰箱中储存。

将 100 mL EtOAc 与 400 mL ACN 混合, 制备 20:80 EtOAc/ACN 萃取溶剂, 并于室温下储存。将 200 mL 萃取溶剂与 50 mL 水混合, 制备 16:64:20 ACN/EtOAc/水洗脱溶液, 并于室温下储存。

### 仪器与材料

将 Agilent 7890B 气相色谱系统与 Agilent 7000D 三重四极杆 GC/MS 联用开展研究。气相色谱系统配备电子气路控制 (EPC)、支持风冷的多模式进样口 (MMI)、Agilent 7693A 自动液体进样器 (ALS) 以及基于辅助 EPC 模块控制的吹扫 Ultimate 接头的反吹系统。采用 Agilent MassHunter 工作站软件进行数据采集和分析。

样品前处理设备包括: Centra CL3R 离心机 (Thermo IEC, MA, USA)、Multi Reax 试管振荡器 (Heidolph, Schwabach, Germany)、移液管和重复用移液器 (Eppendorf, NY, USA)、安捷伦正压 48 孔处理装置 (PPM-48) (货号 5191-4101)、Captiva EMR-Lipid 过滤柱, 6 mL, 600 mg (货号 5190-1004) 和 Bond Elut Jr PSA, 500 mg (货号 12162042B)。

### 仪器条件

GC/MS/MS 仪器条件基于先前发表的方法确定<sup>[11]</sup>。表 1 列出了 GC/MS/MS 操作条件, 表 2 列出了 PAHs dMRM 方法参数。

表 1. Agilent 7890B 气相色谱和 Agilent 7000D GC/MS/MS 条件

参数	值
色谱柱 1	Agilent J&W DB-EUPAH, 30 m × 0.25 mm, 0.25 µm (货号 122-9632), 前多模式进样口至辅助 EPC 4
色谱柱 2	Agilent J&W Silcotek 去活管线, 1.36 m × 0.15 mm, 0 µm (货号 160-7625-5), 辅助 EPC 4 至 MSD
载气	氦气
模式	恒流
色谱柱 1 流速	1.106 mL/min
色谱柱 2 流速	1.942 mL/min
进样口	多模式进样口
进样模式	大体积进样 (溶剂放空)
进样量	5 µL
进样口温度梯度	85 °C 保持 0.03 分钟, 以 600 °C/min 升至 325 °C, 保持 5 分钟
溶剂去除	进样口温度: 85 °C; 放空压力: 5 psi; 放空流速: 100 mL/min; 放空 0.03 分钟
进样口衬管	超高惰性衬管, 内径 4 mm, 单锥, 带玻璃毛, 货号 5190-2293
柱温箱升温程序	80 °C 保持 1 分钟, 以 25 °C/min 升至 200 °C, 然后以 8 °C/min 升至 335 °C, 保持 9.325 分钟
最高柱温箱温度	340 °C
运行时间	32 分钟
反吹条件	后运行 2 分钟 柱温箱温度 335 °C 辅助 EPC 压力 50 psi, 进样口压力 2 psi
传输线温度	320 °C
离子源温度	Xtr 350 EI 源, 320 °C
四极杆温度	150 °C
数据监测	动态 MRM 模式
溶剂延迟	3 分钟
增益因子	20

## 样品前处理

称取食用油 (2.5 g) 至 50 mL 离心管中，并根据需要加入标准品和内标溶液。将样品充分涡旋混合一分钟，并平衡 15 分钟。然后使用图 2 所示的程序对油样品进行前处理，该程序主要包括三个部分：

1. 通过两步液液萃取 (LLE) 进行样品萃取
2. 使用 Captiva EMR-Lipid 和 Bond Elut Jr PSA 过滤柱对样品提取物进行通过式净化
3. 使用异辛烷反萃取 (BE) 进行除水后处理

整个工作流程将原始样品浓度稀释四倍。

## 评估基质共萃取物去除效率

对样品共萃取物残留进行重量测定，由此考察基质去除率。基于 1 mL 最终样品提取物来获取共萃取物残留重量，在适用的情况下校正稀释倍数。

根据 1 mL 样品提取物干燥后剩余的残渣量考察 Captiva-EMR 的净化效率。“未净化”是指在萃取后收集样品提取物，然后进行异辛烷 BE（未进行净化）。“EMR-Lipid + PSA 净化”是指使用 Captiva EMR-Lipid 和 Bond Elut Jr PSA 净化以及异辛烷反萃取获得的样品提取物。平行采集两份样品 (n = 2)，使用平均重量确定基质去除百分比。

表 2. 用于分析的 PAHs 列表以及保留时间 (RT) 和 MS/MS 条件

PAH 化合物	RT (min)	第一 MS/MS (m/z)	CE (V)	第二 MS/MS (m/z)	CE (V)
苯并[c]芘	16.49	215.8 → 214.8	50	215.8 → 212.8	50
苯并[a]蒽-D <sub>12</sub>	18.96	240 → 240	50	240 → 240	50
苯并[a]蒽	19.05	228.1 → 226.1	30	228.1 → 224.1	35
蒽-D <sub>12</sub>	19.22	240.1 → 236.1	35	240.1 → 238.1	50
蒽	19.32	228.1 → 226.1	30	226.1 → 224.1	40
环戊烯[cd]芘	19.33	226 → 226	50	226 → 225	50
5-甲基蒽	20.59	241.8 → 240.8	50	241.8 → 238.8	50
苯并[b]荧蒽-D <sub>12</sub>	22.3	264 → 264	50	264 → 262	50
苯并[b]荧蒽	22.38	252.1 → 250.1	30	252.1 → 252.1	50
苯并[k]荧蒽-D <sub>12</sub>	22.38	264.1 → 264.1	50	264.1 → 262.1	50
苯并[k]荧蒽	22.45	252.1 → 252.1	50	252.1 → 250.1	50
苯并[j]荧蒽	22.55	251.8 → 251.8	50	251.8 → 249.8	50
苯并[e]芘	23.5	251.8 → 251.8	50	251.8 → 249.8	50
苯并[a]芘-D <sub>12</sub>	23.57	264 → 264	50	264 → 262	50
苯并[a]芘	23.66	252 → 250	50	125.1 → 124.1	10
二苯并[a,h]蒽-D <sub>14</sub>	27.28	292 → 292	50	292 → 290	50
二苯并[a,h]蒽	27.44	277.8 → 277.8	50	277.8 → 275.8	50
苊并[1,2,3-cd]芘-D <sub>12</sub>	27.41	288 → 288	50	288 → 286	50
苊并[1,2,3-cd]芘	27.54	277 → 277	50	276 → 274	50
苯并[g,h,i]芘-D <sub>12</sub>	28.97	287.8 → 287.8	50	287.8 → 285.8	50
苯并[g,h,i]芘	29.12	275.8 → 275.8	50	275.8 → 273.8	10

## 方法验证

在南瓜籽油的分析物回收率、定量准确度和精密度、LOQ 和校准曲线线性方面对优化的样品前处理方法进行了验证。然后在橄榄油、鳄梨油、葡萄籽油和杏仁油中，在 LOQ 水平下对该方法进行了回收率和重现性交叉验证。南瓜籽油的校准曲线浓度包括 1、2、5、10、20、50、100、250、400 和 500 ng/g。根据校准曲线对四种浓度的南瓜籽油 QC 样品进行定量分析，且 n = 6。这四种 QC 样品分别是 LOQ 浓度 (0.9 ng/g)、低浓度 (2 ng/g)、中等浓度 (10 ng/g) 和高浓度 (100 ng/g) 样品。通过评估两种浓度的 QC 样品 (LOQ 浓度 (0.9 ng/g) 和低浓度 (2 ng/g)，n = 6) 在另外 4 种油中的回收率和重现性，进行方法交叉验证。由保留时间和 MRM 离子对确定分析物鉴定和定量结果。

## 结果与讨论

### EMR-Lipid 和 PSA 吸附剂

EMR-Lipid 吸附剂使用新型化学键合相，它结合了体积排阻与疏水相互作用，可提供更高的脂质去除选择性和效率。仅含有无支链烃链的类脂分子能够进入 EMR-Lipid 吸附剂孔中，并通过疏水相互作用得以保留。不含类脂结构的目标分析物无法进入吸附剂孔中，因而留在溶液中以供后续分析。因此，EMR-Lipid 吸附剂可以为大多数脂类提供更高的分析物回收率和脂质去除效率。然而，由于 EMR-Lipid 吸附剂与脂肪酸分子之间不稳定的相互作用，使其对脂肪酸的去除效率有限，对于短链脂肪酸尤其如此。

PSA 是一种可与酸性化合物有效相互作用从而去除脂肪酸的吸附剂。PSA 吸附剂已广泛应用于水果和蔬菜的酸净化，但往往会对酸性分析物的回收率造成不利影响。然而，对于中性目标分析物（如 PAHs），PSA 吸附剂可以在不影响目标分析物回收率的情况下提供进一步的净化。

### 样品前处理的优化

该方法基于三文鱼和牛肉中 PAH 的分析方法开发<sup>[12]</sup>。该方法可用于三文鱼和牛肉基质，但在应用于复杂的油基质（如南瓜籽油）时并不成功。未去除的基质干扰导致基线升高，从而降低了油样品分析的方法灵敏度。需要进一步净化才能达到所需的检出限/定量限。

PSA 吸附剂可以进一步弥补 EMR-Lipid 净化作用，且不影响中性 PAH 化合物。Bond Elut Jr PSA 过滤柱可与 Captiva EMR-Lipid 过滤柱轻松连接，实现一步连续净化（图 3）。Jr PSA 使用方便，无需额外的样品前处理步骤即可实现额外的净化。然而，连接的 Jr PSA 过滤柱使重力洗脱变得困难，需要施加正压或真空等外力来启动和维持稳定的洗脱液流。

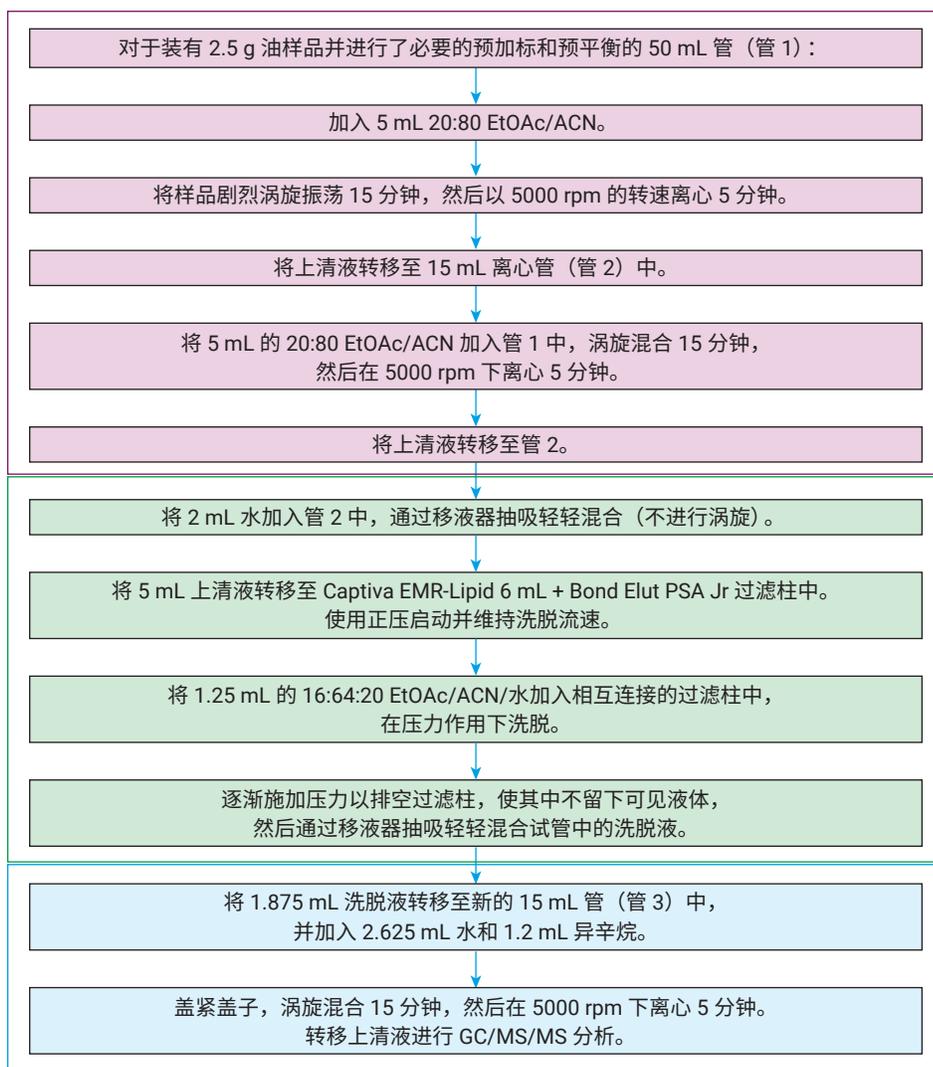


图 2. 食用油前处理程序流程图：先进行液液萃取，然后进行 Agilent Captiva EMR-Lipid + Bond Elut Jr PSA 净化

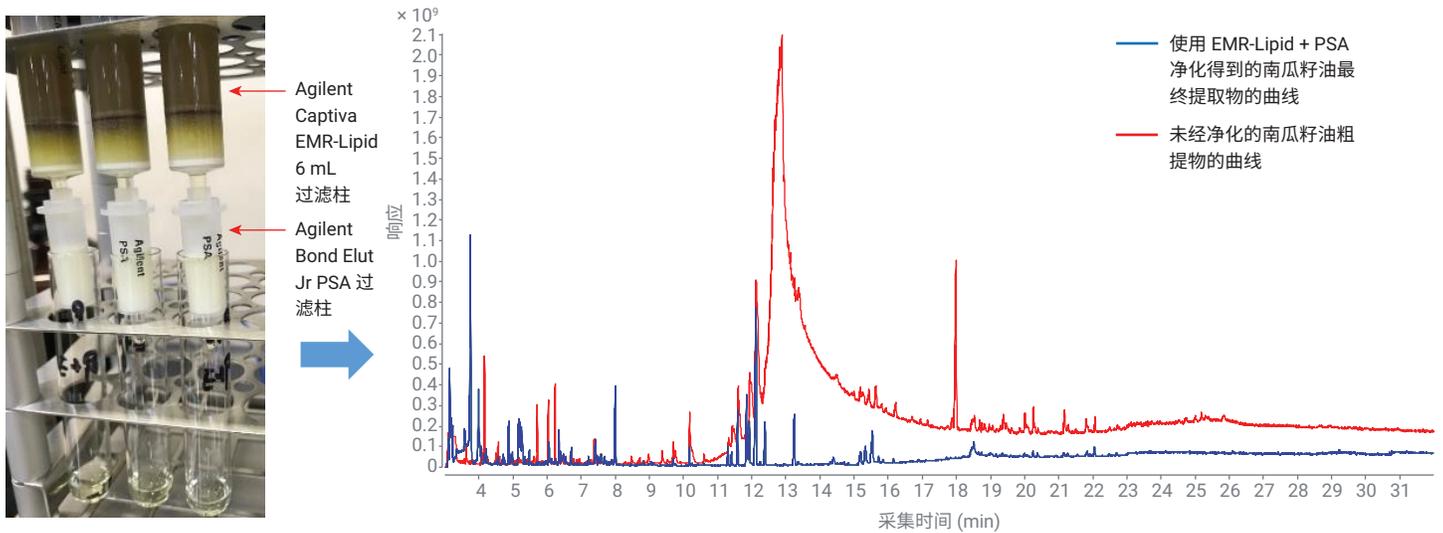


图 3. 结合使用 Agilent Captiva EMR-Lipid 和 Bond Elut Jr PSA 为南瓜籽油基质提供了有效的净化，图中所示为相互连接的过滤柱（左）和表明净化效率的 GC/MS 全扫描色谱图（右）

### 方法验证

定量方法验证包括三种加标浓度下的 LOQ、校准曲线线性、分析物准确度和精密度。用于分析物定量的 8 种内标化合物包括：苯并[a]蒽-D<sub>12</sub>、蒽-D<sub>12</sub>、苯并[b]荧蒽-D<sub>12</sub>、苯并[k]荧蒽-D<sub>12</sub>、苯并[a]芘-D<sub>12</sub>、二苯并[a,h]蒽-D<sub>14</sub>、茚并[1,2,3-cd]芘-D<sub>12</sub> 和苯并[g,h,i]花-D<sub>120</sub>。图 4 显示了基

质空白和南瓜籽油中 LOQ 水平 (0.9 ng/g) 下的关键 PAH 化合物的色谱图。

表 3 汇总了南瓜籽油的方法定量结果。图 5A 显示了使用优化后的方法获得的南瓜籽油中 PAH 化合物在四种加标浓度下的回收率数据。图 5B 显示了 0.9 ng/g 和 2 ng/g 低加标水平下四种食用油的回收

率数据。这些油分别为橄榄油、鳄梨油、葡萄籽油和杏仁油。

重 PAH 化合物具有强疏水性，logP > 5。这一特性使得从油基质中萃取它们非常困难。从图 5 所示的数据可以看出，加标浓度较高、疏水性较强的 PAHs 的回收率较低。

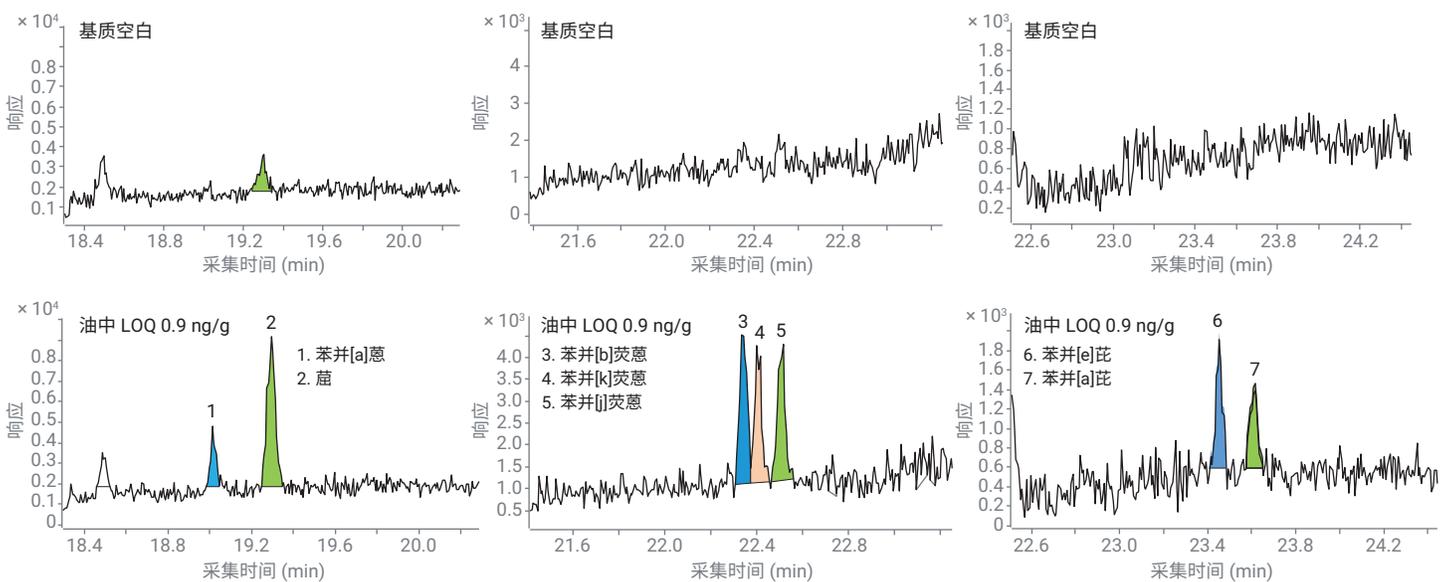


图 4. 欧盟委员会要求监测的 PAH 的分离结果。LOQ (0.9 ng/g) 水平下的南瓜籽油（下排）和基质空白（上排）的 MRM 色谱图

表 3. 使用优化的方法分析南瓜籽油中的 PAHs 所得到的定量验证结果

目标 PAH	用于定量分析的 IS	校准曲线			平均准确度和 RSD%, n = 6							
		LOQ (ng/g)	HOQ (ng/g)	R <sup>2</sup>	LOQ (0.9 ng/g)		低浓度 QC (2 ng/g)		中等浓度 QC (10 ng/g)		高浓度 QC (100 ng/g)	
					准确度 (%)	RSD	准确度 (%)	RSD	准确度 (%)	RSD	准确度 (%)	RSD
苯并[a]芘	苯并[a]蒽-D <sub>12</sub>	0.9	200	0.9876	104	11.3	94	11.4	107	11.5	109	3.4
苯并[a]蒽		0.9	200	0.9935	109	7.0	97	7.0	90	4.8	95	3.2
蒽	蒽-D <sub>12</sub>	0.9	200	0.9961	112	5.3	93	6.2	88	3.1	87	3.0
环戊烯[cd]芘		0.9	200	0.9940	105	7.0	101	7.6	85	4.7	84	2.9
5-甲基蒽	苯并[b]荧蒽-D <sub>12</sub>	0.9	200	0.9885	106	3.5	96	4.5	98	4.9	105	5.1
苯并[b]荧蒽		0.9	200	0.9944	114	7.8	101	6.8	93	3.8	96	4.3
苯并[k]荧蒽	苯并[k]荧蒽-D <sub>12</sub>	0.9	200	0.9954	100	8.6	94	4.3	90	6.5	91	5.6
苯并[j]荧蒽		0.9	200	0.9942	108	10.0	108	5.2	101	6.1	105	6.9
苯并[e]芘	苯并[a]芘-D <sub>12</sub>	0.9	200	0.9953	113	4.7	104	5.6	101	3.1	109	4.6
苯并[a]芘		0.9	200	0.9917	110	7.2	96	6.5	90	1.4	94	3.7
二苯并[ah]蒽	二苯并[ah]蒽-D <sub>14</sub>	0.9	200	0.9944	104	9.4	87	15.4	87	4.3	90	2.7
茚并[1,2,3-cd]芘	茚并[1,2,3-cd]芘-D <sub>12</sub>	0.9	200	0.9967	105	8.1	103	6.7	88	4.3	89	3.4
苯并[ghi]花	苯并[ghi]花-D <sub>12</sub>	0.9	200	0.9963	103	5.6	94	7.1	88	2.7	89	6.0

IS = 内标; LOQ = 定量限 (下限); HOQ = 定量上限; QC = 质量控制

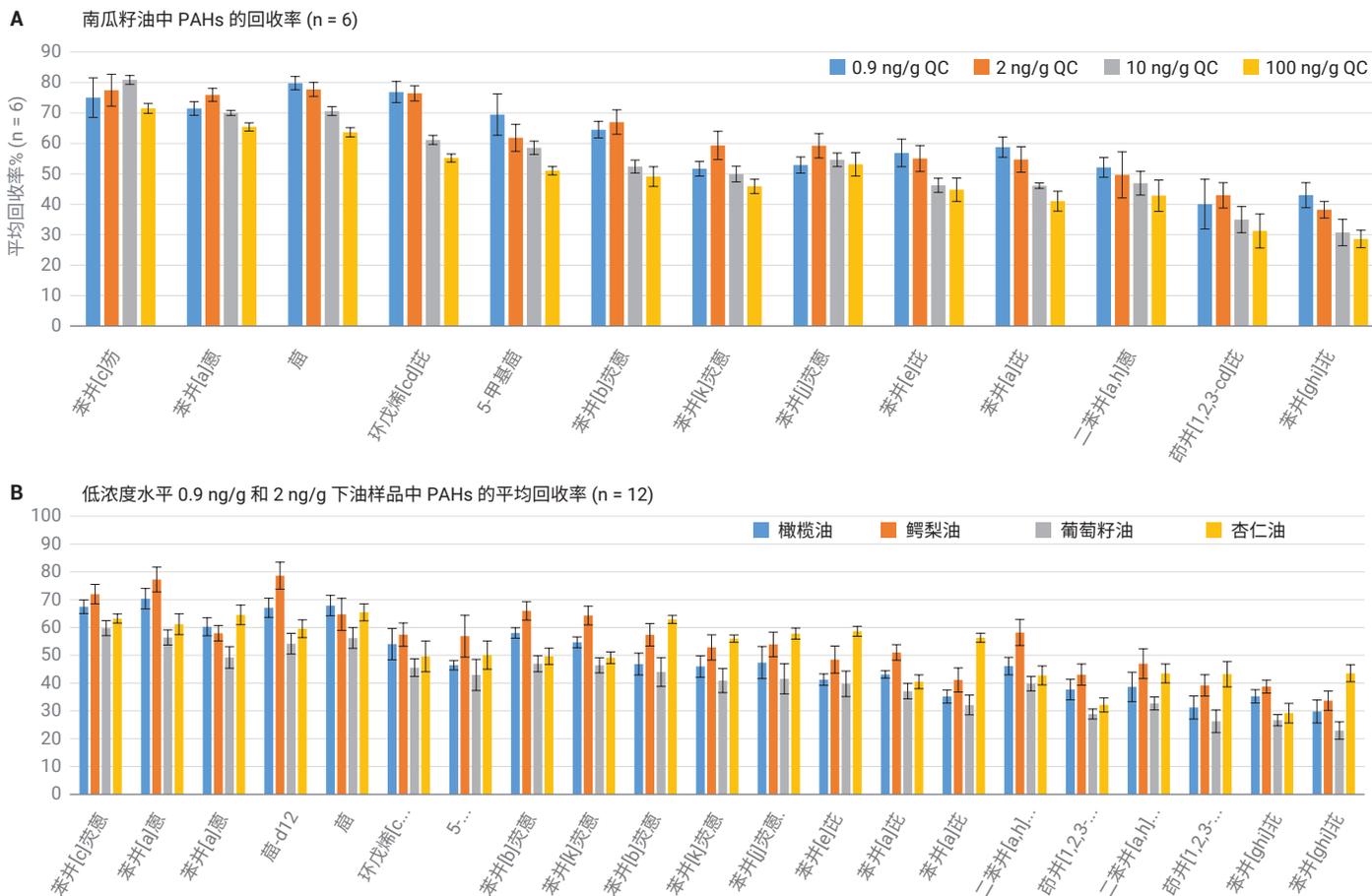


图 5. 从食用油中回收的重 PAH 化合物。A) 四种不同加标水平下南瓜籽油的回收率数据; B) 两种低加标水平下其他四种油的平均回收率数据

回收率研究表明，重 PAHs 在萃取步骤中损失严重。因此，将进一步研究提高萃取效率的方法，包括使用疏水性更强但仍与水混溶的溶剂混合物进行萃取，并使用超声辅助分析物分配。

使用合适、稳定的标记内标能够校正回收率较低的问题。样品基质得到充分净化后，通过大体积进样方法可提高灵敏度，并实现出色的重现性。因此，这种简单的方法提供了出色的定量结果，符合法规要求，表 3 中南瓜籽油的验证结果以及图 6 中其他四种食用油交叉验证的相对回收率结果证明了这一点。

### 基质净化度评估

对每种油的最终提取物中的样品基质残留以及通过净化实现的基质残留去除率进行了考察。图 7 为南瓜籽油和橄榄油样品干燥残渣的照片，表中为实际残渣重量。根据未净化样品和 EMR-Lipid + PSA 净化的样品之间的干燥残渣重量差异，Captiva EMR-Lipid 结合 Bond Elut Jr PSA 净化对五种食用油的基质去除率超过 95%。

图 3 所示的 GC/MS 全扫描叠加色谱图证明了优化后的方法为南瓜籽油提供了出色的样品背景净化效果。为了与其他四种食用油进行比较，采集了相似的色谱图。这些结果表明，高效的基质净化可以提供明显更干净的色谱背景，从而实现可靠的分析。

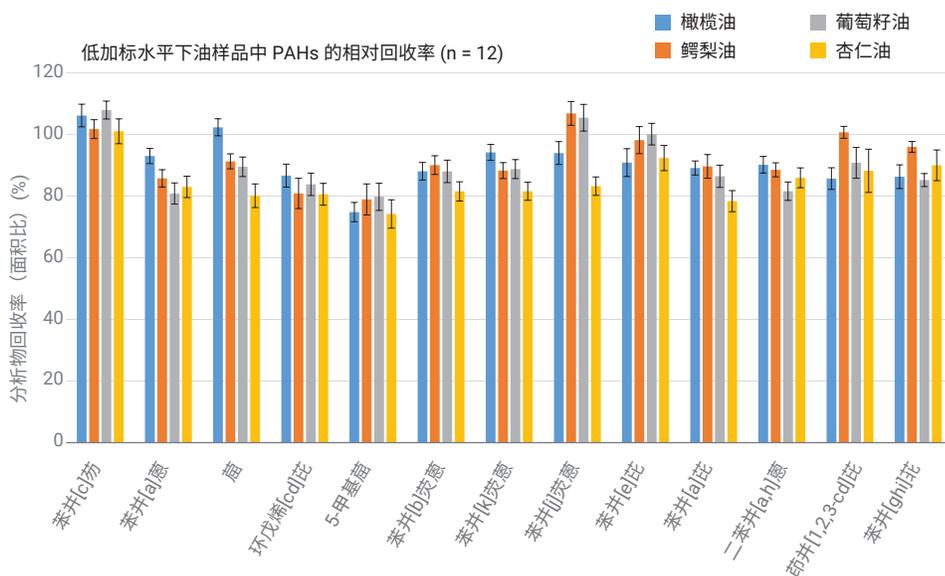
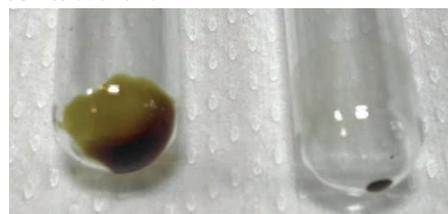


图 6. 在低浓度加标水平（油样品中为 0.9 ng/g 和 2 ng/g）下，四种食用油中重 PAH 的回收率（面积比）

食用油		南瓜籽油	橄榄油	鳄梨油	葡萄籽油	杏仁油
油萃取物未净化 (mg/mL 粗提物, n = 2)		15.85	14.11	19.00	19.10	11.51
EMR-Lipid + PSA 净化	残留物 (mg/mL 最终提取物, n = 2)	0.82	0.46	0.68	0.37	0.09
	基质残留去除率 (%)	95%	97%	96%	98%	99%

南瓜籽油干燥残渣



未净化  
EMR-Lipid + PSA 净化

橄榄油干燥残渣



EMR-Lipid + PSA 净化  
未净化

图 7. 通过残渣重量和外观评估基质残留去除率

## 结论

本研究开发并验证了一种采用液液萃取和 Agilent Captiva EMR-Lipid 结合 Bond Elut Jr PSA 过滤柱净化对食用油中的重 PAHs 进行分析的简单、稳定且可靠的方法。这种方便、串联的过滤柱提供了连续的油样品基质净化，无需增加额外的样品前处理步骤。对油基质共萃取残留物实现了 > 95% 的去除率，获得了明显更干净的色谱背景。定量分析具有出色的准确度 ( $100 \pm 15\%$ ) 和重现性 ( $RSD < 15\%$ )，油样品的 LOQ 为 0.9 ng/g。我们还将进一步研究如何提高食用油中 PAH 萃取步骤的效率。结果表明，优化后的方法为食用油中重 PAHs 的分析提供了更高的基质净化效率和可靠的定量结果。

## 参考文献

1. U.S. Food and Drug Administration, 2010. Protocol for Interpretation and Use of Sensory Testing and Analytical Chemistry Results for Re-Opening Oil-Impacted Areas Closed to Seafood Harvesting Due to the Deepwater Horizon Oil Spill, <http://www.fda.gov/food/ucm217601.htm>
2. European Commission Regulation (EC) 836/2011, *Official Journal of the European Union* **2011**, 215, 9
3. Moret, S.; Conte, L. S. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Fats and Oils: Occurrence and Analytical Methods, *Journal of Chromatography A* **2000**, 882, 245–253
4. Amzad Hossain, M.; Salehuddin, S. M. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Edible Oils by Gas Chromatography Coupled With Mass Spectroscopy, *Arabian Journal of Chemistry* **2012**, 5, 391–396
5. Barranco, A.; et al. Solid-Phase Clean-Up in the Liquid Chromatographic Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Oils, *Journal of Chromatography A* **2003**, 988, 33–40
6. Payanan, T.; Leepipatpiboon, N.; Varanusupakul, P. Low-Temperature Cleanup with Solid-Phase Extraction for the Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Oils by Reversed Phase Liquid Chromatography with Fluorescence Detection. *Food Chemistry* **2013**, 141, 2720–2726
7. Wang, J. H.; Guo, C. Ultrasonication Extraction and Gel Permeation Chromatography Clean-Up for the Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Oil by an Isotope Dilution Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A* **2010**, 1217, 4732–4737
8. Zhao, L. Determination of Multiclass, Multiresidue Pesticides in Olive Oil by Captiva EMR-Lipid Cleanup and GC/MS/MS (利用 Captiva EMR-Lipid 净化和 GC/MS/MS 对橄榄油中的多类别多残留农药进行测定), *安捷伦科技公司应用简报*, 出版号 5994-0405EN
9. Lucas, D.; Zhao, L. 增强型脂质去除产品对三文鱼的 PAH 分析, *安捷伦科技公司应用简报*, 出版号 5991-6088CHCN, **2015**
10. Chemisches, T. B.; 等. 使用 Bond Elut EMR-Lipid 净化通过 GC/MS/MS 对南瓜籽油中欧盟规定的优先多环芳烃进行分析, *安捷伦科技公司应用简报*, 出版号 5994-0593ZHCN, **2019**
11. Szelewski, M.; Quimby, B. D. 使用安捷伦智氢洁离子源和增强型 PAH 分析仪优化 PAH 分析, *安捷伦科技公司应用简报*, 出版号 5991-3003CHCN
12. Zhao, L.; Wong, D. 测定三文鱼和牛肉中的 19 种多环芳烃化合物: 使用 Captiva EMR-Lipid 净化并通过 GC/MS/MS 进行分析, *安捷伦科技公司应用简报*, 出版号 5994-0553ZHCN

查找当地的安捷伦客户中心：

[www.agilent.com/chem/contactus-cn](http://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](mailto:LSCA-China_800@agilent.com)

在线询价：

[www.agilent.com/chem/erfq-cn](http://www.agilent.com/chem/erfq-cn)

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)

DE50443544

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，2019，2023  
2023年8月14日，中国出版  
5994-1483ZHCN

