

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.03.020

陶汝青, 杜丽娟. 不同前处理方法对植物油中苯并(a)芘测定的影响[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(3): 147-152.

TAO R Q, DU L J. Effects of different pretreatment methods on the determination of benzo (a) pyrene in vegetable oil[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(3): 147-152.

# 不同前处理方法对植物油中 苯并(a)芘测定的影响

陶汝青<sup>1</sup>, 杜丽娟<sup>2</sup>✉

(1. 南宁市食品药品检验所, 广西 南宁 530007;

2. 广西农业职业技术大学, 广西 南宁 530004)

**摘要:** 建立直接萃取法、中性氧化铝柱法及分子印迹柱法 3 种前处理方法, 用于高效液相色谱-荧光检测器法测定植物油中苯并(a)芘的含量。结果表明, 在 0.5~50 ng/mL 浓度范围内, 苯并(a)芘标准曲线浓度与其对应色谱峰面积线性关系良好, 相关系数为 0.999 3。以空白植物油样品为基质进行加标回收实验, 当苯并(a)芘添加水平分别为 2、15、25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  时, 直接萃取法、分子印迹柱法及中性氧化铝柱法的平均回收率分别为 98.8%~102.8%、91.1%~101.0%及 91.8%~113.7%, 相对标准偏差(RSD)分别为 0.8%~2.0%、2.3%~7.3%和 1.9%~8.8%。直接萃取法前处理简单、精密度高、准确度及灵敏度高、成本低, 适用于植物油中苯并(a)芘的检测。

**关键词:** 植物油; 苯并(a)芘; 前处理方法; 高效液相色谱

中图分类号: TS201.1; S-3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)03-0147-06

## Effects of Different Pretreatment Methods on the Determination of Benzo (a) pyrene in Vegetable Oil

TAO Ru-qing<sup>1</sup>, DU Li-juan<sup>2</sup>✉

(1. Nanning Food and Drug Inspection Institute, Nanning, Guangxi 530007, China;

2. Guangxi Agricultural Polytechnic University, Nanning, Guangxi 530007, China)

**Abstract:** Three pretreatment methods, including direct extraction method, neutral alumina column method and molecular imprinted column method, were established for the determination of benzo (a) pyrene in vegetable oil by high performance liquid chromatography-fluorescence detector. The results showed that the linear relationship between the concentration of benzo (a) pyrene standard curve and the corresponding chromatographic peak area was good, and the correlation coefficient was 0.9993, when the concentration was in the range of 0.5~50 ng/mL. The blank vegetable oil was used as the matrix to carry out the spike recovery experiment. When the addition levels of benzo (a) pyrene were 2, 15 and 25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , the average recoveries of direct extraction method, molecular imprinted column method and neutral alumina column method were 98.8%~102.8% and 91.1%~101.0% and 91.8%~113.7%, respectively, and the relative standard deviations (RSD) were 0.8%~2.0%, 2.3%~7.3% and 1.9%~8.8%, respectively. The direct extraction

收稿日期: 2022-11-28

作者简介: 陶汝青, 女, 1992 年出生, 硕士, 工程师, 研究方向为食品检验与研究。E-mail: Taorq138@163.com.

通讯作者: 杜丽娟, 女, 1989 年出生, 硕士, 讲师, 研究方向为农产品加工。E-mail: dlj2015bys@163.com.

method has the advantages of simple pretreatment, good precision, high accuracy and sensitivity, and low cost, and is suitable for the detection of benzo (a) pyrene in vegetable oil.

**Key words:** vegetable oil; benzo (a) pyrene; pretreatment method; high performance liquid chromatography

苯并(a)芘(BaP)是一种常见的污染物,对人体血液、心脏及免疫系统均有害,摄入人体后经混合功能氧化酶激活会具有致癌性,世界卫生组织将其列为三大致癌物之一<sup>[1-3]</sup>。BaP属于亲油性物质,易存在于油脂中。日常中,人体接触BaP的主要方式是食用植物油<sup>[4]</sup>。食用植物油中BaP来源途径诸多,油料作物种植、生长、采摘、晾晒、运输及加工等都可能产生BaP;油料作物制取成植物油过程中高温蒸炒会产生BaP;以压榨方式制油时,高温高压下油料各成分之间发生反应,会产生BaP。以浸出方式制油时,浸出溶剂中若含有多环芳烃类物质,BaP会在油中聚集,导致制成的植物油中BaP含量增高;制油过程加工设备的润滑油、导热油渗漏也是BaP污染的途径之一<sup>[5]</sup>。食用含有BaP的植物油会严重威胁人体生命安全,许多国家已将BaP列为食品有害物质监测的重要内容之一,我国国家标准GB 2762—2017<sup>[6]</sup>规定油脂及其制品中BaP限量为10 μg/kg。欧盟规定食用油中BaP的最大限量为2 μg/kg<sup>[7]</sup>。故而,准确测定植物油中BaP含量,对评估植物油的质量及保障人们舌尖上的安全意义重大。

目前,国外对油脂中BaP残留量的研究主要集中于固相萃取结合大型仪器进行检测。国内主要依据国标方法(GB 5009.27—2016)<sup>[8]</sup>检测食用油中BaP含量。已报道的检测BaP的前处理方法主要有:液液萃取法<sup>[9]</sup>、直接溶解上机法<sup>[10-12]</sup>、超临界流体萃取法<sup>[1]</sup>、超声波辅助提取法<sup>[13-14]</sup>、微波辅助萃取法<sup>[15-16]</sup>、索氏提取法<sup>[17-18]</sup>等。净化方式包括:凝胶渗透色谱净化<sup>[19]</sup>及固相萃取净化<sup>[20-21]</sup>。检测方法主要有:高效液相色谱-荧光法<sup>[22-23]</sup>、气相色谱-质谱联用法<sup>[24]</sup>、薄层层析法、免疫学检测法<sup>[25]</sup>、表面增强拉曼光谱检测法<sup>[26-28]</sup>等。这些前处理方法存在操作过程繁琐、成本高等问题,难以满足人们对食品安全的要求。采用有机溶剂作为植物油中BaP的提取液,直接萃取后上机分析是近年来一种新型、快捷的BaP前处理手段<sup>[29-31]</sup>,

国内外对该方法的研究尚不全面。本文拟采用直接萃取法、分子印迹柱法及中性氧化铝柱法对植物油进行前处理,通过比较这3种前处理方法的净化能力、简便性、准确性、精密性、灵敏度及成本等,拟建立一种优质、高效测定植物油中BaP含量的前处理方法,成为控制食用油中BaP残留的重要参考依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 仪器与试剂

22 mg/6 mL 中性氧化铝固相萃取柱、500 mg/6 mL 分子印迹柱:天津博纳艾杰尔科技有限公司;ZORBAX SB-C18 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm, SN: USHR026253):美国 Agilent 公司;e2695 高效液相色谱仪配 2475FLR 荧光检测器:美国 Waters 公司;植物油:市售;丙酮中 BaP,浓度为 999.5 μg/mL:中国 BePure 公司;正己烷、乙腈、二氯甲烷,均为色谱纯:中国 CNW 公司;食用油中 BaP 定量分析质控样品,特性值区间 8.99~14.07 μg/kg:中检科(北京)实验室能力评价有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 色谱条件

色谱柱为 ZORBAX SB-C18;流动相为乙腈+水(88+12, v+v)等度洗脱,流速为 1.0 mL/min,柱温为 35 °C;荧光检测器的激发波长为 384 nm,发射波长为 406 nm;进样体积为 20 μL。

#### 1.2.2 标准曲线的绘制

精密移取丙酮中 BaP 标准品(999.5 μg/mL) 1.0 mL 于 10 mL 容量瓶中,加乙腈稀释至刻度,得到浓度为 99.95 μg/mL 的 BaP 标准储备液。精密移取 1.0 mL BaP 标准储备液(99.95 μg/mL)用乙腈定容到 50 mL,得到浓度为 1.999 μg/mL 的标准使用液。用乙腈逐级稀释标准使用液(1.999 μg/mL),配制系列标准曲线溶液,浓度分别为 0.50、1.0、5.00、10.0、15.0、20.0、50.0 ng/mL。以待测 BaP

峰面积 (y) 对浓度 (x) 绘制标准曲线。

### 1.3 样品前处理

#### 1.3.1 中性氧化铝柱法前处理

称取 0.4 g 试样, 加入 5 mL 正己烷, 旋涡半分钟, 备用。用 30 mL 正己烷活化柱子后将全部备用液转移至中性氧化铝柱上样, 收集流出液, 再用 50 mL 正己烷洗脱, 继续收集洗脱液, 将全部液体在 40 °C 下旋转蒸发至 1 mL 左右, 再在 40 °C 氮气流下浓缩至近干, 加入 0.4 mL 乙腈定容, 经 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 待上高效液相色谱测定。

#### 1.3.2 分子印迹柱法前处理

称取 0.4 g 试样, 加入 5 mL 正己烷, 旋涡半分钟, 备用。采用 5 mL 二氯甲烷和 5 mL 正己烷依次活化 BaP 分子印迹柱。将全部上清液转移至 BaP 分子印迹柱, 待上清液全部流过柱子后用 6 mL 正己烷淋洗柱子, 弃去全部淋洗液。再用 6 mL 二氯甲烷洗脱并收集洗脱液。将洗脱液在 40 °C 下氮气吹干, 加入 0.4 mL 乙腈定容, 经 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 待上高效液相色谱测定。

#### 1.3.3 直接萃取法前处理

称取 1.0 g 试样于 10 mL 容量瓶中, 加入乙腈溶解稀释至刻度, 转移至 50 mL 离心管, 1 500 r/min 涡旋混匀 5 min, 4 000 r/min 离心 5 min, 经 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 待上高效液相色谱测定。

### 1.4 实际样品的测定

采集 10 份植物油 BaP 阳性样品, 分别按照 1.3.2、1.3.3 进行前处理, 并上机分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 标准曲线回归方程、相关系数

根据上述色谱条件将系列标准曲线溶液依次进样, 以 BaP 浓度为横坐标, 色谱峰面积为纵坐标, 采用外标法定量, 高效液相色谱仪数据处理软件自动绘制标准曲线, 在 0.5~50 ng/mL 范围内 BaP 浓度与色谱峰面积线性关系良好 ( $R^2=0.9993$ ), 线性回归方程为  $Y=1.04 \times 10^6 X - 5.38 \times 10^5$ 。

### 2.2 标准溶液和样品溶液色谱图

图 1 为 BaP 标准溶液、试剂空白溶液和样品溶液的色谱图, 由图谱可知, 3 种前处理方法试

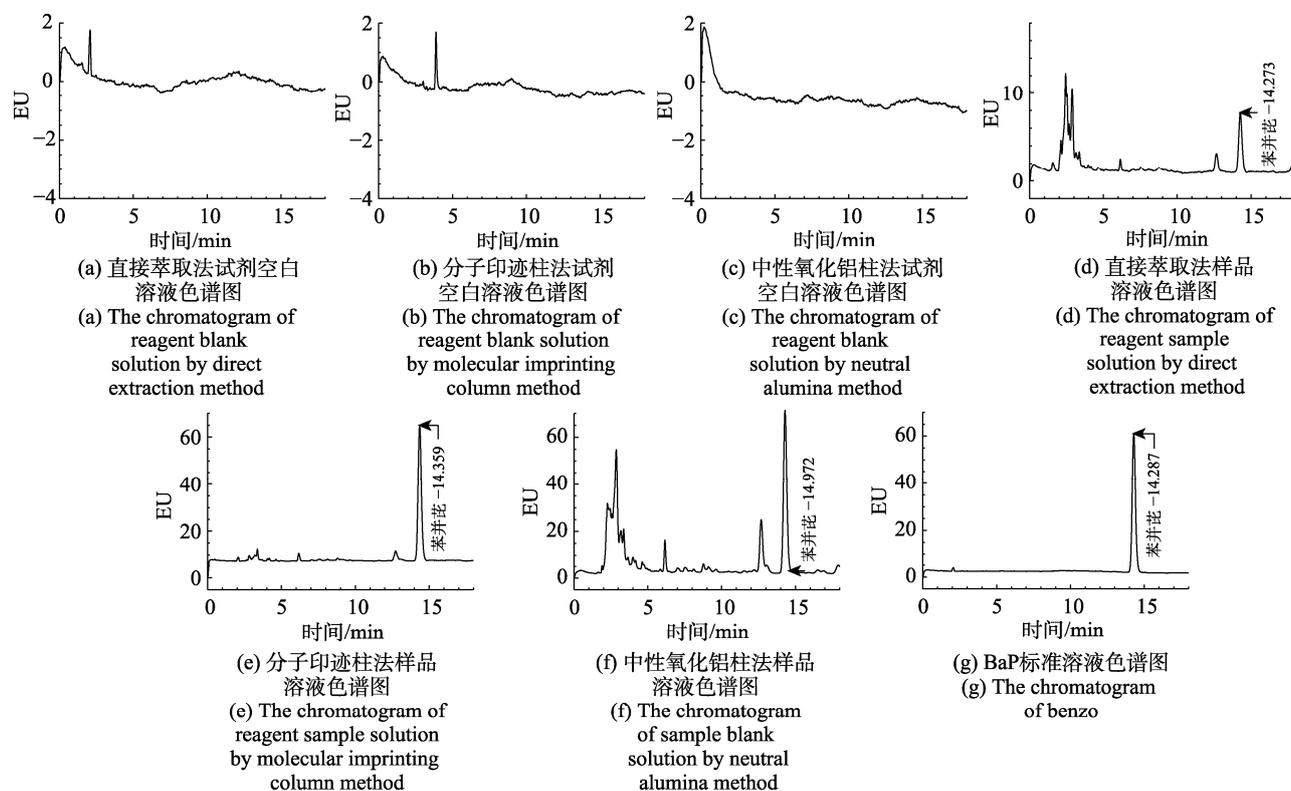


图 1 BaP 标准溶液和样品溶液色谱图

Fig.1 The chromatograms of benzo(a)pyrene standard solution and sample solution

剂空白溶液图谱仅有一些溶剂峰,说明本次实验用试剂及耗材本身对实验结果影响较小。直接萃取法图谱有些杂峰,这可能是由于油样中基质背景复杂,前处理过程未经过净化有少量油脂残留引起的<sup>[30]</sup>。相对于中性氧化铝柱法的净化方式,使用分子印迹柱进行净化的样品图谱杂峰相对较少。这可能是由于分子印迹柱是基于分子印迹聚合物的原理制备,而中性氧化铝柱是通过吸附杂质排出目标物的方式进行净化,分子印迹柱对目标分子具有更高的亲和力和选择性<sup>[26]</sup>。

### 2.3 方法回收率及精密度

向未检出 BaP 的植物油样品中分别添加 2、15、25 μg/kg BaP 标准溶液进行加标回收实验,采

用直接萃取法、分子印迹柱法和中性氧化铝柱法独立进行前处理后上机分析检测,每个水平平行测定 6 次,结果如表 1。三种前处理方法回收率的 RSD 值均小于 10%,符合食品理化分析的要求,说明 3 种方法均相对可靠。直接萃取法效果最佳,平均回收率达到 98.8%~102.8%,RSD 值均小于 2%,其次为分子印迹柱法,平均回收率为 91.1%~101.0%,RSD 值为 2.3%~7.3%,中性氧化铝柱法平均回收率相对较差为 91.8%~113.7%,RSD 为 1.9%~8.8%。由表 1 可知,直接萃取法 RSD 值比另外两种方法小,说明直接萃取法实验带来的系统误差更小,精密度更高,可以作为 BaP 测定的一种前处理方法。

表 1 植物油中 BaP 在不同前处理方法下的回收率和精密度 (n=6)

Table 1 The Recovery and precision of benzo (a) pyrene in vegetable oil by different pretreatment methods %

前处理方法	加标量 (2 μg/kg)		加标量 (15 μg/kg)		加标量 (25 μg/kg)	
	平均回收率	RSD	平均回收率	RSD	平均回收率	RSD
直接萃取法	102.8	2.0	98.8	1.5	101.3	0.8
分子印迹柱法	91.1	2.3	101.0	5.4	99.4	7.3
中性氧化铝柱法	91.8	8.0	109.5	8.8	113.7	1.9

采用食用油中 BaP 定量分析质控样品来考察三种前处理方法的准确度和精密度,由表 2 可知三种方法 BaP 测得值均在质控样特性值区间范围内,相对标准偏差为 1.6%~3.9%,直接萃取法及分子印迹柱法测得值与质控样特性值更接近,中性氧化铝柱法测得值与质控样特性值偏离较远,进一步说明直接萃取法具有较高的可靠性。

表 2 食用油 BaP 质控样品在不同前处理方法下测得结果及精密度

Table 2 The results of quality control samples in benzo (a) pyrene by three pretreatment methods

前处理方法	特性值 / (μg/kg)	能力评定 标准差 / (μg/kg)	特性值 区间 / (μg/kg)	测得值 / (μg/kg)	RSD/ %
直接萃取法				12.27±0.30	2.5
分子印迹柱法	11.53	1.27	8.99~14.07	10.49±0.17	1.6
中性氧化铝柱法				9.35±0.37	3.9

### 2.4 实际样品测定

由上述实验结果可知,在提取植物油中 BaP

时国标方法 (GB 5009.27—2016)<sup>[8]</sup>中分子印迹柱法较中性氧化铝柱法效果好。故取 10 份 BaP 阳性植物油样品,分别采用直接萃取法及分子印迹柱法进行前处理,并上高效液相色谱测定,前处理过程方法比对及测得 BaP 结果对比分别见表 3~4。

表 3 为测定多种植物油中 BaP 不同前处理方法比对,由表可知,相对于分子印迹柱法,直接萃取法取样量较大,减少了样品可能不均一性带来的系统误差;直接萃取法前处理过程使用有机溶剂种类单一且使用量少,不需要固相萃取柱净化、不需要氮吹,降低了时间和金钱成本。通过加标回收实验,分别以 3 倍信噪比、10 倍信噪比计算直接萃取法检出限和定量限均低于国标方法 (GB 5009.27—2016)<sup>[8]</sup>,符合实验要求。表 4 对两种前处理方法测得植物油中 BaP 的含量进行比较,由表可知,两种前处理方法测得 BaP 含量差异甚微,精密密度为 1.3%~4.8%,满足国标方法 (GB 5009.27—2016)<sup>[8]</sup>要求的两次独立测试结果的绝对差值不得超过算术平均值 20%的要求,

表 3 植物油中 BaP 测定不同前处理方法比较

Table 3 Comparison of different pretreatment methods for the determination of benzo (a) pyrene in vegetable oils

前处理方法	取样量/g	前处理过程				检出限 ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	定量限 ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
		提取方法	所需试剂	所耗试剂/mL	所耗时间/min		
直接萃取法	1.0	溶剂提取	乙腈	约 10	约 5	0.12	0.40
分子印迹柱法	0.4	溶剂提取+分子印迹柱净化+氮吹	正己烷、二氯甲烷、乙腈	约 28	约 40	0.2	0.5

表 4 不同前处理方法测得植物油中 BaP 含量比较

Table 4 Comparison of benzo (a) pyrene content in vegetable oils measured by different pretreatment methods

样品	花生油	山茶油	橄榄油	菜籽油	大豆油	大豆油	葵花籽油	花生油	花生油	玉米油
直接萃取法测得含量/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	4.42 $\pm$ 0.5	8.58 $\pm$ 1.1	1.56 $\pm$ 1.5	5.40 $\pm$ 0.6	1.20 $\pm$ 0.7	3.99 $\pm$ 0.1	3.52 $\pm$ 1.4	24.55 $\pm$ 0.8	9.50 $\pm$ 1.4	0.68 $\pm$ 0.2
分子印迹法测得含量/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	4.60 $\pm$ 1.2	9.00 $\pm$ 0.8	1.58 $\pm$ 2.2	5.32 $\pm$ 1.3	1.15 $\pm$ 0.3	4.12 $\pm$ 0.3	3.57 $\pm$ 1.0	25.06 $\pm$ 0.5	9.28 $\pm$ 1.6	0.70 $\pm$ 0.3
精密度/%	4.0	4.8	1.3	1.5	4.3	3.2	1.4	2.1	2.3	2.9

从前处理过程及测得结果的比较可知,直接萃取法优势明显,适用于植物油中 BaP 含量的测定。

### 3 结论

本研究以植物油为原料,研究不同前处理方法对植物油中 BaP 测定的影响。结果表明直接萃取法可以直接萃取上机,实验过程操作简单,成本低,耗时短,精密度、准确度及灵敏度均能符合实验要求,且在实际样品测定中测得结果与国标方法差异不大,在测定植物油中 BaP 含量具有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 李雪, 张玉, 王君虹, 等. 食用油中苯并(a)芘含量测定的不确定度评估[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(6): 102-108.  
LI X, ZHANG Y, WANG J H, et al. Uncertainty evaluation of the determination of benzo (a) pyrene in edible oils, et al. Uncertainty evaluation of the determination of benzo (a) pyrene in edible oils[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(6): 102-108.
- [2] 赵亮, 牛宏亮, 杨金部, 等. 不同油籽生产工艺中苯并芘含量变化研究[J]. 食品与发酵科技, 2019, 56(4): 26-31.  
ZHAO L, NIU H L, YANG J B, et al. Study on the change of benzopyrene content in different oilseed production processes[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2019, 56(4): 26-31.
- [3] 张海龙, 张维, 舒楠, 等. 高效液相色谱法定量分析菜籽油中的苯并芘[J]. 农产品加工, 2017(9): 26-28.  
ZHANG H L, ZHANG W, SU N, et al. Quantitative determination of benzopyrene in rapeseed oil by high performance liquid chromatography[J]. Farm Products Processing, 2017(9): 26-28.
- [4] 侯利霞, 仇记红. 食用油中多环芳烃研究进展[J]. 河南工业

大学学报(自然科学版), 2017, 38(3): 115-122.

HOU L X, JIU J H. Review on polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) in edible oils[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2017, 38(3): 115-122.

- [5] 刘兵戈. 芝麻油的加工过程对苯并芘形成的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014.  
LIU B G. Formation of benzopyrene in processing of sesame Oil[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2014.
- [6] 食品安全国家标准食品中污染物限量: GB 2762—2017[S]. National standards for food safety Limit of contaminants in food: GB 2762—2017[S].
- [7] 梁瑞, 段兰萍, 黄瑞, 等. 固相萃取-高效液相色谱法测定粮油中苯并芘残留[J]. 粮食科技与经济, 2016, 41(5): 46-49.  
LANG Y, DUAN L P, HUANG R, et al. Determination of benzopyrene residues in grain and oil by solid phase extraction and high performance liquid chromatography[J]. Food Science and Technology and Economy, 2016, 41(5): 46-49.
- [8] 食品安全国家标准食品中苯并(a)芘的测定: GB 5009.27—2016[S]. National standard for food safety-determination of benzo (a) pyrene in food: GB 5009.27—2016[S].
- [9] 刘艳琴, 王浩, 杨红梅. 凝胶渗透色谱-高效液相色谱法测定植物油中的苯并芘[J]. 食品科技, 2013, 38(1): 327-329.  
LIU Y Q, WANG H, YANG H M. Determination of benzo (a) pyrene in vegetable oil by GPC-HPLC[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(1): 327-329.
- [10] 李燕艳, 杨虹, 魏婷婷, 等. RP-HPLC 法测定食用油中苯并(a)芘的含量[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(12): 103-104.  
LI Y Y, YANG H, WEI T T, et al. Determination of benzo (a) pyrene in edible oils by reversed-phase High-performance liquid chromatography[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(12): 103-104.
- [11] 张艳燕, 温建荣, 钟坚海, 等. 高效液相色谱法快速测定食用植物油中苯并(a)芘的研究[J]. 食品与发酵科技, 2019, 55(6): 127-129.  
ZHANG Y Y, WEN J R, ZHONG J H, et al. Fast determination of benzo (a) pyrene in edible vegetable oil by high performance

- liquid chromatography[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2019, 55(6): 127-129.
- [12] 王磊, 樊蕊. 凝胶色谱-气质联用测定花生油中苯并芘残留[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 322-324.  
WANG L, FAN R. Determination of benzopyrene in peanut oil by gel permeation Chromatography-gas chromatography/mass spectrometry[J]. the Food Industry, 2019, 40(5): 322-324.
- [13] RATOLA N, LACORTE S, ALVES A, et al. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in pine needles by gas chromatography-mass spectrometry Comparison of different extraction and clean-up procedures[J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1114(2): 198-204.
- [14] TIAN Y T, XU Z B, ZHENG B D, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (Punicagranatum L.) seed oil[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2013, 20(1): 202-208.
- [15] ITOH N, NUMATA M, YARITA T. Alkaline extraction in combination with microwave-assisted extraction followed by solid-phase extraction treatment for polycyclic aromatic hydrocarbons in a sediment sample[J]. Analytica Chimica Acta, 2008, 615(1): 47-53.
- [16] PURCARO G, MORET S, CONTE L S, et al. Optimisation of microwave assisted extraction (MAE) for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) determination in smoked meat[J]. Meat Science, 2009, 81: 275-280.
- [17] 张玲金, 苏建茹, 周立军, 等. 固体模拟样品中多环芳烃有机污染物提取方法研究[J]. 岩矿测试, 2003, 22(2): 113-116.  
ZHANG L J, SU J R, ZHOU L J, et al. Study on extraction techniques of polynuclear aromatic hydrocarbons in spiked solid samples[J]. Rock and Mineral Analysis, 2003, 22(2): 113-116.
- [18] 王丽霞, 张敬轩, 李挥, 等. 自动索氏提取-高效液相色谱法同时测定油炸面制品中的 16 种多环芳烃[J]. 河北省科学院学报, 2009, 26(1): 43-46.  
WANG L X, ZHANG J X, LI H, et al. Determination of sixteen polycyclic aromatic hydrocarbons in fried wheat products by automated soxhlet extraction-HPLC analysis[J]. Journal of the Hebei Academy of Sciences, 2009, 26(1): 43-46.
- [19] 房芳, 宁晖, 邵亮亮, 等. 联用凝胶色谱净化和超高效液相色谱定量分析植物油中的苯并芘[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(9): 131-134.  
FANG F, NING H, SHAO L L, et al. Quantitative determination of benzopyrene in vegetable oil using gel permeation cleanup and ultra high performance liquid chromatography[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2018, 33(9): 131-134.
- [20] 邓新煜. 固相萃取-高效液相色谱法测定植物油中苯并(a)芘的含量[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(1): 73-74.  
DENG X Y. Determination of the benzo (a) pyrene in edible oil by solid phase extraction-high performance liquid chromatography[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2016, 22(1): 73-74.
- [21] 薛昆鹏, 吴韵铭, 陈宗良, 等. 改进固相萃取柱-高效液相色谱法测定食用油中苯并(a)芘[J]. 中国食品卫生杂志, 2015, 27(2): 140-144.  
XU K P, WU Y M, CHEN Z L, et al. Improved determination of benzo (a) pyrene in edible oil by HPLC with solid phase extraction column[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2015, 27(2): 140-144.
- [22] 彭小东, 王欢, 李红洲, 等. 液相萃取-反相高效液相色谱法联用测定植物油中的苯并芘[J]. 中国油脂, 2018, 43(10): 112-114.  
PENG X D, WANG H, LI H Z, et al. Determination of benzopyrene in vegetable oil by liquid-phase Extraction-RP-HPLC[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(10): 112-114.
- [23] 郝媛媛. 高效液相色谱法测定野山茶油中苯并芘的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2018(54): 216-218.  
HAO Y Y. Determination of benzopyrene in wild camellia oil by high performance liquid chromatography[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2018(54): 216-218.
- [24] 王磊, 樊蕊. 凝胶色谱-气质联用测定花生油中苯并芘残留[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 322-324.  
WANG L, FAN R. Determination of benzopyrene in peanut oil by gel permeation chromatography-gas chromatography/mass spectrometry[J]. The Food Industry, 2019, 40(5): 322-324.
- [25] 邓安平. 酶联免疫吸附分析法测定苯并(a)芘和多氯联苯[J]. 环境化学, 2006, 25(3): 340-343.  
DENG A P. Enzyme-linked immunosorbent assay for the analysis of benzo (a) pyrene and polychlorobiphenyl[J]. Environmental Chemistry, 2006, 25(3): 340-343.
- [26] 项晨. 表面增强拉曼光谱结合分子印迹技术快速检测苯并芘[D]. 杭州: 浙江工业大学: 2019.  
XIANG C. Rapid detection of Benzo (a) pyrene by surface-enhanced raman spectroscopy combined with molecularly imprinted technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology: 2019.
- [27] 王珊, 李忠, 潘亮, 等. 表面增强拉曼光谱(SERS)快速检测食用油中的苯并(a)芘[J]. 现代食品科技, 2017(9): 277-281.  
WANG S, LI Z, PAN L, et al. Study on rapid quantification of benzo[a]pyrene in edible oil by surface enhanced raman spectroscopy[D]. Modern Food Science and Technology, 2017(9): 277-281.
- [28] 钱立. 表面增强拉曼光谱法用于食用油中苯并芘的快速检测[D]. 扬州: 扬州大学: 2020.  
QIAN L. Surface enhanced raman spectroscopy for rapid detection of benzo (a) pyrene in cooking oil[D]. Yangzhou: Yangzhou University: 2020.
- [29] 吴海智, 周丛, 袁列江, 等. 高效液相色谱法快速测定植物油中苯并芘的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(10): 6075-6076.  
WU H Z, ZHOU C, YUAN L J, et al. Fast analysis of Benzopyrene in vegetable oil by HPLC[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(10): 6075-6076.
- [30] 黄媛. 植物油中苯并(a)芘含量的快速检测方法研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(11): 73-76.  
HUANG Y. A fast method for the determination of benzo(a) pyrene content in vegetable oil[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(11): 73-76.
- [31] 杨琳, 陈青俊, 欧菊芳, 等. 高效液相色谱法快速测定植物油中苯并(a)芘含量[J]. 粮食与油脂, 2012(7): 34-36.  
YANG L, CHEN Q J, OU J F, et al. Fast determination of B (a) P in vegetable oil by HPLC[J]. Cereals & Oils, 2012(7): 34-36. ㊞