DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260316007
引用格式: 陈皆全, 段程芬, 唐璇. 2024—2025 年广西某市市售食用植物油苯并(a)芘含量检测与分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(12): 306–311.
CHEN JQ, DUAN CF, TANG X. Detection and analysis of benz(a)pyrenecontent in commercially available edible vegetable oils in a city of Guangxi from 2024 to 2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(12): 306–311. (in Chinese with English abstract).

2024—2025 年广西某市市售食用植物油苯并(a)芘含量检测与分析

陈皆全[1*], 段程芬[1], 唐　璇[2]
(1. 百色市粮油质量检验中心, 百色　533000; 2. 广西壮族自治区粮油质量检验中心, 南宁　530031)

摘　要: 目的　了解广西某市市售食用植物油中苯并(a)芘的含量情况。**方法**　采集某市 8 个县(区、市)大型商超及农贸市场 2024—2025 年市售食用植物油样品 113 份, 采用分子印迹固相萃取-高效液相色谱法检测苯并(a)芘含量, 分析植物油种类、加工工艺及包装方式等对食用植物油中苯并(a)芘含量的影响。**结果**　本次抽取的 113 份市售食用植物油苯并(a)芘检出率为 69.0%, 检出区间为 0.21~5.60 μg/kg, 平均值为 0.56 μg/kg, 均符合 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》标准, 但有 5 份样品超出了欧洲联盟标准。不同种食用植物油的苯并(a)芘含量因品牌、工艺、包装等表现出显著差异, 苯并(a)芘检出率从高到低排序为: 调和油>花生油>玉米油>山茶籽油>菜籽油, 苯并(a)芘平均含量从高到低排序为: 山茶籽油>调和油>花生油>玉米油>菜籽油。**结论**　研究发现市售散装山茶籽油苯并(a)芘含量明显高于其他种类食用植物油, 揭示了小作坊压榨油和散装油的高风险特征, 应引起监管部门重视, 加大对市售食用植物油的监管力度, 加强食品安全宣传, 做好监测工作, 畅通社会监督渠道, 不断筑牢食品安全防线。

关键词: 食用植物油; 苯并(a)芘; 分子印迹柱; 高效液相色谱法; 多环芳烃

Detection and analysis of benz(a)pyrenecontent in commercially available edible vegetable oils in a city of Guangxi from 2024 to 2025

CHEN Jie-Quan[1*], DUAN Cheng-Fen[1], TANG Xuan[2]
(1. *Baise City Grain and Oil Quality Inspection Center*, *Baise* 533000, *China*; 2. *Guangxi Zhuang Autonomous Region Grain and Oil Quality Inspection Center*, *Nanning* 530031, *China*)

ABSTRACT: Objective　To understand the content of benzo(a)pyrene in commercially available edible vegetable oils in a city of Guangxi. **Methods**　A total of 113 samples of edible vegetable oils sold in large supermarkets and farmers' markets across 8 counties (districts, cities) of a certain city were collected from 2024 to 2025. Molecular imprinting solid-phase extraction-high performance liquid chromatography was used to detect the content of BaP. The study analyzed the impact of the type of vegetable oil, processing methods and packaging methods on the BaP content in edible vegetable oils. **Results**　The detection rate of BaP in the 113 commercially available edible vegetable oils sampled

收稿日期: 2026-03-16
第一作者/*通信作者: 陈皆全(1988—), 男, 工程师, 主要研究方向为粮油质量检验、粮食质量安全管理。E-mail: 404828902@qq.com

was 69.0%, with detection ranges of 0.21–5.60 μg/kg and an average of 0.56 μg/kg, all meeting GB 2762—2022 *National food safety standard-Limits of contaminants in foods*. However, 5 samples exceeded European Union standards, accounting for 4.4% of the total sample population. BaP levels varied significantly among different edible vegetable oils depending on brand, production process and packaging. The detection rates, ranked from highest to lowest, were: Blended oil>peanut oil>corn oil>camellia seed oil>rapeseed oil. The average content, ranked from highest to lowest, was: Camellia seed oil>blended oil>peanut oil>corn oil>rapeseed oil. **Conclusion** The study find that the BaP content in commercially available bulk camellia seed oil is significantly higher than that in other types of edible vegetable oils, highlighting the high-risk characteristics of small-scale workshop-pressed oils and bulk oils. This finding warrants heightened attention from regulatory authorities, who should strengthen oversight of commercially available edible vegetable oils, enhance food safety awareness campaigns, improve monitoring efforts, facilitate public supervision channels and continuously reinforce food safety safeguards.

KEY WORDS: edible vegetable oils; benzo(a)pyrene; molecular imprinting column; high performance liquid chromatography; polycyclic aromatic hydrocarbons

0　引　言

多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs), 是一种广泛存在于自然环境和食品中的危害物[1–2], 是由 2 个或 2 个以上苯环组成的一类碳氢化合物, 具有致癌和遗传毒性[3–6]。食用油是居民日常膳食的重要组成部分, 提供了人体生命活动和机体代谢所需的能量和营养物质[7–8]。PAHs 作为一类复杂的高亲脂性有机污染物,易在食用植物油的生产加工贮存过程中残留[9], 含有 PAHs 的油脂将加剧其在肠道中的吸收, 从而严重威胁人类健康[10]。在目前已发现的 PAHs 中, 苯并(a)芘[benzo(a)pyrene, BaP]是已知致癌性最高的 PAHs 之一[11–14]。食用植物油是我国居民主要烹饪用油, 种类多且消耗量大, 加工过程高温环节多, BaP 污染风险高, 因此, 调查市售食用植物油中的 BaP 污染现状极为重要。

我国 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》对油脂中 BaP 的限量要求为 10.0 μg/kg, 欧洲联盟(European Union, EU) 2023/915《关于食品中某些污染物最高含量的条例》规定油脂中 BaP 的最大限量为 2.0 μg/kg。国内外对食用植物油中 BaP 检出常有报道, 如河南省市售食用植物油中 BaP 的检出率为 80.0%[15], 西北某省市的为 51.2%[16], 陕西汉中市的为 62.5%[17], 上海市的为 19.6%[18], 北京市的为 46.67%[19], 武汉市的 BaP 检出率高达 85.34%[20]。PIRAVI-VANAK 等[21]针对伊朗市场 6 种食用植物油调查显示 BaP 含量范围在未检出至 1.32 μg/kg 之间。ALOMIRAH 等[22]对科威特食用油调查结果显示 BaP 的检出率为 43.0%, 其平均含量为 0.92 μg/kg。FROMBERG 等[23]对丹麦市场抽取的植物油进行了调查, 发现除一个向日葵油样本含有 11 μg/kg BaP 外, 所有样品中的 BaP 含量均较低。以上研究表明 BaP 在各类食用植物油中广泛检出, 目前用于检测食用植物油中 BaP 含量的方法有气相色谱法[24–25]、凝胶色谱-气相色谱-质谱法[26]、液相萃取-反相高效液相色谱法[27]、固相萃取-高效液相色谱法[28–29]、液相色谱-荧光法[30]、紫外分光光度法[31]、表面增强拉曼光谱检测法[32]及液相色谱-质谱联用法等[33]。

当前研究调查多聚焦品牌油脂, 且多为省级以上宏观尺度, 或单一城市的零星采样, 对小作坊(农贸市场现榨、散装销售)的研究极为有限。本研究通过随机抽样采集 2024—2025 年市售食用植物油样品, 采用分子印迹固相萃取-高效液相色谱法检测 BaP 含量, 从植物油种类、加工工艺及包装方式等方面进行分析研究, 系统比较了县域一级品牌食用植物油与小作坊压榨油中 BaP 的含量情况, 重点关注当前研究较少且极具当地特色的木本油脂山茶籽油, 以期为食用植物油污染风险分析及食品安全标准制修订提供数据和理论支撑。

1　材料与方法

1.1　实验材料

1.1.1　样　品

在广西某市 8 个县(市、区)大型商超及农贸市场随机采集 2024—2025 年市售食用植物油共 113 份, 其中品牌植物油 52 份, 散装自榨植物油 61 份, 采集品种包含花生油、玉米油、菜籽油、山茶籽油、调和油共 5 类。食用植物油信息见表 1。

1.1.2　仪器与设备

Agilent 1260 Infinty 高效液相色谱仪(配荧光检测器及自动进样器)、Agilent ZORBAX Eclipse PAH 液相色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)[安捷伦科技(中国)有限公司]; SPT-16 型氮空吹扫浓缩仪(北京斯特科技有限公司); VORTEX-5 旋涡混合器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司); H1850 离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司);

Direct-Q8 UV-R 超纯水机[默克检测认证(上海)有限公司]; JA5003N 千分之一天平(上海佑科仪器仪表有限公司); SB-5200DT 超声波清洗器(宁波新芝生物科技股份有限公司)。

表 1 食用植物油信息表

Table 1 Table of edible vegetable oil information

种类	数量/份		工艺
	品牌食用油	自榨食用油	
花生油	24	9	压榨法
玉米油	11	/	压榨法
菜籽油	/	9	压榨法
山茶籽油	2	43	压榨法
调和油	15	/	浸出法

注: /为本次调查研究的样品中不包含此类别的食用植物油。

1.1.3 试 剂

BaP 标准品(500 μg/ mL, 美国 AccuStandard 公司); 乙腈、正己烷(色谱纯, 西陇科学股份有限公司); 二氯甲烷(色谱纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司); 一级水(经超纯水机 Direct-Q8 UV-R 制备); Cleanert Bap-3 苯并(a)芘分子印迹柱(500 mg/6 mL, 北京艾杰尔科技有限公司); 0.22 μm 有机微孔滤膜(天津津腾科技有限公司)。

1.2 实验方法

根据 GB 5009.27—2016《食品安全国家标准 食品中苯并(a)芘的测定》, 采用分子印迹柱-高效液相色谱荧光法检测苯并(a)芘在食用植物油中的含量。

1.2.1 样品前处理

称取 0.400 g 试样, 加入 5 mL 正己烷, 旋涡混合 0.5 min, 待净化。净化: 采用苯并(a)芘分子印迹柱, 依次用 5 mL 二氯甲烷及 5 mL 正己烷活化。将待净化液转移至柱子, 用 2 mL 正己烷润洗样品管一并转移至柱子。用 10 mL 正己烷淋洗柱子, 用 6 mL 二氯甲烷洗脱, 收集净化液到试管中, 于 40 ℃下氮气吹干, 用 0.4 mL 乙腈涡旋复溶 0.5 min, 过 0.22 μm 滤膜后供高效液相色谱仪测定。

1.2.2 标准溶液配制

分别吸取 100 ng/mL BaP 标准使用液 2、5、10、50、100、200 μL, 用乙腈定容至 1 mL, 得到质量浓度梯度为 0.2、0.5、1.0、5.0、10.0、20.0 ng/mL 的标准溶液。

1.2.3 色谱分析条件

色谱柱: Agilent ZORBAX Eclipse PAH 液相色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相: 乙腈-水(88:12, *V*:*V*); 流速: 1.0 mL/min; 进样量: 20 μL; 柱温: 35 ℃; 荧光检测器, 激发波长 297 nm, 发射波长 405 nm。

1.3 数据处理

使用 Agilent OpenLAB 2.1 软件采集色谱数据, 用 OriginPro 2024 软件进行作图, 用 WPS 2019 软件进行数据统计。

2 结果与分析

2.1 方法验证

2.1.1 标准工作曲线及线性范围

BaP 标准品谱图如图 1 所示, 保留时间为 14.291 min。将配制好的标准工作液做线性回归, 回归方程为: Y=1.89186X+0.0742083, 相关系数(r)为 0.99997, BaP 在 0.2~20.0 μg/L 范围内具有良好的线性关系。

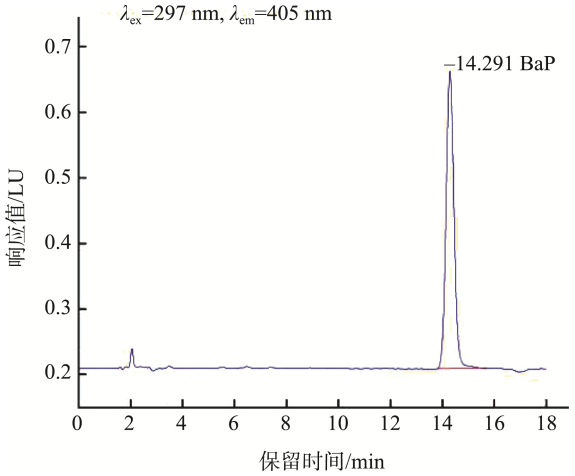


图 1 BaP 质量浓度 5.0 ng/mL 标准工作溶液液相色谱图

Fig.1 Liquid chromatogram of the standard working solution with a BaP mass concentration of 5.0 ng/mL

2.1.2 检出限、回收率及精密度

以山茶籽油作为基质, 按照限量点 10.0 μg/kg 的 50%、100%、150%进行加标, 即向 0.4 g 样品中分别加入 5.0、10.0、15.0 μg/kg 的 BaP, 每组浓度做 7 个平行, 检测其回收率。

以 3 倍信噪比的方式计算其检出限, 得到 BaP 的检出限为 0.2 μg/kg; 以 10 倍信噪比的方式计算其定量限, 得到 BaP 的定量限为 0.5 μg/kg; 样品加标回收率在 89.4%~97.7%, 相对标准偏差在 0.13%~0.30%, 符合 GB/T 27417—2017《合格评定化学分析方法确认和验证指南》标准要求。

2.2 食用植物油中 BaP 总体检出情况

本次检测的 113 份样品中, 有 78 份样品检出 BaP, 检出率为 69.0%, 检出结果范围为 0.21~5.60 μg/kg。113 份样品检测结果均符合 GB 2762—2022 中规定的最大限量(10 μg/kg), 样品合格率 100%; 超出 EU 现行规定限量值(2.0 μg/kg)的有 5 份样品, 占样品总量的 4.4%。样品 BaP 平均含量为 0.56 μg/kg, 显著低于国家标准限量, 表明总体风险可控。样品 BaP 含量最大值为 5.60 μg/kg, 符合国家标准限量要求, 但超出 EU 限量的 2 倍以上, 需重点关注超标样品来源。整体来看, 本次调查的市售食用植物油中 BaP 污

染水平较低, 食品安全状况总体良好。

2.3　不同种类食用植物油中 BaP 的污染情况

由表 2 可知, 不同种类食用植物油的 BaP 含量差异较大。菜籽油的 BaP 检出率最低, 为 33.3%; 调和油的 BaP 检出率最高, 为 93.3%。花生油和玉米油的 BaP 检出率分别为 87.9%和 63.6%, 且均符合 EU 限量标准。山茶籽油作为广西特色油脂, 本次调查的食用植物油样品中 BaP 检出率为 55.6%, 超出 EU 限量标准的样品占山茶籽油样品总量的比例为 11.1%。进一步观察食用植物油的检出区间、平均值和中位值数据还发现, 山茶籽油的 BaP 含量中位值较低, 但平均值是 5 类食用植物油中最高的, 表明单个山茶籽油的 BaP 含量明显高于其他食用植物油, 这可能与小作坊采用高温焙炒压榨的制作方式极易造成 BaP 污染有关, 需重点关注。

2.4　不同加工工艺食用植物油中 BaP 的污染情况

由表 3 可知, 加工工艺为压榨的食用植物油 BaP 检出率为 65.3%, 压榨型食用植物油单个样品最高含量是最低含量的 26 倍, 压榨型食用植物油的 BaP 含量差异较大, 表明原料来源、生产环境、存储条件、压榨工艺等不同因素对样品 BaP 残留水平有一定影响。加工工艺为浸出的食用植物油 BaP 检出率为 93.3%, 检出率明显高于压榨型食用植物油, 说明浸出型食用植物油在加工过程中极易残留 BaP, 且目前的加工工艺还不能完全去除。

2.5　不同包装食用植物油中 BaP 的污染情况

由表 4 可知, 预包装食用植物油的 BaP 检出率高于散装食用植物油, 说明预包装食用植物油较容易受到 BaP 污染, 厂家对生产工艺的把控极为重要, 若工艺失控, 极易存在污染风险。散装食用植物油的 BaP 含量明显高于预包装食用植物油, 进一步分析还发现, 散装食用植物油中苯 BaP 含量较高的样品主要集中在花生油和山茶籽油两类, 本次调查中有 5 份散装食用植物油样品超出 EU 限量标准, 超标样品占散装食用植物油样品总量的比例为 8.2%, 说明相比预包装食用植物油, 市售散装食用植物油存在更大的食品安全风险。这可能与小作坊的原料来源不明、加工工艺落后、储存容器反复使用等因素相关, 且散装食用植物油销售流动性强, 溯源困难, 对市场食品安全监管存在较大的挑战。

表 2　不同种类食用植物油中 BaP 含量

Table 2　Content of BaP in edible vegetable oils from different types

种类	样品数量/份	检出数量/份	检出率/%	超 EU 标准数量/份	超 EU 标准比例/%	检出区间/(μg/kg)	平均值/(μg/kg)	中位值/(μg/kg)
花生油	33	29	87.9	0	0	0.27~1.23	0.51	0.52
玉米油	11	7	63.6	0	0	0.25~0.91	0.35	0.31
菜籽油	9	3	33.3	0	0	0.52~0.85	0.31	0.10
山茶籽油	45	25	55.6	5	11.1	0.21~5.60	0.71	0.28
调和油	15	14	93.3	0	0	0.30~1.41	0.52	0.50

表 3　不同加工工艺食用植物油中 BaP 含量

Table 3　Content of BaP in edible vegetable oils from different processing methods

种类	样品数量/份	检出数量/份	检出率/%	超 EU 标准数量/份	超 EU 标准比例/%	检出区间/(μg/kg)	平均值/(μg/kg)	中位值/(μg/kg)
压榨	98	64	65.3	5	5.1	0.21 ~ 5.60	0.56	0.41
浸出	15	14	93.3	0	0	0.30 ~ 1.41	0.52	0.50

表 4　不同包装食用植物油中 BaP 含量

Table 4　Content of BaP in edible vegetable oils from different packaging

包装方式	样品数量/份	检出数量份	检出率/%	超 EU 标/准数量/份	超 EU 标准比例/%	检出区间/(μg/kg)	平均值/(μg/kg)	中位值/(μg/kg)
预包装	52	44	84.6	0	0	0.25~1.41	0.50	0.52
散装	61	34	55.7	5	8.2	0.21~5.60	0.61	0.27

3　讨论与结论

该市 8 个县(市、区)2024—2025 年市售的 113 份 5 类食用植物油中 BaP 总体检出率为 69.0%, 检出区间为 0.21~5.60 μg/kg, 平均值为 0.56 μg/kg, 均符合 GB 2762—2022。从种类来看, 5 种食用植物油的 BaP 含量因品牌、工艺、包装等表现出显著差异, 按检出率从高到低排序为: 调和油>花生油>玉米油>山茶籽油>菜籽油, 按平均含量从高到低排序为: 山茶籽油>调和油>花生油>玉米油>菜籽油。花生油和山茶籽油的污染水平较高, 主要与传

统压榨工艺中高温焙炒工序控制不当有关，个别小作坊样品存在超标风险，需予以关注；调和油、玉米油及菜籽油因采样数量有限，本次调查的结果存在一定的局限性，可作为进一步研究的参考。

从食用植物油加工工艺和包装方式看，散装食用植物油中 BaP 最高含量为 5.60 μg/kg，预包装食用植物油为 1.41 μg/kg，小作坊压榨油含量是品牌精炼油的 4 倍。这可能是散装食用植物油原料来源分散且质量控制弱、焙炒设备简陋卫生条件差、无精炼工序、储存条件不当等因素导致。压榨型食用植物油的检出率低于浸出型食用植物油，但其 BaP 含量较高，且 BaP 含量高的样品主要来自于市场小作坊，原因为小作坊压榨油普遍采用高温焙炒工序，缺乏脱胶、脱酸、脱色、脱臭等精炼工序，易促进 BaP 生成且难去除；而品牌精炼油通过精准控制焙炒温度和完善的精炼工序，可有效控制油脂中 BaP 含量，使污染水平显著降低。

综合以上分析，当地市售食用植物油中BaP污染总体可控。预包装品牌食用植物油质量可靠、合格率 100%；散装食用植物油虽全部符合国家限量要求，但有 5 份样品超出了 EU 标准，超标样品均为散装的山茶籽油。从了解到的销售情况看，当地居民对市场上小作坊压榨售卖的山茶籽油接受程度较高，而本次调查结果显示，市场小作坊散装油是 BaP 污染的主要风险源，亟需加强监管。消费者应优先购买预包装品牌食用植物油，若选购市场散装油，应选择信誉良好、卫生条件较好的作坊，适量购买、尽快食用。市场监管部门应加大对食用植物油卫生安全的监督检查力度，畅通社会监督渠道，加强食品安全宣传，重点关注农贸市场食品加工作坊的原料、生产环境、加工设备等是否满足食品卫生安全标准；同时应加强监测工作，充分利用监测数据，为食品安全标准修订及风险防范提供技术依据，不断筑牢食品安全防线。

参考文献

[1] HU T, MAO Y, KE Y, *et al*. Spatial and seasonal variations of PAHs in soil, air, and atmospheric bulk deposition along the plain to mountain transect in Hubei Province, central China: Air-soil exchange and long-range atmospheric transport [J]. Environmental Pollution, 2021(291): 118139.

[2] SARAVANAKUMAR K, SIVASANTOSH S, SATHIYASEELAN A, *et al*. Impact of benzo[a]pyrene with other pollutants induce the molecular alternation in the biological system: Existence, detection, and remediation methods [J]. Environmental Pollution, 2022(304): 119207.

[3] LEE JG, SUH JH, YOON HJ. The effects of extracting procedures on occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils [J]. Food Science and Biotechnology, 2020, 29(9): 1181–1186.

[4] TARTAGLIONE AM, RACCA A, RICCERI L. Developmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): Focus on benzo[a]pyrene neurotoxicity [J]. Reproductive Toxicology, 2023(119): 108394.

[5] GE Y, GU PF, WANG WB, *et al*. Benzo[a]pyrene stimulates miR-650 expression to promote the pathogenesis of fatty liver disease and hepatocellular carcinoma via SOCS3/JAK/STAT3 cascades [J]. Journal of Molecular Cell Biology, 2021, 13(8): 556–564.

[6] WANG DL, GROOT A, SEIDEL A, *et al*. The influence of alkyl substitution on the *in vitro* metabolism and mutagenicity of benzo[a]pyrene [J]. Chemico-Biological Interactions, 2022(363): 110007.

[7] 武利梅, 赵晶晶, 蔡静薇, 等. 食用植物油中脂肪伴随物的种类、含量及健康功能[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(6): 10–18.
WU LM, ZHAO JJ, CAI JW, *et al*. Types, contents, and health functions of fat accompaniments in edible vegetable oils [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition). 2022, 43(6): 10–18.

[8] 景璐璐, 马传国, 闫亚鹏. 植物油中生物活性物质及其营养特性概述[J]. 中国油脂, 2021, 46(12): 56–61.
JING LL, MA CG, YAN YP. An overview of bioactive compounds in vegetable oils and their nutritional characteristics [J]. China Oils and Fats, 2021, 46(12): 56–61.

[9] 孟祥茹, 胡乐乾, 琚荧, 等. 食用油中多环芳烃检测的前处理方法研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(11): 373–382.
MENG XR, HU LQ, JU Y, *et al*. Progress in research on pretreatment methods for the detection of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils [J]. Food Science. 2022, 43(11): 373–382.

[10] 杨朝慧, 吴炜亮, 张朵, 等. 2015—2020 年我国食用植物油质量安全风险因素分析[J]. 中国油脂, 2021, 46(12): 69–78.
YANG CH, WU WL, ZHANG D, *et al*. Analysis of quality and safety risk factors for edible vegetable oils in China from 2015 to 2020 [J]. China Oils and Fats, 2021, 46(12): 69–78.

[11] 颜婷, 葛天嗣, 黄才欢, 等. 多环芳烃的形成、危害及其减控技术研究进展[J]. 食品科学, 2024, 45(14): 257–266.
YAN T, GE TS, HUANG CH, *et al*. Progress in research on the formation, hazards, and mitigation/control of polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. Food Science. 2024, 45(14): 257–266.

[12] MENG H, LI G, WEI W, *et al*. Epigenome-wide DNA methylation signature of benzo[a]pyrene exposure and their mediation roles in benzo[a]pyrene-associated lung cancer development [J]. Journal of Hazardous Materials, 2021(416): 125839.

[13] WANG HZ, LIU BC, CHEN H, *et al*. Dynamic changes of DNA methylation induced by benzo(a)pyrene in cancer [J]. Genes and Environment, 2023, 45(1): 21.

[14] ZHENG Z, PARK JK, KWON OW, *et al*. The risk of gastrointestinal cancer on daily intake of low-dose BaP in C57BL/6 for 60 days [J]. Journal of Korean Medical Science, 2022, 37(30): e235.

[15] 赵纪莹, 孙琳娟, 马利杰, 等. 2017—2019 年河南省市售食用植物油中苯并[a]芘污染调查[J]. 卫生研究, 2020, 49(5): 759–762.
ZHAO JY, SUN LJ, MA LJ, *et al*. Investigation of benzo[a]pyrene contamination in edible vegetable oils sold in henan province from 2017 to 2019 [J]. Journal of Hygiene Research, 2020, 49(5): 759–762.

[16] 姚博伟, 朱秋楠. 西北某省市售食用植物油中苯并(a)芘污染情况调查及膳食暴露风险评估[J].食品安全质量检测学报, 2026, 17(7): 150–156.
YAO BW, ZHU QN. Investigation on the pollution situation and risk assessment of dietary exposure of the benzo(a)pyrene in edible vegetable oil sold in a certain province in Northwest China [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(7): 150–156.

[17] 杨靓, 牟霄, 张崇淼. 食用植物油中苯并(a)芘的污染特征及城乡居民膳食暴露评估——以汉中市为例[J]. 中国油脂, 2024, 49(6): 106–111.
YANG L, MU X, ZHANG CM. Characteristics of benzo[a]pyrene contamination in edible vegetable oils and assessment of dietary exposure among urban and rural residents–a case study of hanzhong city [J]. China Oils and Fats, 2024, 49(6): 106–111.

[18] 宇盛好, 李亦奇, 彭少杰. 上海市市售食用植物油中苯并[a]芘的膳食暴露评估[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(7): 142–146.
YU SH, LI YQ, PENG SJ. Dietary exposure assessment of benzo[a]pyrene in commercially available edible vegetable oils in Shanghai [J]. Cereals & Oils, 2024, 37(7): 142–146.

[19] 田荣荣, 李子璇, 杨丹, 等. 食用油中多环芳烃类化合物的分析研究[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(5): 8–13.
TIAN RR, LI ZX, YANG D, *et al*. Analysis and study of polycyclic aromatic hydrocarbon compounds in edible oils [J]. Cereal & Food Industry, 2020, 27(5): 8–13.

[20] 侯靖, 卢跃鹏, 江小明, 等.食用植物油中多环芳烃含量水平调查分析[J].中国油脂, 2017, 42(12): 76–80
HOU J, LU YP, JIANG XM, *et al*. Investigation and analysis of polycyclic aromatic hydrocarbon content levels in edible vegetable oils [J]. China Oils and Fats, 2017, 42(12): 76–80.

[21] PIRAVI-VANAK Z, NANVAZADEH S, SHAVAKHI F, *et al*. Monitoring polycyclic aromatic hydrocarbons in edible vegetable oils consumed in Iran [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2024, 26(4): 771–785.

[22] ALOMIRAH H, AL-ZENKI S, HUSAIN A, *et al*. Benzo[a]pyrene and total polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) levels in vegetable oils and fats do not reflect the occurrence of the eight genotoxic PAHs [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2010, 27(6): 869–878.

[23] FROMBERG A, HØJGÅRD A, DUEDAHL-OLESEN L. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils combining gel permeation chromatography with solid-phase extraction clean-up [J]. Food Additives & Contaminants, 2007, 24(7): 758–767.

[24] 栾亚林, 谢刚, 罗凤莲, 等. 植物油中苯并(a)芘检测技术的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(19): 422–428.
LUAN YL, XIE G, LUO FL, *et al*. Progress in the study of techniques for detecting benzo[a]pyrene in vegetable oils [J]. Food and Fermentation Industry, 2025, 51(19): 422–428.

[25] 罗小珍, 李夸巧. 顶空固相微萃取-气相色谱-氢火焰离子检测法测定食用油中苯并(a)芘含量研究[J]. 食品安全导刊, 2024(16): 131–134.
LUO XZ, LI KQ. Study on the determination of benzo[a]pyrene in vegetable oils using top-loading solid-phase microextraction-gas chromatography-hydrogen flame ionization detection [J]. Journal of Food Safety Guide, 2024(16): 131–134.

[26] 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 benzo[a]pyrene residues in peanut oil using gel chromatography-gas chromatography-mass spectrometry [J]. The Food Industry, 2019, 40(5): 322–324.

[27] 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 XD, WANG H, LI HZ, *et al*. Liquid-phase extraction combined with reverse-phase high-performance liquid chromatography for the determination of benzo[a]pyrene in vegetable oils [J]. China Oils and Fats, 2018, 43(10): 112–114.

[28] 蔡尽忠, 王集鹏, 邓盈. 固相萃取-高效液相色谱法测定植物油中苯并[a]芘[J]. 中国油脂, 2020, 45(3): 44–47.
CAI JZ, WANG JP, DENG Y. Solid-phase extraction-high-performance liquid chromatography for the determination of benzo[a]pyrene in vegetable oils [J]. China Oils and Fats, 2020, 45(3): 44–47.

[29] 周然锋, 程刚, 刘丽, 等. 纳米棒状 MgO 固相萃取结合高效液相色谱荧光法测定食用油中的苯并[a]芘[J]. 分析科学学报, 2024, 40(2): 139–146.
ZHOU RF, CHENG G, LIU L, *et al*. Solid-phase extraction of nanobelted MgO combined with high-performance liquid chromatography fluorescence detection for the determination of benzo[a]pyrene in edible oils [J]. Journal of Analytical Sciences, 2024, 40(2): 139–146.

[30] 文永平, 武怡, 雷英杰, 等. 高效液相色谱-荧光法测定食用油中苯并(a)芘残留量[J]. 中国油脂, 2021, 46(11): 99–103.
WEN YP, WU Y, LEI YJ, *et al*. High-performance liquid chromatography-fluorescence method for determining the residue of benzo[a]pyrene in edible oils [J]. China Oils and Fats, 2021, 46(11): 99–103.

[31] 徐大富. 紫外分光光度法检测食用油中苯并芘的预处理方法[J]. 中外食品工业, 2025(10): 73–75.
XU DF. Pre-treatment methods for detecting benzo[a]pyrene in vegetable oils using ultraviolet spectrophotometry [J]. Global Food Industry, 2025(10): 73–75.

[32] 李沁怡, 郭小玉, 杨海峰. 表面增强拉曼光谱检测食用油中的苯并芘[J]. 上海师范大学学报(自然科学版中英文), 2024, 53(5): 612–617.
LI QY, GUO XY, YANG HF. Surface-enhanced raman spectroscopy for detecting benzo[a]pyrene in edible oils [J]. Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences), 2024, 53(5): 612–617.

[33] 郭芳芳, 高宏, 朱成晶. 液相色谱-串联质谱法快速测定食用油中的苯并(a)芘[J]. 化工管理, 2020(15): 39–40.
GUO FF, GAO H, ZHU CJ. Rapid determination of benzo[a]pyrene in edible oils using liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chemical Engineering Management, 2020(15): 39–40.

(责任编辑: 曹岱琳　蔡世佳)