

# Research Progress on Detection Methods of Benzo [a] Pyrene as a Carcinogen in Food

Mengmeng Kong, Zhongmin Huang, Zhili Pan, Na Li, Xinhua Xie, Na Wang\*

Food Science and Technology Institute, Henan Agricultural University, Zhengzhou Henan  
Email: 2477658055@qq.com, \*na-wang@163.com

Received: Aug. 16<sup>th</sup>, 2018; accepted: Aug. 24<sup>th</sup>, 2018; published: Aug. 31<sup>st</sup>, 2018

---

## Abstract

Benzopyrene is a polycyclic aromatic hydrocarbon with strong carcinogenicity. This article summarizes the research progress of benzo(a)pyrene detection methods from three aspects of chemistry, physics, and immunology and looks into its development prospects; it provides ideas for future development research.

## Keywords

Benzopyrene, Detection, Research Progress

---

# 食品中致癌物质苯并芘检测方法研究进展

孔蒙蒙, 黄忠民, 潘志利, 李娜, 谢新华, 王娜\*

河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州  
Email: 2477658055@qq.com, \*na-wang@163.com

收稿日期: 2018年8月16日; 录用日期: 2018年8月24日; 发布日期: 2018年8月31日

---

## 摘要

苯并芘是一种具有强烈致癌性的多环芳烃类物质, 在食品中广泛存在。本文从化学、物理和免疫学三个方面对苯并芘检测方法的研究进展进行概括; 对其发展前景进行展望; 为以后的发展研究提供思路。

---

\*通讯作者。

文章引用: 孔蒙蒙, 黄忠民, 潘志利, 李娜, 谢新华, 王娜. 食品中致癌物质苯并芘检测方法研究进展[J]. 食品与营养科学, 2018, 7(4): 251-256. DOI: 10.12677/hjfn.2018.74030

## 关键词

苯并芘, 检测, 研究进展

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

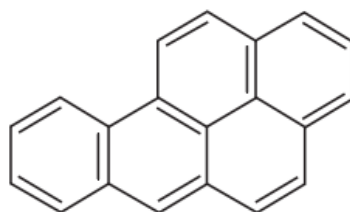


Open Access

## 1. 苯并芘的性质

### 1.1. 苯并芘的理化性质

苯并芘简称 Bap, 是一种由芘分子和苯环稠和而成的多环芳香烃类化合物[1] [2], 在自然界分布相当广泛, 例如: 水、空气、土壤、汽车尾气以及各种煤炭、石油和煤焦油经过燃烧产生的烟气中等都可以发现它的存在, 另外食物工业化生产时采用的包装材料、高温烹调、熏烤和油炸也容易使食品受到污染产生苯并芘。苯并芘的分子式是  $C_{12}H_{20}$  [3] [4], 分子结构如图 1 所示, 相对分子质量是 252.32 [5] [6], 沸点是  $312^{\circ}\text{C}$  [7], 熔点是  $179^{\circ}\text{C}$  [8] [9]; 苯并芘的高纯度样品是针状晶体, 颜色在无色和淡黄色之间[4]。相对密度(水 = 1)是 1.35 [10], 在水中的溶解度很小, 主要溶于有机溶剂, 在碱性条件下稳定性比较高而酸性条件下稳定性相对较低[11], 与氯磺酸和硝酸接触时, 极易发生化学反应[12]。在浓盐酸中呈现橙红色或者是其他荧光颜色, 这些颜色可以用来检测苯并芘的分子结构[10]。苯并芘的同分异构体有很多, 但是常见的是 3,4-苯并芘、4,5-苯并芘和 1,2-苯并芘, 4,5-苯并芘和 1,2-苯并芘虽然分子式相同, 但是在分子结构上存在着明显的不同[7]。3,4-苯并芘是 1993 年被人类第一次从沥青中分离出来[13], 经研究证明, 3,4-苯并芘可以导致小鼠的皮肤产生癌变, 而且, 由于其具有强致癌性和对检测灵敏度相对较高的特点, 可作为多环芳烃的指标化合物[14]。



Bap

Figure 1. Molecular structure of benzopyrene

图 1. 苯并芘的分子结构

### 1.2. 苯并芘的毒性和危害

苯并芘具有很强的致癌性、致畸性和致突变性[15], 是世界卫生组织认证的具有强致癌性的物质。苯并芘一般通过人类日常所用的食物和水进入体内进而被肠道吸收, 通过人体内部的血液循环遍布于身体的各个组织部位[13], 不断地积聚在乳房和脂肪组织中, 同时也会对人的眼睛和皮肤产生强烈的刺激[16] [17]。人体经常接触此类物质容易使胃、肺、肝、膀胱和消化道等人体器官发生癌变[18] [19], 癌变的几率与苯并芘的剂量也有相当大的关系, 苯并芘的含量越高癌变的发生率就越高[20]。经过动物实验研究表明苯并芘可以通过母体经由胎盘进而影响下一代[21], 从而造成胚胎畸形, 引起胚胎死亡, 而且子代的免

疫功能也会因为苯并芘的影响而下降[22]。其致畸性和致突变性的概率与投喂时间有关,投喂时间越长概率会越大[23]。当人体接触苯并芘时,并不会马上出现不良反应,因为苯并芘具有长期性和隐匿性的特性,这使得苯并芘可以在人体内积聚,一般隐藏期为 10~25 年,并且也会对子孙后代产生不良的影响,有专家表明它甚至有可能阻碍到人类的发展[24]。

## 2. 苯并芘检测技术研究进展

苯并芘对人体的危害很大,怎样快速简便的检测出环境和食品中的苯并芘就显得尤为重要。目前,苯并芘的检测方法目前有很多,主要从三个方面对其进行检测:化学方面、物理学方面、免疫学方面。

### 2.1. 化学方面

常用的检测方法包括:高效液相色谱-荧光法、液相色谱-质谱联用法、气相色谱-质谱联用法[25]。

#### 2.1.1. 高效液相色谱-荧光法

高效液相色谱法简称 HPLC,这种检测技术是 20 世纪 60 年代后期才发展出来的,该方法具有相对比较新颖、精确度较高、良好的重复性、分辨率相对较高的优点。荧光法具有能够提高检测的灵敏度、具有良好的选择性等优点[26],可以将同分异构体很好的分离开来,有利于检测目标物的准确定量[27]。因此,两者结合在一起,能够进一步提高对苯并芘检测的精度和准确率。例如:李念念、周光宏等[28]用 HPLC 对腊肉中的苯并芘进行测定,检出限和定量限可达 0.15 和 0.5 ug/Kg。程威威、汪学德等[29]也用此方法对芝麻油中的 Bap 进行检测;与国标相比,高效液相色谱-荧光法的精确度相对较高。

#### 2.1.2. 气相色谱-质谱联用法

气相色谱对待测样品进行检测时具有很高的分离能力,而质谱具有灵敏性相对较高和对未知的物质进行定性分析的优点。气相色谱和质谱联用能够扬长避短,使得混合物样品在气相色谱中进行分离后再进入质谱中,能够快速简便的对比较复杂的化合物进行分离,气质联用法也是对苯并芘进行痕量和微量检测分析的重要检测方法之一[30]。例如:李玮等[31]就用此方法对奶粉中的苯并芘进行检测,检测时样品首先用甲醇-氢氧化钾进行皂化,用甲苯进行提取,经过滤膜过滤,测定得出苯并芘的检测限是 0.3 ug/kg。

#### 2.1.3. 液相色谱-质谱联用法

高效液相色谱-质谱联用法简称 LC-MS,是具有很高的分离能力和定性鉴别能力的技术,在检测时能够实现对复杂样品的快速、高效分离。例如:刘玉兰、赵晓涛等[32]用此方法对食用油中苯并芘的含量进行检测,定量时采用内标法对样品的量进行标定,通过气质连用法对样品进行分析得出检测限是 0.2~30 ng/ml,检出限是 0.1 ng/ml。该检测方法主要适用于样品的精确检测,但是由于它费时比较长,对检测人员的要求比较高,当需要对大批量的样品进行快速检测时,此方法并不适用[33]。

### 2.2. 物理学方面

#### 表面增强拉曼光谱检测法

表面增强拉曼光谱是在一些经过特殊处理的金属良导体表面或溶胶表面的作用下,利用光的拉曼闪烁效应来对待测物质进行痕量分析[34]。

肖海波等[35]检测时是以苯膦酸锶包金的核壳新合成的纳米粒子作为基底,以此对待检测的物质苯并(a)芘进行捕获,测得得苯并芘检测限 10~8 mol/L。表面增强拉曼光谱具有操作简便、快速、信号和散射效应较强、检测灵敏度高和对样品无损伤等优点。但是这种方法目前还不够成熟,在检测过程中还存在

许多问题,例如:对样品进行定量分析时不够准确、不同材料同基底之间的吸附性上也存在差异[34],另外,它的稳定性和重视性控制也比较困难,还有待对其继续研究探索[36]。

### 2.3. 免疫学方面

1971年,Engvall和Perlmann利用抗原和抗体反应时的特异性,把它同酶反应的催化性、高效性结合为一体,从而开创出了酶联免疫吸附分析法[37]。以此为基础建立的免疫学快速检测方法,它不但能够简便、快速、灵敏的对样品进行分析,而且对仪器和操作人员的要求相对比较低,不需要昂贵的大型仪器,成本减少;适用于大批量样品的检测,在检测过程中也不容易出现因为机器的影响而使结果产生误差的现象。但是若是高脂高蛋白样品会存在一定的假阳性。

#### 2.3.1. 试剂盒法

试剂盒法是利用非竞争性酶联免疫吸附法的原理,将制备好的单克隆抗体固定到试剂盒上,利用该试剂盒对特定样品进行定性和定量快速检测的一种方法。

邵辉锋等[23]通过碘代对苯并芘的分子式进行改造,再通过 heck 进行偶联合成苯并芘的羰基衍生物,制备出苯并芘的人工抗原,并确定苯并芘的线性检测范围。史巧巧等[8]把苯并芘和氨基进行偶联制成完全抗原,通过免疫小鼠获得苯并芘的单克隆抗体。组装成苯并芘快速检测 ELISA 试剂盒,得出 BaP-Kit 的标准曲线呈 S 型,与检测时的线性要求相符。Matschulat 等[38]制备出了苯并芘的单克隆抗体,以此单抗为基础通过酶联免疫吸附的方法来检测水中苯并芘的含量,其  $IC_{50}$  为 24 ng/mL。Pschenitzka 等[39]利用固相萃取结合酶联免疫吸附的方法对食用油中苯并芘的含量进行检测,测得检测下限为 0.63  $\mu\text{g}/\text{mg}$ 。

#### 2.3.2. 电化学免疫传感器

电化学免疫传感器是将制备好的单克隆抗体固定在电极表面作为敏感元件,当抗原和抗体之间的反应达到平衡状态时,将此时的生物反应信号转化为电信号,通过电极输出以此来对待测物质进行检测的技术[40]。该技术灵敏度相对比较高,对待测物质具有很高的选择性,当待检测样品数量很大时可以采用此方法[41]。费世东等[42]把一次性丝网印刷电极作为基底,建立起苯并芘的电化学传感器,以此来对水样中的苯并芘进行检测,最低检测限是 0.035 ng/mL。

#### 2.3.3. 金标免疫层析技术

金标免疫层析技术是根据单克隆抗体技术建立起的一种固相免疫技术,与酶联免疫技术相似都是属于一种快速的检测技术。但是与酶联免疫技术相比,它不需要专门的仪器设备,检测所需时间更短,大约十分钟即可完成检测。而且,该试纸卡操作十分的简便,与其他检测方法相比价格相对较低,而且对待测物质具有较高的灵敏度[43]。刘波等[44]利用该技术建立起了对食用油中苯并芘进行检测的试纸条,检测限可达 5~10 ng/mL,对食用油中苯并芘的含量具有快速准确的判定。

## 3. 展望

苯并芘是世界公认的致癌物质之一,它在自然界的分布相当的广泛。人类可以通过各种途径接触到苯并芘的存在。因此,如何快速的检测出食品中的苯并芘并控制它就显得尤其重要。在未来的检测研究中,化学检测方法并不适用于苯并芘的快速检测,如需对样品进行精密检测时采用此方法更为合适;表面增强拉曼光谱法虽然具有快速和对样品无损等优点,但是该方法目前发展还不够成熟,需要进行进一步的研究和探索;而免疫学方法由于其灵敏、特异性强、快速和对操作人员要求相对较低等优点,在以后苯并芘的快速检测中应用会更加广泛。

## 基金项目

农业部动物免疫学重点实验室开放课题(PKLA20170606); 河南省自然科学基金项目(182102210305); 河南省高等学校重点科研项目资助计划(15A550019)。

## 参考文献

- [1] 于丽媛. 口腔黏膜白斑恶变动物模型和细胞模型建立以及大学生复发性口腔溃疡的流行病学调查[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连医科大学, 2014.
- [2] 廖文龙. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 磁性纳米材料的改性及其对苯并[α]芘的吸附和分析方法研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2016.
- [3] 肖志远, 陈春华. 基于三维 GIS 的长江流域水利综合站网展示系统的设计与实现[J]. 水资源研究, 2015, 4(3): 249-256.
- [4] 吴寅姍. 烹饪空间有害物质研究及绿色设计[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
- [5] 刘丽. 新型聚苯胺固相微萃取纤维在环境水样分析中的应用[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 西北师范大学, 2014.
- [6] 谢明. 清洁型热回收焦炉特点及炉内压力对污染物排放的影响[J]. 太原城市职业技术学院学报, 2008(12): 151-152.
- [7] 史巧巧, 席俊, 陆启玉. 食品中苯并芘的研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 379-381.
- [8] 史巧巧. 苯并芘的免疫学快速检测技术研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南工业大学, 2014.
- [9] 袁莉, 高春霞, 邓红, 等. 食品有害物苯并(α)芘及其诱导细胞死亡的研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(6): 561-568.
- [10] 黄燕芬, 田立. 食品中苯并芘的研究进展[J]. 食品安全导刊, 2016(8X): 8-9.
- [11] 蔡美萍, 范国荣, 陈尚研, 等. 响应面法优化羟基香茅醛 1,2-丙二醇缩醛的合成[J]. 林产化学与工业, 2014, 34(6): 124-128.
- [12] 汪敏. 肉及肉制品中苯并芘研究进展[J]. 肉类工业, 2016(10): 49-51.
- [13] 李文娟. 活性炭处理玉米油中苯并芘的工艺和机理研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 齐鲁工业大学, 2016.
- [14] 王广峰. 苯并芘对人体的危害和食品中苯并芘的来源及防控[J]. 菏泽学院学报, 2014, 36(2): 66-70.
- [15] 王路. 食品烟熏液的制备和精制工艺研究及香气成分的分析[D]: [硕士学位论文]. 湛江: 广东海洋大学, 2012.
- [16] 中国百科大辞典编撰委员会. 中国百科大辞典[Z]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2005.
- [17] 杨静, 单祝庚, 周小波. 动植物油脂中苯并(α)芘含量测定不确定度的评定[J]. 广州化工, 2013, 41(4): 132-134.
- [18] Sorrell, R.K., Brass, H.J. and Reding, R. (1980) A Review of Occurrences and Treatment of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in Water. *Environment International*, 4, 245-254. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(80\)90172-5](https://doi.org/10.1016/0160-4120(80)90172-5)
- [19] 贾涛. 环境污染的危害比吸烟大得多——从苯并(a)芘谈起[J]. 烟草科技, 1998(5): 33-34.
- [20] Zhang, L., Pan, L.Q. and Liu, J. (2009) Immunotoxicity Effect of benzo(a)pyrene on Scallop *Chlamys farreri*. *Journal of Ocean University of China*, 8, 89-94. <https://doi.org/10.1007/s11802-009-0089-6>
- [21] 王广会. 芝麻油中苯并(a)芘的来源与控制的研究[D]: [硕士学位论文]. 广州市: 华南理工大学, 2012.
- [22] 阮光锋. 不可忽视的苯并芘[J]. 生命世界, 2012(12): 54-55.
- [23] 邵辉锋. 苯并芘人工抗原的合成及其 ELISA 方法的建立[D]: [硕士学位论文]. 南昌市: 江西师范大学, 2014.
- [24] Matschulat, D., Prestel, H., Haider, F., et al. (2006) Immunization with Soot from a Non-Combustion Process Provoke Formation of Antibodies against Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Journal of Immunological Methods*, 310, 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.jim.2006.01.004>
- [25] 林绍轮. 三种不同加工工艺对铁观音红茶品质及农残的影响[D]: [硕士学位论文]. 福州市: 福建农林大学, 2015.
- [26] 孙俊永, 黄克靖, 刘彦明, 等. 分子荧光探针在一氧化氮分析中的应用进展[J]. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2008, 21(1): 155-160.
- [27] 王家锦, 穆莹, 宋桂宁, 等. 苯并芘致癌致畸作用的观察与研究[J]. 中国生育健康杂志, 1997(4): 159-161.
- [28] 李念念, 周光宏, 徐幸莲, 等. 高效液相色谱-荧光法测定腊肉中的苯并芘残留[J]. 食品工业科技, 2013, 34(1): 319-322.



- [29] 程威威, 汪学德, 刘兵戈, 等. HPLC-FLD 和 GC-MS 测定芝麻油中苯并芘的方法比较[J]. 现代食品科技, 2015(10): 282-286.
- [30] Jira, W., Ziegenhals, K. and Speer, K. (2008) Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Method for the Determination of 16 Europeanprioritypolycyclic Aromatic Hydrocarbons in Smoked Meat Products and Edible Oils. *Food Additives and Contaminants*, **25**, 704-713. <https://doi.org/10.1080/02652030701697769>
- [31] 李伟, 韩里明, 王佳琨, 等. 气质联用仪法测定奶粉中多环芳烃[J]. 分析试验室, 2009, 28(9): 109-112.
- [32] 刘玉兰, 张小涛, 赵欢欢. 液相色谱-串联质谱法检测食用油脂中苯并芘[J]. 农业机械, 2012(30): 45-48.
- [33] 军肖, 肖付刚. 一种检测三聚氰胺的间接竞争酶联免疫试剂盒. CN 101382547 A[P]. 2009.
- [34] 丁亦男, 李蔚敏. 表面增强拉曼光谱在食品中苯并芘检测的应用[J]. 粮食流通技术, 2016, 4(7): 83-84.
- [35] 肖海波. 利用新型核壳纳米粒子作为 SERS 基底检测苯并芘[D]: [硕士学位论文]. 厦门市: 集美大学, 2012.
- [36] 杨序纲, 吴琪琳. 拉曼光谱的分析与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 1-53.
- [37] Engvall, E. and Perlmann, P. (1971) Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA). Quantitative Assay of Immunoglobulin G. *Immunochemistry*, **8**, 871-874. [https://doi.org/10.1016/0019-2791\(71\)90454-X](https://doi.org/10.1016/0019-2791(71)90454-X)
- [38] Matschulat, D., Deng, A., Niessner, R., et al. (2005) Development of a Highly Sensitive Monoclonal Antibody Based ELISA for Detection of Benzo[a]pyrene in Potablewater. *Analyst*, **130**, 1078-1086. <https://doi.org/10.1039/b503636d>
- [39] Pschenitza, M., Hackenberg, R., Niessner, R., et al. (2014) Analysis of Benzo[a]pyrene in Vegetable Oils Using Molecularly Imprinted Solid Phase Extraction (MISPE) Coupled with Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA). *Sensors*, **14**, 9720-9737. <https://doi.org/10.3390/s140609720>
- [40] 孔进. 基于功能核酸的生物传感技术的研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙市: 湖南大学, 2010.
- [41] 蔡强, 何苗, 施汉昌. 电化学免疫传感器在环境污染监测中的研究进展[J]. 传感技术学报, 2004, 17(3): 526-530.
- [42] 费世东, 朱晓强, 刘英菊, 等. 基于纳米金/聚多巴胺修饰丝网印刷电极的免疫传感器检测水中苯并芘的研究[J]. 人民珠江, 2016, 37(6): 24-27.
- [43] 程楠, 何景, 董凯, 等. 试纸法在食品安全快速检测中的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 256-261.
- [44] 刘波, 王宇, 戚平, 等. 食用油中致癌物苯并芘的快速免疫检测胶体金层析试纸条研制[J]. 中国油脂, 2016, 41(7): 68-72.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2166-613X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [hjfn@s-hanspub.org](mailto:hjfn@s-hanspub.org)