

风险评估

煎炸油中多环芳烃污染情况及其健康风险评估

黄飞飞^{1,2},刘兆平²,张磊²,杨大进²,刘爱东²,郑艳敏¹,周萍萍²

(1.苏州市疾病预防控制中心,江苏 苏州 215004; 2.国家食品安全风险评估中心,北京 100022)

摘要:目的 了解煎炸油中多环芳烃(PAHs)污染水平,并评估其对人群造成的健康风险。方法 利用2015年和2017年PAHs专项监测中158份煎炸油样品的8种PAHs污染水平数据,以及其中76份样品14种PAHs污染水平数据,结合我国普通人群植物油消费量,采用暴露情景假设的方法,计算膳食暴露量和暴露限值(MOE),评估其健康风险。**结果** 煎炸油样品中14种PAHs化合物的检出率范围为0.0%~100.0%,其中苯并(a)芘的检出率为83.5%(132/158)。二苯并(a,h)蒽污染水平最高,均值为3.33 μg/kg,其次分别为苯并(a)蒽、蒽、苯并(a)芘,均值分别为2.25、2.21、1.91 μg/kg。蒽是14种PAHs中最主要的化合物,占14种PAHs的比例为18.6%。经煎炸油摄入的苯并(a)芘、苯并(a)芘+蒽、苯并(a)芘+蒽+苯并(a)蒽+苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘+蒽+苯并(a)蒽+苯并(b)荧蒽+苯并(k)荧蒽+二苯并(a,h)蒽+苯并(g,h,i)芘+茚并(1,2,3-cd)芘的平均暴露量分别为0.99、2.13、4.36、7.90 ng/kg BW,其MOE值分别为70 707、79 812、77 982、62 025,均远大于10 000。**结论** 基于当前监测的煎炸油中PAHs污染水平,我国普通人群经煎炸油摄入PAHs的健康风险在极端暴露的情况下较低。

关键词:煎炸油;多环芳烃;膳食暴露;健康风险评估;暴露限值

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2019)06-0577-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2019.06.015

Occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons in frying oils and health risk assessment

HUANG Feifei^{1,2}, LIU Zhaoping², ZHANG Lei², YANG Dajin²,LIU Aidong², ZHENG Yanmin¹, ZHOU Pingping²

(1. Suzhou Center for Disease Control and Prevention, Jiangsu Suzhou 215004, China;

2. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

Abstract: Objective To determine the occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in frying oils and to assess the health risk for the whole population. **Methods** 158 frying oils samples were collected during 2015 and 2017 from food safety risk monitoring program and 8 PAHs were analyzed. 14 PAHs were analyzed in 76 out of 158 samples. The health risk assessment in the whole population was estimated by margin of exposure (MOE) method. **Results** The detection rates of PAHs in frying oils were from 0.0%-100.0%, which 83.5% (132/158) for benzo(a) pyrene. The highest mean concentration of PAHs was 3.33 μg/kg for dibenz(a,h) anthracene, followed by benzo(a) anthracene (2.25 μg/kg) and chrysene (2.21 μg/kg) and benzo(a) pyrene (1.91 μg/kg). Chrysene was the predominant PAHs congener in 76 frying oils, consisting 18.6% of all 14 PAHs. The average dietary exposure to benzo(a) pyrene, benzo(a) pyrene+chrysene, benzo(a) pyrene+chrysene+ benzo(a) anthracene+benzo(b) fluoranthene, benzo(a) pyrene+chrysene+ benzo(a) anthracene+benzo(b) fluoranthene+ benzo(k) fluoranthene+benzo(g,h,i) perylene+dibenz(a,h) anthracene+ indeno(1,2,3-cd) pyrene via frying oils for the whole population were 0.99, 2.13, 4.36 and 7.90 ng/kg BW, respectively. The corresponding MOEs were 70 707, 79 812, 77 982, 62 025, which were much higher than 10 000. **Conclusion** MOEs due to ingestion of frying oils indicated a low concern for the whole population health at the mean and high level estimated dietary exposures, even in an extreme exposure scenario.

Key words: Frying oils; polycyclic aromatic hydrocarbons; dietary exposures; health risk assessment; margin of exposure

收稿日期:2019-09-05

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC1603600)

作者简介:黄飞飞 女 主管医师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:hff_0928@126.com

通信作者:周萍萍 女 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:zhoupingping@cfsa.net.cn

多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 是一类具有两个及以上稠和芳香烃环的碳氢化合物, 来源于有机物的不完全燃烧和热解, 通常以复合物的形式广泛存在于自然环境中^[1-2]。PAHs 同系物有几百种, 大多具有多个苯环的共轭结构, 因此化学性质稳定, 不易降解。PAHs 有很强的亲脂性和较高的生物蓄积性^[3]。PAHs 的急性毒性属低毒至中毒, 亚慢性毒性有肝脏和肾脏毒性, 并造成体重下降等, 其最主要的健康危害是致癌性, 经皮、皮下、呼吸道或消化道暴露均具有致癌性^[4]。CULP 等^[5]的致癌试验表明苯并 (a) 芘单独作用可导致消化道的肿瘤, 而含多种 PAHs 成分的煤焦油混合物还会导致肝癌和肺癌。

人体可通过多种途径暴露于 PAHs, 其中以膳食暴露为主, 约占总暴露的 50%~70%^[4]。食品中的 PAHs 被认为是导致皮肤癌和肺癌的主要因素之一^[6-8]。煎炸是利用加热的油脂作为传热介质使食物脱水并具有酥脆口感的一种烹饪方法, 在家庭烹饪和食品工业中应用广泛。用于煎、炸食品的食用油统称为煎炸油。用于煎炸的食用植物油本身可能存在 PAHs 污染, 另外在高温煎炸的过程中也会产生 PAHs 污染。食品工业中煎炸油用量较大, 且存在多次煎炸使用的情况, 大多数家庭烹饪中也习惯将煎炸油再当作食用油使用, 因此煎炸油中 PAHs 对消费人群可能存在一定的健康风险。为了解煎炸油中 PAHs 污染情况并评估其健康风险, 本研究分析了 158 份煎炸油样品中 PAHs 污染水平, 结合我国普通人群植物油消费量数据, 采用暴露情景假设的方法^[9], 对煎炸油中 PAHs 的健康风险进行初步评估。

1 材料与方 法

1.1 目标 PAHs

本研究中 158 份煎炸油样品 PAHs 污染水平数据来源于 2015 年和 2017 年煎炸油专项监测数据。全部 158 份样品检测了 8 种具致癌性和遗传毒性的 PAHs 的污染水平, 分别是苯并 (a) 芘、蒽、苯并 (a) 蒽、苯并 (b) 荧蒽、苯并 (k) 荧蒽、二苯并 (a, h) 蒽、苯并 (g, h, i) 芘、茚并 (1, 2, 3-cd) 芘。其中 76 份样品检测了 14 种 PAHs 的污染水平, 除上述 8 种外, 还分别有 5-甲基蒽、苯并 (c) 芘、二苯并 (a, e) 芘、二苯并 (a, h) 芘、二苯并 (a, i) 芘、二苯并 (a, l) 芘。

1.2 方法

1.2.1 检测方法 及数据处理

煎炸油样品中 PAHs 检测方法为江苏省疾病预

防控制中心建立的《食品中多环芳烃的测定-凝胶渗透色谱净化-高效液相色谱-荧光检测法》^[10], 用环己烷-乙酸乙酯混合溶剂提取煎炸油样品中 PAHs, 提取液经过凝胶渗透色谱净化, 浓缩至近干, 再用乙腈溶解后, 通过高效液相色谱分离, 测定各种 PAHs 化合物在不同激发波长和发射波长处的荧光强度, 用外标法定量。本方法中 PAHs 检出限 (LOD) 为 0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

按照世界卫生组织全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划 (GEMS/Food) 第二次会议关于“食品中低水平污染物可信评价”中对未检出数据的处理原则^[11], 本次评估对未检出的数据均赋予 1/2LOD 值进行统计。

1.2.2 评估方法

因无法获得人群中煎炸油的实际消费量, 在健康风险评估中, 采用暴露情景假设的方法, 即以 2010—2013 年中国居民食物消费状况调查中我国全人群植物油消费量替代煎炸油消费量, 结合煎炸油样品中的 PAHs 含量均值, 采用简单分布模型 (确定性评估) 方法, 计算每个个体每日每公斤体重因消费煎炸油而摄入 PAHs 的量, 计算公式为 (1):

$$EXP_j = \frac{F \times C}{BW_j} \quad (1)$$

其中 EXP_j 是调查人群中第 j 个个体每日每公斤体重因消费煎炸油而摄入 PAHs 的量, $\text{ng}/\text{kg BW}$; F 是该个体植物油的每日消费量, g/d ; C 为煎炸油中 PAHs 的含量均值, $\mu\text{g}/\text{kg}$; BW_j 为该个体的体重, kg 。

PAHs 是遗传毒性致癌物, 遗传毒性致癌物对健康的有害效应没有确定阈值, 因此采用暴露限值 (MOE) 的方法评价 PAHs 的健康效应, 即用毒性参考点 (基准剂量 10% 的可信下限, BMDL_{10}) 与人群 PAHs 暴露量的比值计算 MOE 值 (见公式 2)。通常认为 $\text{MOE} > 10\,000$ 时, 健康风险极低, 在公共卫生学上不需要给予关注, 而 $\text{MOE} < 10\,000$ 时, 存在一定的健康风险, 需要给予关注。

$$\text{MOE} = \frac{\text{毒性参考点 (BMDL}_{10})}{\text{人群 PAHs 暴露量}} \quad (2)$$

苯并 (a) 芘、苯并 (a) 芘 + 蒽 (PAH2)、苯并 (a) 芘 + 蒽 + 苯并 (a) 蒽 + 苯并 (b) 荧蒽 (PAH4) 和苯并 (a) 芘 + 蒽 + 苯并 (a) 蒽 + 苯并 (b) 荧蒽 + 苯并 (k) 荧蒽 + 二苯并 (a, h) 蒽 + 苯并 (g, h, i) 芘 + 茚并 (1, 2, 3-cd) 芘 (PAH8) 可作为食品中 PAHs 污染及其健康影响的指示物, 其中 PAH4 是最合适的指示物^[4], 因此在本次评估中, 利用苯并 (a) 芘、PAH2、PAH4 和

PAH8 的污染水平,计算普通人群的 PAHs 膳食暴露量及 MOE 值。

2 结果

2.1 煎炸油样品中 PAHs 的污染水平

检测 8 种具致癌性和遗传毒性 PAHs 的 158 份样品中,95.6% (151/158) 的样品至少检出一种 PAHs,总 PAH8 的污染水平平均值为 15.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$,检

出率最高的是苯并(a)芘(83.5%,132/158),其次是苯并(g,h,i)芘(82.9%,131/158),再次是苯并(a)蒽(81.6%,129/158)。污染水平最高的是二苯并(a,h)蒽,均值为 3.33 $\mu\text{g}/\text{kg}$,其次是苯并(a)蒽(2.25 $\mu\text{g}/\text{kg}$),再次是蒽(2.21 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。检测 14 种 PAHs 的 76 份煎炸油样品中均有至少一种 PAHs 污染,5-甲基蒽检出率最高(100.0%,76/76),苯并(c)芘和二苯并(a,h)芘在 76 份样品中均未检出,见表 1。

表 1 煎炸油中 PAHs 污染水平及检出率

Table 1 Levels and detection rates of PAHs in frying oils

PAHs	总样品份数	检出份数(%)	PAHs 含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)							
			均值	中位数	P90	P95	P97.5	P99	最小值	最大值
苯并(a)芘	158	132 (83.5)	1.91	0.64	3.12	5.33	12.95	20.92	ND	61.00
蒽	158	116(73.4)	2.21	1.16	3.46	7.76	15.18	17.29	ND	42.20
苯并(a)蒽	158	129 (81.6)	2.25	0.83	3.70	7.64	13.75	24.51	ND	74.40
苯并(b)荧蒽	158	127 (80.4)	2.06	1.11	3.47	5.86	12.99	22.80	ND	32.10
苯并(k)荧蒽	158	116 (73.4)	0.98	0.37	2.19	4.24	6.44	11.06	ND	12.20
二苯并(a,h)蒽	158	100 (63.3)	3.33	0.24	10.30	19.20	19.80	38.26	ND	67.10
苯并(g,h,i)芘	158	131 (82.9)	1.68	1.00	4.12	5.91	8.40	9.88	ND	11.40
茚并(1,2,3-cd)芘	158	93 (58.9)	0.84	0.47	ND	2.90	4.77	6.03	ND	18.10
5-甲基蒽	76	76 (100.0)	0.99	0.97	ND	1.57	1.63	1.69	0.21	1.75
苯并(c)芘	76	0 (0.0)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
二苯并(a,e)芘	76	51 (67.1)	0.35	0.38	0.51	0.58	0.65	0.69	ND	0.75
二苯并(a,h)芘	76	0 (0.0)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
二苯并(a,i)芘	76	1 (1.3)	0.16	ND	ND	ND	ND	0.25	ND	0.55
二苯并(a,l)芘	76	13 (17.1)	0.19	ND	0.29	0.40	0.47	0.58	ND	0.76
PAH2	158	139 (88.0)	4.12	2.26	7.96	14.41	21.45	39.59	ND	77.20
PAH4	158	145 (91.8)	8.43	4.57	14.98	29.68	54.68	77.46	ND	143.00
PAH8	158	151 (95.6)	15.26	7.34	30.91	55.88	82.13	96.90	ND	152.21

注:ND:未检出

本研究中煎炸油样品苯并(a)芘和 PAH4 污染水平与 YOUSEFI 等^[12]研究结果接近;苯并(a)芘水平远低于 HAO 等^[13]煎炸试验结果,后者在不同煎炸条件下,煎炸油中苯并(a)芘含量均值为 31.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$,其中煎炸马铃薯 45 min 的花生油中苯并(a)芘含量最高,达 99.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$;PAH4 水平也低于 HAO 等^[13]研究结果(均值为 30.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$,范围 ND~121.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。苯并(a)芘污染水平及 PAH4 水平也与部分研究中食用植物油中 PAHs 污染水平相当^[14-17],但苯并(a)芘污染水平高于宫春波等^[18]和 WRONIAK 等^[19]研究中食用植物油苯并(a)芘污染水平,PAH4 水平高于 WRONIAK 等^[19]研究结果,见表 2。

2.2 煎炸油中 PAHs 构成比

通过分析 76 份煎炸油样品中 14 种 PAHs 的构成比(见图 1)发现,蒽是最主要的化合物,占比 18.6%,其次是苯并(b)荧蒽(13.3%),再次是 5-甲基蒽(11.2%)。

2.3 膳食暴露评估及风险特征描述

根据煎炸油样品中苯并(a)芘、PAH2、PAH4 和 PAH8 的污染水平平均值,采用暴露情景假设的方法,

表 2 煎炸油和食用植物油中 PAHs 污染水平比较

Table 2 Comparison of PAHs levels in frying oils and edible vegetable oils

油脂类型	PAHs 含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)		数据类型	数据来源
	苯并(a)芘	PAH4		
煎炸油	1.91	8.43	均值	本研究
煎炸油	2.04	9.05	均值	[12]
煎炸油 a	31.9	30.4	均值	[13]
食用油脂 b	1.69	9.63	均值	[14]
食用植物油 c	2.82,1.39,3.03	11.18,6.52,14.19	均值	[15]
食用植物油 d	0.12~6.28	1.48~27.84	范围	[16]
食用植物油 e	1.28	—	均值	[17]
食用植物油 f	0.47	—	均值	[18]
食用植物油 g	0.66	4.03	均值	[19]

注:a:菜籽油、大豆油、花生油、橄榄油;b:茶籽油、葵花籽油、花生油、稻米油、芝麻油、大豆油、玉米油、菜籽油、棕榈油、橄榄油、牛油、猪油;c:菜籽油、葵花籽油、玉米油;d:菜籽油、大豆油、橄榄油、花生油、葵花籽油、玉米油、芝麻油、棉籽油、米糠油;e:调和油、玉米油、花生油、大豆油;f:花生油、大豆油、玉米油、调和油;g:菜籽油;一文献中未提供该值

即利用普通人群个体植物油的消费量替代煎炸油的消费量,计算我国全人群经煎炸油摄入 PAHs 的暴露量,并结合毒性参考点 BMDL₁₀计算 MOE 值,评估经煎炸油摄入 PAHs 造成的健康风险。2010—

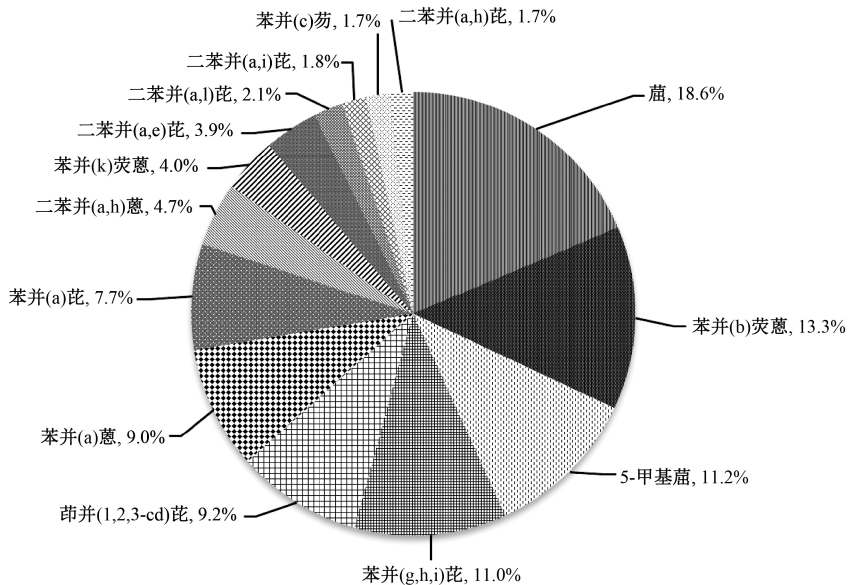


图1 76份煎炸油样品中14种PAHs构成比

Figure 1 Profiles of 14 PAHs in 76 frying oils

2013年中国居民食物消费状况调查中我国全人群植物油消费量平均值为29 g/d, P50为26.2 g/d, P95为75.7 g/d。经计算,我国全人群经煎炸油摄入的苯并(a)芘、PAH2、PAH4和PAH8的平均暴露及高食物消费暴露(P95)的MOE值均大于10 000,可认为健康风险较低,见表3。

表3 我国全人群经煎炸油摄入的PAHs的暴露量及MOE值

Table 3 Exposure to PAHs and MOE for the whole

PAHs	population via frying oils				
	BMDL ₁₀ ^[4] /(mg/kg BW)	暴露量/(ng/kg BW)		MOE	
		平均 暴露量	P95	平均 暴露量	P95
苯并(a)芘	0.07	0.99	2.65	70 707	26 415
PAH2	0.17	2.13	5.72	79 812	29 720
PAH4	0.34	4.36	11.70	77 982	29 060
PAH8	0.49	7.90	21.17	62 025	23 146

3 讨论

煎炸油中PAHs污染主要来源于两个方面,一是来源于用于煎炸的食用植物油本身PAHs污染。曹梦思等^[14]检测国内市场的100份食用油脂样品中欧盟优控15+1种PAHs,结果显示总PAH16平均污染水平为19.57 μg/kg。MOLLE等^[15]分析了巴西市场上70份食用植物油中13种PAHs含量,其中总PAH13平均污染水平为12.49 μg/kg。另一个污染来源是食用油在长时间高温煎炸过程中发生热氧化、热聚合、热分解、热水解等复杂的化学反应产生的PAHs。刘国艳等^[20]发现,煎炸温度越高、煎炸时间越长,茶叶籽油及煎炸原料中苯并(a)芘含量增加越多。菜籽油、大豆油、花生油、橄榄油四种常见食用植物油的煎炸试验结果也表明,随着煎

炸时间的延长,PAHs含量增加,尤其是5环及以上PAHs^[13]。煎炸过程中PAHs形成机理较为复杂,油脂、蛋白质及碳水化合物等在高温下会发生美拉德反应或Strecker降解反应生成烷烃、烯烃、烷基吡啶、烷基吡嗪等PAHs前体物质,再在高温下经过一系列复杂反应生成PAHs^[3]。

本研究煎炸油样品中苯并(a)芘污染水平(1.91 μg/kg)低于我国GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[21]规定的油脂及其制品中苯并(a)芘限量值(10 μg/kg),但接近欧盟标准[Regulation (EC) No 835/2011]^[22]中油脂类苯并(a)芘限量值(2 μg/kg)。煎炸油样品中PAH4的水平为8.43 μg/kg,也接近欧盟标准中油脂类PAH4限量值(10 μg/kg)。不同文献报道的煎炸油中PAHs含量水平的差异可能由于多种因素导致。油品种类、煎炸时间和温度、煎炸食物种类都可能是影响煎炸油中PAH4含量水平的重要因素,因此,需要对煎炸油在煎炸过程中的加工因子如油品种类、煎炸时间、煎炸温度、煎炸食物等对PAHs污染水平的影响进行系统性研究。

从构成比看,本研究14种PAHs构成比与曹梦思等^[14]和MOLLE等^[15]的研究中类似,在曹梦思等^[14]的研究中蒽是最主要的化合物(16.6%),其次是苯并(b)荧蒹(12.5%),在MOLLE等^[15]的研究中,蒽在三种植物油中都是PAHs污染最主要的化合物。

在本研究的情景下,我国全人群经煎炸油摄入的PAH8平均暴露量与MOLLE等^[15]研究中的人群经三种植物油摄入的13种PAHs暴露量相当(点评

估,平均暴露量:经葵花籽油、菜籽油、玉米油分别为7、12.5、15.1 ng/kg BW)。本研究 PAHs 风险特征描述结果认为经煎炸油 PAHs 暴露的健康风险较低,同样采用 MOE 法评估的 YOUSEFI 等^[12] 研究结果认为经煎炸油 PAHs 暴露无健康风险。

由于 PAHs 的广泛存在,在进一步研究中,人群通过其他食物(如谷类、蔬菜、熏烧烤食品等)和其他途径(如呼吸道、皮肤等)摄入的 PAHs 也须全面考虑,方可对 PAHs 造成的健康风险进行全面评估。

(志谢 江苏省疾病预防控制中心在本次研究中给予多环芳烃含量检测及质控方面的大力支持)

参考文献

- [1] RAVINDRA K, SOKHI R, VAN GRIEKEN R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42 (13): 2895-2921.
- [2] CHEN F, LIN Y, CAI M, et al. Occurrence and risk assessment of PAHs in surface sediments from Western Arctic and Subarctic Oceans [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15 (4): 734-748.
- [3] 马宇翔,陆启玉. 食用油脂煎炸过程中多环芳烃的研究进展 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2018, 39 (4): 128-135.
- [4] European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on polycyclic aromatic hydrocarbons in food [J]. *The EFSA Journal*, 2008, 724(1): 1-114.
- [5] CULP S J, GAYLOR D W, SHELDON W G, et al. A comparison of the tumors induced by coal tar and benzo[a]pyrene in a 2-year bioassay [J]. *Carcinogenesis*, 1998, 19(1): 117-124.
- [6] LEE B M, SHIM G A. Dietary exposure estimation of benzo(a)pyrene and cancer risk assessment [J]. *J Toxicol Environ Health A*, 2007, 70(15/16): 1391-1394.
- [7] YOON E, PARK K, LEE H, et al. Estimation of excess cancer risk on time-weighted lifetime average daily intake of PAHs from food ingestion [J]. *Human & Ecological Risk Assessment An International Journal*, 2007, 13(3): 669-680.
- [8] YANXU Z, SHU T, HUIZHONG S, et al. Inhalation exposure to ambient polycyclic aromatic hydrocarbons and lung cancer risk of Chinese population [J]. *Proc Nati Acad Sci U S A*, 2009, 106 (5): 21063-21067.
- [9] 陈君石,樊永祥. 食品安全风险分析-国家食品安全管理机构应用指南 [M]. 北京:人民卫生出版社,2008:43.
- [10] 江苏省疾病预防控制中心. 食品中多环芳烃的测定-GPC-HPLC-FLD法[Z]. 江苏省疾病预防控制中心理化检验工作手册,2015:1-4.
- [11] 王绪卿,吴永宁,陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题 [J]. *中华预防医学杂志*, 2002, 36(4): 278-279.
- [12] YOUSEFI M, SHEMSHADI G, KHORSHIDIAN N, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) content of edible vegetable oils in Iran: a risk assessment study [J]. *Food Chem Toxicol*, 2018, 118(5): 480-489.
- [13] HAO X W, JING L, YAO Z L. Changes in PAHs levels in edible oils during deep-frying process [J]. *Food Control*, 2016, 66(2): 233-240.
- [14] 曹梦思,王君,张立实,等. 我国食用油脂中欧盟优控 15+1 种多环芳烃的污染状况分析 [J]. *中国食品学报*, 2016, 16 (12): 198-205.
- [15] MOLLE D R D, ABBALLE C, GOMES F M L, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in canola, sunflower and corn oils and estimated daily intake [J]. *Food Control*, 2017, 81(5): 96-100.
- [16] SHI L K, ZHANG D D, LIU Y L. Incidence and survey of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible vegetable oils in China [J]. *Food Control*, 2016, 62(10): 165-170.
- [17] JIANG D F, XIN C L, LI W, et al. Quantitative analysis and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible vegetable oils marketed in Shandong of China [J]. *Food Chem Toxicol*, 2015, 83(6): 61-67.
- [18] 宫春波,王朝霞,董峰光,等. 食用植物油中多环芳烃的污染情况及健康风险评价 [J]. *中国油脂*, 2013, 38(5): 75-79.
- [19] WRONIAK M, REKAS A. A preliminary study of PCBs, PAHs, pesticides and trace metals contamination in cold-pressed rapeseed oils from conventional and ecological cultivations [J]. *J Food Sci Technol*, 2017, 54(5): 1-7.
- [20] 刘国艳,刘莉,孙欣果,等. 不同煎炸条件对茶叶籽油苯并(a)芘含量的影响 [J]. *中国油脂*, 2017, 42(11): 97-102.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2017 [S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [22] Commission Regulation (EU) No 835/2011 of 19 August 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for polycyclic aromatic hydrocarbons in foodstuffs [J]. *Official Journal of the European Union*, 2011, 215: 7-8.