

中国居民膳食油脂多环芳烃暴露的定量风险评估

曹梦思 王君 张立实 严卫星

【摘要】目的 对中国居民经食用油脂暴露于多环芳烃(PAHs)可能导致的致癌风险进行定量评估。**方法** 于2013年12月至2014年5月在11个省份的超市、农贸市场、粮油批发市场采集不同油种不同品牌的食用油脂样品100份。采用同位素内标定量-QuEChERS净化-气相色谱-三重四级杆串联质谱法和凝胶渗透色谱自动净化-高效液相色谱-荧光检测法两种方法,同时检测所采样品中欧洲联盟食品安全局优先控制的16种多环芳烃(EU15+1 PAHs)含量。结合2002年中国居民营养与健康状况调查的食用油脂消费量数据,并将我国人群分为成年(>18岁)男女、青少年(13~17岁)男女、学龄儿童(6~12岁)、学龄前儿童(2~5岁)6组,以致癌性为关键毒性效应终点,采用暴露限值(MOE)法建立风险评估模型,定量评估我国人群膳食油脂PAHs暴露的健康风险;暴露评估同时采用点评估和概率评估。**结果** 100份检测样品中除1份样品未检出EU15+1 PAHs外,其他样品均有检出。EU15+1 PAHs检出率范围为3%~98%,平均污染水平范围为0.26~3.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。膳食油脂暴露量的点评估和概率评估结果整体情况基本相同。各组人群PAH8暴露量点评估和概率评估平均值,成年男性为10.03、(9.34±12.61) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,成年女性为9.95、(9.60±15.04) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,青少年男性为11.09、(10.84±16.54) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,青少年女性为10.06、(9.58±12.87) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,学龄儿童为15.29、(15.62±25.54) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,学龄前儿童为19.27、(19.22±28.91) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。各人群平均暴露水平(均值和 P_{90})MOE值均高于10 000,高暴露水平(P_{95})时学龄儿童和学龄前儿童的MOE值略低于10 000。**结论** 平均暴露时人群存在健康风险较低,但高暴露下(P_{95})儿童可能存在一定的健康风险。

【关键词】 植物油类; 烃类,芳香; 致癌物,环境; 危险性评估

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAK01B00、2012BAK01B01)

Quantitative risk assessment of the polycyclic aromatic hydrocarbons dietary exposure from edible fats and oils in China Cao Mengsi^a, Wang Jun, Zhang Lishi, Yan Weixing. ^aWest China Public Health School, Sichuan University, Chengdu 610041, China

Corresponding author: Wang Jun, Email: lotuswj@126.com

【Abstract】 Objective To assess the quantitative risk of the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) dietary exposure from edible fats and oils in China. **Methods** One hundred samples of edible fats and oils were collected from the supermarkets and the farmers markets in 11 provinces of China from December in 2013 to May in 2014. Then they were tested for EU15+1 PAHs (16 PAHs were controlled in priority by European Food Safety Authority) by two test methods which were QuEChERS-GC-MS-MS and GPC-HPLC-FLD. Data of PAHs concentration and edible fats and oils consumption which were from Chinese National Nutrition and Health Survey in 2002 were combined to evaluate carcinogenic risk of PAHs in edible fats and oils by the method of margin of exposure (MOE). In this process, we divided the population into 6 groups, namely male adults (older than 18 years old), female adults (older than 18), male youths (13-17), female youths (13-17), school-agers (6-12) and preschoolers (2-5), and thought carcinogenicity as the critical toxicity end point of PAHs. Two quantitative risk assessment methods, i.e. point assessment and probability assessment, were used to evaluate the dietary exposure and MOEs. **Results** EU15+1 PAHs in one of 100 samples were not detected, other samples were polluted in different degrees; the detection rates were 3%-98% and the average contents were 0.26-3.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The results of PAHs dietary exposure from both of point assessment and probability assessment were the same. The average exposures of PAH8 were as the following: male adults were 10.03 and (9.34±12.61) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ (The former was from point assessment and

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2016.02.012

作者单位: 610041 成都, 四川大学华西公共卫生学院(曹梦思、张立实); 国家食品安全风险评估中心(王君、严卫星)

通信作者: 王君, Email: lotuswj@126.com

the latter from probability assessment, the same below), female adults were 9.95 and (9.60±15.04) ng·kg⁻¹·d⁻¹, male youths were 11.09 and (10.84±16.54) ng·kg⁻¹·d⁻¹, female youths were 10.06 and (9.58±12.87) ng·kg⁻¹·d⁻¹, school-agers were 15.29 and (15.62±25.54) ng·kg⁻¹·d⁻¹, preschoolers were 19.27 and (19.22±28.91) ng·kg⁻¹·d⁻¹. MOEs of mean and 50% exposure levels in different group of people were more than 10 000, while MOEs of 95% exposure levels in school-agers and preschoolers were less than 10 000. **Conclusion** For general consumers, the health risk of PAHs exposure is very low. However, for high-end consumers (95% exposure level) from the sensitive groups (school-ager and preschooler) has a potential health risk.

【Key words】 Plant oils; Hydrocarbons, aromatic; Carcinogens, environmental; Risk assessment

Fund program: National Science and Technology Support Plan(2012BAK01B00,2012BAK01B01)

多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 是环境中无处不在的一类有机污染物。研究发现,膳食是非吸烟及非职业暴露者暴露于 PAHs 的主要途径,约占人体日暴露的 70% 以上^[1]。2005 年,国际食品添加剂联合专家委员会 (JECFA) 提出了 13 种具有明确遗传毒性和致癌性的 PAHs, 并以致癌性为关键的毒性效应终点,评估了食品中 PAHs 的健康风险;2008 年,欧洲联盟食品安全局 (EFSA) 提出了 16 种食品中应优先控制的 PAHs (EU15+1 PAHs), 并对食品中 EU15+1 PAHs 开展了风险评估^[2]。由于数据缺乏、检测困难等原因,我国未曾对 EU15+1 PAHs 开展系统的风险评估^[3]。本研究以食用油脂为对象,采用暴露限值法 (margin of exposure, MOE) 对我国不同年龄、性别人群膳食油脂 PAHs 暴露的健康风险开展定量评估,并提出风险控制建议。

材料与方 法

1. 样品: 于 2013 年 12 月至 2014 年 5 月在北京、上海、广东、湖南、江西、广西、安徽、江苏、浙江、四川、山东等 11 个省市的超市、农贸市场、粮油批发市场采集不同油种、不同品牌的食用油脂样品 100 份,包括 10 种植物油 (菜籽油、花生油、芝麻油、葵花籽油、橄榄油、大豆油、棕榈油、茶籽油、玉米油、稻米油) 和 2 种动物油 (猪油和牛油)。

2. 检测方法: 采用同位素内标定量-QuEChERS 净化-气相色谱-三重四级杆串联质谱法和凝胶渗透色谱自动净化-高效液相色谱-荧光检测法两种方法同时检测上述样品中 EU15+1 PAHs 的含量^[4]。

3. 人群数据及毒理学资料: 我国居民食用油脂消费量及体重数据使用 2002 年中国居民营养与健康状况调查结果^[5-6]。基于 EFSA 确定的毒理学数据,以 PAH8、PAH4 和苯并(a)芘 [B(a)P] 3 个替代指标物的具有 10% 额外肿瘤发生风险的 95% 置信区间下限值 (BMDL₁₀) 作为 PAHs 混合物的致癌效应参考点^[2],分别为 0.49、0.34、0.07 mg·kg⁻¹·d⁻¹。PAH8 包含苯并(a)蒽、屈、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(a)

芘、茚并(c,d)芘、二苯并(a,h)蒽、苯并(g,h,i)芘; PAH4 包含苯并(a)蒽、屈、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘。

4. 评估方法: 使用 2002 年中国居民营养与健康状况调查结果^[5-6],将其中人群分为成年 (>18 岁) 男女、青少年 (13~17 岁) 男女、学龄儿童 (6~12 岁)、学龄前儿童 (2~5 岁) 6 组,分别进行膳食油脂 PAHs 暴露的点评估和概率评估。点评估依据公式① ($Y_i = X_i \times C_i / W_i$) 评估。其中: Y_i 为每人每日油脂中 PAHs 膳食暴露量 (ng·kg⁻¹·d⁻¹); X_i 为每人每日油脂消费量 (g/d); C_i 为膳食油脂中 PAHs 的含量 (μg/kg); W_i 为体重 (kg)。PAHs 含量 (C_i) 分别选取 3 个替代指标物含量的平均值; 食用油脂消费量 (X_i) 分别选取消费量的平均值 (\bar{x})、 P_{50} 、 P_{95} 共 3 个统计参考点值。

概率评估应用基于 Monte Carlo 模拟的 @Risk 6.1 软件对不同参数的原始数据进行分布拟合确定最佳分布函数。将分布函数代入公式①进行拉丁超立方体抽样模拟,每次模拟迭代 10 000 次,获得膳食暴露量 (Y_i) 的概率分布。利用特征统计量 (均值、标准差、百分位点值) 描述结果的变异性; 采用方差分析检验不同人群组别间统计学差异, SNK- q 检验进行两两组别间的比较。采用 MOE 法描述 PAHs 的致癌风险。MOE 值计算见公式② (MOE = BMDL₁₀/每日膳食暴露量)。

5. 质量控制: 检测油脂中 EU15+1 PAHs 含量的两种方法均达到了国家标准 (GB/T 27404-2008) 的要求,通过了英国食品化学分析实验室能力验证 (FAPAS) 的盲样考核,满足欧盟 (EC) No 333/2007 对于 B(a)P 的检测要求^[4]。数据处理遵循全球食品污染物监测规划 (GEMS/FOOD) 规定的处理原则。消费量及体重数据使用 2002 年中国居民营养与健康状况调查结果^[5-6]。风险评估过程中,同时采用点评估和概率评估两种方法,确保了评估结果的准确性。

结 果

1. PAHs 含量及食用油脂消费量: 100 份检测样

品中仅 1 份样品 EU15+1 PAHs 均未检出,其他样品则存在不同程度的污染,EU15+1 PAHs 检出率为 3%~98%,平均含量为 0.26~3.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$;其中 PAH8、PAH4 及 B(a)P 含量见表 1。

表 1 食用油脂中 PAH8、PAH4 和苯并(a)芘的含量($\mu\text{g}/\text{kg}$, $n=100$)

多环芳烃	检出率 (>LOD)	检测值范围	均值	标准差	P_{50} 值	P_{95} 值
PAH8	-	未检出~73.48	13.91	12.76	8.38	38.64
PAH4	-	未检出~72.96	9.63	10.13	5.72	28.81
B(a)P	93%	未检出~8.38	1.69	1.48	1.07	4.23

注:PAH8 为并(a)芘、屈、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(g,h,i)芘、二苯并(a,h)蒽、茚并(1,2,3-c,d)芘的总和;PAH4 为 B(a)P、屈、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽的总和;B(a)P:苯并(a)芘;LOD:检出限。“-”表示无法计算

2. 膳食暴露评估:我国人群每日膳食油脂 PAHs 暴露量点评估和概率评估结果见表 2 和表 3。

表 2 各组人群油脂多环芳烃膳食暴露量的点评估结果($\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)

人群分组 替代指标物	均值	P_{50} 值	P_{95} 值
成年男性			
PAH8	10.03	8.28	23.29
PAH4	6.95	5.73	16.13
B(a)P	1.22	1.01	2.83
成年女性			
PAH8	9.95	8.18	23.43
PAH4	6.89	5.66	16.22
B(a)P	1.21	0.99	2.85
青少年男性			
PAH8	11.09	9.10	26.18
PAH4	7.68	6.30	18.12
B(a)P	1.35	1.11	3.18
青少年女性			
PAH8	10.06	8.33	23.31
PAH4	6.97	5.77	16.14
B(a)P	1.22	1.01	2.83
学龄儿童			
PAH8	15.29	12.42	36.41
PAH4	10.59	8.60	25.21
B(a)P	1.86	1.51	4.42
学龄前儿童			
PAH8	19.27	15.21	46.48
PAH4	13.34	10.53	32.18
B(a)P	2.34	1.85	5.65

注:PAH8 为并(a)芘、屈、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(g,h,i)芘、二苯并(a,h)蒽、茚并(1,2,3-c,d)芘的总和;PAH4 为 B(a)P、屈、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽的总和;B(a)P 为苯并(a)芘

各组人群 PAH8 暴露量点评估和概率评估平均值,成年男性为 10.03、(9.34 \pm 12.61) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,成年女性为 9.95、(9.60 \pm 15.04) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,青少年男性为 11.09、(10.84 \pm 16.54) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,青少年女性为 10.06、(9.58 \pm 12.87) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,学龄儿童为 15.29、(15.62 \pm 25.54) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,学龄前儿童为 19.27、(19.22 \pm 28.91) $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。对概率评估 PAH8 暴露量平均值的方差分析显示,各组别间差异具有统计学意义($F=43.83, P<0.001$);SNK- q 检验结果显示:成年男性、成年女性、青少年男性、青少年女性这 4 组两两之间差异无统计学意义(P 值均 >0.05),其余组别两两之间差异均具有统计学意义(P 值均 <0.05)。因此,各组别间暴露量排序为:学龄前儿童 $>$ 学龄儿童 $>$ 青少年女性、青少年男性、成年女性、成年男性。各组人群 PAH8、PAH4 及 B(a)P 暴露量标准差范围为 1.73~28.91 $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,整体平均值存在一定的变异性。

表 3 各组人群油脂多环芳烃膳食暴露量的概率评估结果($\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)

人群分组 替代指标物	均值	标准差	P_{25} 值	P_{50} 值	P_{75} 值	P_{95} 值
成年男性						
PAH8	9.34	12.61	2.63	5.23	10.71	31.48
PAH4	6.56	9.68	1.62	3.41	7.56	23.05
B(a)P	1.73	1.73	0.69	1.22	2.14	4.85
成年女性						
PAH8	9.60	15.04	2.49	5.16	11.00	32.37
PAH4	6.76	11.40	1.54	3.35	7.56	23.71
B(a)P	1.78	2.13	0.68	1.21	2.14	5.03
青少年男性						
PAH8	10.84	16.54	2.79	5.86	12.55	36.60
PAH4	7.64	12.66	1.73	3.80	8.63	26.91
B(a)P	2.01	2.36	0.76	1.37	2.45	5.72
青少年女性						
PAH8	9.58	12.87	2.62	5.36	11.28	32.36
PAH4	6.74	9.88	1.62	3.49	7.78	23.82
B(a)P	1.77	1.76	0.70	1.25	2.21	5.03
学龄儿童						
PAH8	15.62	25.54	3.87	8.15	17.60	53.38
PAH4	11.03	19.93	2.39	5.32	12.18	38.90
B(a)P	2.90	3.71	1.04	1.91	3.48	8.38
学龄前儿童						
PAH8	19.22	28.91	4.94	10.23	22.28	65.51
PAH4	13.54	21.98	3.05	6.66	14.98	48.21
B(a)P	3.57	4.11	1.32	2.37	4.25	10.41

注:PAH8 为并(a)芘、屈、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(g,h,i)芘、二苯并(a,h)蒽、茚并(1,2,3-c,d)芘的总和;PAH4 为 B(a)P、屈、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽的总和;B(a)P:苯并(a)芘

3. 致癌风险评估:各人群在平均暴露水平(均值和 P_{50})时的 MOE 值均大于 10 000,健康风险较低(表 4)。概率评估中学龄儿童和学龄前儿童 P_{95} 暴露下的 MOE 值低于 10 000,表明当儿童摄入油脂过多时(达到同类人群暴露量的 P_{95}),存在一定的致癌风险。MOE 值的大小随年龄递增,年龄越小,MOE 值越小,摄入 PAHs 后存在风险的可能性越大。比较 3 种替代指标物的 MOE 值,发现 PAH8、PAH4 的 MOE 值极为接近,而 B(a)P 的 MOE 值差别较大。

讨 论

PAHs 多以混合物存在,因此需要评估其混合物总毒效。国内的相关研究仍以 1997 年 EPA16 PAHs 为研究对象^[7-9],而 EU15+1 PAHs 更能反映食物中 PAHs 的真实情况。且这些研究均采用毒性当量因子(TEF)法联合终生致癌风险(ILCR)法来评价 PAHs 混合物的总毒效和致癌风险,JECFA 和

EFSA 的报告均认为替代法优于 TEF 法,且目前 EPA 正重新研究确定 TEF 具体值。2005 年,JECFA 首次提出建议采用 MOE 法描述遗传毒性致癌物的风险特征。但我国仍采用 ILCR 法评估 PAHs 健康风险,MOE 法的研究处于理论阶段^[10]。本研究在国内首次以替代法来描述 PAHs 混合物的总毒效,并联合 MOE 法对 PAHs 进行风险评估,对 PAHs 膳食暴露风险评估具有一定的指导意义,且同时采用点评估和暴露评估两种方法,确保了评估结果的准确性。

本研究发现平均暴露人群存在健康风险的可能性较低,但高暴露(P_{95})情况下可能存在一定的健康风险。宫春波等^[7]对 75 份食用植物油样本的进行风险评估,结果表明存在潜在的致癌风险(ILCR 值为 $1.41 \times 10^{-5} > 10^{-6}$)。Jiang 等^[11]的研究也表明我国山东市场的食用油 PAHs 存在潜在的致癌风险,老人、成年人、青少年、儿童的 ILCR 值分别为 2.95×10^{-6} 、 1.08×10^{-5} 、 3.29×10^{-6} 、 7.76×10^{-6} 均大于 10^{-6} 。而 Kang 等^[12]的研究发现,韩国食用油中 PAHs

表 4 各組人群油脂多环芳烃致癌风险评估的暴露限值

人群分组 替代指标物	均值		P_{50} 值		P_{95} 值		MOE < 10 000 的 概率
	概率评估	点评估	概率评估	点评估	概率评估	点评估	
成年男性							
PAH8	52 480	48 844	93 722	59 214	15 566	21 035	1.9%
PAH4	51 818	48 954	99 738	59 349	14 753	21 083	2.2%
B(a)P	40 505	57 432	57 422	69 626	14 438	24 734	1.8%
成年女性							
PAH8	51 026	49 240	94 990	59 885	15 136	20 910	2.3%
PAH4	50 325	49 351	101 455	60 021	14 338	20 958	2.0%
B(a)P	39 387	57 897	57 827	70 414	13 928	24 587	2.7%
青少年男性							
PAH8	45 204	44 189	83 597	53 863	13 388	18 717	2.9%
PAH4	44 494	44 289	89 447	53 985	12 633	18 759	3.3%
B(a)P	34 806	51 958	50 957	82 840	12 244	28 254	3.2%
青少年女性							
PAH8	51 155	48 689	91 499	58 813	15 142	21 023	1.8%
PAH4	50 425	48 800	97 344	58 946	14 273	21 071	2.7%
B(a)P	39 439	57 250	56 099	69 154	13 904	24 719	2.2%
学龄儿童							
PAH8	31 371	32 043	60 139	39 454	9 179	13 456	5.8%
PAH4	30 837	32 115	63 957	39 543	8 741	13 487	5.9%
B(a)P	24 150	37 676	36 640	46 391	8 355	15 822	7.4%
学龄前儿童							
PAH8	25 488	25 425	47 909	32 207	7 480	10 543	8.7%
PAH4	25 119	25 483	51 025	32 280	7 053	10 567	8.8%
B(a)P	19 621	29 896	29 514	37 870	6 722	12 397	11.7%

注:PAH8 为并(a)芘、屈、苯并(a)蒽、苯并(b)蒽、苯并(k)蒽、苯并(g,h,i)芘、二苯并(a,h)蒽、茚并(1,2,3-c,d)芘的总和;PAH4 为 B(a)P、屈、苯并(a)蒽、苯并(b)蒽的总和;B(a)P: 苯并(a)芘;MOE: 暴露限值

暴露的健康风险较小, B(a)P 暴露的 MOE 为 0.069×10^{-6} (P_{50} 暴露人群) 和 0.030×10^{-6} (P_{95} 高暴露人群), PAH4 暴露的 MOE 为 1.37×10^5 (P_{50} 暴露人群) 和 1.37×10^4 (P_{95} 高暴露人群), PAH8 暴露的 MOE 为 1.29×10^5 (P_{50} 暴露人群) 和 1.30×10^4 (P_{95} 高暴露人群)。而其报道所检测的 201 份样品中除 B(a)P 平均含量为 $0.41 \sim 0.79 \mu\text{g}/\text{kg}$ 外, 其他 PAH8 物质均为未检出, 该结果远低于本研究及国内其他文献报道的检测结果^[7, 11, 13], 这可能是导致其风险评估结果低于本研究的原因。

因此结合本次评估结果, 提出相应的风险控制建议: (1) 应采取措施降低食用油脂中 PAHs 含量。(2) 应重点防护儿童, 避免油脂摄入过量造成健康损害。(3) 结果发现 PAH8、PAH4 的 MOE 值相近, 而 B(a)P 的 MOE 值差别较大, 提示仅以 B(a)P 评估混合物致癌风险的结果较不稳定。PAH8 虽结果满意, 但较 PAH4 会造成资源的浪费, 因此建议在使用 MOE 法评估 PAHs 混合物致癌效应时, 首选 PAH4 作为替代指标物。该结论也与 EFSA 的评估报告和 Veyrand 等^[14]的研究结果相一致。

风险评估是一个以已知数据进行科学推导的过程, 不可避免地会包含各种不确定性^[15]。本研究中的不确定性主要来自于以下方面: 消费量及体重数据均是 2002 年的调查结果, 与 2014 年检测的 PAHs 含量数据存在时间差; PAHs 含量数据是基于检测的 100 份样品, 该样本量在推断我国总体食用油脂污染情况具有一定不确定性。研究表明, 油脂中 PAHs 的含量会受到烹调过程的影响^[16-18], 但具体的变化数值, 无法定量。因此本研究中暴露情景未考虑烹调加工对油脂中 PAHs 含量的影响情况。

参 考 文 献

- [1] Ibáñez R, Agudo A, Berenguer A, et al. Dietary intake of polycyclic aromatic hydrocarbons in a Spanish population[J]. J Food Prot, 2005, 68(10): 2190-2195.
- [2] European Food Safety Authority. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain[R/OL]. [2008-08-04] (2015-06-02). <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/724>.
- [3] 曹梦思, 王君, 张立实, 等. 食品中多环芳烃的研究现状[J]. 卫生研究, 2015, 44(1): 151-157.
- [4] 曹梦思, 张立实, 王君, 等. 两种方法检测食用油脂中的多环芳烃[J]. 食品工业科技, 2015, 36(08): 82-87.
- [5] 翟凤英, 杨晓光. 中国居民营养与健康状况调查报告之二: 2002 膳食与营养素摄入状况[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2002.
- [6] 杨晓光, 翟凤英. 中国居民营养与健康状况调查报告之三: 2002 居民体质与营养状况[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2002.
- [7] 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估[J]. 中国油脂, 2013, 38(5): 75-79.
- [8] Ding C, Ni HG, Zeng H. Parent and halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons in rice and implications for human health in China[J]. Environ Pollut, 2012, 168: 80-86.
- [9] 许婷, 汤桦, 陈大舟, 等. 同位素稀释-气相色谱-三重四极杆串联质谱法分析食用油中 18 种多环芳烃[J]. 质谱学报, 2015, 36(2): 120-127.
- [10] 王萍. 食品安全风险评估——风险特征描述[J]. 华南预防医学, 2013, 39(5): 89-91.
- [11] Jiang D, Xin C, 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: 61-67.
- [12] Kang B, Lee BM, Shin HS. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) content and risk assessment from edible oils in Korea[J]. J Toxicol Environ Health A, 2014, 77(22-24): 1359-1371.
- [13] 张志玮, 马永建, 刘华良, 等. 江苏省市售食用植物油中多环芳烃污染状况分析[J]. 江苏预防医学, 2012, 23(5): 57-58.
- [14] Veyrand B, Sirot V, Durand S, et al. Human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: results of the second French Total Diet Study [J]. Environ Int, 2013, 54: 11-17.
- [15] 刘兆平, 李凤琴, 贾旭东. 食品中化学物风险评估原则和方法[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
- [16] Wu S, Yu W. Liquid-liquid extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons in four different edible oils from China[J]. Food Chem, 2012, 134(1): 597-601.
- [17] 王民, 陶顺兴, 曹德康, 等. 烹炸时油和油炸品中苯并(a)芘及脂肪酸含量变化的实验研究[J]. 中国卫生检验杂志, 1997, 7(1): 17-19.
- [18] Rojo Camargo MC, Antonioli PR, Vicente E. Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons content in different stages of soybean oils processing [J]. Food Chem, 2012, 135(3): 937-942.

(收稿日期: 2015-06-02)

(本文编辑: 吕相征)