

· 论 著 ·

杭州市居民谷物和烧烤油炸类食品多环芳烃 暴露风险评估

周煜¹, 沈毅², 王姝婷¹, 赵栋³

1. 杭州市疾病预防控制中心健康教育所, 浙江 杭州 310021; 2. 浙江大学公共卫生学院; 3. 浙江省疾病预防控制中心

摘要: **目的** 评估杭州市居民经谷物和烧烤油炸类食品暴露于多环芳烃 (PAHs) 的健康风险。**方法** 采用概率比例规模抽样方法, 从杭州市 2 个县 (市、区) 抽取 1 769 人进行 3 天 24 小时食物消费回顾调查。在杭州市主城区采集 50 份烧烤油炸类食品和 20 份谷物及其制品, 采用三重四极杆气质联用仪和高效液相荧光法同时检测样品 B (a) P、PAH2、PAH4 和 PAH8 含量, 应用 @risk 软件构建杭州市居民经谷物和烧烤油炸类食品暴露于 PAHs 的概率风险评估模型, 通过计算暴露限值 (MOE) 评价 PAHs 的健康风险。**结果** 50 份烧烤油炸食品和 20 份谷物及制品检测出 1 份烧烤油炸食品 B (a) P 超标; PAH 中位数为 0.20 ~ 3.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。混合模型中, 杭州市居民 B (a) P、PAH2 和 PAH4 在两类食品中的合计暴露量分别为 1.54、3.54 和 8.13 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$, 非参数模型中分别为 1.61、3.76 和 8.09 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ 。当居民在单一类食物中摄入 PAHs 量 $\leq 95\%$ 人群膳食暴露量, 或合并两类食品摄入 PAHs 量 $\leq 90\%$ 人群膳食暴露量时, PAHs 的 MOE 值均 $> 10\ 000$; 两类食品合并暴露的混合模型中 B (a) P 摄入量 $\geq 97.5\%$ 人群膳食暴露量, PAH2、PAH4 摄入量 $\geq 95\%$ 人群膳食暴露量, 以及非参数模型中的 B (a) P、PAH2、PAH4 摄入量 $\geq 95\%$ 人群膳食暴露量, MOE 值均 $< 10\ 000$ 。**结论** 杭州市居民经烧烤油炸类食品和谷物暴露于 PAHs 的健康风险较低, 单类食物摄入 PAHs 超过 97.5% 或 99%, 两类食物摄入超过 95% 的高端暴露人群存在一定健康风险。

关键词: 多环芳烃; 风险评估; 谷物; 烧烤油炸食品

中图分类号: R155.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087 (2019) 03-0260-06

Risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons exposed from cereal, fried and grilled food in Hangzhou

ZHOU Yu*, SHEN Yi, WANG Shu-ting, ZHAO Dong

*Department of Health Education, Hangzhou Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang, 310021, China

Abstract: Objective To assess the health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) exposed through cereal, fried and grilled foods in Hangzhou. **Methods** A cross-sectional study was conducted to collect food consumption data of three inconsecutive days among 1 769 subjects selected by probability proportional to size sampling method from two districts in Hangzhou. Fifty samples of fried and grilled food and twenty samples of cereal were collected from five districts in Hangzhou. They were tested for B (a) P, PAH2, PAH4 and PAH8 by high performance liquid chromatography coupled with triple quadrupole gas chromatography-tandem mass spectrometry. The probabilistic models were established for the evaluation of PAHs exposure by @risk software and then margin of exposure (MOE) was calculated. **Results** The contents of B (a) P in one sample of fried and grilled food exceeded the limit. The median contents of PAHs ranged from 0.20 to 3.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The median exposures of B (a) P, PAH2 and PAH4 from both two kinds of foods were 1.54, 3.54 and 8.13 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ in the mixed model, 1.61, 3.76 and 8.09 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ in the non-parameter model. The MOEs of $\leq 95\%$ PAHs exposure level in one kind

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2019.03.010

基金项目: 杭州市科技局医疗卫生科研项目 (20150633B32); 杭州市卫生计生委 A 类项目 (2016A61)

作者简介: 周煜, 硕士, 主管医师, 主要从事营养与食品安全和健康教育工作

通信作者: 周煜, E-mail: gloriashouy@163.com

of food or $\leq 90\%$ PAHs exposure level in both kinds of foods were more than 10 000. The MOEs of $\geq 97.5\%$ exposure level of B (a) P, $\geq 95\%$ exposure levels of PAH2 and PAH4 in both kinds of foods in the mixed model, and $\geq 95\%$ exposure levels of B (a) P, PAH2, PAH4 in both kinds of foods in the non-parameter model were less than 10 000. **Conclusion** The health risk of PAHs exposure was very low in more than 90% of the population in Hangzhou. However, for high-end consumers, 97.5% or 99% exposure level in one kind of food and 95% exposure level in both kinds of foods had a potential health risk.

Key words: Polycyclic aromatic hydrocarbons; Risk assessment; Cereal; Fried and grilled food

多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 是由 2 个或 2 个以上苯环稠合而成的持久性有机污染物 (persistent organic pollutants, POPs), 具有生殖发育毒性、免疫抑制作用和急性毒性等, 具有致癌性 [1]。2012 年, 国际癌症研究机构 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 依据毒性机制和相关数据将苯并 (a) 芘 [B (a) P] 定义为一类致癌物 [2]。人体可通过多种途径暴露于 PAHs, 不吸烟和非职业暴露者中膳食来源的 PAHs 贡献度最大, 约占人体日暴露的 70% 以上 [3]。PAHs 可通过多种途径污染食物, 大致分为环境迁移和加工污染两大类 [4]。研究发现, 烧烤、油脂、谷物类食品中 PAHs 含量相对较高, 且由于谷物类食品在居民膳食结构中的消费量较高, 对 PAHs 膳食暴露的贡献度最大 [5-7]。本研究采用概率评估方法, 对杭州市居民经谷物、烧烤油炸类食品的 PAHs 暴露量进行定量风险评估, 并根据暴露限值 (margin of exposure, MOE) 提出健康风险控制建议。

1 材料与方法

1.1 采样 于 2015 年 7—9 月, 在杭州市 5 个主城区 15 个采样点采集固定店面和流动摊位的烧烤油炸类食品 50 份, 包括禽畜肉和水产动物类; 于 2017 年 3—10 月, 在杭州市 3 个主城区的超市和农贸市场 9 个监测点采集谷物及其制品 20 份, 包括大米、面粉和玉米面等。

1.2 PAHs 检测

1.2.1 主要仪器与试剂 Agilent 7890B GC-7000B MSD 气相色谱 - 三重四级杆串联质谱联用仪和 Agilent 1260 型液相色谱仪 (带 1260 型荧光检测器, 美国 Agilent 公司); Free style TACS 全自动凝胶色谱净化系统 (GPC, 德国 LC Tech GmbH 公司); KQ-250DB 型数控超声仪 (中国昆山市超声仪器有限公司); TDL-5 台式低速大容量离心机 (中国上海安亭科学仪器厂); Retsch GM200 均质器 (德国 Retsch 公司); 乙腈 (色谱纯, 批号: 2016/03/20); 乙酸乙

酯 (色谱纯, 批号: 1106417); 环己烷 (色谱纯, 批号: 1105397); 16 种 PAHs 混合标准溶液 (乙腈溶剂, 200 mg/L, 中国上海安谱科学仪器有限公司)。

1.2.2 检测方法 由杭州市疾病预防控制中心负责检测。取各类食品的可食用部分, 同时采用三重四级杆气质联用仪和高效液相荧光法测定 PAHs 含量。定量方法均为外标法。每次测定均设置试剂空白对照, 且每批样品测定时均做加标回收试验。

1.2.3 未检出数据处理 根据世界卫生组织对未检出数据的处理原则 [8], 当未检出数据的比例低于 60% 时, 所有未检出数据用 1/2 检出限 (limit of detection, LOD) 替代; 当未检出数据的比例高于 60% 时, 所有未检出数据用 0 或 LOD 替代。

1.3 居民膳食消费量调查 采用概率比例规模抽样 (probability proportionate to size sampling, PPS) 方法, 于 2015 年 7—10 月在杭州市 2 个县 (市、区) 各抽取 3 个乡镇 (街道), 从每个抽中的乡镇 (街道) 中再抽取 2 个村 (居) 民委员会, 每个抽中的村 (居) 民委员会中随机抽取 50 户, 共计 1 769 人。由浙江省疾病预防控制中心进行非连续的 3 天 24 小时食物消费回顾调查, 相邻两次调查间隔至少 5 天, 3 次调查须包括 1 个休息日 (周六或周日) 和 2 个非休息日。调查表来源于《2015 年浙江省居民食物消费状况调查项目方案》, 包括调查对象基本信息以及调查前 24 h 内谷物类、肉类、水产品、饮用水、酒和饮料的消费信息 (食物名称和消费量等)。

1.4 概率评估方法

1.4.1 PAHs 膳食暴露量 以食物消费量与食物中危害因素含量数据为基础, 计算膳食暴露量, 公式如下:

$$Y_i = \frac{\sum_{k=1}^n (X_{ik} \times C_{ik})}{w_i}$$

式中, Y_i 为每人每日 PAHs 膳食暴露量 [$\mu\text{g}/(\text{kgbw} \cdot \text{d})$]; X_{ik} 为每人每日食品 k 的消费量 (g/d); C_{ik} 为食品 k 中的 PAHs 含量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$); w_i 为体重 (kg)。根据检测项目, 烧烤油炸类食品 PAHs

含量指标物选取 B (a) P、PAH2、PAH4 和 PAH8；谷物类食品选取 B (a) P、PAH2 和 PAH4。其中 PAH2 包含 B (a) P 和屈；PAH4 包含 PAH2、苯并 (a) 蒽、苯并 (b) 荧蒽；PAH8 包含 PAH4、苯并 (g, h, i) 芘、苯并 (k) 荧蒽、茚并 (1, 2, 3-cd) 芘和二苯并 (a, h) 蒽。

1.4.2 模型构建 采用 @risk 软件进行膳食污染物暴露概率评估。非参数法采用原始数据构建模型，直接在膳食消费量、PAHs 检测和调查人群体重数据中进行随机抽样。但非参数法对样本量要求较高，估计第 P 百分位上的残留浓度，每种食物的监测数据至少需要 $1/(1-P\%)$ 个^[9]，即要求每种食物至少有 100 个监测数据估计 P_{99} 的暴露值。若阳性检出值 ≥ 10 ，可采用参数法^[9]：将膳食消费量、PAHs 检测和调查人群体重数据进行分布拟合，根据赤池信息准则 (Akaike information criterion, AIC) 值、贝叶斯信息准则 (Bayesian information criterion, BIC) 值和专业常识，选择合适的分布函数，构建膳食消费量拟合函数和食品中 PAHs 拟合函数 X。两种方法均采用拉丁超立方方法随机抽样，进行 10 万次迭代，通过公式最终计算得到食物中 PAHs 的暴露值。为保证概率评估模型的稳定性，要求所有输出结果每 200 次迭代收敛公差在 3% 以内 (95%CI)。若不满足要求则增加迭代

次数或放弃该模型。

1.4.3 PAHs 健康风险评估 分别计算 B (a) P、PAH2、PAH4 和 PAH8 的 MOE 值。MOE=BMDL10/ 每日膳食暴露量，BMDL10 指 10% 额外肿瘤发生风险的 95%CI 下限值，B(a)P、PAH2、PAH4、PAH8 的 BMDL10 值分别为 0.07、0.17、0.34 和 0.49 mg/ (kgbw·d)^[5]。MOE 值越小，膳食暴露风险越大，致癌的可能性越高；反之亦然。通常认为 MOE > 10 000 表示食品中的有害物质对消费者健康影响不大；MOE $\leq 10 000$ 表示对消费者健康可能造成一定影响。

1.5 统计分析 采用 @risk 软件统计分析，对食品中 PAHs 的检测值和居民膳食 PAHs 的摄入量分布情况进行描述。

2 结果

2.1 谷物类和烧烤油炸类食品 PAHs 含量 GB 2762—2017《食品中污染物限量》^[10] 没有规定 PAHs 限量，只针对 B (a) P 提出了具体要求：谷物及其制品、肉及肉制品、水产动物及其制品 B (a) P 均 < 5.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。本次检测结果显示，1 份烧烤油炸食品 B (a) P 超标，其他 49 份烧烤油炸食品和 20 份谷物类食品的 B (a) P 均未超标；70 份检测样品的 PAHs 中位污染水平为 0.20 ~ 3.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，见表 1。

表 1 杭州市谷物和烧烤油炸类食品中 PAHs 检测情况

食品类别	PAHs	检测数	检出数	检出率 (%)	PAHs 含量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)			
					P_{50}	P_{75}	P_{90}	P_{95}
谷物类	B (a) P	20	15	75.00	0.26	0.32	0.48	0.94
	PAH2	20	17	85.00	0.47	0.56	0.69	2.30
	PAH4	20	19	95.00	1.00	1.25	1.64	4.71
烧烤油炸类	B (a) P	50	19	38.00	0.20	1.08	3.09	3.29
	PAH2	50	25	50.00	0.64	3.67	13.20	19.09
	PAH4	50	25	50.00	1.64	8.54	31.63	37.44
	PAH8	50	25	50.00	3.64	10.58	37.92	45.51

2.2 膳食暴露评估 烧烤油炸类食品的参数模型无法达到收敛要求，故取非参数模型结果，谷物类食品取参数和非参数结果进行比较。结果显示，谷物类食品 PAH4 膳食暴露量参数法和非参数法 P_{50} 值分别为 4.36 和 4.44 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ ， P_{99} 值分别为 54.20 和 62.67 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ ；烧烤油炸类食品 PAH4 和 PAH8 膳食暴露量非参数法 P_{50} 值分别为 1.48 和 3.07 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ ， P_{99} 值分别为 68.87 和 81.04

$\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ ；谷物类食品参数模型和烧烤油炸类食品非参数混合模型合计 B (a) P、PAH2 和 PAH4 膳食暴露量 P_{50} 值分别为 1.54、3.54 和 8.13 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ ， P_{99} 值分别为 12.74、38.10 和 91.03 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ ；谷物类和烧烤油炸类食品非参数模型合计 B (a) P、PAH2 和 PAH4 膳食暴露量中位数为 1.61、3.76 和 8.09 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ ， P_{99} 值分别为 16.05、45.12 和 94.36 $\text{ng}/(\text{kgbw}\cdot\text{d})$ 。见表 2。

表2 杭州市居民谷物类和烧烤油炸类食品 PAHs 膳食暴露量评估 [ng/(kgbw·d)]

食品类别	概率评估方法	PAHs	P_{50}	P_{75}	P_{90}	P_{95}	$P_{97.5}$	P_{99}
谷物类	参数	B (a) P	1.02	1.98	3.61	5.20	7.11	10.22
		PAH2	1.96	3.58	6.25	8.94	12.38	17.61
		PAH4	4.36	8.42	16.11	24.35	35.31	54.20
	非参数	B (a) P	1.09	2.01	4.22	5.99	8.41	13.72
		PAH2	2.06	3.92	8.08	11.37	16.05	28.06
		PAH4	4.44	8.44	17.54	24.63	35.12	62.67
烧烤油炸类	非参数	B (a) P	0.18	0.63	1.82	2.86	4.56	7.01
		PAH2	0.58	2.65	8.67	14.18	21.87	32.34
		PAH4	1.48	5.49	19.58	30.36	45.59	68.87
		PAH8	3.07	7.88	23.13	36.03	53.82	81.04
合计	谷物类参数 + 烧烤油炸类非参数	B (a) P	1.54	2.86	4.96	6.93	9.14	12.74
		PAH2	3.54	7.22	13.51	19.49	26.82	38.10
		PAH4	8.13	17.21	32.19	46.82	63.77	91.03
	非参数	B (a) P	1.61	3.07	5.51	7.64	10.59	16.05
		PAH2	3.76	8.28	15.04	22.14	30.99	45.12
		PAH4	8.09	18.10	32.52	47.94	66.24	94.36

2.3 健康风险评估 单独计算谷物或烧烤油炸类食品，当摄入 PAHs 量 $\leq 95\%$ 人群膳食暴露量时，B (a) P、PAH2、PAH4 和 PAH8 的 MOE 值均 $> 10\ 000$ ；合并两类食品，当摄入 PAHs 量 $\leq 90\%$ 人群膳食暴露量时，B (a) P、PAH2 和 PAH4 的 MOE 值均 $> 10\ 000$ 。谷物类食品非参数模型与参数模型的 MOE 值计算结果一致，经谷物类食品摄入 B (a) P 或 PAH4 量 $\geq 97.5\%$ 人群膳食暴露量、PAH2 摄入量 $\geq 99\%$ 人群膳食暴露量时，MOE $< 10\ 000$ 。烧烤油

炸类食品非参数模型显示，当 B (a) P 摄入量 $\geq 99\%$ 人群膳食暴露量，或 PAH2、PAH4 和 PAH8 摄入量 $\geq 97.5\%$ 人群膳食暴露量时，MOE $< 10\ 000$ 。采用混合模型合并两类食品 PAHs 摄入量，当 B (a) P 摄入量 $\geq 97.5\%$ 人群膳食暴露量，MOE $< 10\ 000$ ；无论用非参数模型还是混合模型合并 PAHs 摄入量，B (a) P、PAH2、PAH4 任一项 $\geq 95\%$ 人群膳食暴露量，MOE 值均 $< 10\ 000$ 。见表 3。

表3 杭州市居民谷物和烧烤油炸类食品 PAHs 的暴露限值(MOE)

食品类别	概率评估方法	PAHs	BMDL ₁₀ [mg/(kgbw·d)]	MOE 值					
				P_{50}	P_{75}	P_{90}	P_{95}	$P_{97.5}$	P_{99}
谷物类	参数	B (a) P	0.07	68 448	35 305	19 397	13 474	9 841	6 848
		PAH2	0.17	86 786	47 542	27 212	19 012	13 733	9 654
		PAH4	0.34	77 955	40 371	21 101	13 963	9 628	6 273
	非参数	B (a) P	0.07	64 471	34 884	16 605	11 687	8 326	5 103
		PAH2	0.17	82 684	43 351	21 038	14 953	10 591	6 059
		PAH4	0.34	76 624	40 286	19 384	13 806	9 681	5 426
烧烤油炸类	非参数	B (a) P	0.07	379 167	110 600	38 564	24 500	15 363	9 987
		PAH2	0.17	291 488	64 047	19 613	11 986	7 772	5 257
		PAH4	0.34	230 184	61 897	17 363	11 197	7 457	4 937
		PAH8	0.49	159 454	62 213	21 186	13 600	9 105	6 046
合计	谷物类参数 + 烧烤油炸类非参数	B (a) P	0.07	45 317	24 464	14 118	10 108	7 658	5 496
		PAH2	0.17	47 958	23 542	12 580	8 721	6 339	4 462
		PAH4	0.34	41 825	19 755	10 564	7 262	5 331	3 735
	非参数	B (a) P	0.07	43 495	22 793	12 714	9 160	6 607	4 360
		PAH2	0.17	45 213	20 537	11 303	7 678	5 486	3 768
		PAH4	0.34	42 014	18 781	10 454	7 092	5 133	3 603

注：灰色部分 MOE 值小于 10 000，具有潜在健康风险。

3 讨论

本研究采用概率评估方法评估杭州市居民经谷物类和烧烤油炸类食品摄入 PAHs 的健康风险, 结果显示, 90%的居民经谷物和烧烤油炸类食品摄入 PAHs 的健康风险较低, 但在这两类食品的高端暴露居民中, 即合计摄入量超过 95%人群膳食暴露量, 或单类食品摄入量超过 97.5%或 99%人群膳食暴露量的消费者, 存在安全隐患。POUZOU 等^[11]、ZETTERBERG 等^[12]、VEYRAND 等^[13] 研究认为膳食中 PAHs 暴露健康风险较低; JIANG 等^[14]、宫春波等^[15] 研究认为食用油中 PAHs 污染具有潜在致癌风险; LI 等^[16]、曹梦思等^[17]、DING 等^[18] 分别研究认为 PAHs 在油条、油脂、膳食高端暴露人群中存在一定的健康风险。上述研究均与本研究结果一致。

高端暴露居民可能是摄入谷物类或烧烤油炸类食品较多的人群, 也可能是烹调方式不合理导致食品 PAHs 污染水平较高的人群。2008 年, 欧洲食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 建议以 PAH4 作为 PAHs 暴露的指标物质^[5], 2011 年修订污染物限量时增加了以 PAH4 作为指标的限量值^[19]。欧盟对食物中 PAHs 限量水平做出了详细的规定, 熏烤肉及熏烤肉制品 B (a) P < 2.0 μg/kg、PAH4 < 12.0 μg/kg, 加工谷类及婴幼儿食品 B (a) P < 1.0 μg/kg、PAH4 < 1.0 μg/kg, 油脂类 B (a) P < 2.0 μg/kg、PAH4 < 10 μg/kg^[19]。若按欧盟的限量标准, 本研究食品中 PAHs 的超标率将大大增高。世界粮农组织和世界卫生组织建议采取多种措施减少食品中 PAHs 的摄入量, 如避免食物与火焰接触, 远距离烧烤; 减少干燥和烟熏过程中产生 PAHs, 如用间接烟熏取代直接烟熏; 食用水果和蔬菜时清洗或去皮; 少吃烧烤制品或去除表皮后再食用。

采用概率评估方法进行膳食暴露评估, 能充分利用现有数据, 对食物消费量数据、污染物浓度数据及暴露评估结果的变异性进行分布描述, 有效克服确定性评估 (如点评估方法) 的局限性, 使评估结果更接近现实^[20]。参数和非参数模型的选择对结果有一定影响: 非参数模型结果更保守, 但由于本研究的食品中污染物监测数据均小于 100, 非参数模型估计值不稳定; 参数模型为数据量不足情况下的概率评估提供了解决方案, 但在准确性、可靠性上可能低于非参数模型。本研究在构建模型时从收敛性角度保证模型的稳定性, 一定程度上解决了上述问题, 保证了结果的可靠, 在后续的食品污染物监测中积累更多的食品

PAHs 检测数据, 能使概率评估模型更完善。

综上所述, 谷物类和烧烤油炸类食品 PAHs 高端暴露人群具有潜在的健康风险。谷物是杭州市居民重要的主食来源, 卫生部门应加强科学烹饪食品方法的宣传和健康教育, 同时提高居民对烧烤油炸类食品危害的认识, 对烧烤油炸类食品加强监管和检测。

参考文献

- [1] 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.
- [2] WHO/IARC. Agents classified by the IARC monographs [EB/OL]. (2018-11-09) [2018-11-22]. <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications-volumes>.
- [3] IBANEZ R, AGUDO A, BERENQUER A, et al. Dietary intake of polycyclic aromatic hydrocarbon in a Spanish population [J]. Journal of Food Protection, 2005, 68 (10): 2190-2195.
- [4] 董峰光, 王朝霞, 宫春波. 食用植物油中多环芳烃的来源和处理 [J]. 现代预防医学, 2014, 41 (11): 1993-1998.
- [5] EFSA. Polycyclic Aromatic hydrocarbons in food scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain [R]. EFSA, 2008 (724): 1-114.
- [6] WHO/IPCS. Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. Environmental Health Criteria 202 [S]. Geneva: WHO/IPCS, 1998.
- [7] EU Scientific Committee on Food. Opinion of the Scientific Committee on Food on the risks to human health of polycyclic aromatic hydrocarbons in food [EB/OL]. (2002-12-04) [2019-02-16]. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/sci-com_scf_out_153_en.pdf.
- [8] 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.
- [9] DE BOER W, VAN DE VOET H. MCRA, Release 5, a web-based program for Monte Carlo Risk Assessment [EB/OL]. Wageningen UR. (2004-05-06) [2018-11-22]. <http://edepot.wur.nl/28277>.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中污染物限量: GB 2762—2017 [S]. 2017.
- [11] POUZOU J G, COSTARD S, ZAGMUTT F J. Probabilistic assessment of dietary exposure to heterocyclic amines and polycyclic aromatic hydrocarbons from consumption of meats and breads in the United States [J]. Food and Chemical Toxicology, 2018 (114): 361-374.
- [12] ZETTERBERG L A, DARNERUD P O, WRETTLING S. Low intake of polycyclic aromatic hydrocarbons in Sweden: Results based on market basket data and a barbecue study [J]. Food and Chemical Toxicology, 2014 (74): 107-111.
- [13] VEYRAND B, SIROT V, DURAND S, et al. Human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: results of the second French Total Diet Study [J]. Environment International, 2013, 54: 11-17.

(下转第 270 页)