

甘肃省 3 个非暴露地区居民母乳中二噁英负荷水平与影响因素分析

崔 燕, 张 睿, 杨 琛, 李 磊, 梁效成*

(甘肃省疾病预防控制中心, 兰州 730000)

摘要: 目的 调查甘肃省 3 个非暴露地区母乳中二噁英类化合物污染水平, 分析影响当地人群二噁英类化合物污染的相关因素。**方法** 在甘肃省城区、近郊区和远郊区 3 个采样点采集共 150 份顺产初产妇产后第 3~8 周的母乳样品, 以高分辨气相色谱-高分辨质谱分析仪分析样品中多氯代苯并二噁英和多氯代苯并呋喃 (polychlorinated dibenzo-p-dioxins/polychlorinated dibenzofurans, PCDD/Fs) 和二噁英样多氯联苯 (dioxin like polychlorinated biphenyls, dl-PCBs) 含量, 计算总毒性当量浓度 (toxic equivalent quantity, TEQ)。**结果** PCDD/Fs 和 dl-PCBs 在甘肃省母乳样品中普遍存在, dl-PCBs 含量远高于 PCDD/Fs, 但按 TEQ 计时, PCDD/Fs 贡献高于 dl-PCBs; 甘肃省 PCDD/Fs 组分含量最高的八氯代二苯并二噁英 (1,2,3,4,6,7,8,9-octachlorodibenzo-p-dioxin, OCDD), 含量在 102.08~195.18 pg/g 脂肪之间, 来源可能与垃圾焚烧导致污染有关; 母乳中 PCBs 污染分布呈现出省城区 (2436.88 pg/g) > 近郊区 (1118.16 pg/g) > 远郊区 (989.87 pg/g) 的特征, 可能与居民肉蛋奶等动物性食品摄入频次较高有关。**结论** 甘肃省非暴露区母乳中二噁英类化合物含量均低于全国水平, 总体上城市高于农村, 但个别同系物数值农村点与城市点接近甚至高于城市点, 这提示甘肃省不同非暴露地区人体暴露情况有其独特性和复杂性。

关键词: 母乳; 二噁英类化合物; 负荷水平; 影响因素

Analysis of dioxin loading levels and influencing factors in breast milk of residents in 3 non-exposed areas of Gansu province

CUI Yan, ZHANG Rui, YANG Chen, LI Lei, LIANG Xiao-Cheng*

(Gansu Center for Disease Control and Prevention, Lanzhou 730000, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the pollution level of dioxin-like compounds in breast milk in 3 non-exposed areas of Gansu province, and analyze the related factors affecting dioxin-like compounds pollution in local population. **Methods** A total of 150 breast milk samples collected from 3~8 weeks after delivery of primiparous parturients in urban, suburban and exurb areas of Gansu province were analyzed for polychlorinated dibenzo-p-dioxins/polychlorinated dibenzofurans (PCDD/Fs) and dioxin like polychlorinated biphenyls (dl-PCBs) content by high-resolution gas chromatography-high-resolution mass spectrometry, and the toxic equivalent quantity (TEQ) was calculated. **Results** PCDD/Fs and dl-PCBs were prevalent in breast milk samples of Gansu province,

基金项目: 甘肃省卫生行业科研计划项目(GSWSKY-2019-28)

Fund: Supported by the Health Industry Scientific Research Program of Gansu Province (GSWSKY-2019-28)

*通信作者: 梁效成, 主任技师, 主要研究方向为营养与食品安全。Email: 825685956@qq.com

*Corresponding author: LIANG Xiao-Cheng, Chief Technician, Gansu Center for Disease Control and Prevention, Lanzhou 730000, China. E-mail: 825685956@qq.com

and the content of dl-PCBs was much higher than that of PCDD/Fs. However, according to TEQ, the contribution of PCDD/Fs was higher than that of dl-PCBs. The highest PCDD/Fs component content of 1,2,3,4,6,7,8,9-octachlorodibenzo-p-dioxin (OCDD) in Gansu province was 102.08–195.18 pg/g fat, which may be related to the pollution caused by garbage incineration. The distribution of PCBs pollution in breast milk showed the characteristics of urban area (2436.88 pg/g) > suburb area (1118.16 pg/g) > exurb area (989.87 pg/g), which might be related to the higher intake frequency of animal foods such as meat, eggs and milk by residents. **Conclusion** The content of dioxin-like compounds in breast milk in non-exposed areas of Gansu province is lower than the national level, generally higher in cities than in rural areas, but the number of individual homologues in rural areas are close to or even higher than that in urban areas, which indicates that the human exposure in different non-exposed areas of Gansu province has its uniqueness and complexity.

KEY WORDS: breast milk; dioxins; load level; influencing factors

0 引言

持久性有机污染物 (persistent organic pollutants, POPs) 是指人类合成的能持久存在于环境中, 可通过食物链富集的化学物质, 因可导致人体内分泌紊乱、心血管疾病、癌症、糖尿病以及免疫和生殖系统功能失调等疾病, 成为食品安全领域的热点问题^[1-2]。环境中存在的 POPs 主要包括 3 类: (1) 二氯二苯三氯乙烷 (dichlorodiphenyl trichloroethane, DDT) 及其代谢产物等有机氯农药 (organochlorine pesticides, OCPs); (2) 多氯联苯 (polychlorinated biphenyls, PCBs)、多溴联苯醚 (poly brominated diphenyl ethers, PBDEs) 和全氟辛烷磺酸 (perfluorooctane sulphonate, PFOS) 等工业技术化学产品; (3) 多氯代苯并二噁英和多氯代苯并呋喃 (polychlorinated dibenzo-p-dioxins/polychlorinated dibenzofurans, PCDD/Fs) 和多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 等工业副产品^[3]。其中, 二噁英和二噁英类化合物是环境中毒性最强的污染物, 在环境中普遍存在, 其毒性作用是在人体长期暴露、体内蓄积后产生的, 对人体具有神经发育、内分泌、生殖毒性以及致癌性^[4-6]。

食物是人体摄入 POPs 的主要来源, 母乳脂肪含量高、易于获得、不会对提供者造成损伤、易于储存, 因此, 母乳中的 POPs 既可反映母亲和婴儿的 POPs 暴露水平, 又可反映当地环境中的 POPs 污染水平, 被世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 认为是理想的生物标志物, 并推荐在二噁英类物质等持久性有机污染物的监测中使用母乳进行评估检测^[7]。本研究以第六次国家总膳食调查为平台, 开展了甘肃省母乳中二噁英类化合物监测, 通过测定收集到母乳样品中二噁英类化合物含量, 分析甘肃省非暴露地区、非职业人群中二噁英类化合物暴露的可能因素, 评估甘肃省 POPs 环境污染状况和 POPs 进入食品的途径, 帮助制定减少污染接触的措施。

1 材料与方法

1.1 对象选择

以第 6 次总膳食调查为平台, 采集甘肃省 3 个不同地区, 包括 1 个城市采样点 (兰州市城关区) 和 2 个农村采样点 (通渭县和徽县) 各 50 名, 共 150 名顺产初产妇的母乳样本。采集对象均为具备以下标准的志愿者: 35 岁以下、中国大陆境内出生、首次怀孕、在本地居住期至少 10 年、母乳喂养、正常怀孕、生产单胞胎且只对 1 个婴儿进行喂养、无经体液传播的传染性疾病、居住地属于非 POPs 高暴露地区。

采集样品的同时, 使用问卷调查的方式收集志愿者年龄、学历、本地居住时间、膳食习惯 (动物性食品和蔬菜的消费频率) 等信息。信息由捐献者本人提供, 并在调查初告知捐献者本研究的目的和主要内容以及志愿者的权利和义务, 签署知情同意书。

1.2 样品采集及问卷收集

样品采集时间集中在捐献者分娩后 3~8 周内完成。在经培训的专业人员指导下, 采样前彻底清洗双手, 用手工方法收集 50 mL 母乳样品于专用容器中。采样可在 2 d 内分次完成, 采集好的母乳样品可在 4 °C 冰箱中短时间保存, 48 h 内由技术人员上门收取, 统一存放于 -20 °C 条件保存。

采样表及样品容器均统一配发。调查员经过培训后, 全程参与调查表的填写和采样指导工作。每个采样点样品采集完毕后需冷冻保存, 统一送至甘肃省疾病预防控制中心, 由中心收集全部样品后冷冻保存并全程冷链送至国家食品安全风险评估中心实验室代为检测。

1.3 实验室检测及质量控制

所采集母乳样品中 PCDD/Fs 和 dl-PCBs 含量测定由国家食品安全风险评估中心实验室进行。测试按照 GB/T 5009.205—2013 《食品中二噁英及其类似物毒性当量的测

定》执行, 以高分辨气相色谱-高分辨质谱分析仪(high resolution gas chromatography/high resolution mass spectrometer, HRGC-HRMS) (MAT95XP 型, 美国 Thermo Fisher Scientific 公司)进行统一测定, 定量用内标法。主要测定成分包括 WHO 已规定毒性当量因子 (toxic equivalency factor, TEF)的 12 种 dl-PCBs 组分和 17 种 PCDD/Fs 组分。

母乳中 dl-PCBs 和 PCDD/Fs 含量以总毒性当量(toxic equivalent quantity, TEQ)表示, 按 WHO 规定的 TEF1998 年和 TEF2005 年分别加以计算。TEQ 计算时, 未检出组分按检出限(limit of detection, LOD)计含量^[8]。

2 结果与分析

2.1 志愿者基本情况

采样 3 个地区志愿者年龄分布在 20~35 岁之间, 中位数年龄分别是城市 30 岁、近郊(通渭县)26 岁、远郊(徽县)26 岁; 职业包括工人、农民、职员、自由职业者等, 均无职业暴露; 学历层次从初中到硕士不等, 具体见表 1; 本地居住时间在 10~35 年之间, 中位数时间分别为城市 11 年、近郊 24 年、远郊 23 年。

2.2 志愿者膳食习惯调查

根据对志愿者膳食习惯和频次调查, 采样点 3 个地区志愿者膳食均为混合膳食, 无严格素食者; 动物性食品以肉、奶、蛋食用较多, 鱼、贝、水产品类食用较少, 蔬菜类几乎天天食用; 食用的鱼类多以淡水鱼为主, 具体见表 2。

2.3 甘肃省不同地区母乳中二噁英类物质检测结果

甘肃省 3 个地区母乳中 12 种 dl-PCBs 和 17 种 PCDD/Fs 的含量见表 3 和表 4, 结果以脂肪重量计。dl-PCBs 检测结果显示, 甘肃省 3 个采样点 dl-PCBs 同系物

含量居前 3 的分别是: 最高的是 PCB118, 其次为 PCB156, 第 3 为 PCB105。

表 1 甘肃省 3 个非暴露地区志愿者学历层次构成情况
Table 1 Constitute of educational level of volunteers in 3 non-exposed different areas of Gansu province

学历	人数(占比/%)		
	城关区	通渭县	徽县
初中	8(16%)	20(40%)	21(42%)
高中	4(8%)	6(12%)	5(10%)
中专	4(8%)	7(14%)	6(12%)
大专	10(20%)	9(18%)	9(18%)
本科	16(32%)	8(16%)	9(18%)
硕士研究生	8(16%)	0(0%)	0(0%)
合计	50	50	50

PCDD/Fs 检测结果显示, 所有 17 种 PCDD/Fs 组分在甘肃省采样的 3 个地区中均检测出来, 毒性最高的 2,3,7,8-四氯代二苯并二噁英(2,3,7,8-TCDD)均被检出。其余组分中, 含量较高的有八氯代二苯并二噁英(1,2,3,4,6,7,8,9-octachlorodibenzo-p-dioxin, OCDD), 含量在 102.08~195.18 pg/g 脂肪之间。数据显示, PCDD/Fs 和 dl-PCBs 在甘肃省 3 个地区母乳样品中普遍存在, dl-PCBs 含量远高于 PCDD/Fs, 但按 TEQ 计时, PCDD/Fs 贡献高于 dl-PCBs。

母乳样本中的 PCDD/Fs 总浓度以脂肪中二噁英的含量计, 3 个点依次为徽县(远郊区)>城关区(城市)>通渭县(近郊区)。而总 TEQ 浓度依次为城关区(城市)>通渭县(近郊区)>徽县(远郊区)。由表 4 可见, OCDD 浓度在同系物中的浓度贡献率最高, 分别占各采样点的 70%~80%。其次为 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 和 2,3,4,7,8-PeCDF。按 TEQ 计时, 2,3,4,7,8-PeCDF 和 1,2,3,7,8-PeCDD 对总 TEQ 贡献较大。

表 2 甘肃省 3 个非暴露地区志愿者膳食频次构成情况(%)
Table 2 Composition of dietary frequency of volunteers in 3 non-exposed areas of Gansu province (%)

	鱼			贝			水产品			肉			奶			蛋			蔬菜		
	城关	通渭	徽县	城关	通渭	徽县	城关	通渭	徽县	城关	通渭	徽县	城关	通渭	徽县	城关	通渭	徽县	城关	通渭	徽县
从不	2	14	14	58	90	60	4	60	52	0	6	8	0	18	28	0	14	12	0	0	0
每周少于 1 次	66	66	64	38	4	30	44	30	24	4	42	34	6	12	30	10	12	28	0	0	0
每周 1 次	28	10	14	4	4	8	46	8	16	2	20	24	2	0	6	2	8	8	0	0	0
每周 2 次	4	4	4	0	2	0	0	2	6	0	6	24	0	6	8	18	4	26	0	0	0
每周多次	0	4	4	0	0	2	6	0	2	14	20	10	14	26	18	54	24	12	0	24	12
每天	0	2	0	0	0	0	0	0	0	80	6	0	78	38	10	16	38	14	100	76	88

表 3 甘肃省 3 个非暴露地区母乳样品中 12 种 dl-PCBs 组分含量及毒性当量
Table 3 Content and toxicity equivalents of 12 kinds of dl-PCBs in breast milk samples from 3 non-exposed areas of Gansu province

dl-PCBs	浓度/(pg/g 脂肪)			TEQ/(pg TEQ/g 脂肪)		
	城关区(城市)	通渭县(近郊区)	徽县(远郊区)	城关区(城市)	通渭县(近郊区)	徽县(远郊区)
PCB77	2.97	3.17	1.63	0.000297	0.000317	0.000163
PCB126	11.63	6.82	9.11	1.163	0.682	0.911
PCB169	14.22	8.27	7.51	0.4266	0.2481	0.2253
PCB81	2.96	2.00	1.62	0.000888	0.0006	0.000486
PCB105	313.10	177.20	139.40	0.009393	0.005316	0.004182
PCB114	96.10	37.70	59.00	0.002883	0.001131	0.00177
PCB118	1176.00	568.70	512.20	0.03528	0.017061	0.015366
PCB123	19.40	12.90	4.60	0.000582	0.000387	0.000138
PCB156	490.40	172.80	145.10	0.014712	0.005184	0.004353
PCB157	128.10	47.50	46.60	0.003843	0.001425	0.001398
PCB167	129.50	51.00	17.30	0.003885	0.00153	0.000519
PCB189	52.50	30.10	45.80	0.001575	0.000903	0.001374
dl-PCBs 总量	2436.88	1118.16	989.87	1.662938	0.963954	1.166049

表 4 甘肃省 3 个非暴露地区母乳样品中 17 种 PCDD/Fs 组分含量及毒性当量
Table 4 Content and toxicity equivalent of 17 kinds of PCDD/Fs components in breast milk samples from 3 non-exposed areas of Gansu province

PCDD/Fs	浓度/(pg/g 脂肪)			TEQ/(pg TEQ/g 脂肪)		
	城关区(城市)	通渭县(近郊区)	徽县(远郊区)	城关区(城市)	通渭县(近郊区)	徽县(远郊区)
2,3,7,8-TCDD	0.54	0.63	0.44	0.54	0.63	0.44
1,2,3,7,8-PeCDD	2.02	1.01	0.83	2.02	1.01	0.83
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.65	0.48	0.39	0.065	0.048	0.039
1,2,3,6,7,8-HxCDD	2.51	1.38	2.33	0.251	0.138	0.233
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.48	0.77	0.81	0.048	0.077	0.081
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	16.40	9.78	20.06	0.164	0.0978	0.2006
OCDD	136.51	102.08	195.18	0.040953	0.030624	0.058554
2,3,7,8-TCDF	0.81	0.89	0.80	0.081	0.089	0.08
1,2,3,7,8-PeCDF	0.77	0.84	0.63	0.0231	0.0252	0.0189
2,3,4,7,8-PeCDF	5.67	4.49	3.71	1.701	1.347	1.113
1,2,3,4,7,8-HxCDF	3.38	2.91	2.22	0.338	0.291	0.222
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1.45	2.28	2.05	0.145	0.228	0.205
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.77	0.97	1.14	0.077	0.097	0.114
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1.08	0.16	0.19	0.108	0.016	0.019
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	2.96	2.15	2.66	0.0296	0.0215	0.0266
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.25	0.23	0.32	0.0025	0.0023	0.0032
OCDF	0.94	0.40	0.30	0.000282	0.00012	0.00009
PCDD/Fs 总量	177.19	131.45	234.06	5.634435	4.148544	3.683944

3 结论与讨论

2007 年调查显示,我国母乳中二噁英类物质的含量为(5.4 乳中二噁)pg TEQ/g 脂肪重量,但不同地区含量差异很大,最低为陕西省农村地区样品,含量为 2.6 pg TEQ/g 脂肪,最高为上海市城市地区样品,含量达到 9.9 pg TEQ/g 脂肪^[9]。2009—2011 年调查显示,我国母乳样品中总二噁英类物质的平均含量达到了 6.7 pg TEQ/g 脂肪,高于 2007 年的调查检测数据,上海市城市样品含量最高,达到了 15.4 pg TEQ/g 脂肪,最低的青海省城市样品含量仅有 2.9 pg TEQ/g 脂肪^[9]。本研究检测结果显示甘肃省采样的 3 个地区 dl-PCBs 的 TEQ 分别为 1.66(城市)、0.96(近郊)、1.17(远郊)pg/g 脂肪,均低于第一、二次全国母乳调查所测得的数值 1.7 pg TEQ/g 脂肪;PCDD/Fs 的 TEQ 分别为 5.63(城市)、4.15(近郊)、3.68(远郊)pg TEQ/g 脂肪,发现 3 个地区数值均已经接近或高于 2007 年测得全国平均数据 3.7 pg TEQ/g 脂肪,但仍然低于 2011 年的平均数据 5.0 pg TEQ/g 脂肪,说明甘肃省二噁英类污染水平虽然处于较低水平,但也出现不断升高的趋势。但 PCDD/Fs 组分大都高于北京市 2007 年的测试数值^[8],含量最高的 OCDD 是北京测得数值的 5~10 倍,1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 也在 10 倍以上。甘肃省被检 3 个地区 OCDD 污染情况为远郊区>城市>近郊区,1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 污染情况也表现出与之相似的趋势,而另一种含量较高的污染物 2,3,4,7,8-PeCDF 污染情况为城市点>近郊区>远郊区。OCDD 是环境中二噁英类化合物重要的污染同系物^[10],而大气环境中 90%的 PCDD/Fs 来源于城市和工业垃圾焚烧,因此,远郊区徽县 OCDD 最高可能也与农村地区垃圾处理不够科学等因素有关。多项研究也表明,垃圾焚烧处理可产生大量二噁英类物质,但对垃圾进行科学分类处理后焚烧可减少二噁英类物质的排放^[11-14]。在对浙江省城市垃圾焚烧炉附近居住 10 年的母亲和婴儿进行健康评估时也发现,暴露组母乳 PCDD/Fs 和 PCBs 水平显著高于对照组^[15]。

此外,由于二噁英类化合物可以通过食物链富集,因此通过膳食摄入是一般人群摄入二噁英类化合物的主要途径^[16-17]。人体二噁英污染的负荷 95%来源于食物,SHEN 等^[18]研究发现,母乳中 PCDD/Fs、PCBs 异构体的组成与膳食中异构体的组成相似,母乳中 PCDD/Fs、PCBs 的水平与鱼类、肉类的摄入有关^[19]。2007 年和 2009—2011 年相关研究也证实母乳中二噁英类化合物含量与膳食暴露水平存在显著相关性^[20]。2,3,4,7,8-PeCDF 主要暴露源为陆生生物。结合甘肃省总膳食研究结果与母乳中二噁英类化合物含量研究,也进一步表明母乳中二噁英类化合物是人体长期蓄积结果。志愿者膳食频次调查数据同时提示,城关区被试者摄入肉、奶和蛋的频次远高于其他 2 个地区,推

测该数值高可能与动物性食品的摄入有关,蛋、肉、奶等动物源食品中 PCDD/Fs 和 PCBs 超标的原因可能是因为乳牛、蛋鸡被户外放养在土壤被污染地区或者被饲料污染过的饲料^[21]。国外已有研究证明,当土壤受到约 5 ng PCB-TEQ/kg 干物质污染时,牛肉 PCBs 含量已经超过了最高允许水平;对于鸡蛋/肉鸡来讲,土壤中的 PCDD/Fs 浓度在 5 ng PCDD/F-PCB-TEQ/kg 干物质之下时,就会被污染^[22]。国内也有研究证明饲料和养殖环境中的二噁英类物质可向养殖动物体内迁移^[23],但缺乏此方面的精准数据。

甘肃省开展母乳中二噁英类化合物污染情况相关工作起步较晚,尚缺少相关食品消费量数据,大气和土壤污染与二噁英类化合物人体负荷之间的关系也无一手资料,无法对比各暴露因素之间的相关性,获得的暴露估计值也只能反应某段时期内的人体暴露。但膳食习惯及快速的城市化发展都影响着二噁英污染水平,为此,加强二噁英类化合物污染水平的监测与评估实属必要。

参考文献

- [1] 王鹏,朱荣菊. 食品中持久性有机污染物现状及对策研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(11): 4557-4561.
WANG P, ZHU RJ. Present situation and countermeasures of persistent organic pollutants in food [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(11): 4557-4561.
- [2] GUO W, PAN B, SAKKIAH S, *et al.* Persistent organic pollutants in food: Contamination sources, health effects and detection methods [J]. Int J Environ Res Public Health, 2019, 16(22): 4361.
- [3] GAUR N, NARASIMHULU K, PYDISETTY Y. Recent advances in the bio-remediation of persistent organic pollutants and its effect on environment [J]. J Clean Prod, 2018, 198 (PT.1-1652): 1602-1631.
- [4] BOCIO A, DOMINGO JL. Daily intake of polychlorinated dibenzo-p-dioxins/polychlorinated dibenzofurans, PCDD/PCDFs in foodstuffs consumed in Tragona, Spain a review of recent studies (2001-2003) on human PCDD/PCDF exposure through the diet [J]. Environ Res Sect A, 2005, 97(1): 1-9.
- [5] HUWE J, LARSEN G. Polychlorinated dioxins, furans, and biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers in a U.S. meat market basket and estimates of dietary intake [J]. Environ Sci Technol, 2005, 39(15): 5606-5611.
- [6] LEEUWEN F, FEELEY M, SCHRENK D, *et al.* Dioxins: WHO's tolerable daily intake (TDI) revisited [J]. Chemosphere, 2000, 40(9-11): 1095-1101.
- [7] 张磊. 我国居民二噁英类物质膳食暴露及机体负荷研究[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2014.
ZHANG L. Study on dietary exposure and body load of dioxins in Chinese residents [D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2014.
- [8] 张磊,刘印平,李敬光,等. 2007 年北京市居民母乳中二噁英类化合物负荷水平调查[J]. 中华预防医学杂志, 2013, 47(6): 534-537.
ZHANG L, LIU YP, LI JG, *et al.* Investigation on the load level of dioxins in breast milk of Beijing residents in 2007 [J]. Chin J Prev Med, 2013, 47(6): 534-537.

- [9] 张磊, 李敬光, 赵云峰, 等. 我国母乳中持久性有机污染物机体负荷研究进展[J]. 中国食品卫生杂志, 2020, 32(5): 478–483.
ZHANG L, LI JG, ZHAO YF, *et al.* Research progress on body load of persistent organic pollutants in breast milk in China [J]. *Chin J Food Hyg*, 2020, 32(5): 478–483.
- [10] 张莉娜, 杨玉林, 严春. 我国各地区环境介质中二噁英含量的对比分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(3): 1073–1077.
ZHANG LN, YANG YL, YAN C. Comparative analysis of dioxins content in environmental media in various regions of China [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(3): 1073–1077.
- [11] 王宇珊, 钟昌琴, 刘成坚, 等. 垃圾焚烧厂的环境空气、飞灰和土壤二噁英水平研究及风险评估[J]. 华南师范大学学报, 2020, 52(5): 49–56.
WANG YS, ZHONG CQ, LIU CJ, *et al.* PCDD/Fs concentration in air, fly ash and soil around a municipal solid waste incinerator and its risk assessment [J]. *J South China Norm Univ*, 2020, 52(5): 49–56.
- [12] 王玉祥, 倪刘建, 苏文鹏, 等. 某典型生活垃圾焚烧企业烟气中二噁英类变化特征[J]. 干旱环境监测, 2020, 34(1): 20–24.
WANG YX, NI LJ, SU WP, *et al.* Variation characteristics of dioxins in flue gas in a typical domestic waste incineration enterprise [J]. *Arid Environ Monit*, 2020, 34(1): 20–24.
- [13] 张晓琳, 李琳, 郭文建. 垃圾分类后对垃圾焚烧厂二噁英排放的影响[J]. 资源节约与环保, 2020, (6): 130–131.
ZHANG XL, LI L, GUO WJ. Effect of waste separation on dioxin emission from waste incineration plants [J]. *Res Econom Environ Prot*, 2020, (6): 130–131.
- [14] 李琳. 日本二噁英检测及分解技术的发展[J]. 环境与发展, 2020, 32(4): 240–241.
LI L. Development of dioxins detection and decomposition technology in Japan [J]. *Environ Dev*, 2020, 32(4): 240–241.
- [15] XU P, WU L, CHEN Y, *et al.* High intake of persistent organic pollutants generated by a municipal waste incinerator by breastfed infants [J]. *Environ poll*, 2019, 250: 662–668.
- [16] 韩莹, 刘文彬, 邢颖, 等. 我国大闸蟹中二噁英类持久性有机污染物的暴露水平研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(16): 4302–4307.
HAN Y, LIU WB, XING Y, *et al.* Study on exposure levels of dioxin-like persistent organic pollutants in Chinese hairy crabs [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(16): 4302–4307.
- [17] 朱淑怡, 张露艺, 陈晨, 等. 杭州市售食品中持久性有机污染物膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(11): 4439–4444.
ZHU SY, ZHANG LY, CHEN C, *et al.* Preliminary assessment of dietary exposure to persistent organic pollutants in retailed foods from Hangzhou [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(11): 4439–4444.
- [18] SHEN H, DING G, WU Y, *et al.* Polychlorinated dibenzo-p-dioxins/furans (PCDD/Fs), polychlorinated biphenyls (PCBs), and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in breast milk from Zhejiang, China [J]. *Environ Int*, 2012, 42: 84–90.
- [19] 朱晓玲, 江丰, 刘杰, 等. 湖北省水产品中持久性有机污染物残留状况分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(1): 56–63.
ZHU XL, JIANG F, LIU J, *et al.* Analysis of persistent organic pollutants residues in aquatic products of Hubei province [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(1): 56–63.
- [20] 黄志, 胡余明, 朱明元. 我国母乳中持久性有机污染暴露水平及主要来源研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2014, 26(1): 100–104.
HUANG Z, HU YM, ZHU MY. The level and sources of persistent organic pollution in breast milk of China: A review [J]. *Chin J Food Hyg*, 2014, 26(1): 100–104.
- [21] 周杰, 曾晓龙, 邓雪, 等. 重庆市某城区鸡蛋中指示性多氯联苯含量调查[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2610–2613.
ZHOU J, ZENG XL, DENG X, *et al.* Investigation of indicator polychlorinated biphenyls in eggs of a district in Chongqing [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(7): 2610–2613.
- [22] ROLAND W, CHRISTINE H, HENNER H, *et al.* Reviewing the relevance of dioxin and PCB sources for food from animal origin and the need for their inventory, control and management [J]. *Environ Sci Eur*, 2018, 30(1): 42.
- [23] 赵楠楠, 刘逸飞, 李晓敏, 等. 饲料中二噁英赋存特征及其向养殖动物体内迁移规律[J]. 农产品质量与安全, 2020, (5): 74–79, 91.
ZHAO NN, LIU YF, LI XM, *et al.* The occurrence of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in animal feed and their transport to farmed animals [J]. *Qual Saf Agro-Prod*, 2020, (5): 74–79, 91.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



崔 燕, 副主任医师, 主要研究方向为营养与食品安全。

E-mail: 543710805@qq.com



梁效成, 主任技师, 主要研究方向为营养与食品安全。

E-mail: 825685956@qq.com