

风险评估

我国居民指示性多氯联苯膳食暴露分析

裴紫薇¹, 李玉白^{1,2}, 张小燕^{1,3}, 张磊¹, 吕冰¹, 李敬光¹, 赵云峰¹, 吴永宁¹

- (1. 国家食品安全风险评估中心, 国家卫生健康委员会食品安全风险评估重点实验室, 中国医学科学院创新单元 2019RU014号, 北京 100021; 2. 上海市疾病预防控制中心, 上海 200336;
3. 包头市市场监督管理局, 内蒙古 包头 014000)

摘要:目的 通过开展第六次中国总膳食研究, 获取我国代表性膳食样品中指示性多氯联苯(mPCBs)含量, 开展我国居民对mPCBs的膳食暴露评估及时间变化趋势分析。方法 采用同位素稀释技术-高分辨气相色谱-高分辨质谱(HRGC-HRMS)对全国代表性混合膳食样品中的mPCBs进行测定, 以点评估方法对以标准人所代表的我国居民膳食暴露mPCBs开展评估工作。结果 膳食样品中mPCBs普遍检出, 不同膳食样品的污染物含量不同, 动物性膳食中含量显著高于植物性膳食, 其中谷类含量最低(2.8 pg/g湿质量(fw), 几何均数), 水产类含量最高(118.2 pg/gfw, 几何均数)。我国居民mPCBs膳食摄入量为0.25[0.11, 0.62] ng/kgBW·d(几何平均数±几何均数标准差)。与第四次和第五次中国总膳食研究结果相比, 我国居民膳食暴露水平显著下降($P<0.05$)。结论 mPCBs虽在我国膳食样品中普遍检出, 但我国居民膳食暴露水平持续下降, 与欧美国家相关研究结果相比, 我国居民膳食暴露处较低水平。

关键词: 指示性多氯联苯; 总膳食研究; 膳食暴露评估

中图分类号: R155

文献标识码: A

文章编号: 1004-8456(2022)05-0962-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2022.05.016

Exposure assessment of dietary intake for marker polychlorinated biphenyls in ChinaPEI Ziwei¹, LI Yubai^{1,2}, ZHANG Xiaoyan^{1,3}, ZHANG Lei¹, LYU Bing¹, LI Jingguang¹,
ZHAO Yunfeng¹, WU Yongning¹

- (1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, NHC Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment, Chinese Academy of Medical Sciences Research Unit (No. 2019RU014), Beijing 100021, China;
2. Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention (SCDC), Shanghai 200336, China;
3. Baotou Municipal Bureau of Market Supervision and Administration, Inner Mongolia Baotou 014000, China)

Abstract: Objective Through the 6th Chinese Total Diet Study (TDS), the contents of marker polychlorinated biphenyls (mPCBs) in representative Chinese dietary samples were obtained, and the dietary exposure assessment and temporal trend analysis of mPCBs were carried out. **Methods** Isotope dilution dilution-high resolution gas chromatography-high resolution mass spectrometry (HRGC-HRMS) was used to determine mPCBs in food composite samples, and the intakes of mPCBs of Chinese residents represented by the standard man were evaluated by deterministic approach. **Results** The mPCBs were detected in all composite samples. The contents of mPCBs in varied dietary samples were different, and the animal diet were significantly higher than that of plant diet with the lowest in cereals and the highest in aquatic foods. The dietary intake of mPCBs of Chinese residents was 0.25 [0.11, 0.62] ng/kgBW·d (geometric mean ± geometric mean standard deviation). Compared with the results of the 4th TDS and 5th TDS, the dietary exposure level of Chinese residents decreased significantly ($P<0.05$). **Conclusion** Although mPCBs were detected in all composite samples from 6th TDS, the dietary exposure level of Chinese residents continued to decline compared with 4th and 5th TDS. Compared with the relevant research results from European and American countries, the dietary exposure level of Chinese residents is relatively low.

Key words: Marker polychlorinated biphenyls; Total Diet Study; dietary exposure assessment

收稿日期: 2022-05-17

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC1600500)

作者简介: 裴紫薇 女 助理研究员 研究方向为食品安全 E-mail: peiziwei@cfsa.net.cn

通信作者: 张磊 男 研究员 研究方向为食品安全 E-mail: zhanglei1@cfsa.net.cn

多氯联苯(Polychlorinated biphenyls, PCBs)属于典型持久性有机污染物(Persistent organic pollutants, POPs),在历史上曾大规模生产,主要用作变压器和电容中的绝缘液和热交换液,以及作为添加剂添加到涂料、无碳复写纸、塑料以及建筑材料如水泥等产品中^[1]。实验室研究及人群流行病学研究显示 PCBs 具有肝毒性、生殖毒性、免疫毒性以及内分泌干扰毒性等^[2]。自 20 世纪 70 年代以来,大多数发达国家已经禁止 PCBs 的生产和使用,《斯德哥尔摩公约》于 2001 年 5 月 22 日将 PCBs 列为 POPs^[2]。普通人群(非职业暴露)90% 的 PCBs 暴露来自膳食摄入。欧盟经评估后指出 PCB28、PCB52、PCB101、PCB138、PCB153 和 PCB180 可作为 PCBs 污染状况的指示性单体进行替代性监测,并对欧洲普通人群开展了膳食暴露评估工作^[3]。欧盟法规 No. 1259/2011 中规定了食品中 mPCBs 的最高水平^[4],我国 GB 2762—2017 中也提出了食品中 mPCBs 限量要求^[5]。

总膳食研究方法是世界卫生组织(World Health Organization, WHO)推荐的评价人群通过膳食暴露化学污染物的最有效方法之一。我国已先后于 2007 年和 2009—2013 开展了第四次和第五次中国总膳食研究,对我国代表性食品中指示性 PCBs (marker PCBs, mPCBs)污染情况及人群摄入评估开展研究,对我国居民膳食摄入指示性 PCBs 的健康风险有了初步的认识。但近年来我国工业化急速推进,环境污染日益严重,有必要对中国居民 mPCBs 膳食摄入情况进行持续监控。因此,本研究基于第六次全国总膳食研究,对比分析了中国现阶段居民膳食中指示性 PCBs 摄入情况,并对其膳食摄入风险水平进行了评价。

1 材料和方法

1.1 样品来源

有关第六次全国总膳食研究(2016—2019 年)的具体方法学已在文献中具体描述^[6]。简而言之,在全国 24 个省市自治区(包括黑龙江省、辽宁省、河北省、北京市、吉林省、陕西省、河南省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、青海省、甘肃省、上海市、福建省、江西省、江苏省、浙江省、山东省、湖北省、四川省、广西壮族自治区、湖南省、广东省、贵州省)开展消费量调查和样品采集,并按照当地习惯进行烹调,制备成不同类别的食品混合样。选择与第 4 次和第 5 次中国总膳食研究中相同的食品类别开展 mPCBs 测定工作,即乳类、水产类、蛋类、肉类、蔬菜类、薯类、豆类、谷类等 8 类共 192 份混合膳食样品。

1.2 主要仪器与试剂

仪器设备:加速溶剂萃取仪(ASE350, Thermo Scientific, 美国)、全自动净化系统(JF 602, 北京普立泰科仪器有限公司)、高分辨气相色谱-高分辨质谱仪(HRGC-HRMS, DFS, Thermo Scientific, 德国)。有机溶剂:正己烷(C_6H_{14})(Merck, 德国)、二氯甲烷(CH_2Cl_2)(J. T. Baker, 美国)、乙酸乙酯($CH_3COOCH_2CH_3$)(J. T. Baker, 美国)、甲苯(C_7H_8)(J. T. Baker, 美国),以上均为农残级。标准溶液:稳定同位素 ^{13}C 取代定量内标(P48-M-ES, Wellington Laboratories, 加拿大)、稳定同位素 ^{13}C 取代回收内标(P48-RS, Wellington Laboratories, 加拿大)。

1.3 方法

1.3.1 检测方法

本研究检测方法参考 GB 5009.205—2013《食品中二噁英及其类似物毒性当量的测定》^[7],并进行了一些改动。称取适量膳食样品(植物性食品 40~60 g, 动物性食品 25~40 g),以冷冻干燥机干燥,研磨后与硅藻土混合均匀,加入对应的稳定同位素 ^{13}C 取代定量内标后,以正己烷:二氯甲烷(1:1, V/V)为提取溶剂,用加速溶剂萃取仪进行提取。提取液以旋转蒸发仪蒸发至近干,残渣复溶于 150 mL 正己烷,加入 20~40 g 44%(质量分数)硫酸硅胶进行除脂处理,取上清液浓缩后,以配备复合硅胶柱、碱性氧化铝柱和活性碳柱的全自动净化系统做进一步净化,洗脱液浓缩至约 40 μ L 后,加入稳定同位素 ^{13}C 取代回收内标,涡旋混匀后,以高分辨气相色谱-高分辨质谱仪(High resolution gas chromatography-high resolution mass spectrometry, HRGC-HRMS)测定。

1.3.2 质量控制和质量保证

每批次样品包含 1 个过程空白和 11 个实际样品。过程空白用以指示实验室本底污染水平,在实际样品定量过程中对本底水平进行了扣除。食品中 mPCBs 检测采用双内标,试样提取前加入定量内标以校正试样提取、净化过程中目标化合物的损失,并以回收内标计算定量内标的回收率,本研究中各样品中各定量内标回收率范围为 50%~110%。mPCBs 各组分在各个样品中的定量限由 TargetQuan 软件实时给出,其范围为 0.005~0.027 pg/g。此外,为评价实验室分析测试能力,本实验室自 2005 年起逐年参加由挪威公共卫生研究所组织的食品中 mPCBs 等多种卤代持久性有机污染物测定的国际比对考核,对肉类、蛋类、鱼类、乳制品等 4 类样品中 mPCBs 等开展测定, z 评分范围-1.3~1.8, 结果优秀。

1.3.3 摄入量评估

本研究对未检出的样品,以检出限值(Limit of

detection, LOD)进行污染水平和膳食暴露评估。以营养学概念上的标准人(年龄 18~45 岁,体质量 63 kg,从事轻体力劳动的成年男性)来表征我国成年普通居民,根据样品中 mPCBs 含量和对应食物的消费量来计算膳食摄入量^[7]。为了降低受极端值的影响,本文摄入量的均值用几何均数 $[-1$ 几何均数标准差, $+1$ 几何均数标准差](几何均数 \pm 几何均数标准差)来表示。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 12.0 软件进行数据分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用单因素方差分析对不同食品种类中 mPCBs 含量情况进行比较。对 mPCBs 摄入量与食物贡献率进行 Spearman 相关性分析。对历次 TDS 结果以配对 t 检验方法比较。

2 结果

2.1 膳食样品中 mPCBs 含量

膳食样品中 mPCBs 各组分检出率见表 1。总体上,各组分在 76.7% 以上的样品中都有检出,但不同种类膳食样品间差别较大。动物性样品中的检出率相对较高,水产类样品全部检出,植物性样品中检出率相对较低,如 PCB180 仅在 40% 的谷类样品中检出。以 6 种 mPCBs 之和(\sum_6 mPCBs)表示膳食样品污染水平,第六次全国总膳食研究膳食样品中 \sum_6 mPCBs 含量见表 2。不同膳食样品间的污染水平存在极大差别,在平均水平上,水产类样品含量最高,为 158.0 ± 147.1 pg/g 湿质量(fw),次之为肉类样品,含量为 100.7 ± 263.7 pg/gfw,水产类样品中含量显著高于其他类样品(单因素方差分析, $P < 0.05$)。豆类、薯类、蔬菜类及乳类等样品中 \sum_6 mPCBs 含量不具有统计相关性,而谷类样品中含量最低,显著低于其他类别样品(单因素方差分析, $P < 0.05$)。

2.2 mPCBs 膳食摄入量

我国不同地区普通居民膳食摄入 \sum_6 mPCBs 范

表 1 第六次全国总膳食研究膳食样品中 mPCBs 各组分检出率(%)

食物类别	PCB28	PCB52	PCB101	PCB138	PCB153	PCB180
谷类	86.7	80.0	53.3	60.0	60.0	40.0
豆类	93.3	86.7	66.7	53.3	66.7	60.0
薯类	93.3	86.7	66.7	80.0	80.0	53.3
肉类	100.0	100.0	86.7	100.0	100.0	100.0
蛋类	100.0	100.0	93.3	100.0	100.0	100.0
水产类	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
乳类	93.3	93.3	80.0	93.3	100.0	93.3
蔬菜类	100.0	93.3	66.7	93.3	93.3	73.3
全部样品	95.8	92.5	76.7	85.0	87.5	77.5

表 2 第六次全国总膳食研究膳食样品中 \sum_6 mPCBs 含量(pg/gfw)

Table 2 Contents of \sum_6 mPCBs in dietary samples of the 6th TDS in China (pg/gfw)

食物类别	平均数 \pm 标准差	几何平均数(± 1 几何标准差)	中位数	最小值	最大值
谷类	5.5 \pm 6.4	2.8 (0.7, 12.0)	3.8	0.1	29.6
豆类	11.1 \pm 7.7	8.7 (4.2, 18.1)	9.6	2.3	29.7
薯类	7.9 \pm 6.7	5.7 (2.3, 13.9)	6.7	0.7	31.8
肉类	100.7 \pm 263.7	44.2 (17.6, 110.7)	35.3	21.2	1 319.7
蛋类	34.7 \pm 26.0	28.4 (15.3, 52.8)	24.5	11.2	130.1
水产类	158.0 \pm 147.1	118.2 (52.8, 264.9)	129.2	12.6	705.0
乳类	21.4 \pm 43.8	11.3 (4.3, 30.1)	12.2	1.7	223.3
蔬菜类	7.7 \pm 3.5	6.8 (3.9, 11.7)	7.9	1.8	16.3

围为 0.05~3.80 ng/kg·BW·d,几何平均值为 0.25 [0.11, 0.62] ng/kg·BW·d,中位数为 0.25 ng/kg·BW·d。进一步考察各种类食物摄入对总摄入量的贡献大小,各类食品中,贡献最高的是肉类食品,占比 25.5%,次之为水产类、谷类和蔬菜类,分别占比 20.1%、19.3% 和 16.1%,动物性食品(乳类、水产类、蛋类、肉类)与植物性食品(蔬菜类、薯类、豆类、谷类)对膳食暴露贡献分别为 56.2% 和 43.8%,具体见图 1。此外,肉类贡献率与 \sum_6 mPCBs 膳食暴露量之间呈显著正相关($r=0.64, P < 0.01$),而蔬菜类贡献率则与 \sum_6 mPCBs 膳食暴露量之间呈显著负相关($r=-0.50, P < 0.05$),其他种类食品未见统计相关性,提示膳食暴露量越大则来源于肉类食品的贡献也越大,同时来源于蔬菜类食品的贡献也越小。

3 讨论

3.1 与其他研究比较

将我国 mPCBs 的膳食暴露量与世界范围内测定同样 6 种 mPCBs 的研究进行比较,我国的膳食暴露量明显低于其他发达国家和地区,具体见表 3。这主要是因为我国食品中 mPCBs 污染水平较低。此外,不同人群的饮食习惯、方法学区别如烹调与否、检测方法灵敏度等也会造成这种差异。对于西方国家,乳类和鱼类是最主要的摄入来源,在澳大利亚,牛奶和奶制品是总膳食摄入量的主要来源(50%~55%),其次是鱼和鱼制品(23%~27%)^[8]。比利时人对 mPCBs 的膳食暴露主要源于鱼类及鱼类制品(54.3%),其次为奶类(28.5%)^[9]。而我国植物性食品(蔬菜类、薯类、豆类、谷类)对膳食暴露贡献高达 43.8%,这与我国居民对谷类和蔬菜类的消费量高有关。此外,食物的烹饪方法也会影响 mPCBs 的含量,多项研究表明,食品中 PCBs 的浓度在各种烹饪过程中(包括烤、煮、煎、炒、炸、蒸等)会发生变化^[10-11]。但无论怎样,采用烹调食品进行测定的总膳食研究更能真实反应居民膳食摄入水平。

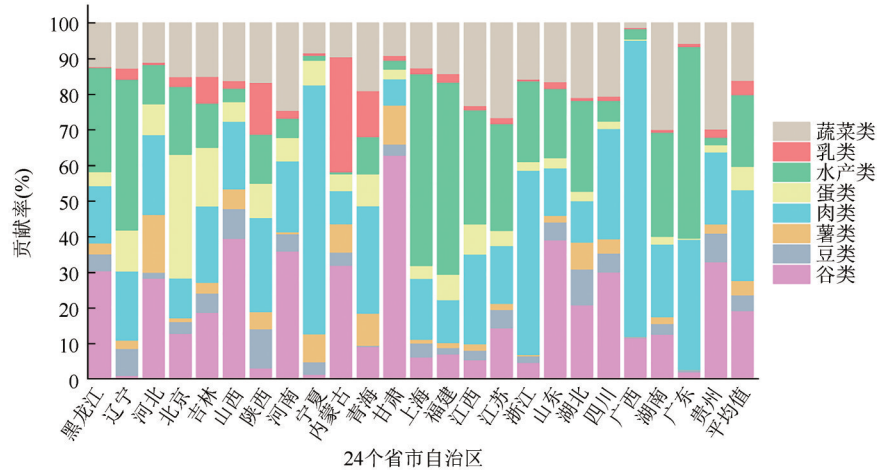


图1 不同地区各类膳食样品对Σ₆mPCBs暴露的贡献

Figure 1 Percentage contribution of various food groups to dietary intake of Σ₆mPCBs in China

表3 其他国家和地区Σ₆mPCBs的膳食摄入量水平

Table 3 Dietary intake levels of Σ₆mPCBs in other countries and regions

地区/人口	年份	膳食摄入量 (ng/kg·BW·d)	评估方法	食物种类
意大利/成年人(13~94岁) ^[12]	1994—1996	10.9	7 d 饮食记录	谷物和谷类产品、水果和蔬菜、鸡蛋、脂肪和油、鱼和渔业产品、肉和肉制品、牛奶和奶制品
欧盟/成年人 ^[3]	2005	10~45	2 d 饮食记录	—
挪威/83 524 名孕妇 ^[13]	2002—2009	2.58	食物频率问卷	鱼和海鲜制品、肉类、奶制品、鸡蛋、水果和蔬菜、谷物、调味品和蛋黄酱、油、零食、糖、杂项
法国/2 624 名成年人(18~79岁) ^[14]	2006—2007	2.71	总膳食研究, 7 d 饮食记录	—
澳大利亚/778 名男性(19~65岁) ^[8]	2006—2011	2.64	24 h 膳食记录	肉类、家禽、野味及内脏、鱼类及鱼类制品、牛奶及乳制品、蛋和蛋制品
比利时/3 083 名个人 ^[9]	2008	5.33	食物频率问卷	乳制品、肉制品、蛋类、水产品、杂项
香港/5 008 名成年人(20~84岁) ^[15]	2010—2011	1.38	总膳食研究, 24 h 膳食摄入问卷	谷物及其产品、肉类、家禽和野味及其产品、鸡蛋及其产品、鱼和海鲜及其产品、乳制品、脂肪和油、饮料、混合菜肴、其他
台湾/各年龄段人口 ^[16]	2015	1.45	台湾全国食品消费数据库	家禽、家畜、内脏、鸡蛋、鱼及其他海鲜、乳制品、油和脂肪、婴儿配方奶粉、婴儿食品、谷物、蔬菜

早期研究多关注于特定 PCBs 商业性混合物的毒性研究,但这些混合物中通常含有多氯代二苯并二噁英和多氯代苯并呋喃(Polychlorinated dibenzop-dioxins/polychlorinated dibenzofurans, PCDD/Fs)和二噁英类多氯联苯(Dioxin-like polychlorinated biphenyls, DL-PCBs)组分,现在认为早期对 PCBs 混合物毒性研究观察的毒性作用都是来自于其中所含有的微量二噁英及其类似物成分,所以现在全球范围内虽然对 PCBs 进行严格限制和管理,但并没有制定健康指导值^[3]。在欧盟食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)的风险评估研究报告中^[3],欧洲成年人 6 种 mPCBs 的平均膳食摄入量为 10~45 ng/kg·BW·d,该研究还对其暴露水平进行了健康风险评估,基于动物实验中单个 mPCBs 化合物的毒理学研究,他们认为欧洲人口膳食暴露水平处于极低风险。相比之下,我国居民膳食暴露更处于较低水平。

3.2 时间变化趋势

2007 年第四次全国总膳食研究首次开展我国普通居民 mPCBs 膳食暴露评估工作,随后的第五次、第六次全国总膳食研究中也开展了相同工作,具体见图 2。在全国范围内,第六次总膳食研究中我国居民 mPCBs 暴露水平维持了自第五次总膳食研究所观察到的整体下降趋势($P < 0.05$),在平均水平上,第六次总膳食研究结果(0.25[0.11, 0.62] ng/kg·BW·d)分别比第四次(1.74[0.99, 3.07] ng/kg·BW·d)和第五次(0.46[0.22, 0.98] ng/kg·BW·d)总膳食研究结果下降了 86% 和 46%。同样地,在一些其他国家也显示了这种下降趋势,在欧洲,成年人非二噁英类多氯联苯(non DL-PCBs, nDL-PCBs)的膳食摄入量从 2005 年的 10~45 ng/kg·BW·d 下降到 2012 年的 4.3~25.7 ng/kg·BW·d^[3,17]。美国农业部(U. S. Department of Agriculture, USDA)报告称,2007—2008 年,肉制品中 3 种 nDL-PCBs 的含量呈下降趋势,到 2012—

2013年,下降为原来的33%^[18]。事实上,大多数关于PCBs的时间趋势的研究结果也显示,在我国环境中PCBs的含量都有不同程度的下降,这也证明我

国自2005年以来实施的更严格的环境法规对中国环境基质和生物基质中的PCBs水平产生了关键的限制影响^[19]。

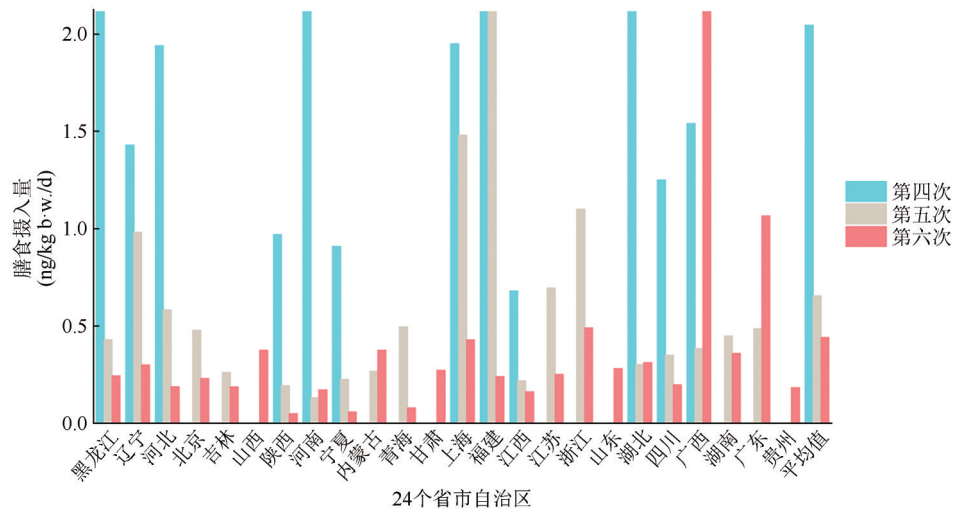


图2 我国居民多次总膳食研究中mPCBs膳食暴露水平比较

Figure 2 Comparison of dietary exposures to mPCBs among TDSs in China

参考文献

- [1] Ahlborg U G, BECKING G C, BIRNBAUM L S, et al. Toxic equivalency factors for dioxin-like PCBs: Report on WHO-ECEH and IPCS consultation, December 1993 [J]. *Chemosphere*, 1994, 28(6): 1049-1067.
- [2] FIORE M, OLIVERI CONTI G, CALTABIANO R, et al. Role of emerging environmental risk factors in thyroid cancer: a brief review [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(7): 1185.
- [3] EFSA. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the Commission related to the presence of non-dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCB) in feed and food (Question N EFSA-Q-2003-114) [J]. *The EFSA Journal*, 2005, 284: 1-137.
- [4] Commission Regulation (EU). Commission Regulation (EU) No 1259/2011 of 2 December 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for dioxins, dioxin-like PCBs and non dioxin-like PCBs in foodstuffs [J]. *Official Journal of the European Union*, 2011, L 320: 18-23. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:320:0018:0023;EN:PDF>.
- [5] 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. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Food and Drug Administration. National food safety standard-Maximum levels of contaminants in foods: GB 2762—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [6] LYU B, LI J G, WU Y N. Characterizing the exposome of food contamination and China total diet study: Project for improving food safety risk assessment in China [J]. *China CDC Weekly*, 2022, 4(9): 157-160.
- [7] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中二噁英及其类似物毒性当量的测定: GB 5009.205—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014. National Health and Family Planning Commission. National food safety standard- Determination of toxic equivalencies of dioxin and dioxin-like compounds in foods: GB 5009.205—2013 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [8] MIHATS D, MOCHE W, PREAN M, et al. Dietary exposure to non-dioxin-like PCBs of different population groups in Austria [J]. *Chemosphere*, 2015, 126: 53-59.
- [9] CIMENCI O, VANDEVIJVERE S, GOSCINNY S, et al. Dietary exposure of the Belgian adult population to non-dioxin-like PCBs [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, 59: 670-679.
- [10] PERELLÓ G, MARTÍ-CID R, CASTELL V, et al. Influence of various cooking processes on the concentrations of PCDD/PCDFs, PCBs and PCDEs in foods [J]. *Food Control*, 2010, 21(2): 178-185.
- [11] MOON H, KIM D H, OH J E. Dietary exposure to PCBs by seafood cooking method: A Korean study [J]. *Chemosphere*, 2019, 215: 775-782.
- [12] FATTORE E, FANELLI R, DELLATTE E, et al. Assessment of the dietary exposure to non-dioxin-like PCBs of the Italian general population [J]. *Chemosphere*, 2008, 73(1): S278-S283.
- [13] CASPERSEN I H, KNUITSEN H K, BRANTSÆTER A L, et al. Dietary exposure to dioxins and PCBs in a large cohort of pregnant women: Results from the Norwegian Mother and Child Cohort Study (MoBa) [J]. *Environment International*, 2013, 59: 398-407.
- [14] SIROT V, TARD A, VENISSEAU A, et al. Dietary exposure to polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans and polychlorinated biphenyls of the French population: Results of the second French Total Diet Study [J]. *Chemosphere*, 2012, 88(4): 492-500.

- [15] CHUNG S W C, LAU J S Y, CHU J Y K. Dietary exposure to non-dioxin-like PCBs of the Hong Kong adult population from a total diet study[J]. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2018, 35(3): 519-528.
- [16] LEE C C, CHANG W H, HUNG C F, et al. Fish consumption is an indicator of exposure to non-dioxin like polychlorinated biphenyls in cumulative risk assessments based on a probabilistic and sensitive approach[J]. *Environmental Pollution*, 2021, 268: 115732.
- [17] EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Update of the monitoring of levels of dioxins and PCBs in food and feed[J]. *EFSA Journal*, 2012, 10(7): 2832.
- [18] LUPTON S J, O'KEEFE M, MUÑIZ-ORTIZ J G, et al. Survey of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans and non-ortho-polychlorinated biphenyls in US meat and poultry, 2012-13: Toxic equivalency levels, patterns, temporal trends and implications [J]. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 2017, 34(11): 1970-1981.
- [19] ZHU M H, YUAN Y B, YIN H, et al. Environmental contamination and human exposure of polychlorinated biphenyls (PCBs) in China: A review[J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 805: 150270.