

风险评估

我国部分地区猪肉、猪肝二噁英污染状况与风险评估

吴斌,张高强,蒋友胜,周健,刘源,林晓仕,彭金铃,李云秀,张建清

(深圳市疾病预防控制中心,广东深圳 518055)

摘要:目的 分析来自 A、B、C、D、E 五省猪肉、猪肝二噁英污染状况,并针对人群膳食暴露量进行评价,为未来制定国家食品安全二噁英限量标准提供基础数据。方法 于 2013 年至 2019 年共采集 146 份猪肉和猪肝样品,参照国家标准方法《食品中二噁英及其类似物毒性当量的测定》(GB 5009.205—2013),采用同位素稀释的高分辨气相色谱/高分辨双聚焦磁式质谱联用(HRGC/HRMS)技术,对样品中的 17 种二噁英单体进行准确定量分析检测。根据食物消费量数据,采用点评估方法进行人群膳食暴露量评估。结果 猪肉和猪肝样品中二噁英毒性当量浓度中位数分别是 0.106、2.32 pg/g·fat;各地区猪肉二噁英浓度水平以 A(0.859 pg/g·fat)>D(0.145 pg/g·fat)>C(0.097 4 pg/g·fat)>B(0.039 9 pg/g·fat)>E(0.023 pg/g·fat)依次降低,猪肝二噁英的浓度水平以 A(3.616 pg/g·fat)>B(1.84 pg/g·fat)>D(1.313 pg/g·fat)>E(0.85 pg/g·fat)依次降低。猪肉和猪肝样品中 PCDD/Fs 的质量浓度单体分布特征相似,均以 OCDD 为主要优势单体,分别占 95%、90%,但猪肉和猪肝 TEQ 浓度单体分布特征存在差异;不同地区同一类别样品的二噁英单体特征也存在较大差异。五个地区居民通过食用猪肉每月摄入的 PCDD/Fs 为 0.192~2.054 pg/kg·bw/m,低于粮农组织/世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)规定的 70 pg/kg·bw/m 的暂定每月容许摄入量(Provisional tolerable monthly intake, PTMI)。结论 我国部分地区市售猪肉及猪肝样品存在一定程度的二噁英污染;经济发达地区猪肉、猪肝样品中二噁英的浓度水平较高,存在明显的空间差异;总体来看居民经猪肉摄入的二噁英暴露风险较小。下一步应持续开展重点食品中二噁英污染水平的监测工作,并针对高暴露地区人群开展二噁英及其类似物的总膳食暴露评估,以更好地保障畜肉类食品安全和人体健康。

关键词:猪肉;猪肝;二噁英;高分辨气相色谱/高分辨双聚焦磁式质谱

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2022)02-0327-07

DOI:10.13590/j.cjfh.2022.02.022

Analysis and risk assessment of PCDD/Fs level in pork and pork liver from five areas of China

WU Bin, ZHANG Gaoqiang, JIANG Yousheng, ZHOU Jian, LIU Yuan, LIN Xiaoshi, PENG Jinling,
LI Yunxiu, ZHANG Jianqing

(Shenzhen Center for Disease Control and Prevention, Guangdong Shenzhen 518055, China)

Abstract: Objective To analyze the levels of dioxin contamination in pork and pork liver from five provinces of China: A, B, C, D, and E, and evaluate the dietary exposure of the population, aiming to provide fundamental data for the future formulation of national limit standards of PCDD/Fs. **Methods** A total of 146 pork and pork liver samples were collected during 2013 to 2019. According to the national standard method "Determination of Toxicity Equivalent of Dioxins and Analogues in Foods" (GB 5009.205-2013), 17 polychlorinated dibenzo-p-dioxin/furans (PCDD/Fs) in food samples were detected by isotope dilution chromatography/high resolution dual-focusing magnetic mass spectrometry (HRGC/HRMS). Based on the food consumption data, the dietary exposure via pork for the population was assessed. **Results** The median TEQ concentration of dioxin in pork and pork liver samples was 0.106 pg/g·fat and 2.32 pg/g·fat, respectively. The concentration of PCDD/Fs in pork in various regions were sequentially decreased by A (0.859 pg/g·fat)>D(0.145 pg/g·fat)>C(0.097 4 pg/g·fat)>B(0.039 9 pg/g·fat)>E(0.023 pg/g·fat), and the decreased order of PCDD/F levels in pork liver samples from various regions was A (3.616 pg/g·fat)>B (1.84 pg/g·fat)>D (1.313 pg/g·fat)>E (0.85 pg/g·fat). The

收稿日期:2021-06-25

基金项目:深圳市科技创新委学科布局项目(JCYJ20170413102320786);深圳市医学三名工程项目(SZSM201811070)深圳市医学重点学科建设经费资助(SZXX067)

作者简介:吴斌 男 实习研究员 研究方向为食品卫生检测技术 E-mail:binwu88@126.com

通信作者:张建清 女 主任医师 研究方向为食品安全 E-mail:969676617@qq.com

patterns for 17 congeners of PCDD/Fs in pork and pork liver samples were similar and OCDD was the dominant congener, accounting for 95% and 90% of the total mass concentrations, respectively. As for the TEQ concentrations, the congener patterns of PCDD/Fs in pork and pork liver samples were inconsistent. In addition, it also varied greatly in the congener patterns of PCDD/Fs for the same class of food samples from different regions. The median intakes of PCDD/Fs via pork for local residents in the five regions ranged from 0.192 to 2.054 pg/kg·bw/month, which were all lower than the PTMI value recommended by JECFA (70 pg/kg·bw/m). **Conclusion** PCDD/Fs contamination in pork and pork liver existed in some areas of China. Spatial difference in PCDD/F levels was observed among the five areas and higher levels of PCDD/Fs for pork existed in developed areas. Residents showed low risk of dioxin exposure via pork intake overall. It is necessary to take long-term monitoring on the levels of PCDD/Fs in retailed food covered the larger area in China, and comprehensive exposure assessments of dioxins from various food categories should be further carried out to ensure the food safety of livestock and human health in the future.

Key words: Pork; pork liver; PCDD/Fs; dietary assessment

二噁英(dioxins)属于多氯取代的芳香烃族化合物,是多氯代二苯并-对-二噁英(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, PCDDs)和多氯代二苯并呋喃(Polychlorinated dibenzofurans, PCDFs)的统称。作为一种典型的持久性有机污染物(Persistent organic pollutants, POPs),因其具有持久性、生物蓄积性和远距离迁移性,严重危害人体健康,二噁英于2001年被列入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》的首批控制名单^[1]。据报道,二噁英是目前地球上最具毒性的化合物之一,对人类的免疫、皮肤、心血管、内分泌、生殖和发育等系统具有高度毒性并具有致畸、致癌、致突变作用,其中以2,3,7,8位氯取代的17种同系物的毒性较大,又以2,3,7,8-四氯二苯并-对-二噁英(2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin, TCDD)毒性最强,被称为“世纪之毒”^[2]。此外,TCDD还与2,3,4,7,8-五氯代二苯并呋喃(2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofuran, 2,3,4,7,8-PeCDF)被国际癌症研究机构列为人类I级致癌物^[3]。

膳食摄入是人体二噁英的主要暴露方式^[4],世界各国历来关注食品中二噁英污染水平的监测研究。我国于2007年颁布并实施《食品中二噁英及类似物毒性当量的测定》方法,虽有少量关于国内部分省份及地区市售食品中二噁英污染状况的研究报道,但由于我国幅员辽阔,且二噁英的检测成本高,食品中二噁英的污染数据还相当缺乏。此外,国内目前还没有制定关于食品中二噁英类物质的限量标准,人体二噁英暴露风险评估尚处于起步和数据积累阶段。近年来,国内二噁英食品污染事件时有发生。2016年11月10日,中国香港食物环境卫生署食品安全中心公布江苏两家企业的大闸蟹二噁英类物质的湿质量计总毒性当量浓度超过欧盟标准的8倍^[5],进一步引发了公众对二噁英所致食品安全的担忧,更加凸显了制定适合我国国情的食品二噁英安全限量标准的重要性及紧迫性。

因此,本研究对中国五个省份市售猪肉及猪肝中二噁英的污染水平进行监测分析,并初步评估居民的膳食暴露风险,为后续制定适合我国国情的重点食品二噁英限量标准提供重要的数据支撑。

1 材料与方法

1.1 主要仪器及试剂

高分辨气相色谱-高分辨双聚焦磁式质谱联用仪(HRGC/HRMS, DFS, 美国 Thermo 公司);自动纯化仪(FMS, 美国 Fluid Management System 公司);加速溶剂萃取仪(ASE, 美国 Thermo Scientific 公司);旋转蒸发仪(R-215, 瑞士 Buchi 公司);氮气蒸发浓缩仪(N-EVAPTM12, 美国 Fisher Scientific 公司);匀浆机(1095SampleMill, 德国 FOSS 公司);冻干机(LD85, 美国 Millrock 公司)。PCDD/Fs 标准溶液:按国家标准方法《食品中二噁英及其类似物毒性当量的测定》GB 5009.205—2013 配置 PCDD/Fs 标准溶液。包括提取内标标准溶液:¹³C 标记的 15 个 PCDD/Fs 贮备标准溶液,以壬烷进一步稀释成 100 pg/μL 的应用溶液, -20 °C 低温保存。进样内标溶液:含有 200 μg/μL 的 ¹³C₁₂-1,2,3,4-TCDD、¹³C₁₂-1,2,3,7,8,9-HxCDD。校正标准溶液:包括 CS0、2、CS1、CS2、CS3、CS4 和 CS5。纯度均 ≥98%, 购自美国 Cambridge Isotope Laboratories 公司。甲苯、正己烷、二氯甲烷、乙酸乙酯、丙酮、苯、壬烷等均为农残级, 购自德国 Merck 公司;硫酸(优质纯, 购自广州市东红化工厂);硅胶(100~200 目, 购自德国 Fluka 公司)、氧化铝粉(70~230 目, 美国 Aldrich 公司)。

1.2 方法

1.2.1 样品采集

实验样品覆盖我国华南地区、华中地区及东北地区共计五个省份(A~E), 随机采自当地超市及农贸市场。分别于 2013、2016、2017、2018、2019 年依次对 A 省、B 省、C 省、D 省及 E 省市售猪肉和猪肝

样品进行采集(其中C省未采集猪肝样品),共计采集样品146份,其中猪肉样品共计80份,猪肝样品66份。分别进行单个样本中17个PCDD/Fs单体化合物含量的检测。

1.2.2 样品前处理

将样品匀浆后,以冻干机冻干至恒重,然后粉碎、均质化后待用。准确称取8g冻干样品,加入10 μ L¹³C标记的PCDD/Fs定量标准溶液,采用1:1的二氯甲烷/正己烷进行加速溶剂提取,收集提取液,转移至500mL平底烧瓶,旋转蒸发仪浓缩至干,晾干至恒质量,采用称质量法计算样品的脂肪含量。采用FMS自动纯化系统依次对提取液进行洗脱、净化和富集并浓缩至干。加入10 μ L PCDD/Fs回收率内标溶液,待上机检测分析。

1.2.3 仪器条件

用HRGC/HRMS检测猪肉及猪肝样品中17种PCDD/Fs单体,毛细管柱DB-5MS(60m \times 0.25mm \times 0.25 μ m),进样口温度280 $^{\circ}$ C,进样方式不分流,传输线温度280 $^{\circ}$ C,载气高纯氦(0.9999),流量1.0mL/min。升温程序:120 $^{\circ}$ C保持1min;50 $^{\circ}$ C/min至220 $^{\circ}$ C(保持15min);1.5 $^{\circ}$ C/min至250 $^{\circ}$ C(保持18min);33 $^{\circ}$ C/min至310 $^{\circ}$ C(保持8min)。

质谱分析条件:电离方式为EI源;电子能量60eV;离子源温度260 $^{\circ}$ C;加速电压5000V;分辨率10000;以选择性离子检测(Selected ion monitor, SIM)模式同时检测目标化合物及其同位素内标化合物的分子离子峰。

1.2.4 样品浓度计算

参照国标方法,采用同位素稀释内标法结合高分辨气相色谱/高分辨质谱技术,计算样品中17个PCDD/Fs目标化合物的质量浓度,计算公式如下:

$$C = \frac{(A1_n + A2_n) \times C_1}{(A1_i + A2_i) \times RRF_{av} \times m}$$

式中:C为样品中PCDD/Fs的浓度,pg/g;RRF_{av}为平均相对响应因子;A1_n和A2_n分别为PCDD/Fs的第一个和第二个监测离子的峰面积;A1_i和A2_i分别为¹³C₁₂定量内标的第一个和第二个监测离子的峰面积;C₁为样品提取前加入的¹³C₁₂标记的定量内标量,单位为pg;m为样品取样量,g。

二噁英的毒性当量浓度(Toxic equivalent quantity, TEQ)采用2005年世界卫生组织(World Health Organization, WHO)规定的毒性当量因子(TEF)计算,公式如下:

$$TEQ_i = TEF_i \times C_i$$

式中:TEQ_i为样品中PCDD/Fs的毒性当量浓度,pg TEQ/g;TEF_i为PCDD/Fs的毒性当量因子;C_i为样

品中PCDD/Fs的质量浓度,pg/g。

1.2.5 二噁英膳食暴露及食品安全风险评估

居民每月通过食用猪肉摄入的二噁英摄入量(pg WHO-TEQ/kg \cdot bw/m)=样品中PCDD/Fs中位数浓度(湿质量计) \times 猪肉摄入量(克/标准人每日)/60kg \times 30,标准体质量以60kg计。

采用食品安全指数法(Index of Food Safety, IFS)进一步评估当地居民食用猪肉的PCDD/Fs健康风险^[6],公式如下:

$$IFS = (EDI \cdot f) / (SI \cdot bw)$$

$$EDI = TEQ \cdot F \cdot E \cdot P$$

式中:EDI为PCDD/Fs的实际毒性当量摄入量估计值,pg/g标准人每日;f为安全摄入量的校正因子,取值为1;SI为安全摄入量,取值为1pg/kg \cdot bw/d^[6];bw为居民平均体质量,以60kg计;TEQ为猪肉中PCDD/Fs的毒性当量浓度;F为猪肉的估计日消耗量,根据2012年中国居民营养与健康状况调查获得的全国人均日猪肉摄入量,取值为64.3g/标准人每日^[7];E为猪肉的可食用部分因子;P为猪肉的加工处理因子,E、P均取1^[8]。

IFS评价标准:当IFS<1时,认为PCDD/Fs对猪肉食品安全没有影响;当IFS=1时,认为PCDD/Fs对猪肉食品安全的影响可以接受;当IFS>1时,认为PCDD/Fs对猪肉食品安全的影响超过了可接受程度,应立即启动风险管理程序。

1.3 数据处理

采用Excel 2019软件工具对数据进行分析整理和作图。

2 结果与讨论

2.1 猪肉、猪肝样品中二噁英的污染水平及空间分布特征

表1为我国五个省份市售猪肉样品中二噁英的浓度水平,如结果所示,以脂肪质量计算,调查的猪肉总样品中PCDD/Fs的TEQ浓度中位数为0.106pg TEQ/g \cdot fat,范围为0.012~4pg TEQ/g \cdot fat。各地区市售猪肉样品中PCDD/Fs浓度水平相差较大,TEQ浓度中位数由大到小依次为:A(0.859pg/g \cdot fat)>D(0.145pg/g \cdot fat)>C(0.0974pg/g \cdot fat)>B(0.0399pg/g \cdot fat)>E(0.023pg/g \cdot fat)。A省猪肉无论是二噁英质量浓度还是毒性当量浓度均远高于其它四省。

表2为我国部分地区市售猪肝样品中二噁英的污染水平,以脂肪质量计算,四个省份猪肝总样品中PCDD/Fs的TEQ浓度中位数为2.32pg TEQ/g \cdot fat,范围为0.17~240.78pg TEQ/g \cdot fat。不同地区猪肝样品中的PCDD/Fs浓度水平存在较大差异,TEQ浓

表1 猪肉中PCDD/Fs质量浓度及毒性当量(TEQ)浓度(pg/g)*
Table 1 Mass concentration and toxic equivalent (TEQ) concentration of PCDD/Fs in pork (pg/g)*

采样年份	采样地区	样品数量	质量浓度		TEQ浓度		超标样品数
			中位数	范围	中位数	范围	
2013	A	30	38.92(2.69)	9.43~167.80(1.59~8.99)	0.859(0.064)	0.21~4.00(0.04~0.17)	15
2016	B	14	3.73(1.36)	1.22~3 994.12(0.33~1 142.68)	0.039 9(0.014)	0.014~2.45(0.005 4~0.7)	1
2017	C	15	2.04(0.571)	1~6.56(0.27~1.83)	0.097 4(0.023)	0.047~0.57(0.014~0.18)	0
2018	D	6	4.77(1.46)	1.66~116.66(0.32~50.01)	0.145(0.040)	0.07~0.49(0.016~0.15)	0
2019	E	15	0.65(0.151)	0.22~47.97(0.028~14.17)	0.023 0(0.006 0)	0.012~2.41(0.001 1~0.71)	1
Total		80	8.80(1.52)	0.22~3 994.1(0.028~1 142.68)	0.106(0.023)	0.012~4(0.001 1~0.71)	17

注:*数据为脂肪计浓度,括弧内为湿重计的结果

表2 猪肝中PCDD/Fs质量浓度及毒性当量(TEQ)浓度(pg/g)*
Table 2 Mass concentration and toxic equivalent (TEQ) concentration of PCDD/Fs in pork liver (pg/g)*

采样年份	采样地区	样品数量	质量浓度		TEQ浓度		超标样品数
			中位数	范围	中位数	范围	
2013	A	32	577.79(20.12)	86.31~314 209.35(3.7~12 099.2)	3.616(0.133)	1.51~240.78(0.06~9.27)	16
2016	B	13	447.22(22.11)	99.78~2330.1(6.7~114.63)	1.84(0.093 5)	0.42~8.23(0.02~0.34)	2
2018	D	6	336.62(16.89)	178.03~755.56(6.63~31.16)	1.313(0.057 2)	0.67~3.51(0.035~0.13)	0
2019	E	15	20.5(1.002)	2.2~283.72(0.067~5.42)	0.85(0.047 2)	0.17~3.37(0.006~0.27)	0
Total		66	337.27(14.66)	2.2~314 209.35(0.067~12 099.2)	2.32(0.095)	0.17~240.78(0.006~9.27)	18

注:*数据为脂肪计浓度,括弧内为湿重计的结果

度中位数由大到小依次为:A>B>D>E,其中A省猪肝样品中PCDD/Fs的浓度值(3.616 pg TEQ/g·fat)约为E省(0.85 pg TEQ/g·fat)的4倍。A省猪肝无论是二噁英质量浓度还是毒性当量浓度均远高于其它四省。

本研究发现,各省市售猪肝样品中PCDD/Fs的质量浓度、TEQ浓度均大于猪肉样品,这与肝脏作为重要的代谢性器官,更容易富集二噁英等有毒有害物质有关^[9]。我国目前缺乏食品中二噁英类化合物的限量标准,欧盟现行关于猪肉、猪肝中PCDD/Fs的参考限量标准分别为1.0、4.5 pg TEQ/g·fat^[10],与之相比,本次研究的A省市售猪肉、猪肝样品均存在超标现象,其中超标的猪肉样本数为15份,占总猪肉样本的18.8%;超标的猪肝样本数为16份,占总猪肝样本的24.2%。B省市售猪肉及猪肝样品中超标的样本数分别为1、2份,E省则检出1份猪肉样本超过欧盟标准。整体来看,五个地区超标的猪肉及猪肝样品共计35份,占猪肉、猪肝总样品数的24.0%,这表明我国市售猪肉及猪肝样品存在一定程度的二噁英污染,应持续开展食品中二噁英污染水平的监测工作以保障食品安全及居民健康。

此外,本研究还发现不同地区同一食品样品中二噁英的浓度水平存在较大差异,A省市售的猪肉、猪肝样品中PCDD/Fs污染水平最高,超标样品数也最多,可能与A省二噁英的环境污染相对较高有关,A省是全国第一经济大省和经济强省,工业是全省的重要经济支柱,工业的高速发展和人口的快速增长均给当地环境带来了更高的二噁英潜在污染,有研究报道,A省一座一线城市普通居民母乳中二

噁英的浓度水平显著高于中国其他非暴露区城市水平^[11],鉴于本次研究采集的部分样品来自于当地农贸市场,因此应针对高污染的猪肉及猪肝样品进行溯源分析,进一步寻找并控制食品二噁英的潜在污染途径。

目前仅有少量关于国内部分地区猪肉、猪肝中二噁英浓度水平的研究报道。有限的公开报道的猪肉二噁英浓度水平结果见表3,可知本研究来自五个省市的市售猪肉样品中PCDD/Fs的浓度低于杭州市、浙江省的水平,而与深圳市、陕西省及广东省的浓度水平相近;而本研究的市售猪肝样品中PCDD/Fs的浓度水平远低于杭州市、浙江省的水平。但是由于采样时间和地域间的差异,未来应该进行同期采集同类型样品进行深入分析比较。

表3 我国部分地区市售猪肉中二噁英的毒性当量浓度
(pg TEQ/g·fat)

地区	采样时间(年)	样品类型	样本数量	浓度值
本研究	2013, 2016—2019	猪肉	80	0.106
		猪肝	66	2.32
深圳市 ^[12]	2004—2008	猪肉	14	0.088
杭州市 ^[13]	2016	猪肉	15	0.44
		猪肝	5	5.49
陕西省 ^[14]	2017	猪肉	15	0.13*
浙江省 ^[15]	2006—2015	猪肉	72	0.79
		猪肝	20	3.64
广东省 ^[16]	2013—2015	猪肉	79	0.113

注:*为PCDD/Fs+DL-PCBs的浓度

2.2 我国部分地区猪肉和猪肝样品中PCDD/Fs的单体分布特征

对比两类食品中PCDD/Fs的单体分布特征发

现,猪肉、猪肝总样品均以 OCDD 为 PCDD/Fs 的主要优势单体,分别占总质量浓度的 95%、90%;但猪肉和猪肝 TEQ 浓度单体分布特征存在较大差异。

进一步对不同地区猪肉及猪肝样品中 PCDD/Fs 的单体分布特征进行比较分析,如图 1 所示, A~D 省猪肉样品中 PCDD/Fs 的单体分布特征较为

相似,均以 OCDD 为主要优势单体(37.2%~91.2%);而 E 省则以 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF 为 PCDD/Fs 的主要优势单体(26.5%)。在猪肝样品上,除 E 省外,A、B、D 三省猪肝样品中 PCDD/Fs 的单体分布趋势相当一致,均以 OCDD 为主要优势单体(89.9%~95.6%)。

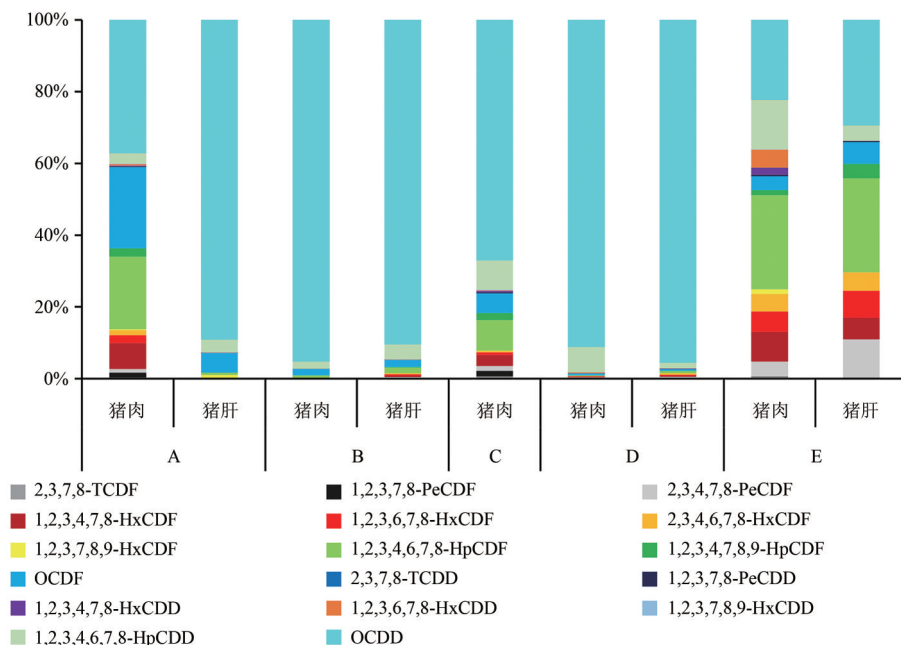


图 1 五个省份猪肉猪肝样品中 17 种 PCDD/Fs 质量浓度单体分布特征

Figure 1 Distribution characteristics of 17 PCDD/Fs mass concentration in pork and pork liver samples from five provinces

图 2 为各地区猪肉、猪肝样品中 PCDD/Fs 的毒性当量单体分布特征,如结果所示,各地区猪肉样品中 PCDD/Fs 的单体分布特征存在较大差异,A~E 省猪肉样品中对总毒性当量浓度贡献最大的单体依次分别为 1,2,3,4,7,8-HxCDF(32.2%)、OCDD(34.6%)、1,2,3,7,8-PeCDD(35.0%)、1,2,3,7,8-PeCDD(38.6%)及 2,3,4,7,8-PeCDF(24.7%)。在猪肝样品上,除 A 省外,B、D、E 三省均以 2,3,4,7,8-PeCDF 为毒性当量浓度贡献最大的单体(30.4%~53.2%)。

综上,本次研究的猪肉、猪肝总样品均以 OCDD 为主要优势单体,与沈海涛等^[15]报道的浙江省市售猪肉、猪肝样品二噁英的污染特征一致,表明 OCDD 在猪肉、猪肝中的蓄积能力较强。更多的研究表明,OCDD 在其他动植物食品甚至环境基质中也是主要的污染物^[17-18],这提示高氯取代的二噁英单体更容易在外界基质中蓄积。但不同地区同一类食品样品的二噁英单体特征存在较大差异,可能与二噁英地域性本底污染特征不同、饲养过程饲料添加剂成分差异以及动物品种差异导致对各污染物单体的吸收和代谢差异有关^[19]。其中,特别注意的是来自 E 省的市售猪肉、猪肝样品中二噁英的质量浓度单体特征

明显不同于其他省份,而 E 省处于东北地区,在地理位置上与地处华南、华中地区的调查省份空间距离较远,二噁英受相同地域性本底污染来源影响的可能性较小,可能在一定程度上造成了该地区食品样品二噁英单体特征的较大差异。因此,未来应进一步加强对调查的食品样品进行产地等信息的整理及分析,以更好地明确二噁英的污染来源。

2.3 居民 PCDD/Fs 猪肉膳食暴露和 IFS 风险评估

对居民的猪肉膳食暴露和食品安全指数风险进行评估,结果如表 4 所示,五个省份居民通过食用猪肉每月摄入的 PCDD/Fs 量为 0.192~2.054 pg/kg·bw/m,每周摄入的 PCDD/Fs 量为 0.045~0.479 pg/kg·bw/w。此外,以 WHO 推荐的每日耐受摄入量 1 pg/kg·bw/d^[20]为标准进一步估算居民的食品安全指数,五个地区居民食用猪肉的 PCDD/Fs 食品安全指数范围分布在 0.0064~0.0685 之间。

JECFA 规定人体 PCDD/Fs 的 PTMI 为 70 pg/kg·bw/m^[21],欧盟食品科学委员会(Scientific Committee on Food, SCF)推荐人体 PCDD/Fs 的每周容许摄入量(Tolerable weekly intake, TWI)为 14 pg/kg·bw/w^[22],与之相比,本研究调查的五个地区居民通过食用猪肉摄入的 PCDD/Fs 均远低于参

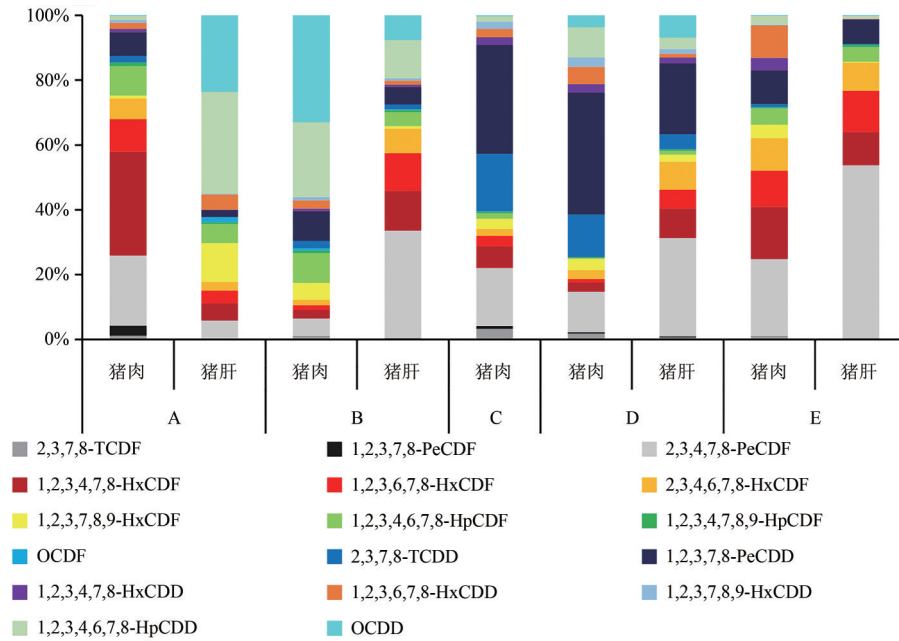


Figure 2 Distribution characteristics of 17 PCDD/Fs TEQ concentration in pork and pork liver samples from five provinces

表4 猪肉中PCDD/Fs膳食暴露和IFS风险评估

Table 4 PCDD/Fs dietary exposure and food safety index (IFS) risk assessment in pork

地区	TEQ 浓度/ (pg/g·ww)	月摄入量/ (pg/kg·bw/month)	周摄入量/ (pg/kg·bw/week)	IFS (以 WHO 推荐值为标准)	IFS (以 EFSA 推荐值为标准)
A	0.063 9	2.054(2.93%)	0.479(3.42%)	0.068 5	0.273 9
B	0.013 5	0.434(0.62%)	0.101(0.72%)	0.014 5	0.057 9
C	0.023 3	0.749(1.07%)	0.175(1.25%)	0.025 0	0.099 9
D	0.040 0	1.286(1.84%)	0.300(2.14%)	0.042 9	0.171 5
E	0.005 97	0.192(0.27%)	0.045(0.32%)	0.006 4	0.025 6

注:括弧内为当前数值占 TWI、PTMI 推荐值的百分比

考值,提示居民经猪肉摄入 PCDD/Fs 导致的健康风险处于较低水平。此外,本研究五个地区居民食用猪肉的安全指数均小于评价标准 1,表明本次调查的市售猪肉中 PCDD/Fs 的污染水平对食品安全的风险较小。但需要注意的是,本研究仅对居民膳食结构中的其中一类重要动物性食品——猪肉进行 PCDD/Fs 膳食暴露及风险评估,并未综合考虑其它高污染动物性食品如鱼肉、奶制品等的膳食暴露,而人体内 90% 以上的二噁英主要来源于动物性食物,这在很大程度上低估了人体 PCDD/Fs 的膳食暴露和健康风险。此外,本研究仅对 PCDD/Fs 化合物进行分析,并未涵盖二噁英类多氯联苯化合物 (Dioxin-like polychlorinated biphenyls, DL-PCBs) 的暴露风险。因此,未来应针对二噁英及其类似物综合开展人体多种动物性食品暴露的风险评估,从而更好地保障食品安全和人体健康。

3 结论

本研究针对我国五省份市售猪肉、猪肝样品中二噁英的浓度水平进行监测分析,发现市售猪肉及

猪肝样品存在一定程度的二噁英污染,总超标率占调查样品总数的 24%;经济发达地区猪肉、猪肝样品中二噁英的浓度水平明显高于低发达地区,存在明显的空间地域差异。人体猪肉二噁英膳食摄入量低于 WHO 规定的每月耐受摄入量。由于猪肉在普通居民日常消费中占据较高比重,未来应作为重点食品,开展二噁英污染水平的持续监测,并针对高暴露地区人群开展二噁英及其类似物的综合膳食暴露评估,以更好地保障食品安全和人体健康。本研究为后续制定适合我国国情的重点食品二噁英限量标准和污染变化趋势与溯源分析提供了重要的基础数据。

参考文献

[1] 张庄, 陈卫红. 二噁英类化合物的健康危害[J]. 环境与职业医学, 2019, 36(11): 1007-1009.
ZHANG Z, CHEN H W. Health hazards of dioxins [J], compounds Journal of Environmental & Occupational Medicine, 2019, 36(11): 1007-1009.

[2] KIVIRANTA H, HALLIKAINEN A, OVASKAINEN M L, et al. Dietary intakes of polychlorinated dibenzo-p-dioxins,

- dibenzofurans and polychlorinated biphenyls in Finland [J]. *Food Additives & Contaminants*, 2001, 18 (11): 945-953.
- [3] MCGREGOR D B, PARTENSKY C, WILBOURN J, et al. An IARC evaluation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans as risk factors in human carcinogenesis [J]. *Environmental Health Perspectives*, 1998, 106 (Suppl 2): 755-760.
- [4] WANG L Y, DING G D, ZHOU Z G, et al. Patterns and dietary intake of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in food products in China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2017, 51: 165-172.
- [5] 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 W B, XING Y, et al. Study on exposure levels of dioxin-like persistent organic pollutants in Chinese hairy crabs [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2018, 9(16): 4302-4307.
- [6] 吴晓丽, 赵毕, 齐小娟, 等. 食品中化学污染物风险评估方法研究进展[J]. *预防医学*, 2020, 32(7): 682-685.
- WU X L, ZHAO B, QI X J, et al. Review on the risk assessment methods for chemical pollutants in food [J], *Preventive Medicine*, 2020, 32(7): 682-685.
- [7] 常继乐, 王宇. 中国居民营养与健康状况监测 2010—2013 年综合报告[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2016.
- CHANG J L, WANG Y. 2010-2013 Report on Monitoring of Nutrition and Health Status of Chinese Residents [M], BEIJING: Peking University Medical Press, 2016.
- [8] 郭海霞, 张喜庆, 王明林, 等. 食品安全指数法评估山东省猪肉中兽药残留风险. *现代预防医学*, 2019, 46(7): 1194-1198.
- GUO H X, ZHANG X Q, WANG M L, et al. Risk estimate of pork based on food safety indexes, Shandong [J], *Modern Preventive Medicine*, 2019, 46(7): 1194-1198.
- [9] 张建军, 吴景欢, 闫克栋, 等. 亚慢性 2,3,7,8 四氯二苯并二噁英暴露对大鼠肝脏的毒性[J]. *汕头大学医学院学报*, 2010, 23(4): 205-208.
- ZHANG J J, WU J H, YAN K D, et al. Liver Toxicity of Subchronic 2, 3, 7, 8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin Exposure in Rats [J], *Journal of Shantou University Medical College*, 2010, 23(4): 205-208.
- [10] 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 L*, 2011, 320/18-23.
- [11] DENG B, ZHANG J Q, ZHANG L S, et al. Levels and profiles of PCDD/Fs, PCBs in mothers' milk in Shenzhen of China: Estimation of breast-fed infants' intakes [J]. *Environment International*, 2012, 42: 47-52.
- [12] 张建清, 蒋友胜, 周健, 等. 深圳市市售食品中二恶英、多氯联苯污染现状研究[J]. *华南预防医学*, 2009, 35(6): 4-8.
- ZHANG J Q, JIANG Y S, ZHOU J, et al. Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans and polychlorinated biphenyls in retail foods in Shenzhen [J], *South China Preventive Medicine*, 2009, 35(6): 4-8.
- [13] 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 S Y, ZHANG L Y, CHEN C, et al. Preliminary assessment of dietary exposure to persistent organic pollutants in retailed foods from Hangzhou [J], *Journal of Food Safety and Quality*, 2017, 8(11): 4439-4444.
- [14] 刘存卫, 郭蓉, 王玮, 等. 陕西省动物源性食品中二噁英类化合物污染调查分析[J]. *卫生研究*, 2018, 47(6): 924-928.
- LIU C W, GUO R, WANG W, et al. Review on the risk assessment methods for chemical pollutants in food [J], *Journal of Hygiene Research*, 2018, 47(6): 924-928.
- [15] SHEN H T, GUAN R F, DING G Q, et al. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins/furans (PCDD/Fs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in Zhejiang foods (2006-2015): Market basket and polluted areas[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 574: 120-127.
- [16] WU W L, DENG X L, ZHOU S J, et al. Levels, congener profiles, and dietary intake assessment of polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in beef, freshwater fish, and pork marketed in Guangdong Province, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 615: 412-421.
- [17] 刘潇, 何金铜, 赵明, 等. 典型地区食品中二噁英的污染水平分析[J]. *公共卫生与预防医学*, 2016, 27(4): 19-22.
- LIU X, HE J T, ZHAO M, et al. Investigation on the levels of PCDD/Fs in different foods from typical regions [J], *Journal of Public Health and Preventive Medicine*, 2016, 27(4): 19-22.
- [18] 彭金铃, 张建清, 陆少游, 等. 深圳市大气细颗粒物中二噁英污染水平及人群暴露风险分析[J]. *卫生研究*, 2015, 44 (4): 570-575.
- PENG J L, ZHANG J Q, LU S Y, et al. Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in airborne fine particulate matter and inhalation risk assessment for local residents of Shenzhen [J], *Journal of Hygiene Research*, 2015, 44(4): 570-575.
- [19] 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*, 2015, 44 (4): 570-575.
- ZHAO N N, LIU Y F, LI X M, et al. Occurrence characteristics of dioxins in feed and their migration into cultured animals [J], *Quality and Safety of Agro-Products*, 2015, 44(4): 570-575.
- [20] JECFA. Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. Fifty-seventh Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [R]. WHO Technical Report Series, 2001, 909: 139-146.
- [21] Evaluation of certain food additives and contaminants. Thirty-third report of the joint fao/who expert committee on food additives [J]. *World Health Organization Technical Report Series*, 1989, 776: 1-64.
- [22] LISTED N. Assessment of the health risk of dioxins: re-evaluation of the tolerable daily intake (TDI). Geneva, Switzerland, 25-29 May 1998 [J]. *Food Additives and Contaminants*, 2000, 17(4): 223-369.