

# 上海市徐汇区孕妇全氟化合物膳食暴露水平及其与围产期不良事件的关系

张梅如, 姚嘉晖, 宋瑞, 许东

上海市徐汇区疾病预防控制中心环境与职业卫生科, 上海 200032

## 摘要:

**[背景]** 全氟化合物(PFCs)是具有持久污染性的化合物。妇女孕期膳食暴露可能影响孕期不良事件及产后抑郁的发生风险。

**[目的]** 评估上海市徐汇区孕期妇女 PFCs 的膳食暴露风险, 膳食 PFCs 暴露与孕期不良事件及产后抑郁风险的关系。

**[方法]** 本研究是一项小型队列研究。2017年7月—2018年9月纳入徐汇区常住的孕期妇女, 采用询问调查的方式进行问卷数据收集。在纳入时收集调查对象的基本信息、膳食信息, 其中膳食信息通过食品频率调查问卷(FFQ)调查获得。在纳入对象产后42d内对其进行回访, 收集孕期不良事件的发生和产后抑郁情况。根据实际的膳食调查结果, 对纳入对象日常食用量较大的市售主食类、禽畜肉类、水产品类、蔬菜类、乳与乳制品、禽蛋类等食品进行采样和PFCs水平检测。采样点覆盖徐汇区所有街道, 包括农贸市场、超市、便利店、商铺等类型。根据膳食调查结果和实验室检测结果, 计算PFCs人均日暴露水平和危害指数(HR)。使用logistic回归估计PFCs暴露水平与发生孕期不良事件和产后抑郁风险的关系, 并根据四分位间距将PFCs暴露水平分成4组, 分别计算OR值和趋势P值。

**[结果]** 本研究纳入孕妇345名, 平均年龄为(29.61±4.92)岁, 其中26.37%的研究对象至少发生过一项孕期不良事件, 30.14%的对象《爱丁堡产后抑郁自测量表》(EPDS)得分≥12分。采集食品样品共132件, 检出PFCs主要分布在乳与乳制品、禽肉、畜肉、禽蛋、淡水产品和海水产品中, 其中淡水产品检出率最高, 达到100%。PFCs在检出的食物中平均水平为0.02~2.10 μg·kg<sup>-1</sup>。PFCs的HR为4.44。在产后抑郁风险与全氟辛烷磺酸(PFOS)暴露的模型中观察到OR值变大的趋势(P<sub>趋势</sub>=0.02)。

**[结论]** 膳食PFCs的暴露对孕妇可能存在健康风险。本研究提示上海市徐汇区孕期妇女可以适当减少淡水产品的摄入, 以降低PFCs的暴露风险。

**关键词:** 全氟化合物; 孕妇; 孕期不良事件; 产后抑郁; 健康风险评估

**Dietary exposure level of to perfluorinated compounds and its relationship with perinatal adverse events in pregnant women in Xuhui District of Shanghai** ZHANG Meiru, YAO Jiahui, SONG Rui, XU Dong (Department of Environmental Health & Occupational Health, Xuhui District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200032, China)

## Abstract:

**[Background]** Perfluorinated compounds (PFCs) are persistent organic pollutants. Dietary exposure to PFCs among pregnant women may lead to elevated risks of adverse events during pregnancy and postpartum depression.

**[Objective]** To estimate potential risk of dietary exposure to PFCs among pregnant women in Xuhui District, Shanghai, and the relationship between dietary PFCs exposure and risks of adverse events during pregnancy and postpartum depression.

**[Methods]** This study was a small cohort study which recruited women residing in Xuhui District from July 2017 to September 2018. All information was collected through questionnaires by trained investigators. Basic information and dietary information were collected at the time of inclusion, where the dietary information was obtained through the Food Frequency Questionnaire (FFQ). A follow-up visit was conducted within 42 d after delivery to collect the occurrence of



DOI 10.11836/JEOM22396

## 基金项目

上海市卫生健康委员会科研课题青年项目 (20194Y0183)

## 作者简介

张梅如(1991—), 女, 硕士, 主治医师;  
E-mail: xhcdc\_zmr@126.com

## 通信作者

许东, E-mail: xudong4478@163.com

## 作者中包含编委会成员 无

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2022-09-25

录用日期 2023-05-24

文章编号 2095-9982(2023)07-0796-09

中图分类号 R17

文献标志码 A

## 补充材料

[www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM22396](http://www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM22396)

## 引用

张梅如, 姚嘉晖, 宋瑞, 等. 上海市徐汇区孕妇全氟化合物膳食暴露水平及其与围产期不良事件的关系 [J]. 环境与职业医学, 2023, 40(7): 796-804.

## 本文链接

[www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM22396](http://www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM22396)

## Funding

This study was funded.

## Correspondence to

XU Dong, E-mail: xudong4478@163.com

## Editorial Board Members' authorship No

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2022-09-25

Accepted 2023-05-24

## Supplemental material

[www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM22396](http://www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM22396)

## To cite

ZHANG Meiru, YAO Jiahui, SONG Rui, et al. Dietary exposure level of to perfluorinated compounds and its relationship with perinatal adverse events in pregnant women in Xuhui District of Shanghai[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2023, 40(7): 796-804.

## Link to this article

[www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM22396](http://www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM22396)

adverse events during pregnancy and postpartum depression. According to the results of dietary survey, sampling and PFCs level testing were conducted on commercially available staple foods, poultry and livestock meat, aquatic products, vegetables, milk and dairy products, eggs, etc. The food sampling points covered all subdistricts in Xuhui District, including farmers' markets, supermarkets, convenience stores, and shops. Daily exposure level and hazard ratio (HR) of PFCs per capita were calculated according to the dietary survey and laboratory testing. Logistic regression was used to estimate the relationship between PFCs exposure and the risks of adverse events during pregnancy and postpartum depression. The levels of PFCs exposure were further divided into 4 groups according to interquartile range, and OR and  $P_{\text{trend}}$  value were calculated respectively.

**[Results]** A total of 345 pregnant women were recruited in this study, whose average age was (29.61±4.92) years. Among them, 26.37% subjects reported at least one adverse event during pregnancy, and 30.14% subjects reported an Edinburgh Postnatal Depression Scale (EPDS) score  $\geq 12$ . A total of 132 food samples were collected and tested, and PFCs were positive mainly in milk and dairy products, poultry meat, livestock meat, eggs, fresh water products, and sea water products. The PFCs positive rate in fresh water products was the highest, reaching 100%. The average concentration of PFCs in the positive samples was 0.018-2.10  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . The HR of PFCs was 4.44. A higher risk of postpartum depression was found along with a higher perfluorooctane sulfonate (PFOS) exposure level ( $P_{\text{trend}}=0.02$ ).

**[Conclusion]** Dietary PFCs exposure may pose a health risk to pregnant women. The study findings suggest that decreasing the intake of freshwater products might help reduce the risk of PFCs exposure among pregnant women in Xuhui district, Shanghai.

**Keywords:** perfluorinated compounds; pregnant woman; adverse event during pregnancy; postpartum depression; health risk assessment

全氟化合物(perfluorinated compounds, PFCs)是一类人工合成的脂肪烃类化合物,通常含有一个疏水的烷基链和一个亲水的功能基团,烷基链一般由4~18个全氟化的碳链构成。该类化合物的优良化学结构使其被广泛应用于多个领域,但也正是这种稳定的结构,使其具有更持久的污染性、生物积累性、难降解性等特点。PFCs主要包括全氟羧酸类、全氟磺酸类等,其中全氟辛酸(perfluorooctanoic acid, PFOA)和全氟辛烷磺酸(perfluorooctane sulfonate, PFOS)是目前应用最广泛并最受关注的两种全氟有机物<sup>[1]</sup>。

PFCs暴露广泛,全球人体血液样本中均可以检出<sup>[2-4]</sup>。但目前全球对PFCs的参考摄入量并没有统一的标准值,美国毒物和疾病登记署(Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR)给出的PFOS和PFOA的每日暴露量(estimated daily intake, EDI)参考值分别为 $20\times 10^{-4}\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ 和 $30\times 10^{-4}\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ <sup>[5]</sup>;2020年9月欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)给出4种PFCs,包括PFOA、PFOS、全氟壬烷羧酸(perfluorononanoic acid, PFNA)和全氟己烷磺酸(perfluorohexane sulfonic acid, PFHxS)的合计周允许摄入量(tolerable weekly intake, TWI)参考值为 $44\times 10^{-4}\mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ <sup>[6]</sup>。Fromme等<sup>[7]</sup>综合了潜在的PFCs摄入途径,使用模型计算得出成年人平均和最高日常摄入PFOS的量分别为1.6和8.8  $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,PFOA为2.9和12.6  $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。但是不同地区人群摄入PFCs的途径和能力都不尽相同,因此对PFCs暴露应该有针对性的探究。

多项研究表明,PFCs具有肝毒性、生殖毒性、发

育毒性、免疫毒性和内分泌干扰作用<sup>[8-10]</sup>。人体PFCs暴露主要有3种途径:膳食摄入、皮肤接触和呼吸。在膳食摄入方面,母乳、牛奶、果蔬、禽畜肉和海水产品等食物均检出了不同水平的PFCs;衣物、家具PFCs的挥发等是皮肤暴露的主要来源;空气和灰尘则是呼吸摄入PFCs的主要来源。膳食摄入是人类PFCs暴露的重要途径<sup>[11]</sup>。并且膳食PFCs暴露可以采用调整膳食结构的方式来降低暴露量,对减少总的PFCs暴露量具有较为实际的指导意义。

孕期是一个特殊且重要的时期,国内外也展开了多项关于妊娠期母体PFCs暴露水平与子代发育关系的研究<sup>[12-14]</sup>,但是针对PFCs暴露与孕期不良事件及产后抑郁的研究较少。因此本研究拟通过对上海市徐汇区孕妇进行膳食调查,了解该人群的实际膳食情况,并对其食用量较大的市售不同种类食物(主要包括大米、畜肉及禽肉类、水产品、蔬菜、蛋和乳制品等)进行主要PFCs污染物水平的检测,从膳食途径评估PFCs暴露,探索膳食PFCs暴露与孕期不良事件及产后抑郁风险的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 人群研究

**1.1.1 研究设计及研究对象** 本研究是一项基于医院产检孕妇的小型前瞻性人群队列研究。根据实际情况及工作量,从2017年7月—2018年9月纳入来自上海市徐汇区第八人民医院的徐汇区常住孕期妇女约345人(户籍人口和来沪居住6个月以上人员)。排除严重精神疾病患者;有肝炎(传染期)、活动性肺结核、

艾滋病等传染性疾病者；痴呆、聋哑者；卧床不起、行动不便者；及患其他影响调查进行的疾病患者。研究流程如图 1 所示。本研究经徐汇区疾病预防控制中心伦理委员会审批通过(批准号: 20190523)。所有参与本研究的对象均已签署知情同意书。

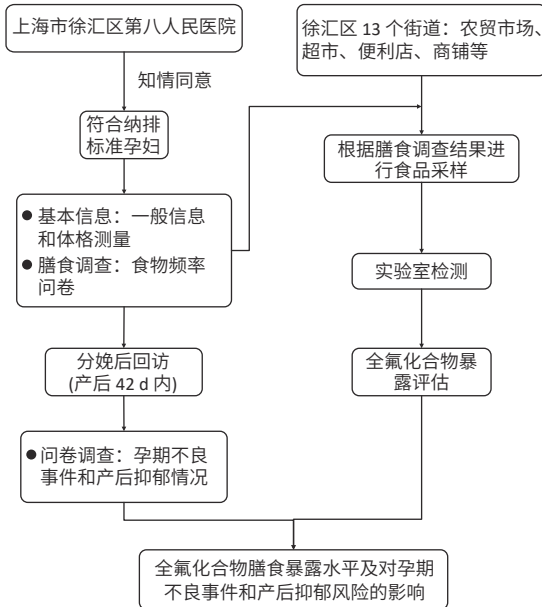


图 1 研究流程图

Figure 1 Flow chart of the study

**1.1.2 信息收集** 本研究采用询问调查的方式进行问卷数据收集。调查问卷的主要内容包括基本信息、膳食调查、孕期不良事件和产后抑郁情况。询问调查由培训合格的调查员以面对面的方式进行。

基本信息包括一般信息和体格测量。一般信息包括孕周、出生日期、文化程度、家庭收入、孕次和产次等；体格测量则在纳入现场进行，包括身高、体重和静息血压，血压测量 3 次，统计分析时取 3 次测量的平均值。

膳食调查通过《食物频率问卷》调查获得，收集调查对象过去 3 个月内各种食物消费频率及消费量，包括主食、水果、蔬菜、豆类与豆制品、乳与乳制品、菌藻类、坚果、禽肉、畜肉、禽蛋类、淡水产品和海水产品。

孕期不良事件和产后抑郁情况在纳入对象产后 42 d 内完成，问卷内容包括此次孕程中各种不良事件的发生情况和《爱丁堡产后抑郁自测量表》(Edinburgh Postnatal Depression Scale, EPDS)。孕期不良事件包括妊娠期糖尿病、妊娠期高血压、甲状腺异常、先兆流产、糖耐量异常、唐氏筛查阳性、畸形筛查阳性、前置胎盘、羊水过少、胎位不正和胎儿生长受限。若孕期至少发生 1 项上述事件，则为发生孕期不良事

件，为二分类结局指标。EPDS 共 10 个条目，每个条目以 0~3 分赋值，分别为 0 分(从未)、1 分(偶尔)、2 分(经常)、3 分(总是)。总分为 30 分，得分越高，表示抑郁程度越严重。EPDS 在本研究人群中的 Cronbach's  $\alpha$  为 0.883。EPDS 总分在 12 分及以上提示可能患有不同程度的抑郁性疾病<sup>[15]</sup>。因此按照 EPDS 总分  $\geq 12$  分为界限，将其定义成二分类变量。

研究开始前，对所有调查员事先均进行全面培训，并制定标准操作流程。问卷回收时由专门的质控员对问卷的逻辑性和完整性问题进行质控，并在问卷录入过程中交叉质控 10% 的问卷。

## 1.2 食品采样与检测

**1.2.1 样品采集** 根据孕妇《食物频率问卷》调查结果，对孕妇日常食用量较大的市售主食类、禽畜肉类、水产品类、蔬菜类、乳与乳制品、禽蛋类等进行采样分析。为代表徐汇区市售食物 PFCs 含量的整体情况，采样点覆盖徐汇区所有的 13 个街道，包括农贸市场、超市、便利店、商铺等类型，并且每个采样点同品类样品不超过 5 件。

其中禽畜肉类覆盖猪肉、牛肉、羊肉等畜肉及鸡肉、鸭肉等；水产品覆盖海水产品(海水鱼、海水虾等)及淡水产品(淡水鱼、淡水虾等)；蔬菜类根据其可食用部分与土壤及空气等 PFCs 的蓄积介质接触范围的不同，分为叶菜类(大白菜、菠菜、小白菜、韭菜等)、瓜茄类(茄子、番茄、黄瓜、冬瓜等)、块根类(白萝卜、胡萝卜、大头菜等)、块茎类(马铃薯、莲藕、茭白、竹笋等)及豆类(毛豆、刀豆、扁豆等)。样品使用聚乙烯密封采样袋采集，采集完成后存放于装有冰袋的保温箱里，立即送往实验室完成实验前处理并检测，留样于  $-18^{\circ}\text{C}$  条件冻存。在样品采集过程中，避免与聚四氟乙烯或其他含氟材料接触。

**1.2.2 试剂及设备耗材** 本研究中检测的目标 PFCs 包括全氟丁烷羧酸(perfluorobutanoic acid, PFBA)、全氟戊烷羧酸(perfluoropentanoic acid, PFPeA)、全氟己烷羧酸(perfluorohexanoic acid, PFHxA)、全氟庚烷羧酸(perfluoroheptanoic acid, PFHpA)、全氟辛烷羧酸、全氟壬烷羧酸、全氟辛烷磺酸和全氟癸基磺酸(perfluorodecanesulfonic acid, PFDS)。

试剂及耗材: 同位素标记标准品( $^{13}\text{C}_4$ -PFOA、 $^{13}\text{C}_4$ -PFOS)(北京振翔科技有限公司, 中国)用于内标法定量分析。色谱纯度甲醇、乙腈(默克公司, 德国); 色谱纯度乙酸铵(上海安谱, 中国); 盐酸(国药集团, 中国); 实验用水均为自制超纯水。全氟辛酸净化柱[华谱生



物科技(重庆)有限公司,中国],玻璃净化管内含 100 mg 乙二胺-N-丙基硅烷化硅胶吸附剂、40 mg C18、20 mg 石墨化炭黑填料。

设备:液相色谱串联质谱仪、三重四级杆串联质谱仪配电喷雾离子源(赛默飞,美国)。

**1.2.3 样品前处理** 前处理方法和检测方法主要参考 GB 5009.253—2016《食品安全国家标准动物源性食品中全氟辛烷磺酸(PFOS)和全氟辛酸(PFOA)的测定》。匀浆后称取 5 g 均匀试样(精确至 0.01 g)置于事先经清洗过的 50 mL 离心管中,加入 100 ng·mL<sup>-1</sup> 内标混合溶液 0.02 mL,加水 5 mL,涡旋混匀 1 min,加 10 mL 乙腈和 30 μL 盐酸,涡旋混匀 10 min。加入 2 g 氯化钠涡旋 10 min,4000 r·min<sup>-1</sup>(离心半径 64 mm)离心 10 min。取上清液于 PFOA 专用净化管中,涡旋 2 min 后取上清液于 40 °C 的水浴中氮吹至干,用 1 mL 乙腈定容过 0.22 μm 有机滤膜,供液相色谱串联质谱仪测定。

**1.2.4 仪器条件** 色谱条件:分析色谱柱,Agilent SB-Aq C18,100 mm×3.0 mm,1.8 μm;捕集柱,Thermo Scientific Accucore C18,50 mm×2.1 mm,2.6 μm;流动相,B 相为水(含 5 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸铵,A 相为乙腈+甲醇 1:1;流速,0.3 mL·min<sup>-1</sup>;0.5 min A 相 20%,B 相 80%,8 min 时 A 相 90%,B 相 10%,8.6 min 恢复到初始状态,进样量 3 μL;柱温 40 °C。

质谱条件:离子源,电喷雾离子源;扫描方式,负离子扫描;检测方式,质谱多反应监测;毛细管电压,2500 V;干燥气温度,350 °C;离子传输管,400 °C。

### 1.3 质量控制与保证

实验使用的采样袋、试剂等材料均经过背景检测,避免样品采集和分析过程中受到污染。每一批次检测样品加做一个平行样、一个加标样、一个标准样、一个系统空白样和一个方法空白样。其中平行样、加标样和标准样用于监测仪器稳定性,系统空白样和方法空白样用以监测背景污染,以保证数据准确性,得到样品中的实际 PFCs 残留。空白组测得的 PFCs 浓度均低于检出限。如补充材料表 S1 所示,7 种 PFCs 在 0.5~10 μg·L<sup>-1</sup> 线性范围良好,PFOA 在 0.05~1 μg·L<sup>-1</sup> 线性范围良好,线性相关系数均大于 0.994。8 种 PFCs 的回收率为 76.8%~118.4%,相对标准偏差范围为 3.8%~13.1%。检出限由仪器三倍信噪比计算所得。

### 1.4 暴露估计和风险评估

根据《食物频率问卷》调查和实验室 PFCs 检测结果,估计 PFCs 的 EDI 和 TWI。采用以下公式计算人均 PFCs 日暴露:EDI=(∑F·IR)/BW。其中,EDI 为人体某种 PFCs

的每日暴露量,单位为 μg·(kg·d)<sup>-1</sup>;F 为食物中某种 PFCs 的平均含量,单位为 μg·kg<sup>-1</sup>;IR 为该食物的日均摄入量,单位为 kg·d<sup>-1</sup>;BW 为体重,单位为 kg。

TWI 计算公式为:TWI=7·EDI,单位为 μg·(kg·周)<sup>-1</sup>。

采用危害指数(hazard ratios, HR)评估 PFCs 的健康风险<sup>[16]</sup>,公式为:HR=EDI/RfD。其中,HR 表示该 PFCs 的危害指数,无单位;EDI 为该 PFCs 的日均暴露量,单位为 μg·(kg·d)<sup>-1</sup>;RfD 为该 PFCs 的参考剂量(reference dose, RfD),单位为 μg·(kg·d)<sup>-1</sup>。当 HR<1 时,可认为该 PFCs 对暴露人群没有明显的健康风险;当 HR≥1 时,认为该 PFCs 对暴露人群存在健康风险。

在计算 HR 时选用 ATSDR 的 EDI 参考值:PFOS 为 20×10<sup>-4</sup> μg·(kg·d)<sup>-1</sup>,PFOA 为 30×10<sup>-4</sup> μg·(kg·d)<sup>-1</sup>;EFSA 的 4 种 PFCs(PFOA、PFNA、PFOS、PFHxS)的 TWI 参考值为 44×10<sup>-4</sup> μg·(kg·d)<sup>-1</sup>。

### 1.5 统计学分析

若 PFCs 浓度大于检出限(limit of detection, LOD),但小于定量限(limit of quantitation, LOQ),按照 1/2LOQ 计算;若检测 PFCs 浓度低于 LOD,则按未检出统计,取值为 0。

采用 EpiData 3.0 软件建立数据库并录入。所有数据分析及清理均使用 R 软件(version 4.0.1)进行。人群平均 EDI 采用 Bootstrap 方法估计(重复抽样 1000 次)。符合正态分布的连续型数据采用均值和标准差进行描述;计数数据采用频数和百分比进行描述。采用 logistic 回归估计 PFCs 暴露与孕期发生不良事件及 EPDS 评分≥12 分的关系。分别估计单因素和多因素校正 OR 值及其 95%CI,多因素分析时校正入组时年龄(连续变量)、入组时体重(连续变量)、孕周(连续变量)、学历(分类变量)、职业(分类变量)、孕次(二分类变量:首次、非首次)、产次(二分类变量:0 次、>0 次)、是否患过乳腺良性疾(二分类变量)、是否患过妇科良性疾(二分类变量)、怀孕前是否肥胖(二分类变量)、怀孕前血糖是否异常(二分类变量)和怀孕前是否有高脂血症(二分类变量)。并根据四分位数将 PFCs 分成 4 组,计算 OR 值的趋势 P 值。本研究所有检验均为双侧检验,检验水准 α=0.05。

## 2 结果

### 2.1 基线信息

本研究共纳入孕妇 345 名(表 1)。纳入对象的平均年龄为(29.61±4.92)岁,平均体重指数为(23.53±3.53)kg·m<sup>-2</sup>。将近一半(51.59%,178/345)纳入对象的

文化程度为高中及大专, 41.73%(144/345) 纳入对象的家庭年收入在 15~25 万元之间。其中, 9(2.61%) 名孕妇有吸烟史, 但所有对象在孕期均没有吸烟; 5.50%(19/345) 的孕妇有饮酒史, 孕期有 0.87%(3/345) 的孕妇饮酒。纳入对象中, 177(51.30%) 名孕妇为第一次怀孕, 219(63.45%) 名孕妇为初产妇。

表 1 纳入对象基本信息表( $n=345$ )  
Table 1 Characteristics of the participants ( $n=345$ )

| 基线信息                   | 纳入对象         |
|------------------------|--------------|
| 年龄/岁, $\bar{x}(s)$     | 29.61(4.82)  |
| 身高/cm, $\bar{x}(s)$    | 160.97(4.91) |
| 纳入时体重/kg, $\bar{x}(s)$ | 61.06(9.21)  |
| 孕前体重/kg, $\bar{x}(s)$  | 55.06(8.97)  |
| 血压/mmHg, $\bar{x}(s)$  |              |
| 收缩压                    | 110.32(9.72) |
| 舒张压                    | 68.14(7.55)  |
| 文化程度, $n(\%)$          |              |
| 初中及以下                  | 112(32.46)   |
| 高中及大专                  | 178(51.59)   |
| 本科及以上                  | 55(15.94)    |
| 家庭年收入/万元, $n(\%)$      |              |
| <5                     | 11.37(9.27)  |
| 5~<15                  | 49.27(41.74) |
| 15~<25                 | 48.22(41.74) |
| ≥25                    | 8.47(7.24)   |
| 有吸烟史, $n(\%)$          | 9(2.61)      |
| 有饮酒史, $n(\%)$          | 19(5.51)     |
| 孕期饮酒, $n(\%)$          | 3(0.87)      |
| 孕次, $n(\%)$            |              |
| 1                      | 177(51.3)    |
| ≥2                     | 168(48.7)    |
| 产次, $n(\%)$            |              |
| 0                      | 219(63.48)   |
| ≥1                     | 126(36.52)   |
| 曾患乳腺疾病, $n(\%)^a$      | 46(13.33)    |
| 曾患妇科良性疾病, $n(\%)^b$    | 44(12.75)    |
| 肥胖, $n(\%)$            | 8(2.32)      |
| 血糖异常, $n(\%)^c$        | 2(0.58)      |
| 高脂血症, $n(\%)^d$        | 3(0.87)      |

[注] a: 包括乳腺纤维腺瘤、乳腺囊肿、乳腺小叶增生、结节、导管乳头状瘤、导管扩张症等其他乳腺疾病。b: 包括子宫肌瘤、卵巢囊肿、功能失调性子宫出血、多囊卵巢综合征、痛经等其他妇科疾病。c: 包括 I 型糖尿病、II 型糖尿病、糖耐量减低、空腹血糖受损。d: 包括高胆固醇血症、高甘油三酯血症、混合型高脂血症和低密度脂蛋白胆固醇血症。

本次研究中, 9.57% 的研究对象在本次怀孕中发生妊娠糖尿病, 26.37% 的研究对象至少发生过一项孕

期并发症(包括妊娠期糖尿病、妊娠期高血压、甲状腺异常、先兆流产、糖耐量异常、唐氏筛查阳性、畸形筛查阳性、前置胎盘、羊水过少、胎位不正和胎儿生长受限); 将近 1/3 (30.14%) 的对象 EPDS 得分 ≥12 分(表 2)。

表 2 纳入对象孕期及产后不良事件的发生情况( $n=345$ )  
Table 2 Adverse outcomes during pregnancy and after delivery of the participants ( $n=345$ )

| 不良事件            | $n(\%)$    |
|-----------------|------------|
| 妊娠期并发症          |            |
| 妊娠期糖尿病          | 33(9.57)   |
| 妊娠期高血压          | 14(4.06)   |
| 甲状腺异常           | 26(7.54)   |
| 先兆流产            | 24(6.96)   |
| 糖耐量异常           | 22(6.38)   |
| 唐氏筛查阳性          | 2(0.58)    |
| 畸形筛查阳性          | 2(0.58)    |
| 前置胎盘            | 11(3.19)   |
| 羊水过少            | 6(1.74)    |
| 胎位不正            | 8(2.32)    |
| 胎儿生长受限          | 4(1.16)    |
| 至少发生一项          | 91(26.37)  |
| 不良妊娠结局          |            |
| EPDS 问卷评分 ≥12 分 | 104(30.14) |
| 产后出血            | 3(0.87)    |
| 产褥期感染           | 1(0.29)    |
| 切口愈合感染          | 275(79.71) |
| 产后尿潴留           | 3(0.87)    |

## 2.2 食物中 PFCs 的检出和每日平均摄入情况

本研究共采集样品 132 件, 分为 12 类, 包括主食( $n=4$ )、水果( $n=12$ )、蔬菜( $n=26$ )、豆类与豆制品( $n=14$ )、乳与乳制品( $n=10$ )、菌藻类( $n=6$ )、坚果( $n=8$ )、禽肉( $n=4$ )、畜肉( $n=11$ )、禽蛋类( $n=10$ )、淡水产品( $n=7$ )、海水产品( $n=20$ )。本研究中, 孕妇禽、畜肉类的每日平均摄入量分别为 0.04 kg 和 0.11 kg; 淡水产品和海水产品的每日平均摄入量, 均为 0.06 kg。PFDS、PFHpA、PFHxA 和 PFPeA 均未检出。被检出的 PFCs 种类为 PFNA、PFBA、PFOA 和 PFOS, 主要分布在乳与乳制品、禽肉、畜肉、禽蛋、淡水产品和海水产品中。其中, 淡水产品 PFCs 检出率最高, 达到 100%; 主食、水果、蔬菜、豆类与豆制品、菌藻类和坚果均未检出 PFCs。在检出 PFCs 的食品中, 平均质量分数(后简称为浓度)在 0.02~2.10  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间(表 3)。

## 2.3 PFCs 食物暴露估计

经计算, PFOS 的 EDI 值最高, 平均达到  $(19.11 \pm 18.78) \times 10^{-4} \mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ ; PFBA 的 EDI 值最低, 平均为  $(1.18 \pm 1.17) \times 10^{-4} \mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ (表 4)。

表3 徐汇区市售不同食物中 PFCs 的检出率、平均检出浓度及每日平均食物摄入量

Table 3 The positive rates and average concentrations of PFCs and the daily dietary intake by food groups from Xuhui markets

| 食物种类         | PFCs检出率/% <sup>*</sup> | PFBA/<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | PFNA/<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | PFOA/<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | PFOS/<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) | 食物平均摄入量/( $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ ) |
|--------------|------------------------|---|---|---|---|---|
| 主食(n=4)      | 0.00                   | —   | —   | —   | —   | 0.40                                      |
| 水果(n=12)     | 0.00                   | —   | —   | —   | —   | 0.27                                      |
| 蔬菜(n=26)     | 0.00                   | —   | —   | —   | —   | 0.25                                      |
| 豆类与豆制品(n=14) | 0.00                   | —   | —   | —   | —   | 0.10                                      |
| 乳与乳制品(n=10)  | 10.00                  | 0.28  | —   | —   | —   | 0.16                                      |
| 菌藻类(n=6)     | 0.00                   | —   | —   | —   | —   | 0.03                                      |
| 坚果(n=8)      | 0.00                   | —   | —   | —   | —   | 0.04                                      |
| 禽肉(n=4)      | 75.00                  | —   | —   | 0.14  | —   | 0.04                                      |
| 畜肉(n=11)     | 18.20                  | —   | —   | 0.18  | —   | 0.11                                      |
| 禽蛋类(n=10)    | 60.00                  | —   | —   | 0.11  | 0.02  | 0.06                                      |
| 淡水产品(n=7)    | 100.00                 | —   | 0.06  | 0.16  | 2.10  | 0.06                                      |
| 海水产品(n=20)   | 90.00                  | —   | 0.11  | 0.31  | 0.81  | 0.06                                      |

[注]\*: 检出任意 PFCs。

使用 Bootstrap 法估计人群 PFOS、PFOA 的 EDI 和 PFCs 的 TWI 的均值, 分别为  $19.07\times 10^{-4} \mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ 、

$7.57\times 10^{-4} \mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$  和  $19.49\times 10^{-4} \mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{周})^{-1}$ 。参照 ATSDR 和 EFSA 给出的标准计算得, ATSDR:  $\text{HR}_{\text{PFOS}}=0.96$ ,  $\text{HR}_{\text{PFOA}}=0.025$ ; EFSA:  $\text{HR}_{\text{PFCs}}=4.44$ 。

表4 孕妇膳食摄入 PFCs 每日暴露量和周允许摄入量

Table 4 EDI and TWI of PFCs estimated by dietary intake of pregnant women

| PFCs | EDI/[ $10^{-4} \mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ ] |                    | TWI/[ $10^{-4} \mu\text{g}\cdot(\text{kg}\cdot\text{周})^{-1}$ ] |                     |
|------|---|--------------------|---|---------------------|
|      | $\bar{x}$ (s)   | M(Q1, Q3)          | $\bar{x}$ (s)   | M(Q1, Q3)           |
| PFNA | 9.81(8.44)  | 9.27(5.21, 9.27)   | 68.67(59.09)  | 64.91(36.47, 64.91) |
| PFBA | 1.18(1.17)  | 0.78(0.40, 0.78)   | 8.25(8.20)  | 5.45(2.78, 5.45)    |
| PFOA | 7.59(5.14)  | 6.32(4.01, 6.32)   | 53.14(35.95)  | 44.27(28.05, 44.27) |
| PFOS | 19.11(18.78)  | 13.24(7.56, 13.24) | 133.76(131.43)  | 92.68(52.90, 92.68) |

### 2.4 PFCs 膳食暴露与孕期及产后不良事件的关系

如表5所示, PFNA、PFBA、PFOA 和 PFOS 与孕期不良事件和产后抑郁风险的关系, 虽然在单因素和多因素 logistic 回归模型中的 OR 值均未发现统计学差异, 但是其校正的 OR 点估计均大于 1。在产后抑郁风险与 PFOS 膳食暴露的模型中, 单因素和多因素的趋势 OR 值检验均有统计学意义( $P_{\text{趋势}}=0.02$ )。

表5 孕妇 PFCs 膳食暴露与孕期不良事件和产后抑郁风险的关系

Table 5 Associations between PFCs exposure and adverse outcomes during pregnancy and after delivery

| PFCs <sup>*</sup>                                      | 至少一项孕期不良事件 <sup>a</sup> |       |                 |                  |       |      | EPDS $\geq 12$ 分 |       |        |                  |       |      |
|--|-------------------------|-------|-----------------|------------------|-------|------|------------------|-------|--------|------------------|-------|------|
|  | OR                      | 95%CI |                 | AOR <sup>b</sup> | 95%CI |      | OR               | 95%CI |        | AOR <sup>b</sup> | 95%CI |      |
|  |                         | 上限    | 下限              |                  | 上限    | 下限   |                  | 上限    | 下限     |                  |       |      |
| <b>PFBA</b>  |                         |       |                 |                  |       |      |                  |       |        |                  |       |      |
| Q1, $<0.035 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$            | 1.00                    | —     | —               | 1.00             | —     | —    | 1.00             | —     | —      | 1.00             | —     | —    |
| Q2, $0.035\sim<0.053 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$   | 1.15                    | 0.58  | 2.29            | 1.00             | 0.97  | 1.04 | 0.95             | 0.49  | 1.79   | 1.02             | 0.99  | 1.05 |
| Q3, $0.053\sim<0.071 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$   | 1.65                    | 0.86  | 3.17            | 1.54             | 0.70  | 3.40 | 1.24             | 0.67  | 2.30   | 0.87             | 0.42  | 1.76 |
| Q4, $\geq 0.071 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$        | 1.03                    | 0.52  | 2.03            | 1.80             | 0.86  | 3.81 | 0.69             | 0.36  | 1.32   | 1.13             | 0.58  | 2.20 |
| $P_{\text{趋势}}$  | 0.63                    | —     | —               | 0.66             | —     | —    | 0.63             | —     | —      | 0.66             | —     | —    |
| 每变化1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$                  | 0.86                    | 0.00  | 142.86          | 1.01             | 0.94  | 1.08 | 0.86             | 0.00  | 142.86 | 1.01             | 0.94  | 1.08 |
| <b>PFNA</b>  |                         |       |                 |                  |       |      |                  |       |        |                  |       |      |
| Q1, $<0.0022 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$           | 1.00                    | —     | —               | 1.00             | —     | —    | 1.00             | —     | —      | 1.00             | —     | —    |
| Q2, $0.0022\sim<0.0052 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 0.90                    | 0.45  | 1.78            | 1.00             | 0.96  | 1.03 | 1.15             | 0.58  | 2.29   | 1.02             | 0.99  | 1.06 |
| Q3, $0.0052\sim<0.0092 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 1.02                    | 0.52  | 2.00            | 0.60             | 0.26  | 1.36 | 1.68             | 0.87  | 3.29   | 1.13             | 0.52  | 2.50 |
| Q4, $\geq 0.0092 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$       | 1.08                    | 0.55  | 2.11            | 0.57             | 0.25  | 1.27 | 1.68             | 0.87  | 3.29   | 2.05             | 0.98  | 4.39 |
| $P_{\text{趋势}}$  | 0.75                    | —     | —               | 0.53             | —     | —    | 0.07             | —     | —      | 0.13             | —     | —    |
| 每变化1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$                  | 0.00                    | 0.00  | 1073.421 770.02 | 1.01             | 0.95  | 1.08 | 1.21             | 0.99  | 1.50   | 1.03             | 0.97  | 1.10 |
| <b>PFOA</b>  |                         |       |                 |                  |       |      |                  |       |        |                  |       |      |
| Q1, $<0.047 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$            | 1.00                    | —     | —               | 1.00             | —     | —    | 1.00             | —     | —      | 1.00             | —     | —    |
| Q2, $0.047\sim<0.079 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$   | 2.09                    | 1.06  | 4.26            | 1.00             | 0.97  | 1.04 | 1.44             | 0.74  | 2.83   | 1.02             | 0.99  | 1.05 |
| Q3, $0.079\sim<0.140 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$   | 1.33                    | 0.65  | 2.77            | 1.75             | 0.78  | 4.01 | 1.36             | 0.70  | 2.69   | 1.77             | 0.83  | 3.86 |
| Q4, $\geq 0.140 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$        | 1.59                    | 0.79  | 3.28            | 0.84             | 0.37  | 1.93 | 1.68             | 0.87  | 3.29   | 1.45             | 0.69  | 3.10 |
| $P_{\text{趋势}}$  | 0.45                    | —     | —               | 0.92             | —     | —    | 0.16             | —     | —      | 0.33             | —     | —    |
| 每变化1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$                  | 2.80                    | 0.00  | 5 166.27        | 1.01             | 0.94  | 1.07 | 1.16             | 0.94  | 1.43   | 1.04             | 0.98  | 1.10 |
| <b>PFOS</b>  |                         |       |                 |                  |       |      |                  |       |        |                  |       |      |
| Q1, $<0.046 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$            | 1.00                    | —     | —               | 1.00             | —     | —    | 1.00             | —     | —      | 1.00             | —     | —    |
| Q2, $0.046\sim<0.079 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$   | 2.08                    | 1.02  | 4.36            | 1.01             | 0.97  | 1.04 | 1.39             | 0.69  | 2.80   | 1.02             | 0.99  | 1.05 |
| Q3, $0.079\sim<0.14 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$    | 1.60                    | 0.77  | 3.39            | 2.66             | 1.15  | 6.40 | 1.85             | 0.95  | 3.67   | 1.27             | 0.59  | 2.80 |
| Q4, $\geq 0.14 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$         | 2.40                    | 1.19  | 5.02            | 1.56             | 0.66  | 3.79 | 2.09             | 1.07  | 4.16   | 2.13             | 1.02  | 4.56 |
| $P_{\text{趋势}}$  | <b>0.04</b>             | —     | —               | 0.09             | —     | —    | <b>0.02</b>      | —     | —      | <b>0.02</b>      | —     | —    |
| 每变化1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$                  | 4.56                    | 0.63  | 31.31           | 1.01             | 0.94  | 1.07 | 1.28             | 1.04  | 1.58   | 1.04             | 0.98  | 1.10 |

[注]a: 至少一项孕期不良事件指孕期至少发生以下一项事件, 包括妊娠期糖尿病、妊娠期高血压、甲状腺异常、先兆流产、糖耐量异常、唐氏筛查阳性、畸形筛查阳性、前置胎盘、羊水过少、胎位不正和胎儿生长受限。b: AOR 为校正的 OR, 调整因素包括入组时年龄、入组时体重、孕周、学历、职业、孕次、产次, 是否患过乳腺良性疾病、是否患过妇科良性疾病、怀孕前是否肥胖、怀孕前血糖是否异常和怀孕前是否有高脂血症。  
\*: Q1、Q2、Q3、Q4 分别代表其百分位数 $<25\%$ 、 $25\%\sim<50\%$ 、 $50\%\sim<75\%$ 、 $\geq 75\%$ 。

### 3 讨论

本研究共纳入孕期妇女 345 名。其中, 26.37% 的研究对象至少发生过一项孕期不良事件; 30.14% 的研究对象可能患有不同程度的产后抑郁性疾病。计算得 PFCs 的 HR 为 4.44, 提示该 4 种 PFCs 的累积暴露对暴露人群存在健康风险。同时在产后抑郁风险与 PFOS 暴露的模型中观察到 OR 值变大的趋势, 即随着 PFOS 暴露量增高, EPDS 得分增高, 暴露人群患产后抑郁的风险也增高。

在本研究中, PFCs 主要在乳与乳制品、禽畜肉和水产品中检出, 而在主食、水果、蔬菜、豆类与豆制品、菌藻类和坚果中均未检出。这可能与生物富集和水生生物的生物浓缩作用有关。多项国内研究也表明, 在植物性食物中检出 PFCs 的浓度远低于动物性食物<sup>[17-19]</sup>。与近期一项北京的研究类似(奶类:  $\Sigma$ PFCs =  $0.3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )<sup>[20]</sup>, 本研究的乳与乳制品样本中只检出了 PFBA 且浓度为  $0.28 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。水产品中检出的 PFCs 包括 PFNA、PFOA 和 PFOS, 浓度为  $0.06\sim 2.10 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 与国内外其他研究基本一致<sup>[21-24]</sup>。在禽畜肉中则只检出 PFOA, 禽肉中 PFOA 浓度为  $0.14 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 畜肉中为  $0.18 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。其中, 禽肉中 PFOA 浓度低于中国四川<sup>[25]</sup>、山东<sup>[26]</sup>、北京<sup>[20]</sup>和意大利<sup>[27]</sup>的研究, 高于挪威<sup>[18]</sup>和希腊<sup>[28]</sup>; 而畜肉中 PFOA 则高于先前所有研究。国内一项研究也表明, 肉类是造成 PFOA 膳食暴露的主要因素, 占总摄入量的 93.2%<sup>[29]</sup>。

此次研究观察到了 PFOS 暴露与产后抑郁风险的 OR 值变大的趋势。海水产品是人体摄入 PFOS 的主要膳食来源, 占总摄入量的 78.9%<sup>[29]</sup>, 但现阶段国内外尚未有研究系统性分析膳食中 PFOS 暴露与发生产后抑郁的关系。产后抑郁具体病因未知, 且具有众多危险因素, 甲状腺功能障碍<sup>[30]</sup>、游离甲状腺素水平下降<sup>[31]</sup>, 甲状腺过氧化物酶抗体阳性<sup>[32]</sup>, 均能显著增加对象罹患产后抑郁的风险。而全氟烷酸化合物能够与凝血酶受体结合, 并将其激活, 从而干扰甲状腺功能。国内外研究均提示, PFOS 是人群内暴露(血液含量)最高的 PFCs: 国外的一项研究检测了来自美国、韩国和比利时等国家 9 个城市的 473 份人体血液标本, 结果显示 PFOS 是血液中含量最高的 PFCs, PFOA 次之<sup>[33]</sup>; 对我国 9 个城市 85 份血清样本进行分析的研究提示, 虽然城市样品中的 PFCs 含量之间存在差异, 但其中最主要的暴露也为 PFOS<sup>[34]</sup>。相比于其他 PFCs, PFOS 的每日暴露量在本研究中也同样为最高, 这也许解释了为什么可以观察到 OR 值变大的趋势。同时, 参照 EFSA

的标准,  $\text{HR}_{\text{PFCs}}$  为 4.44, 提示其暴露对该类人群存在健康风险。

充分摄入蔬菜、水果、豆类、海水产品、牛奶和奶制品、橄榄油和各种营养品可降低罹患产后抑郁症风险<sup>[35]</sup>。来自 23 个国家的一项生态研究发现, 增加海水产品消费可以降低产后抑郁症风险, 这可能是与摄入富含二十二碳六烯酸的深海鱼有关<sup>[36-37]</sup>。在微量营养素中, 锌和硒可以减少产后抑郁症的发生率<sup>[38]</sup>。锌可能通过影响血清素的再吸收来发挥抗抑郁作用, 硒可能通过影响甲状腺功能来影响产后抑郁的发生<sup>[39]</sup>。锌和硒都可以从红肉、谷物、肉类和鱼类中摄取。本研究中, 主食、水果、蔬菜、豆类与豆制品、菌藻类和坚果均未检出 PFCs, 乳与乳制品也只检出了 PFBA, 且每日暴露量也为 4 种检出 PFCs 中最低, 乳与乳制品可能对发生产后不良事件和产后抑郁风险具有保护作用<sup>[35]</sup>。本研究中, PFOS 只在水产品和禽蛋类中检出, 且淡水产品中 PFOS 含量最高。同时根据《食物频率问卷》调查结果显示, 纳入对象鱼、禽、肉、蛋类食物的每日平均摄入量总量约为 0.33 kg, 远高于《2022 中国居民膳食指南》中的推荐量, 蔬菜(0.25 kg)和乳与乳制品(0.16 kg)摄入不足, 膳食结构仍有优化的空间。基于以上分析, 提示孕期妇女可以适量减少淡水产品的摄入, 以此降低 PFCs 的暴露风险。

本研究有以下局限性: 所有研究对象及采样食品均来自上海徐汇区, 内部一致性较好, 但是外推性较为局限; 本研究使用的临床结局均来自问卷调查, 虽然控制在产后 42 d 内完成, 最大程度上避免了回忆偏倚, 同时在数据录入过程中采用质量控制手段, 但是相比于直接从医院信息系统调取的电子记录, 仍可能出错; 本研究采用 EPDS 自测量表来评估研究对象患产后抑郁的风险, 若使用临床诊断, 可以使结果更加明了; 尽管本研究调整了一系列可能影响研究结局的混杂因素, 但可能仍存在尚未被观察到的潜在混杂因素没有被纳入调整; 由于现场操作难度较高, 及纳入对象依从性问题, 难以收集到血液等生物样本, 缺乏 PFCs 的内暴露数据, 无法评估膳食 PFCs 暴露水平和人体内 PFCs 水平的关系; 本研究只在纳入对象时进行一次《食物频率问卷》的获取, 没有覆盖整个孕期中的膳食结构的具体变化, 只能做一个平均的近似估计, 可能会影响本研究暴露估计; 本研究只关注了膳食中 PFCs 的暴露情况, 尚未对调味品(如, 油盐酱醋)和饮用水进行 PFCs 含量的测量, 可能低估了人群真正的 PFCs 膳食暴露水平; 由于 PFOS 的限制生产和使用, 氯



代多氟烷基醚磺酸盐(F-53B)作为PFOS的替代品近年来工业用量增幅明显,但本研究中未涉及相关检测,希望在后续的研究中能加以重视。

综上所述,本研究通过前瞻性队列研究,保守估计了徐汇区孕期妇女膳食中PFCs的暴露情况,结果仍显示 $HR_{PFCs}$ 达到4.44,远大于1,提示该人群存在健康风险。同时依据食物PFCs检出结果,提示该人群可以适当调整饮食结构,减少淡水产品的摄入(PFCs检出率及检出浓度最高),以降低PFCs的膳食暴露风险。虽然本研究提示了PFCs的膳食暴露对孕期妇女发生不良孕期事件及发生产后抑郁的风险可能为危险因素,但是,由于目标人群PFCs膳食暴露量较低,需要对该结果谨慎解读,同时需要更大的样本量来验证该结果。

## 参考文献

- [1] 张恣意, 龚艳, 曹文成, 等. 我国主要食品中全氟烷基化合物的污染现状及膳食暴露评估研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(8): 410-416.  
ZHANG ZY, GONG Y, CAO WZ, et al. Research progress of concentrations and exposure assessment of perfluorinated alkyl substances in main food in China[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(8): 410-416.
- [2] 曹培, 付寒鸣, 黄宏, 等. 不同职业人群血清PFOS和PFOA负荷水平检测[J]. *中国公共卫生*, 2010, 26(8): 1015-1016.  
CAO P, FU HM, HUANG H, et al. Serum concentration of perfluorooctane sulfonate acid (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) among workers in Wenzhou[J]. *Chin J Public Health*, 2010, 26(8): 1015-1016.
- [3] KATO K, WONG LY, JIA LT, et al. Trends in exposure to polyfluoroalkyl chemicals in the U. S. population: 1999-2008[J]. *Environ Sci Technol*, 2011, 45(19): 8037-8045.
- [4] KANNAN K, CORSOLINI S, FALANDYSZ J, et al. Perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in human blood from several countries[J]. *Environ Sci Technol*, 2004, 38(17): 4489-4495.
- [5] LI X, DONG S, ZHANG W, et al. The occurrence of perfluoroalkyl acids in an important feed material (fishmeal) and its potential risk through the farm-to-fork pathway to humans[J]. *J Hazard Mater*, 2019, 367: 559-567.
- [6] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (EFSA CONTAM Panel), SCHRENK D, BIGNAMI M, et al. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food[J]. *EFSA J*, 2020, 18(9): e06223.
- [7] FROMME H, TITTEMIER SA, VÖLKE W, et al. Perfluorinated compounds—Exposure assessment for the general population in western countries[J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2009, 212(3): 239-270.
- [8] GIESY JP, KANNAN K. Peer reviewed: perfluorochemical surfactants in the environment[J]. *Environ Sci Technol*, 2002, 36(7): 146A-152A.
- [9] KENNEDY GL, BUTENHOFF JL, OLSEN GW, et al. The toxicology of perfluorooctanoate[J]. *Crit Rev Toxicol*, 2004, 34(4): 351-384.
- [10] RENNERT R. Evidence of toxic effects and environmental impacts has sent researchers scrambling to obtain more data[J]. *Environ Sci Technol:ES&T*, 2001, 35(7): 154A-160A.
- [11] The Committee on Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment (COT). Statement on the EFSA Opinion on the risks to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances (PFASs) in food: Lay Summary[EB/OL]. (2022-04-22)[2022-04-22]. [https://cot.food.gov.uk/Statement%20on%20the%20EFSA%20Opinion%20on%20the%20risks%20to%20human%20health%20related%20to%20the%20presence%20of%20perfluoroalkyl%20substances%20\(PFASs\)%20in%20food:%20Lay%20Summary](https://cot.food.gov.uk/Statement%20on%20the%20EFSA%20Opinion%20on%20the%20risks%20to%20human%20health%20related%20to%20the%20presence%20of%20perfluoroalkyl%20substances%20(PFASs)%20in%20food:%20Lay%20Summary).
- [12] MAISONET M, TERRELL ML, MCGEEHIN MA, et al. Maternal concentrations of polyfluoroalkyl compounds during pregnancy and fetal and postnatal growth in British girls[J]. *Environ Health Perspect*, 2012, 120(10): 1432-1437.
- [13] BACH CC, BECH BH, NOHR EA, et al. Perfluoroalkyl acids in maternal serum and indices of fetal growth: the Aarhus birth cohort[J]. *Environ Health Perspect*, 2016, 124(6): 848-854.
- [14] KWON EJ, SHIN JS, KIM BM, et al. Prenatal exposure to perfluorinated compounds affects birth weight through GSTM1 polymorphism[J]. *J Occup Environ Med*, 2016, 58(6): e198-e205.
- [15] 郭秀静, 王玉琼, 陈静. 爱丁堡产后抑郁量表在成都地区产妇中应用的效能研究[J]. *中国实用护理杂志*, 2009, 25(1): 4-6.  
GUO X J, WANG Y Q, CHEN J. Study on the efficacy of the Edinburgh post-natal depression scale in puerperas in Chengdu[J]. *Chin J Pract Nurs*, 2009, 25(1): 4-6.
- [16] WANG Q, SONG X, WEI C, et al. Distribution, source identification and health risk assessment of PFASs in groundwater from Jiangxi Province, China[J]. *Chemosphere*, 2022, 291: 132946.
- [17] SZNAJDER-KATARZYŃSKA K, SURMA M, CIEŚLIK E, et al. The perfluoroalkyl substances (PFASs) contamination of fruits and vegetables[J]. *Food Addit Contam Part A*, 2018, 35(9): 1776-1786.
- [18] HAUG LS, SALIHOVIC S, JOGSTEN IE, et al. Levels in food and beverages and daily intake of perfluorinated compounds in Norway[J]. *Chemosphere*, 2010, 80(10): 1137-1143.
- [19] 丁林玉, 雷素珍, 曾红亮. 全氟和多氟烷基化合物的危害及在食品中的污染研究进展[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(20): 336-341,350.  
DING LY, LEI XZ, ZENG HL. Research progress on the harm of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances and their contamination in food[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(20): 336-341,350.
- [20] 刘逸飞, 李阳, 赵楠楠, 等. 北京市售动物源性食品中全氟化合物赋存及居民摄入风险评估[J]. *环境化学*, 2021, 40(11): 3360-3367.  
LIU YF, LI Y, ZHAO NN, et al. Occurrence of perfluoroalkyl substances in animal-derived food in Beijing and risk assessment of residents' intake[J]. *Environ Chem*, 2021, 40(11): 3360-3367.
- [21] 柳思帆, 王铁宇, 薛科社, 等. 北京水源地鱼体全氟化合物的暴露水平及其健康风险[J]. *生态毒理学报*, 2017, 12(1): 111-118.  
LIU SF, WANG TY, XUE KS, et al. Occurrence and human health risk of PFASs in fishes from drinking water sources of Beijing[J]. *Asian J Ecotoxicol*, 2017, 12(1): 111-118.
- [22] 方国康, 徐建明, 李若慧, 等. 全氟化合物污染现状及其与肝型脂肪酸结合蛋白相互作用研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(7): 329-335.  
FANG GK, XU JM, LI RH, et al. Current pollution situation of perfluorinated compounds in waters and foodstuffs and recent progress in understanding their interactions with liver fatty acid binding protein[J]. *Food Sci*, 2020, 41(7): 329-335.
- [23] NOORLANDER CW, VAN LEEUWEN SP J, TE BIESEBEEK JD, et al. Levels of perfluorinated compounds in food and dietary intake of PFOS and PFOA in the Netherlands[J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59(13): 7496-7505.
- [24] DOMINGO JL, ERICSON-JOGSTEN I, PERELLÓ G, et al. Human exposure to perfluorinated compounds in Catalonia, Spain: contribution of drinking water and fish and shellfish[J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(17): 4408-



- 4415.
- [25] 白润叶, 张毅, 肖陈贵, 等. 中国部分主产区鸡肉中全氟化合物残留水平调查[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(2): 730-740.  
BAI RY, ZHANG Y, XIAO CG, et al. Investigation of perfluorinated compounds in chicken from parts of main producing areas of China[J]. *J Food Saf Quality*, 2016, 7(2): 730-740.
- [26] 刘晓湾, 张鸿, 李静, 等. 中国沿海地区鸡蛋中全氟化合物污染水平及分布[J]. *食品科学*, 2016, 37(4): 191-196.  
LIU XW, ZHANG H, LI J, et al. Investigation of contamination levels of perfluorinated compounds in eggs from nine coastal provinces of China[J]. *Food Sci*, 2016, 37(4): 191-196.
- [27] GUERRANTI C, PERRA G, CORSOLINI S, et al. Pilot study on levels of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in selected foodstuffs and human milk from Italy[J]. *Food Chem*, 2013, 140(1/2): 197-203.
- [28] KEDIKOGLU K, COSTOPOULOU D, VASSILIADOU I, et al. Preliminary assessment of general population exposure to perfluoroalkyl substances through diet in Greece[J]. *Environ Res*, 2019, 177: 108617.
- [29] ZHANG T, SUN HW, WU Q, et al. Perfluorochemicals in meat, eggs and indoor dust in China: assessment of sources and pathways of human exposure to perfluorochemicals[J]. *Environ Sci Technol*, 2010, 44(9): 3572-3579.
- [30] BLOCH M, DALY RC, RUBINOW DR. Endocrine factors in the etiology of postpartum depression[J]. *Compr Psychiatry*, 2003, 44(3): 234-246.
- [31] PEDERSEN CA, JOHNSON JL, SILVA S, et al. Antenatal thyroid correlates of postpartum depression[J]. *Psychoneuroendocrinology*, 2007, 32(3): 235-245.
- [32] KUIJPENS JL, VADER HL, DREXHAGE HA, et al. Thyroid peroxidase antibodies during gestation are a marker for subsequent depression postpartum[J]. *Eur J Endocrinol*, 2001, 145(5): 579-584.
- [33] YEUNG LW Y, SO MK, JIANG GB, et al. Perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in human blood samples from China[J]. *Environ Sci Technol*, 2006, 40(3): 715-720.
- [34] CHATZI L, MELAKI V, SARRI K, et al. Dietary patterns during pregnancy and the risk of postpartum depression: the mother-child 'Rhea' cohort in Crete, Greece[J]. *Public Health Nutr*, 2011, 14(9): 1663-1670.
- [35] HIBBELN JR. Seafood consumption, the DHA content of mothers' milk and prevalence rates of postpartum depression: a cross-national, ecological analysis[J]. *J Affect Disord*, 2002, 69(1/3): 15-29.
- [36] GUR EB, GOKDUMAN A, TURAN GA, et al. Mid-pregnancy vitamin D levels and postpartum depression[J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2014, 179: 110-116.
- [37] ELLSWORTH-BOWERS ER, CORWIN EJ. Nutrition and the psychoneuroimmunology of postpartum depression[J]. *Nutr Res Rev*, 2012, 25(1): 180-192.
- [38] LEVENSON CW. Zinc: the new antidepressant?[J]. *Nutr Rev*, 2006, 64(1): 39-42.
- [39] SHER L. Role of thyroid hormones in the effects of selenium on mood, behavior, and cognitive function[J]. *Med Hypotheses*, 2001, 57(4): 480-483.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 汪源)

· 勘误 ·

### 关于《JNK/AP-1 信号通路在百草枯诱导小胶质细胞 NLRP3 炎症小体活化中的作用》一文的更正

《环境与职业医学》2023 年第 6 期发表《JNK/AP-1 信号通路在百草枯诱导小胶质细胞 NLRP3 炎症小体活化中的作用》(引用格式: 兰孟菊, 王楷栋, 黄敏. JNK/AP-1 信号通路在百草枯诱导小胶质细胞 NLRP3 炎症小体活化中的作用 [J]. *环境与职业医学*, 2023, 40(6): 705-710. doi: 10.11836/JEOM22334)。应作者要求, 第 708 页图 4 中横坐标“PQ”修改为“SP600125”。

特此更正, 并向读者致歉。

《环境与职业医学》编辑部  
2023 年 7 月 25 日