

## 论著

## 脐血中全氟及多氟烷基化合物暴露水平及其影响因素研究

曹文成<sup>1</sup>, 刘潇<sup>1</sup>, 刘小方<sup>1</sup>, 周妍<sup>1</sup>, 孙新<sup>2</sup>, 闻胜<sup>1</sup>

(1. 湖北省疾病预防控制中心 应用毒理湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430079;

2. 中国疾病预防控制中心, 北京 102206)

**摘要:**目的 了解河南省某地新生儿脐血中全氟及多氟烷基(PFASs)的暴露水平及其影响因素。方法 基于2013—2015年河南某地建立的出生队列,检测了336名新生儿脐血中11种PFASs水平,采用广义线性回归分析产妇社会人口特征、生活方式和膳食摄入对新生儿脐血PFASs水平的影响。结果 产妇年龄大(GM比值在1.03~1.05)、家庭平均月收入高(GM比值在1.30~1.63)、孕期有吸烟史(GM比值2.90;95%CI:1.11,7.56)和被动吸烟(GM比值1.84;95%CI:1.02,3.32)可能增加脐血PFASs暴露水平;产妇孕期工作(GM比值0.82;95%CI:0.67,1.00)及经产妇(GM比值0.65;95%CI:0.51,0.82)脐带血中的PFASs浓度较低。产妇孕期摄入牛羊肉、南瓜、蒜苗和咸菜频率高与脐血PFASs升高有关(GM比值在1.33~1.80),而孕期摄入较多的橘子、牛奶、白菜和茄子等脐血PFASs浓度较低(GM比值在0.68~0.82)。结论 产妇年龄、家庭收入、产妇孕期有吸烟史和被动吸烟、产次、牛羊肉和植物源性食物摄入可能会影响新生儿PFASs暴露水平。

**关键词:**全氟及多氟烷基物质;脐血;暴露水平;影响因素

中图分类号:R155

文献标识码:A

文章编号:1004-8456(2022)02-0196-07

DOI:10.13590/j.cjfh.2022.02.002

**Study on the influencing factors of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in cord blood**CAO Wencheng<sup>1</sup>, LIU Xiao<sup>1</sup>, LIU Xiaofang<sup>1</sup>, ZHOU Yan<sup>1</sup>, SUN Xin<sup>2</sup>, WEN Sheng<sup>1</sup>

(1. Hubei Provincial Key Laboratory for Applied Toxicology, Hubei Center for Disease Control and Prevention, Hubei Wuhan 430079, China; 2. Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China)

**Abstract: Objective** To measure perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in cord blood of newborns in Henan province and explore influencing factors of PFASs exposure. **Methods** The present study was based on the birth cohort established in Henan Province from 2013 to 2015. The levels of 11 PFASs in cord blood samples ( $n=336$ ) were detected. Generalized linear regression was used to analyze the effects of maternal socio-demographic characteristics, life style and dietary intake on the level of PFASs in umbilical blood of newborns. **Results** The newborns of older mothers (GM ratio 1.03–1.05), higher average monthly family income (GM ratio 1.30–1.63), pregnancy smoking (GM ratio 2.90, 95% CI: 1.11, 7.56) and passive smoking (GM ratio 1.84, 95% CI: 1.02, 3.32) tend to show higher PFAS exposure in cord blood. Newborns whose mothers worked during pregnancy (GM ratio 0.82, 95% CI: 0.67, 1.00), and with multiparous mothers (GM ratio 0.65, 95% CI: 0.51, 0.82) had lower concentrations of PFASs. Mothers who had higher intake frequency of beef or mutton, pumpkin, garlic seedlings and pickles during pregnancy tend to have increased concentrations of PFASs in cord blood (GM ratio was 1.33–1.80), while the concentration was lower during mothers who consumed more oranges, milk, cabbage and eggplant during pregnancy (GM ratio was 0.68–0.82). **Conclusion** Maternal age, family income, history of smoke and passively smoke during pregnancy, parity, frequency of beef or mutton, and plant-based foods intake may affect PFASs exposure of newborns.

**Key words:** Perfluorinated and polyfluoroalkyl substances; umbilical cord blood; exposure level; influencing factors

收稿日期:2021-09-26

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC1600500);国家“十二五”科技支柱计划重点项目(2013BAI12B03);湖北省医学青年拔尖人才(S2020JY23);湖北省卫生健康科研基金(WJ2021Q049)

作者简介:曹文成 女 主管医师 研究方向为环境与健康 E-mail: cwc79279@163.com

通信作者:闻胜 男 研究员 研究方向为食品安全和风险评估 E-mail: wenshengy@aliyun.com

全氟和烷基物质(Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances, PFASs)是一类部分或所有氢原子被氟原子取代的新型持久性有机污染物,被广泛应用于各种工业生产和日常用品等<sup>[1]</sup>。2009年,PFASs及其盐类被列入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》的“限制使用”化合物清单。欧洲、美国和日本等国家也已禁止或限制生产和使用PFASs<sup>[2]</sup>。我国食品和普通人群中PFASs均有检出<sup>[3]</sup>。PFASs可通过胎盘从母体转移到胎儿体内,引起子代出生体质量降低、免疫力下降、神经发育异常问题等<sup>[4]</sup>,甚至增加子代成年后患某些慢性疾病的风险<sup>[5]</sup>。

了解脐血PFASs暴露水平及影响因素有助于进行PFASs暴露防控。某些社会人口学特征[年龄、孕前体质量指数(Body mass index, BMI)、教育水平、收入水平和产次等]和生活方式(吸烟、饮酒等)与PFASs暴露水平有关<sup>[6]</sup>,然而不同国家或地区的研究结果并不一致。膳食摄入是非职业性暴露PFASs的主要途径。摄入鱼类、红肉、动物脂肪、零食或谷物等饮食习惯可能影响体内PFASs暴露水平<sup>[7-9]</sup>,但我国关于PFASs暴露与饮食习惯关系的研究较少。仅上海<sup>[10]</sup>和山东<sup>[11]</sup>等地区报道了鱼和自来水等饮食习惯与PFASs高暴露有关。

本研究旨在利用河南某地的出生队列,探讨社会人口特征、生活方式和饮食习惯与脐血PFASs暴露水平的关系,为建立良好孕期生活方式及制定膳食指导,从而降低PFASs暴露及潜在健康风险提供科学依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象和样本采集

以2013年11月—2015年12月期间河南某地某医院开展的出生队列研究为基础,本研究选择其中居住在当地时间超过1年且单胎活产的336位产妇为研究对象,采集脐血进行了PFASs检测,并逐一完成了问卷调查。本研究经过中国疾病预防控制中心伦理委员会审核通过。

### 1.2 问卷调查

调查问卷内容包括产妇年龄、教育程度、家庭平均月收入、产妇工作、孕期吸烟史和被动吸烟、饮酒、产次、居住时间和饮食习惯。采用食物频率问卷(Food frequency questionnaire, FFQ)收集过去一年内使用某种食物的频率(每天吃,每周吃,每月吃,不吃)。婴儿的性别摘录于医院医疗记录。

### 1.3 PFASs检测与质量控制

检测所需实验耗材、血清前处理、PFASs提取及高效液相色谱-串联质谱分析方法详见课题组前期

已发表的文献<sup>[12]</sup>。简而言之,采用离子对萃取法提取血清样品;用液相色谱-三重四极杆质谱(Agilent, Santa Clara, USA)测定脐血血清中的11种PFASs,包括全氟己烷磺酸(Perfluorohexanesulfonate, PFHxS)、全氟辛烷磺酸盐(Perfluorooctanesulfonate, PFOS)、全氟癸烷磺酸盐(Perfluorodecanesulfonate, PFDS)、全氟辛酸(Perfluorooctanoic acid, PFOA)、全氟壬酸(Perfluorononanoic acid, PFNA)、全氟癸酸(Perfluorodecanoic acid, PFDA)、全氟十一酸(Perfluoroundecanoic acid, PFUDA)、全氟十二酸(Perfluorododecanoic acid, PFDoA)、全氟十三酸(Perfluorotridecanoic acid, PFTrDA)、全氟十四烷酸(Perfluorotetradecanoic acid, PFTeDA)和全氟十六烷酸(Perfluorohexadecanoic acid, PFHxDA)。所有PFASs标准原液和定量内标溶液均购自Wellington实验室(加拿大Guelph)。对于每个分析物,绘制5点校正曲线,范围为0.05~10 ng/mL。所有化合物的校准曲线在浓度范围内表现出良好的线性,相关系数均 $\geq 0.99$ 。PFASs的回收率范围为76%~103%。PFASs的检测限(Limits of detection, LOD)定义为信噪比等于或大于3的浓度,范围为0.01~0.02 ng/mL。每25个样品包含1个空白对照。通过检测到PFASs浓度减去同批样本过程空白中PFASs水平来校正浓度。

### 1.4 统计学分析

使用Empower Stats软件和R软件进行统计分析。在所有分析中,低于LOD的浓度用 $(LOD/\sqrt{2})$ 替代。PFASs浓度呈非正态分布,采样自然对数转换后作为应变量纳入模型进行分析。对检出率较高的PFASs(>70%,包括PFOS、PFHxS、PFOA、PFNA、PFDA、PFUDA和PFDoA),及11种PFASs之和( $\Sigma_{11}$ PFASs)进行回归分析,计算出的 $\beta$ 值及其95%CI进行指数转换,代表自变量每变化一个单位后PFASs水平几何均数(Geometric mean, GM)比值的变化。使用单因素分析和广义线性回归模型来评估潜在因素对脐带血PFASs浓度的影响。在单因素分析中,摄入频率 $P < 0.1$ 的食物项目被纳入到最终的模型中。为了保证每组间有足够的样本量,每种食物的原始频率组被重新划分两个分类变量(<4次/月,  $\geq 4$ 次/月)或者(<1次/月,  $\geq 1$ 次/月)代入模型。双侧 $P < 0.05$ 被认为具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 产妇社会人口学特征、生活习惯和孕期饮食习惯

产妇平均年龄为(26.1 $\pm$ 3.9)岁。大多数产妇

受过初中教育(85.12%,286/336)。将近3/5(207/336)的产妇在怀孕期间不工作。仅有少量的产妇孕期主动吸烟(4/336)或饮酒(6/336);而3.57%(12/336)的孕期产妇每天被动吸烟超过15 min。54.17%(182/336)的孕期产妇是初产妇(表1)。

### 2.2 脐带血PFASs浓度及不同种类间相关性

如表2所示,PFOA、PFOS、PFDA、PFNA在90%以上的婴儿脐血样本中都有检出。脐血中PFASs以PFOA(GM)(男1.30 ng/mL;女1.22 ng/mL)和PFOS(男1.06 ng/mL;女1.02 ng/mL)为主。但是男、女婴儿脐血PFAS浓度差异并无统计学意义( $P>0.05$ )。

### 2.3 脐带血PFASs浓度的影响因素

脐带血中的PFASs水平与各种因素的多元线性回归结果见表3。

年龄对脐带血PFASs浓度的影响。其他五种脐血PFASs(PFOA、PFNA、PFDA、PFDoA和PFOS)浓度都随着产妇年龄增加而增加(GM比值为1.03~1.05),且差异有统计学意义。虽然PFHxS和PFUdA暴露水平与产妇年龄呈正相关,但是差异没有统计学意义。

收入对脐带血PFASs浓度的影响。家庭收入中等(2000~<4000元/月)和高等( $\geq 4000$ 元/月)的产妇脐血PFNA浓度是低收入(<2000元/月)产妇的1.30倍(95%CI:1.02,1.65)和1.52倍(95%CI:1.17,1.97);中等和高收入的产妇脐血PFUdA浓度是低收入产妇的1.49倍(95%CI:1.13,1.98)和1.63倍(95%CI:1.20,2.21);中等收入产妇脐血PFDoA浓度是低收入的1.35倍(95%CI:1.01,1.79)。

吸烟对脐带血PFASs浓度的影响。孕期有吸烟史的产妇脐血PFUdA较高(GM比值2.90;95%CI:1.11,7.56)。每天接触二手烟超过15 min的产妇脐血PFDoA浓度高于接触少于15 min的产妇(GM比值1.84;95%CI:1.02,3.32)。

产次对脐带血PFASs浓度的影响。经产妇的脐血PFOS(GM比值0.65;95%CI:0.51,0.82)和 $\Sigma_{11}$ PFASs浓度(GM比值0.76;95%CI:0.65,0.89)低于初产妇。

孕期是否工作对脐带血PFASs浓度的影响。孕期参加工作的产妇比没有工作的产妇脐血PFNA浓度低(GM比值0.82;95%CI:0.67,1.00)。

孕期产妇的饮食习惯对脐带血中PFASs浓度的影响各不相同。牛羊肉摄入频率高的产妇脐血PFUdA浓度比摄入频率低的产妇高(GM比值1.46;95%CI:1.11,1.92)。吃蒜苗、南瓜和咸菜的

表1 研究人群的基本人口学特征( $n=336$ )

Table 1 Demographic characteristics of study subjects ( $n=336$ )

产妇及新生儿基本特征	数量	百分比/%
产妇年龄/岁	26.1±3.9	
新生儿性别		
男	183	54.46
女	153	45.54
产妇教育水平		
小学	15	4.46
初中	286	85.12
高中及以上	35	10.42
家庭平均月收入/元		
<2000	107	31.85
2000~<4000	115	34.23
$\geq 4000$	114	33.93
参加工作		
无	207	61.61
有	129	38.39
孕期吸烟		
无	332	98.81
有	4	1.19
被动吸烟		
<15 min/d	324	96.43
$\geq 15$ min/d	12	3.57
饮酒		
无	330	98.21
有	6	1.79
产次		
0	182	54.17
$\geq 1$	154	45.83
牛羊肉		
<1次/月	264	78.57
$\geq 1$ 次/月	72	21.43
柑橘类		
<1次/月	173	51.49
$\geq 1$ 次/月	163	48.51
牛奶		
<1次/月	177	52.68
$\geq 1$ 次/月	159	47.32
白菜		
<4次/月	66	19.64
$\geq 4$ 次/月	270	80.36
茄子		
<4次/月	170	50.60
$\geq 4$ 次/月	166	49.40
南瓜		
<1次/月	305	90.77
$\geq 1$ 次/月	31	9.23
蒜苗		
<1次/月	285	84.82
$\geq 1$ 次/月	51	15.18
洋葱		
<1次/月	199	59.23
$\geq 1$ 次/月	137	40.77
咸菜		
<1次/月	298	88.69
$\geq 1$ 次/月	38	11.31

产妇脐血PFOS(GM比值1.33;95%CI:1.02,1.73)、PFDoA(GM比值1.80;95%CI:1.21,2.68)和PFDA(GM比值1.35;95%CI:1.04,1.74)浓度均比不吃的产妇浓度高。吃橘子的产妇脐血PFOS浓度比不吃橘子的浓度低(GM比值0.79;95%CI:0.63,1.00);孕期喝牛奶的产妇比不喝牛奶的产妇

表2 不同性别新生儿脐血中PFASs暴露水平分布

Table 2 Distributions of cord blood PFASs in male and female newborns

化合物	检出率/%	GM	P25	P50	P75	检出范围/(ng/mL)
男婴(n=183)						
PFOA	100	1.30	0.88	1.30	1.93	0.17 ~ 18.90
PFNA	97.3	0.10	0.07	0.11	0.16	ND ~ 0.82
PFDA	98.4	0.09	0.06	0.10	0.16	ND ~ 1.10
PFUdA	89.6	0.07	0.05	0.09	0.13	ND ~ 0.72
PFDoA	77.6	0.02	ND	0.02	0.04	ND ~ 0.67
PFHxS	96.2	0.10	0.05	0.09	0.16	ND ~ 1.97
PFOS	100	1.06	0.58	1.02	1.73	0.13 ~ 9.45
Σ <sub>11</sub> PFASs		3.24	2.29	3.00	4.59	0.50 ~ 21.94
女婴(n=153)						
PFOA	100	1.22	0.88	1.19	1.76	0.03 ~ 6.98
PFNA	92.8	0.09	0.07	0.1	0.15	ND ~ 0.38
PFDA	98.7	0.09	0.06	0.09	0.13	ND ~ 0.44
PFUdA	87.6	0.06	0.05	0.08	0.11	ND ~ 0.50
PFDoA	78.4	0.02	ND	0.02	0.04	ND ~ 0.78
PFHxS	88.9	0.08	0.05	0.09	0.15	ND ~ 4.46
PFOS	99.3	1.02	0.60	0.96	1.80	ND ~ 6.69
Σ <sub>11</sub> PFASs		3.03	2.20	3.09	4.19	0.15 ~ 12.29

脐血 PFDA (GM 比值 0.82; 95%CI: 0.68, 0.99) 和 PFDoA (GM 比值 0.68; 95%CI: 0.54, 0.87) 浓度低。白菜摄入频率高的产妇脐血 PFUdA (GM 比值 0.71; 95%CI: 0.54, 0.94) 和 PFDoA (GM 比值 0.73; 95%CI: 0.55, 0.96) 浓度较低。茄子摄入频率高的产妇脐血 PFHxS (GM 比值 0.77; 95%CI: 0.59, 1.00) 和 PFDoA (GM 比值 0.76; 95%CI: 0.59, 0.99) 的浓度较低。

### 3 讨论

本研究发现河南某地区新生儿存在宫内 PFASs 暴露, 浓度与普通人群相似, 在课题组前期研究中已有报道<sup>[12]</sup>。脐血 PFASs 暴露水平可能与产妇年龄、家庭收入、产妇孕期主动和被动吸烟等社会人口学特征和生活习惯有关。孕期牛羊肉摄入频率高的产妇脐血 PFASs 浓度较高, 孕期植物源性食物摄入可能影响产妇脐血 PFASs 浓度。

与既往研究类似<sup>[13-14]</sup>, 本研究发现脐血 PFASs 浓度随着产妇年龄增加而增加, 这种增加趋势与 PFASs 时间蓄积效应有关。PFASs 是一种持久性有机污染物, 生物半衰期长(4~5年), 可随时间在人体内蓄积。本研究还发现家庭收入、工作、吸烟状况和产次与脐血 PFASs 浓度显著相关。中国上海<sup>[15]</sup>的研究也发现家庭收入与 PFASs 浓度之间存在正相关。推测可能因为家庭收入较高的家庭, 在外就餐和点外卖的次数更多, 摄入 PFASs 污染食物机会增多<sup>[16]</sup>。PFOA 和 PFOS 在一次性纸杯、快餐包装、爆米花包装等食品包装中均有检出, 可能会向食品中迁移, 从而引起食物 PFASs 污染<sup>[17]</sup>。本研究还发现参加工作的产妇脐血 PFNA 浓度低于没

有工作的产妇。既往研究尚未发现工作对产妇 PFASs 浓度的影响<sup>[11]</sup>。这些研究提示是否工作可能不是普通人群的重要暴露途径。与初产妇相比, 经产妇脐血 PFASs 浓度更低。这与 PFASs 妊娠期间通过胎盘转移, 和可在母乳中蓄积有关<sup>[7]</sup>。本研究还发现吸烟(主动和被动)会导致产妇脐血 PFASs 浓度增高, 有研究也认为产妇吸烟可能是 PFASs 浓度增高的危险因素<sup>[11]</sup>, 然而吸烟增加 PFASs 暴露的过程尚不清楚。

动物源性食品是人体 PFASs 暴露的重要来源<sup>[18]</sup>。ZHANG 等<sup>[19]</sup>测定了 125 份动物源性食品中 PFASs 含量, 发现牛肉和羊肉中总 PFASs 浓度分别为 4.43、1.71 ng/g。既往研究还发现肉类摄入频率与血清 PFASs 浓度呈正相关<sup>[10]</sup>。本研究也发现牛羊肉摄入频率高与脐血 PFASs 浓度增加有关。对肉类 PFASs 污染控制应引起重视, 以降低 PFASs 的暴露风险。

本研究还发现植物源性食物(南瓜、白菜等蔬菜和橘子等水果)的摄入与脐血 PFASs 浓度有关。蔬菜水果是我国膳食的重要组成部分。虽然蔬果类 PFASs 含量较低<sup>[20-21]</sup>, 但是摄入量较大。而当前蔬菜和水果等植物源性食物摄入与人体 PFASs 浓度的报道研究较少, 且结论并不一致。上海某项研究发现叶菜类蔬菜食用频率与育龄期女性血 PFASs 浓度呈正相关<sup>[22]</sup>, 而摄入谷类、豆类和根茎类等植物源性食物频率高与 PFASs 暴露水平低有关<sup>[10, 15]</sup>。一方面, 不同种类甚至同一种类不同食用部位的蔬菜和水果中 PFASs 浓度不同。山东寿光某蔬菜基地研究<sup>[23]</sup>发现叶类蔬菜(8.68 ng/g·dw)平均浓度高于根茎类(3.84 ng/g·dw)和水果类蔬菜(6.46 ng/g·dw)。天

表3 脐血中PFASs浓度影响因素的广义线性回归结果(n=336)<sup>a</sup>  
Table 3 Generalized linear regression for the influencing factors of PFASs in cord blood (n=336)<sup>a</sup>

影响因素	PFOA GM 比值(95%CI)	PFNA GM 比值(95%CI)	PFDA GM 比值(95%CI)	PFUdA GM 比值(95%CI)	PFDoA GM 比值(95%CI)	PFHxS GM 比值(95%CI)	PFOS GM 比值(95%CI)	Σ <sub>11</sub> PFASs GM 比值(95%CI)
产妇年龄/岁	1.03 (1.01, 1.05)**	1.03 (1.01, 1.06)*	1.05 (1.03, 1.08)**	1.02 (0.99, 1.06)	1.04 (1.01, 1.07)*	1.02 (0.99, 1.05)	1.04 (1.01, 1.07)**	1.04 (1.02, 1.06)**
家庭平均月收入/元								
<2 000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2 000 ~ <4 000	1.00 (0.82, 1.22)	1.30 (1.02, 1.65)*	1.03 (0.83, 1.29)	1.49 (1.13, 1.98)**	1.35 (1.01, 1.79)*	1.01 (0.76, 1.35)	1.22 (0.96, 1.56)	1.09 (0.92, 1.28)
≥4 000	0.97 (0.78, 1.20)	1.52 (1.17, 1.97)**	1.12 (0.89, 1.42)	1.63 (1.20, 2.21)**	1.29 (0.95, 1.75)	0.76 (0.55, 1.04)	1.17 (0.90, 1.52)	1.01 (0.85, 1.21)
参加工作								
无	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
有	0.92 (0.78, 1.08)	0.82 (0.67, 1.00)*	0.99 (0.83, 1.18)	0.88 (0.70, 1.11)	0.96 (0.77, 1.21)	1.19 (0.94, 1.50)	0.99 (0.81, 1.21)	0.96 (0.84, 1.09)
吸烟								
无	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
有	0.79 (0.40, 1.56)	1.81 (0.79, 4.11)	1.51 (0.72, 3.19)	2.90 (1.11, 7.56)*	1.29 (0.49, 3.41)	0.78 (0.29, 2.09)	1.99 (0.87, 4.55)	1.21 (0.70, 2.12)
被动吸烟								
<15 min/d	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥15 min/d	1.36 (0.90, 2.05)	0.72 (0.44, 1.19)	1.39 (0.88, 2.19)	0.42 (0.23, 0.75)**	1.84 (1.02, 3.32)*	1.53 (0.84, 2.80)	1.02 (0.61, 1.68)	1.14 (0.82, 1.60)
产次								
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥1	0.84 (0.69, 1.02)	0.81 (0.64, 1.03)	0.95 (0.76, 1.17)	0.90 (0.68, 1.18)	0.84 (0.64, 1.11)	0.89 (0.67, 1.18)	0.65 (0.51, 0.82)**	0.76 (0.65, 0.89)**
牛羊肉								
<1次/月	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥1次/月	1.05 (0.87, 1.28)	1.25 (0.99, 1.59)	1.12 (0.91, 1.39)	1.46 (1.11, 1.92)*	0.92 (0.70, 1.21)	0.98 (0.74, 1.30)	1.14 (0.90, 1.44)	1.07 (0.91, 1.25)
柑橘类								
<1次/月	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥1次/月	1.08 (0.89, 1.31)	0.80 (0.63, 1.01)	0.85(0.69, 1.05)	1.00 (0.76, 1.31)	0.82 (0.62, 1.07)	1.03 (0.78, 1.36)	0.79 (0.63, 1.00)*	0.94 (0.80, 1.10)
牛奶								
<1次/月	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥1次/月	0.94 (0.79, 1.11)	0.93 (0.76, 1.13)	0.82 (0.68, 0.99)*	1.22 (0.96, 1.54)	0.68 (0.54, 0.87)**	0.88 (0.69, 1.13)	0.94 (0.76, 1.15)	0.94 (0.82, 1.07)
白菜								
<4次/月	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥4次/月	0.89 (0.73, 1.09)	0.89 (0.70, 1.13)	1.03 (0.83, 1.28)	0.71 (0.54, 0.94)*	0.73 (0.55, 0.96)*	1.22 (0.91, 1.62)	0.99 (0.78, 1.26)	0.91 (0.77, 1.07)
茄子								
<4次/月	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥4次/月	0.99 (0.82, 1.18)	1.03 (0.82, 1.28)	1.04 (0.85, 1.27)	1.15 (0.89, 1.49)	0.76 (0.59, 0.99)*	0.77 (0.59, 1.00)*	1.17 (0.94, 1.46)	1.03 (0.89, 1.20)
南瓜								
<1次/月	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥1次/月	1.11 (0.84, 1.47)	1.16 (0.83, 1.62)	1.08 (0.80, 1.47)	0.90 (0.61, 1.33)	1.80 (1.21, 2.68)*	0.77 (0.52, 1.16)	0.91 (0.65, 1.28)	1.07 (0.85, 1.34)
蒜苗								
<1次/月	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥1次/月	1.09 (0.87, 1.35)	1.22 (0.94, 1.60)	1.05 (0.83, 1.34)	0.92 (0.68, 1.25)	1.05 (0.77, 1.44)	1.03 (0.75, 1.41)	1.33 (1.02, 1.73)*	1.14 (0.95, 1.36)
洋葱								
<1次/月	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥1次/月	0.92 (0.76, 1.12)	1.03 (0.81, 1.30)	1.00 (0.81, 1.23)	0.91 (0.69, 1.19)	1.01 (0.77, 1.34)	0.91 (0.68, 1.20)	0.99 (0.78, 1.25)	0.96 (0.82, 1.12)
咸菜								
<1次/月	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
≥1次/月	1.16 (0.91, 1.47)	1.34 (1.00, 1.79)*	1.35 (1.04, 1.75)*	1.23 (0.87, 1.72)	1.04 (0.73, 1.46)	0.94 (0.66, 1.33)	1.20 (0.90, 1.61)	1.15 (0.95, 1.40)

注:<sup>a</sup>P<0.05; \*\*P<0.01; \*调整混杂因素:新生儿性别,产妇教育,当地居住时间,饮水煮沸,香蕉,坚果类,瓜子类,豆角

津的一项研究<sup>[24]</sup>发现白菜根(0.42  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{wt}$ )和萝卜根部(0.14  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{wt}$ )PFOS浓度均高于白菜叶(0.07  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{wt}$ )与萝卜叶(0.07  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{wt}$ )。另一方面PFASs浓度低的食物较多摄入可能竞争性地引起肉类等动物性食物减少,从而减少摄取PFASs高浓度的可能性<sup>[10]</sup>。挪威的研究<sup>[8]</sup>发现高肉类/低蔬菜摄入组比低肉类/高蔬菜摄入组的血浆PFOA和PFOS浓度高。今后在进行PFASs膳食暴露评估时,不仅考虑单独食物组别的影响,还应考虑整体膳食结构的影响。

本研究也存在某些局限性。首先,某些重要因素如母体体质指数和妊娠时间并未收集到,这些因素对脐血PFASs水平的影响尚未有一致结论,今后研究可考虑收集这些因素;其次,FFQ调查是产妇在医院等待分娩时进行的。在怀孕期间,饮食结构可能会发生变化。这些可能导致回忆偏差和暴露偏差,也无法反映产妇长期饮食习惯的累积效应。最后,本研究产妇饮食习惯倾向于呈现中国北方城市的特点,考虑到不同地方暴露水平差异及饮食习惯,今后的研究可根据当地饮食模式开展进一步研究,以支持当地的暴露风险评估。

综上所述,产妇年龄、家庭收入、孕期有无吸烟和被动吸烟,产次和膳食结构都可能影响新生儿PFASs暴露水平。

## 参考文献

- [1] SUNDERLAND E M, HU X C, DASSUNCAO C, et al. A review of the pathways of human exposure to poly-and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects[J]. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 2019,29(2):131-147.
- [2] LAND M, DE WIT C A, COUSINS I T, et al. What is the effect of phasing out long-chain per-and polyfluoroalkyl substances on the concentrations of perfluoroalkyl acids and their precursors in the environment? A systematic review protocol[J]. *Environmental Evidence*, 2015, 4(1): 1-13.
- [3] 侯沙沙, 王晓晨, 谢琳娜, 等. 氟工厂附近青少年体内全氟化合物(PFASs)暴露特征分析及其与性征发育水平关联性初探[J]. *环境化学*, 2020,39(4):931-940.  
HOU S S, WANG X C, XIE L N, et al. Exposure to perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances and association with the level of pubertal development of adolescents near a fluorochemical plant [J]. *Environmental Chemistry*, 2020, 39(4): 931-940.
- [4] LIEW Z, GOUDARZI H, OULHOTE Y. Developmental exposures to perfluoroalkyl substances (PFASs): An update of associated health outcomes [J]. *Current Environmental Health Reports*, 2018, 5(1): 1-19.
- [5] LIND P M, SALIHVIC S, STUBLESKI J, et al. Changes in plasma levels of perfluoroalkyl substances (PFASs) are related to increase in carotid intima-media thickness over 10 years-a longitudinal study[J]. *Environmental Health*, 2018, 17(1):59.
- [6] JIAN J M, CHEN D, HAN F J, et al. A short review on human exposure to and tissue distribution of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs) [J]. *The Science of the Total Environment*, 2018, 636: 1058-1069.
- [7] CARIOU R, VEYRAND B, YAMADA A, et al. Perfluoroalkyl acid (PFAA) levels and profiles in breast milk, maternal and cord serum of French women and their newborns [J]. *Environment International*, 2015,84:71-81.
- [8] HALLDORSSON T I, FEI C Y, OLSEN J, et al. Dietary predictors of perfluorinated chemicals: A study from the Danish national birth cohort[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(23): 8971-8977.
- [9] 牛金波, 方广虹, 梁红, 等. 浙江省嘉善地区孕妇全氟化合物暴露水平及影响因素[J]. *环境与职业医学*, 2021,38(4): 368-378.  
NIU J B, FANG G H, LIANG H, et al. Concentrations and influencing factors of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in plasma of pregnant women from Jiashan, Zhejiang Province [J]. *Journal of Environmental and Occupational Medicine*, 2021, 38(4): 368-378.
- [10] TIAN Y P, ZHOU Y, MIAO M H, et al. Determinants of plasma concentrations of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in pregnant women from a birth cohort in Shanghai, China[J]. *Environment International*, 2018, 119: 165-173.
- [11] HAN W C, GAO Y, YAO Q, et al. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in matched parental and cord serum in Shandong, China[J]. *Environment International*, 2018, 116: 206-213.
- [12] CAO W C, LIU X, LIU X F, et al. Perfluoroalkyl substances in umbilical cord serum and gestational and postnatal growth in a Chinese birth cohort [J]. *Environment International*, 2018, 116: 197-205.
- [13] 刘周, 陈丹, 曹文成, 等. 武汉市一般人群血清中全氟及多氟烷基化合物浓度及其影响因素研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2021,33(2):160-165.  
LIU Z, CHEN D, CAO W C, et al. Concentration of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in serum and their influencing factors in general population in Wuhan, China [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2021, 33(2): 160-165.
- [14] 高雪嫣, 王雨昕, 李敬光, 等. 天津市孕妇全氟有机化合物的暴露水平[J]. *中国卫生工程学*, 2019,18(2):166-170.  
GAO X Y, WANG Y X, LI J G, et al. Exposure of perfluoroalkyl substances in serum of pregnant women in Tianjin [J]. *Chinese Journal of Public Health Engineering*, 2019, 18(2): 166-170.
- [15] WANG B, CHEN Q, SHEN L X, et al. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in cord blood of newborns in Shanghai, China: Implications for risk assessment [J]. *Environment International*, 2016, 97: 7-14.
- [16] RICHTEROVA D, FABELOVA L, PATSYOVA H, et al. Determinants of prenatal exposure to perfluoroalkyl substances in the Slovak birth cohort[J]. *Environment International*, 2018, 121:1304-1310.
- [17] 何鹏, 何春兰, 陈忠. 食品接触材料中全氟/多氟烷基化合物

- 的监管及对其替代品的思考[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(4):1033-1039.
- HE P, HE C L, CHEN Z. Regulatory requirements of per-and polyfluoroalkyl substances used in food contact materials and insights on their alternatives [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(4):1033-1039.
- [18] WANG Y X, LIU J Y, LI J G, et al. Dietary exposure of Chinese adults to perfluoroalkyl acids via animal-origin foods: Chinese total diet study (2005-2007 and 2011-2013) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67 (21): 6048-6055.
- [19] ZHANG T, SUN H W, WU Q, et al. Perfluorochemicals in meat, eggs and indoor dust in China: assessment of sources and pathways of human exposure to perfluorochemicals[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44 (9): 3572-3579.
- [20] 孙腾飞. 广州、佛山工业区周边土壤及蔬菜中全氟化合物的污染特征[D]. 广州:暨南大学, 2017.
- SUN T F. Pollution characteristics of perfluorinated compounds in soils and vegetables around Guangzhou and Foshan industrial zones [D]. Guangzhou: Jinan University, 2017.
- [21] 曹民, 邵俊娟, 高晓明, 等. 北京市昌平区零售乳制品及水果蔬菜中全氟化合物的含量及暴露评估[J]. *环境与健康杂志*, 2018, 35(4):337-339.
- CAO M, SHAO J J, GAO X M, et al. Perfluorochemicals in dairy products, vegetables and fruits in Changping district of Beijing and exposure evaluation [J]. *Journal of Environment and Health*, 2018, 35(4): 337-339.
- [22] 周炜. 全氟化合物对女性生殖健康的影响[D]. 上海: 上海交通大学, 2017.
- ZHOU W. Environmental Exposure to Perfluoroalkyl Substances and Female Reproductive Health. [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2017.
- [23] ZHANG M, WANG P, LU Y L, et al. Bioaccumulation and human exposure of perfluoroalkyl acids (PFAAs) in vegetables from the largest vegetable production base of China [J]. *Environment International*, 2020, 135: 105347.
- [24] 赵立杰, 周萌, 任新豪, 等. 全氟辛酸磺酸和全氟辛酸羧酸在天津大黄堡湿地地区鱼体和蔬菜中的分布研究[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(12): 2321-2327.
- ZHAO L J, ZHOU M, REN X H, et al. Distribution of Perfluorooctane Sulfonate and Perfluorooctanoic Acid in Different Tissues of Fishes and Vegetables from Dahuangpu Wetland Nature Reserve, Tianjin City, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(12): 2321-2327.