

武汉市一般人群血清中全氟辛烷磺酸和全氟辛酸分布特征

刘俊玲, 肖永华, 潘新赞, 何振宇

武汉市疾病预防控制中心, 湖北 武汉 430015

摘要: **目的** 对武汉市一般人群体内全氟辛烷磺酸(perfluorooctane sulfonate, PFOS)和全氟辛酸(perfluorooctanoate, PFOA)负荷状况及分布特征进行研究,为武汉市制定控制 PFOS 和 PFOA 污染的法规政策提供科学依据。**方法** 2014–2015 年间采用分层随机抽样方法收集在武汉市居住 5 年以上的、无职业性暴露的成人及儿童的血液样本,采用高效液相色谱串联质谱法,测定血清中 PFOS 和 PFOA 含量。采用 SPSS 22.0 软件分析检测数据。**结果** 武汉市人群血清中 PFOS 检出率为 75.4% (儿童组)、83.3% (成人组),PFOA 的检出率为 80.5% (儿童组)、82.9% (成人组)。城市、农村地区儿童组、成人组男性和女性血清中 PFOS 和 PFOA 含量差异均无统计学意义($P>0.05$)。城市地区女性血清中 PFOS 含量成人组($M=2.40$ ng/ml, $P_{25}=1.58$ ng/ml, $P_{75}=3.95$ ng/ml)高于儿童组($M=2.00$ ng/ml, $P_{25}=0.23$ ng/ml, $P_{75}=3.20$ ng/ml) ($Z=-2.565, P=0.010$),男性血清中 PFOA 含量成人组($M=1.80$ ng/ml, $P_{25}=0.25$ ng/ml, $P_{75}=5.82$ ng/ml)低于儿童组($M=3.60$ ng/ml, $P_{25}=1.13$ ng/ml, $P_{75}=10.00$ ng/ml) ($Z=-2.158, P=0.031$)。农村地区男性血清中 PFOA 含量成人组($M=1.29$ ng/ml, $P_{25}=0.05$ ng/ml, $P_{75}=3.60$ ng/ml)低于儿童组($M=4.07$ ng/ml, $P_{25}=0.24$ ng/ml, $P_{75}=8.34$ ng/ml) ($Z=-2.820, P=0.005$)。成人组女性血清中 PFOS 含量城市地区($M=2.40$ ng/ml, $P_{25}=1.58$ ng/ml, $P_{75}=3.95$ ng/ml)高于农村地区($M=0.48$ ng/ml, $P_{25}=0.05$ ng/ml, $P_{75}=5.02$ ng/ml) ($Z=-4.316, P<0.001$),PFOA 含量城市地区($M=3.30$ ng/ml, $P_{25}=0.85$ ng/ml, $P_{75}=6.85$ ng/ml)高于农村地区($M=0.88$ ng/ml, $P_{25}=0.24$ ng/ml, $P_{75}=4.05$ ng/ml) ($Z=-3.639, P<0.001$)。武汉市人群血清中 PFOS 和 PFOA 含量之间存在正相关关系($P<0.05$)。**结论** 地区、年龄、生理状态等因素的作用都可能造成人群体内 PFOS 和 PFOA 负荷的差异。饮食摄入可能是武汉地区人群暴露于 PFOS 和 PFOA 共同途径。

关键词: 全氟辛烷磺酸;全氟辛酸;成人;儿童;相关

中图分类号: R446.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-3110(2019)09-1075-05 **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-3110.2019.09.014

Distribution characteristics of serum perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate in the general population in Wuhan city

LIU Jun-ling, XIAO Yong-hua, PAN Xin-yun, HE Zheng-yu

Wuhan Center for Disease Prevention and Control, Wuhan, Hubei 430015, China

Corresponding author: HE Zheng-yu, E-mail: hosan1974@163.com

Abstract: **Objective** To study the levels and distribution characteristics of serum perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in the general population in Wuhan city, and to provide a scientific basis for formulating laws and regulations that govern PFOS and PFOA pollution. **Methods** A stratified random sampling method was used to collect serum samples from adults, who had lived in Wuhan city for over five years and had no occupational exposure history, and children in 2014–2015. The concentration of serum PFOS and PFOA were determined by high performance liquid chromatography and tandem mass spectrometry (HPLC/MS/MS). Statistical analysis was performed using SPSS 22.0 software package. **Results** The detection rates of serum PFOS in the general population in Wuhan city were 75.4% (the children group) and 83.3% (the adult group), respectively, and those of serum PFOA were 80.5% (the children group) and 82.9% (the adult group), respectively. No statistically significant differences were found in the concentration of serum PFOS and PFOA between the urban and rural children groups as well as between the male and female adult groups (both $P>0.05$). In the urban area, the concentration of serum PFOS of the female adult group ($M=2.40$ ng/ml, $P_{25}=1.58$ ng/ml, $P_{75}=3.95$ ng/ml) was higher than that of the female children group ($M=$

基金项目: 武汉市卫生局基金项目 (WG13A03)

作者简介: 刘俊玲 (1976–), 女, 湖北云梦人, 硕士, 副主任医师, 研究方向: 环境卫生。

通信作者: 何振宇, E-mail: hosan1974@163.com。

2.00 ng/ml, $P_{25}=0.23$ ng/ml, $P_{75}=3.20$ ng/ml), ($Z=-2.565, P=0.010$)), but the concentration of serum PFOA of the male adult group ($M=1.80$ ng/ml, $P_{25}=0.25$ ng/ml, $P_{75}=5.82$ ng/ml) was lower than that of the male children group ($M=3.60$ ng/ml, $P_{25}=1.13$ ng/ml, $P_{75}=10.00$ ng/ml), ($Z=-2.158, P=0.031$)). In the rural area, the concentration of serum PFOA of the male adult group ($M=1.29$ ng/ml, $P_{25}=0.05$ ng/ml, $P_{75}=3.60$ ng/ml) was lower than that of the male children group ($M=4.07$ ng/ml, $P_{25}=0.24$ ng/ml, $P_{75}=8.34$ ng/ml), ($Z=-2.820, P=0.005$)). The concentration of serum PFOS ($M=2.40$ ng/ml, $P_{25}=1.58$ ng/ml, $P_{75}=3.95$ ng/ml) and PFOA ($M=3.30$ ng/ml, $P_{25}=0.85$ ng/ml, $P_{75}=6.85$ ng/ml) in the urban female adult group was higher than that in the rural female adult group ($M=0.48$ ng/ml, $P_{25}=0.05$ ng/ml, $P_{75}=5.02$ ng/ml), ($Z=-4.316, P<0.001$); ($M=0.88$ ng/ml, $P_{25}=0.24$ ng/ml, $P_{75}=4.05$ ng/ml), ($Z=-3.639, P<0.001$)). There was a positive correlation between serum PFOS and PFOA concentration in the population in Wuhan city. **Conclusions** Some factors like district, age and physiologic status may lead to differences in the levels of serum PFOS and PFOA of the population. Dietary intake may be the common route exposed to PFOS and PFOA in the population in Wuhan.

Key words: perfluorooctane sulfonate; perfluorooctanoate; adult; children; correlation

全氟辛烷磺酸(perfluorooctane sulfonate, PFOS)和全氟辛酸(perfluorooctanoate, PFOA)以及它们的盐类, 由于具有疏水、疏油性、热稳定性、化学稳定性及高表面活性被广泛地应用于各种工业与民用产品生产中。由于 PFOS 和 PFOA 的广泛应用, 在全世界范围内的各种环境介质中都已检测到这类物质的存在^[1]。PFOS 和 PFOA 造成的环境污染已遍及全球生态系统。研究表明这类化合物在一定剂量下具有肝毒性、免疫毒性、神经毒性、内分泌干扰效应、潜在致癌性等多种毒性效应。近年来全世界范围内有关一般人群血样中 PFOS 和 PFOA 的研究在不断进行^[2]。我国关于人体内 PFOS 和 PFOA 的负荷水平研究起步较晚, 李笑^[1]系统地研究了我国一般人群血清中 PFOS 和 PFOA 的负荷水平, 其几何均值浓度分别为 4.25 ng/ml 和 3.64 ng/ml, 不同地区一般人群血清中 PFOS 和 PFOA 浓度具有地域性差异, 但此次研究未涉及到中部城市人群。

金一和等^[3]的研究提示武汉地区存在工业化生产或大量使用 PFOS 和 PFOA 的污染源。本课题组 2013 年的研究也证实了武汉市饮用水中存在 PFOA 的污染^[4]。关于武汉地区一般人群血清中 PFOA 和 PFOS 的负荷水平仅见零星报道, 而且涉及的样本数比较少, 关于其分布特征的研究欠缺^[5]。本研究对武汉地区一般人群血清中 PFOS 和 PFOA 污染水平及分布特征进行系统的研究, 为武汉市制定控制 PFOS 和 PFOA 污染的法规政策提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 本次研究以武汉市居住 5 年以上的、无职业性暴露的成人(18~<60 岁)和儿童(3~14 岁)为研究对象。样本量 $N=(U\alpha^2 \times \sigma^2)/\delta^2$, α 为显著性水准, 取 0.05, $U\alpha=1.96$, δ 为允许误差, 为 0.1 ng/ml, σ 为总体标准差, 估计值为 1.08 ng/ml, 算得样本量为

448, 考虑到 10% 左右的失访率和抽样误差, 样本量 N 定为 540。采用多层分层随机抽样方法选取有代表性的人群样本。2014-2015 年选取中心城区和黄陂区作为监测点, 黄陂区随机抽取 3 个乡镇作为调查单元, 中心城区随机选取 147 名成人和 84 名儿童为研究对象, 每个乡镇随机选取 50 左右名成人和 50 左右名儿童为研究对象。肘部静脉采集全血样品, 分离血清, -20℃ 保存。采用事先设计好的调查表对被调查者的年龄、性别、居住地等进行问卷调查。样本的采集遵循自愿和知情同意的原则。武汉市疾病预防控制中心伦理委员会审议认为该研究符合伦理学要求。

1.2 仪器与试剂 N-EVAPTM112 氮吹仪 (Organomation Associates, 美国); 超高效液相色谱串联质谱仪 (Waters 公司, 美国)。全氟辛烷磺酸标准品 (Wellington 公司, 美国), 全氟辛酸标准品 (Wellington 公司, 美国)。

1.3 样品分析 准确吸取 0.5 ml 血清置于离心管中, 加入 2 ml 0.25 mol/L 碳酸钠和 1.0 ml 0.5 mol/L 四丁基硫酸氢铵, 涡旋混匀后加入 10 ml 甲基叔基丁醚 (每次 5 ml) 分两次进行萃取。萃取条件是漩涡混匀 5 min, 3 000 r/min 离心 10 min, 合并两次萃取液, 高纯氮气吹干。样品测试时用 1.0 ml 甲醇溶解定容, 定容后的样品用 0.45 μ m 滤膜过滤后进行 HPLC/MS/MS 定量分析^[2]。

1.4 质量控制 每十个样品插入一个流程空白、一个平行样、一个质控样 (1 ng/ml) 监测分析可能产生的污染、精确度和准确度。PFOS 和 PFOA 的回收率分别为 96.1% 和 103.0%, 标准曲线的相关系数均在 0.995 以上。PFOS 和 PFOA 的检测限 (LOD) 为 0.1 ng/ml。

1.5 统计学分析 实验数据使用 SPSS 22.0 进行统计分析。血清中 PFOS 和 PFOA 浓度呈偏态分布, 用 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述检测结果。采用 Mann-Whitney U 检

验进行浓度分布差异分析。采用卡方检验进行检出率差异分析。采用 Spearman 相关进行相关分析。检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。

2 结 果

2.1 调查对象基线资料 本次调查共收集了 535 份血清样本。被调查者性别、年龄构成见表 1。

2.2 人群血清中 PFOS 和 PFOA 检出率 人群血清中 PFOS 和 PFOA 的检出率见表 2。武汉市人群血清中 PFOS 检出率为 75.4%(儿童组)、83.3%(成人组), PFOA 的检出率为 80.5%(儿童组)、82.9%(成人组)。 χ^2 检验结果显示,儿童血清中 PFOS 检出率城市和农

村地区差异无统计学意义 ($P>0.05$),成人血清中 PFOS 的检出率城市高于农村 ($P<0.05$);儿童和成人血清中 PFOA 的检出率均是城市高于农村 ($P<0.05$)。

表 1 被调查对象性别、年龄构成情况

地区	年龄组	男性(<i>n</i> ,%)	女性(<i>n</i> ,%)	合计
城市	儿童组	48(57.1)	36(42.9)	84
	成人组	42(28.6)	105(71.4)	147
小计		90(39.0)	141(61.0)	231
农村	儿童组	77(50.7)	75(49.3)	152
	成人组	77(50.7)	75(49.3)	152
小计		154(50.7)	150(49.3)	304
总计		244(45.6)	291(54.4)	535

表 2 武汉市一般人群血清中 PFOS 和 PFOA 检出情况

分组	地区	例数	PFOS		PFOA	
			检出例数	检出率	检出例数	检出率
儿童组						
	城市	84	69	82.1	76	90.5
	农村	152	109	71.7	114	75.0
	合计	236	178	75.4	190	80.5
	χ^2 值		3.177		8.258	
成人组						
	城市	147	134	91.2	136	92.5
	农村	152	115	75.7	112	73.7
	合计	299	249	83.3	248	82.9
	χ^2 值		12.890		18.734	
	<i>P</i> 值		<0.001		<0.001	

2.3 人群血清中 PFOS 和 PFOA 含量及分布特征 武汉市一般人群血清中 PFOS 和 PFOA 的 P_{25} 、 P_{50} 、 P_{75} 浓度水平见表 3。性别差异分析结果显示,城市、农村地区儿童组、成人组男性和女性血清中 PFOS 和 PFOA 含量差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。城市地区女性血清中 PFOS 含量成人组高于儿童组 ($P<0.05$),男性

血清中 PFOA 含量成人组低于儿童组 ($P<0.05$);农村地区男性血清 PFOA 含量成人组低于儿童组 ($P<0.05$)。地区差异分析结果显示,成人组女性血清中 PFOS 和 PFOA 含量均是城市地区高于农村地区 ($P<0.001$),其他组别血清中 PFOS 和 PFOA 含量地区差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

表 3 武汉市一般人群血清中 PFOS 和 PFOA 含量 (ng/ml)

地区	年龄组	性别	例数	PFOS			PFOA		
				P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{25}	P_{50}	P_{75}
城市	儿童组	男	48	0.23	2.30	3.50	1.13	3.60	10.00
		女	36	0.23	2.00	3.20	2.30	4.20	12.90
	成人组				-0.372			-0.960	
					0.710			0.337	
		男	42	0.28	2.00	3.22	0.25	1.80	5.82
		女	105	1.58	2.40	3.95	0.85	3.30	6.85
					-1.836			-1.608	
					0.066			0.108	
		男			-0.398			-2.158	
					0.691			0.031	
		女			-2.565			-1.769	
					0.010			0.077	
农村	儿童组	男	77	0.05	0.51	5.40	0.24	4.07	8.34
		女	75	0.05	4.82	5.70	0.05	3.19	7.94
	成人组				-0.673			-0.652	
					0.501			0.514	
		男	77	0.22	0.54	5.66	0.05	1.29	3.60
		女	75	0.05	0.48	5.02	0.24	0.88	4.05
					-1.593			-0.143	
					0.111			0.886	
		男			-0.418			-2.820	
					0.676			0.005	

续表 3

地区	年龄组	性别	例数	PFOS			PFOA		
				<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₅₀	<i>P</i> ₇₅	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₅₀	<i>P</i> ₇₅
		女			-1.887			-1.180	
					0.059			0.238	
	儿童组	男			-0.310			-0.759	
					0.757			0.448	
	儿童组	女			-1.395			-1.835	
					0.163			0.066	
	成人组	男			-0.436			-1.357	
					0.663			0.175	
	成人组	女			-4.316			-3.639	
					<0.001			<0.001	

注:a 表示性别之间比较,b 表示年龄组之间比较,c 表示地区之间比较。

2.4 人群血清中 PFOS 和 PFOA 含量相关分析 相关分析结果显示,城市地区儿童和成人血清中 PFOS 和 PFOA 含量均呈正相关($r_s = 0.452, P < 0.001$; $r_s = 0.503, P < 0.001$);农村地区儿童和成人血清中 PFOS 和 PFOA 含量均呈正相关($r_s = 0.467, P < 0.001$; $r_s = 0.171, P = 0.035$)。

3 讨 论

全氟化合物已经被视为环境中一种新型的持久性有机污染物,PFOS 和 PFOA 是历史上使用最普遍的二种化合物,鉴于 PFOS 对生态系统和人类的潜在威胁,欧盟、美国、加拿大、日本等通过了相关决议,限制 PFOS 和 PFOA 类物质相关产品的使用与销售,我国这方面的法规政策相对缺乏,本次研究比较系统地分析了武汉市一般人群血清中 PFOS 和 PFOA 的负荷水平及性别、年龄、地区分布特征,为武汉市制定地方性的控制 PFOS 和 PFOA 污染法规政策提供基础数据,以保障居民身体健康。

武汉地区人群血清中 PFOS 和 PFOA 的检出率在 71.7%~92.5%之间,城市地区 PFOS 和 PFOA 的检出率高于农村,说明武汉地区存在 PFOS 和 PFOA 污染,且城市地区 PFOS 和 PFOA 的污染更普遍。

本次研究结果显示武汉城市地区成人血清中 PFOS 的浓度显著低于沈阳^[1]、深圳^[1]、温州^[7]、重庆^[1]、南昌^[6]等工业发达地区及大连^[1]、秦皇岛^[8]、威海^[8]、唐山^[8]等沿海地区,与邹平^[8]地区相类似;武汉城市地区成人血清中 PFOA 的浓度显著低于沈阳^[1]、大连^[1]、深圳^[1]等地区,高于秦皇岛^[8]、重庆^[1],与南昌^[6]、威海^[8]、唐山^[8]、温州^[7]相类似。关于武汉地区人群血清中 PFOS 和 PFOA 水平的较大样本比较少,仅 Pan^[9]和 Chen^[10]研究了孕妇血清中 PFOS 和 PFOA 水平。Pan 等^[9]和 Chen 等^[10]报道的武汉地区孕妇血清中 PFOS 中位数分别为 12.32 ng/ml 和 7.0 ng/ml,均高于本次研究的研究结果,PFOA 的中位数分别为 2.16 ng/ml 和 1.42 ng/ml,与本次研究研究结果相似。

Zhang 等^[11]的研究显示同一地区孕妇人群血清 PFOS 含量(14.7 ng/ml)高于一般人群(12.4 ng/ml),PFOA 水平孕妇人群(3.36 ng/ml)与一般人群(2.96 ng/ml)相当。这些研究结果提示,可能人群血清中 PFOA 浓度变异较小而 PFOS 浓度变异较大,生理性因素如妊娠对 PFOS 浓度有明显影响,职业、生活方式、饮食习惯等对 PFOS 浓度可能也有影响,还需要进一步深入研究。

关于血清中 PFOS 和 PFOA 浓度性别差异的研究结论不一致,有一些研究显示存在显著的性别差异,也有研究显示无显著的性别差异^[1, 7, 12],本次研究未发现显著的性别差异。

本次研究发现,武汉城市地区女性血清中 PFOS 含量成人组高于儿童组,与重庆^[1]、南昌^[6]、美国^[13]、澳大利亚^[14]等研究报道的结果一致,但农村地区不同年龄组 PFOS 含量分布差异无统计学意义,这可能与农村地区 PFOS 污染程度轻有关。本次研究还发现无论是城市地区还是农村地区,男性血清中 PFOA 含量均是儿童组高于成人组,南昌^[6]和宜宾^[1]地区的研究结果也显示成年人血液中的 PFOA 浓度低于未成年人,这可能和氟化有机物使用早期以 PFOS 为主,PFOA 近年来才大量使用导致不同年龄组人群接触 PFOA 的时间相差不大,但儿童的一些生活方式导致有更多的机会摄入 PFOA 以及儿童对 PFOA 的清除率低于成年人有关。

许多研究报道^[1, 14-16]PFOS 和 PFOA 的浓度分布存在城乡差异。本次研究显示武汉地区儿童组血清中 PFOS 和 PFOA 含量城市和农村不存在显著性差异;成年组女性血清 PFOS 和 PFOA 的浓度分布均是城市地区高于农村地区,提示城市地区儿童暴露于 PFOS 和 PFOA 的机会和农村地区相近,而城市地区成年人女性具有更多的暴露于 PFOS 和 PFOA 的机会,这可能与两地区 PFOS 和 PFOA 的污染程度、PFOS 和 PFOA 的使用时间长短不同,不同年龄组、性别人群生活方式

等有关。

相关分析结果显示武汉地区人群血清中 PFOS 和 PFOA 含量之间存在显著正相关关系,与一些学者的研究结果一致^[2,12,17],但相关系数均小于 0.5,说明武汉地区存在多种 PFOS 和 PFOA 暴露源,并且存在共同暴露途径。大量研究表明饮水和饮食摄入是非职业性人群暴露于 PFOS 和 PFOA 的主要途径,而我们前期的研究结果显示武汉城区饮水中 PFOS 未检出,PFOA 含量较高^[4],提示饮食摄入可能是共同的暴露来源,需要进一步研究证实。

参考文献

- [1] 李笑. 我国一般人群血清中 PFOS 和 PFOA 分布特征及基准值 [D]. 大连:大连理工大学,2011.
- [2] 杨帆,施致雄. 全氟辛烷磺酸和全氟辛酸的人群暴露水平和毒性研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(8):730-734.
- [3] 金一和,丁梅,瞿成,等. 长江三峡库区江水和武汉地区地面水中全氟辛烷磺酸和全氟辛酸污染现状调查[J]. 生态环境, 2006, 15(3):486-489.
- [4] 刘俊玲,肖永华,胡迅,等. 武汉市饮水水中全氟辛烷磺酸和全氟辛酸健康风险评价[J]. 卫生研究, 2015, 44(1):135-136.
- [5] Yeung LW, 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.
- [6] Zhang T, Wu Q, Sun HW, et al. Perfluorinated compounds in whole blood samples from infants, children and adults in China[J]. Environ Sci Technol, 2010, 44(11):4341-4347.
- [7] Zhang W, Li Z, Hu M, et al. Perfluorinated chemicals in blood of residents in Wenzhou, China[J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2011, 74(6):1787-1793.
- [8] Guo F, Zhong Y, Wang Y, et al. Perfluorinated compounds in human blood around Bohai Sea, China[J]. Chemosphere, 2011, 85(2):156-162.
- [9] Pan YT, Zhu YS, Zhen TZ, et al. Novel chlorinated polyfluorinated e-

ther sulfonates and legacy per-/polyfluoroalkyl substances: placental transfer and relationship with serum albumin and glomerular filtration rate[J]. Environ Sci Technol, 2017, 51(1):634-644.

- [10] Chen FF, Yin SS, Kelly BC, et al. Isomer-specific transplacental transfer of perfluoroalkyl acids: results from a survey of paired maternal, cord sera, and placentas[J]. Environ Sci Technol, 2017, 51(10):5756-5763.
- [11] Zhang T, Sun HW, Qin XL, et al. PFOS and PFOA in paired urine and blood from general adults and pregnant women: assessment of urinary elimination[J]. Environ Sci Pollut R, 2015, 22(7):5572-5579.
- [12] Bao J, Liu W, Liu L, et al. Perfluorinated compounds in the environment and the blood of residents living near fluorochemical plants in Fuxin, China[J]. Environ Sci Technol, 2011, 45(19):8075-8080.
- [13] Olsen GW, Huang HY, Helzlsouer KJ, et al. Historical comparison of perfluorooctanesulfonate, perfluorooctanoate, and other fluorochemicals in human blood [J]. Environ Health Perspect, 2005, 113(5):539-545.
- [14] Kärman A, Mueller JF, van Bavel B, et al. Levels of 12 perfluorinated chemicals in pooled Australian serum, collected 2002-2003, in relation to age, gender, and region[J]. Environ Sci Technol, 2006, 40(12):3742-3748.
- [15] Harada K, Saito N, Inoue K, et al. The influence of time, sex and geographic factors on levels of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate in human serum over the last 25 years [J]. J Occup Health, 2004, 46(2):141-147.
- [16] Guruge KS, Taniyasu S, Yamashita N, et al. Perfluorinated organic compounds in human blood serum and seminal plasma: a study of urban and rural tea worker populations in Sri Lanka[J]. J Environ Monitor, 2005, 7(4):371-377.
- [17] Cho CR, Lam NH, Cho BM, et al. Concentration and correlations of perfluoroalkyl substances in whole blood among subjects from three different geographical areas in Korea[J]. Sci Total Environ, 2015, 512-513:397-405.

收稿日期:2018-10-19

(上接第 1071 页)

- [4] 中华人民共和国卫生部. 中国预防与控制梅毒规划(2010-2020 年)[R]. 2010.
- [5] Wang YW, Shen ZZ, Jiang Y. Comparison of ARIMA and GM(1,1) models for prediction of hepatitis B in China[J]. PLoS One, 2018, 13(9):e201987.
- [6] 刘文东,吴莹,梁祁,等. 新陈代谢 GM(1,1)模型在中国 HIV/AIDS 流行趋势预测中的应用[J]. 中国卫生统计, 2013, 30(6):821-823,828.
- [7] 宋媛媛,王雷,熊甜,等. 灰色预测模型 GM(1,1)在手足口病发病率预测中的应用[J]. 公共卫生与预防医学, 2018, 29(5):51-54.
- [8] 原凌云,周以军,朱妮,等. 多种数据模型在手足口病发病预测的应用探讨[J]. 实用预防医学, 2018, 15(11):1400-1402.
- [9] 高礼勇,高凌云,季美娟,等. 2012-2017 年如皋市梅毒流行病学特征及趋势预测[J]. 江苏预防医学, 2018, 29(5):524-525.
- [10] 马晓梅,史鲁斌,其木格,等. 基于 ARIMA 乘积季节模型和 Holt-Winters 季节模型的梅毒月发病率预测[J]. 郑州大学学报(医学

版), 2018, 53(1):79-84.

- [11] 李莉,余爱玲,苟伟斌,等. 几种预测方法在甘肃省梅毒发病率预测中的应用[J]. 中国艾滋病性病, 2017, 23(7):647-650.
- [12] Wang YN, Wei FF, Sun CQ, et al. The research of improved grey GM(1,1) model to predict the postprandial glucose in type 2 diabetes [J]. Biomed Res Int, 2016, 2016:1-6.
- [13] Zheng YL, Zhang LP, Zhang XL, et al. Forecast model analysis for the morbidity of tuberculosis in Xinjiang, China [J]. PLoS One, 2015, 10(3):e0116832.
- [14] Cao H, Wang J, Li Y, et al. Trend analysis of mortality rates and causes of death in children under 5 years old in Beijing, China from 1992 to 2015 and forecast of mortality into the future: an entire population-based epidemiological study[J]. BMJ Open, 2017, 7(9):e015941.
- [15] 蒋莉,钟球,周琳,等. 新陈代谢灰色模型对广东省肺结核报告发病率的预测分析[J]. 中国防痨杂志, 2012, 34(7):459-462.

收稿日期:2018-12-22