

本文引用格式:王小丫,罗亚红,王情,等.渭河上游河谷型城市室外大气污染物与新生儿低出生体质量的关系研究[J].安徽医学,2023,44(7):857-862.DOI:10.3969/j.issn.1000-0399.2023.07.024

· 卫生服务研究 ·

渭河上游河谷型城市室外大气污染物与新生儿低出生体质量的关系研究

王小丫 罗亚红 王 情 何进荣 侯 璇 邹文婷 何进伟

[摘要] 目的 探索室外大气污染物与低出生体质量的关系。方法 回顾性分析2018年1月至2019年12月宝鸡市中心医院和宝鸡市人民医院产科收治的低出生体质量儿261例,健康足月儿5 872例的临床资料。分析低出生体质量儿和足月儿在胎龄、母亲年龄、剖次、本次分娩情况、妊娠并发症、妊娠期高血压综合征、孕期服药史等混杂因素的差异。大气污染物数据来源于该市八个空气质量监测站点,计算孕妇在孕早期(T1)、孕中期(T2)的 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、CO、 O_3 的个体暴露水平。利用logistic回归模型分析大气污染物暴露与新生儿低出生体质量的关系。结果 纳入6 133个单胎活产婴儿中,共发现261名低出生体质量新生儿(占比4.3%)。对比低出生体质量儿和正常足月儿发现,其孕妇在孕早期(T1)的CO暴露剂量差异有统计学意义($P<0.05$)。logistic分析结果显示:胎龄、剖次为低出生体质量的危险因素($OR=43.448, 2.131$),未发现大气污染物与新生儿低出生体质量存在统计学意义。结论 本研究虽然发现CO的暴露剂量可能会影响出生体质量,但并未发现不同孕期大气污染物是新生儿低出生体质量的独立危险因素。

[关键词] 大气污染物;低出生体质量;回顾性队列研究

doi:10.3969/j.issn.1000-0399.2023.07.024

Relationship between outdoor air pollutants and low birth weight in urban areas of valley type cities in the upper reaches of Weihe River

WANG Xiaoya¹, LUO Yahong², WANG Qing³, HE Jinrong⁴, HOU Xuan¹, ZOU Wenting¹, HE Jinwei¹

1. Medical School, Yan'an University, Yan'an 716000, China;

2. Obstetrics Department, Baoji Central Hospital, Baoji 721008, China;

3. Obstetrics Department, Baoji People's Hospital, Baoji 721006, China;

4. College of Mathematics and Computer Science, Yan'an University, Yan'an 716000, China

Funding project: National Natural Science Foundation Project (No. 41761100); Shaanxi Provincial Natural Science Basic Research Program (No. 2018JQ4013); Yan'an University 2022 National College Student Innovation and Entrepreneurship Training Program (No.: 202210719043)

Corresponding author: HE Jinwei, hotred_714@163.com

[Abstract] **Objective** To explore the relationship between outdoor air pollutants and low birth weight. **Methods** From January 2018 to December 2019, the clinical data of 261 cases of low birth weight infants and 5 872 cases of healthy term infants were analyzed retrospectively. To analyze the differences between low birth weight infants and full-term infants were analyzed in terms of gestational age, maternal age, cesarean section, current delivery situation, pregnancy complications, pregnancy hypertension syndrome, pregnancy medication history and other confounding factors. The data of air pollutants were from eight air quality monitoring stations in the city, and the individual exposure levels of PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , CO and O_3 of pregnant women during the early pregnancy (T1) and middle pregnancy (T2) were calculated. Logistic regression model was used to analyze the relationship between air pollution exposure and low birth weight of newborns. **Results** A total of 261 low birth weight newborns (4.3%) were found among 6 133 single birth live births. Comparing low birth weight and normal full-term in-

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41761100);陕西省自然科学基金基础研究计划(编号:2018JQ4013);延安大学2022年国家级大学生创新创业训练计划(编号:202210719043)

作者单位:716000 陕西延安 延安大学医学院(王小丫,侯璇,邹文婷,何进伟)

721008 陕西宝鸡 宝鸡市中心医院产科(罗亚红)

721006 陕西宝鸡 宝鸡市人民医院产科(王情)

716000 陕西延安 延安大学数学与计算机科学学院(何金荣)

通信作者:何进伟, hotred_714@163.com

fants, it was found that the CO exposure dose of pregnant women during the early pregnancy (T1) was significantly different ($P<0.05$). The results of logistic analysis showed that gestational age, cesarean section were all risk factors for low birth weight ($OR=43.448, 2.131$), but no statistical significance was found between air pollutants and low birth weight of newborn. **Conclusion** Although this study finds that the exposure dose of CO might affect the birth weight, it does not find that the air pollutants in different pregnancy periods were independent risk factors for low birth weight of newborns.

[**Key words**] Air pollutants; Low birth weight; Retrospective cohort study

低出生体质量(low birth weight, LBW)是与围产结局密切相关的一个重要因素,不仅是新生儿死亡率最重要的预报因子,还与儿童期哮喘、智力行为异常甚至成人期心血管疾病、高血压、骨质疏松症、肾脏疾病和2型糖尿病等长期健康损害也存在关联^[1]。由于我国污染物暴露水平相对较高,大气污染物与不良妊娠结局的暴露剂量-反应关系模型显得尤为重要。但是研究者多集中调查大城市或超大城市的模型研究,而对于我国西部广泛存在的河谷型城市未完全建立,大气污染物对西部地区潜在的健康影响尚待进一步研究^[2]。近年来的相关研究发现,PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂、SO₂、CO、O₃与新生儿低出生体质量存在不同的暴露-剂量反应关系,提示大气污染物对于不良妊娠结局可能存在影响,但发病机制尚不明确,目前多认为是生物、社会和环境等因素共同作用的结果,值得进一步深入研究^[3-4]。本次研究采用回顾性队列研究探讨宝鸡市大气污染物对新生儿低出生体质量的影响,并观察不同孕期各个污染物暴露对妊娠结局的影响,探索不同污染物对新生儿低出生体质量影响的关键窗口期。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取宝鸡市人民医院、宝鸡市中心医院两所医院2018年1月至2019年12月所有住院分娩的孕产妇及围产儿。纳入标准:①年龄≥20岁;②无交流障碍;③非辅助受孕;④当地居住时间>1年且具体住址详细;⑤无急、慢性疾病。排除标准:①多胎或多产;②地址不详;③缺失胎龄;④非当地居住。在出生缺陷病例的选择上,剔除母亲遗传因素存在异常及接触过致畸易感因素的个案病例。本次共收集资料8349例,排除混杂因素对结果的干扰后,最后纳入261例低出生体质量儿,胎龄36(34,38)周;5872例健康足月儿,胎龄39(38,40)周。本研究已获得延安大学医学院伦理委员会(YADXXY2020046)以及宝鸡市相关医院的批准。

1.2 孕产妇及新生儿资料 分别调查低出生体质量组和健康足月儿组孕妇及新生儿相关资料。①一般人口学基本情况:调查内容包括孕产妇姓名、年龄、职业、孕期住址等;②本次妊娠情况,如孕次、产次、剖次、末次月经、本次分娩情况(包括分娩方式:自然分娩、剖宫

产和不良妊娠结局以及孕周)、妊娠结局、新生儿情况、妊娠并发症、妊娠合并症、孕期服药史等;③遗传缺陷家族史及有害因素接触史,如饮酒、吸烟、粉尘、农药、射线等。

1.3 大气污染物暴露资料 六种大气污染物(PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂、SO₂、CO、O₃)暴露资料由国家环保部环境质量实时监测系统(<http://106.37.208.233:20035>)提供,包括宝鸡市陈仓环保局、技工学校、监测站、庙沟村、三迪小学、三陆医院、文理学院、竹园沟等八个监测站点。见图1。由于观察期内新生儿出生日期最早是在2018年1月1日出生,整个孕期大致时间段是在2017年3月至2018年1月1日;同理,出生日期最晚是在2019年12月31日,整个孕期大致时间段是在2019年2月至2019年12月31日。因此,本研究调取了自2017年1月1日至2019年12月31日的大气污染物日均浓度,观察宝鸡市城区大气污染物时空变化及为估算孕妇暴露剂量做准备。

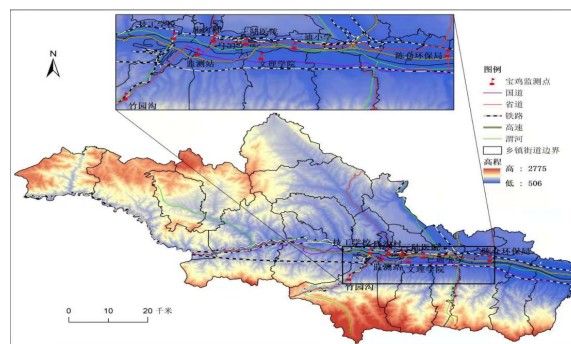


图1 宝鸡市城区室外空气质量监测站点分布图

1.4 孕期暴露估计 考虑到怀孕是一个长期的过程,空气污染的健康效应可能是慢性的累积效应,而不是急性效应。首先利用孕妇的末次月经日期和分娩日期,分别计算出孕早期(T1, first trimester, 末次月经日期~第13周日期)和孕中期(T2, second trimester, 第14周日期~第27周日期)的时间段^[5]。虽然孕妇在室内、工作、休闲和交通通勤环境下^[6-7]的空气污染物暴露水平和时间不同,但为了方便研究,笔者假设室外大气污染物的监测水平就是孕妇个体暴露的粗略指标,调取国家环保局的大气环境监测资料,分别计算每个孕妇在孕早期和孕中期每种大气污染物的平均值作为暴

露水平。

1.5 统计学方法 采用 Microsoft Excel 2007 建立数据库,进行数据的录入,并用 SPSS 20 软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以 $(\bar{x} \pm s)$ 形式表示,两组间比较采用独立样本 t 检验;偏态分布的计量资料用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,比较采用 Mann-Whitney U 秩和检验。计数资料以构成比(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用二元 logistic 回归分析低出生体质量儿的影响因素,并用 OR 值及其 95% 的可信区间(95%CI)表示各污染物与低出生体质量关联强度。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 新生儿低出生体质量情况 新生儿共 8 349 例,

排除其他因素的干扰后,两所医院可分析新生儿人数共统计为 6 133 名,其中 261 名低出生体质量新生儿,5 872 名正常体重新生儿,占总数的 95.7%。两年内低出生体质量儿发生率为 4.3%。

2.2 观察期内宝鸡市城区大气污染物时空变化 从日均值浓度变化上来看,宝鸡市 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、CO 浓度整体均呈先降后升的变化趋势,且峰值均出现在冬季(12、1、2 月份),最低值均出现在夏季(6、7、8 月份),见图 2。以 GB3095-2012《环境空气质量标准》的国家标准作为评价指标,可以发现 SO_2 、CO 和 O_3 日均值已经明显低于国家二级标准;而 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 以及 NO_2 还有相当多的月份高于国家二级标准。

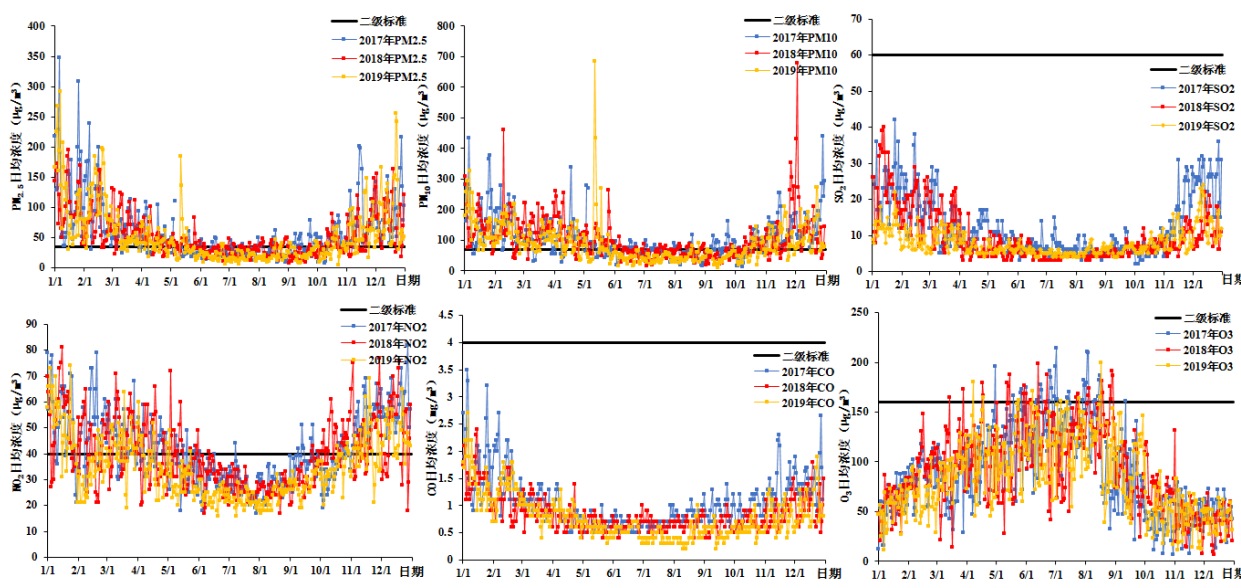


图2 2017-2019年宝鸡市大气污染物浓度日变化图

2.3 两组孕产妇一般资料对比分析 低出生体质量组胎龄在 29~36 周、孕妇年龄在 21~24 岁、孕妇剖宫产 1 次、妊娠期并发症、妊娠期高血压综合征和妊娠期服药史所占比例均高于足月儿组,差异有统计学意义($P < 0.05$);两组孕妇在孕次、产次、妊娠期合并症、遗传缺陷家族史比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

2.4 低出生体质量组和足月儿组不同孕期大气污染暴露比较 对 6 种大气污染物孕早期、孕中期暴露水平的两组孕妇进行分析,发现低出生体质量组和足月儿的 CO 暴露水平在孕早期(T1)差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

2.5 低出生体质量相关危险因素的 logistic 回归分析 以本文研究资料为样本,建立二元 logistic 分析模

型,自变量为前述表中差异有统计学意义的指标,包括胎龄、母亲年龄、剖次、本次分娩情况、妊娠期并发症、妊娠期高血压综合征等(赋值 X_1 ,本次分娩情况:1=自然分娩,2=剖宫产; X_2 ,妊娠期并发症:0=否,1=是; X_3 ,妊娠期高血压综合征:0=否,1=是; X_4 ,孕期服药史:0=否,1=是;其他计量资料以测定值带入),因变量为低出生体质量儿(赋值 Y :0=否,1=是),结果显示:胎龄、剖次为低出生体质量的危险因素($OR=43.448, 2.131$);尚未发现孕早期 CO 是低出生体质量的危险因素。见表 3。

3 讨论

国内外有关大气污染物与不良妊娠结局的关系还存在诸如关系不明确、暴露窗口期不一致^[8]。因此选择

表 1 低出生体质量组和足月儿组孕产妇一般资料对比

影响因素	低出生体质量组		足月儿组		χ^2 值	P 值
	出生数(人)	构成比(%)	出生数(人)	构成比(%)		
胎龄						
29 周 ~	148	56.7	168	2.9	1487.797	<0.001
37 ~ 42 周	113	33.3	5 724	97.1		
母亲年龄						
21 岁 ~	48	18.4	723	12.3	8.593	0.014
25 岁 ~	121	46.4	2 894	49.1		
30 ~ 35 岁	92	35.2	2 275	38.6		
孕次						
1 次	104	39.8	2 234	37.9	2.073	0.355
2 次	71	27.2	1 850	31.4		
3 ~ 8 次	86	33.0	1 807	30.7		
产次						
0 次	0	0.0	2	0.0	2.009	0.366
1 次	164	62.8	3 439	58.4		
2 次	93	35.6	2 337	39.7		
3 ~ 4 次	4	1.5	111	1.8		
剖次						
0 次	102	39.1	3 435	58.3	76.684	<0.001
1 次	126	48.3	1 428	24.2		
2 次	32	12.3	986	16.7		
3 次	1	0.4	42	0.7		
本次分娩情况						
自然分娩	107	41.0	3 507	59.5	35.389	<0.001
剖宫产	154	59.0	2 385	40.5		
妊娠并发症						
有	241	92.3	5 120	86.9	5.982	0.014
无	19	4.3	723	12.3		
缺失	1	0.4	49	0.8		
妊娠合并症						
有	188	25.7	3 930	66.7	3.487	0.062
无	67	72.0	1 835	31.1		
缺失	6	2.3	127	2.2		
妊娠高血压综合征						
是	59	22.6	275	4.7	152.974	<0.001
否	176	67.4	4 922	83.5		
缺失	26	10.0	694	11.8		
孕期服药史						
是	185	70.9	4 547	77.2	8.166	0.004
否	72	27.6	1 180	20.0		
缺失	4	1.5	165	2.8		
遗传缺陷家族史						
是	0	0.0	201	1.9	5.007	0.171
否	261	100.0	5 781	98.1		

表 2 两组患者孕妇不同孕期污染物暴露水平对比($\bar{x}\pm s$)

项目	孕期	低出生体质量组($n=261$)	足月儿组($n=5\ 872$)	t 值	P 值
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	孕早期	55.16 $\pm$ 23.85	54.12 $\pm$ 23.95	0.667	0.505
	孕中期	52.79 $\pm$ 25.59	54.79 $\pm$ 25.15	-1.313	0.189
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	孕早期	102.37 $\pm$ 30.83	100.47 $\pm$ 31.84	0.930	0.352
	孕中期	97.38 $\pm$ 34.67	100.39 $\pm$ 33.49	-1.497	0.134
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	孕早期	9.64 $\pm$ 4.81	9.44 $\pm$ 4.68	0.560	0.576
	孕中期	9.34 $\pm$ 5.08	9.42 $\pm$ 4.89	-0.561	0.575
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	孕早期	39.41 $\pm$ 7.64	39.09 $\pm$ 7.69	0.662	0.508
	孕中期	37.92 $\pm$ 8.90	38.70 $\pm$ 8.70	-1.443	0.149
CO(mg/m^3)	孕早期	0.91 $\pm$ 0.24	0.90 $\pm$ 0.24	14.950	<0.001
	孕中期	0.86 $\pm$ 0.29	0.89 $\pm$ 0.28	0.052	0.959
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	孕早期	89.35 $\pm$ 28.56	90.51 $\pm$ 29.37	-0.574	0.556
	孕中期	89.23 $\pm$ 26.13	86.19 $\pm$ 26.20	1.862	0.063

注:SO₂为二氧化硫;NO₂为二氧化氮;CO为一氧化碳;O₃为臭氧。

表 3 低出生体质量相关危险因素的 logistic 回归分析

变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	OR 值(95%CI)	P 值
胎龄	3.772	0.170	494.061	43.448(31.156 ~ 60.590)	<0.001
母亲年龄	0.222	0.120	3.403	1.248(0.986 ~ 1.579)	0.065
剖次	0.757	0.213	12.576	2.131(1.403 ~ 3.237)	<0.001
本次分娩情况	-1.027	0.303	11.497	0.358(0.198 ~ 0.648)	0.001
妊娠并发症	-0.538	0.292	3.401	0.584(0.330 ~ 1.034)	0.065
妊娠期高血压	-1.327	0.219	36.873	0.265(0.173 ~ 0.407)	<0.001
孕期服药史	-0.393	0.179	4.797	0.675(0.475 ~ 0.960)	0.029
孕早期 CO	-0.146	0.327	0.200	0.864(0.455 ~ 1.640)	0.655
常量	-0.997	0.817	1.488	0.369	0.223

合适的流行病学研究方法,控制更加全面的混杂因素,评估不同地区不同污染物与不良妊娠结局的暴露—剂量反应关系显得十分必要。本研究结果提示宝鸡市主要大气污染物浓度呈现明显的季节性变化,其原因可能是宝鸡市冬季寒冷,常出现大雾、逆温等不利天气,冬季采暖期长,造成冬季污染物浓度升高。其次是宝鸡市三面环山,以渭河为中轴向东拓展,受地形影响,污染物不易扩散。且宝鸡市的大型工厂较多对环境造成了严重的影响。

国内有文献^[9]研究发现孕早期各种污染物对低出生体质量的影响均呈负效应;孕中期 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂对低出生体质量的影响有统计学意义;孕晚期仅有 SO₂对低出生体质量产生影响,NO₂和 O₃对低出生体质量的影响呈现正向效应,但没有统计学意义。此外,也有文献^[10]发现孕早期空气污染物 PM_{2.5}、SO₂、CO、O₃对低出生体质量发生率均不存在显著性影响;在孕中期 PM_{2.5}和 CO 对低出生体质量发生存在显著性影响,且存在等级效应关系;在孕晚期,除 SO₂外,各污染物均呈现显著性影响,其中 PM_{2.5}的影响较强。国外大多数研究认为

孕期 PM_{2.5}的暴露,会增加低出生体质量发生的风险^[11-13],但是对于暴露窗口期,仍然存在着争议^[14-16]。对于孕期 NO₂的暴露,有研究表明调整模型后,孕早期 NO₂更容易增加低出生体质量风险^[17],但也有许多研究尚未发现 NO₂与低出生体质量之间的关系^[18-21]。CO 及其他气体研究较少。本研究初步探讨了宝鸡市城区室外空气污染物在不同孕期对新生儿低出生体质量的影响,发现了 CO 气体在孕早期(T1)的暴露水平低出生体质量组和足月儿组差异有统计学意义,但在调整混杂因素后发现各个大气污染物对新生儿低出生体质量发生的影响差异没有统计学意义,这与 Matteo 等的研究结果保持一致^[18]。

目前关于大气污染物对低出生体质量影响的具体生物机制尚不清楚,可能是通过全身氧化应激和炎症反应、血凝变化、内皮功能和血流动力学的变化等影响孕妇的呼吸、心血管等系统,进而影响子宫、胎盘、脐带血流量,综合作用导致新生儿低出生体质量的发生^[22]。

本研究初步探讨了西北典型河谷型城市大气污染物对新生儿低出生体质量的影响。目前西部地区关于

此类研究较少,宝鸡市作为特殊的河谷型城市,其大气污染物具有明显区别于其他类型城市的扩散、迁移、转化方式^[23-24]。同时本研究存在以下不足:①采用该地区环境监测站点的平均大气污染物浓度估计孕妇孕期暴露程度,该方法存在一定误差^[25]。②缺乏孕妇妊娠期室内室外活动时间、工作或居住地点是否安装空气净化设备或是否戴口罩防护等数据。③研究对象仅来自于宝鸡市城区的两所医院,因此代表性可能并不充分,故而关于大气污染物对新生儿不良妊娠结局的影响需要进一步深入研究。

参考文献

- [1] DENG Q, LU C, LI Y, et al. Exposure to outdoor air pollution during trimesters of pregnancy and childhood asthma, allergic rhinitis, and eczema[J]. *Environ Res*, 2016, 150: 119–127.
- [2] 刘超斌, 洪新如, 孙庆华. 进一步加强我国大气污染对个体早期发育不良效应的研究[J]. *中华围产医学杂志*, 2018, 21(2): 3.
- [3] YE L, JI YW, LÜ W, et al. Associations between maternal exposure to air pollution and birth outcomes: a retrospective cohort study in Taizhou, China[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2018, 25(22): 21927–21936.
- [4] CHENG Z, LUO L, WANG S, et al. Status and characteristics of ambient PM_{2.5} pollution in global mega cities[J]. *Environment International*, 2016, 89–90: 212–221.
- [5] 谢辛, 苟文丽. 妇产科学(第8版)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 59–77.
- [6] 赵亚敏. 北京市某校园春夏季室内外PM_{2.5}浓度水平研究[J]. *科技创新与生产力*, 2016, 275(12): 108–110.
- [7] 赵力, 陈超, 王平, 等. 北京市某办公建筑夏冬季室内外PM_{2.5}浓度变化特征[J]. *建筑科学*, 2015, 31(4): 32–39.
- [8] HYDER A, LEE H J, EBISU K, et al. PM_{2.5} exposure and birth outcomes: use of satellite- and monitor-based data[J]. *Epidemiology*, 2014, (1): 58–67.
- [9] 崔月昕, 康慧, 尹洁, 等. 石家庄市母亲孕期空气污染暴露对新生儿出生体重影响[J]. *中国公共卫生*, 2020, 36(11): 1599–1603.
- [10] 顾怡勤, 陈仁杰, 陈丽, 等. 上海市闵行区大气污染与低出生体重的相关性[J]. *上海预防医学*, 2018, 30(6): 534–538.
- [11] STIEB D M, CHEN L, BECKERMAN B S, et al. Associations of pregnancy outcomes and pm_{2.5} in a national Canadian study [J]. *Environ Health Perspect*, 2016, 124(2): 243–249.
- [12] TWUM C, ZHU J, WEI Y. Maternal exposure to ambient PM_{2.5} and term low birthweight in the State of Georgia [J]. *Int J Environ Health Res*, 2016, 26(1): 92–100.
- [13] SANTOS VDE P, MEDEIROS A P, LIMA T A, et al. Air pollutants associated with insufficient birth weight[J]. *Rev Bras Epidemiol*, 2016, 19(1): 89–99.
- [14] LAURENT O, HU J, LI L, et al. A Statewide Nested Case-Control Study of Preterm Birth and Air Pollution by Source and Composition: California, 2001–2008[J]. *Environ Health Perspect*, 2016, 124(9): 1479–1486.
- [15] VINIKOOR-IMLER L C, DAVIS J A, MEYER R E, et al. Associations between prenatal exposure to air pollution, small for gestational age, and term low birthweight in a statewide birth cohort[J]. *Environ Res*, 2014, 132: 132–139.
- [16] GRAY S C, EDWARDS S E, SCHULTZ B D. Assessing the impact of race, social factors and air pollution on birth outcomes: a population-based study[J]. *Environ Health*, 2014, 13(1): 4.
- [17] YORIFUJI T, KASHIMA S, AND DOI H. Outdoor air pollution and term low birth weight in Japan[J]. *Environ Int*, 2015, 74: 106–111.
- [18] LAURENT O, HU J, LI L, et al. A statewide nested case-control study of preterm birth and air pollution by source and composition: California, 2001–2008[J]. *Environ Health Perspect*, 2016, 124(9): 1479–1486.
- [19] CAPOBUSSI M, TETTAMANTI R, MARCOLIN L, et al. Air pollution impact on pregnancy outcomes in como, Italy[J]. *J Occup Environ Med*, 2016, 58(1): 47–52.
- [20] SCHIFANO P, ASTA F, DADVAND P, et al. Heat and air pollution exposure as triggers of delivery: A survival analysis of population-based pregnancy cohorts in Rome and Barcelona[J]. *Environ Int*, 2016, 88: 153–159.
- [21] YITSHAK-SADE M, NOVACK L, LANDAU D, et al. Relationship of ambient air pollutants and hazardous household factors with birth weight among Bedouin-Arabs[J]. *Chemosphere*, 2016, 160: 314–322.
- [22] 郑林媚, 洪新如, 孙庆华. 空气污染对胎儿生长发育的影响及作用机制[J]. *中国优生与遗传杂志*, 2011, 19(03): 1–3.
- [23] 杨永春. 中国西部河谷型城市的发展与空间结构研究[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2003, 120–125.
- [24] 国家统计局城市社会经济调查司. 2014中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014, 3–9.
- [25] HANNAM K, MCNAMEE R, DE VOCHT F, et al. A comparison of population air pollution exposure estimation techniques with personal exposure estimates in a pregnant cohort [1]. *Environ Sci Process Impacts*, 2013, 15(8): 1562.

(2022-10-26收稿)

(本文编校: 崔月婷, 张迪)