

· 调查报告与分析 ·

石家庄市母亲孕期空气污染暴露对新生儿出生体重影响*



崔月昕^{1,2}, 康慧^{3,4}, 尹洁², 张荣^{3,4}, 牛玉杰^{3,4}

【摘要】目的 初步探讨河北省石家庄市母亲孕期空气污染物暴露对新生儿出生体重的影响。**方法** 收集 2013 年 8 月—2017 年 12 月间石家庄市某省级三甲医院 3 407 名分娩孕妇及新生儿资料和每日空气污染数据, 分析孕早期、孕中期、孕晚期和整个孕期不同污染物暴露对新生儿出生体重的影响。**结果** 新生儿低出生体重发生率为 9.51%; 母亲年龄、文化程度、婴儿性别、出生年份是新生儿出生体重的影响因素, 母亲年龄、文化程度、产次是新生儿低出生体重发生的危险因素。多元线性回归分析结果表明, 不同孕期、不同污染物对新生儿出生体重的影响存在差异, 孕早期空气质量指数(AQI)、PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃ 的平均暴露量每增加 10 个单位, 出生体重分别降低 26.6、7.2、4.4、5.7、8.1、2.8、6.0 g; 孕中期 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂ 平均暴露量每增加 10 个单位, 出生体重分别降低 12.7、6.3、4.7 g; 孕晚期 SO₂ 平均暴露量每增加 10 个单位, 出生体重降低 1.3 g; 整个孕期 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂ 平均暴露量每增加 10 个单位, 出生体重分别降低 8.3、6.3、5.5、1.3 g。**结论** 孕期空气污染暴露会使新生儿出生体重降低, PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂ 对低出生体重的影响更为明显, 孕早期和孕中期可能是空气污染对低出生体重影响的关键期。

【关键词】 低出生体重; 空气污染; PM_{2.5}; PM₁₀; SO₂; 孕期

中图分类号:R 122.7 文献标志码:A 文章编号:1001-0580(2020)11-1599-05 DOI:10.11847/zgggws1124382

Impacts of maternal air pollution exposure during pregnancy on low birth weight in urban Shijiazhuang

CUI Yue-xin*, KANG Hui, YIN Jie, et al (*Department of Obstetrics and Gynecology, The Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei Province 050011, China)

【Abstract】 Objective To preliminarily explore the effect of maternal air pollution exposure in different pregnancy periods on birth weight of neonates in urban area Shijiazhuang city, Hebei province. **Methods** The data on 3 407 pregnant women and their newborns delivered between August 2013 and December 2017 were obtained from a grade A tertiary hospital in Shijiazhuang city; the daily air pollution data during the same period were also collected. The effects of exposure to different pollutants during early pregnancy, second and trimester, and throughout pregnancy on the birth weight of the newborns were analyzed. **Results** Among all the newborns, the incidence rate of low birth weight (LBW) was 9.51%; the birth weight of the neonates was influenced by maternal age, education, neonates' gender and year of birth; maternal age, education, and parity were influence factors of LBW. The results of multivariate linear regression analysis showed that there were significant differences in the effect of exposure to different pollutants on neonatal birth weight during different pregnancy periods. A decrease of 26.6, 7.2, 4.4, 5.7, 8.1, 2.8, and 6.0 grams in birth weight were associated with an increment of 10 unit in average levels exposure to air quality index (AQI), particulate matter less than 2.5 μm in aerodynamic diameter (PM_{2.5}), particulate matter less than 10 μm in aerodynamic diameter (PM₁₀), sulfur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), carbon monoxide (CO), and ozone (O₃) during the first trimester; a decrease of 12.7, 6.3, and 4.7 grams in birth weight were associated with an increment of 10 unit in the average level of exposure to PM_{2.5}, PM₁₀, and SO₂ during second trimester; a decrease of 1.3 grams in birth weight was associated with an increment of 10 unit in the average level of exposure to SO₂ during third trimester; a decrease of 8.3, 6.3, 5.5, 1.3 grams in birth weight were associated with an increment of 10 unit in the average level of exposure to PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂ during entire pregnancy, respectively. **Conclusion** Maternal exposure to air pollutants during pregnancy can significantly decrease birth weight of newborns; the adverse effects of the exposure to PM_{2.5}, PM₁₀ or SO₂ on LBW are more obvious and first and second trimester may be the critical period for the hazardous effect of maternal air pollution on birth weight of newborns.

【Key words】 low birth weight; air pollution; particulate matter less than 2.5 μm in aerodynamic diameter; particulate matter less than 10 μm in aerodynamic diameter; sulfur dioxide; pregnant period

新生儿低出生体重 (low birth weight, LBW) 是与围产结局关系密切的重要因素, 是新生儿死亡率最重要的预报因子, 也是衡量社会发展和卫生状况

的重要指标^[1]。研究表明, 空气污染可以使不良妊娠结果风险率升高, 特别是近年来人们更加关注空气污染与出生体重的关系, 很多国家和地区进行了

* 基金项目: 国家重点研发计划(2016 YFC0900604)
作者单位: 1. 河北医科大学第四医院妇产科, 石家庄 050011; 2. 河北医科大学临床实践教学部; 3. 河北医科大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学教研室; 4. 河北省环境与人群健康重点实验室
作者简介: 崔月昕(1991—), 女, 河北保定人, 医师, 硕士, 研究方向: 妇产科学、临床教学管理。(康慧为本文并列第一作者)
通信作者: 牛玉杰, E-mail: yjniu@hebm.edu.cn
数字出版日期: 2019 - 08 - 06 13:26
数字出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1234.R.20190806.1326.018.html>

相关的研究,但所涉及的污染物不同,对同一污染物的研究结论也不尽相同^[1];国内研究多是关于PM₁₀、SO₂、NO₂对出生结局的影响,发现随着污染物浓度的升高,新生儿低出生体重的风险会增加,但每项研究关于具体污染物及暴露浓度对新生儿低出生体重影响的结论并不完全一致^[2]。环保部公布的2016年全国空气质量状况显示,河北省优良天数比例仍不足60%,PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO和O₃浓度均高于全国平均水平;空气质量排名较差的前10个城市中石家庄排名第二^[3]。石家庄空气污染对妊娠结局影响的研究尚未见报道,本研究就石家庄市母亲不同孕期空气污染物暴露对新生儿低出生体重的影响进行初步探讨。

1 对象与方法

1.1 对象 为2013年8月1日—2017年12月31日间在石家庄市某省级三甲医院分娩的孕妇及新生儿。纳入标准为孕妇在石家庄市连续居住5年以上,单胎活产,且经过知情同意。排除标准为多胎、死胎,死产、引产、流产、过期产,经过保胎治疗,孕妇有吸烟饮酒史,资料不全。最后共纳入对象3 407人。

1.2 数据来源

1.2.1 孕妇及新生儿资料 来自于医院病案室。孕妇资料包括年龄、体重、身高、职业、文化程度、(同时调查丈夫的上述指标)、孕周、胎次、产次、末次月经时间、分娩日期、分娩方式;新生儿资料包括性别、出生体重、出生身长、有无畸形等。

1.2.2 空气污染数据 2014—2017年数据来源于中国空气质量在线监测分析平台公布的每日污染物数据,2013年数据由石家庄市疾病预防控制中心

提供。包括每日全市平均空气质量指数(air quality index, AQI)、PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO和O₃。

1.3 方法 对调查员进行培训,数据采用双人录入,严格按照纳入排除标准及数据要求反复核查,删除缺失及重复的数据,确保信息的完整和准确。污染物暴露估计根据国际上通行的方法,假定每天空气污染物浓度是个体暴露的合理指标,按照末次月经和分娩时间,分别计算孕早期(孕13周末前)、孕中期(孕14周~27周末)、孕晚期(孕28周后)和整个孕期每一种污染物的平均暴露水平(某孕期平均暴露水平=某孕期每日暴露量之和/某孕期天数)。

1.4 统计分析 采用R 3.4.1软件对数据进行统计分析,计数资料采用 χ^2 检验,计量资料采用方差分析,出生体重的多因素分析采用多重线性回归分析,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 新生儿出生体重情况 2013年8月—2017年12月,在该医院共有3 407名单胎新生儿出生,其中男性1 774人,占52.07%,女性1 633人,占47.93%。平均出生体重(3 184.62±563.92)g;低体重儿共324人,占9.51%。

2.2 空气污染情况 2013—2017年间,石家庄市空气质量“优”的天数(AQI≤50)只有65 d,仅占总天数(1 826 d)的3.56%;中度污染及以上天数共667 d,占总天数的36.53%;其中严重污染天数168 d,占9.20%。

2.3 孕妇暴露情况(表1) 按照末次月经和分娩时间,分别计算每位母亲孕早期、孕中期、孕晚期和整个孕期的具体时间,计算不同孕期各项污染物暴露的平均水平,具体见表1。

表1 2013—2017年孕妇不同孕期各项污染物平均暴露水平($\bar{x}\pm s$)

污染物	孕早期	孕中期	孕晚期	孕期
AQI	162.13±61.89	150.01±50.45	149.24±53.44	153.57±34.93
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	114.05±52.93	102.31±42.90	103.04±46.60	106.16±24.68
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	209.32±87.72	191.18±76.34	188.056±77.70	196.21±58.84
SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	64.73±44.62	52.65±31.97	50.39±33.61	55.87±21.99
NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	56.25±15.72	53.80±15.36	54.62±16.41	54.83±7.30
CO(mg/m^3)	1.64±0.81	1.49±0.70	1.51±0.76	1.54±0.31
O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	82.23±35.76	91.96±38.65	88.534±41.51	87.71±14.98

2.4 出生体重的影响因素(表2) 对出生体重的影响因素分析发现,母亲年龄、文化程度,对出生体重、新生儿低出生体重发生率的影响均有统计学意义($P<0.001$);婴儿性别、出生年份对出生体重的影响有统计学意义($P<0.001$, $P<0.05$),但对新

生儿低出生体重发生率的影响未见统计学差异($P>0.05$);产次对新生儿低出生体重发生率的影响有统计学意义($P<0.01$),但对出生体重的影响未见统计学差异($P>0.05$);胎次对出生体重和新生儿低出生体重发生率的影响均未见统计学差异($P>0.05$)。

表2 2013—2017年石家庄市某医院新生儿出生体重的影响因素

影响因素	出生数	出生体重(g)	F 值	P 值	低出生体重数	低出生体重率(%)	χ ² 值	P 值
婴儿性别			17.935	<0.001			2.036	0.154
男性	1 774	3 223.80 ± 552.65			156	8.79		
女性	1 633	3 142.05 ± 573.92			168	10.29		
出生年份			3.246	0.011			4.733	0.316
2013	329	3 149.62 ± 589.18			37	11.25		
2014	898	3 223.28 ± 549.23			71	7.91		
2015	441	3 213.40 ± 547.15			42	9.52		
2016	948	3 188.68 ± 575.75			91	9.60		
2017	791	3 134.36 ± 563.23			83	10.49		
母亲年龄(岁)			6.481	<0.001			25.061	<0.001
<20	13	2 796.08 ± 798.59			4	30.77		
20~	268	3 057.52 ± 590.70			41	15.30		
25~	1 472	3 185.16 ± 564.63			143	9.71		
30~	1 127	3 225.94 ± 547.08			81	7.19		
35~	440	3 192.16 ± 568.63			45	10.23		
40~	87	3 051.54 ± 552.24			10	11.49		
母亲文化程度			15.786	<0.001			77.329	<0.001
研究生	537	3 035.35 ± 6 693.81			98	18.25		
大学	257	3 119.57 ± 641.38			37	14.40		
大专	985	3 180.24 ± 552.52			90	9.14		
高中	1 372	3 239.93 ± 515.47			85	6.20		
高中以下	256	3 283.39 ± 462.33			14	5.47		
胎次			1.398	0.247			3.598	0.165
1	1 561	3 193.54 ± 537.36			140	8.97		
2	945	3 195.56 ± 555.28			84	8.89		
≥3	901	3 157.69 ± 616.74			100	11.10		
产次			2.831	0.059			10.938	0.004
1	2 237	3 190.23 ± 536.65			195	8.72		
2	1 070	3 185.17 ± 595.67			111	10.36		
≥3	100	3 053.09 ± 776.46			18	18.00		
合计	3 407	3 184.62 ± 563.92			324	9.51		

2.5 不同孕期不同污染物暴露水平对出生体重的影响（表3） 为了探讨不同孕期不同污染物暴露对出生体重的影响,以出生体重为应变量,所有影响因素作为自变量,对出生体重进行多元线性回归分析。孕早期各种污染物对出生体重的影响均呈负效应,有统计学意义,AQI、PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃的平均暴露量每增加10个单位,出生体重会分别减少26.6、7.2、4.4、5.7、8.1、2.8、6.0 g。孕中期各种污染物对出生体重的影响虽然也呈现负效应,但只有PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂对出生体重的影

响有统计学意义,平均暴露量每增加10个单位,出生体重会分别减少12.7、6.3、4.7 g。孕晚期只有SO₂对出生体重的影响有统计学意义,平均暴露量每增加10个单位,出生体重减少1.3 g;NO₂和O₃对出生体重的影响呈现正向效应,但没有统计学意义。整个孕期各种污染物对出生体重的影响均呈负效应,但只有PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂对出生体重的影响有统计学意义,平均暴露量每增加10个单位,出生体重会分别减少8.3、6.3、5.5、1.3 g。

表 3 不同孕期各污染物对出生体重影响的多元线性回归分析

污染物	孕早期				孕中期				孕晚期				孕期			
	<i>b</i>	<i>S_b</i>	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	<i>b</i>	<i>S_b</i>	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	<i>b</i>	<i>S_b</i>	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	<i>b</i>	<i>S_b</i>	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
AQI	-2.66	1.34	-1.98	0.001	-0.08	0.10	-0.90	0.073	-0.09	0.11	-0.99	0.054	-0.65	3.06	-0.21	0.648
PM _{2.5}	-0.72	0.34	-10.70	0.000	-1.27	0.61	-12.07	0.000	-0.51	0.05	0.86	0.057	-0.83	0.81	-7.34	0.006
PM ₁₀	-0.44	0.51	-12.83	0.000	-0.63	0.05	-9.89	0.000	-0.60	0.90	-0.23	0.154	-0.63	0.93	-8.75	0.000
SO ₂	-0.57	0.36	-16.51	0.000	-0.47	0.04	-12.63	0.000	-0.13	0.04	-3.37	0.004	-0.55	0.04	-9.15	0.000
NO ₂	-0.81	0.61	-11.34	0.000	-2.22	1.34	-1.65	0.087	0.03	0.01	1.95	0.085	-0.13	0.09	-7.48	0.000
CO	-0.28	0.42	-2.13	0.001	-0.06	0.03	-1.90	0.090	-0.07	0.03	-1.90	0.088	-0.24	1.18	-0.20	0.656
O ₃	-0.60	0.03	-2.38	0.001	-0.06	-0.03	-0.18	0.239	0.06	0.03	0.18	0.762	-0.03	0.42	-1.44	0.746

3 讨 论

空气污染导致不良妊娠结局的证据越来越多,但由于空气污染的复杂性,研究结论并不一致^[1,3-8]。包括中国在内的很多国家和地区先后进行了空气污染对新生儿低出生体重影响的相关研究,但关于不同孕期、不同污染物成分对新生儿低出生体重的具体影响,研究结论并不完全一致。

本研究发现,孕早期、孕中期和整个孕期,PM_{2.5}暴露量每增加 10 个单位,出生体重分别降低 7.2、12.7、8.3 g,与大多数研究结果一致。波兰队列研究显示,妊娠期 PM_{2.5} 平均暴露水平增加 40 μg/m³ 可使出生婴儿的平均体重降低 140.3 g; 美国的研究发现,PM_{2.5} 的暴露水平每增加 2.41 μg/m³, 可使出生体重减低 6 g^[1]。关于 PM_{2.5} 影响出生体重的关键期,2014 年美国的一项队列研究显示,孕中期 PM_{2.5} 暴露对低出生体重的影响最大,PM_{2.5} 暴露水平的四分位间距增加可使子代发生低出生体重的危险增加 3 %^[9],这与本研究孕中期 PM_{2.5} 暴露体重降低最大(12.7 g)的结果相符。2013 年一篇 Meta 分析综合了 9 个国家 14 个中心共计 300 万对母婴的资料,结果显示足月低体重与其母亲整个孕期 PM_{2.5} 暴露水平每增加 10 μg/m³ 相关,PM_{2.5} 暴露与低出生体重的 OR 值为 1.10(95 % CI=1.03 ~ 1.18)^[10]。WHO 对 22 个国家 2004 — 2008 年 PM_{2.5} 暴露与不良妊娠关系进行调查,在所有国家中,调整季节性因素后,PM_{2.5} 暴露与低出生体重相关,PM_{2.5} 的第 4 个四分位数段(>20.2 μg/m³)与第 1 个四分位数(<6.3 μg/m³)相比,新生儿低出生体重发生率可以提高到 1.22 倍^[11]。但也有研究显示,PM_{2.5} 暴露与新生儿低出生体重没有关联;保定市一项调查并未发现孕期 PM_{2.5} 暴露与新生儿出生体重有关^[12]。

本研究发现孕早期、孕中期和整个孕期,PM₁₀ 暴露量每增加 10 个单位,出生体重分别降低 4.4、6.3、6.3 g,与大多数研究结果一致。西班牙的一项横断面研究以 2001 — 2009 年的新生儿为研究对象,发现随 PM₁₀ 的暴露浓度增加,发生新生儿低出生体重的危险也随之增加(RR=1.104, 95 % CI=1.072 ~ 1.138)^[13]。上海市 2008 — 2012 年 96.44 万例新生

儿回顾性调查发现,孕早期、孕中期接触 PM₁₀ 的平均浓度每增加 10 μg/m³,出生体重会减少 4.3 或 4.4 g^[2];上述研究均支持本研究的结论。本研究未发现孕晚期 PM₁₀ 暴露对 LBM 的影响,与有些研究结论不一致。美国内华达州的 39 338 例新生儿调查显示,孕晚期 PM₁₀ 的暴露浓度每增加 10 μg/m³,出生体重则平均下降 11 g;美国洛杉矶的出生队列研究显示,可吸入颗粒物无论在孕早期还是晚期暴露都会增加低出生体重的发生^[9];另外也有研究并未发现 PM₁₀ 暴露与新生儿低出生体重之间有关联^[14]。

本研究发现孕早期、孕中期、孕晚期和整个孕期 SO₂ 暴露均会使新生儿出生体重降低;暴露量每增加 10 个单位,出生体重分别降低 5.7、4.7、1.3、5.5 g,与大多数研究结果一致。日本开展的 44 109 例新生儿调查发现,SO₂ 与所有妊娠期的风险相关(OR=1.71, 95 % CI=1.18 ~ 2.46)^[15]。目前国内未见与本研究同样的孕早期、孕中期、孕晚期和整个孕期 SO₂ 暴露,均会使新生儿出生体重降低的报道。上海市闵行区一项病例对照研究发现,在孕中期,SO₂ 对出生体重存在显著性影响,其日平均浓度每升高 1 个四分位数间距,出生体重将会分别降低 36 g(95 % CI=18 ~ 55)^[16]。北京一项研究分析妊娠后第 1、2、3 个月,妊娠后前 3 个月,分娩前第 1、2 月,分娩前 3 个月期间,SO₂ 暴露每升高 100 μg/m³ 时可能导致新生儿低出生体重发生的相对风险,结果显示,只有妊娠后第 1 个月新生儿低出生体重的发生可提高到 1.5 倍^[17]。国内外研究也有不同的结论。保定市的一项研究发现,尽管整个孕期 SO₂ 暴露每上升一个组别,新生儿低出生体重的发生危险增加到 2.127 倍,但孕晚期 SO₂ 暴露每上升一个组别,产下低出生体重儿的危险却下降 34.8 %^[12]。巴西的一项研究并未发现 SO₂ 暴露对新生儿低出生体重发生的影响之间有关联^[18]。

本研究发现,孕早期和整个孕期 NO₂ 暴露量每增加 10 个单位,出生体重分别降低 8.1、1.3 g。美国加利福尼亚一项对 3 445 177 例新生儿的调查显示,1 pphm NO₂ 可使出生体重平均降低 9.0 g^[19]。西班牙的研究显示,孕期 NO₂ 暴露浓度每增加 10 μg/m³,可使新生儿低出生体重的危险增加 8 %^[13]。上海市

的研究发现,孕早期接触 NO₂ 的平均浓度每增加 10 μg/m³, 出生体重会减少 6.0 g^[2]。以上结果与本研究结论一致。有研究认为, NO₂ 对出生体重的影响多集中在孕中期和孕晚期。上海的研究发现, 孕晚期 NO₂ 暴露每升高 1 个四分位数间距, 低出生体重的发生率将会分别升高 20.5 % (95 % CI = 8.3 % ~ 32.7 %)^[16]。但本研究未发现孕中期和孕晚期 NO₂ 暴露对新生儿低出生体重的影响。Reis 等^[18]2017 年的一项研究并未发现 NO₂ 暴露与低出生体重的关联性; 保定市的一项研究也未发现 NO₂ 暴露与出生体重有关^[12]。

本研究发现, 只有孕早期 CO、O₃、AQI 暴露量每增加 10 个单位, 出生体重分别降低 2.8、6.0、26.6 g。未发现其他怀孕时段对新生儿低出生体重的影响。CO 暴露对新生儿低出生体重的影响结论并不一致。Laurent^[20]发现, 孕晚期随 CO 第 75 百分位数暴露水平增高, 新生儿低出生体重的危险增加 36 %; Morello-Frosch 等^[19]则发现, 1 ppm CO 可使出生体重平均降低 5.4 g。但也有研究未发现 CO 暴露对新生儿低出生体重的影响^[12]。许多研究认为, O₃ 与新生儿低出生体重的发生具有关联性^[21]。上海市闵行区研究显示, 在孕晚期 O₃ 的影响最强, 日平均浓度每升高 1 个四分数间距, 低出生体重的发生率将会升高 29.3 % (95 % CI = 13.1 % ~ 45.5 %)^[16]; Morello-Frosch 等^[19]发现, 1 pphm O₃ 可使出生体重平均降低 5.7 g。Gray SC 等^[22]的研究显示, 整个孕期 O₃ 暴露水平每增加一个四分位数间距, 出生体重平均降低 7.4 g, 新生儿低出生体重的发生风险提高到 1.06 倍。但国内外也有研究未发现 O₃ 暴露与新生儿低出生体重之间的关联性。

目前, 关于 AQI 对新生儿低出生体重影响的研究很少。本研究发现, 无论孕早期、孕中期、孕晚期还是整个孕期, AQI 与新生儿低出生体重均呈现负相关, 说明空气污染越严重, 对新生儿低出生体重的影响越大。但只有孕早期 AQI 对新生儿低出生体重的影响具有统计学意义, 暴露水平每增加 10 个单位, 出生体重降低可达到 26.6 g, 提示孕早期空气污染对出生体重的影响可能最大。

本研究初步探讨了 AQI、PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃ 暴露对新生儿低出生体重的影响, 可以认为空气污染可以提高新生儿低出生体重发生的风险, 与大多数结论一致。但是, 就某一污染物、某一孕期对新生儿低出生体重的影响作用, 与现有报道不尽相同。目前已经发表的研究论文就空气污染对妊娠结局影响的研究结果也存在一定分歧, 可能与不同国家、不同地区的污染水平不同、污染物成分存在差异, 难以获得孕妇准确的个体暴露资料, 对新生儿低出生体重影响因素的数据分析方法不同, 未分析 2 种或多种污染物的联合效应等有关。

综上所述, 本研究初步探讨了石家庄市空气污

染对低出生体重的影响, 为进一步探索空气污染物与低出生体重等不良妊娠结局之间的关系、减少不良妊娠结局提供了科学依据。但本研究也存在一些局限性, 例如样本量较小、新生儿低出生体重未区分足月分娩的新生儿低出生体重和早产的新生儿低出生体重等。因此, 关于空气污染对新生儿低出生体重的影响, 需要进一步深入研究。

参考文献

[1] Hyder A, Lee HJ, Ebisu K, et al. PM_{2.5} exposure and birth outcomes: use of satellite- and monitor-based data[J]. *Epidemiology*, 2014, 25(1): 58 – 67.

[2] 钱耐思, 虞慧婷, 蔡任之, 等. 上海市母亲孕早期空气污染物暴露与新生儿出生体重的关系[J]. *环境与职业医学*, 2016, 33(9): 827 – 832.

[3] 蔡任之, 钱耐思, 虞慧婷, 等. 母亲孕中期空气污染暴露与新生儿出生体重的相关性[J]. *环境与职业医学*, 2017, 34(6): 479 – 482.

[4] Coker E, Liverani S, Ghosh JK, et al. Multi-pollutant exposure profiles associated with term low birth weight in Los Angeles County[J]. *Environment International*, 2016, 9(5): 1 – 13.

[5] Coker E, Ghosh J, Jerrett M, et al. Modeling spatial effects of PM_{2.5} on term low birth weight in Los Angeles County[J]. *Environ Res*, 2015, 142(10): 354 – 64.

[6] 王任洪, 张莉, 王丽娜, 等. 甘肃省两地区不良妊娠结局发生与空气污染关系[J]. *中国公共卫生*, 2018, 34(1): 75 – 78.

[7] Liang ZJ, Wu L, Fan LC, et al. Ambient air pollution and birth defects in Haikou city, Hainan province[J]. *BMC Pediatr*, 2014, 14: 283.

[8] 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 Aug, 25(22): 21927 – 21936.

[9] 冯仁杰, 吴然, 钟佩榕, 等. 孕期大气颗粒物暴露对新生儿低出生体重影响的 Meta 分析[J]. *中华预防医学杂志*, 2017, 34(2): 122 – 127.

[10] 李成橙, 路凤, 刘迎春, 等. 妊娠期 PM_{2.5} 暴露与新生儿低出生体重的 meta 分析[J]. *环境与健康杂志*, 2017, 34(1): 38 – 43.

[11] Fleischer NL, Meriardi M, van Donkelaar A, et al. Outdoor air pollution, preterm birth, and low birth weight: analysis of the world health organization global survey on maternal and perinatal health[J]. *Environ Health Perspect*, 2014, 122(4): 425 – 430.

[12] 王蓓. 保定市市区新生儿出生体重与空气污染的回溯性调查研究[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2017: 1 – 25.

[13] Arroyo V, Diaz J, Salvador P, et al. Impact of air pollution on low birth weight in Spain: an approach to a National Level Study[J]. *Environmental Research*, 2019, 171(4): 69 – 79.

[14] 朱娟, 梁志江, 温济英, 等. 某市空气污染对早产影响的病例对照研究[J]. *环境与健康杂志*, 2011, 28(2): 132 – 135.

[15] Yorifuji T, Kashima S, Doi H. Outdoor air pollution and term low birth weight in Japan[J]. *Environ Int*, 2015, 78(5): 95 – 96.

[16] 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.

[17] 亚库甫·艾麦尔, 王佳佳, 彭振耀, 等. 北京市大气污染对不良妊娠结局影响的病例对照研究[J]. *环境与健康杂志*, 2013, 30(5): 389 – 393.

[18] Reis MMD, Guimarães MT, Braga ALF, et al. Air pollution and low birth weight in an industrialized city in Southeastern Brazil, 2003 – 2006[J]. *Rev Bras Epidemiol*, 2017, 20(2): 189 – 199.

[19] Morello-Frosch R, Jesdale BM, Sadd JL, et al. Ambient air pollution exposure and full-term birth weight in California[J]. *Environmental Health*, 2010, 9: 44.

[20] Laurent O, Wu J, Li L, et al. Investigating the association between birth weight and complementary air pollution metrics: a cohort study[J]. *Environ Health*, 2013, 12: 18.

[21] 李秋华, 祝晓丽, 魏思达, 等. PM_{2.5} 暴露对小鼠体外受精及胚胎发育的影响[J]. *实用医学杂志*, 2017, 33(20): 3372 – 3375.

[22] Gray SC, Edwards SE, Schultz BD, et al. Assessing the impact of race, social factors and air pollution on birth outcomes: a population-based study[J]. *Environmental Health*, 2014, 13(1): 4.

收稿日期: 2019 - 05 - 24 (郑新编校)