

交通来源污染物与不良出生结局关系的研究进展

王振旭, 曲英莉, 宋士勋, 李丹丹, 赵峰

中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所, 北京 100021

摘要:

近年来, 交通来源污染物与不良出生结局的关系日益引起各国科学家的重视, 并陆续开展相关研究。越来越多的流行病学研究发现, 交通来源污染物如细颗粒物、氮氧化物、臭氧、一氧化碳暴露会增加早产、低出生体重、小于胎龄儿和宫内发育迟缓的风险, 但也有些研究未发现交通来源污染相关指标与不良出生结局的联系, 其原因主要是暴露评估存在偏倚及未对混杂因素进行控制。本文介绍了细颗粒物、氮氧化物、臭氧、一氧化碳、交通密度和距离等暴露评价指标及其特点, 总结了其对早产、低出生体重、小于胎龄儿和宫内发育迟缓产生的影响, 以得出现有研究中存在的不足及未来研究的方向, 旨在为后续研究提供有益的线索及开创性思路。

关键词: 交通来源污染物; 细颗粒物; 氮氧化物; 臭氧; 一氧化碳; 交通密度; 交通距离; 不良出生结局

Advances in research on adverse birth outcomes associated with traffic-derived pollutants

WANG Zhenxu, QU Yingli, SONG Shixun, LI Dandan, ZHAO Feng (National Institute of Environmental Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100021, China)

Abstract:

In recent years, the relationship between traffic pollution and adverse birth outcomes has attracted increasing attention from scientists all over the world. A growing number of epidemiological studies have found that increased exposure to traffic-derived pollutants such as fine particulate matters, nitrogen oxides, ozone, and carbon monoxide are associated with higher risks of preterm birth, low birth weight, small for gestational age, and intrauterine growth retardation, but a few studies have not found such associations. The main reasons for the difference were biased exposure assessment and the lack of controlling confounders. This paper introduced exposure evaluation indexes and characteristics of particulate matters, nitrogen oxides, ozone, carbon monoxide, and traffic density and distance, and summarized their effects on preterm birth, low birth weight, small for gestational age, and intrauterine growth retardation, aiming to provide useful clues and innovative ideas for future research.

Keywords: traffic-derived pollutant; fine particulate matter; nitrogen oxide; ozone; carbon monoxide; traffic density; proximity to major roads; adverse birth outcome

交通来源污染物主要是指来自机动车尾气的污染物, 包括细颗粒物 (fine particulate matter with median aerodynamic diameter $\leq 2.5 \mu\text{m}$, $\text{PM}_{2.5}$)、氮氧化物 (nitrogen oxide, NO_x)、臭氧 (ozone, O_3)、一氧化碳 (carbon monoxide, CO) 等。交通来源污染物作为空气污染的主要部分, 可对人体的心血管系统、呼吸系统、神经系统等多系统产生健康危害。自 20 世纪 90 年代开始, 汽车尾气对生殖健康的影响引起大家的关注。目前的研究认为汽车尾气来源污染物暴露与不良出生结局 (早产、低出生体重、小于胎龄儿、其他出生缺陷等) 之间有相关性, 但由于缺乏敏感的汽车尾气暴露标志物以及研究中未对混杂因素进行控制, 现有研究结果尚不能得出因果关系的结论^[1-4]。近年由于汽车保有量不断增加, 交通来源污染物暴露对不良出生结局的影响更加受到人们的重视^[5-7]。

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.20359

基金项目

北京市自然科学基金项目 (7182119)

作者简介

王振旭 (1993—), 男, 硕士生;
E-mail: 946376249@qq.com

通信作者

赵峰, E-mail: zhaofeng@nieh.chinacdc.cn

伦理审批 不需要

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-07-26

录用日期 2020-11-06

文章编号 2095-9982(2021)01-0037-07

中图分类号 R12

文献标志码 A

► 引用

王振旭, 曲英莉, 宋士勋, 等. 交通来源污染物与不良出生结局关系的研究进展 [J]. 环境与职业医学, 2021, 38 (1): 37-43.

► 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20359

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHAO Feng, E-mail: zhaofeng@nieh.chinacdc.cn

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2020-07-26

Accepted 2020-11-06

► To cite

WANG Zhenxu, QU Yingli, SONG Shixun, et al. Advances in research on adverse birth outcomes associated with traffic-derived pollutants[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(1): 37-43.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20359

以下分别就交通来源污染物不同暴露标志物与不良出生结局的关系进行总结,旨在为后续研究提供有益的线索及更多开创性思路。

1 PM_{2.5}与不良出生结局的关系

PM_{2.5}指环境空气中空气动力学直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的颗粒物。它能较长时间悬浮于空气中,其在空气中浓度越高,代表空气污染越严重。PM_{2.5}是汽车尾气排放的主要成分,且以小于 $1.0\mu\text{m}$ 为主,柴油汽车尾气排放的颗粒物粒径更小,多为 200nm 以下,毒性作用更强。在过去的研究中,有大量证据表明PM_{2.5}与低出生体重、早产、小于胎龄儿和宫内发育迟缓等不良妊娠结局存在关联^[8-12],但也有部分研究发现上述关联没有统计学意义^[3]。Smith等^[11]对英国伦敦进行的一项回顾性队列研究,共纳入2006—2010年间540365例单胎足月新生儿,发现妊娠期间暴露于PM_{2.5}的平均质量浓度(后称浓度)为 $14\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,会导致足月低出生体重风险增加2%~6%,足月小于胎龄儿风险增加1%~3%。Ottone等^[10]根据2012—2014年意大利的一项回顾性队列研究,收集了23708例单胎新生儿,发现PM_{2.5}每增加 $1\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,早产风险增加的OR值为1.030。Liu等^[13]对加拿大1985—2000年的一项研究

单胎足月新生儿($n=386202$)研究发现,在妊娠期的三个阶段,PM_{2.5}每增加 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,宫内发育迟缓风险增加6%。

然而,有些研究与上述结果并不一致。Hannam等^[14]对2004—2008年英国西北地区以曼彻斯特为中心纳入的203562例单胎新生儿研究发现,妊娠后期暴露于PM_{2.5}与小于胎龄儿相关,PM_{2.5}每增加 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,风险增加OR值为1.10,但以整个妊娠期为暴露窗口分析,则差异无统计学意义,也没有发现早产与上述污染物暴露相关。Padula等^[15]对2000—2006年美国加州263204例单胎新生儿进行回顾研究发现,妊娠中期暴露于PM_{2.5}可使早产儿的风险增加2倍,但在妊娠早期PM_{2.5}暴露则与早产呈现负相关关系,认为这可能与较多女性在妊娠早期与中后期居住地变换,导致暴露分类偏倚有关。

以上大部分研究均显示妊娠期间暴露于PM_{2.5}与低出生体重、早产、小于胎龄儿和宫内发育迟缓存在关联,但可能因为较多妊娠女性在早期与中后期居住地变换,导致以整个妊娠期为暴露窗口分析则无统计学意义;尤其是早产,未发现与PM_{2.5}有关联,还需大量的队列和病例对照的研究结果来证实。有关PM_{2.5}与不良出生结局的主要研究见表1。

表1 PM_{2.5}与不良出生结局的主要研究

Table 1 Representative studies on adverse birth outcomes associated with PM_{2.5}

作者	时间	国家	研究类型	人群	样本量	健康结局
Smith R B ^[11]	2017	英国	回顾性队列	单胎足月新生儿	540365	低出生体重、小于胎龄儿
Ottone M ^[10]	2020	意大利	回顾性队列	单胎新生儿	23708	早产
Liu S ^[13]	2007	加拿大	回顾性队列	单胎足月新生儿	386202	宫内发育迟缓
Hannam K ^[14]	2014	英国	回顾性队列	单胎新生儿	203562	小于胎龄儿、早产
Padula A M ^[15]	2014	美国	回顾性队列	单胎新生儿	263204	早产

2 NO_x与不良出生结局的关系

NO_x指由氮、氧两种元素组成的化合物,环境中的NO_x一般来自以汽油、柴油为燃料的汽车尾气排放。环境中接触的几种气体混合物常称为硝烟(气),主要为一氧化氮(nitric oxide, NO)和二氧化氮(nitrogen dioxide, NO₂),并以NO₂为主。研究发现,NO_x对出生结局有影响。Padula等^[15]在2014年对美国加州进行的一项回顾性队列研究,共纳入263204个单胎新生儿,分析发现在妊娠中期暴露于NO₂的浓度为 $40\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,早产儿风险增加的OR值为3.67,且在居住地社会经济条件较差的情况下OR值更高。Ghosh等^[16]在2010年对美国洛杉矶进行的一项病例对照研究,共纳

入8181名低出生体重儿和370922名正常体重儿,研究表明:在整个妊娠期和妊娠末期NO_x每增加一个四分位间距浓度,低出生体重风险增加2%~5%。Pereira等^[17]在2012年对澳大利亚进行的一项回顾性队列研究,共纳入23452例单胎新生儿数据,评估NO₂暴露与胎儿发育的关系,结果表明:妊娠中期暴露于NO₂的平均浓度为 $47.17\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,宫内发育迟缓增加的OR值为1.43。加拿大的一项研究也发现在妊娠的三个阶段,NO₂每升高 $20\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,宫内生长迟缓风险增加14%^[13]。Padula等^[18]根据1997—2006年美国的一项病例对照研究,对先天畸形和妊娠期污染物暴露的相关性分析发现,在最高四分位浓度区间NO_x暴露与神经

管畸形具有相关性。Vrijheid 等^[19]在 2011 年对相关文献进行的 meta 分析得出的结论认为, NO₂ 暴露可增加新生儿的主动脉缩窄和法乐氏三联症的风险。

然而, Van Den Hooven 等^[20]2012 年在荷兰进行的一项前瞻性研究, 对 7772 名妊娠期女性在妊娠前、中、后期分别进行超声测量胎儿头围、股骨长度和体重估算, 并以空气扩散模型评估个体暴露水平, 发现整个孕期平均 NO₂ 暴露水平与胎儿头围和新生儿身长没有相关性, 但与出生体重呈负相关, NO₂ 暴露与不良生产结局之间的效应没有呈现很好的一致性。另一项在丹麦进行的 7 600 例单胎儿童发育情况前瞻性队列研究中, 发现 NO₂ 平均暴露浓度最高的母亲, 新生儿的体重反而最重, 小于胎龄儿的风险最低, 且没有显示出剂量依赖关系^[21]。Gehring 等^[22]2011 年在荷兰进行的一项回顾性队列研究, 共纳入 3 853 例单胎母亲在整个妊娠期、妊娠早期和最后一个月的 NO₂ 暴露与早产儿和足月胎儿体重相关性进行分析, 认为低出生体重与 NO₂ 暴露无相关性; NO₂ 暴露有增加早产的趋势, 但没有统计学意义。Hannam 等^[14]在 2014 年对英国西

北地区以曼彻斯特为中心的研究, 纳入 2004—2008 年共 203 562 例单胎新生儿, 研究发现: 妊娠后期暴露于 NO₂ 与小于胎龄儿相关, 但从整个妊娠期分析并未呈现相关, NO₂ 暴露与早产也没有发现相关。而 Wilhelm 等^[23]通过美国加州出生档案对 241 415 例新生儿数据评估后发现, 在整个孕期内暴露, 每升高一个四分位间距浓度的 NO、NO₂、NO_x, 低出生体重的发生率均增加约 5%; 但在妊娠早期和末期, 所有污染物与低出生体重呈负相关, 在全妊娠期和妊娠中期呈强的正相关。因此低出生体重的易感时间段还无法定论, 可能与相关混杂因素的信息不足有关。

目前有明确证据表明妊娠期间 NO₂ 暴露会增加低出生体重、早产、小于胎龄儿和宫内发育迟缓的风险, 而且还会导致其他出生缺陷, 例如神经管畸形、主动脉缩窄和法乐氏三联症。此外, 也有一些不一致的结果, 认为低出生体重与 NO₂ 暴露不相关, 在不同的妊娠期, 产生的效应也不同, 可能是因为相关混杂因素的信息不足。有关 NO₂ 与不良出生结局的主要研究如表 2。

表 2 NO₂ 与不良出生结局的主要研究

Table 2 Representative studies on adverse birth outcomes associated with NO₂

作者	时间	国家	研究类型	人群	样本量	健康结局
Padula AM ^[15]	2014	美国	回顾性队列	单胎新生儿	263 204	早产
Ghosh JK ^[16]	2010	美国	病例对照	单胎新生儿	病例组: 8 181; 对照组: 370 922	低出生体重
Van Den Hooven EH ^[20]	2012	荷兰	前瞻性队列	妊娠期女性	7 772	低出生体重
Gehring U ^[22]	2011	荷兰	回顾性队列	单胎母亲	3 853	早产、低出生体重

3 O₃ 与不良出生结局的关系

O₃ 是氧气的同素异形体, 在常温下, 它是一种有特殊臭味的淡蓝色气体, 汽车尾气的光化学反应是 O₃ 的重要污染源。近年来研究发现, O₃ 与不良出生结局有较强的关联性。Salam 等^[24]根据 1975—1987 年美国的一项回顾性队列研究, 共收集 3 901 例单胎新生儿, 分析 O₃ 与低出生体重之间的关系, 发现 O₃ 每升高 12 mg·m⁻³ (24 h), 新生儿的出生体重降低约 47.2 g, 妊娠中后期暴露的效应更为明显。Vinikoor-Imler 等^[25]根据 2003—2005 年美国的一项回顾性队列研究, 共收集 312 638 例单胎新生儿, 分析发现, 在妊娠末期, O₃ 每增加 35.36 μg·m⁻³, 小于胎龄儿和低出生体重风险增加的 OR 值分别为 1.16 和 2.03。Laurent 等^[26]在 2014 年对美国进行的一项回顾性队列研究, 共纳入 70 000 例单胎新生儿, 通过对不同暴露参数如空气质量监测点、预测浓度 [土地利用回归 (land use regression,

LUR) 模型、CALINE 4 (California line source dispersion model 4) 高斯扩散模型]、交通密度、与主要公路的距离进行比较发现, 以空气监测点 O₃ 浓度为参照暴露水平, O₃ 每增加 11.50 μg·m⁻³, 低出生体重风险增加的 OR 值为 1.13。Ha 等^[27]根据 2004—2005 年美国的一项回顾性队列研究, 共收集 423 719 例单胎新生儿, 发现在妊娠中期 O₃ 与早产和小于 30 周早产风险增加相关, 但在低出生体重方面显示的是保护效应。而 Marshall 等^[28]根据 1998—2003 年美国的一项病例对照研究, 共收集病例组 717 例出生儿, 对照组 12 925 例出生儿, 研究发现, O₃ 与腭裂显示微弱的相关性。然而 Padula 等^[18]根据 1997—2006 年美国的一项病例对照研究, 以空气污染物的监测浓度和交通密度进行分级 (以四分位间距进行分级) 时, 高 O₃ 暴露反而可降低神经管畸形风险。

以上研究显示, 妊娠中后期暴露于 O₃ 会增加低

出生体重、早产和小于胎龄儿的风险。但也有部分研究显示妊娠中期暴露于 O₃，在低出生体重方面显示的是保护效应，可能的原因是暴露进行分类，

比如研究中并没有妇女的活动模式数据，每天多个地点可能导致暴露错误，也可能影响研究结果。有关 O₃ 与不良出生结局的主要研究如表 3。

表 3 O₃ 与不良出生结局的主要研究

Table 3 Representative studies on adverse birth outcomes associated with O₃

作者	时间	国家	研究类型	人群	样本量	健康结局
Salam M T ^[24]	2005	美国	回顾性队列	单胎新生儿	3 901	低出生体重
Ha S ^[27]	2014	美国	回顾性队列	单胎新生儿	423 719	早产、低出生体重
Marshall E G ^[28]	2010	美国	病例对照	单胎新生儿	病例组：717；对照组：12925	腭裂

4 CO 与不良出生结局的关系

CO 是大气中分布最广和数量最多的污染物，是燃料不完全燃烧生成的重要污染物之一，也是汽车尾气排放的主要污染物之一。近几年有研究发现，CO 也与不良出生结局有较强的关联性。Padula 等^[15] 在 2014 年对美国加州进行的一项回顾性队列研究，共纳入 263 204 个单胎新生儿，发现在妊娠中期，CO 每增加 0.75 mg·m⁻³，早产风险增加的 OR 值为 2.38，且在居住地社会经济条件较差的情况下 OR 值更高，但在妊娠早期 CO 暴露与早产则呈现负相关关系。Salam 等^[24] 根据 1975—1987 年美国的一项回顾性队列研究，共收集 3 901 例单胎新生儿，发现妊娠早期 CO 暴露使出生体重下降，宫内发育迟缓的风险增加，CO 每增加 1.75 mg·m⁻³，低出生体重和宫内发育迟缓风险增加的 OR 值分别为 1.0 和 1.2。

但 Hannam 等^[14] 在英国西北地区以曼彻斯特为中心纳入 2004—2008 年共 203 562 例单胎新生儿，

分析发现，妊娠后期暴露于 CO 与小于胎龄儿相关，但从整个妊娠期分析未呈现相关，早产也与 CO 暴露没有发现相关。Padula 等^[3] 根据 1997—2006 年美国的一项病例对照研究，共收集病例组 874 个和对照组 849 个单胎新生儿，没有发现 CO 暴露和一系列出生缺陷表型之间的联系，但有一些例外，即 CO 暴露与无耳和小耳症畸形、横向肢体缺陷风险降低有关。

目前关于妊娠期暴露于 CO 与低出生体重、早产和宫内发育迟缓之间联系的流行病学研究有限，得出的研究结果也不一致。主要原因可能是 CO 在很短的距离内变化很大，并且取决于当地的条件，可能会有更多的错误分类。也可能受限于暴露评估过程和出生缺陷的局限性。为了获得更明确的结果，未来的研究应该使用更精确的暴露特征来更全面地评估潜在的混杂因素，并更详细地评估空间和时间上的分布。有关 CO 与不良出生结局的主要研究如表 4。

表 4 CO 与不良出生结局的主要研究

Table 4 Representative studies on adverse birth outcomes associated with CO

作者	时间	国家	研究类型	人群	样本量	健康结局
Padula A M ^[15]	2014	美国	回顾性队列	单胎新生儿	263 204	早产
Salam M T ^[24]	2005	美国	回顾性队列	单胎新生儿	3 901	低出生体重、宫内发育迟缓
Padula A M ^[3]	2013	美国	病例对照	单胎新生儿	病例组：874；对照组：849	无耳和小耳症畸形、横向肢体缺陷

5 交通密度和距离与不良出生结局的关系

交通密度是指一条车道上车辆的密集程度，即在某一时间单位长度一条车道上的车辆数，又称车流密度。近年来的研究发现，交通密度和距离都会对不良出生结局产生影响^[29-30]。Brauer 等^[31] 在 2008 年对加拿大进行的一项回顾性队列研究，共纳入 70 249 个单胎新生儿，分析发现居住于高速公路 50 m 以内的妊娠妇女比居住于 50 m 以外的妊娠妇女发生小于胎龄儿的风险增加 26%，低出生体重儿的风险增加 11%。

Padula 等^[3] 根据 1997—2006 年美国的一项病例对照研究，共收集病例组 874 个和对照组 849 个单胎新生儿，分析发现，以交通密度为暴露评价因子，最高交通密度与最低交通密度组相比，食管闭锁的风险增加 OR 值为 2.8 (95% CI: 1.1~7.4)。然而作者提到研究也存在局限性，包括以距离为权重估算暴露水平可能会造成暴露浓度偏倚，没有考虑妊娠母亲在室内的时间，另外关于交通密度的测量也只是基于空间，而没有考虑时间因素。在日本静冈市进行的一项早产与交

通污染暴露关系的研究发现,在妊娠前、中和后期三个阶段,居住于高速公路200 m以内的妊娠妇女,早产风险增加的OR值分别为1.8、1.6和1.5^[32]。在加纳进行的一项横断面研究发现,街头商贩的中度活动联合高交通密度影响可造成低体重风险增加1.84倍^[33]。

同样,也有不一致的研究结果。De Medeiros等^[34]在2009年对巴西圣保罗市14个区进行的一项病例对照研究,共收集病例组378例和对照组371例单胎新生儿,计算了距离加权的交通密度,分析发现,胎儿死亡率的结果与上述研究并不一致。Habermann等^[35]在2014年对巴西进行的一项病例对照研究,共纳入病例组5772例和对照组5814例单胎新生儿,分析发现,最高四分位数的交通密度暴露反而减少低体重儿风险

并呈现线性趋势。Padula等^[36]根据2000—2006年美国的一项回顾性队列研究,共收集237031例单胎新生儿,通过出生数据评估交通流量与低体重的关系,发现虽然不同交通流量暴露之间的效应差异有统计学意义,但并没有发现明确的因果关系。

目前大部分研究显示,交通密度和距离与低出生体重、早产、小于胎龄儿和食管闭锁有相关性,并且交通密度越大和交通距离在50 m以内,发生不良结局的风险也越大。但也有部分研究得出了相反的结论,可能的原因是社会经济地位优越的母亲虽然居住在交通繁忙的地区,但事实上可能不会更容易受到空气污染的影响。有关交通密度和距离与不良出生结局的主要研究如表5。

表5 交通密度和距离与不良出生结局的主要研究

Table 5 Representative studies on adverse birth outcomes associated with traffic density and distance

作者	时间	国家	研究类型	人群	样本量	健康结局
Brauer M ^[31]	2008	加拿大	回顾性队列	单胎新生儿	70249	低出生体重、小于胎龄儿
Yorifuji T ^[32]	2011	日本	回顾性队列	单胎活产儿的母亲	14226	早产
Habermann M ^[35]	2014	巴西	病例对照	单胎足月新生儿	病例组:5772;对照组:5814	低出生体重

6 研究的局限性及展望

交通来源污染物对低出生体重、早产、小于胎龄儿和宫内发育迟缓等出生缺陷的影响不容忽视。目前这方面的研究虽然很多,但结论各异。多数学者研究发现暴露于交通污染物会导致不良出生结局^[30, 37-40],但也有相当数量的研究没有得到二者相关的结论,甚至是相反的结论。综述以上研究结果,目前交通来源污染物对低出生体重、早产、小于胎龄儿和宫内发育迟缓等影响的流行病学研究存在主要问题如下:(1)大部分研究是回顾性队列研究和病例对照研究,混杂因素很难控制,在一定程度上影响了研究结果的准确性;(2)很多研究都是利用环境监测获取的资料,个体暴露情况很难获得;(3)低出生体重和早产的影响因素很多,采用的统计方法不同,控制的混杂因素不同,再加上测量的指标也不统一,这在很大程度上造成研究结论的不同。

今后的研究建议:(1)国内在这方面的研究较少,因此有必要在国内开展大样本的前瞻性队列研究,而且要根据不同地区的交通污染来源,在暴露评价指标的选择上有所侧重;(2)不同的交通污染物在不同的暴露时间和不同的暴露浓度下对出生结局有不同的影响,因此有关不同污染物对孕期影响的时间段和各污染物所引起的作用需要加以深入研究;(3)定量评

价个体暴露,并且在统计方法上有所突破,更好地评价交通来源污染物与不良出生结局之间的关系。

参考文献

- [1] RITZ B, YU F, FRUIN S, et al. Ambient air pollution and risk of birth defects in southern california [J]. *Am J Epidemiol*, 2002, 155 (1): 17-25.
- [2] BOBAK M, RICHARDS M, WADSWORTH M. Air pollution and birth weight in britain in 1946 [J]. *Epidemiology*, 2001, 12 (3): 358-359.
- [3] PADULA A M, TAGER I B, CARMICHAEL S L, et al. Traffic-related air pollution and selected birth defects in the San Joaquin Valley of California [J]. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol*, 2013, 97 (11): 730-735.
- [4] ŠRÁM R J, BINKOVÁ B, DEJMEK J, et al. Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a review of the literature [J]. *Environ Health Perspect*, 2005, 113 (4): 375-382.
- [5] CAMPEN M J, LUND A, ROSENFELD M. Mechanisms linking traffic-related air pollution and atherosclerosis [J]. *Curr Opin Pulm Med*, 2012, 18 (2): 155-160.
- [6] HUANG C, NICHOLS C, LIU Y, et al. Ambient air pollution and adverse birth outcomes: a natural experiment study [J].

- Popul Health Metr, 2015, 13 : 17.
- [7] RISTOVSKI ZD, MILJEVIC B, SURAWSKI NC, et al. Respiratory health effects of diesel particulate matter [J]. *Respirology*, 2012, 17 (2) : 201-212.
- [8] LAURENT O, HU J, LI L, et al. Low birth weight and air pollution in California : Which sources and components drive the risk? [J]. *Environ Int*, 2016, 92-93 : 471-477.
- [9] NIEUWENHUIJSEN MJ, AGIER L, BASAGAÑA X, et al. Influence of the urban exposome on birth weight [J]. *Environ Health Perspect*, 2019, 127 (4) : 047007.
- [10] OTTONE M, BROCCOLI S, PARMAGNANI F, et al. Source-related components of fine particulate matter and risk of adverse birth outcomes in Northern Italy [J]. *Environ Res*, 2020, 186 : 109564.
- [11] SMITH RB, FECHT D, GULLIVER J, et al. Impact of London's road traffic air and noise pollution on birth weight : retrospective population based cohort study [J]. *BMJ*, 2017, 359 : j5299.
- [12] STIEB DM, CHEN L, HYSTAD P, et al. A national study of the association between traffic-related air pollution and adverse pregnancy outcomes in Canada, 1999-2008 [J]. *Environ Res*, 2016, 148 : 513-526.
- [13] LIU S, KREWSKI D, SHI Y, et al. Association between maternal exposure to ambient air pollutants during pregnancy and fetal growth restriction [J]. *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2007, 17 (5) : 426-432.
- [14] HANNAM K, MCNAMEE R, BAKER P, et al. Air pollution exposure and adverse pregnancy outcomes in a large UK birth cohort : use of a novel spatio-temporal modelling technique [J]. *Scand J Work Environ Health*, 2014, 40 (5) : 518-530.
- [15] PADULA AM, MORTIMER KM, TAGER IB, et al. Traffic-related air pollution and risk of preterm birth in the San Joaquin Valley of California [J]. *Ann Epidemiol*, 2014, 24 (12) : 888-895.e4.
- [16] GHOSH JK, WILHELM M, SU J, et al. Assessing the influence of traffic-related air pollution on risk of term low birth weight on the basis of land-use-based regression models and measures of air toxics [J]. *Am J Epidemiol*, 2012, 175 (12) : 1262-1274.
- [17] PEREIRA G, COOK AG, HAGGAR F, et al. Locally derived traffic-related air pollution and fetal growth restriction : a retrospective cohort study [J]. *Occup Environ Med*, 2012, 69 (11) : 815-822.
- [18] PADULA AM, TAGER IB, CARMICHAEL SL, et al. The association of ambient air pollution and traffic exposures with selected congenital anomalies in the San Joaquin Valley of California [J]. *Am J Epidemiol*, 2013, 177 (10) : 1074-1085.
- [19] VRIJHEID M, MARTINEZ D, MANZANARES S, et al. Ambient air pollution and risk of congenital anomalies : a systematic review and meta-analysis [J]. *Environ Health Perspect*, 2011, 119 (5) : 598-606.
- [20] VAN DEN HOOVEN EH, PIERIK FH, DE KLUIZENAAAR Y, et al. Air pollution exposure during pregnancy, ultrasound measures of fetal growth, and adverse birth outcomes : a prospective cohort study [J]. *Environ Health Perspect*, 2012, 120 (1) : 150-156.
- [21] GEHRING U, VAN EIJDEN M, DIJKEMA MB, et al. Traffic-related air pollution and pregnancy outcomes in the Dutch ABCD birth cohort study [J]. *Occup Environ Med*, 2011, 68 (1) : 36-43.
- [22] GEHRING U, WIJGA AH, FISCHER P, et al. Traffic-related air pollution, preterm birth and term birth weight in the PIAMA birth cohort study [J]. *Environ Res*, 2011, 111 (1) : 125-135.
- [23] WILHELM M, GHOSH JK, SU J, et al. Traffic-related air toxics and term low birth weight in Los Angeles County, California [J]. *Environ Health Perspect*, 2012, 120 (1) : 132-138.
- [24] SALAM MT, MILLSTEIN J, LI YF, et al. Birth outcomes and prenatal exposure to ozone, carbon monoxide, and particulate matter : results from the Children's Health Study [J]. *Environ Health Perspect*, 2005, 113 (11) : 1638-1644.
- [25] VINIKOOR-IMLER LC, DAVIS JA, MEYER RE, et al. Associations between prenatal exposure to air pollution, small for gestational age, and term low birthweight in a state-wide birth cohort [J]. *Environ Res*, 2014, 132 : 132-139.
- [26] 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 (1) : 18.
- [27] HA S, HU H, ROUSSOS-ROSS D, et al. The effects of air pollution on adverse birth outcomes [J]. *Environ Res*, 2014, 134 : 198-204.
- [28] MARSHALL EG, HARRIS G, WARTENBERG D. Oral cleft defects and maternal exposure to ambient air pollutants in

- New Jersey [J]. Birth Defects Res A Clin Mol Teratol, 2010, 88 (4) : 205-215.
- [29] ZHANG KM, WEXLER AS, ZHU YF, et al. Evolution of particle number distribution near roadways. Part II : the 'Road-to-Ambient' process [J]. Atmos Environ, 2004, 38 (38) : 6655-6665.
- [30] PADULA AM, HUANG H, BAER RJ, et al. Environmental pollution and social factors as contributors to preterm birth in Fresno County [J]. Environ Health, 2018, 17 (1) : 70.
- [31] BRAUER M, LENCAR C, TAMBURIC L, et al. A cohort study of traffic-related air pollution impacts on birth outcomes [J]. Environ Health Perspect, 2008, 116 (5) : 680-686.
- [32] YORIFUJI T, NARUSE H, KASHIMA S, et al. Residential proximity to major roads and preterm births [J]. Epidemiology, 2011, 22 (1) : 74-80.
- [33] AMEGAH AK, JAAKKOLA JJ. Work as a street vendor, associated traffic-related air pollution exposures and risk of adverse pregnancy outcomes in Accra, Ghana [J]. Int J Hyg Environ Health, 2014, 217 (2-3) : 354-362.
- [34] DE MEDEIROS AP, GOUVEIA N, MACHADO RP, et al. Traffic-related air pollution and perinatal mortality : a case-control study [J]. Environ Health Perspect, 2009, 117 (1) : 127-132.
- [35] HABERMANN M, GOUVEIA N. Socioeconomic position and low birth weight among mothers exposed to traffic-related air pollution [J]. PLoS One, 2014, 9 (11) : e113900.
- [36] PADULA AM, MORTIMER K, HUBBARD A, et al. Exposure to traffic-related air pollution during pregnancy and term low birth weight : estimation of causal associations in a semiparametric model [J]. Am J Epidemiol, 2012, 176 (9) : 815-824.
- [37] MORELLO-FROSCH R, JESDALE BM, SADD JL, et al. Ambient air pollution exposure and full-term birth weight in California [J]. Environ Health, 2010, 9 (1) : 44.
- [38] HANSEN C, NELLER A, WILLIAMS G, et al. Maternal exposure to low levels of ambient air pollution and preterm birth in Brisbane, Australia [J]. BJOG, 2006, 113 (8) : 935-941.
- [39] LIU S, KREWSKI D, SHI Y, et al. Association between gaseous ambient air pollutants and adverse pregnancy outcomes in Vancouver, Canada [J]. Environ Health Perspect, 2003, 111 (14) : 1773-1778.
- [40] ZEKA A, MELLY SJ, SCHWARTZ J. The effects of socioeconomic status and indices of physical environment on reduced birth weight and preterm births in Eastern Massachusetts [J]. Environ Health, 2008, 7 (1) : 60.
- (英文编辑 : 汪源 ; 责任编辑 : 王晓宇)

· 告知栏 ·

欢迎关注《环境与职业医学》微信公众号

《环境与职业医学》杂志微信公众号已正式上线,该平台包括“读者”“作者”和“我们”三个主菜单,主要提供稿件状态查询、当期最新内容及稿件撰写要求等内容,同时也发布国内外最新研究动态及发展前沿等资讯,满足读者网络时代碎片化阅读的需求。本平台旨在为编者、作者、读者之间搭建一个分享、学习、互动的平台,以此推动《环境与职业医学》杂志的健康发展。

请直接扫描右侧二维码或在公众号中搜索“环境与职业医学”(微信号:JEOM),即可关注本刊微信公众号。

