



中国城市“干岛”的早产风险及其与温度、臭氧交互效应的影响

肖翔^{1,2}, 高蒙^{1,2*}, 董光辉^{3*}, 阴赅宏^{4*}

1. 香港浸会大学地理系, 香港 999077

2. 香港浸会大学深圳研究院, 深圳 518000

3. 中山大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系, 广州 510080

4. 首都医科大学附属北京妇产医院, 北京 100026

* 联系人, E-mail: mmgao2@hkbu.edu.hk; donggh5@mail.sysu.edu.cn; yinchh@ccmu.edu.cn

2024-04-28 收稿, 2024-07-10 修回, 2024-08-13 接受, 2024-08-16 网络版发表

国家重点研发计划(2022YFC3700100)资助

摘要 近年来的研究表明, 孕妇暴露于高温高湿环境可能增加早产的风险, 而城市区域内湿度较低, 尚未有研究深入探讨城市“干岛”(urban dry island, UDI)效应对早产的影响. 本研究旨在探究个体水平UDI暴露与早产之间是否存在保护作用, 以及在城市高温、高臭氧暴露下UDI是否仍具有保护作用. 本研究基于中国出生队列研究(CBCS)的阶段性数据(截至2020年12月的103040个出生记录), 结合居住地址和相对湿度网格数据个体化评估UDI指数, 使用广义线性混合效应模型, 调整潜在的混杂因素, 如母亲特征和环境因素, 来评估UDI暴露与早产之间的关联. 在距离分娩前21 d的时间范围内, UDI指数对早产存在较为一致而显著的保护作用. 滞后1周的UDI指数每降低一个四分位数间距, 早产的风险降低10%(OR=0.90; 95%置信区间: 0.85, 0.95). 交互作用分析中发现UDI可能可以在一定程度上减弱由高温暴露、高臭氧暴露带来的早产风险. 分层分析显示, 在30岁以上、社会经济地位较低和生活在绿化程度更高区域的孕妇中, UDI的保护作用更弱. 研究结论表明, 城市“干岛”效应可能对早产具有一定的保护作用, 而在30岁以上、社会经济地位较低和生活在绿化程度更高区域的孕妇受到的保护作用更弱, 提示这些人群可能为城市母亲中的易感亚组群, 对其制定有针对性的干预措施具有重要意义.

关键词 城市“干岛”效应, 湿度, 高温, 臭氧, 早产

早产(preterm birth, PTB)是指出生时妊娠期不足37周^[1], 它是围产期死亡和婴儿死亡的主要原因之一^[2]. 据估计, 每年全球有超过1500万婴儿早产^[3], 其中每年约有100万婴儿因早产并发症而死^[4,5]. 中国是世界上早产儿数量第二多的国家(每年超过100万例), 年增长率为1.1%^[6]. 早产对新生儿的健康有着潜在的负面影响, 包括但不限于呼吸系统问题、神经系统发育不良以及生长迟缓^[7]. 早产的具体机制未明, 通常认为是由

基因与环境多因素共同作用导致, 例如空气污染^[8]、高温暴露^[9]、噪声^[10]等多种环境因素已被研究发现与早产的发生存在关联. 更好地了解早产的危险因素, 并实施预防干预措施以减少早产及其相关不良结果, 对实现可持续发展目标(SDGs)的健康方面和减轻疾病负担方面发挥着至关重要的作用^[11].

先前发表的文献, 包括来自多个国家的研究, 已经提出了暴露于高温环境与发病率和死亡率之间的关

引用格式: 肖翔, 高蒙, 董光辉, 等. 中国城市“干岛”的早产风险及其与温度、臭氧交互效应的影响. 科学通报, 2025, 70: 3691–3703

Xiao X, Gao M, Dong G H, et al. Risk of preterm birth associated with urban dry island effect and its interaction with temperature and ozone exposure in Chinese cities (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, 70: 3691–3703, doi: 10.1360/TB-2024-0462

联^[12~16]。然而, 孕妇群体可能更容易受到温度极端(即寒冷和炎热极端)的影响, 但针对这部分人群的研究结果却相对较少。近期的研究表明, 孕妇暴露于高温环境可能与早产的风险增加有关^[8,17~20]。在气候变暖的背景下, 许多地区的热浪的强度、频率和持续时间将增强, 这一趋势预计在未来几十年将持续存在^[21,22]。全球气候变化还可能加剧空气污染, 从而对人类健康构成更大威胁。预测还表明, 更多地区, 尤其是污染较为严重的亚洲地区, 将暴露于长时间的高温和高气溶胶相关极端天气之下^[23,24]。许多研究均指出气候和空气污染极端事件的联合暴露可能会比与单个因素相关的健康影响更大。更加值得注意的是, 有研究指出城市高温可能更有利于地表臭氧的生成, 从而带来额外的健康风险^[25]。在当今全球城市化进程中, 城市热岛效应(urban heat island, UHI)成为了一个备受瞩目的气象现象, 与之相伴的则是“城市干岛效应”(urban dry island, UDI)^[26]。城市热岛效应是指城市相对于周围非城市地区温度更高的现象, 而与之类似的城市“干岛”效应则是指城市相对于周围非城市地区湿度更低的现象。城市热岛可影响城市居住环境的舒适性, 也可能对居民的健康产生影响^[27], 特别是对高温更加敏感的人群, 如老年人、孕妇以及婴幼儿^[28]。而另一方面, UDI使得城市更为干燥, 更有利于机体通过蒸发作用散发热量, 从而有可能降低城市热岛带来的不利影响^[29,30]。有少部分研究探讨了城市热岛效应与健康结果之间的关联^[31], 然而, 对于“城市干岛效应”是否能减轻高温及高臭氧暴露相关的早产风险, 即“城市干岛效应”与温度、臭氧交互作用下对早产风险的影响, 目前却尚未有研究报道。

一些早先关于温湿度与早产风险的研究也主要集中在城市水平^[32,33], 而忽略了城市内个人层面的差异。而且最近的研究还表明, 城市内的岛效应存在空间差异, 这与土地利用和人口密度有关^[32,34]。缺乏城市内个体水平的暴露评估, 尤其是在涉及有限数量城市的小型研究中, 可能会给流行病学研究带来困难, 比如由于暴露评估不够精细导致出现的暴露误差和混杂。为了深入了解城市干岛效应对早产的影响, 本研究采用了创新的个体评估方法。通过利用温湿度数据和卫星反演得到的土地覆盖数据, 我们为每个参与者估算了其个体水平的UDI暴露。这一方法使我们能够更精细地分析城市干岛效应与早产之间的关系, 同时考虑到个体水平差异。

本研究的目标是研究城市干岛效应与早产之间的关系, 特别关注个体水平的影响。我们使用一项中国出生队列数据, 运用广义线性混合效应模型, 调整潜在混杂因素, 探讨UDI暴露与早产的关系。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究采用了中国出生队列研究(China Birth Cohort Study, CBCS)的全国性前瞻性出生队列数据, 该研究旨在研究出生不良结局的相关风险因素。在对研究开始前, 该出生队列研究已通过首都医科大学附属北京妇产科医院伦理委员会的审查和批准(编号: 2018-KY-003-02)。本研究数据基于正在进行的中国国家出生队列研究(China National Birth Cohort Study, CNBCS)的阶段性数据(2018年9月~2020年12月), 参与CNBCS的孕妇签署了个人知情同意书, 并接受了随访, 包括填写关于社会和人口特征、既往病史、吸烟状况、社会经济状况、居住和工作环境以及住房和社区信息的问卷。患有传染病(如乙型肝炎、梅毒和人类免疫缺陷病毒(HIV))的参与者被排除在分析集之外。在同意参与的108418名孕妇中, 观察到105,029例活产(>28周妊娠, 96.9%)。在这一阶段, 我们进一步排除了519份不完整或无效的问卷, 以及1470名我们无法对其地址进行地理编码的参与者。最终得到的分析样本包括103,040份出生记录。有关该中国出生队列的详情, 已在先前发表的论文中详述^[35]。

1.2 污染物与气象数据来源

2017~2020年空气污染物的逐小时数据来自中国国家环境监测中心, 本研究仅使用臭氧(O₃)的每小时数据, 逐小时的O₃数据进一步被计算为每日最大8小时平均(8-h maximum daily average, MDA8)O₃。同样地, 我们获取了2017~2020年的温度、露点温度和土地利用数据。温度、露点温度数据采用了欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)提供的陆地表面的ERA5-Land再分析数据集^[36], 空间分辨率为0.1°, 时间分辨率为每小时。土地利用数据则使用了中分辨率成像光谱仪(MODIS)卫星数据产品(MCD12Q1)的500 m分辨率数据^[37]。相对湿度(RH)使用温度与露点温度的网格数据以如下公式^[38]进行计算:

$$e_s = e_0 \cdot \exp\left(\frac{L_v}{R_w} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right), \quad (1)$$

$$e_{\text{dew}} = e_0 \cdot \exp\left(\frac{L_v}{R_w} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{\text{dew}}}\right)\right), \quad (2)$$

$$\text{RH} = \frac{e_{\text{dew}}}{e_s} \frac{P - e_s}{P - e_{\text{dew}}} \times 100\%, \quad (3)$$

其中, e_0 代表参考水汽压(611 Pa), e_s 和 e_{dew} 分别代表饱和状态下的水汽压和露点温度下的水汽压。 T_0 为参考温度(273 K), T_{dew} 为露点温度。 L_v 是水从液态到气态的潜热(2.5×10^6 J/kg), R_w 表示水汽的比气体常数(461.5 J/(kg K)), P 取标准大气压作为近似估计值。

1.3 暴露评估方法

本研究使用高德地图提供的API对居住地址进行地理编码, 将地址转化为地理坐标(经纬度)。 城市干岛效应通过中心城区与周围非城市地区的相对湿度之差来量化。 本研究采用的个体评估方法来量化城市干岛效应, 算法框架如图1所示。 首先通过GIS工具对居住地址进行了地理编码, 并根据MODIS的土地利用数据将

其分类为城市或非城市2种类型。 然后, 创建两个独立的圆形缓冲区(初始半径分别为1.5和15 km), 以代表人们周围环境的平均湿度以及对应的非城市区域的“背景湿度”, 同时也将所有湿度数据网格标记为城市或非城市。 如果每个缓冲区内标识的网格数量分别少于9个和81个(即 3×3 和 9×9 网格), 则应用迭代程序逐步将半径分别扩大0.1和1 km, 直到识别到足够数量的标记网格为止。 这是为了确保用于计算结果的数据具有较高的稳健性。 在城市缓冲区内, 我们仅使用落入“城市”类别的湿度数据网格来计算平均温度, 类似地, 在非城市缓冲区内, 仅使用“非城市”湿度数据网格来计算平均非城市湿度。

对于城市地址编码, 较小缓冲区内平均相对湿度被视为城市湿度(RH_{urban}), 而较大缓冲区内平均相对湿度被视为相应的周围非城市湿度($\text{RH}_{\text{non-urban}}$)。 对于非城市地址, 采用相同的计算方法, 但 $\text{RH}_{\text{non-urban}}$ 是使用较小缓冲区计算, 而 RH_{urban} 是使用较大缓冲区计算。 最后, 个体水平的UDI被计算为 RH_{urban} 和 $\text{RH}_{\text{non-urban}}$ 之间的差异。 从出生日期到出生前21 d(即lag0 d~lag20 d)的每

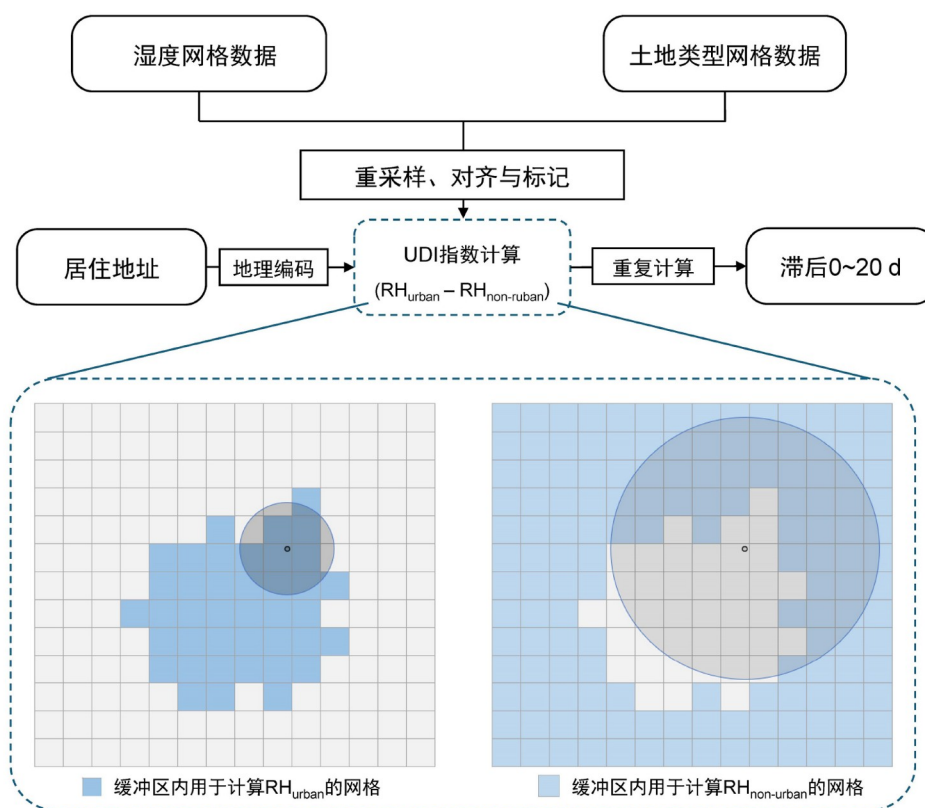


图1 (网络版彩色)UDI指数计算算法框架图

Figure 1 (Color online) Framework of calculation of UDI index

一天都使用上述程序进行计算，并计算了在分娩前一、二和三周的每周平均UDI水平。类似地，我们也计算了个体水平的UHI暴露，这一部分已在我们先前发表的研究中详细阐述^[31]。

1.4 健康效应结局

早产被定义为不足37周的妊娠^[39]。本研究内，妊娠周期的确定采用了最后一次月经的日期，并结合确认性的超声检查作为确定性依据。

1.5 统计学方法

使用均数±标准差(Mean±SD)描述连续型变量，构成比(%)描述分类变量。对连续型变量使用Student-*t*检验或者方差分析进行组间比较，分类变量组间比较使用卡方检验(χ^2)。本研究使用广义线性混合效应模型(GLMER)来估算早产与UDI强度之间的关系。为方便

结果展示，在效应估计模型中，我们使用了UDI的相反数以表示城市平均相对湿度比非城市平均相对湿度低的数值，模型结果展示UDI每降低一个四分位数间距(interquartile range, IQR)。

在混合效应模型中，考虑到潜在的聚类效应，使用省份作为随机效应项。根据既往已发表的相关文献，统计模型中包含了多个潜在的混杂因素，如孕妇特征、新生儿性别、出生月份等，并通过构建基准模型(仅调整随机效应项)和全调整模型(调整变量见表1)分别进行了分析。在分层分析中，因考虑到冷暖季节UDI效应可能存在不同，本研究按照出生月份对人群进行分组，分别为冷季节组(出生月份为每年11月~次年4月)和暖季节组(出生月份为每年5月~10月)。本研究还探讨社会经济状态(socioeconomic status, SES)对观察到的关联的效应修饰作用。SES变量包括，母亲年龄、家庭年收入，即识别潜在的敏感亚组人群。为进一步探究UDI效

表 1 研究对象基线资料

Table 1 Baseline characteristics of participants

变量	均值±标准差, <i>n</i> (%)			<i>P</i> 值 ^{a)}
	总人群(<i>n</i> =103040)	足月产(<i>n</i> =96652)	早产(<i>n</i> =6388)	
母亲因素变量				
年龄(岁)	30.7±5.0	30.7±5.0	31.2±4.9	<0.001
孕前BMI(kg/m ²)	21.8±3.6	21.8±3.6	22.1±3.7	<0.001
孕周(天)	274.6±11.8	276.6±7.9	243.7±16.5	<0.001
民族(汉族)	85943(83.4%)	80574(83.4%)	5369(84.0%)	0.16
受教育水平				
九年义务教育及以下	56125(54.5%)	52416(54.2%)	3709(58.1%)	<0.001
高等教育及以上	46915(45.5%)	44236(45.8%)	2679(41.9%)	
家庭年收入(元)				
≤100000	31415(30.5%)	29275(30.3%)	2140(33.5%)	<0.001
100000~400000	61352(59.5%)	57673(59.7%)	3679(57.6%)	
≥400000	10273(10.0%)	9704(10.0%)	569(8.9%)	
环境烟草暴露(是)	41270(40.1%)	38632(40.0%)	2638(41.3%)	0.037
新生儿性别(男)	53650(52.1%)	50085(51.8%)	3565(55.8%)	<0.001
环境因素变量				
家庭居住类型(城市居民)	90504(87.8%)	85119(88.1%)	5385(84.3%)	<0.001
空气净化器使用(是)	23132(22.4%)	21821(22.6%)	1311(20.5%)	<0.001
居住地靠近交通主干(是)	32685(31.7%)	30670(31.7%)	2015(31.5%)	0.764
噪声干扰(是)	5924(5.7%)	5558(5.8%)	366(5.7%)	0.966
NDVI _{500 m}	0.31±0.12	0.31±0.12	0.30±0.12	0.026
PM _{2.5} (μg m ⁻³) ^{b)}	39.3±14.5	39.4±14.3	37.6±16.8	<0.001
孕期平均温度(°C) ^{b)}	16.6±4.8	16.6±4.8	17.0±5.6	0.001

a) 对连续性变量*P*值计算采用两独立样本*t*检验, 对分类变量*P*值采用卡方检验; b) 全孕期内平均暴露水平

应与高臭氧暴露、UDI效应与高温暴露的交互作用,本研究使用了交互作用超额相对危险度(the relative excess risk due to interaction, RERI)作为交互作用效应的统计指标,其常用于流行病学和生物统计学研究. RERI的计算公式如下:

$$RERI=RR_{11}-RR_{10}-RR_{01}+1, \quad (4)$$

其中, RR_{11} 是同时暴露于两个因素($A=1, B=1$)的个体的风险比; RR_{10} 是仅暴露于因素A($A=1, B=0$)的个体的风险比; RR_{01} 是仅暴露于因素B($A=0, B=1$)的个体的风险比. 如果RERI大于0,表示存在正交互作用,即两个因素的联合作用导致的风险超过了各自的独立作用之和;如果RERI小于0,表示存在负交互作用,即两个因素的联合作用导致的风险低于各自的独立作用之和.

在本研究中,因素A为要探索的不利因素,即高温暴露或者高臭氧暴露(以温度和臭氧浓度中位数为界值分组);因素B为UDI或者UHI效应的高低(同样以计算得的UDI或UHI中位数为界值分为高低两组).

归因比(attributable proportion, AP)是在RERI计算中常用的另一个指标,用于衡量两个因素交互作用导致的风险增加在总体风险中所占的比例. AP的计算公式如下:

$$AP=\frac{RERI}{RR_{11}}, \quad (5)$$

其中, AP的值范围在0~1之间,如果AP为0,表示交互作用未导致额外的风险,如果AP为1,表示交互作用完全导致了总体风险的增加. 通常情况下, AP的解释是交互作用导致的风险相对于总体风险的占比.

本研究所有统计分析使用R软件完成,以双侧 $P<0.05$ 为差异具有显著性.

2 结果

2.1 研究对象基线描述

本研究共纳入分析103040份出生记录信息. 研究对象的基本情况如表1所示,以出生结局为足月产或者早产为条件分组描述了母亲方面因素的变量和环境暴露变量. 总体上,本研究纳入的出生记录的平均孕周为274.6 d(39.2周),其中有6.2%($n=6388$)的新生儿为早产儿. 与足月婴儿相比,早产儿的母亲更可能为年龄稍大组别($P<0.001$),孕前体质指数(body mass index, BMI)水平更高($P<0.001$),社会经济地位(socioeconomic status, SES)较低,比如来自低收入($P<0.001$)或低受教育水平

组别($P<0.001$). 环境因素方面,早产儿的母亲在环境烟草暴露(二手烟暴露)方面的比例也显著较高($P=0.037$). 在两组比较之中,民族($P=0.16$)以及家庭居住位置靠近交通干主道($P=0.764$)或噪音干扰($P=0.966$)方面则没有显著性差异.

2.2 UDI效应对早产的相关性分析

居住在城市地区的参与者,其平均暴露于比非城市地区参与者低10%~11%的相对湿度,并且这一数值在不同滞后天数较为稳定. 在分娩前21 d(滞后0~20 d)的结果如图2与3所示. 观察到的效应具有一定的季节性,在冷季节组,本研究观察到仅有滞后6 d和滞后14 d的UDI暴露与早产的风险降低显著相关,其余滞后天数总体显示UDI效应的点估计值(OR)均小于1,但统计学不显著;而在暖季节组,我们观察到的结果一致性较好,结果显示RH差值每降低一个IQR的UDI指数的调整比值比(adjusted OR)分别为滞后1 d: $OR=0.92$ (95%置信区间: 0.92, 0.97),滞后0~1周: $OR=0.90$ (95%置信区间: 0.85, 0.95),滞后0~2周: $OR=0.87$ (95%置信区间: 0.82, 0.92),滞后0~3周: $OR=0.84$ (95%置信区间: 0.79, 0.88),具体见图2与3. 但在全年组(冷季+暖季),仅在滞后1、5、6、10、14以及16~20 d的模型中观察到有统计学差异的结果.

2.3 分层分析

按照母亲年龄、母亲教育水平和孕前BMI水平进行分层分析,本研究发现孕前BMI水平和居住地NDVI水平与UDI的交互作用在统计学上显著. 图4呈现了滞后0~3 d的结果. 我们发现对于年龄较小、孕前BMI水平较高、教育水平较低且居住在植被指数较高地区的母亲,UDI暴露的保护效应估计值更加高,即这些人群可能是受UDI影响更大的人群.

2.4 敏感性分析

从基准模型到全调整模型,我们按照类别累计添加调整变量,观察结果如何随着调整水平的变化而改变,结果如图5所示. 我们发现,随着模型调整的变量增加,混杂水平逐渐下降,结果逐渐趋于统计学显著,并且在按周调整的结果更具有有一致性.

2.5 交互作用分析

在UDI与高臭氧共同作用下的交互效应分析中,两

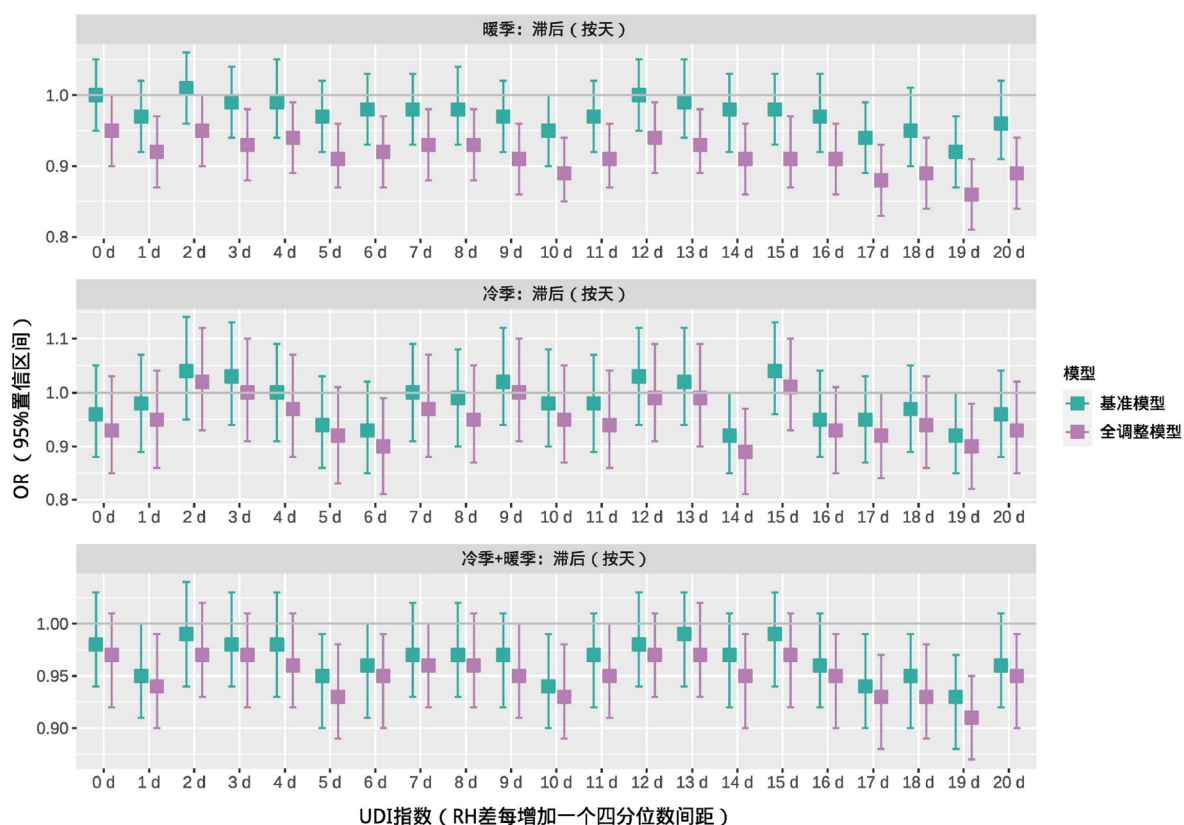


图 2 (网络版彩色)UDI指数与早产风险(按天滞后)比值比(OR)的关系. 基准模型仅调整随机效应项, 全调整模型调整了母亲年龄、孕前BMI水平、受教育水平、民族、二手烟暴露、空气净化器使用、居住地靠近交通主干道、噪声干扰、居住地NDVI水平、孕期平均温度、PM_{2.5}暴露
Figure 2 (Color online) Associations between UDI index and risk of preterm birth (odds ratio, OR) by days of lag. The baseline model adjusts only for random effects, while the fully adjusted model controls for maternal age, pre-pregnancy BMI, education level, ethnicity, second-hand smoke exposure, air purifier use, proximity to major roads, noise disturbance, residential NDVI level, average temperature during pregnancy, and PM_{2.5} exposure

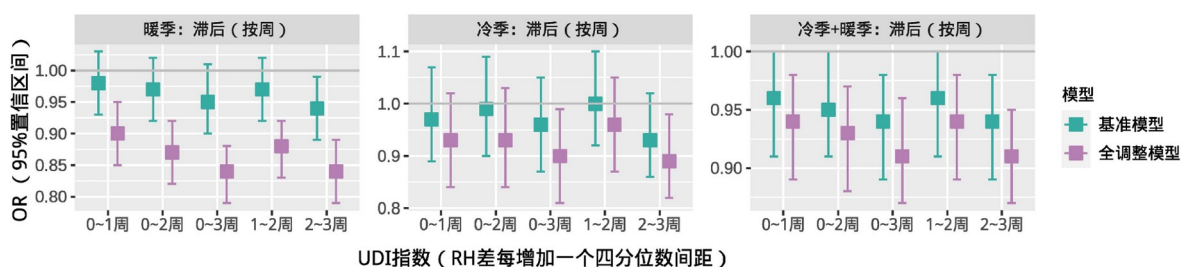


图 3 (网络版彩色)UDI指数与早产风险(按周滞后)比值比(OR)的关系. 基准模型仅调整随机效应项, 全调整模型调整了母亲年龄、孕前BMI水平、受教育水平、民族、二手烟暴露、空气净化器使用、居住地靠近交通主干道、噪声干扰、居住地NDVI水平、孕期平均温度、PM_{2.5}暴露
Figure 3 (Color online) Associations between UDI index and risk of preterm birth (odds ratio, OR) by weeks of lag. The baseline model adjusts only for random effects, while the fully adjusted model controls for maternal age, pre-pregnancy BMI, education level, ethnicity, second-hand smoke exposure, air purifier use, proximity to major roads, noise disturbance, residential NDVI level, average temperature during pregnancy, and PM_{2.5} exposure

因素共同作用下的交互作用超额相对危险度减少 (RERI<0), 在滞后0~1周模型中, RERI为-0.32(-0.45, -0.18), 对应的可归因比例(AP)为-0.34(-0.49, -0.18). 其他滞后模型结果类似, 这表明UDI与高臭氧的共同作

用可导致早产风险的相对降低, 即UDI效应可减弱高臭氧暴露相关风险. 而在高温与UDI的交互作用分析中, 该减弱效应更加显著. 但是我们没有发现UHI效应和高臭氧间存在统计学显著的交互作用(表2).

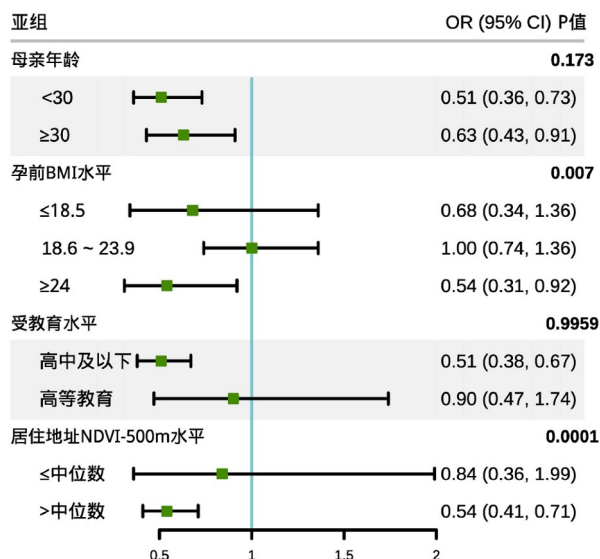


图 4 (网络版彩色) UDI指数(滞后0~3周)与早产风险关联的分层分析
Figure 4 (Color online) Stratified analysis of the association between UDI index (lag 0-3 weeks) and risk of preterm birth

3 讨论

在本研究中, 通过对103040名全国出生队列参与者的研究中, 我们评估了个体水平的城市干岛效应(UDI)暴露, 并探索了UDI暴露与早产风险之间的相关关系。本研究发现非城市居民的平均相对湿度暴露水平比城市区域高10%左右。在出生前3周, 即滞后0~20 d

的暴露评估期内, UDI暴露与早产的关联呈现较高的一致性, 本研究在滞后3周均观察到UDI与早产风险的降低有关, 并且这种关联在暖季发生的出生结局中更为明显。

已经有多项来自国内外的研究已经发现温度与早产的发生可能具有相关关系。例如, 来自美国的一项系统综述报告指出, 温度与早产风险的增加有关(OR: 1.086, 1.21)^[8]。另一项来自对27个国家的研究的Meta分析得出结论, 温度每增加1°C与早产的概率增加相关(OR=1.05, 95% CI: 1.03, 1.07)^[17]。另一项来自中国的研究采用随机效应的Cox比例风险回归模型, 发现温度与早产风险之间存在“U形”曲线的关联^[40]。此外, 一系列先前研究中^[33,41~44], 均已报道了孕期暴露于高温与早产风险的关联。这种关联在一项对14个低中收入国家的分析中也得到了验证^[20]。温度与早产之间关联的生物学解释可能与孕期的热应激可能导致抗利尿激素(antidiuretic hormone, ADH)和催产素(oxytocin, OT)的增加, 以及脱水等因素有关^[45]。这些生理反应可能导致子宫血流减少, 并使胎儿代谢途径从合成型向分解型状态转变, 从而可能导致早产的风险增加^[40]。尽管并非所有上述研究都使用了相同的热暴露指标, 但总体上既往文献表明高温暴露有可能导致早产风险增加。更重要的是, 有研究表明城市热岛效应可能会加剧高温对健康的不良影响, 从而增加易感人群的健康风险^[46],

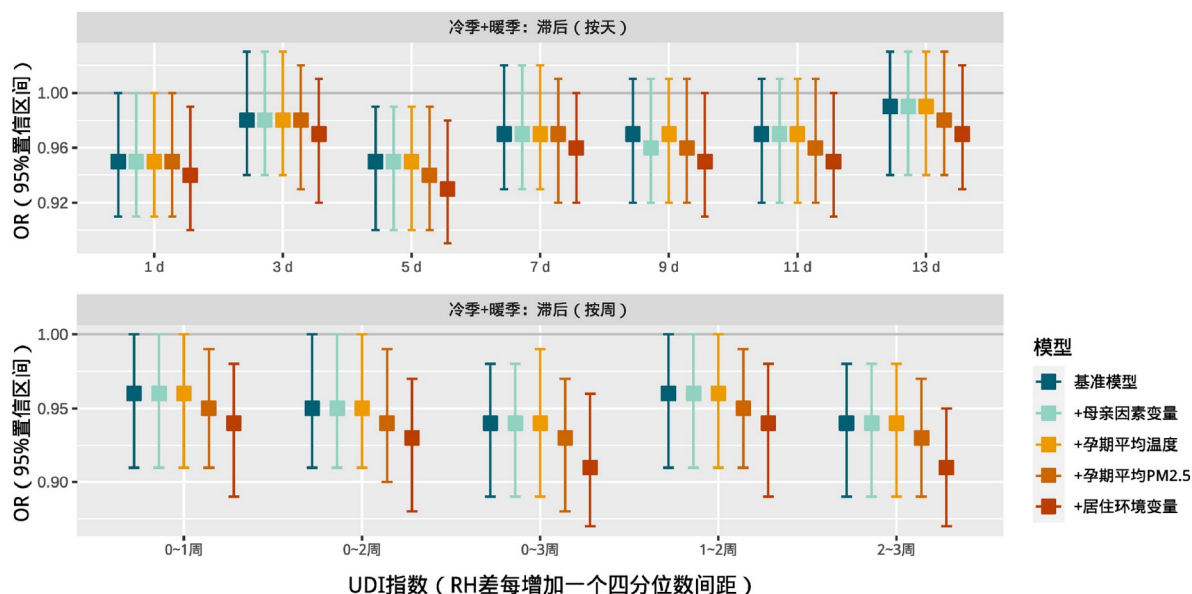


图 5 (网络版彩色) 累计模型调整结果
Figure 5 (Color online) Results of cumulative model adjustment

表 2 由高温与高臭氧和UHI/UDI效应共同作用导致的RERI和AP^{a)}

Table 2 RERI and AP from the combined effects of high temperature, high ozone, and UHI/UDI effects

变量	RERI(95% CI) ^{a)}	AP(95% CI) ^{a)}
高臭氧+UDI		
滞后0~1周	-0.32(-0.45, -0.18)	-0.34(-0.49, -0.18)
滞后0~2周	-0.27(-0.41, -0.13)	-0.28(-0.43, -0.13)
滞后0~3周	-0.26(-0.39, 0.13)	-0.28(-0.43, -0.13)
高温+UDI		
滞后0~1周	-3.8(-6.41, -1.18)	-2.4(-5.0, -0.27)
滞后0~2周	-4.9(-7.48, -2.32)	-5.1(-10.73, -0.54)
滞后0~3周	-8.1(-11.9, -4.20)	-12.5(-25.9, -0.94)
高臭氧+UHI		
滞后0~1周	-0.13(-0.27, 0.01)	-0.12(-0.27, 0.01)
滞后0~2周	-0.10(-0.24, 0.04)	-0.10(-0.25, 0.04)
滞后0~3周	-0.05(-0.19, 0.09)	-0.05(0.20, 0.09)

a) 模型调整了母亲年龄、孕前BMI水平、受教育水平、民族、二手烟暴露、空气净化器使用、居住地靠近交通主干道、噪声干扰、居住地NDVI水平

但据我们所知,目前除了我们先前的研究^[31],鲜有其他类似的研究.

本研究结果应当引起后续研究进一步关注如何减轻由城市“岛”效应导致的潜在早产风险.以出生前1周的UDI指数为例,本研究发现每降低一个IQR,早产的风险可下降约10%(OR=0.90; 95% CI: 0.85, 0.95).本研究在全年与暖季节中观察到较为显著的效应,提示与UDI有关的潜在健康效应在城市居民人群中不应忽视.当前世界面临的全球变暖危机预计将在21世纪末使全球度升高约4~4.5°C^[47],而UHI效应的存在将加剧城市环境中气候变化的影响^[48,49],从而对城市居民带来更大的潜在健康风险.在我们先前的研究中,已经发现UHI效应对早产的不良影响^[31].在本研究中我们进一步发现与UHI效应相伴的UDI效应却可能在一定程度上减弱由高温、高臭氧暴露带来的早产风险,并且这种效应的减弱在滞后一周到滞后三周中均统计学显著,这一结果可能可以表明UDI效应的存在可能减轻或补偿由温度增加或臭氧浓度上升带来的额外健康风险.

从季节性角度,我们的研究分析发现UDI的作用在暖季节的效应相比于全年分析更为显著,这与部分先前发表的研究指出的温度与早产之间可能存在“U形”的关联^[18,19]相类似.这一结果可能提示我们在全年的分析中观察到的效应可能是由温暖季节的效应主导.对此一个可能的解释是,温暖季节的气候条件下,高温高湿出现的可能性更大^[50],而UDI对于城市居民暴露

的湿度水平的降低作用可能可以缓解这种高温高湿的不利气候条件,使其趋向于较为舒适的水平,从而观察到UDI与不良分娩结局的风险降低相关联.然而,值得注意的是,我们研究对于冷季节的分析中也有部分结果显示与暖季的结果类似.因而在没有其他相关研究的基础上,我们做出的解释具有一定的推测性质.因此,需要进行更大样本量的相关研究来更好的揭示其效应,以便我们更好地理解在全球变暖的大背景之下,城市UHI及UDI现象与早产结果之间的关系及其作用机制.

从分层分析的结果,我们还可以发现UDI效应对30岁以上母亲的保护作用较低龄母亲低.这可能与先前的研究已将高龄孕妇确定为妊娠糖尿病(GDM)发病率增加的危险因素^[51~53]、高血压^[54]和胎盘功能障碍^[55]的风险因素有关.本研究同样发现较高龄的孕妇更难以受到UDI的保护效应,提示高龄孕妇可能对其他不良因素的影响更为敏感.另外,与先前研究发现,低社会经济地位(socioeconomic status, SES)与多种结局相关^[56~58],也可能加重不良妊娠结局^[43,59]类似,我们发现教育程度更低、孕前BMI水平更高的母亲可能更容易受到UDI效应的保护作用从而降低早产发生的风险.可能部分解释是在中国,城市/农村地区与当地居住者的社会经济地位高度相关^[60],高社会经济地位的人倾向于居住在城市内更为繁华的地区^[61],从而享受到更便利的生活条件和更高的医疗水平.在这种情况下,早产

的发生更大程度上受制于医疗水平的提高而非不良的环境因素,因而在这些人群中能观察到其对环境因素的暴露更加敏感,这一解释也与目前环境健康的研究相一致。我们还发现居住区域植被水平的不同与UDI的保护作用存在一定关系,但其机制仍不明确。由于缺乏相关的研究报道,本研究难以对观察的结果进行解释。但是有一部分研究报道了植被水平是否能够改变高温暴露与早产之间的关联,目前这部分文献也存在较为不一致的观点。例如,一些研究结果表明住宅区的高植被水平可能有助于减小高温暴露与早产之间的关联^[42],然而,来自罗马的一项研究报告则报道了相反的结果,这项研究发现,居住在城市绿地100 m以内的孕妇在受到热暴露时,更容易产生早产^[44]。另一项在韩国进行的研究则未发现居住地植被水平在高温暴露与早产之间具有效应修饰作用^[43]。

值得注意的是,绿地对孕妇的益处不仅限于我们所讨论的微气候调节作用。研究表明,绿地环境不仅能改善微气候条件,降低城市热岛效应,还能通过提供更好的空气质量和更安静的环境,减轻心理压力等^[62]来促进孕妇的精神健康。此外,城市绿地可以通过鼓励户外活动,增进社会凝聚力等等,这些额外的因素及其机制可能可以对孕妇的身体健康和情绪调节产生益处,这些因素可能共同作用以减少早产的风险。例如,有人认为绿地通过蒸腾、遮阴和对流的降温效应可以影响环境的温度^[63],从而可能在一定程度上缓解城市热岛效应(这与UDI的作用类似),但也可能存在其他潜在的更为复杂的因素,如城市绿地的实际使用和行为(例如,绿地可能与孕妇更多的户外活动有关,从而增加高温暴露的可能性)可能也是观察到这些差异的原因^[33]。综上所述,未来的研究可收集参与者的户外活动的相关信息从而进一步分析城市绿地如何对健康结局产生效应,并为后续的研究提供基础。另一值得注意的是,在研究环境与健康的关系时,需要综合考虑多方面的因素,不仅仅是气候因素,还包括其他环境和社会因素对身心健康的综合影响。已有研究表明,空气污染对妊娠结局有显著影响,尤其是细颗粒物PM_{2.5}和NO₂等污染物^[64,65],空气质量改善可以降低早产和低出生体重的风险。在城市地区,噪声污染也是一个重要的环境因素。高噪声暴露与高血压、焦虑和睡眠障碍等健康问题相关^[66],这些问题可能对孕妇和胎儿的健康产生不利影响^[10]。此外,社会经济地位影响人们的居住环境、医疗保健可及性和营养状况。低社会经济地位人群往

往面临更高的环境暴露风险^[67],并且医疗资源相对不足,这可能加重不良妊娠结局的风险。在本研究中,由于这些因素均有可能对研究的健康结局产生影响,我们在主要的分析模型中将其纳入为调整变量,通过调整这一部分变量以使得在观察到的结果中从一定程度上排除它们的潜在影响。未来的研究仍需要探索这些因素对出生结局的影响,共同加深我们对早产与环境影响因素间复杂关系的认识,为制定有效的公共卫生政策提供更全面的科学依据。

此研究具有如下优缺点。首先,这是国内外第一项采用个体暴露评估方法的研究,探讨了城市“干岛”效应(UDI)与早产的关联。我们制定并使用了标准化的方法,通过结合居住地址和相对湿度网格数据集来评估个体UDI。因此,我们在个体水平进行了UDI效应的比较,这助于减少暴露评估的误差水平,从而提高研究结果的可信度。本研究提出和采用的暴露评估方法同样适用于研究区域较小(如对单个或少数城市)的研究中。当然,本研究也有一些局限性。例如,尽管我们尽可能地调整了可能影响UDI与早产关联的混杂因素,但其他本研究未收集到的混杂因素可能仍然存在。例如,尽管在主要分析中我们纳入了社会经济地位相关的变量(如教育水平、收入水平等)进行调整,但是本研究缺乏对研究参与者空调的使用情况,和是否提前进入医疗机构待产等潜在影响因素的相关数据,这些数据的缺失也是本研究的一个局限性,未来相关研究应该考虑这部分因素。其次,即使我们已调整了整个孕期温度暴露以最大化排除温度的影响,但由于调整残差的影响,温度仍有可能在观察到的相关关系中起到一定作用。第三,我们未能进行额外的分析(例如扩大滞后模型的滞后天数范围)来评估整个孕期的关键效应窗口,因为本研究基于全国范围,这需要巨大的数据量和计算工作。但是,在较小的区域进行的研究可考虑对关键的暴露窗口进行探索。第四,本研究所使用的0.1度(~10公里)分辨率的ECMWF再分析数据在区分城市与非城市气象状况方面存在一定局限性。尽管如此,我们研究中的UDI指数在较大地理范围内表现出显著的空间变异性,平均每个UDI值覆盖的样本数少于2人,这表明本研究暴露评估在全国范围内是较为细致的。此外,尽管较粗的分辨率可能会导致邻近居住地点的参与者UDI指数趋于一致,但这并不显著影响城市与非城市的分类。因为这种一致性对于所有参与者都是统一的,并且独立于研究的健康结局。即使在这种条件下,我们也观察

到某些滞后天数下UDI指数对健康结果的显著影响,这进一步证明了我们的研究结论的稳健性.此外,由于本研究首次尝试使用个体UDI暴露的方法,因此缺乏使用类似方法的已发表证据来对本研究的结果进行比较与分析.

4 结论

综上所述,基于中国出生队列研究的阶段性数据,本研究通过对103040名全国出生队列参与者的研究,使用个体化的UDI指数评估方法,调整可能的混杂因素,探索了UDI暴露与早产风险之间的相关关系.研究结果显示,居住于非城市的平均相对湿度比城市区域高10%左右.在出生前3周的暴露评估期内,UDI暴露与早产的关联表现出较高的一致性,而且在暖季节观察到的效应更为显著.对于温度与早产之间的关联,已有多项研究指出其可能性,而我们的研究进一步验证了这一关系,尤其在城市环境中更为明显.值得注意的

是,通过交互作用分析,我们发现UDI效应与高温、高臭氧存在一定的交互作用,即UDI效应可能在一定程度上减轻了由高温和高臭氧暴露带来的早产风险,这种效应在暖季节尤为显著.这一发现提示城市“干岛”效应可能在一定程度上缓解了城市热岛效应、高温及高臭氧对居民健康的不利影响.本研究通过进一步分析还发现,UDI效应对不同年龄、教育程度、BMI水平和居住区域植被水平的母亲具有不同的保护作用.对于30岁以上母亲,和教育程度更低、孕前BMI水平更高的母亲,UDI效应的保护作用更为显著.这一研究发现提示在城市规划和环境管理中,应该更加重视对不同人群的健康保护需求.本研究为城市干岛效应与早产之间的关系提供了新的证据,并且就城市干岛效应与早产之间的关联强调了城市环境对孕产妇健康的重要影响.未来的研究应该进一步探索城市干岛效应对早产风险的调节机制,并结合城市规划和环境保护实践,以保障城市居民的健康.

参考文献

- 1 Quinn J A, Munoz F M, Gonik B, et al. Preterm birth: Case definition & guidelines for data collection, analysis, and presentation of immunisation safety data. *Vaccine*, 2016, 34: 6047–6056
- 2 Bhutta Z A, Cabral S, Chan C W, et al. Reducing maternal, newborn, and infant mortality globally: An integrated action agenda. *Intl J Gynecol Obstet*, 2012, 119: S13–S17
- 3 Ohuma E O, Moller A B, Bradley E, et al. National, regional, and global estimates of preterm birth in 2020, with trends from 2010: A systematic analysis. *Lancet*, 2023, 402: 1261–1271
- 4 Chawanpaiboon S, Vogel J P, Moller A B, et al. Global, regional, and national estimates of levels of preterm birth in 2014: A systematic review and modelling analysis. *Lancet Glob Health*, 2019, 7: e37–e46
- 5 Blencowe H, Cousens S, Chou D, et al. Born Too Soon: The global epidemiology of 15 million preterm births. *Reprod Health*, 2013, 10: S2
- 6 Zhang J, Sun K, Zhang Y. The rising preterm birth rate in China: A cause for concern. *Lancet Glob Health*, 2021, 9: e1179–e1180
- 7 Saigal S, Doyle L W. An overview of mortality and sequelae of preterm birth from infancy to adulthood. *Lancet*, 2008, 371: 261–269
- 8 Bekkar B, Pacheco S, Basu R, et al. Association of air pollution and heat exposure with preterm birth, low birth weight, and stillbirth in the US. *JAMA Netw Open*, 2020, 3: e208243
- 9 Ha S, Liu D, Zhu Y, et al. Acute associations between outdoor temperature and premature rupture of membranes. *Epidemiology*, 2018, 29: 175–182
- 10 Nieuwenhuijsen M, Ristovska G, Dadvand P. WHO environmental noise guidelines for the european region: A systematic review on environmental noise and adverse birth outcomes. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, 14: 1252
- 11 Lee A C, Blencowe H, Lawn J E. Small babies, big numbers: Global estimates of preterm birth. *Lancet Glob Health*, 2019, 7: e2–e3
- 12 Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. *Lancet*, 2015, 386: 369–375
- 13 Gronlund C J, Zanobetti A, Schwartz J D, et al. Heat, heat waves, and hospital admissions among the elderly in the United States, 1992–2006. *Environ Health Perspect*, 2014, 122: 1187–1192
- 14 Ma W, Wang L, Lin H, et al. The temperature–mortality relationship in China: An analysis from 66 Chinese communities. *Environ Res*, 2015, 137: 72–77
- 15 Ye X, Wolff R, Yu W, et al. Ambient temperature and morbidity: A review of epidemiological evidence. *Environ Health Perspect*, 2012, 120: 19–28
- 16 Son J Y, Lane K J, Lee J T, et al. Urban vegetation and heat-related mortality in Seoul, Korea. *Environ Res*, 2016, 151: 728–733
- 17 Chersich M F, Pham M D, Areal A, et al. Associations between high temperatures in pregnancy and risk of preterm birth, low birth weight, and

- stillbirths: Systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 2020, 371: m3811
- 18 He J R, Liu Y, Xia X Y, et al. Ambient temperature and the risk of preterm birth in Guangzhou, China (2001–2011). *Environ Health Perspect*, 2016, 124: 1100–1106
- 19 Li S, Chen G, Jaakkola J J K, et al. Temporal change in the impacts of ambient temperature on preterm birth and stillbirth: Brisbane, 1994–2013. *Sci Total Environ*, 2018, 634: 579–585
- 20 McElroy S, Ilango S, Dimitrova A, et al. Extreme heat, preterm birth, and stillbirth: A global analysis across 14 lower-middle income countries. *Environ Int*, 2022, 158: 106902
- 21 Im E S, Pal J S, Eltahir E A B. Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia. *Sci Adv*, 2017, 3: e1603322
- 22 Perkins-Kirkpatrick S E, Lewis S C. Increasing trends in regional heatwaves. *Nat Commun*, 2020, 11: 3357
- 23 Gao M, Wang F, Ding Y, et al. Large-scale climate patterns offer preseasonal hints on the co-occurrence of heat wave and O₃ pollution in China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2023, 120: e2218274120
- 24 Morawska L, Zhu T, Liu N, et al. The state of science on severe air pollution episodes: Quantitative and qualitative analysis. *Environ Int*, 2021, 156: 106732
- 25 Lu X, Zhang L, Shen L. Meteorology and climate influences on tropospheric ozone: A review of natural sources, chemistry, and transport patterns. *Curr Pollution Rep*, 2019, 5: 238–260
- 26 Zhang K, Cao C, Chu H, et al. Increased heat risk in wet climate induced by urban humid heat. *Nature*, 2023, 617: 738–742
- 27 Santamouris M. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy Buildings*, 2020, 207: 109482
- 28 Ward K, Lauf S, Kleinschmit B, et al. Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Sci Total Environ*, 2016, 569–570: 527–539
- 29 Epstein Y, Moran D S. Thermal comfort and the heat stress indices. *Ind Health*, 2006, 44: 388–398
- 30 Sherwood S C, Huber M. An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2010, 107: 9552–9555
- 31 Xiao X, Liu R, Zhang Z, et al. Using individual approach to examine the association between urban heat island and preterm birth: A nationwide cohort study in China. *Environ Int*, 2024, 183: 108356
- 32 Shi Y, Katzschner L, Ng E. Modelling the fine-scale spatiotemporal pattern of urban heat island effect using land use regression approach in a megacity. *Sci Total Environ*, 2018, 618: 891–904
- 33 Son J Y, Choi H M, Miranda M L, et al. Exposure to heat during pregnancy and preterm birth in North Carolina: Main effect and disparities by residential greenness, urbanicity, and socioeconomic status. *Environ Res*, 2022, 204: 112315
- 34 Ho J Y, Shi Y, Lau K K L, et al. Urban heat island effect-related mortality under extreme heat and non-extreme heat scenarios: A 2010–2019 case study in Hong Kong. *Sci Total Environ*, 2023, 858: 159791
- 35 Yue W, Zhang E, Liu R, et al. The China birth cohort study (CBCS). *Eur J Epidemiol*, 2022, 37: 295–304
- 36 Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. The ERA5 global reanalysis. *Quart J R Meteorol Soc*, 2020, 146: 1999–2049
- 37 Sulla-Menashé D, Friedl M A. User guide to collection 6 modis land cover (mcd12q1 and mcd12c1) product. USGS: Reston, VA, USA, 2018. 18
- 38 Xu Y, Wu X, Kumar R, et al. Substantial increase in the joint occurrence and human exposure of heatwave and high-PM hazards over South Asia in the mid-21st Century. *AGU Adv*, 2020, 1: e2019AV000103
- 39 WHO. Born too soon: The global action report on preterm birth. 2012. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241503433>
- 40 Wang Y Y, Li Q, Guo Y, et al. Ambient temperature and the risk of preterm birth: A national birth cohort study in the mainland China. *Environ Int*, 2020, 142: 105851
- 41 Ren M, Wang Q, Zhao W, et al. Effects of extreme temperature on the risk of preterm birth in China: A population-based multi-center cohort study. *Lancet Regional Health-Western Pac*, 2022, 24: 100496
- 42 Sun Y, Ilango S D, Schwarz L, et al. Examining the joint effects of heatwaves, air pollution, and green space on the risk of preterm birth in California. *Environ Res Lett*, 2020, 15: 104099
- 43 Son J Y, Lee J T, Lane K J, et al. Impacts of high temperature on adverse birth outcomes in Seoul, Korea: Disparities by individual- and community-level characteristics. *Environ Res*, 2019, 168: 460–466
- 44 Asta F, Michelozzi P, Cesaroni G, et al. The modifying role of socioeconomic position and greenness on the short-term effect of heat and air pollution on preterm births in Rome, 2001–2013. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16: 2497
- 45 Dreiling C E, Carman Iii F S, Brown D E. Maternal endocrine and fetal metabolic responses to heat stress. *J Dairy Sci*, 1991, 74: 312–327
- 46 Iungman T, Cirach M, Marando F, et al. Cooling cities through urban green infrastructure: A health impact assessment of European cities. *Lancet*, 2023, 401: 577–589
- 47 Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner H-O, et al. Global warming of 1.5 c. 2018, <https://www.ipcc.ch/sr15/>

- 48 Chapman S, Watson J E M, Salazar A, et al. The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: A systematic review. [Landscape Ecol](#), 2017, 32: 1921–1935
- 49 Estrada F, Perron P. Disentangling the trend in the warming of urban areas into global and local factors. [Ann New York Acad Sci](#), 2021, 1504: 230–246
- 50 Brouillet A, Joussaume S. Investigating the role of the relative humidity in the co-occurrence of temperature and heat stress extremes in CMIP5 projections. [Geophys Res Lett](#), 2019, 46: 11435–11443
- 51 Lao T T, Ho L F, Chan B C P, et al. Maternal age and prevalence of gestational diabetes mellitus. [Diabetes Care](#), 2006, 29: 948–949
- 52 Lee C S, Zhu S, Wu Q, et al. Independent and joint associations of age, pre-pregnancy BMI, and gestational weight gain with adverse pregnancy outcomes in gestational diabetes mellitus. [Diabetes Ther](#), 2023, 14: 363–375
- 53 Li Y, Ren X, He L, et al. Maternal age and the risk of gestational diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of over 120 million participants. [Diabetes Res Clin Pract](#), 2020, 162: 108044
- 54 Carpenter M W. Gestational diabetes, pregnancy hypertension, and late vascular disease. [Diabetes Care](#), 2007, 30: S246–S250
- 55 Lean S C, Derricott H, Jones R L, et al. Advanced maternal age and adverse pregnancy outcomes: A systematic review and meta-analysis. [PLOS ONE](#), 2017, 12: e0186287
- 56 Xu W, Jiang B, Sullivan W C, et al. Racial disparities in environmental exposures and SARS-CoV-2 infection rates: A detailed population-weighted analysis. [Sustain Cities Soc](#), 2024, 101: 105135
- 57 Jiang B, Mak C N S, Larsen L, et al. Minimizing the gender difference in perceived safety: Comparing the effects of urban back alley interventions. [J Environ Psychol](#), 2017, 51: 117–131
- 58 Lu H, Liu L, Zhong H, et al. A dose of nature to reduce sexual crimes in public outdoor spaces: Proposing the Landscape-Sexual Crime Model. [Landscape Urban Planning](#), 2024, 250: 105143
- 59 Noelke C, Chen Y H, Osypuk T L, et al. Economic downturns and inequities in birth outcomes: Evidence from 149 million US births. [Am J Epidemiol](#), 2019, 188: 1092–1100
- 60 Wang Q, Li J, Zheng S, et al. Breast cancer stage at diagnosis and area-based socioeconomic status: A multicenter 10-year retrospective clinical epidemiological study in China. [BMC Canc](#), 2012, 12: 122
- 61 Chen H, Zhu Z, Sun D, et al. The physical and psychological health of migrants in Guangzhou, China. [INQUIRY](#), 2016, 53: 004695801666806
- 62 Jiang B, Li D, Larsen L, et al. A dose-response curve describing the relationship between urban tree cover density and self-reported stress recovery. [Environ Behav](#), 2016, 48: 607–629
- 63 Kloog I. Air pollution, ambient temperature, green space and preterm birth. [Curr Opin Pediatr](#), 2019, 31: 237–243
- 64 Stieb D M, Chen L, Eshoul M, et al. Ambient air pollution, birth weight and preterm birth: A systematic review and meta-analysis. [Environ Res](#), 2012, 117: 100–111
- 65 Yu Z, Zhang X, Zhang J, et al. Gestational exposure to ambient particulate matter and preterm birth: An updated systematic review and meta-analysis. [Environ Res](#), 2022, 212: 113381
- 66 Xu W, Wang H, Su H, et al. Impacts of sights and sounds on anxiety relief in the high-density city. [Landscape Urban Planning](#), 2024, 241: 104927
- 67 McHale P, Maudsley G, Pennington A, et al. Mediators of socioeconomic inequalities in preterm birth: A systematic review. [BMC Public Health](#), 2022, 22: 1134

Summary for “中国城市“干岛”的早产风险及其与温度、臭氧交互效应的影响”

Risk of preterm birth associated with urban dry island effect and its interaction with temperature and ozone exposure in Chinese cities

Xiang Xiao^{1,2}, Meng Gao^{1,2*}, Guanghui Dong^{3*} & Zhehong Yin^{4*}

¹ Department of Geography, Hong Kong Baptist University, Hong Kong 999077, China

² Institute for Research and Continuing Education, Hong Kong Baptist University, Shenzhen 518000, China

³ Department of Occupational and Environmental Health, School of Public Health, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China

⁴ Beijing Obstetrics and Gynecology Hospital, Capital Medical University, Beijing 100026, China

* Corresponding authors, E-mail: mmgao2@hkbu.edu.hk; donggh5@mail.sysu.edu.cn; yinchh@ccmu.edu.cn

Recent studies have increasingly pointed to the potential risks that high temperature and humidity pose to pregnant women, particularly in increasing the likelihood of preterm birth. However, within urban areas, where humidity tends to be lower, the impact of the Urban Dry Island (UDI) effect on preterm birth remains underexplored. This study aims to investigate whether UDI exposure at the individual level offers any protective benefits against preterm birth and whether this protective effect persists even under conditions of high urban temperature and ozone exposure.

This research is based on data from the China Birth Cohort Study (CBCS), encompassing 103040 birth records up until December 2020. By integrating residential address data with gridded relative humidity data, the study individualizes the assessment of UDI exposure. The UDI index, a measure of dryness in urban environments, was calculated for each participant based on their specific location. To examine the relationship between UDI exposure and the risk of preterm birth, the study employed a generalized linear mixed-effects model. This model allowed for the adjustment of potential confounding factors, including maternal characteristics such as age, pre-pregnancy BMI, education level, ethnicity, second-hand smoke exposure, air purifier use, and environmental factors such as proximity to major roads, noise disturbance, residential NDVI level, and average temperature during pregnancy.

The findings of this study reveal a consistent and significant protective effect of UDI exposure against preterm birth within the 21-day period leading up to delivery. Specifically, for every quartile decrease in the UDI index lagged by one week, the risk of preterm birth decreased by 10% (OR=0.90, 95% CI: 0.85, 0.95). This suggests that lower humidity in urban areas may help reduce the likelihood of preterm birth. Additionally, interaction analyses indicated that UDI may partially mitigate the increased risk of preterm birth associated with high temperature and high ozone exposure.

Further stratified analyses showed variations in the protective effect of UDI across different subgroups. Notably, the protective effect of UDI was weaker among pregnant women who were over 30 years old, had lower socioeconomic status, or lived in areas with higher levels of greenery (as indicated by NDVI). These findings suggest that while the UDI effect may generally offer a protective benefit against preterm birth, certain populations within urban environments may be more vulnerable and receive less benefit from this effect.

In conclusion, the Urban Dry Island effect appears to have a protective role against preterm birth, especially during the critical weeks leading up to delivery. However, the strength of this protective effect varies among different demographic groups. The weaker protection observed among older, socioeconomically disadvantaged, and greener neighborhood residents highlights these groups as potentially susceptible subpopulations within urban mothers. This suggests the importance of developing targeted interventions for these high-risk groups to better protect them against the adverse outcomes associated with urban environmental exposures during pregnancy. The study's findings underscore the complex interplay between urban environmental factors and maternal health, providing valuable insights for public health strategies aimed at reducing preterm birth rates in urban settings.

urban dry island effect, humidity, high temperature, ozone, preterm birth

doi: [10.1360/TB-2024-0462](https://doi.org/10.1360/TB-2024-0462)