

绿色空间对低出生体重和早产的影响

宋贵双¹, 王红², 肖成汉¹, 于川¹, 刘振溢¹

1. 四川大学华西公共卫生学院 / 华西第四医院, 四川 成都 610041; 2. 四川省妇幼保健院, 四川 成都 610031

摘要:目的 研究孕妇妊娠期绿色空间暴露对低出生体重(LBW)和早产的影响,探讨绿色空间暴露的易感窗口期,为相关研究领域提供数据支持。方法 本研究以 SMILE 队列研究招募的孕妇及其分娩的婴儿为研究对象,并收集社会人口学、生活习惯、出生结局等信息。根据孕妇的居住地址划取 250 m 缓冲区,并计算孕妇孕期平均归一化植被指数(NDVI)。采用 Cox 比例风险回归模型分析孕妇孕期绿色空间暴露对 LBW 和早产的影响,并识别孕妇孕期绿色空间暴露对 LBW 和早产影响的关键窗口期。结果 本研究纳入 6 612 名孕妇, LBW、早产的患病率分别为 3.36% 和 3.43%。研究发现,孕妇整个妊娠 NDVI 第四分位数与 LBW 和早产呈负相关(LBW: $HR=0.38, 95\%CI: 0.24 \sim 0.59, P=0.012$; 早产: $Q4: HR=0.33, 95\%CI: 0.21 \sim 0.51, P<0.001$)。孕晚期 NDVI 对 LBW (Q2: $HR=0.28, 95\%CI: 0.19 \sim 0.42, P=0.003$; Q3: $HR=0.17, 95\%CI: 0.11 \sim 0.27, P<0.001$; Q4: $HR=0.07, 95\%CI: 0.04 \sim 0.12, P<0.001$)和早产(Q2: $HR=0.19, 95\%CI: 0.13 \sim 0.28, P<0.001$; Q3: $HR=0.10, 95\%CI: 0.07 \sim 0.16, P<0.001$; Q4: $HR=0.03, 95\%CI: 0.02 \sim 0.06, P<0.001$)具有保护作用;且随着 NDVI 水平增加,保护作用越强。结论 孕妇妊娠期绿色空间与 LBW 和早产之间呈负相关;孕晚期可能是暴露的关键窗口期,且绿色空间水平越高对母婴健康越有益。

关键词:绿色空间;低出生体重;早产;不良出生结局

中图分类号:R722.1;R179 文献标志码:A 文章编号:1003-8507(2024)11-1988-07

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202401356

Effects of green space on low birth weight and preterm birth

SONG Gui-shuang*, WANG Hong, XIAO Cheng-han, YU Chuan, LIU Zhen-mi

*West China School of Public Health, Sichuan University/West China Fourth Hospital, Chengdu, Sichuan 610041, China

Abstract: Objective To study the impact of exposure to green space during pregnancy on low birth weight (LBW) and preterm birth (PTB) in pregnant women, and to explore the susceptible window period of green space exposure, providing data support for related research fields. **Methods** This study recruited pregnant women and their infants in the Sichuan multi-level infant and early life (SMILE) cohort study as the research subjects, and information on sociodemographic characteristics, lifestyle habits, and birth outcomes were collected. A 250m buffer zone was delineated based on the pregnant women's residential addresses, and the average normalized difference vegetation index (NDVI) during pregnancy was calculated. Cox proportional hazards regression models were used to analyze the impact of green space exposure during pregnancy on LBW and PTB and to identify the key window period of green space exposure affecting LBW and PTB. **Results** In total 6 612 pregnant women were included in this study, and the prevalence rates of LBW and PTB were 3.36% and 3.43%, respectively. It was found that the fourth quartile of NDVI was negatively correlated with LBW and PTB (LBW: $HR=0.38, 95\%CI: 0.24-0.59, P=0.012$; PTB: Q4: $HR=0.33, 95\%CI: 0.21-0.51, P<0.001$). In the third trimester of pregnancy, NDVI had a protective effect on LBW (Q2: $HR=0.28, 95\%CI: 0.19-0.42, P=0.003$; Q3: $HR=0.17, 95\%CI: 0.11-0.27, P<0.001$; Q4: $HR=0.07, 95\%CI: 0.04-0.12, P<0.001$) and PTB (Q2: $HR=0.19, 95\%CI: 0.13-0.28, P<0.001$; Q3: $HR=0.10, 95\%CI: 0.07-0.16, P<0.001$; Q4: $HR=0.03, 95\%CI: 0.02-0.06, P<0.001$), and as the level of NDVI increased, the protective effect became stronger. **Conclusion** Green space during pregnancy is negatively correlated with LBW and PTB. Late pregnancy may be a key window period of exposure, and higher levels of green space are more beneficial for maternal and child health.

Keywords: Green space; Low birth weight; Preterm birth; Adverse birth outcome

近年来,绿色空间在公共卫生领域受到越来越多的关注,政策制定者和规划者将住宅绿化视为促进更健康、更积极的生活方式的杠杆^[1]。研究表明绿色空

间有益于母婴健康,与围产期抑郁^[2]、妊娠期糖尿病^[3-4]呈负相关,更高的绿地水平与出生体重和体力活动的改善以及更低的死亡率相关^[5]。妇幼健康是重大的公共卫生问题,早产(preterm birth)引起的新生儿死亡率约占围产期新生儿死亡率的 75%^[6],且近年来早产的发生率呈不断上升趋势。早产和低出生体重(low

作者简介:宋贵双(1997—),女,硕士在读,研究方向:儿少卫生与妇幼保健学

通信作者:刘振溢, E-mail: zhenmiliu@scu.edu.cn

birth weight, LBW) 在我国的发生率分别为 7.3% 和 5.8%^[7]。绿色空间作为一种可干预的潜在性保护因素,可能会对 LBW、早产产生积极的影响。孕妇妊娠期绿色空间暴露与 LBW 和早产的研究结论目前尚不一致^[1,8],且基于中国人群的研究有限,大部分为横断面研究;绿色空间的评估依赖于孕妇妊娠期单个时间点(怀孕或分娩时)的暴露,没有以纵向方法评估绿色空间;因此,孕妇孕期绿色空间暴露对 LBW 和早产的影响还需进一步证实。

本研究依托四川省多层次婴幼儿及生命早期队列研究(Sichuan multi-level infant and early life cohort, SMILE study),考虑孕妇孕期居住地址的更改,以纵向方法评估孕期绿色空间暴露,进一步调整孕妇孕期抑郁情况、被动吸烟、饮酒、散步、经济收入 and 环境污染情况,更全面地探索孕妇妊娠期绿色空间暴露对 LBW 和早产的影响,并探讨绿色空间暴露的易感窗口期,为相关领域的研究提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究对象 本研究中的孕妇和婴儿来自四川省妇幼保健院的 SMILE 队列研究。该研究在 2018—2021 年招募四川省常住孕妇,对其进行孕期检查和随访;通过基线资料收集,孕早、中、晚期随访和医院电子病历系统获取孕妇及新生儿的相关信息。纳入标准:(1)孕妇年龄 ≥ 20 岁;(2)孕妇住址信息完整;(3)建档,并完成基线资料调查及随访的孕妇;(4)签署知情同意书。排除标准:(1)多胎;(2)孕期居住地址更改的孕妇;(3)缺乏协变量信息。

本研究中建档并完成随访的孕妇共 16 816 例,排除居住地址无法进行地理编码 6 237 例、多胎 227 例、分娩胎数缺失 96 例、孕期居住地址缺失 210 例、居住地址改变 339 例、出生体重缺失 13 例、其余协变量缺失 3 082 例,最终 6 612 例孕妇作为研究对象纳入研究。本项目已获得四川大学华西公共卫生学院/华西第四医院和伦理委员会(GWLL2022094)的批准,所有研究对象均已签署知情同意书。

1.2 暴露指标 2018—2021 年四川省绿色空间数据来源于美国国家航空航天局 Terra 卫星中分辨率成像光谱仪(MODIS: <https://earthdata.nasa.gov/>)的归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)。NDVI 可测量研究区域中树木、植被的数量和分布情况^[9],取值范围为 $-1 \sim 1$,负值可见光高反射,代表冰、水和无植被土壤;0 表示岩石或裸土等;正值表示有植被覆盖,且值越大表示绿色度越高。本研究选取更新周期为 16 d,250 m \times 250 m 空间分辨的 NDVI。目前 NDVI 的缓冲区无固定距离,综合已有的

研究证据,本研究选取使用较多的 250 m 缓冲区。利用高德地图(<https://map.gaode.com/>)将每位孕妇的居住地址编码为地理坐标,地理坐标系参考 WGS1984,并以每位孕妇的居住地址划定半径为 250 m 缓冲区,提取每位孕妇整个孕期、孕早期(≤ 13 周)、孕中期(14~27周)和孕晚期(≥ 28 周)的平均 NDVI。

1.3 结局指标 本研究中 LBW 和早产来源于电子病历系统和胎儿出生时的问卷调查数据。LBW 指新生儿出生体重 $< 2 500$ g。早产指新生儿娩出时胎龄小于 37 周。

1.4 资料收集 通过面对面问卷访谈收集孕妇社会人口学信息(年龄、身高、体重、教育水平、家庭经济收入)、生活行为信息(被动吸烟、饮酒、散步)、产前抑郁情况、妊娠期并发症情况(妊娠期糖尿病、妊娠期高血压疾病)、居住地址等,还收集了孕妇妊娠期 PM_{2.5} 暴露数据。PM_{2.5} 数据来源于中国高分辨率高质量空气污染数据集(China High Air Pollutants, CHAP),使用 1 000 m \times 1 000 m 的空间分辨率来估计每位孕妇妊娠期 PM_{2.5} 暴露浓度。出生体重、胎龄由医院电子病历系统和问卷调查获取。

1.5 统计分析方法 本研究中的连续变量表示为($\bar{x} \pm s$),分类变量表示为[n(%)]。首先比较 LBW、早产研究对象基本特征时,对于孕妇的年龄、孕前 BMI 等定量数据采用独立样本 *t* 检验;对于教育程度、家庭年收入等分类变量,若满足 χ^2 检验则采用 χ^2 检验,若不满足,则使用 Fisher 确切概率法来检验。其次,用 NDVI 平均值的四分位数表示绿色空间暴露量。本研究使用 Mann-Whitney *U* 检验比较 LBW、早产孕妇的绿色空间分布;然后使用 Cox 比例风险回归模型,以胎龄为时间变量,分析 NDVI 与 LBW、早产的关联,以及探索不同孕期(NDVI 对 LBW 和早产)的影响,并采用 Schoenfeld 残差法对自变量进行比例风险(proportional hazards, PH)假定。统计分析采用 R 4.3.0 和 ArcGis 10.7 完成。双侧检验 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 研究人群基本特征 研究对象孕早期、孕中期、孕晚期和整个孕期的 NDVI 分布情况如表 1 所示。

在纳入本研究的 6 612 例单胎活产的婴儿中, LBW 的患病率为 3.36%, 早产的患病率为 3.43%。LBW 婴儿和非低出生体重婴儿在不同性别($P=0.006$)之间的差异具有统计学意义。早产儿和非早产儿在家庭年收入($P=0.017$)、母亲饮酒史($P=0.026$)之间的差异具有统计学意义。见表 2。

2.2 绿色空间对 LBW 的影响 以 LBW 为结局的 Cox 比例风险回归模型中,整个孕期、孕早期、孕中期

和孕晚期的自变量 Schoenfeld 残差与胎龄间的关系不显著($P>0.05$),且全局检验也不具有统计学显著性($P>0.05$),符合 PH 假定,可应用 Cox 比例风险回归模型。

2.2.1 整个孕期绿色空间暴露与 LBW 的 Cox 比例

风险回归分析 孕妇整个孕期 NDVI 的第四分位数(Q4)与 LBW 之间存在负向关联,且调整潜在混杂因素后,整个孕期 NDVI 对 LBW 的保护作用仍然存在($HR=0.38,95\%CI:0.24 \sim 0.59,P=0.012$)。见表 3。

表 1 研究对象 NDVI 分布情况

Table 1 NDVI distribution of the study subjects

孕期	($\bar{x} \pm s$)	Min	P_{25}	P_{50}	P_{75}	Max	IQR
孕早期	0.36 ± 0.14	0.05	0.26	0.35	0.46	0.91	0.20
孕中期	0.35 ± 0.13	0.04	0.24	0.33	0.43	0.90	0.19
孕晚期	0.35 ± 0.14	0.03	0.24	0.32	0.41	0.91	0.17
整个孕期	0.35 ± 0.12	0.11	0.25	0.32	0.45	0.80	0.20

注:Min 最小值; P_{25} 第 25 百分位数; P_{50} 第 50 百分位数; P_{75} 第 75 百分位数;Max 最大值;IQR 四分位数间距。

表 2 研究人群的基本特征 [$n(\%)$, ($\bar{x} \pm s$)]

Table 2 The basic characteristics of the study population [$n(\%)$, ($\bar{x} \pm s$)]

变量	LBW($n=6\ 612$)			早产($n=6\ 612$)		
	是($n=215$)	否($n=6\ 397$)	P 值	是($n=227$)	否($n=6\ 385$)	P 值
性别			0.006			0.574
男	91 (42.32)	3 327 (52.01)		122 (53.74)	3 296 (51.62)	
女	124 (57.68)	3 070 (47.99)		105 (46.26)	3 089 (48.38)	
产次(次)			0.439			0.898
1	140 (65.11)	3 984 (62.27)		143 (63.00)	3 981 (62.35)	
≥2	75 (34.89)	2 413 (37.73)		84 (37.00)	2 404 (37.65)	
怀孕季节			0.083			0.623
春季	64 (29.76)	1 446 (22.60)		58 (25.55)	1 452 (22.74)	
夏季	60 (27.91)	1 955 (31.18)		75 (33.04)	1 940 (30.38)	
秋季	54 (25.12)	1 649 (25.77)		57 (25.11)	1 646 (25.78)	
冬季	37 (12.21)	1 347 (20.05)		37 (16.30)	1 347 (21.10)	
母亲年龄(岁)	28.87 ± 4.91	28.62 ± 4.08	0.447	29.19 ± 4.74	28.60 ± 4.09	0.066
母亲孕前 BMI(kg/m^2)	24.82 ± 3.26	25.19 ± 3.18	0.105	25.22 ± 3.26	25.18 ± 3.18	0.830
母亲民族			0.513			1.00
汉	208 (96.74)	6 230 (98.79)		221 (97.35)	6 217 (97.37)	
其他	7 (3.26)	167 (1.21)		6 (2.65)	168 (2.63)	
母亲教育水平			0.504			0.135
初中及以下	47 (21.86)	1 181 (18.46)		50 (22.03)	1 178 (18.45)	
高中/中专	52 (24.18)	1 606 (25.10)		50 (22.03)	1 608 (25.18)	
大专	58 (26.98)	1 955 (30.56)		65 (28.63)	1 948 (30.51)	
本科及以上	58 (26.98)	1 655 (25.88)		62 (27.31)	1 651 (25.86)	
家庭年收入(元)			0.194			0.017
<6 000	87 (40.46)	2 350 (36.74)		78 (34.36)	2 359 (36.95)	
6 000 ~ <10 000	64 (29.76)	2 146 (33.54)		89 (39.21)	2 121 (33.22)	
10 000 ~ <20 000	43 (20.00)	1 456 (22.76)		41 (18.06)	1 458 (22.83)	
≥20 000	21 (9.78)	445 (6.96)		19 (8.37)	447 (7.00)	
母亲抑郁情况			0.851			1.00
是	83 (38.60)	2 414 (37.74)		86 (37.89)	2 411 (37.76)	
否	132 (61.40)	3 983 (62.26)		141 (62.11)	3 974 (57.54)	
母亲被动吸烟史			0.888			0.264
是	63 (29.30)	1 831 (28.62)		73 (32.16)	1 821 (28.52)	
否	152 (70.70)	4 566 (71.38)		154 (67.84)	4 564 (71.48)	
母亲饮酒史			0.214			0.026
是	7 (3.26)	129 (2.02)		10 (4.41)	126 (1.97)	
否	208 (96.74)	6 269 (97.98)		217 (95.59)	6 259 (98.03)	

(续表)

变量	LBW(n=6 612)			早产(n=6 612)		
	是(n=215)	否(n=6 397)	P 值	是(n=227)	否(n=6 385)	P 值
母亲散步情况			1.00			1.00
是	213 (99.06)	6 327 (98.90)		225 (99.12)	6 315 (98.90)	
否	2 (0.94)	70 (1.10)		2 (0.88)	70 (1.10)	
母亲 GDM 史			0.628			0.514
是	39 (18.13)	1 065 (16.65)		42 (18.50)	1 062 (16.63)	
否	176 (81.87)	5 332 (83.35)		185 (81.50)	5 323 (83.37)	
母亲 HDP 史			0.089			0.055
是	8 (3.72)	130 (2.03)		9 (3.96)	129 (2.02)	
否	207 (96.28)	6 267 (97.97)		218 (96.04)	6 256 (97.98)	
PM _{2.5} (μg/m ³)						
整个孕期	37.68 ± 7.49	37.87 ± 7.29	0.701	37.87 ± 7.27	37.73 ± 8.12	0.788
孕早期	37.88 ± 13.41	36.81 ± 14.59	0.320	36.82 ± 14.58	35.57 ± 13.95	0.186
孕中期	36.79 ± 13.49	38.63 ± 13.78	0.050	38.59 ± 13.75	38.09 ± 14.27	0.606
孕晚期	40.36 ± 17.38	38.19 ± 16.40	0.071	38.22 ± 16.41	39.53 ± 17.33	0.264

表 3 整个孕期 NDVI 与 LBW 的 Cox 比例风险回归分析

Table 3 Cox proportional hazards regression analysis of NDVI and low birth weight during pregnancy

NDVI 分组	模型 1		模型 2		模型 3	
	HR(95%CI)	P 值	HR(95%CI)	P 值	HR(95%CI)	P 值
Q1 (≤0.255)	参考值	—	参考值	—	参考值	—
Q2 (0.256 ~ 0.326)	0.62 (0.44 ~ 0.89)	0.011	0.61 (0.43 ~ 0.88)	0.008	0.59 (0.41 ~ 0.85)	0.004
Q3 (0.327 ~ 0.445)	0.74 (0.52 ~ 1.05)	0.094	0.70 (0.48 ~ 1.00)	0.055	0.63 (0.43 ~ 0.92)	0.017
Q4 (≥0.446)	0.46 (0.31 ~ 0.69)	<0.001	0.44 (0.29 ~ 0.67)	<0.001	0.38 (0.24 ~ 0.59)	<0.001

注:模型 1 粗模型,未调整任何协变量;模型 2 调整婴儿性别、产次、怀孕季节、母亲年龄、孕前 BMI、民族、教育水平、母亲抑郁情况、被动吸烟史、饮酒史、散步、GDM 史、HDP 史;模型 3 在模型 2 的基础上,加入对 PM_{2.5} 的调整。

2.2.2 不同孕期绿色空间暴露与 LBW 的 Cox 比例风险回归分析 孕早期与孕中期 NDVI 和 LBW 之间的关联不具有显著性($P>0.05$),但孕晚期 NDVI 与 LBW 之间呈负相关,且随着孕晚期 NDVI 四分位数

的增加,保护作用愈明显(Q2:HR=0.28,95%CI:0.19~0.42, $P=0.003$;Q3:HR=0.17,95%CI:0.11~0.27, $P<0.001$;Q4:HR=0.07,95%CI:0.04~0.12, $P<0.001$)。见表 4。

表 4 不同孕期 NDVI 与 LBW 的 Cox 比例风险回归分析

Table 4 Cox proportional hazards regression analysis of NDVI and low birth weight during different trimesters of pregnancy

孕期	NDVI 分组	模型 1		模型 2		模型 3	
		HR(95%CI)	P 值	HR(95%CI)	P 值	HR(95%CI)	P 值
孕早期	Q1 (≤0.263)	参考值	—	参考值	—	参考值	—
	Q2 (0.264 ~ 0.346)	1.04 (0.71 ~ 1.52)	0.816	0.96 (0.65 ~ 1.42)	0.866	0.93 (0.63 ~ 1.39)	0.753
	Q3 (0.347 ~ 0.457)	1.11 (0.76 ~ 1.60)	0.592	1.01 (0.69 ~ 1.49)	0.951	0.97 (0.65 ~ 1.46)	0.906
	Q4 (≥0.458)	0.89 (0.61 ~ 1.32)	0.586	0.83 (0.54 ~ 1.27)	0.406	0.79 (0.51 ~ 1.24)	0.321
孕中期	Q1 (≤0.245)	参考值	—	参考值	—	参考值	—
	Q2 (0.246 ~ 0.330)	1.07 (0.74 ~ 1.55)	0.706	1.00 (0.68 ~ 1.47)	0.986	0.90 (0.61 ~ 1.34)	0.616
	Q3 (0.331 ~ 0.433)	1.14 (0.79 ~ 1.65)	0.470	1.08 (0.73 ~ 1.60)	0.672	0.95 (0.64 ~ 1.43)	0.840
	Q4 (≥0.434)	0.79 (0.53 ~ 1.19)	0.270	0.75 (0.48 ~ 1.15)	0.194	0.64 (0.41 ~ 1.01)	0.059
孕晚期	Q1 (≤0.241)	参考值	—	参考值	—	参考值	—
	Q2 (0.242 ~ 0.329)	0.47 (0.33 ~ 0.65)	<0.001	0.34 (0.23 ~ 0.49)	<0.001	0.28 (0.19 ~ 0.42)	<0.001
	Q3 (0.330 ~ 0.441)	0.33 (0.23 ~ 0.48)	<0.001	0.21 (0.14 ~ 0.37)	<0.001	0.17 (0.11 ~ 0.27)	<0.001
	Q4 (≥0.442)	0.16 (0.10 ~ 0.27)	<0.001	0.09 (0.05 ~ 0.16)	<0.001	0.07 (0.04 ~ 0.12)	<0.001

注:模型 1 粗模型,未调整任何协变量;模型 2 调整婴儿性别、产次、怀孕季节、母亲年龄、孕前 BMI、民族、教育水平、母亲抑郁情况、被动吸烟史、饮酒史、散步、GDM 史、HDP 史;模型 3 在模型 2 的基础上,加入对 PM_{2.5} 的调整。

2.3 绿色空间对早产的影响 以早产为结局的 Cox 比例风险回归模型中,整个孕期、孕早期、孕中期和孕晚期的自变量 Schoenfeld 残差与胎龄间的关系不显著 ($P>0.05$),且全局检验也不具有统计学显著性 ($P>0.05$),符合 PH 假定,可应用 Cox 比例风险回归模型。

2.3.1 整个孕期绿色空间暴露与早产的 Cox 比例风

险回归分析 孕妇整个孕期 NDVI 的第二、三、四分位数均与早产之间存在负向关联。调整潜在混杂因素后,整个孕期 NDVI 对早产的保护作用仍然存在,且随着 NDVI 四分位数的增加保护作用越强(Q2: $HR=0.54, 95\% CI: 0.37 \sim 0.77, P=0.001$; Q3: $HR=0.54, 95\% CI: 0.37 \sim 0.78, P=0.001$; Q4: $HR=0.33, 95\% CI: 0.21 \sim 0.51, P<0.001$)。见表 5。

表 5 整个孕期 NDVI 与早产的 Cox 比例风险回归分析

Table 5 Cox proportional hazards regression analysis of NDVI and preterm birth during pregnancy

NDVI 分组	模型 1		模型 2		模型 3	
	HR(95%CI)	P 值	HR(95%CI)	P 值	HR(95%CI)	P 值
Q1 (≤ 0.259)	参考值	—	参考值	—	参考值	—
Q2 (0.260 ~ 0.326)	0.57 (0.40 ~ 0.82)	0.002	0.57 (0.39 ~ 0.81)	0.002	0.54 (0.37 ~ 0.77)	<0.001
Q3 (0.327 ~ 0.445)	0.66 (0.48 ~ 0.93)	0.018	0.62 (0.44 ~ 0.88)	0.007	0.54 (0.37 ~ 0.78)	0.001
Q4 (≥ 0.446)	0.42 (0.28 ~ 0.62)	<0.001	0.39 (0.26 ~ 0.59)	<0.001	0.33 (0.21 ~ 0.51)	<0.001

注:模型 1 粗模型,未调整任何协变量;模型 2 调整婴儿性别、产次、怀孕季节、母亲年龄、孕前 BMI、民族、教育水平、母亲抑郁情况、被动吸烟史、饮酒史、散步、GDM 史、HDP 史;模型 3 在模型 2 的基础上,加入对 PM_{2.5} 的调整。

2.3.2 不同孕期绿色空间暴露与早产的 Cox 比例风险回归分析 孕中期 NDVI 和早产之间的关联不具有显著性 ($P>0.05$),但孕早期 NDVI 第三分位数和孕晚期绿色空间暴露与早产之间呈负相关,且随着孕

晚期 NDVI 四分位数的增加,保护作用愈强(Q2: $HR=0.19, 95\% CI: 0.13 \sim 0.28, P<0.001$; Q3: $HR=0.10, 95\% CI: 0.07 \sim 0.16, P<0.001$; Q4: $HR=0.03, 95\% CI: 0.02 \sim 0.06, P<0.001$)。见表 6。

表 6 不同孕期 NDVI 与早产的 Cox 比例风险回归分析

Table 6 Cox proportional hazards regression analysis of NDVI and preterm birth during different trimesters of pregnancy

孕期	NDVI 分组	模型 1		模型 2		模型 3	
		HR(95%CI)	P 值	HR(95%CI)	P 值	HR(95%CI)	P 值
孕早期	Q1 (≤ 0.263)	参考值	—	参考值	—	参考值	—
	Q2 (0.264 ~ 0.346)	1.10 (0.77 ~ 1.56)	0.584	0.99 (0.69 ~ 1.42)	0.978	0.95 (0.66 ~ 1.38)	0.813
	Q3 (0.347 ~ 0.457)	0.73 (0.49 ~ 1.07)	0.111	0.64 (0.43 ~ 0.97)	0.035	0.62 (0.41 ~ 0.94)	0.024
	Q4 (≥ 0.458)	0.89 (0.62 ~ 1.29)	0.558	0.78 (0.52 ~ 1.16)	0.221	1.35 (0.48 ~ 1.12)	0.152
孕中期	Q1 (≤ 0.245)	参考值	—	参考值	—	参考值	—
	Q2 (0.246 ~ 0.330)	1.07 (0.75 ~ 1.52)	0.701	1.07 (0.74 ~ 1.54)	0.706	0.98 (0.67 ~ 1.44)	0.950
	Q3 (0.331 ~ 0.433)	0.86 (0.59 ~ 1.25)	0.435	0.87 (0.58 ~ 1.29)	0.491	0.78 (0.52 ~ 1.18)	0.252
	Q4 (≥ 0.434)	0.91 (0.63 ~ 1.32)	0.629	0.93 (0.62 ~ 1.40)	0.749	0.83 (0.54 ~ 1.27)	0.394
孕晚期	Q1 (≤ 0.239)	参考值	—	参考值	—	参考值	—
	Q2 (0.240 ~ 0.329)	0.41 (0.29 ~ 0.56)	<0.001	0.24 (0.17 ~ 0.35)	<0.001	0.19 (0.13 ~ 0.28)	<0.001
	Q3 (0.330 ~ 0.440)	0.25 (0.17 ~ 0.37)	<0.001	0.14 (0.09 ~ 0.21)	<0.001	0.10 (0.07 ~ 0.16)	<0.001
	Q4 (≥ 0.441)	0.08 (0.05 ~ 0.16)	<0.001	0.04 (0.09 ~ 0.21)	<0.001	0.03 (0.02 ~ 0.06)	<0.001

注:模型 1 粗模型,未调整任何协变量;模型 2 调整婴儿性别、产次、怀孕季节、母亲年龄、孕前 BMI、民族、教育水平、母亲抑郁情况、被动吸烟史、饮酒史、散步、GDM 史、HDP 史;模型 3 在模型 2 的基础上,加入对 PM_{2.5} 的调整。

3 讨论

本研究结果显示,LBW 和早产的患病率分别为 3.36% 和 3.43%;调整潜在混杂因素后,孕妇妊娠期绿色空间与 LBW 和早产的发生风险呈负相关;孕晚期绿色空间可能是绿色空间暴露的关键窗口期,随着绿色空间水平的增加,保护作用更强。

本研究发现孕妇妊娠期绿色空间暴露与 LBW 和早产呈负相关,这与部分研究报告结果一致,Grazuleviciene 等人^[10]的研究表明母亲住宅周围绿色空间水平较低且离公园距离较远的新生儿发生早产、LBW 等不良出生结局的风险增加。然而,也有部分研究表示孕妇妊娠期绿色空间对出生体重和早产没有影响。Cusack 等人^[11]2017 年一项纳入 300 万婴儿的

出生队列研究表明在完全调整种族、教育和收入等混杂因素的模型中,住宅绿色空间暴露与出生结果(LBW、早产、小于胎龄儿)间没有显著关联。因此,不仅研究人群的种族、生活方式等特征会影响绿色空间与LBW和早产的关系,经济收入、地域差异、植被物种类型的差异等也会对绿色空间与LBW和早产的关系产生影响^[1,12]。

本研究发现孕晚期是绿色空间暴露的关键窗口期,且孕妇孕晚期绿色空间水平越高,对LBW和早产的保护作用越强。以往的研究多依赖于单次测量地址(怀孕或出生时),且未考虑孕期居住地址改变引起的绿色空间变化。本研究以孕期居住地址未发生改变的孕妇为研究对象,测量不同孕期的NDVI平均值,发现孕晚期暴露于绿色空间对LBW和早产具有保护作用。与Agay-Shay等人^[13-14]发现孕早期、孕中期绿色空间更有利的研究结论不一致,这可能是由于孕期绿色空间季节性波动或孕妇对绿色空间的个体易感性和基因多态性;也可能是由于研究人群的样本大小、地域分布和植被差异^[12];此外,NDVI与主要社区绿地之间的相关性也可能对结果产生影响^[1,15]。

目前,绿色空间与LBW和早产的生物学机制尚不清楚。现有的研究提出了几种潜在的假设:一是生理心理社会途径,绿色空间可以改善心理健康、刺激体育锻炼、促进睡眠质量、调节注意力和情绪^[16-17];二是环境通路,绿色空间可以减轻相关的环境危险,如空气污染、噪音和交通密度等^[18-19]。此外,“老朋友”假说中绿色空间会增加细菌、原生动物和蠕虫等微生物的暴露,这些微生物在自然界中含量丰富,可能会促进免疫系统的发育和炎症反应的调节^[20]。

本研究具有以下优势:首先,研究人群来自于前瞻性出生队列,不存在回忆偏倚。其次,研究仅纳入了整个孕期居住地址未改变的孕妇,以纵向方法计算孕妇怀孕至分娩时居住地址周围的平均NDVI,动态的NDVI测量增加了研究的准确性。最后,本研究还收集了较多的混杂因素如孕期抑郁情况、被动吸烟、饮酒、散步等,以及经济收入 and 环境污染情况,更全面地探究孕妇妊娠期绿色空间暴露对LBW和早产的影响,增强研究结论可信度。但本研究也存在一定局限性:首先,现有资料无法获得孕妇的膳食、药物史和其他的健康情况,不能全面调整协变量,使数据分析和研究结果存在局限性,这需要在以后的研究设计中进行完善。其次,NDVI是一种基于卫星的绿色空间测量方法,有研究表明NDVI对背景亮度、植被冠层的形状、大气和云阴影等非常敏感^[21],对暴露的测量可能不太精确,未来应选用更精确的指标或增加相关

指标来估计绿色空间的暴露量。最后,关于绿色空间易感时间窗口的研究较少,本研究发现孕晚期可能是LBW和早产的关键时间点,但与以往的研究结论不一致,还需要进行大量纵向研究探索关键窗口期。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] Zhan YL, Liu JT, Lu ZM, et al. Influence of residential greenness on adverse pregnancy outcomes: A systematic review and dose-response meta-analysis [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 718: 137420.
- [2] Gonzales-Inca C, Pentti J, Stenholm S, et al. Residential greenness and risks of depression: Longitudinal associations with different greenness indicators and spatial scales in a Finnish population cohort [J]. *Health & Place*, 2022, 74: 102760.
- [3] Qu YJ, Yang BY, Lin S, et al. Associations of greenness with gestational diabetes mellitus: The Guangdong Registry of Congenital Heart Disease (GRCHD) study [J]. *Environmental Pollution*, 2020, 266, Part 2: 115127.
- [4] Lin LZ, Dong GH, Tang N, et al. Association between residential greenness and glycosylated hemoglobin in pregnant women: Findings from the baseline data of Yuexiu birth cohort [J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2021, 234: 113721.
- [5] Luo SQ, Wang YQ, Mayvaneh F, et al. Surrounding greenness is associated with lower risk and burden of low birth weight in Iran [J]. *Nature Communications*, 2023, 14(1): 7595.
- [6] Cao G, Liu J, Liu M. Global, regional, and national incidence and mortality of neonatal preterm birth [J]. *JAMA Pediatrics*, 2022, 176(8): 787-796.
- [7] 肖纪英. 不良妊娠结局的影响因素及其与2岁儿童神经认知发育的关联研究[D]. 武汉:华中科技大学,2021.
Xiao JY. Study on the influencing factors of adverse pregnancy outcomes and their associations with neurodevelopment of 2-year-old children [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2021.
- [8] Lee PC, Wu CD, Tsai HJ, et al. Residential greenness and birth outcomes: Evaluating the mediation and interaction effects of particulate air pollution [J]. *Ecotoxicology and Environment Safety*, 2021, 211: 111915.
- [9] Ruan LL, Yan M, Zhang L, et al. Spatial-temporal NDVI pattern of global mangroves: A growing trend during 2000-2018 [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 844: 157075.
- [10] Hu CY, Yang XJ, Gui SY, et al. Residential greenness and birth outcomes: A systematic review and meta-analysis of observational studies [J]. *Environmental Research*, 2021, 193: 110599.
- [11] Cusack L, Larkin A, Carozza S, et al. Associations between residential greenness and birth outcomes across Texas [J]. *Environmental Research*, 2017, 152: 88-95.
- [12] Eriksson C, Lind T, Ekström S, et al. Neighbourhood greenness and birth outcomes in a Swedish birth cohort - A short communication [J]. *Health & Place*, 2019, 57: 200-203.
- [13] Agay-Shay K, Michael Y, Basaga'a X, et al. Mean and variance of greenness and pregnancy outcomes in Tel Aviv during 2000-14:

- longitudinal and cross-sectional approaches[J]. International Journal of Epidemiology, 2019, 48(4): 1054-1072.
- [14] Runkle JD, Matthews JL, Sparks L, et al. Racial and ethnic disparities in pregnancy complications and the protective role of greenspace: A retrospective birth cohort study[J]. Science of the Total Environment, 2022, 808: 152145.
- [15] Dzhambov AM, Browning MHEM, Markevych I, et al. Analytical approaches to testing pathways linking greenspace to health: A scoping review of the empirical literature [J]. Environmental Research, 2020, 186: 109613.
- [16] Freymueller J, Schmid HL, Senkler B, et al. Current methodologies of greenspace exposure and mental health research—a scoping review[J]. Front Public Health, 2024, 12: 1360134.
- [17] Martin L, White MP, Elliott LR, et al. Mechanisms underlying the associations between different types of Nature exposure and sleep duration: An 18-country analysis[J]. Environmental Research, 2024, 250: 118522.
- [18] Gu TT, Yang T, Wang JW, et al. Modification of green space on the associations between long-term road traffic noise exposure and incident intracerebral hemorrhage: A prospective cohort study [J]. Environmental Research, 2023, 231(Pt 2): 116189.
- [19] Poulsen AH, Sørensen M, Hvidtfeldt UA, et al. Concomitant exposure to air pollution, green space, and noise and risk of stroke: a cohort study from Denmark [J]. Lancet Reg Health Eur, 2023, 31: 100655.
- [20] Dawud LM, Holbrook EM, Lowry CA. Evolutionary aspects of diverse microbial exposures and mental health: focus on "Old Friends" and stress resilience [J]. Current Topics in Behavioral Neurosciences, 2023, 61: 93-117.
- [21] Wang H, Liu HY, Huang N, et al. Satellite-derived NDVI underestimates the advancement of alpine vegetation growth over the past three decades[J]. Ecology, 2021, 102(12): e03518.

收稿日期: 2024-01-19

欢迎订阅 2024 现代预防医学

ISSN 1003-8507 CN 51-1365/R 邮发代号: 62-183

中国中文核心期刊 中国科技核心期刊

2020 年度中国精品科技期刊

中华预防医学会系列杂志优秀期刊

主管单位: 国家卫生健康委员会

主办单位: 中华预防医学会及四川大学华西公共卫生学院

现代预防医学杂志一贯坚持理论联系实际 的办刊宗旨, 注重交流报道国内外预防医学新动向、新成果、新理论、新方法; 充分体现期刊的学术导向, 刊登国家及省部级重点攻关课题论文、著述等, 同时兼顾普及, 重点报道预防医学科研工作中的研究成果、经验交流及信息荟萃。欢迎广大医学科研工作者踊跃订阅, 积极投稿!

本刊为半月刊, 每期 15 元, 全年 360 元, 全国各地邮局可订, 也可直接联系编辑部订阅。

地址: 成都市人民南路三段 17 号, 邮编: 610041

电话: (028) 85503354

网址: <http://www.xdyfyxzz.paperopen.com>