DOI: 10.14188/j.1671-8852.2024.0831
文章编号 1671-8852(2025)09-1195-08

绿地覆盖与居民糖尿病罹患的关联性研究

刘志文[1] 李培政[1] 黄诗琪[1] 钟可涵[2] 梁丽娜[3] 马 露[1]
[1]武汉大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系 湖北 武汉 430071；
[2]三峡大学基础医学院临床医学系 湖北 宜昌 443000；
[3]咸宁市疾病预防控制中心 湖北 咸宁 437000

摘要 **目的**：评估住宅绿地覆盖与成年居民糖尿病（DM）罹患的关联，并探讨体质量指数（BMI）以及颗粒污染物在其中的潜在调节作用。**方法**：依托于“国家心血管病高危人群早期筛查与综合干预项目”，调查2015年12月至2018年12月之间在湖北省咸宁市参与心血管疾病高危人群初次筛查的自然人群（≥18岁），采用归一化植被指数（NDVI）评估人群的绿地覆盖水平。采用二分类逻辑回归模型分析绿地与DM的关联性，并构建单变量中介模型评价BMI以及颗粒污染物在其中的中介效应。基于人口社会学特征以及污染物暴露水平分层，进行亚组分析。采用限制性立方样条函数描述剂量效应关系。**结果**：11 760名研究对象中，DM患者2 624例，患病率为22.31%。NDVI 1 000 m缓冲区（$NDVI_{1000m}$）、1 500 m缓冲区（$NDVI_{1500m}$）以及2 000 m缓冲区（$NDVI_{2000m}$）每增加0.1个单位，DM患病风险分别显著降低13.8%、13.9%以及19.6%，*OR*值分别为0.862（95%*CI*：0.820～0.907）、0.861（95%*CI*：0.819～0.904）和0.804（95%*CI*：0.756～0.854）。绿地与DM的负向关联在已婚、65岁及以上以及男性群体中更为显著。此外，尽管未发现BMI和颗粒污染物在绿地覆盖与DM关联中的显著中介效应，但在低水平颗粒污染物暴露组中绿地与DM的负向关联更加显著。绿地与DM间呈现近似线性剂量效应关系。**结论**：绿地覆盖可显著降低DM患病风险，并且这种健康益处在已婚、老年人、男性以及低颗粒污染物暴露组群体中更为明显。

关键词 糖尿病；绿地覆盖；颗粒污染物；广义线性模型
中图分类号 R587.1
文献标识码 A
开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

Association between residential greenness coverage and diabetes mellitus among residents

LIU Zhiwen[1], LI Peizheng[1], HUANG Shiqi[1], ZHONG Kehan[2], LIANG Lina[3], MA Lu[1]
[1]Dept. of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Wuhan University, Wuhan 430071, Hubei, China;
[2]Dept. of Clinical Medicine, School of Basic Medicine Sciences, China Three Gorges University, Yichang 443000, Hubei, China;
[3]Xianning Center for Disease Control and Prevention, Xianning 437000, Hubei, China

Abstract

Objective: To evaluate the association between residential green space coverage and the incidence of diabetes mellitus (DM) in adult residents, and to explore the potential moderating roles of body mass index (BMI) and particulate pollutants. **Methods:** Based on the "National Cardiovascular Disease High-Risk Population Early Screening and Comprehensive Intervention Project", a survey

作者简介：刘志文，男，1999—，医学硕士，主要从事环境流行病学研究，E-mail:2020283050100@whu.edu.cn
通信作者：马露，男，1976—，医学博士，副教授，硕士生导师，主要从事环境流行病学研究，E-mail:malu@whu.edu.cn

was conducted on the natural population (aged ≥18 years) who participated in the initial screening for high-risk cardiovascular disease between December 2015 and December 2018 in Xianning City, Hubei Province, China. The normalized difference vegetation index (NDVI) was used to assess greenness coverage. A binary logistic regression model was employed to analyze the association between greenness and DM. Subgroup analyses were conducted based on sociodemographic characteristics and pollutant exposure levels. Dose-response relationships were evaluated using a restricted cubic spline function. **Results:** Among the 11 760 participants, there were 2 624 cases of DM, with a prevalence of 22.31%. For each 0.1-unit increase in NDVI at 1 000 m, 1 500 m, and 2 000 m, the risk of DM significantly decreased by 13.8%, 13.9%, and 19.6%, respectively, with *OR*s of 0.862 (95%*CI*: 0.820-0.907), 0.861 (95%*CI*: 0.819-0.904), and 0.804 (95%*CI*: 0.756-0.854). No significant mediating effects of BMI and particulate pollutants were found in the association between NDVI and DM. The inverse association between greenness coverage and DM was more pronounced among married individuals, those with low particulate pollutant exposure, older adults (≥65 years), and men. A near-linear dose-response relationship was observed between greenness coverage and DM. **Conclusion:** Greenness coverage significantly reduces the risk of DM, moreover, this health benefit demonstrated greater magnitude among married individuals, older adults, males, and those with lower exposure to particulate matter.

Key Words Diabetes Mellitus; Greenness Coverage; Particulate Pollutants; Generalized Linear Model

糖尿病(diabetes mellitus,DM)是全球范围内增长最快的慢性疾病之一,对人类福祉和社会经济造成的负面影响深远且复杂。截至2021年,全球共有5.37亿名20至79岁的成年人患有糖尿病,占成年人口的1/10,医疗支出至少达9 660亿美元,与过去15年相比增长了316%[1]。糖尿病作为一种多因素长期相互作用导致的疾病,不仅受到遗传、生活行为方式等因素的影响[2-3],近年来也有研究发现,环境条件,如绿色空间的覆盖也是糖尿病患病的潜在影响因素[4]。绿色空间,通常指自然植被覆盖的区域,如城市公园、森林、道路绿化带以及私家花园等[5]。绿地覆盖指标多元且复杂,主要包括归一化植被指数(normalized difference vegetation index,NDVI)[6]、增强型植被指数(enhanced vegetation index,EVI)[7]、土壤调整植被指数(soil adjusted vegetation index,SAVI)[8]以及垂直植被指数(perpendicular vegetation index,PVI)[9]等。其中,NDVI因其普适性和高空间分辨率被广泛应用于绿地研究。

我国积极推进绿地建设,绿地开发已取得显著进展,但系统评估绿地健康效应的研究仍显不足,特别是针对绿地覆盖与糖尿病关联的研究相对匮乏。此外,以往研究[4,10]表明,体质量指数(body mass index,BMI)和空气污染物在NDVI与糖尿病之间可能具有一定的中介作用,但现有证据仍不充分。因此,进一步评估绿地覆盖对慢性疾病的潜在健康效应,探索各因素之间的作用模式,有利于为区域性环境治理以及公共健康政策的制定提供科学依据。

本研究依托于"国家心血管病高危人群早期筛查与综合干预项目",基于湖北省咸宁市参与心血管疾病高危人群初次筛查的自然人群调查数据,评估住宅绿地覆盖与成年居民糖尿病患病的关联,同时探讨BMI以及细颗粒物(空气动力学直径小于或等于2.5 μm的颗粒物,$PM_{2.5}$)、可吸入颗粒物(空气动力学直径小于或等于10 μm的颗粒物,PM_{10})在其中的潜在调节作用。

1 材料与方法

1.1 研究人群 研究人群来自国家心血管病高危人群早期筛查与综合干预项目,2015年12月至2018年12月之间,在湖北省咸宁市参与心血管疾病高危人群初次筛查的个体。初次筛查的纳入标准如下:(1)出生于1946年1月1日至1986年12月31日之间;(2)项目点的常住居民,定义为筛查前12个月内在项目点居住至少6个月;(3)参与者自愿参与并提供书面知情同意书。

根据上述筛查方案,本研究首次纳入17 352名

参与者。剔除了1名缺少血糖检测数据的个体，455名在血液检测前空腹时间少于8 h的个体，以及5 136名基础信息不完整的个体。最终，共纳入11 760名参与者。研究方案已获得咸宁市阜外心血管病医院伦理委员会的批准（伦理编号：IRB2012-BG-006）。所有参与者均签署了书面知情同意书。

1.2　变量定义　通过面对面访谈并填写相关问卷，调查筛查对象以下信息：(1)年龄；(2)性别，(3)婚姻状况；(4)受教育程度；(5)职业；(6)过去1年家庭总收入；(7)是否拥有医保；(8)吸烟状况；(9)饮酒状况；(10)过去4周，呼吸气短情况；(11)是否咳出过黏液或痰；(12)是否打鼾；(13)是否经常在白天感到疲劳、乏力和困倦；(14)是否服用常规的降血压、降血脂、降血糖或抗血小板等心血管相关药物；(15)是否服用降血压、降血脂、降血糖或抗血小板的中药；(16)是否自报有疾病和治疗史（高血压病史、糖尿病病史、心肌梗死病史、冠心病病史、卒中病史、心脑血管病史、PCI手术、冠脉搭桥手术）。通过物理测量调查筛查对象的(17)腰围以及(18)BMI。同时，采用电子血压计测量筛查对象收缩压以及舒张压情况。根据中国高血压基层管理指南[11]，高血压诊断标准为收缩压≥140 mmHg和/或舒张压≥90 mmHg。

采用快速电化学血糖分析仪进行现场快速空腹血糖检测（距离上次进餐至少8 h）。按照中国2型糖尿病防治指南[12]，空腹血糖≥6.1 mmol•L^{-1}即判定为血糖异常。此外，采用快速光化学血脂分析仪和三合一血脂试纸进行了现场空腹血脂分析。检测总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、甘油三酯和高密度脂蛋白胆固醇。按照中国成人血脂异常防治指南[13]，满足其中至少一项者，诊断为血脂异常：(1)总胆固醇水平≥6.22 mmol•L^{-1}；(2)甘油三酯水平≥2.26 mmol•L^{-1}；(3)高密度脂蛋白胆固醇水平＜1.04 mmol•L^{-1}；(4)低密度脂蛋白胆固醇水平≥4.14 mmol•L^{-1}。

1.3　居住地绿色空间数据　使用基于卫星监测的归一化差异植被指数评估居住地绿地情况[14]。原始NDVI数据由搭载于美国宇航局Terra卫星的中分辨率成像光谱仪（MODIS）收集，图像产品标识符为 MOD13A1（http://doi. org/10.5067/MODIS/MOD13A1.006）。时间分辨率为16 d，空间分辨率为500 m。NDVI的取值范围为－1（水体）到＋1（完全被植被覆盖的区域）。统一将负值替换为0，并使用ArcGIS 10.7软件提取个体在调查前1年的平均NDVI暴露值。圆形缓冲区半径设定为1 000 m、1 500 m以及2 000 m三种。

1.4　空气污染物暴露　颗粒污染物（$PM_{2.5}$，PM_{10}）数据由国家青藏高原科学数据中心提供（http://data.tpdc.ac.cn）。时间分辨率为1 d，空间分辨率为1 km。基于个体坐标，提取调查日期前1年内的污染物平均浓度，作为长期空气污染暴露值。

1.5　统计学分析　采用Kolmogorov-Smirnov检验评估数据的正态性，符合正态分布的计量资料以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，组间比较采用独立样本t检验；不符合正态分布的计量资料以中位数和四分位间距（interquartile range，*IQR*）表示，组间比较采用Wilcoxon秩和检验。计数资料以例数（百分率）表示，组间比较采用卡方检验或Fisher确切概率检验。采用二分类逻辑回归模型评估绿地与糖尿病之间的关联。结果以每增加0.1单位的NDVI所对应的比值比（*OR*）及其95%置信区间（*CI*）表示。构建两种模型，模型1为自变量仅有NDVI的单变量模型，模型2为采用双向逐步回归以及方差膨胀因子（Variance Inflation Factor，VIF）共线性诊断筛选后的模型。为评估结果的稳健性，进行以下敏感性分析，在模型2的基础上，分别剔除以下人群：(1)高血压患者；(2)血脂异常患者；(3)服用常规心血管药物的患者；(4)服用心血管相关中药的患者；(5)自报有疾病和治疗史（高血压病史、糖尿病病史、心肌梗死病史、冠心病病史、卒中病史、心脑血管病史、PCI手术、冠脉搭桥手术）的患者。此外，基于年龄、性别、婚姻状况、教育水平、吸烟状态、饮酒状态、肥胖以及$PM_{2.5}$和PM_{10}等变量进行亚组分析。同时，采用R语言中的“mediation”包，构建BMI和颗粒污染物（$PM_{2.5}$、PM_{10}）的单变量中介模型，采用Bootstrap方法（1 000次重抽样），计算中介效应占比及其置信区间。最后，采用限制性3次立方样条函数评估绿地覆盖与糖尿病之间的剂量效应关系。所有统计分析均在R 4.0.5中进行，双侧检验，以P＜0.05为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　研究人群特征　结果显示，11 760名研究对象中，DM患者2 624例，患病率为22.31%。DM组的平均年龄为（58.94±8.93）岁，显著高于非DM组的（55.26±9.87）岁（P＜0.001），且男性患病率（23.95%）高于女性（21.32%，P＜0.001）。受教育

程度较低(小学及以下)的参与者DM患病率更高(24.15%),而高学历者的患病率较低(21.68%,P=0.002)。在生活习惯方面,以前吸烟者的DM患病率最高(30.36%),而目前吸烟者为20.65%(P<0.001);饮酒者的DM患病率也显著高于不饮酒者(24.77% *vs* 22.23%,P=0.016)。此外,非DM组的NDVI暴露值显著高于DM组(P<0.001),表明较高的绿地覆盖可能与较低的DM风险相关联(表1)。

表1 参与者基线特征[例(%);$\bar{x}\pm s$]

变量	DM (n=2 624)	非DM (n=9 136)	总人数 (n=11 760)	P
年龄/岁	58.94±8.93	55.26±9.87	56.08±9.79	<0.001
性别				<0.001
男	1 063(40.54)	3 376(36.96)	4 439(37.75)	
女	1 561(59.49)	5 760(63.05)	7 321(62.25)	
婚姻状况				0.756
未婚	268(10.21)	912(9.98)	10 580(89.97)	
已婚	2 356(89.79)	8 224(90.02)	1 180(10.03)	
受教育程度				0.002
小学及以下	966(36.81)	3 034(33.21)	4 000(34.01)	
中学	844(32.16)	3 162(34.61)	4 006(34.06)	
高中及以上	814(31.03)	2 940(32.18)	3 754(31.92)	
职业				<0.001
农民	471(17.95)	1 845(20.19)	2 316(19.69)	
工人	334(12.73)	1 802(19.74)	2 136(18.16)	
退休	1 055(40.20)	2 410(26.38)	3 465(29.46)	
家务*	477(18.18)	1 768(19.35)	2 245(19.09)	
其他	287(10.94)	1 311(14.35)	1 598(13.59)	
家庭月收入				0.018
<1万元	529(20.16)	1 711(18.73)	2 240(19.05)	
1~5万元#	2 040(77.74)	7 152(78.28)	9 192(78.16)	
>5万元	55(2.10)	273(2.99)	328(2.79)	
是否有医保				0.006
是	2 558(97.48)	8 983(98.33)	11 541(98.14)	
否	66(2.52)	153(1.67)	219(1.86)	
吸烟状态				<0.001
不吸烟	1 977(75.34)	6 977(76.37)	8 954(76.14)	
以前吸烟	211(8.04)	484(5.30)	695(5.91)	
现在吸烟	436(16.62)	1 675(18.33)	2 111(17.95)	
饮酒状态				0.016
不饮酒	2 018(76.90)	7 061(77.29)	9 079(77.20)	
以前饮酒	255(9.72)	1 009(11.04)	1 264(10.75)	
现在饮酒	351(13.38)	1 066(11.67)	1 417(12.05)	
是否血脂异常				<0.001
是	343(13.07)	657 (7.19)	1 000(8.50)	
否	2 281(86.93)	8 479(92.81)	10 760(91.50)	
吸入(细)颗粒物				
$PM_{2.5}$	51.5(8.87)	51.5(8.21)	51.47(8.69)	<0.001
PM_{10}	86.1(20.4)	86.0(21.1)	86.05(20.99)	0.130
呼吸气短情况				<0.001
从不	1 726(65.78)	6 466(70.77)	8 192(69.66)	
很少	395(15.05)	1 264(13.84)	1 659(14.11)	
有时	392(14.94)	1 198(13.11)	1 590(13.52)	
经常	109(4.16)	195(2.13)	304(2.59)	
一直	2(0.08)	13(0.14)	15(0.13)	
是否咳出过黏液或痰				0.023
从不	1 235(47.04)	4 508(49.34)	5 743(48.84)	
仅在感冒或呼吸道感染	981(37.39)	3 375(36.94)	4 356(37.04)	
是的,每个月有几天	209(7.96)	656(7.18)	865(7.36)	
是的,每周大多数天	122(4.65)	319(3.49)	441(3.75)	
是的,每天	77(2.93)	278(3.04)	355(3.02)	
是否打鼾				<0.001
是	1 582(60.29)	4 470(48.93)	6 052(51.46)	
否	1 042(39.71)	4 666(51.07)	5 708(48.54)	
是否经常在白天感到疲劳、乏力和困倦				<0.001
是	734(27.97)	1 943(21.27)	2 677(22.76)	
否	1 890(72.03)	7 193(78.73)	9 083(77.24)	
是否服用常规心血管相关药物				<0.001
是	1 169(44.55)	1 513(16.56)	2 682(22.81)	
否	1 455(55.45)	7 623(83.44)	9 078(77.19)	
是否服用心血管相关中药				<0.001
是	1 003(38.22)	4 001(43.79)	5 004(42.55)	
否	1 621(61.78)	5 135(56.21)	6 756(57.45)	
是否自报有疾病和治疗史				<0.001
是	1 400(53.35)	1 922(21.04)	3 322(28.25)	
否	1 224(46.65)	7 214(78.96)	8 438(71.75)	
BMI/kg•m^{-2}	24.95±3.33	23.83±3.11	24.08±3.20	<0.001
腰围/cm	84.31±9.45	80.60±8.93	81.43±9.18	<0.001
是否高血压				<0.001
是	968(36.89)	1 785(19.54)	2 753(23.41)	
否	1 656(63.11)	7 351(80.46)	9 007(76.59)	
$NDVI_{1\,000m}$	0.43(0.15)	0.43(0.18)	0.43(0.19)	<0.001
$NDVI_{1\,500m}$	0.35(0.18)	0.43(0.21)	0.43(0.17)	<0.001
$NDVI_{2\,000m}$	0.38(0.05)	0.39(0.15)	0.39(0.15)	<0.001

#含1万元/月和5万元/月;*家务指主要从事家庭事务管理、照顾家庭成员的个体,通常不参与正式的工作岗位

2.2 绿地覆盖与DM的关联性分析 研究发现,较高的绿地覆盖水平与DM之间具有显著的负向关联(表2)。具体而言,在经过逐步回归以及VIF诊断调整后的模型2中,在1 000 m、1 500 m和2 000 m缓冲

区下，NDVI每增加0.1个单位，DM的*OR*值分别为0.862（95%*CI*：0.820～0.907）、0.861（95%*CI*：0.819～0.904）和0.804（95%*CI*：0.756～0.854），置信区间均不包括1，表明绿地覆盖增加可以显著降低DM的患病风险。此外，敏感性分析进一步验证了结果的稳健性，即使剔除高血压、血脂异常患者或服用心血管药物以及自报有疾病和治疗史的患者，绿地覆盖与DM的负向关联依然显著（表3）。

表2　绿地覆盖与DM的关联性分析

变量	模型1		模型2	
	OR(95%*CI*)	VIF(min,max)	*OR*(95%*CI*)	VIF(min,max)
$NDVI_{1000m}$	0.892(0.855～0.932)	(0,0)	0.862(0.820～0.907)	(1.018,2.625)
$NDVI_{1\,500m}$	0.878(0.841～0.915)	(0,0)	0.861(0.819～0.904)	(1.020,2.628)
$NDVI_{2000m}$	0.881(0.838～0.926)	(0,0)	0.804(0.756～0.854)	(1.023,2.635)

模型1为自变量只包括NDVI的单变量模型。模型2为采用双向逐步回归以及VIF诊断筛选后的模型，自变量包括：NDVI、年龄、吸烟状态、是否拥有医保、腰围、是否打鼾、是否经常在白天感到疲劳乏力和困倦、是否常规服用降血压、降血脂、降血糖或抗血小板等心血管相关药物、是否服用降血压、降血脂、降血糖或抗血小板的中药、是否自报有疾病和治疗史；下文中用到的模型2均为该模型

表3　绿地覆盖与DM关联的敏感性分析

模型	*N*	*OR*(95%*CI*)	VIF (min,max)
$NDVI_{1000m}$			
模型a	6 182	0.903(0.829～0.984)	(1.026,1.323)
模型b	10 760	0.847(0.802～0.893)	(1.019,2.694)
模型c	9 078	0.876(0.822～0.933)	(1.020,1.217)
模型d	6 756	0.907(0.846～0.972)	(1.003,2.526)
模型e	8 438	0.855(0.798～0.916)	(1.020,1.183)
$NDVI_{1500m}$			
模型a	6 182	0.919(0.847～0.996)	(1.024,1.319)
模型b	10 760	0.848(0.804～0.893)	(1.021,2.695)
模型c	9 078	0.884(0.832～0.940)	(1.020,1.181)
模型d	6 756	0.912(0.852～0.976)	(1.003,2.525)
模型e	8 438	0.879(0.823～0.939)	(1.020,1.150)
$NDVI_{2000m}$			
模型a	6 182	0.853(0.759～0.944)	(1.029,1.325)
模型b	10 760	0.788(0.738～0.841)	(1.025,2.701)
模型c	9 078	0.825(0.763～0.890)	(1.023,1.261)
模型d	6 756	0.884(0.804～0.970)	(1.003,2.524)
模型e	8 438	0.819(0.753～0.889)	(1.022,1.205)

模型a到模型e分别为在模型2的基础上：剔除高血压、血脂异常、常规服用心血管药物、服用心血管相关中药以及自报有疾病和治疗史（高血压病史、糖尿病病史、心肌梗死病史、冠心病病史、卒中病史、心脑血管病史、PCI手术、冠脉搭桥手术）的患者；*N*=剔除后剩余样本量

2.3　中介分析　研究结果表明，在绿地覆盖与DM之间的中介效应分析中，BMI以及PM_{10}的中介效应均不显著（置信区间包含0）。而$PM_{2.5}$的中介效应占比置信区间包含1，虽然其效应值较大，但由于置信区间较宽，表明$PM_{2.5}$作为中介变量的效应存在不稳定性，无法确定其效应的显著性和方向性（表4）。

2.4　亚组分析　亚组分析结果表明，在一些特定的亚组群体中，绿地覆盖与DM的关联更为显著。例如，相较于未婚人群，已婚群体以及相较于高颗粒污染物暴露组，低暴露组中绿地覆盖与DM的负向关联更加显著。此外，尽管在不同年龄人群中绿地覆盖与DM的负向关联均显著，但相较于65岁以下的群体（*OR*：0.854～0.917），65岁及以上的群体中（*OR*：0.790～0.866）绿地覆盖的健康益处更大。同样的，相较于女性群体（*OR*：0.841～0.887），男性中绿地覆盖的健康益处更大（*OR*：0.753～0.829）（图1）。

2.5　剂量-效应关系　图2结果表明，绿地覆盖与糖尿病患病之间未发现显著的非线性剂量反应关系（三种缓冲区的非线性检验*P*均大于0.05），并且绿地覆盖对糖尿病的保护效应在绿地覆盖达到一定阈值（大约为0.42）后开始呈现并逐渐增加。

表4　绿地覆盖与DM之间的中介效应

中介变量	中介占比(95%*CI*)		
	$NDVI_{1000m}$	$NDVI_{1500m}$	$NDVI_{2000m}$
BMI	0.001(－0.008～0.012)	0.001(－0.008～0.011)	0.000(－0.003～0.004)
$PM_{2.5}$	0.752(0.471～1.259)	0.847(0.516～1.381)	0.660(0.334～1.064)
PM_{10}	0.214(－0.007～0.503)	0.163(－0.087～0.475)	－0.125(－0.430～0.190)

所有中介模型中控制的协变量均与模型2一致

3　讨论

本研究发现，绿地覆盖与糖尿病患病具有显著的负向关联，进一步支持了已有文献的相关结论。先前研究普遍表明，居民周围环境绿地水平的提高有助于改善血糖水平，如降低空腹血糖及餐后血

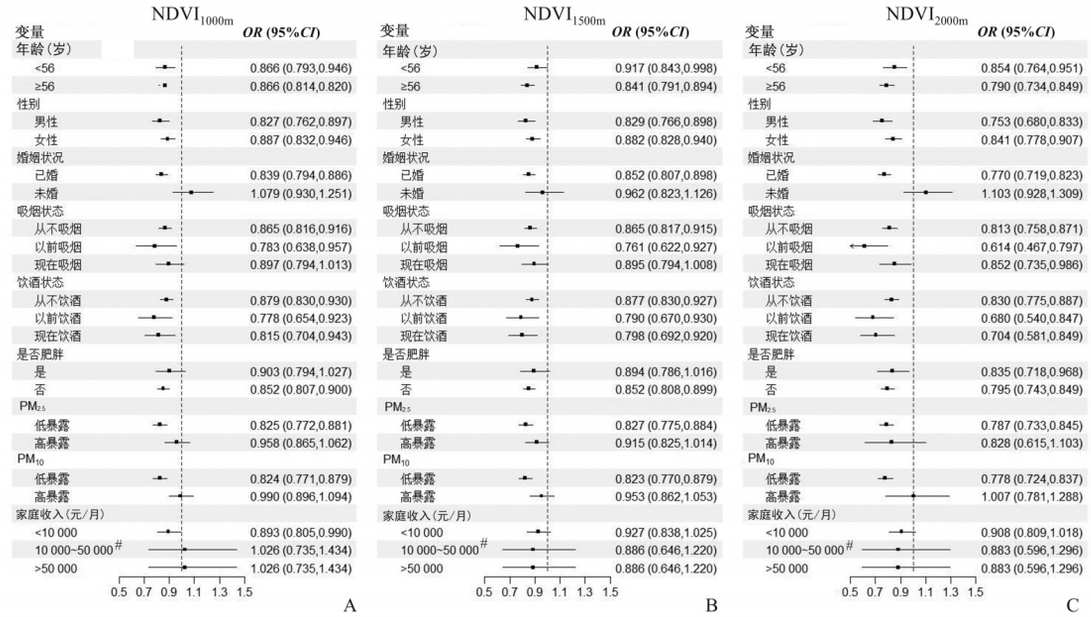


图1 绿地覆盖与DM关联的亚组分析

A～C分别为$NDVI_{1000m}$、$NDVI_{1500m}$、$NDVI_{2000m}$三种绿地覆盖情况与DM的关联分析;#含10 000元/月和50 000元/月

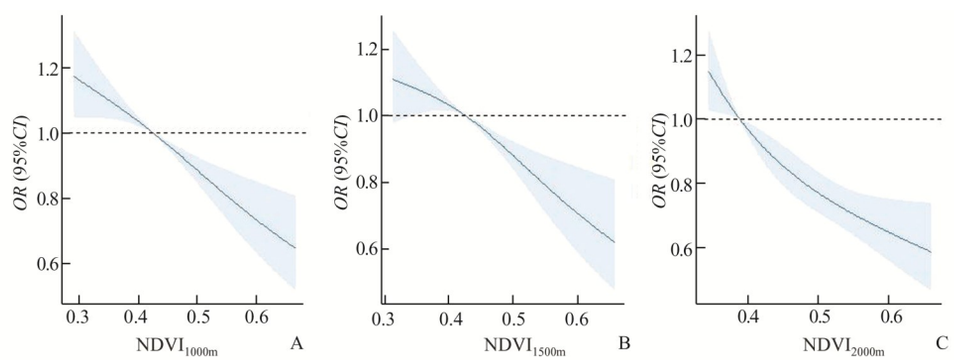


图2 住宅绿地覆盖与DM的剂量-效应曲线

A～C分别为$NDVI_{1000m}$、$NDVI_{1500m}$、$NDVI_{2000m}$三种绿地覆盖情况与DM的剂量-效应曲线

糖[15]、降低糖尿病患病率[16]等。类似的结果也在桂路婷等[17]在深圳市的研究中得到验证,周围绿地的利用频率与糖尿病患者的血糖控制呈正相关。此外,国外的研究也同样证实了这一关联。如DOUBLEDAY等[18]关于美国多种族动脉粥样硬化的研究结果显示,社区绿地每增加1个*IQR*,糖尿病患病风险降低21%。DADVAND等[10]在伊朗开展的研究结果也提示,伊朗儿童和青少年的空腹血糖水平与绿地利用时间呈负相关,每周绿地利用时间每增加1.83 h,空腹血糖水平下降0.028 mmol•L^{-1}。国内外研究一致表明,绿地覆盖与糖尿病患病风险呈显著负相关,进一步支持了绿地在降低糖尿病风险中的积极作用。尽管研究对象和方法有所不同,但这一普遍结论为绿地作为公共卫生干预手段提供了有力的科学依据,表明其在不同环境背景下的广泛健康效益。

本研究中,我们并未发现BMI或颗粒污染物在绿地覆盖与糖尿病关联中的显著中介效应。这与以往部分研究结果并不一致,如施恒远等[16]发现BMI在$NDVI_{1000m}$与糖尿病的关联中存在6.42%的中介效应。LIAO等[19]的队列研究发现$PM_{2.5}$介导了$NDVI_{500m}$与孕妇空腹血糖之间7.4%～18.4%的关联。类似地,YANG等[15]的横断面研究发现,空气污染($PM_{2.5}$、NO_2)介导了$NDVI_{500m}$与空腹血糖水平之间18.2%的关联。此外,BMI在绿地与空腹血糖和餐后2 h血糖水平的关联中发挥了8.6%和16.2%的中介作用。本研究与以往结果存在部分差异,首先,研究人群的不同可能是一个重要原因。如LIAO等[19]的队列研究中研究对象为孕妇群体,而本研究为自然成年人群,这可能导致在环境暴露

水平和敏感性上存在差异。其次，数据来源的不同也可能对结果产生影响，不同来源的环境数据在精度上可能存在差异。另外，研究地区的不同也是一个不可忽视的因素。不同地区的污染物在时间和空间上的分布存在差异，可能导致研究结果的不同。最后，未测量的混杂因素也可能对研究结果产生潜在影响，这些因素可能未能在本研究中加以控制，从而造成一定程度的偏差。但值得注意的是，本研究发现，在颗粒污染物暴露较低的人群中，绿地与糖尿病的负向关联更加显著。这一结果可能表明，较低的空气污染水平能更好地发挥绿地的健康效应，减轻与糖尿病相关的代谢压力。

亚组分析结果显示，绿地覆盖与糖尿病的负向关联在男性群体中更为明显。这与以往研究结果一致，如 LI 等[20]以及 YANG 等[15]的横断面研究都发现男性糖尿病患者利用绿地在血糖控制方面的效果优于女性。桂路婷等[17]也发现，相较于女性，男性周围绿地利用对于血糖控制具有更好的效果。可能的原因包括：(1)男性通常比女性具有更高的活动意愿，并且对绿地的利用有着更强的动机[15, 21]；(2)男性在绿地中的活动更倾向于高强度的身体锻炼，而高强度锻炼被认为是控制糖尿病的有利因素[21]。此外，在已婚人群中绿地覆盖与糖尿病的负向关联更加显著，这可能是由于已婚个体通常能获得更多的社会支持，而社会支持与更健康的行为密切相关[22]，例如经常进行身体活动，从而增加了他们接触绿地的机会。同时，绿地覆盖对老年人糖尿病患病风险的显著健康效益可能源于其促进身体活动、缓解心理压力和改善睡眠的综合作用。老年人更容易在绿地中进行轻度至中等强度的锻炼，而这些活动对血糖控制尤为重要。此外，绿地环境有助于减轻心理压力和提升睡眠质量，这些都是糖尿病管理的关键因素[21, 23]。因此，绿地的多重健康效应在老年人群中表现得尤为明显。

本研究存在一定的局限性，首先，研究采用横断面设计，难以评估绿地覆盖与糖尿病的直接因果关联。其次，无法区分不同类型、结构和质量的绿地，可能导致错误的暴露分类。第三，生活方式因素如吸烟和饮酒是通过问卷自报的，可能存在回忆偏倚。最后，本研究在相对较小的地理区域内进行，限制了研究结果的可推广性。尽管如此，本研究仍有一些显著的优势，如控制了多种混杂因素，包括药物使用(涵盖常规心血管药物和中药)、疾病和治疗史。此外，多项敏感性分析能够在一定程度上确保结果的准确性和稳健性。

本研究依托于“国家心血管病高危人群早期筛查与综合干预项目”，基于湖北省咸宁市参与心血管疾病高危人群初次筛查的自然人群调查数据，采用广义线性模型评估了住宅绿地覆盖与成年居民糖尿病患病的关联。研究发现，绿地覆盖可显著降低糖尿病患病风险，并且这种健康益处在已婚、老年人以及男性群体中更为明显。尽管并未发现 BMI 和颗粒污染物在绿地覆盖与糖尿病关联中的显著中介效应，但在低颗粒污染物暴露组中绿地与糖尿病的负向关联更加显著。

参考文献

[1] Federation ID. IDF Diabetes Atlas [R]. 10th ed. Brussels, Belgium: International Diabetes Federation. 2021.

[2] AGGARWAL R, YEH R W, JOYNT MADDOX K E, et al. Cardiovascular risk factor prevalence, treatment, and control in US adults aged 20 to 44 years, 2009 to March 2020[J]. JAMA, 2023, 329(11): 899-909.

[3] 高明妃，胡如英，胡崇高 . 中国糖尿病死亡流行特征研究进展[J]. 预防医学，2022，34(7): 692-695.
GAO M F, HU R Y, HU C G. Research progress on epidemiological characteristics of death of diabetes in China[J]. Prev Med, 2022, 34(7): 692-695.

[4] SHANAHAN D F, BUSH R, GASTON K J, et al. Health benefits from nature experiences depend on dose [J]. Sci Rep, 2016, 6: 28551.

[5] PICKARD B R, DANIEL J, MEHAFFEY M, et al. EnviroAtlas: A new geospatial tool to foster ecosystem services science and resource management[J]. Ecosyst Serv, 2015, 14: 45-55.

[6] ROUSE J W, HAAS R H, SCHELL J A, et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS[EB/OL]. NASA Special Publication, 1974 [2024-10-31]. https://www.researchgate.net/publication/246866091_Monitoring_Vegetation_Systems_in_the_Great_Plains_with_ERTS.

[7] HUETE A, DIDAN K, MIURA T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices[J]. Remote Sens Environ, 2002, 83(1/2): 195-213.

[8] REN H R, ZHOU G S, ZHANG F. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for aboveground living biomass estimation in arid grasslands[J]. Remote Sens Environ, 2018, 209: 439-445.

[9] RICHARDSON A, WIEGAND C. Distinguishing vegetation from soil background information[by gray

mapping of Landsat MSS data][EB/OL]. Semanticscholar, 1977[2024-10-31]. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:127052265.

[10] DADVAND P, POURSAFA P, HESHMAT R, et al. Use of green spaces and blood glucose in children; a population-based CASPIAN-V study[J]. Environ Pollut, 2018, 243: 1134-1140.

[11] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟, 中国医疗保健国际交流促进会高血压病学分会, 等. 中国高血压防治指南(2024年修订版)[J]. 中华高血压杂志(中英文), 2024, 32(7): 603-700.
China Hypertension Prevention and Treatment Guidelines Revision Committee, Hypertension Consortium, Chinese Society for the Promotion of International Exchange of Healthcare, Hypertension Branch, et al. Guidelines for the Prevention and Treatment of Hypertension in China (2024 Revised Edition)[J]. Chinese Journal of Hypertension, 2024, 32(7): 603-700.

[12] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2017年版)[J]. 中国实用内科杂志, 2018, 38(4): 292-344.
Chinese Medical Association Diabetes Section. Guidelines for the prevention and control of type 2 diabetes in China(2017 Edition)[J]. Chin J Pract Intern Med, 2018, 38(4): 292-344.

[13] 中国成人血脂异常防治指南修订联合委员会. 中国成人血脂异常防治指南(2016年修订版)[J]. 中华心血管病杂志, 2016, 44(10): 833-853.
Joint Committee on Revision of Guidelines for Prevention and Control of Dyslipidemia in Chinese Adults. Guidelines for prevention and treatment of dyslipidemia in adults in China (revised in 2016)[J]. Chin J Cardiol, 2016, 44(10): 833-853.

[14] TUCKER C J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation[J]. Remote Sens Environ, 1979, 8(2): 127-150.

[15] YANG B Y, MARKEVYCH I, HEINRICH J, et al. Associations of greenness with diabetes mellitus and glucose-homeostasis markers: The 33 Communities Chinese Health Study[J]. Int J Hyg Environ Health, 2019, 222(2): 283-290.

[16] 施恒远, 肖莉萍, 刘婷, 等. 蚌埠市社区绿地暴露与成年居民糖尿病患病率的关系: BMI的中介作用[J]. 中华疾病控制杂志, 2022, 26(5): 600-603.
SHI H Y, XIAO L P, LIU T, et al. Association of neighborhood greenness exposure and diabetes mellitus among adults in Bengbu: the mediation of body mass index[J]. Chin J Dis Contr Prev, 2022, 26(5): 600-603.

[17] 桂路婷, 张竞雯, 石文惠, 等. 深圳市糖尿病患者周围绿地利用与血糖控制的关系[J]. 中国慢性病预防与控制, 2023, 31(5): 358-362.
GUI L T, ZHANG J W, SHI W H, et al. Correlation between the utilization of green space and glucose control among diabetics in Shenzhen[J]. Chin J Prev Contr Chronic Dis, 2023, 31(5): 358-362.

[18] DOUBLEDAY A, KNOTT C J, HAZLEHURST M F, et al. Neighborhood greenspace and risk of type 2 diabetes in a prospective cohort: The Multi-Ethncity Study of Atherosclerosis[J]. Environ Health, 2022, 21(1): 18.

[19] LIAO J Q, CHEN X M, XU S Q, et al. Effect of residential exposure to green space on maternal blood glucose levels, impaired glucose tolerance, and gestational diabetes mellitus[J]. Environ Res, 2019, 176: 108526.

[20] LI R, CHEN G, JIAO A, et al. Residential green and blue spaces and type 2 diabetes mellitus: A population-based health study in China[J]. Toxics, 2021, 9(1): 11.

[21] SILLMAN D, RIGOLON A, BROWNING M H E M, et al. Do sex and gender modify the association between green space and physical health? A systematic review[J]. Environ Res, 2022, 209: 112869.

[22] UCHINO B N. Social support and health: A review of physiological processes potentially underlying links to disease outcomes[J]. J Behav Med, 2006, 29(4): 377-387.

[23] MARKEVYCH I, SCHOIERER J, HARTIG T, et al. Exploring pathways linking greenspace to health: Theoretical and methodological guidance[J]. Environ Res, 2017, 158: 301-317.

(2024-10-31收稿)
编辑 张 峻