

黄建中, 许燕婷, 王兰, 何周倩. 上海市不同类型绿色暴露对心血管疾病死亡率的影响路径[J]. 风景园林, 2025, 32 (2): 72-78.

上海市不同类型绿色暴露对心血管疾病死亡率的影响路径

黄建中 许燕婷 王兰* 何周倩

摘要: 【目的】城市绿色空间的健康效应已被广泛认可, 但现有研究忽视不同类型的绿色暴露对心血管疾病影响的路径差异性。【方法】以上海市 212 个街道为研究对象, 运用偏最小二乘法结构方程模型探究不同类型的绿色暴露 (植被覆盖率、公园可达性、街道绿视率和人均绿地面积) 对心血管疾病死亡率的影响机制。【结果】街道绿视率、植被覆盖率能够通过改善居民日常体力活动水平, 降低心血管疾病死亡率, 而不同类型的绿色暴露均不能通过影响 PM_{2.5} 颗粒物浓度和极端高温天气对心血管疾病死亡率产生影响。同时, 建筑密度、道路密度和土地利用混合度对心血管疾病死亡率均有直接的影响, 但仅建筑密度能通过体力活动水平间接地影响心血管疾病死亡率。【结论】通过揭示不同类型的绿色暴露对心血管疾病死亡率的影响路径, 为城市规划与设计提升居民日常绿色暴露水平、促进公众健康提供参考。

关键词: 健康城市; 绿色空间; 暴露类型; 心血管疾病死亡率; 影响路径; 结构方程模型

中图分类号: TU984

文章编号: 1673-1530(2025)02-0072-07

收稿日期: 2024-01-19

文献标识码: A

DOI: 10.3724/j.fjyl.202401190051

修回日期: 2024-12-08

文章亮点:

- 1、聚焦心血管疾病死亡率, 系统探讨多维绿色暴露对居民健康效应的具体影响路径差异。
- 2、运用大数据与精细化环境数据, 揭示绿色暴露类型与心血管疾病死亡率之间的复杂关系, 丰富了相关研究的理论框架与实践价值。
- 3、以典型高密度城市——上海市为研究对象, 为中国其他快速城市化地区应对老龄化和公共卫生挑战提供科学参考与有益借鉴。

中国城市的快速扩张和无序增长导致居民对机动交通过分依赖、户外活动便捷性降低等问题, 引发的肥胖、心血管和糖尿病等慢性疾病患病率增长问题日益严峻^[1-2]。根据《中国心血管健康与疾病报告 2021》, 心血管疾病是城乡居民的主要死因, 分别占农村、城市居民死因的 48.00% 和 45.86%, 且呈持续上升态势^[3]。城市绿色空间营造作为一种健康干预措施, 能够鼓励居民进行体力活动、释放压力和恢复注意力等, 对促进心血管健康具有重要意义^[4-5]。因此, 城市管理者和规划者逐渐意识到城市绿色空间的健康效益, 特别是如何让高密度城区的居民更多地接触绿色空间, 已成为健康城市建设中重点关注的问题。

“暴露”一词最早源于医学研究, Wild 于 2005 年提出了“暴露组” (exposome) 的概念, 指贯穿生命全过程并在生命周期中不断变化的环境暴露^[6]。随后, 许多学者使用“绿色暴露”来描述人与城市绿色空间的接触情况^[7-8], 在实际中绿色暴露包括绿色空间的可获得性、可达性以及绿视率等多个维度的指标^[9-10]。城市绿色空间的可获得性常是以人均绿地面积和归一化植被指数 (normalized

difference vegetation index, NDVI) 来表征绿地供给与居民需求之间的关系^[11-12], 但该指标并不能完全反映居民到访绿色空间的频率、时长等实际使用情况以及与绿色空间的邻近程度, 而公园绿地的可达性和街道绿视率能更有效地反映居民实际接触绿色空间的机会^[13-14]。有研究指出, 三维感知层面的街道绿视率能够与二维空间的植被覆盖率互为补充, 更加真实地反映居民的绿色暴露情况^[14]。目前, 城市绿色空间对心血管疾病的积极影响已成为研究共识, 即城市绿色空间能够通过多种机制显著改善心血管疾病^[15]。首先, 城市绿地能够为居民提供步行、骑行以及进行其他社会交往的活动场所, 有效促进居民日常体力活动水平^[16]。研究表明, 定期访问公园能有效降低高血压、糖尿病等患病风险^[16-17]。其次, 暴露在绿色空间中能够降低居民的皮质醇水平, 减轻压力、焦虑和抑郁等心理问题, 有助于减小心理压力引发的心血管疾病发生概率^[13-16]。再次, 绿色空间能改善空气污染、调节城市地表热环境对心血管疾病的负面影响^[18-19], 特别是乔木、灌木等植被类型能够显著地降低 PM_{2.5} 浓度和城市地表温度^[20]。此外, “亲生物假说” (biophilia hypothesis) 认为

增加绿色空间的接触能够提高人体微生物群落多样性, 从而降低了患感染性及自身免疫性疾病的风险^[21-22]。

当前多数研究已揭示了城市绿色空间对健康的多重正面效应, 但仍旧存在以下不足之处。首先, 多数研究仅聚焦于单一维度绿色暴露类型如公园可达性、植被覆盖率或街道绿视率对心血管疾病的直接影响, 忽视不同类型的绿色暴露对心血管疾病的共同影响以及作用路径差异性。有研究指出, 植被覆盖主要是通过改善空气质量、缓解热岛效应影响居民心血管健康, 城市公园绿地为居民提供休闲娱乐和身体活动的场所, 而街道绿地则通过提升步行和骑行环境的舒适性, 鼓励居民采用更健康的出行方式^[23-24]。因此, 有必要深入研究不同类型的绿色暴露对居民心血管疾病的影响路径, 为制定更有效的健康干预措施提供科学依据。其次, 有关绿色暴露与心血管疾病的研究多集中在个体层面 (以家庭为中心的缓冲区范围内) 或区县及以上层面, 往往忽视了人们所居住的特定社区或街区对居民健康的潜在影响^[21]。实际上, 以街道 (社区或街区) 为空间分析单元能够更全面地捕捉人群通过使用绿色空间对健康产生

的群体效应，更具体地揭示居民之间的社会互动、群体行为和社区公共资源对健康的综合作用。最后，空气污染和温度等环境数据精度在街道层面的研究单元更具有优势，而在个体层面（如以家庭为中心的缓冲区范围内）相对较小的研究单元往往难以捕捉这些数据的空间差异性。例如，热岛效应对居民心血管疾病的影响在以个体、家庭为中心的缓冲区范围内无法充分反映。因此，有必要在街道层面探究城市绿色暴露对心血管疾病的影响路径。综上所述，本研究从街道层面探究不同类型的绿色暴露对心血管疾病死亡率的影响路径，旨在更全面地理解城市绿色空间对公共健康的积极影响，为健康城市规划提供科学依据。

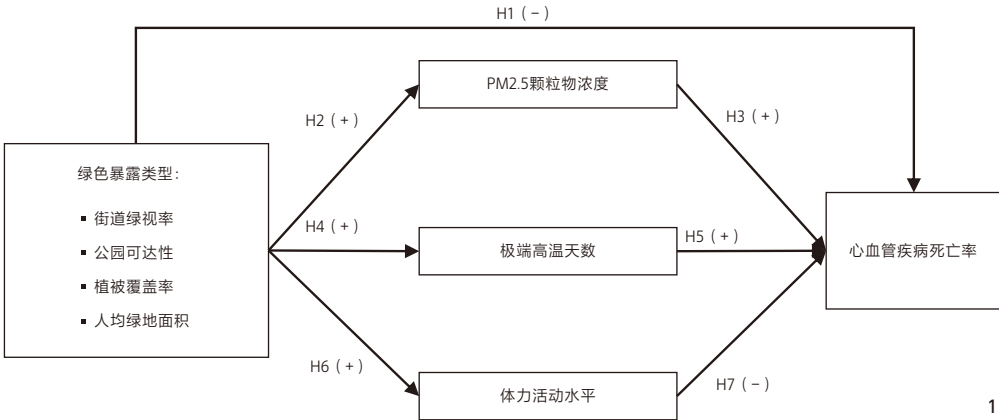
1 研究设计

1.1 研究模型假设

不同类型的绿色暴露对心血管疾病的影响存在不同的机制，故本研究综合考虑不同类型的绿色暴露对居民心血管疾病死亡率影响的差异性，建立绿色暴露与心血管疾病死亡率的关联模型（图 1），并提出以下假设：H1，绿色暴露对心血管疾病死亡率有显著负向影响（-）；H2，绿色暴露对 PM_{2.5} 颗粒物浓度有显著负向影响（-）；H3，PM_{2.5} 颗粒物浓度对心血管疾病死亡率有显著正向影响（+）；H4，绿色暴露对极端高温天数有显著正向影响（+）；H5，极端高温天数对心血管疾病死亡率有显著正向影响（+）；H6，绿色暴露对体力活动水平有显著正向影响（+）；H7，体力活动水平对心血管疾病死亡率有显著负向影响（-）。

1.2 研究区域

上海市是集金融、文化、商业等多功能于一体的国际化特大城市，具有典型的全球大都市特征（图 2），然而快速的工业化和城镇化对居民的生活方式、心理压力和健康也产生了巨大影响。《2022 年上海市出生与死亡监测报告》显示，心血管疾病是上海市居民的首位死因，占全部死亡人数的 45.96%。同时，上海也是中国老龄化最严重的城市之一，这意味着更多居民面临与年龄相关的健



1 研究模型假设
Research model assumptions

2 研究区域
Research area

康问题，尤其是心血管疾病负担也日益加重。因此，本研究以上海市 212 个街道为研究区域，探究绿色暴露与心血管疾病死亡率的关系，不仅能丰富国际视野与本土实践的结合，还可能为其他快速城市化地区更好地应对城

市老龄化和公共卫生挑战提供有益借鉴。

1.3 研究方法 及 指标选取

本研究关注不同类型的绿色暴露对心血管疾病死亡率的影响，故需要综合地对不同自变量和因变量进行关联性分析，而偏最小

表1 研究模型中变量的计算方式、数据来源和特征^[26-29]
Tab. 1 Calculation, data sources, and characteristics of the variables of the research model^[26-29]

变量		计算方式	数据来源	平均值 (标准差)
疾病结果 (因变量)	心血管疾病死亡率/ (1/10 000)	每个街道心血管疾病死亡人数除以 街道户籍人口数据	上海市疾病控制与预防中心统计的 2021年心血管死亡人数	322.885 (233.036)
4种类型的绿色暴露 (自变量)	街道绿视率	沿道路每隔400 m设置采样点, 将采样点东南西北4个 方向的街景图像绿视率均值作为采样点的绿视率, 将 每个街道内所有采样点的均值作为该街道的绿视率 ^[24]	2021年百度地图街景图片	0.192 (0.061)
	公园可达性	考虑设施的数量、空间分布和每个街道的人口需求, 将 使用改进高斯两步移动搜索法计算 ^[27-28]	免费、对外开放的城市公园 (面积 > 1 000 m ²) 的2020年百度地图AOI、道路数据	2.895 (10.685)
	植被覆盖率	采用归一化植被指数, 去掉value值小于0的部分, 计 算街道植被覆盖率均值	2021年中国科学数据网的地物光谱信息数据, 分辨率为30 m	0.430 (0.144)
	人均绿地面积/ (千人/m ²)	每个街道内的公园绿地面积除以街道总人数	2021年百度地图绿地AOI数据	0.034 (0.049)
空气污染物浓度 (中介变量)	人口加权PM _{2.5} 颗粒物浓度/ (μg/m ³)	街道内PM _{2.5} 浓度与街道人口数量的乘积再除以街道总 人数	PM _{2.5} 颗粒物浓度数据源于2020年全球年度 PM _{2.5} 颗粒物网格数据集, 分辨率为1 km; 人 口分布数据来自2021年Worldpopulation数据 集, 分辨率为100 m	39.828 (3.431)
极端高温天气 (中介变量)	极端高温天数	采用阈值温度方法 ^[29] (以每个街道前90%的温度为标 准, 超过该温度值认为是极端高温事件) 计算2003— 2021年每个街道极端高温天数	2003—2021年地表温度数据集, 分辨率为 0.05°	9.651 (2.059)
体力活动水平 (中介变量)	出行 (步行和骑行) 总距离/km	每个街道内所有步行、骑行出行活动的总距离之和	中国联通公司提供的居民一日所有出行活动 的出行时间和距离	0.341 (0.059)
	出行 (步行和骑行) 比例/%	每个街道内所有步行、骑行出行活动的次数除以街道 内所有居民出行总次数		35.496 (27.502)
建成环境要素 (控制变量)	建筑密度	每个街道内建筑总面积除以街道总用地面积	2020年百度地图提供的建筑轮廓数据	0.146 (0.068)
	道路密度/ (km/km ²)	每个街道内道路长度除以街道面积	2020年百度地图提供的道路数据	4.641 (2.176)
	土地混合度	街道内绿地、商业、居住、工业等各类用地混合熵	源于2020年上海市自然资源局提供的土地利 用数据	0.492 (0.080)
	到中央商务区的最近距离/m	街道质心到上海市南京东路的欧氏距离	百度地图获得上海市中央商务区 (南京东路) 的地理点坐标	19 641.885 (15 317.301)
社会人口属性 (控制变量)	人口密度/(百万人/km ²)	每个街道内人口总数除以街道面积	2021年全国第七次人口普查数据	0.014 (0.014)
	女性比例/%	每个街道女性人口总数除以街道总人数		0.489 (0.028)
	60岁以上人口比例/%	每个街道内超过60岁人口总数除以街道总人数		0.263 (0.098)

二乘法结构方程模型 (partial least squares structural equation modeling, PLS-SEM) 能够同时检测多个因子对因变量的影响效应, 提供更稳健的结构模型估计^[25]。本研究利用 SmartPLS 软件, 以街道的心血管疾病死亡率为因变量, 4 种类型的绿色暴露 (街道绿视率、公园可达性、植被覆盖率以及人均绿地面积) 为自变量, 空气污染物浓度 (人口加权 PM_{2.5} 颗粒物浓度)、极端高温天气 (极端高温天数)、体力活动水平 (步行和骑行总距离、步行和骑行出行比例) 为中介变量。此外, 为了避免社会经济、人口属性以及其他建成

环境要素的影响, 本研究考虑街道层面社会人口属性 (人口密度、女性比例、60 岁以上人口比例) 和其他建成环境要素 (建筑密度、道路密度、土地混合度、到上海市中央商务区的最近距离) 作为控制变量 (表 1)。最终, 构建结构方程模型来探索不同类型的绿色暴露对居民心血管疾病死亡率影响的显著性和影响路径系数。

心血管疾病死亡数据来源于上海市疾病控制与预防中心提供的 2021 年心血管疾病死亡人数 (共计 58 114 人)。步行和骑行是居民日常体力活动的主要形式^[23-24], 通过计算每

个街道所有居民从家出发的步行和骑行总距离, 以及选择步行和骑行的比例, 来反映居民的日常活动水平。由于居民的出行活动在工作日通常具有较强的规律性, 例如上下班、日常休闲活动等, 而周末的出行模式可能更倾向于娱乐和休闲活动, 具有较大的波动性, 难以作为居民日常出行行为的代表性样本, 因此本研究选取中国联通公司提供的 2021 年 9 月 6 日 (工作日) 上海市所有居民一日的位置服务数据 (location based services, LBS), 栅格精度 100 m×100 m, 最终通过计算获得街道步行和骑行出行总距离、选择步行和骑

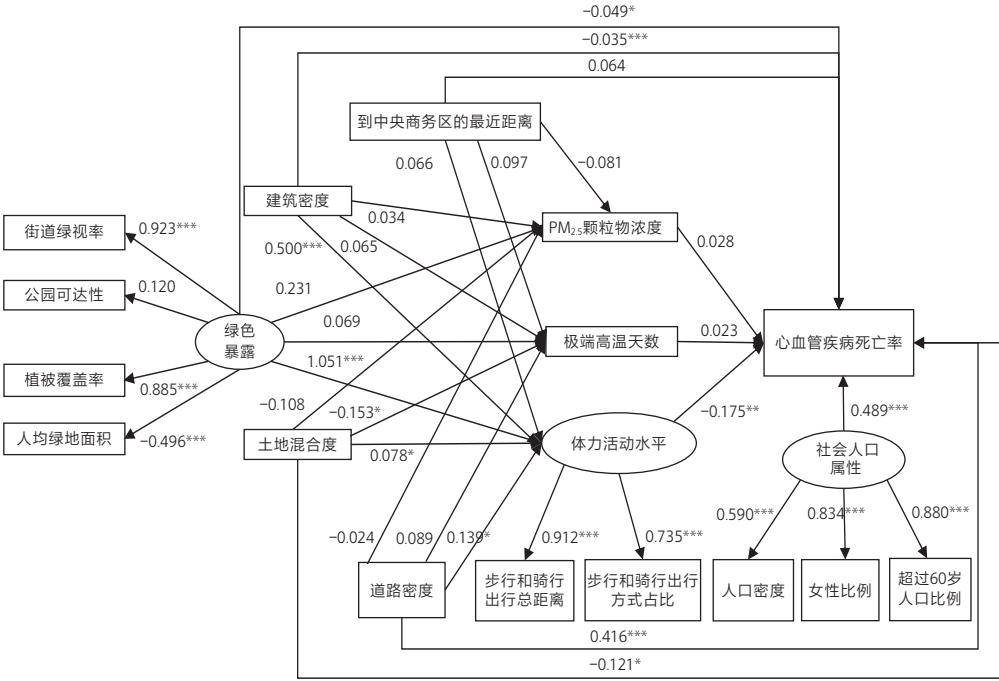
表2 模型信度检验结果
Tab. 2 Results of reliability testing for the measurement model

潜变量	Cronbach's α	CR值	AVE值
绿色暴露	0.672	0.807	0.547
体力活动水平	0.755	0.624	0.559
社会人口属性	0.698	0.826	0.606

表3 模型假设检验结果
Tab. 3 Results of hypothesis testing for the model

原假设	路径系数	结论
H1	-0.049*	成立
H2	0.231	不成立
H3	0.028	不成立
H4	0.069	不成立
H5	0.023	不成立
H6	1.051***	成立
H7	-0.175**	成立

注：*表示 $p < 0.05$ ；**表示 $p < 0.01$ ；***表示 $p < 0.001$ 。



3 绿色暴露对心血管疾病死亡率的影响路径分析

Analysis of the pathways through which green exposure influences CVDs mortality

行出行方式的比例。另外，本研究基于 LBS 数据计算上海市 212 个街道步行、骑行、公交和小汽车出行方式占比，并与上海市第六次居民日常出行调查中 212 个街道不同类型的出行方式占比进行相关性分析，得出皮尔森系数分别为 0.878、0.574、0.770 和 0.621，且显著性水平均为 0.01，表明 LBS 数据统计得到的不同类型出行方式占比与上海市第六次居民日常出行调查结果之间存在很强的相似性，该数据可用于后续研究。

2 结果分析

2.1 模型参数分析

本研究使用克朗巴哈系数（Cronbach's α ）对数据进行可靠程度分析，结果得出各潜变量系数均大于 0.6，表明本研究数据具有良好的信度。同时，本研究使用 Bartlett 球形检验和 KMO 值进行数据效度检验，结果得出 p 值为 0.000，通过了 Bartlett 球形检验，并且 KMO 值为 0.764（ > 0.700 ），表明数据适合进行因子分析。就模型可靠性而言，本研究使用验证性因子分析得到平均提取方差（average variance extracted, AVE）值和组

合信度（composite reliability, CR）值，所有潜变量的 CR 值均 > 0.600 ，AVE 值 > 0.500 ，表明整体测量模型有效（表 2）。

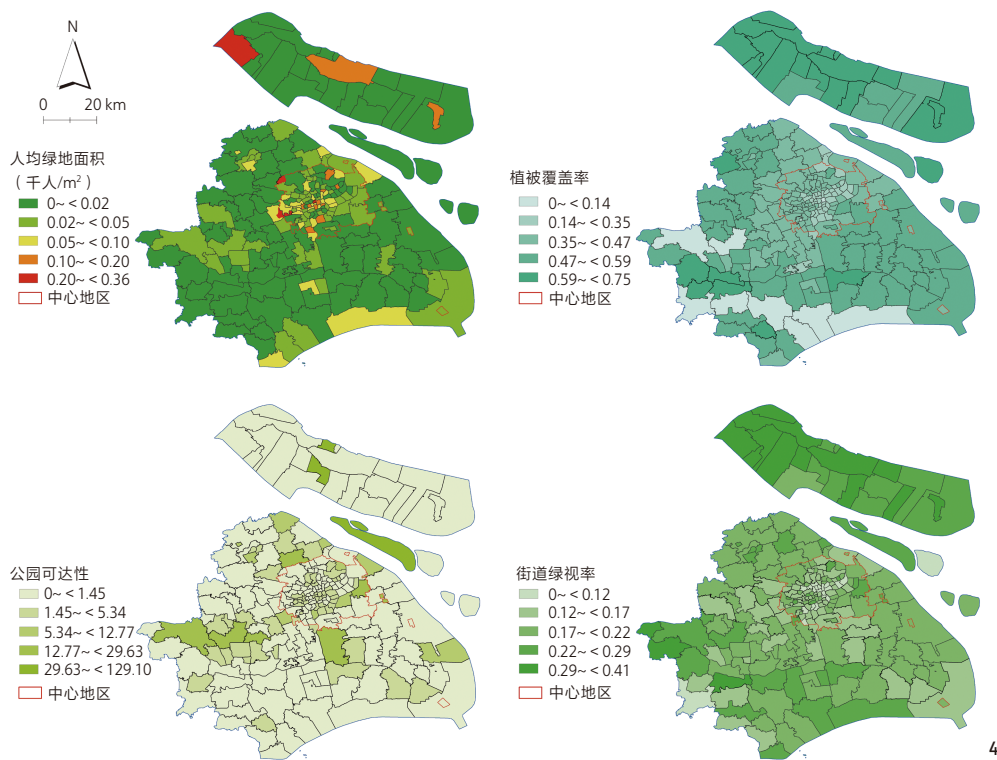
就模型适配性而言，本研究使用标准化的均方根残差（standardized root mean squared residual, SRMR）、欧氏距离平方（diagonal unweighted least squares, d_uls）和地理距离（geodesic distance, d_g）进行测度，结果显示：SRMR 为 0.041（ < 0.080 ）、d_uls 为 0.914（ < 0.950 ）、d_g 为 0.829（ < 0.950 ），均满足要求。

2.2 影响路径分析

就直接影响效应而言，绿色暴露对心血管疾病死亡率的路径系数为 -0.049（ $p < 0.05$ ），说明绿色暴露能够影响心血管疾病死亡率，H1 成立；绿色暴露对体力活动水平的路径系数为 1.051（ $p < 0.001$ ），说明绿色暴露能影响居民体力活动水平，H6 成立；体力活动水平对心血管疾病死亡率的路径系数为 -0.175（ $p < 0.01$ ），说明居民体力活动水平越高则心血管疾病死亡率越低，H7 成立（表 3）。

就间接影响效应而言，本研究发现了“绿色暴露—体力活动水平—心血管疾病死

亡率”的完整作用路径（路径系数为 -0.184， $p < 0.05$ ，图 3）。具体而言，街道绿视率和植被覆盖率能够促进居民体力活动水平，降低心血管疾病死亡率，而城市公园绿地的可达性对居民体力活动水平没有影响，该结果侧面揭示了住宅区内部的小型绿地和城市的街道绿地更能发挥显著的健康效应。这可能是因为人口密度较高、公共绿色资源相对紧缺的上海市，居民住宅区绿地、街道“口袋公园”以及两侧的行道树等具有更广泛的绿色空间接触范围和更长的边界分布特征，使得居民更加自然而然地暴露在这些绿色空间中进行日常身体活动（如散步、骑行、遛狗等）^[30]，显著地增加了居民绿色暴露的总时长和频率，导致植被覆盖率和街道绿视率对心血管健康的影响甚至超过前往相对固定的大型公园绿地。因此，在规划实践中应重视住宅区和街道绿色空间的规划设计来增加居民日常暴露水平。本研究还发现在人均绿地面积较大的街道，居民体力活动水平较低，且街道心血管疾病死亡率上升，这可能是因为上海市人均公园绿地面积较大的街道主要分布在上海市土地资源相对宽裕的城市边缘地



4 不同类型绿色暴露的空间分布可视化
Visualization of the spatial distribution of different types of green exposure

带(图4)。尽管植被覆盖率较高,但郊区公园绿地建设水平相对较低,如缺乏通往绿地的人行道、自行车道等安全便捷的通行设施、内部缺乏健身路径、儿童游乐场、长椅等基础设施导致绿地的可达性和质量较差,降低了周边居民出行的频率和意愿^[31]。因此,在绿地建设中需重视绿地的空间分布、质量和安全性等特征,以真正发挥绿地对居民健康的促进作用。

虽然建筑密度、道路密度和土地利用混合度能够直接地影响心血管疾病死亡率(路径系数为 -0.035 , $p < 0.001$; 路径系数为 0.416 , $p < 0.001$; 路径系数为 -0.121 , $p < 0.05$)。但是只有建筑密度能够以体力活动水平作为中介变量间接地影响绿色暴露与心血管疾病死亡率之间的关系(路径系数为 -0.087 , $p < 0.05$)。这是因为较高的城市建设密度能够压缩居民出行的时空距离,增强不同土地利用之间的协调性,使居民的日常活动集中在一个相对较小的城市空间范围,鼓励居民利用步行、骑行来解决内部交通需

求,减少私人汽车的出行需求^[32-33]。然而,极端高温天气与心血管疾病死亡率没有显著的直接关联,这是因为高温天气对心血管健康的影响存在滞后效应,即高温天气可能在一定时间之后才会对心血管系统产生显著影响,因此难以在短期内观察到直接关联性。此外,城市居民也可能通过适应性行为,如使用空调或减少户外活动来规避极端高温天气的影响,这在一定程度上也减弱了高温对心血管系统的直接影响。

3 结论

本研究揭示了上海市不同类型的绿色暴露对心血管疾病死亡率的影响路径,得知街道绿视率、植被覆盖率能够通过改善居民日常体力活动水平,降低心血管疾病死亡率;而绿色暴露不能通过影响 $PM_{2.5}$ 颗粒物浓度和极端高温天气对心血管疾病死亡率产生影响,这对于通过城市绿地规划与设计增加居民获得绿色暴露的机会、促进公众健康具有重要的意义。但本研究存在一定的局限性。首先,

由于数据的缺陷,当前研究尚未能够有效区分社区公园、城市公园、住宅绿地等较为细致的绿地类型,也无法揭示更为微观的绿地形态和空间质量、植被类型和设计等特征对心血管健康的影响差异及替代性健康效应,未来将进一步细化以全面了解绿色空间对健康的复杂影响。其次,本研究未能记录居民在特定时间内实际接触绿地的总时间,也没有充分考虑居民与绿色空间的互动形式(如被动、主动或间接暴露)。虽然使用手机信令数据获得了居民日常步行和骑行信息,但这类数据并非全样本覆盖,且其定位依赖于手机基站,可能影响分析结果的精确性。因此,未来将在个体层面开展问卷调查、出行日志或GPS仪器相结合的详细调查,获取居民真实的、动态的绿色暴露信息和体力活动数据,以提高研究结果的准确性和可靠性。最后,绿地与健康之间存在剂量-效应关系,未来可使用广义加性模型、混合效应模型、贝叶斯分段回归模型,以及随机森林回归和梯度提升机等机器学习模型深入探究绿色暴露与心血管健康之间非线性的“阈值效应”,识别在何种类型的绿色暴露在何种水平达到的健康效益最大,为城市规划和公共政策的制定提供重要依据。

参考文献 (References):

- [1] LI X H, SONG J C, LIN T, et al. Urbanization and Health in China, Thinking at the National, Local and Individual Levels[J]. Environmental Health: A Global Access Science Source, 2016, 15 (S1): 32.
- [2] LI M, WU Y F. Urbanization and Public Health in China[M]. London: Imperial College Press, 2016.
- [3] World Health Organization. Cardiovascular Diseases (CVDs)[EB/OL]. (2021-06-11)[2024-10-08]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-cvds>.
- [4] 姚亚男, 李树华.基于公共健康的城市绿色空间相关研究现状[J].中国园林, 2018, 34 (1): 118-124.
YAO Y N, LI S H. Review on Research of Urban Green Space Based on Public Health[J]. Chinese Landscape Architecture, 2018, 34 (1): 118-124.
- [5] 黄建中, 许燕婷, 王兰.城市建成环境对心血管健康的影响路径与空间要素[J].城市发展研究, 2023, 30 (7): 14-20.
- HUANG J Z, XU Y T, WANG L. The Pathway and Spatial Elements of Urban Built Environment on Cardiovascular Health[J]. Urban Development Studies, 2023, 30 (7): 14-20.

[6] WILD C P. Complementing the Genome with an “Exposome”: The Outstanding Challenge of Environmental Exposure Measurement in Molecular Epidemiology[J]. Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention, 2005, 14 (8): 1847-1850.

[7] 杜新存, 李方正. 绿色暴露作为促进健康服务的评估指标与机制研究综述[J]. 风景园林, 2022, 29 (10): 26-31.

DU X C, LI F Z. A Review of Research on Green Exposure as an Assessment Indicator and Mechanism for Health Services Promotion[J]. Landscape Architecture, 2022, 29 (10): 26-31.

[8] 董玉萍, 刘合林, 齐君. 城市绿地与居民健康关系研究进展[J]. 国际城市规划, 2020, 35 (5): 70-79.

DONG Y P, LIU H L, QI J. Progress of Studies on the Relationship Between Urban Green Space and Public Health[J]. Urban Planning International, 2020, 35 (5): 70-79.

[9] SONG J L, GASPARRINI A, WEI D, et al. Do Greenspaces Really Reduce Heat Health Impacts? Evidence for Different Vegetation Types and Distance-Based Greenspace Exposure[J]. Environment International, 2024, 191: 108950.

[10] WU W, DING K W. Optimization Strategy for Parks and Green Spaces in Shenyang City: Improving the Supply Quality and Accessibility[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19 (8): 4443.

[11] NAWRATH M, GUENAT S, ELSEY H, et al. Exploring Uncharted Territory: Do Urban Greenspaces Support Mental Health in Low- and Middle-Income Countries?[J]. Environmental Research, 2021, 194: 110625.

[12] YITSHAK-SADE M, KLOOG I, NOVACK V. Do Air Pollution and Neighborhood Greenness Exposures Improve the Predicted Cardiovascular Risk?[J]. Environment International, 2017, 107: 147-153.

[13] WANG Y N, SHI X X, HONG H L, et al. How Does Multiscale Greenspace Exposure Affect Human Health? Evidence from Urban Parks in the Central City of Beijing[J]. Journal of Environmental Management, 2024, 353: 120253.

[14] LI Z, BAI X, XU Z J, et al. The Optimal Spatial Delineation Method for the Service Level of Urban Park Green Space from the Perspective of Opportunity Equity[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30 (36): 85520-85533.

[15] LUQUE-GARCÍA L, MUXIKA-LEGORBURU J, MENDIA-BERASATEGUI O, et al. Green and Blue Space Exposure and Non-communicable Disease Related Hospitalizations: A Systematic Review[J]. Environmental Research, 2024, 245: 118059.

[16] 韩冰冰, 冷红. 寒地社区绿色空间对老年人主观幸福感影响: 以长春市为例[J]. 风景园林, 2022, 29 (1): 115-121.

HAN B B, LENG H. Influence of Community Green Space on Subjective Well-Being of the Elderly in Cold Regions: A Case Study of Changchun[J]. Landscape Architecture, 2022, 29 (1): 115-121.

[17] MCMORRIS O, VILLENEUVE P J, SU J, et al. Urban Greenness and Physical Activity in a National Survey of Canadians[J]. Environmental Research, 2015, 137: 94-100.

[18] KHRAISHAH H, ALAHMAD B, OSTERGARD R L J, et al. Climate Change and Cardiovascular Disease: Implications for Global Health[J]. Nature Reviews. Cardiology, 2022, 19 (12): 798-812.

[19] 汪结明, 王良桂, 朱柯铨杰, 等. 不同园林绿地类型内空气 PM_{2.5} 浓度的动态变化及其滞尘效应分析[J]. 环境工程,

2016, 34 (7): 120-124.

WANG J M, WANG L G, ZHU K C J, et al. Dynamic Variation of Air PM_{2.5} Concentration in Different Greenland Types and Analysis of Dust Removal Effect[J]. Environmental Engineering, 2016, 34 (7): 120-124.

[20] LI Y, MA Z Q, ZHENG C J, et al. Ambient Temperature Enhanced Acute Cardiovascular-Respiratory Mortality Effects of PM_{2.5} in Beijing, China[J]. International Journal of Biometeorology, 2015, 59 (12): 1761-1770.

[21] TISCHER C, KIRJAVAINEN P, MATTERNE U, et al. Interplay Between Natural Environment, Human Microbiota and Immune System: A Scoping Review of Interventions and Future Perspectives Towards Allergy Prevention[J]. Science of the Total Environment, 2022, 821: 153422.

[22] SHWARTZ A, TZUNZ M, GAFTER L, et al. One Size Does Not Fit All: The Complex Relationship Between Biodiversity and Psychological Well-Being[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2023, 86: 128008.

[23] BROWN V, DIOMEDI B Z, MOODIE M, et al. A Systematic Review of Economic Analyses of Active Transport Interventions that Include Physical Activity Benefits[J]. Transport Policy, 2016, 45: 190-208.

[24] 刘华斌. 手机信令数据背景下城市交通出行方式选择辨识方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.

LIU H B. Urban Transportation Modes Recognition Based on Mobile Signaling Data[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.

[25] TENENHAUS M, VINZI V E, CHATELIN Y M, et al. PLS Path Modeling[J]. Computational Statistics & Data Analysis, 2005, 48 (1): 159-205.

[26] SEIFERLING I, NAIK N, RATTI C, et al. Green Streets: Quantifying and Mapping Urban Trees With Street-Level Imagery and Computer Vision[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 165: 93-101.

[27] 全德, 孙裔煜, 谢苗苗. 基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价[J]. 地理科学进展, 2021, 40 (7): 1113-1126.

TONG D, SUN Y Y, XIE M M. Evaluation of Green Space Accessibility Based on Improved Gaussian Two-Step Floating Catchment Area Method: A Case Study of Shenzhen City, China[J]. Progress in Geography, 2021, 40 (7): 1113-1126.

[28] 窦钰霖. 基于改进高斯两步移动搜索法的西安市公园绿地可达性评价[D]. 西安: 西安工业大学, 2023.

DOU Y L. Evaluation of Park Green Space Accessibility in Xi'an Based on Improved Ga2SFCA Method[D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2023.

[29] XU Z W, FITZGERALD G, GUO Y M, et al. Impact of Heatwave on Mortality Under Different Heatwave Definitions: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. Environment International, 2016, 89/90: 193-203.

[30] WANG R Y, LIU Y, LU Y, et al. Perceptions of Built Environment and Health Outcomes for Older Chinese in Beijing: A Big Data Approach with Street View Images and Deep Learning Technique[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2019, 78: 101386.

[31] 王小月, 杨东峰. 建成环境如何影响老年人绿地使用频率: 基于可达性和吸引力双重视角[J]. 中国园林, 2020, 36 (11): 62-66.

WANG X Y, YANG D F. How the Built Environment Affect the Frequency of Green Space Used by the Elderly: Based on the Dual Perspective of Accessibility and Attractiveness[J]. Chinese Landscape Architecture, 2020, 36 (11): 62-66.

[32] EWING R, CERVERO R. Travel and the Built Environment[J]. Journal of the American Planning Association, 2010, 76 (3): 265-294.

[33] LIU Y, DING X Q, JI Y J. Enhancing Walking Accessibility in Urban Transportation: A Comprehensive Analysis of Influencing Factors and Mechanisms[J]. Information, 2023, 14 (11): 595.

图表来源(Sources of Figures and Tables):

文中图表均由作者绘制, 其中图 2、4 的底图来自上海市规划和自然资源局提供的 2020 年上海市行政单元矢量数据。

(编辑 / 李清清)

作者简介:

黄建中 / 男 / 博士 / 同济大学建筑与城市规划学院教授 / 研究方向为城市空间活动与空间网络、城乡韧性与交通规划

许燕婷 / 女 / 同济大学建筑与城市规划学院在读博士研究生 / 研究方向为健康城市规划

王兰 / 女 / 博士 / 同济大学建筑与城市规划学院院长、特聘教授 / 本刊编委 / 研究方向为健康城市科学与规划、城市更新、新城规划与开发
通信作者邮箱: wanglan@tongji.edu.cn

何周倩 / 女 / 硕士 / 武汉市自然资源和规划信息中心工程师 / 研究方向为区域治理、智慧城市

HUANG J Z, XU Y T, WANG L, HE Z Q. Pathways Through Which Green Exposure Type Influences Cardiovascular Diseases Mortality in Shanghai, China[J]. Landscape Architecture, 2025, 32(2): 72-78. DOI: 10.3724/j.fjyl.202401190051.

Pathways Through Which Green Exposure Type Influences Cardiovascular Diseases Mortality in Shanghai, China

HUANG Jianzhong, XU Yanting, WANG Lan*, HE Zhouqian

Abstract:

[Objective] Rapid urbanization has exacerbated traffic congestion, aggravated air and noise pollution, and limited public spaces, increasing the risk of suffering cardiovascular diseases (CVDs) such as hypertension and heart disease. Urban green spaces play a vital role in mitigating these risks by promoting mental restoration, reducing stress, encouraging outdoor exercise, improving air quality, and regulating temperature. The current research is identified with the following shortcomings despite the revealment of multiple positive health effects of urban green space. First, the research often focuses on single green exposure type, such as park accessibility or vegetation cover, overlooking the diverse pathways through which different green exposures influence cardiovascular health. Second, using streets or neighborhoods as research units can more comprehensively capture the group effect on health from people's use of green space, and more specifically reveal the integrated effect of social interaction among residents, group behaviors and community public resources on health. Lastly, street-level analyses allow more precise environmental data integration, such as data on air pollution and temperature, which is often challenging in smaller individual-level units. Therefore, there is a need to conduct research on the influence of urban green exposure on CVDs mortality at the street level.

[Methods] This research uses the partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) to analyze how different types of green exposure (vegetation cover, park accessibility, street green visibility, and park area per capita) influence cardiovascular disease mortality in 212 communities in Shanghai, China. The model incorporates three key mediating factors: Air pollution (measured by $PM_{2.5}$ concentration), extreme high temperature, and physical activity level. Through this approach, the research examines both the direct and indirect effects of vegetation coverage, park accessibility, street greenery, and per capita park area on CVDs mortality. The research draws on diverse data sources to ensure robust analysis: CVDs mortality data provided by the Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, $PM_{2.5}$ concentration data retrieved from MODIS satellite imaging, temperature data sourced from Google Earth Engine, and LBS (location based services) data serving as the basis for estimating physical activity levels. This comprehensive dataset allows for an in-depth exploration of the pathways through which green exposure influences cardiovascular health in an urban context.

[Results] The research finds that green exposure primarily influences CVDs mortality through physical activity levels, based on which a pathway of "green exposure – physical activity level – CVDs mortality" is established (pathway coefficient = -0.184 , $p < 0.05$). Notably, direct associations between $PM_{2.5}$ levels, extreme heat days, heat waves, and CVDs mortality are not statistically significant. Specifically, visibility of street greenery and vegetation coverage were shown to reduce CVDs mortality by promoting higher levels of physical activity among residents. Residential green spaces, "pocket parks" and street trees — due to their extensive reach, longer boundaries, and greater accessibility — encourage walking, cycling, and other active travel modes. This frequent, natural exposure to green spaces significantly enhances cardiovascular health by increasing both the duration and frequency of interaction with greenery, even surpassing the health benefits of larger

centralized parks. The results indicate that smaller green spaces within residential areas and street greenery in densely populated and resource-limited areas are particularly effective in supporting cardiovascular health. In contrast, streets with a higher per capita green space show lower levels of physical activity, a trend attributed to their location on the urban fringe area, where park accessibility, green space quality, and safety are generally lower. Additionally, building density, road density, and land-use mix emerge as direct predictors of CVDs mortality. Building density, in particular, can indirectly influence the influence of green exposure on CVDs mortality by modulating physical activity levels as a mediating factor.

[Conclusion] This research offers an in-depth analysis of the complex mechanisms by which various types of green exposure influence CVDs mortality, with a particular focus on the key mediating role of physical activity. Findings suggest that increasing street greenery, vegetation coverage, and per capita park area can significantly enhance residents' physical activity levels, which in turn helps lower CVDs mortality. However, the research does not find significant mediating effects of air pollution or heat waves, and the potential of green spaces to improve air quality remains relevant. These findings contribute valuable insights to the theoretical understanding of how green exposure influences chronic non-communicable diseases and provide critical scientific support for urban planning and public health policies. In practice, urban planners should holistically consider the integration of diverse types of green spaces to maximize their benefits for cardiovascular health, thereby supporting the broader well-being of urban populations.

Keywords: healthy city; green space; exposure types; cardiovascular diseases mortality; influencing pathway; structural equation modeling

Authors:

HUANG Jianzhong, Ph.D., is a professor in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University. His research focuses on urban spatial activity and spatial network, and urban-rural resilience and transport planning.

XU Yanting is a Ph.D. candidate in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University. Her research focuses on healthy city planning.

WANG Lan, Ph.D., is dean of and a professor in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University, and an editorial board member of this journal. Her research focuses on healthy city science and planning, urban renewal, and new town planning and development.

Corresponding author Email: wanglan@tongji.edu.cn

HE Zhouqian, Master, is an engineer in Wuhan Natural Resources and Planning Information Center. Her research focuses on regional governance, and smart city.