

城市绿色空间对居民心理健康的因果效应及分层分析

谢波, 谭徐媛*

(武汉大学城市设计学院, 湖北省人居环境工程技术研究中心, 武汉 430072)

摘要:快速城镇化引发城市居民生活方式与居住环境的变化,对居民心理健康产生重要影响,通过建设绿色空间促进居民接触自然环境并缓解心理压力已成为重要的健康干预措施。现有关于绿色空间与居民心理健康的关系研究大多采用横断面设计,难以识别两者的因果关系,且缺乏探讨绿色空间对不同社会群体的心理健康效应的差异性。论文以武汉东湖绿道为例,基于2016年和2019年跟踪调查的1020份东湖绿道周边居民的问卷数据,在控制邻里环境特征的基础上,运用自然实验方法和双重差分模型探究绿色空间干预与居民心理健康变化的因果关系,并结合分层分析方法揭示绿色空间对于不同社会群体心理健康的因果效应的差异性。研究发现:①绿色空间干预显著促进了实验组居民心理健康水平的提升;②绿色空间干预对心理健康的因果效应在不同性别和教育程度的群体中无显著差异,而在不同职业和收入水平的群体之间存在显著差异,表现为绿色空间干预仅显著提升了未就业群体、低收入和中低收入群体的心理健康水平。总体而言,大型绿色空间的建设和显著改善了周边居民的心理健康水平,尤其对于未就业、低收入和中低收入等弱势群体的心理健康促进作用更显著。绿色空间干预对于改善居民心理健康、缓解由社会经济地位差异造成的心理健康受益不均等问题具有重要意义。

关键词:绿色空间;心理健康;因果效应;健康受益不均等;自然实验

快速城镇化背景下,高压、快节奏的城市生活方式与日益缩减的绿色空间,导致城市居民接触自然环境的时间和机会大幅度降低^[1-2],严重威胁了居民的心理健康。据统计,2019年中国抑郁症和焦虑障碍的患病率分别高达2.1%和4.98%^[3],尤其以女性、低教育水平为代表的弱势群体,其心理健康问题更加突出^[4]。中共中央、国务院于2016年印发并实施的《“健康中国2030”规划纲要》指出:“推进健康中国建设、营造绿色安全的健康环境,减少疾病的发生,并重点解决妇女、老年人、低收入者等群体的健康问题”^[5]。城市绿色空间作为一种健康干预措施^[6],为居民提供了绿色安全的健康环境,促进形成健康的生活方式,减少压力和恢复注意力^[7-8],对于提升居民心理健康水平和解决健康受益不均等

问题具有重要意义^[9-12]。

城市绿色空间是指具有自然植被的公共区域^[13],包括已开发的公园、廊道、自然保护区和待人工利用的绿地等^[14]。大量研究表明,绿色空间对居民心理健康具有直接的正向效应,有益于增加积极情绪、保持内心平静、提升认知能力和缓解心理压力^[15-21]。相关研究还探讨了城市绿色空间促进居民心理健康的间接作用路径。绿色空间通过减少空气污染和噪声等环境暴露危害^[22-23],提供安全舒适、有吸引力的环境,促进步行、慢跑和骑行等体力活动^[24],以及提高社会交往水平并增强社会凝聚力^[25],从而提升居民的心理健康水平。此外,绿色空间干预对居民心理健康的影响,还受到邻里环境因素的修饰作用^[26-27]。居住小区的社会经济水平和社会凝

收稿日期:2023-06-12;修订日期:2023-09-03。

基金项目:国家自然科学基金项目(42371252, 41971179)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 42371252 and 41971179.]

第一作者简介:谢波(1983—),男,湖北石首人,教授,主要从事健康地理研究。E-mail: xiebo317@whu.edu.cn

*通信作者简介:谭徐媛(1997—),女,湖北宜昌人,硕士生,主要从事健康地理研究。E-mail: tanxy0911@whu.edu.cn

引用格式:谢波, 谭徐媛. 城市绿色空间对居民心理健康的因果效应及分层分析[J]. 地理科学进展, 2024, 43(1): 110-124. [Xie Bo, Tan Xuyuan. The causal effect of urban green space on the mental health of different social groups using stratified analysis. Progress in Geography, 2024, 43(1): 110-124.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2024.01.008

聚力等邻里社会环境因素^[2],以及土地利用混合度和道路网密度等邻里建成环境因素,通过影响城市绿色空间的可达性和使用频率^[28-29],进而影响居民的绿色空间暴露与心理健康水平。

近年来,学界持续关注人口学特征和社会经济地位等因素对城市绿色空间与居民心理健康之间关系的修饰作用^[2,13,27,30-31]。由于性别、年龄和社会经济地位影响居民使用绿色空间的机会、个人动机和原因^[13,32-33],而且以女性、老年人和低收入群体为代表的弱势群体获取资源的能力有限^[34],因此,绿色空间干预在不同社会群体之间的健康效应存在显著差异^[11-12,35]。具体而言,女性往往面临家庭和工作的双重压力^[36-37],患抑郁症的风险比男性更高^[38-39];然而,女性对于绿色空间的舒适性、易于接近等特征具有更强烈的感知,从而倾向使用绿色空间进行放松、社交和散步等活动^[40],因此绿色空间干预对女性抑郁症状的缓解作用更显著^[22,41]。其次,老年人身体机能衰退导致移动性降低^[42-43],其对居住小区周边绿色空间的使用时间更长^[40],依赖程度更高^[31],因此老年人获得的绿色空间健康效应更显著^[44]。社会经济地位方面,社会经济水平较差的群体相比于其他群体的健康状况往往较差,遭受的环境污染暴露更为严重,使得他们对于绿色空间带来的健康效应具有更大的需求^[10,13,41];此外,该类群体的经济能力限制了其移动性,导致其更依赖于居住小区附近可达的公共绿色空间^[10,13],因此,相比于高社会经济地位群体,低社会经济地位群体从绿色空间中获得的健康效益更大^[31,35,45-46]。

总体而言,现有绿色空间对居民心理健康的影响研究多为横断面设计,难以揭示两者的因果关系。首先,该类研究易产生居住自选择偏差问题,即居民的主观态度和偏好影响其选择居住地点^[47-48]。例如,身体健康、高收入、高受教育程度的居民可能选择居住在绿色空间周边获得健康效益^[13,35]。其次,该类研究易忽视混淆因素(例如邻里环境因素)的影响^[49],可能导致居民健康水平的变化并非绿道干预带来的健康效应。考虑到横断面研究的局限性,学者们开始倡导采用自然实验方法推断干预措施和健康结果之间的因果关系^[48,50]。自然实验研究始于自然发生的事件^[51],通过收集干预前后的健康结果数据,纵向对比干预措施对实验组和对照组居民的健康结果的影响^[52],能够有效揭示干预措施与健康结果之间的因果关系。当前,已有部分研

究采用自然实验方法探讨了绿色空间对居民生理健康、肥胖与超重等健康结果的因果效应,结果表明绿色空间干预显著促进了一定范围内居民的体力活动水平、步行时间并改善了肥胖^[48,50,53-54]。仅有少数研究探讨了绿色空间对居民心理健康的因果效应^[2,27],但缺乏鉴别该效应在不同社会群体之间的差异性。探究城市绿色空间对不同社会群体心理健康的因果效应,对于针对性地采取绿色空间干预措施提升弱势群体的心理健康水平具有重要意义。

本文选取武汉市东湖绿道作为典型的城市绿色空间,基于2016、2019年的东湖绿道健康效应问卷调查数据,采用自然实验方法和双重差分模型,在控制邻里环境特征的基础上,探讨绿色空间干预对居民心理健康的因果效应,并结合分层分析鉴别该效应在不同社会群体之间的差异性。本文旨在从理论上弥补城市绿色空间与不同社会群体心理健康的因果关系研究不足的问题,并为促进绿色空间的健康受益均等性提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区域与数据收集

研究区域为武汉市东湖绿道(图1),数据来源于2016年4月基线期和2019年4月随访期开展的东

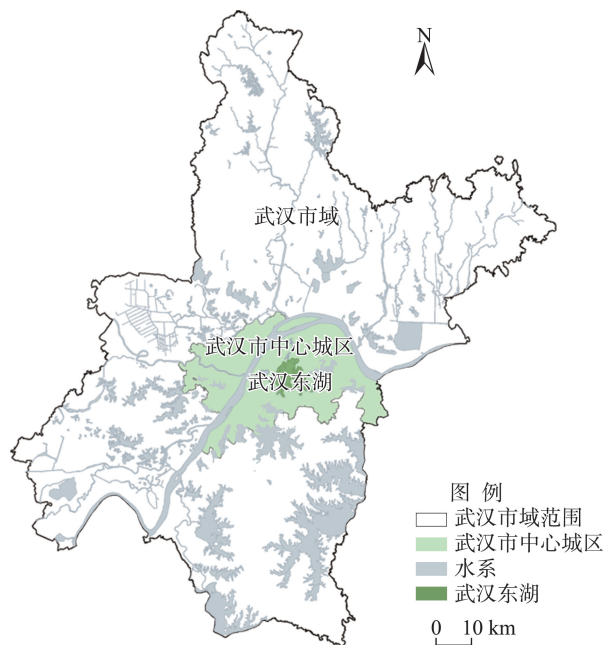


图1 东湖绿道区位

Fig.1 Location of the East Lake Greenway

湖绿道周边居民健康效应问卷调查。调查抽样方法如下:首先,使用 ArcGIS 对一棵树、梨园广场和森林公园3个主要入口作道路网络1~5 km缓冲区;依据百度房价数据在每个缓冲区内随机选取高收入和低收入居住小区各1~2个,抽样得到居住小区共计52个(图2)。其次,采取分层抽样的方法选取个体受访者参与问卷调查,最终选取0~2 km范围内766个样本、2~5 km范围内254个样本。基线期回收有效问卷2331份,随访期共回收有效问卷1020份,问卷答复率为43.8%。本文通过SPSS 27.0软件对问卷调查数据进行信度及效度检验,得到的系数分别为0.864和0.808,表明数据有效可靠。此外,样本缺失机制的验证性分析得到缺失数据属于完全随机缺失(missing completely at random, MCAR),表明随访期的样本缺失对双重差分模型系

数估计无影响。

本文通过问卷调查获得受访者的社会经济特征、居住小区社会凝聚力以及自我报告的心理健康等数据,并通过武汉规划部门、OpenStreetMap 和百度地图获取受访者居住小区周边的建筑、土地利用、道路网络、设施点等建成环境数据,以及人口就业数据和房价数据等。

1.2 变量选取与测度

本文以居民心理健康为因变量,采用SF-12健康调查^[55]中的“情绪—角色限制、心理健康、活力状况和社会功能”4个维度的6道问题测度心理健康得分,得分越高表明心理健康状况越好。绿色空间暴露往往由可获得性、可达性与可见性衡量^[56-57]。目前学界在自然实验研究中普遍采用居住地距干预设施的距离衡量受访者是否暴露于干预^[50,54,58-59],但由



图2 东湖绿道入口及抽样居住小区示意图

Fig.2 Main entrances to the East Lake Greenway and sampling neighborhoods

于绿道规模和类型的差异,研究中采用的距离阈值尚未统一。本文将居住小区质心距离东湖绿道主要入口2 km范围以内的居民定义为实验组(暴露组),2~5 km范围以内的居民定义为对照组(未暴露组),并分别将实验组设置为“1”,对照组设置为“0”。本文选择2 km和5 km距离阈值的原因在于:①以往的自然实验研究采用了类似的距离阈值进行分类测量^[60];②武汉市的一项研究表明,1.8 km是居民使用大型公园的距离阈值范围^[61];③现有东湖绿道的研究证实了2 km阈值范围在探讨绿道对居民健康因果效应方面的有效性^[48,50]。

本文将个体特征和邻里环境特征作为协变量。个体特征包括年龄、性别、婚姻状况、受教育程度、职业和收入等。职业方面,参考现有研究职业地位的分类^[62],将退休、失业待业等其他未就业的群体赋值为1,个体工商业、非正式就业者、普通工人、农民等群体赋值为2,领导干部、企业管理人员、普通公务员、各类专业技术人员等群体赋值为3。邻里环境特征主要包括社会环境和建成环境。邻里社会环境以居住小区的社会经济地位和社会凝聚力表征。居住小区的社会经济地位以武汉市2016年中心城区房价的中位数作为参考标准,小区平均房价低于2万元/m²为低收入小区,不低于2万元/m²为高收入小区。社会凝聚力主要通过问卷调查中的5个问题体现^[2],每个问题均有“非常反对、一般反对、中和、一般赞同、非常赞同”5种回答,分别赋予1~5分的分值。各小区所有受访者的总分求平均值即为小区的社会凝聚力水平,分值越高代表小区社会凝聚力越高。邻里建成环境方面,主要包括小区质心500 m缓冲区范围内的建筑密度、土地利用混合度、公园数量、公交站点数量和道路网密度,均为连续变量。

1.3 描述性统计

表1显示,个体特征方面,实验组和对照组中60岁及以下受访者占比均高于60岁以上受访者,已婚受访者占多数,自有房屋受访者远多于租住房屋受访者,单身家庭受访者占少数。而实验组和对照组的样本数量在性别、职业、教育程度和家庭年收入方面的差异较小。

邻里环境特征方面,实验组中高收入小区的样本比例略多于对照组,实验组的公园数量、公交站点数量略多于对照组。此外,实验组和对照组在社会凝聚力、建筑密度、土地利用混合度和道路网密度方面的差异较小。

1.4 数据分析与模型

本文通过构建双重差分模型(DID)探讨绿道干预对全样本受访者和不同社会群体心理健康的因果效应。标准双重差分模型如下:

$$MH_{ij} = \beta_0 + \beta_1 Exposure_{ij} + \beta_2 Time_{ij} + \beta_3 Exposure_{ij} \times Time_{ij} + \varepsilon_{ij} + \mu_j \quad (1)$$

式中: MH_{ij} 表示 j 小区居民 i 的心理健康得分; β_0 为模型常数项; β_1 为有或没有绿道暴露的受访者之间的净差异; β_2 表示基线期和随访期受访者之间心理健康得分的差异; $Exposure_{ij}$ 为实验组虚拟变量,实验组受访者取值为1,其他取值为0; $Time_{ij}$ 为随访期识别变量,处于随访期,取值为1,否则为0; β_3 表示东湖绿道干预对心理健康水平变化的影响; ε_{ij} 为个体层面残差项, μ_j 为邻里环境层面残差项。

为排除非随机分配和其他混淆因素带来的偏差,在模型1的基础上进一步加入个体特征($Individual_j$)和邻里环境特征($Neighborhood_j$)的控制变量,其中 β_4 和 β_5 为控制变量的系数。若纳入控制变量后, β_3 仍旧显著,则表明模型估计结果并未受到非随机分配的影响。

$$MH_{ij} = \beta_0 + \beta_1 Exposure_{ij} + \beta_2 Time_{ij} + \beta_3 Exposure_{ij} \times Time_{ij} + \beta_4 Individual_j + \varepsilon_{ij} + \mu_j \quad (2)$$

$$MH_{ij} = \beta_0 + \beta_1 Exposure_{ij} + \beta_2 Time_{ij} + \beta_3 Exposure_{ij} \times Time_{ij} + \beta_4 Individual_j + \beta_5 Neighborhood_j + \varepsilon_{ij} + \mu_j \quad (3)$$

2 结果分析

2.1 绿色空间干预前后居民心理健康变化

本文采用配对 t 检验比较了全样本、实验组和对照组分别在基线期和随访期的心理健康得分的变化(表2)。结果表明,在东湖绿道干预的前后两期,全样本和实验组受访者的心理健康得分均值均存在显著差异且随访期更大,而对照组受访者的心理健康得分均值在前后两期无显著差异。同时,采用配对 t 检验比较了0~1 km、0~1.5 km、0~2 km、2~3 km、3~4 km、4~5 km 多个距离范围内的受访者在基线期和随访期心理健康得分的变化(表3)。结果表明,当受访者的居住小区质心距绿道的距离超过2 km范围后,心理健康得分变化量的均值不再正向显著,进一步论证了选取2 km距离阈值的有效性。

表1 样本特征描述性统计
Tab.1 Descriptive statistics of the respondents

变量类型	变量名称	变量描述	均值/%		
			实验组(n=766)	对照组(n=254)	全样本(n=1020)
个体层面特征	性别	男	55.61	40.55	43.43
		女	44.39	59.45	56.57
	年龄	60岁及以下	68.15	62.60	66.76
		60岁以上	31.85	37.40	33.24
	职业	未就业	43.21	44.88	43.63
		个体工商业等群体	21.02	25.59	22.16
		领导干部等群体	35.77	29.53	34.21
	婚姻	已婚	84.07	81.89	83.53
		其他	15.93	18.11	16.47
	教育程度	大学及以上	49.48	52.76	50.29
		大学以下	50.52	47.24	49.71
	家庭年收入	低收入(<10 万元)	22.98	37.40	26.57
		中低收入(10~<20 万元)	29.76	28.74	29.51
		中高收入(20~<30 万元)	23.63	17.32	22.06
		高收入(≥30 万元)	23.63	16.54	21.86
	住房类型	自有房屋	79.63	87.80	81.67
		租住房屋	20.37	12.20	18.33
	家庭结构	单身家庭	7.96	7.09	7.75
		夫妻家庭	25.07	26.77	25.49
		核心家庭	36.29	35.83	36.18
		主干/联合家庭	30.68	30.31	30.59
邻里环境特征	小区社会经济地位	低收入小区	37.47	51.57	40.98
		高收入小区	62.53	48.43	59.02
	社会凝聚力		16.25 (1.58) ^a	16.42 (1.43)	16.30 (1.54)
	建筑密度	500 m缓冲区建筑密度	0.18 (0.05)	0.22 (0.09)	0.19 (0.06)
	土地利用混合度	500 m缓冲区土地利用混合度	1.69 (0.45)	1.61 (0.37)	1.67 (0.43)
	公园数量(个)	500 m缓冲区公园数量	0.46 (0.83)	0.03 (0.26)	2.66 (2.19)
	公交站点数量(个)	500 m缓冲区公交站点数量	2.98 (2.33)	1.69 (1.24)	0.36 (0.76)
	道路网密度(km/km ²)	500 m缓冲区道路网密度	6.66 (2.03)	6.23 (1.13)	6.55 (1.86)

注:a. 括号中数据为标准差。

表2 受访者心理健康水平基线期、随访期的差异性检验
Tab.2 Difference test of mental health status of residents at the baseline and follow-up periods

组别	时间	平均值	标准差	t值	P值
全样本	基线期	52.426	7.475	-3.005	0.003
	随访期	52.733	7.477		
实验组	基线期	52.013	7.401	-3.986	< 0.001
	随访期	52.491	7.273		
对照组	基线期	53.672	7.573	1.101	0.272
	随访期	53.463	8.034		

2.2 绿色空间干预对居民心理健康的因果效应

模型结果表明,自变量的方差膨胀因子小于3,表明不存在多重共线性,因此,将所有自变量纳入

双重差分模型。如表4所示,参考相关研究,根据F检验、R²等指标结果,表明模型拟合程度较好^[63-64]。表4中模型1为标准双重差分模型分析,交互项系

数 β 为1.698, $P < 0.01$, 表明绿道干预对实验组受访者的心理健康水平具有显著促进作用。

模型2和3在模型1的基础上, 依次纳入个体特征和邻里环境特征方面的协变量, 交互项系数仍然正向显著($\beta=1.914, P < 0.001$; $\beta=1.751, P < 0.001$), 表明干预措施的非随机分配并不影响标准双重差

分模型的结果, 绿道干预有效改善了居民的心理健康水平。协变量方面, 由模型3可知, 年龄($\beta=0.149, P < 0.001$)与心理健康水平呈正相关, 即受访居民的年龄每增加1岁, 心理健康得分提高0.149分; 社会凝聚力($\beta=0.293, P < 0.01$)和建筑密度($\beta=7.957, P < 0.01$)与受访居民的心理健康显著正相关,

表3 多个距离范围内的受访者的心理健康水平基线期、随访期的差异性检验

Tab.3 Difference test of mental health status of residents at the baseline and follow-up periods within multiple distance ranges

时期	心理健康得分平均值					
	0~1 km	0~1.5 km	0~2 km	2~3 km	3~4 km	4~5 km
基线期	52.59(7.41)	52.40(7.34)	52.01(7.40)	53.89(8.03)	51.05(6.91)	56.63(6.60)
随访期	53.27(7.05)	52.84(7.23)	52.49(7.27)	53.85(8.88)	50.86(6.98)	56.15(7.07)
变化量	0.67(3.34)***	0.43(3.35)**	0.48(3.32)***	-0.03(4.53)	-0.19(1.52)	-0.47(1.44)**

注: *、**、***分别表示 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 、 $P < 0.001$, 下同; 括号中数据为标准差。

表4 绿道干预对全样本受访者心理健康影响的DID模型

Tab.4 Results of the DID model for the impact of greenway intervention on the mental health of all residents

变量	模型1				模型2				模型3			
	系数	稳健标准误	t值	P值	系数	稳健标准误	t值	P值	系数	稳健标准误	t值	P值
绿道暴露×时间	1.698**	0.49	3.45	0.001	1.914***	0.47	4.09	<0.001	1.751***	0.49	3.54	<0.001
绿道暴露	-1.793	0.42	-4.30	<0.001	-1.408	0.40	-3.50	<0.001	-0.926	0.46	-2.03	0.042
时间	-0.410	0.40	-1.03	0.303	-0.502	0.38	-1.32	0.185	-0.433	0.38	-1.13	0.259
常数项	53.773	0.39	136.82	<0.001	45.898	1.21	37.98	<0.001	39.423	2.47	15.98	<0.001
个体层面												
性别(参照: 女性)					0.175	0.32	0.54	0.589	0.097	0.33	0.30	0.768
年龄					0.152***	0.01	12.30	<0.001	0.149***	0.01	12.02	<0.001
职业(参照: 未就业)					-0.182	0.22	-0.84	0.403	-0.219	0.22	-1.00	0.316
婚姻(参照: 其他)					0.675	0.45	1.51	0.132	0.591	0.44	1.34	0.181
教育程度(参照: 大学以下)					-0.456	0.32	-1.44	0.151	-0.361	0.32	-1.11	0.267
家庭年收入(参照: <10万元)					-0.156	0.15	-1.07	0.287	-0.194	0.17	-1.13	0.257
住房类型(参照: 租赁住房)					0.157	0.41	0.38	0.706	0.274	0.43	0.64	0.525
家庭结构(参照: 单身家庭)					0.033	0.18	0.18	0.858	0.104	0.19	0.56	0.575
邻里环境层面												
小区社会经济地位(参照: 低收入小区)									0.244	0.39	0.62	0.535
社会凝聚力									0.293**	0.11	2.74	0.006
建筑密度									7.957**	2.61	3.05	0.002
土地利用混合度									-0.613	0.42	-1.46	0.143
公园数量									0.189	0.25	0.76	0.449
公交站点数量									-0.166	0.09	-1.86	0.063
道路网密度									0.178	0.11	1.61	0.108
F统计量		8.01				27.48				19.50		
P(Prof>F)		<0.01				<0.01				<0.01		
R ²		0.01				0.13				0.15		

表明邻里环境越好的居住小区,受访居民的心理健康得分越高。

2.3 绿色空间干预对不同社会群体心理健康的因果效应差异

2.3.1 不同性别群体的分层分析

进一步检验绿色空间干预对不同性别群体心理健康的因果效应。表5中模型4和5的交互项系数均显著,表明绿道干预显著正向影响了不同性别群体的心理健康。邻里环境协变量方面,仅土地利用混合度($\beta=-2.103, P<0.01$)与男性心理健康显著相关;社会凝聚力($\beta=0.379, P<0.01$)、建筑密度($\beta=9.752, P<0.01$)和道路网密度($\beta=0.286, P<0.05$)与女性心理健康显著相关。

2.3.2 不同社会经济地位群体的分层分析

选取大学及以上的群体作为高教育程度(513个),其他群体为低教育程度(507个),进行分层分析。表6中模型6和7的交互项系数均显著为正,表

明绿色空间干预显著提升了不同教育程度群体的心理健康水平。高教育程度群体的心理健康与居住小区的社会经济地位($\beta=1.485, P<0.01$)和土地利用混合度($\beta=-1.603, P<0.01$)显著相关。与低教育程度群体的心理健康显著相关的邻里环境协变量包括社会凝聚力($\beta=0.319, P<0.05$)、建筑密度($\beta=9.544, P<0.05$)和道路网密度($\beta=0.304, P<0.05$)。

表7显示,未就业群体的分层模型(模型8)的交互项系数显著,个体工商业等群体和领导干部等群体的分层模型(模型9和10)的交互项系数不显著,表明绿色空间干预对以上3类群体心理健康的影响存在差异。邻里环境特征方面,未就业群体的心理健康仅与社会凝聚力($\beta=0.439, P<0.01$)显著正相关。

选取家庭年收入低于10万元的受访者为低收入群体,不低于10万元、低于20万元的受访者为中低收入群体,不低于20万元、低于30万元的受访者为中高收入群体,不低于30万元的受访者为高收入

表5 绿道干预对男性和女性群体心理健康影响的DID模型
Tab.5 Results of the DID model for the impact of greenway intervention on the mental health of male and female groups

变量	模型4 (男性)				模型5 (女性)			
	系数	稳健标准误	t值	P值	系数	稳健标准误	t值	P值
绿道暴露×时间	2.101**	0.78	2.68	0.008	1.538*	0.64	2.41	0.016
绿道暴露	-1.695	0.74	-2.28	0.023	-0.278	0.60	-0.47	0.641
时间	-0.644	0.59	-1.09	0.278	-0.280	0.50	-0.56	0.575
常数项	45.634	3.67	12.44	< 0.001	34.460	3.40	10.15	< 0.001
个体层面								
年龄	0.150***	0.02	7.32	< 0.001	0.149***	0.02	9.66	< 0.001
职业(参照:未就业)	-0.186	0.35	-0.53	0.597	-0.164	0.28	-0.59	0.556
婚姻(参照:其他)	1.008	0.70	1.45	0.148	-0.026	0.60	-0.04	0.966
教育程度(参照:大学以下)	-0.616	0.52	-1.18	0.239	-0.083	0.41	-0.20	0.840
家庭年收入(参照: < 10万元)	-0.041	0.28	-0.15	0.880	-0.293	0.22	-1.31	0.190
住房类型(参照:租住房屋)	0.561	0.68	0.82	0.411	0.289	0.56	0.51	0.609
家庭结构(参照:单身家庭)	-0.349	0.29	-1.23	0.221	0.519*	0.25	2.09	0.037
邻里环境层面								
小区社会经济地位 (参照:低收入小区)	0.508	0.64	0.79	0.429	0.167	0.51	0.33	0.745
社会凝聚力	0.191	0.17	1.12	0.264	0.379**	0.14	2.72	0.007
建筑密度	5.872	4.28	1.37	0.171	9.752**	3.41	2.86	0.004
土地利用混合度	-2.103**	0.64	-3.30	0.001	0.520	0.56	0.92	0.356
公园数量	0.196	0.34	0.58	0.563	0.106	0.37	0.28	0.776
公交站点数量	-0.181	0.15	-1.18	0.240	-0.190	0.11	-1.69	0.091
道路网密度	0.007	0.18	0.04	0.969	0.286*	0.14	1.99	0.047
F统计量	9.55				13.54			
P(Prof>F)	< 0.01				< 0.01			
R ²	0.15				0.16			

表6 绿道干预对不同教育程度群体心理健康影响的DID模型

Tab.6 Results of the DID model for the impact of greenway intervention on the mental health of different educational level groups

模型变量	模型6 (高教育程度)				模型7 (低教育程度)			
	系数	稳健标准误	t值	P值	系数	稳健标准误	t值	P值
绿道暴露×时间	1.770 [*]	0.70	2.53	0.011	1.602 [*]	0.69	2.31	0.021
绿道暴露	-0.308	0.68	-0.45	0.649	-1.574	0.61	-2.60	0.009
时间	-0.499	0.53	-0.93	0.351	-0.307	0.54	-0.56	0.573
常数项	42.051	3.38	12.46	<0.001	36.035	3.50	10.29	<0.001
个体层面								
性别(参照:女性)	-0.030	0.46	-0.07	0.947	0.283	0.47	0.61	0.545
年龄	0.135 ^{***}	0.02	7.59	<0.001	0.168 ^{***}	0.02	9.95	<0.001
职业(参照:未就业)	-0.475	0.30	-1.57	0.117	0.075	0.33	0.23	0.820
婚姻(参照:其他)	1.003	0.61	1.64	0.102	-0.415	0.66	-0.63	0.527
家庭年收入(参照: < 10万元)	-0.360	0.24	-1.52	0.128	0.088	0.25	0.35	0.723
住房类型(参照:租住房屋)	1.520 [*]	0.66	2.31	0.021	-0.809	0.59	-1.36	0.174
家庭结构(参照:单身家庭)	-0.461	0.30	-1.56	0.120	0.492 [*]	0.24	2.04	0.042
邻里环境层面								
小区社会经济地位 (参照:低收入小区)	1.485 ^{**}	0.55	2.69	0.007	-1.022	0.57	-1.80	0.071
社会凝聚力	0.278	0.15	1.86	0.064	0.319 [*]	0.15	2.08	0.038
建筑密度	6.849	3.52	1.95	0.052	9.544 [*]	3.90	2.44	0.015
土地利用混合度	-1.603 ^{**}	0.57	-2.79	0.005	0.373	0.62	0.60	0.546
公园数量	0.061	0.36	0.17	0.867	0.224	0.35	0.64	0.524
公交站点数量	-0.235	0.12	-1.93	0.054	-0.137	0.13	-1.02	0.310
道路网密度	0.103	0.16	0.64	0.525	0.304 [*]	0.15	2.02	0.043
F统计量	8.82				14.19			
P(Prof>F)	<0.01				<0.01			
R ²	0.14				0.18			

群体,进行分层分析。表8中,低收入和中低收入群体的分层模型(模型11和12)的交互项系数显著,中高收入和高收入群体的分层模型(模型13和14)的交互项系数不显著,表明4类群体在绿色空间干预对居民心理健康的影响方面存在差异。邻里环境特征方面,小区社会经济地位($\beta=2.085, P<0.05$)、土地利用混合度($\beta=-2.556, P<0.01$)和公交站点密度($\beta=-0.917, P<0.001$)与低收入群体的心理健康显著相关;而中低收入群体的心理健康仅与土地利用混合度($\beta=1.691, P<0.05$)显著相关。

2.4 稳健性分析

由于部分受访者的居住小区距离绿道出入口过近,其邻里环境可能与绿道周边环境相似,且更倾向于使用绿道获得健康效益。因此,本文排除居住小区质心距离东湖绿道入口小于等于500 m的受访者(最终样本量970个)进行稳健性分析。模型结

果如表9所示,交互项系数的显著性和方向均没有变化,表明全样本的模型结果具有稳健性。

3 结论与讨论

本文采用自然实验方法,以武汉东湖绿道为例,基于绿道建设前后的居民健康效应调查数据,构建双重差分模型探讨了绿色空间干预对所有受访群体及不同类型社会群体的心理健康的因果效应。结果表明,绿色空间干预显著提升了实验组居民的心理健康水平,且对不同性别和教育程度群体的心理健康均有显著正向影响,但在不同收入和职业群体之间存在差异,仅对低收入、中低收入群体和未就业群体的心理健康影响显著。

首先,本文证实了绿色空间与居民心理健康的因果关系,即绿道干预显著改善了居民的心理健康

表7 绿道干预对不同职业群体心理健康影响的DID模型
 Tab.7 Results of the DID model for the impact of greenway intervention on the mental health
 of different occupational groups

模型变量	模型8 (未就业)				模型9 (个体工商业等群体)				模型10 (领导干部等群体)			
	系数	稳健 标准误	t值	P值	系数	稳健 标准误	t值	P值	系数	稳健 标准误	t值	P值
绿道暴露×时间	2.133**	0.77	2.76	0.006	1.279	1.06	1.20	0.229	1.588	0.82	1.94	0.052
绿道暴露	-2.117	0.75	-2.83	0.005	0.114	0.90	0.13	0.900	-0.825	0.79	-1.04	0.298
时间	-0.608	0.62	-0.98	0.327	-0.395	0.78	-0.51	0.612	-0.248	0.61	-0.40	0.686
常数项	40.052	4.27	9.37	<0.001	41.379	4.89	8.47	<0.001	38.172	3.69	10.36	<0.001
个体层面												
性别(参照:女性)	-0.142	0.51	-0.28	0.780	1.340	0.74	1.80	0.073	-0.470	0.54	-0.86	0.388
年龄	0.154***	0.02	8.45	<0.001	0.158***	0.03	5.84	<0.001	0.121***	0.02	5.31	<0.001
婚姻(参照:其他)	1.625*	0.66	2.45	0.015	0.694	1.02	0.68	0.496	-0.362	0.74	-0.49	0.626
教育程度(参照:大学以下)	0.025	0.53	0.05	0.963	-1.486*	0.75	-1.98	0.049	-0.412	0.52	-0.79	0.430
家庭年收入(参照: <10万元)	-0.140	0.26	-0.54	0.588	-0.413	0.42	-0.97	0.331	-0.233	0.29	-0.80	0.423
住房类型(参照:租住房屋)	-0.389	0.66	-0.59	0.553	0.178	0.86	0.21	0.836	0.785	0.75	1.04	0.298
家庭结构(参照:单身家庭)	-0.015	0.27	-0.06	0.956	1.021*	0.43	2.38	0.018	-0.308	0.32	-0.95	0.343
邻里环境层面												
小区社会经济地位 (参照:低收入小区)	0.913	0.62	1.47	0.143	0.356	0.87	0.41	0.684	-0.734	0.65	-1.14	0.257
社会凝聚力	0.439**	0.16	2.80	0.005	0.033	0.24	0.14	0.891	0.242	0.19	1.28	0.201
建筑密度	4.244	5.18	0.82	0.413	11.350*	5.00	2.27	0.024	8.756	4.54	1.93	0.054
土地利用混合度	-1.041	0.78	-1.33	0.182	-2.244**	0.82	-2.72	0.007	0.904	0.67	1.36	0.176
公园数量	0.492	0.46	1.06	0.290	0.910	0.55	1.65	0.100	-0.473	0.37	-1.28	0.203
公交站点数量	-0.180	0.14	-1.32	0.188	0.048	0.20	0.24	0.814	-0.216	0.16	-1.35	0.177
道路网密度	-0.106	0.19	-0.56	0.579	0.223	0.26	0.86	0.389	0.540**	0.17	3.24	0.001
F统计量	8.16				5.47				6.23			
P(Prof>F)	<0.01				<0.01				<0.01			
R ²	0.16				0.20				0.16			

水平,且有效干预范围为2 km,与现有研究的结论一致^[2,27]。相比于对照组,实验组受访者在随访期的心理健康得分显著增加,原因在于实验组受访者的绿道可达性更高、接触和使用绿道的机会更多^[2,48,50],从而提升了其绿道暴露水平与心理健康水平。

其次,本文发现绿道干预对不同性别群体的心理健康水平均有显著促进作用,并未表现出差异性,与现有研究发现绿色空间对女性群体的心理健康效应更显著的结论不一致^[22,41]。本文中东湖绿道为大规模绿色空间(全长约102 km),空间品质优良、设施完善,可以满足男性和女性的差异化、多样化的健康需求,对两类群体均具有强烈的吸引力;男性和女性受访者所在的居住小区距离绿道的平均距离相似(1.6 km左右),可能导致其绿道使用频率相似;由于两次健康问卷调查时隔3年,绿色空间

对男性和女性群体的心理健康均有长期累积改善作用;以上3个方面解释了绿道干预对不同性别群体心理健康效应的相似性。此外,绿道干预对不同职业和收入群体的心理健康存在因果效应差异,即绿道干预仅显著提升了未就业群体、低收入和中低收入群体的心理健康水平,这与现有研究发现绿色空间对低社会经济地位群体的健康效应更显著的结论一致^[11-12,35]。本文的受访者中约一半以上的低收入群体、未就业群体和中低收入群体生活在低收入小区(主要为城中村或老旧小区),如风光村、东湖村、葛光社区等。该类群体的居住环境较差、生活压力大和移动性较差,使得其对于绿道的健康改善作用具有更大的需求,依赖程度更高^[10,13,41],且上述3类群体的居住小区距离绿道的平均距离均在1.8 km以内。因此,绿道干预对弱势群体的心理健康具有

表8 绿道干预对不同家庭年收入的群体心理健康影响的DID模型
 Tab.8 Results of the DID model for the impact of greenway intervention on the mental health of different annual household income groups

变量	模型11 (低收入)				模型12 (中低收入)				模型13 (中高收入)				模型14 (高收入)			
	系数	稳健 标准误	t值	P值	系数	稳健 标准误	t值	P值	系数	稳健 标准误	t值	P值	系数	稳健 标准误	t值	P值
绿道暴露×时间	2.540 [*]	1.06	2.39	0.017	3.058 ^{**}	0.95	3.21	0.001	-0.694	1.04	-0.66	0.507	1.224	0.97	1.27	0.206
绿道暴露	0.477	0.96	0.49	0.621	-2.081	0.83	-2.52	0.012	0.620	1.09	0.57	0.571	-3.427	0.93	-3.67	<0.001
时间	-0.446	0.74	-0.60	0.546	-0.930	0.67	-1.39	0.165	0.758	0.87	0.87	0.383	-0.415	0.81	-0.51	0.608
常数项	35.850	5.64	6.36	<0.001	42.267	4.68	9.03	<0.001	39.843	4.82	8.27	<0.001	42.097	5.59	7.53	<0.001
个体层面																
性别(参照:女性)	-0.010	0.66	-0.02	0.987	-0.760	0.59	-1.29	0.198	1.248	0.71	1.77	0.078	1.048	0.68	1.55	0.123
年龄	0.217 ^{***}	0.02	8.84	<0.001	0.120 ^{***}	0.02	5.70	<0.001	0.146 ^{***}	0.03	5.28	<0.001	0.102 ^{**}	0.03	3.39	0.001
职业(参照:未就业)	0.672	0.52	1.30	0.194	-0.806 [*]	0.41	-1.97	0.049	-0.071	0.46	-0.15	0.877	-0.713	0.43	-1.64	0.101
婚姻(参照:其他)	1.453	0.88	1.65	0.099	-0.338	0.79	-0.43	0.669	1.386	0.95	1.45	0.147	0.266	0.94	0.28	0.776
教育程度 (参照:大学以下)	-0.709	0.70	-1.01	0.314	0.196	0.62	0.320	0.752	0.149	0.69	0.22	0.829	-0.917	0.63	-1.47	0.143
住房类型 (参照:租赁住房)	-0.357	0.83	-0.43	0.667	0.490	0.87	0.570	0.572	-0.279	1.08	-0.26	0.796	-1.353	0.83	-1.63	0.104
家庭结构 (参照:单身家庭)	0.272	0.37	0.73	0.468	-0.010	0.35	-0.030	0.976	-0.052	0.44	-0.12	0.905	0.701	0.37	1.88	0.061
邻里环境层面																
小区社会经济地位 (参照:低收入小区)	2.085 ^{**}	0.83	2.53	0.012	-0.595	0.66	-0.91	0.365	0.754	0.91	0.83	0.406	-1.705	1.04	-1.63	0.103
社会凝聚力	0.259	0.21	1.24	0.214	0.056	0.19	0.29	0.770	0.175	0.25	0.70	0.483	0.559 [*]	0.22	2.60	0.010
建筑密度	4.541	5.90	0.77	0.442	6.589	4.50	1.46	0.144	8.375	6.91	1.21	0.226	7.240	6.13	1.18	0.238
土地利用 混合度	-2.556 ^{**}	0.85	-3.02	0.003	1.691 [*]	0.73	2.32	0.021	-0.668	1.10	-0.61	0.542	-1.605	1.11	-1.44	0.150
公园数量	-0.589	0.57	-1.03	0.305	0.419	0.39	1.06	0.288	-0.076	0.67	-0.11	0.910	0.443	0.48	0.92	0.356
公交站点数量	-0.917 ^{***}	0.22	-4.15	<0.001	0.104	0.14	0.73	0.465	-0.182	0.18	-0.99	0.322	0.283	0.21	1.32	0.187
道路网密度	0.625	0.32	1.95	0.051	0.395	0.21	1.87	0.062	-0.103	0.22	-0.48	0.633	0.231	0.24	0.95	0.343
F统计量		9.73				7.20					4.50				5.01	
P(Prof > F)		<0.01				<0.01					<0.01				<0.01	
R ²		0.23				0.16					0.13				0.16	

表9 绿道干预对居民心理健康影响的DID模型

Tab.9 Results of the DID model for the impact of greenway intervention on the mental health of residents

模型变量	模型 15			
	系数	稳健标准误	t 值	P 值
绿道暴露×时间	1.660**	0.52	3.22	0.001
绿道暴露	-0.730	0.46	-1.59	0.113
时间	-0.368	0.39	-0.95	0.341
常数项	37.800	2.55	14.84	< 0.001
F统计量	19.42			
P(Prof > F)	< 0.01			
R ²	0.15			

注:模型 15 已控制了表 1 中的所有协变量。居民为居住小区质心距离东湖绿道入口大于 500 m 的受访者。

更加显著的改善作用。由此可见,武汉东湖绿道作为城市大型公共绿色基础设施,其丰富的湖泊、山体、森林、绿化等自然资源为城市居民提供了社会交往、休闲娱乐的空间,对于提升居民心理健康水平和改善健康受益均等性具有重要意义。

此外,邻里环境对居民心理健康的影响方面。对于所有受访群体而言,居住小区的社会凝聚力越高,居民心理健康水平越高,原因在于社会凝聚力为个体提供了有意义的社会联系,进而积极影响居民心理健康^[65-67]。女性群体和低收入群体的心理健康受到邻里建成环境和社会环境因素的双重影响,原因在于女性群体往往兼顾家庭和工作,其活动空间范围较小^[68];低收入群体的经济能力有限,移动性较差^[10],导致以上两类群体的心理健康水平与邻里环境密切相关。

本文的贡献点在于:第一,采用自然实验方法,排除了居住自选择效应和其他混淆因素的影响,论证了绿色空间干预和居民心理健康变化存在因果关系,完善了绿色空间与居民健康关系的理论框架。第二,从理论上弥补了城市绿色空间与不同社会群体心理健康的因果关系分析的不足,证实了绿色空间干预对缓解健康受益不均等问题的重要性。第三,从实践层面,通过对比分析绿道干预前后实验组和对照组受访者心理健康水平的变化,证明了绿色空间可达性对于促进心理健康的重要作用。同时,鉴别了邻里环境特征与不同社会群体心理健康的相关关系,为从邻里环境视角实施健康干预措施提供了重要依据。政策启示方面,规划决策者应着力于优化绿色空间的出入口位置及可达性,扩大绿色空间的健康影响范围,并加强以绿道为核心的城市绿色空间网络的连通性,提高居民使用绿

道的频率。其次,绿色空间规划应突出公平性原则,重点关注弱势群体在大型基础设施方面的健康需求。

本文尚存在以下不足,有待后续进一步开展研究。第一,本文以居民自我报告的心理健康得分表征心理健康水平,可能存在回忆偏差。在未来的研究中,可以结合客观测量方法,例如唾液皮质醇、皮肤电导率等生物指标,进一步提高数据测度的准确性。第二,社会经济地位测度方面,本文以教育程度、职业和收入水平作为社会经济地位的衡量标准,可能较为单一,在未来的研究中,可以结合多重剥夺指数等综合测量方法,从而更加全面地解析绿色空间干预对不同社会群体心理健康效应的差异性。第三,本文的绿色空间暴露以居住小区质心距绿道的距离来衡量,未来研究可以结合个体的出行路径刻画绿色空间暴露,从而精准反映个体差异。此外,理论层面上,本文完善了绿道干预与不同社会群体心理健康的因果关系分析框架,但缺乏探讨影响两者因果关系的潜在中介变量和路径,未来研究需要进一步探讨绿道干预对不同社会群体心理健康的因果机制。

参考文献(References)

[1] 姜斌. 城市自然景观与市民心理健康: 关键议题 [J]. 风景园林, 2020, 27(9): 17-23. [Jiang Bin. Urban natural landscape and citizens' mental health: Key issues. Landscape Architecture, 2020, 27(9): 17-23.]

[2] 谢波, 王潇, 伍蕾. 基于自然实验的城市绿色空间对居民心理健康的影响研究: 以武汉东湖绿道为例 [J]. 地理科学进展, 2021, 40(7): 1141-1153. [Xie Bo, Wang Xiao, Wu Lei. Exploring the effect of urban greenspace on residents' mental health using a quasi-natural experiment:

- Taking Wuhan East Lake Greenway as an example. *Progress in Geography*, 2021, 40(7): 1141-1153.]
- [3] 健康中国行动推进委员会. 健康中国行动(2019—2030) [EB/OL]. 2019-07-15 [2023-05-01]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-07/15/content_5409694.htm. [Health China Action Promotion Committee. Health China action(2019-2030). 2019-07-15 [2023-05-01]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-07/15/content_5409694.htm.]
- [4] 傅小兰, 张侃, 陈雪峰, 等. 中国国民心理健康发展报告(2019—2020) [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2021: 1-34. [Fu Xiaolan, Zhang Kan, Chen Xuefeng, et al. Report on national mental health development in China (2019—2020). Beijing, China: Social Sciences Literature Press, 2021: 1-34.]
- [5] 新华社. 中共中央国务院印发《“健康中国2030”规划纲要》[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2016(32): 5-20. [Xinhua News Agency. The State Council, The Central Committee of the Communist Party of China issued the "Outline of healthy China 2030" plan. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2016 (32): 5-20.]
- [6] 杨春, 谭少华, 李梅梅, 等. 健康城市主动式规划干预途径研究 [J]. 城市规划, 2022, 46(11): 61-76. [Yang Chun, Tan Shaohua, Li Meimei, et al. Research on active planning intervention strategies for healthy cities. City Planning Review, 2022, 46(11): 61-76.]
- [7] Ulrich R S, Simons R F, Losito B D, et al. Stress recovery during exposure to natural and urban environments [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1991, 11(3): 201-230.
- [8] Kaplan S. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 1995, 15(3): 169-182.
- [9] Heo S, Bell M L. Investigation on urban greenspace in relation to sociodemographic factors and health inequity based on different greenspace metrics in 3 US urban communities [J]. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 2023, 33: 218-228.
- [10] Rigolon A, Browning M H E M, McAnirlin O, et al. Green space and health equity: A systematic review on the potential of green space to reduce health disparities [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(5): 2563. doi: 10.3390/ijerph18052563.
- [11] Dadvand P, de Nazelle A, Figueras F, et al. Green space, health inequality and pregnancy [J]. *Environment International*, 2012, 40: 110-115.
- [12] Mitchell R, Popham F. Effect of exposure to natural environment on health inequalities: An observational population study [J]. *The Lancet*, 2008, 372: 1655-1660.
- [13] Lachowycz K, Jones A P. Towards a better understanding of the relationship between greenspace and health: Development of a theoretical framework [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 118: 62-69.
- [14] 杨振山, 张慧, 丁悦, 等. 城市绿色空间研究内容与展望 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(1): 18-29. [Yang Zhenshan, Zhang Hui, Ding Yue, et al. Progress and prospect on urban green space research. *Progress in Geography*, 2015, 34(1): 18-29.]
- [15] Tost H, Reichert M, Braun U, et al. Neural correlates of individual differences in affective benefit of real-life urban green space exposure [J]. *Nature Neuroscience*, 2019, 22(9): 1389-1393.
- [16] Bratman G N, Hamilton J P, Hahn K S, et al. Nature experience reduces rumination and subgenual prefrontal cortex activation [J]. *PNAS*, 2015, 112(28): 8567-8572.
- [17] Hartig T, Mitchell R, de Vries S, et al. Nature and health [J]. *Annual Review of Public Health*, 2014, 35: 207-228.
- [18] Cameron R W F, Brindley P, Mears M, et al. Where the wild things are! Do urban green spaces with greater avian biodiversity promote more positive emotions in humans? [J]. *Urban Ecosystems*, 2020, 23(2): 301-317.
- [19] Bowler D E, Buyung-Ali L M, Knight T M, et al. A systematic review of evidence for the added benefits to health of exposure to natural environments [J]. *BMC Public Health*, 2010, 10: 456. doi: 10.1186/1471-2458-10-456.
- [20] Dadvand P, Nieuwenhuijsen M J, Esnaola M, et al. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren [J]. *PNAS*, 2015, 112(26): 7937-7942.
- [21] White M P, Alcock I, Wheeler B W, et al. Would you be happier living in a greener urban area? A fixed-effects analysis of panel data [J]. *Psychological Science*, 2013, 24(6): 920-928.
- [22] Gascon M, Sánchez-Benavides G, Dadvand P, et al. Long-term exposure to residential green and blue spaces and anxiety and depression in adults: A cross-sectional study [J]. *Environmental Research*, 2018, 162: 231-239.
- [23] Dzhambov A M, Markevych I, Tilov B G, et al. Residential greenspace might modify the effect of road traffic noise exposure on general mental health in students [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 34: 233-239.
- [24] 黄雯雯, 林广思. 城市绿地健康影响机制的理论和实证研究综述 [J]. 西部人居环境学刊, 2021, 36(2): 1-10. [Huang Wenwen, Lin Guangsi. The mechanism of urban green space affecting public health and its emotional

- progress. *Journal of Human Settlements in West China*, 2021, 36(2): 1-10.]
- [25] Yang M, Dijst M, Faber J, et al. Using structural equation modeling to examine pathways between perceived residential green space and mental health among internal migrants in China [J]. *Environmental Research*, 2020, 183: 109121. doi: 10.1016/j.envres.2020.109121.
- [26] Maas J, van Dillen S M E, Verheij R A, et al. Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health [J]. *Health Place*, 2009, 15 (2): 586-595.
- [27] Xie B, Lu Y, Zheng Y L. Casual evaluation of the effects of a large-scale greenway intervention on physical and mental health: A natural experimental study in China [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022, 67: 127419. doi: 10.1016/j.ufug.2021.127419.
- [28] Coombes E, Jones A P, Hillsdon M. The relationship of physical activity and overweight to objectively measured green space accessibility and use [J]. *Social Science & Medicine*, 2010, 70(6): 816-822.
- [29] Dong H W, Qin B. Exploring the link between neighborhood environment and mental wellbeing: A case study in Beijing, China [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 164: 71-80.
- [30] van den Berg M, Wendel- Vos W, van Poppel M, et al. Health benefits of green spaces in the living environment: A systematic review of epidemiological studies [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, 14(4): 806-816.
- [31] de Vries S, Verheij R A, Groenewegen P P, et al. Natural environments-healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health [J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2003, 35(10): 1717-1731.
- [32] Stafford M, Cummins S, Macintyre S, et al. Gender differences in the associations between health and neighbourhood environment [J]. *Social Science & Medicine*, 2005, 60(8):1681-1692.
- [33] Sang A O, Sang N, Hedblom M, et al. Are path choices of people moving through urban green spaces explained by gender and age? Implications for planning and management [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 49: 126628. doi: 10.1016/j.ufug.2020.126628.
- [34] Althoff T, Sosič R, Hicks J L, et al. Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality [J]. *Nature*, 2017, 547: 336-339.
- [35] Maas J, Verheij R A, de Vries S, et al. Morbidity is related to a green living environment [J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2009, 63(12): 967-973.
- [36] 柴彦威, 翁桂兰, 刘志林. 中国城市女性居民行为空间研究的女性主义视角 [J]. *人文地理*, 2003, 18(4): 1-4. [Chai Yanwei, Weng Guilan, Liu Zhilin. Feminist geographical research on the behavior spaces of female residents in Chinese cities. *Human Geography*, 2003, 18(4): 1-4.]
- [37] 王辉, 徐红罡. 中国内地女性主义地理学研究进展和展望 [J]. *人文地理*, 2021, 36(4):53-60, 158. [Wang Hui, Xu Honggang. Progress of feminist geography in Chinese mainland. *Human Geography*, 2021, 36(4): 53-60, 158.]
- [38] Flynn J J, Hollenstein T, Mackey A. The effect of suppressing and not accepting emotions on depressive symptoms: Is suppression different for men and women? [J]. *Personality and Individual Differences*, 2010, 49(6): 582-586.
- [39] Van de Velde S, Huijts T, Bracke P, et al. Macro-level gender equality and depression in men and women in Europe [J]. *Sociology of Health & Illness*, 2013, 35(5): 682-698.
- [40] Sang A O, Knez I, Gunnarsson B, et al. The effects of naturalness, gender, and age on how urban green space is perceived and used [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 18: 268-276.
- [41] Reklaitiene R, Grazuleviciene R, Dedele A, et al. The relationship of green space, depressive symptoms and perceived general health in urban population [J]. *Scandinavian Journal of Public Health*, 2014, 42(7): 669-676.
- [42] 黄建中, 马煜箫, 胡刚钰. 基于健康视角的老年人出行行为研究进展 [J]. *科技导报*, 2020, 38(7): 69-75. [Huang Jianzhong, Ma Yuxiao, Hu Gangyu. A review of research on travel behaviors of the elderly from a health perspective. *Science & Technology Review*, 2020, 38(7): 69-75.]
- [43] 谷志莲, 柴彦威. 城市老年人的移动性变化及其对日常生活的影响: 基于社区老年人生活历程的叙事分析 [J]. *地理科学进展*, 2015, 34(12): 1617-1627. [Gu Zhilian, Chai Yanwei. Change of mobility of urban elderly and effects on their daily life: A narrative analysis of the life of a retired couple living in an urban community. *Progress in Geography*, 2015, 34(12): 1617-1627.]
- [44] Maas J, Verheij R A, Groenewegen P P, et al. Green space, urbanity, and health: How strong is the relation? [J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2006, 60(7): 587-592.
- [45] McEachan R R C, Prady S L, Smith G, et al. The association between green space and depressive symptoms in pregnant women: Moderating roles of socioeconomic sta-

- tus and physical activity [J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2016, 70(3): 253-259.
- [46] Liu H X, Ren H, Remme R P, et al. The effect of urban nature exposure on mental health: A case study of Guangzhou [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 304: 127100. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127100.
- [47] Yang H R, He D S, Lu Y, et al. Disentangling residential self-selection from the influence of built environment characteristics on adiposity outcomes among undergraduate students in China [J]. *Cities*, 2021, 113: 103165. doi: 10.1016/j.cities.2021.103165.
- [48] He D S, Lu Y, Xie B, et al. Large-scale greenway intervention promotes walking behaviors: A natural experiment in China [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2021, 101: 103095. doi: 10.1016/j.trd.2021.103095.
- [49] Keall M, Chapman R, Howden-Chapman P, et al. Increasing active travel: Results of a quasi-experimental study of an intervention to encourage walking and cycling [J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2015, 69(12): 1184-1190.
- [50] Xie B, Lu Y, Wu L, et al. Dose-response effect of a large-scale greenway intervention on physical activities: The first natural experimental study in China [J]. *Health & Place*, 2021, 67: 102502. doi: 10.1016/j.healthplace.2020.102502.
- [51] Craig P, Cooper C, Gunnell D, et al. Using natural experiments to evaluate population health interventions: New Medical Research Council guidance [J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2012, 66(12): 1182-1186.
- [52] Leatherdale, Scott T. Natural experiment methodology for research: A review of how different methods can support real-world research [J]. *International Journal of Social Research Methodology*, 2019, 22(1): 19-35.
- [53] He D S, Lu Y, Xie B, et al. How greenway exposure reduces body weight: A natural experiment in China [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2022, 226: 104502. doi: 10.1016/j.landurbplan.2022.104502.
- [54] Frank L D, Hong A, Ngo V D. Causal evaluation of urban greenway retrofit: A longitudinal study on physical activity and sedentary behavior [J]. *Preventive Medicine*, 2019, 123: 109-116.
- [55] Ware J Jr, Kosinski M, Keller S D. A 12-item short-form health survey: Construction of scales and preliminary tests of reliability and validity [J]. *Medical Care*, 1996, 34(3): 220-233.
- [56] 辛昱铮, 陆伟, 孙佩锦. 基于公众心理健康视角的绿色空间研究与展望 [J]. *风景园林*, 2022, 29(3): 79-85.
- [Xin Yuzheng, Lu Wei, Sun Peijin. Research and prospect of green space from the perspective of public mental health. *Landscape Architecture*, 2022, 29(3): 79-85.]
- [57] Labib S M, Lindley S, Huck J J. Spatial dimensions of the influence of urban green-blue spaces on human health: A systematic review [J]. *Environmental Research*, 2020, 180: 108869. doi: 10.1016/j.envres.2019.108869.
- [58] Benton J S, Anderson J, Hunter R F, et al. The effect of changing the built environment on physical activity: A quantitative review of the risk of bias in natural experiments [J]. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2016, 13(1): 107. doi: 10.1186/s12966-016-0433-3.
- [59] West S T, Shores K A. The impacts of building a greenway on proximate residents' physical activity [J]. *Journal of Physical Activity & Health*, 2011, 8(8): 1092-1097.
- [60] Merom D, Bauman A, Vita P, et al. An environmental intervention to promote walking and cycling: The impact of a newly constructed Rail Trail in Western Sydney [J]. *Preventive Medicine*, 2003, 36(2): 235-242.
- [61] Xie B, An Z H, Zheng Y L, et al. Healthy aging with parks: Association between park accessibility and the health status of older adults in urban China [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2018, 43: 476-486.
- [62] 仇立平. 职业地位: 社会分层的指示器: 上海社会结构与社会分层研究 [J]. *社会学研究*, 2001(3): 18-33. [Qiu Liping. Occupational status: Indicator of social stratification: A study on social strata with hierarchy in Shanghai. *Sociological Research*, 2001(3): 18-33.]
- [63] 周黎安, 陈烨. 中国农村税费改革的政策效果: 基于双重差分模型的估计 [J]. *经济研究*, 2005(8): 44-53. [Zhou Lian, Chen Ye. The policy effect of tax-and-fees reforms in rural China: A difference-in-differences estimation. *Economic Research Journal*, 2005(8): 44-53.]
- [64] 韩仁月, 马海涛. 税收优惠方式与企业研发投入: 基于双重差分模型的实证检验 [J]. *中央财经大学学报*, 2019(3): 3-10. [Han Renyue, Ma Haitao. Tax preferences and R&D investment of enterprises: Empirical study based on difference-in-difference model. *Journal of Central University of Finance & Economics*, 2019(3): 3-10.]
- [65] 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]. *Environmental Research*, 2022, 209: 112869. doi: 10.1016/j.envres.2022.112869.
- [66] Liu Y, Wang R Y, Grekousis G, et al. Neighbourhood greenness and mental wellbeing in Guangzhou, China: What are the pathways? [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019,

- 190: 103602. doi: 10.1016/j.landurbplan.2019.103602.
- [67] Echeverría S, Diez-Roux A V, Shea S, et al. Associations of neighborhood problems and neighborhood social cohesion with mental health and health behaviors: The multi-ethnic study of atherosclerosis [J]. *Health & Place*, 2008, 14(4): 853-865.
- [68] 袁媛, 陈玉洁, 刘晔, 等. 广州社区绿化环境对居民自评健康的邻里影响 [J]. *地理学报*, 2021, 76(8): 1965-1975. [Yuan Yuan, Chen Yujie, Liu Ye, et al. The neighborhood effect of residential greenery on residents' self-rated health: A case study of Guangzhou, China. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(8): 1965-1975.]

The causal effect of urban green space on the mental health of different social groups using stratified analysis

XIE Bo, TAN Xuyuan*

(School of Urban Design, Wuhan University, Hubei Habitat Environment Research Centre of Engineering and Technology, Wuhan 430072, China)

Abstract: A series of problems caused by rapid urbanization have a negative impact on the mental health of residents. As an essential health intervention, green spaces facilitate resident exposure to the natural environment and relieve mental stress. However, existing studies mainly use cross-sectional data, making it difficult to reveal the causal relationship between green space and mental health. In addition, few studies focused on the differences in the mental health effect of green space among different social groups. Therefore, we used a natural experiment approach to explore the impact of a large-scale greenway intervention—the East Lake Greenway in Wuhan, China—on residents' mental health. We collected data from the health effect questionnaires in 2016 and 2019 (before and after the intervention) among residents living around the greenway, used the difference-in-differences model to explore the causal relationship between green space intervention and residents' mental health changes, and combined stratified analysis to reveal differences in the causal effect of green space on mental health across various social groups. The results show that: 1) The green space intervention significantly promoted the improvement of mental health for the experimental group. 2) The causal effect of green space intervention on residents' mental health was not significantly different among groups with different gender and education levels, but there were significant differences among groups with different occupations and income levels, indicating that the greenspace intervention has significantly improved the mental health of the unemployed, low-income, and low-middle income groups. Overall, the construction of large green spaces can effectively improve the mental health of surrounding residents, especially for disadvantaged groups such as the unemployed and low-income groups. Green space interventions are critical for improving the mental health of residents and alleviating inequalities in mental health benefits due to differences in socioeconomic status.

Keywords: green space; mental health; causal effect; inequalities in health benefits; natural experiment