

DOI: 10.20103/j.stxb.202403270655

周雯珮, 柯玲虹, 张赫, 张智茹. 人群绿地暴露强度和接触深度对居民心理健康的影响——以天津市为例. 生态学报, 2025, 45(8): 3806-3818.

Zhou W P, Ke L H, Zhang H, Zhang Z R. Impacts of green space exposure and contact on residents' mental health: a case study of Tianjin. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(8): 3806-3818.

# 人群绿地暴露强度和接触深度对居民心理健康的影响 ——以天津市为例

周雯珮<sup>1</sup>, 柯玲虹<sup>1</sup>, 张 赫<sup>1,\*</sup>, 张智茹<sup>2</sup>

1 天津大学建筑学院, 天津 300072

2 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092

**摘要:** 绿地作为城市中重要基础设施和居民主要活动场所, 对居民心理健康具有深远影响。基于天津市 24 个社区 712 份问卷调查数据, 运用多层线性回归模型和中介效应分析, 探究居民绿地暴露水平对心理健康的影响, 并揭示社会交往和身体健康水平所起的中介作用。尤其关注动态的个体-环境交互视角与传统静态环境视角对分析结果的差异。结果表明: ①绿地环境会影响个体活动行为; ②比起单一的空间环境因素, 个体-环境交互因素即绿地暴露对居民心理健康的影响更显著; ③绿地的景观品质决定居民与空间的接触深度, 与心理健康水平显著相关; ④绿地暴露强度和接触深度在一定程度上通过影响居民社会交往和身体健康水平, 影响心理健康水平。研究厘清个体与环境之间的关系, 补充构建“以人为本”的影响因素体系, 对健康导向的生态环境改善和可持续城市规划提供一定的借鉴意义。

**关键词:** 城市绿地; 心理健康; 个体-环境交互; 绿地暴露强度; 绿地接触深度

## Impacts of green space exposure and contact on residents' mental health: a case study of Tianjin

ZHOU Wenpei<sup>1</sup>, KE Linghong<sup>1</sup>, ZHANG He<sup>1,\*</sup>, ZHANG Zhiru<sup>2</sup>

1 School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2 College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China

**Abstract:** Green spaces are essential urban infrastructure and central venues for residents' activities, exerting a substantial impact on residents' mental health. Current research predominantly assesses the impact of green spaces on residents' mental health from a static environmental standpoint, overlooking the behaviors and perceptions of individuals within these spaces. Moreover, the relevant influencing factors are based on quantitative indexes to measure the availability of green space, ignoring its quality differences. Using survey data from 712 questionnaires across 24 communities in Tianjin, this study classifies greenspace exposure into categories of passing-through and staying-within, developing corresponding measurement methods to accurately characterize the exposure. Furthermore, the study employs a multilevel linear regression model and mediation analysis to investigate the effects of residents' greenspace exposure on mental health, uncovering the roles of residents' social interactions and physical health as mediators. In particular, this study emphasizes the differences in results from a dynamic individual-environment interaction perspective compared to a traditional static environmental perspective. Additionally, landscape indicators assessing spatial quality are incorporated to establish a holistic system of influencing factors. The final results indicate that: (1) Residents' behavior in using green space is related to the supply of green space

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (52078328); 天津市社科重大项目 (2018JWZD46)

**收稿日期:** 2024-03-27; **网络出版日期:** 2025-01-20

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 147792505@qq.com

around the community. Residents' green space activities are characterized by high frequency and brief stay time in communities with abundant green space. (2) Compared with the environmental factors, such as greening rate and green looking ratio, the individual-environment interaction factors, such as greenspace exposure, have a more significant impact on residents' mental health and provide stronger explanatory power. This indicates that the health-promoting effects of the environment depend on individuals' actual exposure behaviors. (3) The quality of green space landscapes will affect the extent of residents' participation in these areas and is significantly correlated with their mental health. (4) To a certain extent, greenspace exposure and greenspace contact influence residents' physical health and social interaction, which in turn further affect their mental health. Specifically, residents' physical health serves as a mediator in the relationship between passing-through and staying-within greenspace exposure and mental health. Residents' social interaction levels partially mediate the relationship between staying-within greenspace exposure and the landscape fragmentation patterns. This research provides an innovative quantitative method to measure individuals' actual exposure levels to green spaces, advancing the assessment of positive environmental exposure methods. Additionally, the study clarifies the relationship between individuals and environment, improves the "people-oriented" influencing factor system, and provides valuable insights for health-oriented ecological environment improvements and sustainable urban planning.

**Key Words:** urban green space; mental health; individual-environment interaction; green space exposure; green space contact

二十大报告强调,人民健康是民族昌盛和国家强盛的重要标志。自国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》对加强心理健康服务提出了明确要求以来,心理健康问题越来越受到国家和社会的关注。随着城镇化的快速推进,高密度的建成环境和快节奏的社会压力导致居民的心理健康问题日益突显<sup>[1-2]</sup>。许多学者开始关注生态环境的健康调节作用<sup>[3]</sup>,城市绿地作为城市中重要的生态服务系统和居民主要活动场所,已被证实是提升居民心理健康水平的重要资源,其作用包括促进健康的生活方式<sup>[4]</sup>、提高幸福感<sup>[5]</sup>、增强社会联系<sup>[6]</sup>、改善情绪,缓解心理压力等<sup>[7-8]</sup>。

已有大量研究聚焦于城市绿地空间要素与居民心理健康的关系<sup>[9]</sup>,发现了城市绿地的数量和规模<sup>[10]</sup>、类型<sup>[11]</sup>和分布模式<sup>[12]</sup>等能显著影响绿地的心理健康效应水平。近年来,越来越多的学者开始从“暴露科学”和“暴露生态学”的原理出发<sup>[13-15]</sup>,衡量人群绿地暴露与健康效益之间的关系<sup>[16]</sup>。绿地暴露表达的是人群与绿地的接触量<sup>[13]</sup>,已有研究多以绿地的可用性<sup>[17]</sup>、可达性<sup>[17-18]</sup>、绿化率<sup>[18]</sup>和绿视率<sup>[19]</sup>等指标进行衡量,并进一步探讨暴露水平的异质性<sup>[17]</sup>和其健康效益<sup>[18-20]</sup>。也有少量学者开始关注人群对绿地的使用频率、持续时间以及活动轨迹等动态暴露特征,论证动态暴露与静态环境的交互关系<sup>[21-23]</sup>。总之,绿地暴露与健康效益的研究已成为城市生态、环境健康、城市规划等多学科交叉领域的前沿热点<sup>[13-15,23]</sup>,研究趋势也从以往仅针对静态环境暴露的研究<sup>[17-19,20,24]</sup>,逐渐转向反映个体和环境交互的动态变化研究<sup>[21-23]</sup>。

在研究影响机制方面,城市绿地对居民心理健康的影响存在“生理-心理-社会行为”等多种机制<sup>[3,25]</sup>:一方面,绿地与心理健康直接关联,人通过视觉、听觉和绿色空间直接接触而产生心理恢复作用<sup>[26]</sup>;另一方面,绿地发挥间接作用,通过减少空气、噪声污染等环境暴露危害<sup>[27]</sup>、鼓励体力活动<sup>[28]</sup>、提高邻里交往水平<sup>[6,29]</sup>从而提升心理健康水平,目前对多种影响机制的中介路径还存在争议<sup>[25-26]</sup>,有必要进一步明确绿地和心理健康的关联路径及作用机制。

现有研究广泛探讨了城市绿地暴露对心理健康的影响特征要素和影响机制路径。然而,目前大部分以“绿化率”为核心的绿地暴露量化指标更多表征了客观环境的供给情况,并非直接反映人群在绿地中的动态暴露过程,也忽略了使用人群的绿色空间体验感知(绿地品质)。同时绿地产生健康效益的前提是将人暴露于环境中,现有学者主要探究的是静态环境对心理健康的作用,忽视了人群与环境交互的实际暴露水平,虽有部分研究开始关注这一动态关系,但仍处在发展初期,聚焦于动态暴露水平的测度,对动态暴露水平的健康效

益研究鲜少涉及,对相应的影响机制梳理还缺乏系统性分析。

基于以上问题,本文旨在探究居民的实际绿地暴露水平对其心理健康的影响,并比较静态空间环境与动态暴露水平对心理健康的影响程度差异,以进一步厘清客观环境-个体行为-健康效益的具体关系。研究筛选天津市多个典型社区,结合问卷和大数据,构建一种绿地暴露测度方法,提出暴露强度和接触深度指标,以同时衡量个体动态暴露过程和绿地环境品质对心理健康的作用。尤其在暴露强度测算部分,通过识别经过性和停留性暴露,充分考虑了个体日常活动全过程的暴露量,弥补了过往研究存在的测度片面、瞬时性的问题。接着引入“环境-生理-心理”、“环境-社会-心理”两条可能的关联路径进一步分析中介影响机制。研究结果以期健康为导向的绿地、社区规划提供科学参考和决策依据。

1 研究方法

1.1 研究区域

已有研究表明,不同的社区建成环境对居民心理健康影响存在差异<sup>[30]</sup>,为使研究更具有针对性,本文选取天津市绿地环境特征差异明显的三类社区开展实证研究(表 1),社区周边的绿地可得性、质量以及其他可替代的休闲娱乐设施均会影响居民的绿地使用行为。采用逐层选择的方式确定样本社区:先确定历史街道、公园或商业中心,再随机抽取样本社区,共选择 24 个典型社区,基本涵盖了天津市区内不同的社会经济背景和人口特征。就研究范围而言,居民为获得绿地服务所愿付出的时间成本相当于 10min 生活圈的步行距离<sup>[31]</sup>,因此研究选取各社区边界向外 800m 缓冲区作为绿地环境的分析范围。

表 1 典型社区名单

Table 1 List of typical communities in Tianjin

| 社区类型 Community type                              | 社区名称 Name                                    |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| A 老旧/历史街区型<br>Old/historic neighborhood          | 日升里、月桂园、颐海公寓、兴隆南里、志善里、兴河里、佛山里、临江里            |
| B 邻近综合绿地公园型<br>Neighborhood near city park       | 鲁能公馆、宁福里、龙滨园、福至里、富邦花园、天香水畔花园、芙蓉南里、金湾花园       |
| C 邻近大型商业中心型<br>Neighborhood near shopping center | 新世界花园、新汇华庭、邮电公寓、开封里、曲园、惠灵顿海上花苑、先春园泉春里、万顺温泉花园 |

1.2 数据来源与处理

本文主要数据来源为 2022 年 6—8 月在天津市 24 个社区开展的问卷调查,共发放问卷 720 份,最终获得有效问卷 712 份,问卷响应率为 98.89%,由于未响应的 8 份问卷占比极小且来自不同社区,视作无效问卷并剔除。问卷收集了受访者的家庭属性、心理和身体健康水平以及社会交往状况等信息,并请受访者填写了日常活动的步行时间和频次,使用绿地的停留时间和频次,用于测度居民绿地暴露水平。

研究使用天津市 2022 年 8 月的 Landsat 8 遥感影像提取归一化植被指数(NDVI),以示各社区周边的绿地情况并计算绿地率。通过百度地图 API 接口获取街景图片,利用基于深度学习全卷积网络(FCN)的视觉影像语义分割软件<sup>[32]</sup>测算街道绿视率。同时使用土地利用数据、建筑和路网数据等基础地理信息数据,构建社区建成环境指标。人口数据来自第七次全国人口普查和链家网获取的社区总户数。

1.3 变量选取与测度

1.3.1 因变量

本文以居民心理健康水平为因变量。既有研究中多用健康问卷(GHQ-20)<sup>[33]</sup>、抑郁症自我评价量表(CES-D)<sup>[34]</sup>、心理健康量表(SWEMWBS)<sup>[19,23]</sup>等收集被测者心理状态,本研究采用沃里克-爱丁堡心理健康(SWEMWBS)量表进行调查,总体得分范围为 7—35 分,分数越高,表明受访者心理健康水平越高。经检验,在本研究中,该量表的 Cronbach's  $\alpha$  系数为 0.896(>0.7),KMO 值为 0.850(>0.8),表明量表具有较好的信度且问卷结构效度良好。

### 1.3.2 自变量

自变量包括居民的个人家庭属性(年龄、性别、就业情况、家庭结构等)、社区建成环境(常住人口密度、建筑密度、容积率)和绿地环境暴露情况。

衡量绿地环境暴露情况的变量选取和测算方法详见表 2。本文将绿地暴露分为暴露强度和接触深度。暴露强度指标聚焦暴露的动态过程,关注接触频率和时间,分为个体访问绿地的停留性暴露强度和日常出行的经过性暴露强度,分别以绿地率和绿视率表征其暴露“浓度”。接触深度指标聚焦暴露过程的绿地质量,引入景观格局指数进行表征:景观生态学认为,城市中绿地斑块的形态、结构等会影响其生态和游憩价值<sup>[35]</sup>。规整的绿地可进入性较差;而形状复杂破碎的绿地接触边缘更曲折,可接触性和互动性更强。因此本文引入绿地/水域的破碎度和优势度衡量绿地环境的品质,表征居民对绿地环境的接触深度,指标利用 Fragstats 4.2 软件的移动窗口法计算而得。最后,纳入绿地可达性指标,以距受访者居住社区最近的公共绿地距离进行表征。

表 2 绿地环境暴露变量选择  
Table 2 Variables for greenspace exposure

| 类别<br>Type                      | 变量<br>Variable | 测算公式/方法<br>Calculation formula | 说明<br>Instructions                                                                                         |
|---------------------------------|----------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 绿地环境暴露情况<br>Greenspace exposure | 暴露强度           | 停留性暴露强度<br>( $E_{vi}$ )        | $E_{vi} = G_{vi} t_{vi} f_{vi}$<br>$G_{vi}$ 为个体出行 800m 范围内的平均绿地率, $t_{vi}$ 为个体在绿地中的停留时间, $f_{vi}$ 为使用绿地的频率 |
|                                 |                | 经过性暴露强度<br>( $E_{ui}$ )        | $E_{ui} = G_{ui} t_{ui} f_{ui}$<br>$G_{ui}$ 为个体出行 800m 范围内的平均绿视率, $t_{ui}$ 为个体步行时间, $f_{ui}$ 为日常步行出行的频率    |
|                                 | 接触深度           | 水域/绿地破碎度                       | Fragstats 4.2 软件<br>移动窗口法<br>用以描述景观斑块类型的破碎化和结构的复杂性,破碎度值越大表明景观空间结构越复杂                                       |
|                                 |                | 水域/绿地优势度                       | Fragstats 4.2 软件<br>移动窗口法<br>衡量某种用地斑块类型的重要程度,本文优势度用于衡量水域/绿地斑块较于其他用地斑块(居住、商业等)的优势情况,值越大优势越大                 |

### 1.3.3 中介变量

中介变量包括居民身体健康水平和社会交往情况。采用国际体力活动量表(IPAQ)中文版短卷和身体质量指数(BMI)衡量居民身体健康水平;社会交往情况通过李克特五级量表评价社区交往满意度,分数越高,受访者社会交往水平越高。

## 1.4 分析方法

### 1.4.1 描述性统计

对问卷结果和空间环境测度结果进行描述性统计,概述样本特征,通过均值、中位数、标准差等指标反映数据的中心趋势和离散程度,为后续分析奠定基础。

### 1.4.2 多层线性回归模型

鉴于本研究中变量存在个体和社区两个层级,并呈现嵌套特征,选用多层线性回归模型(Multilevel linear regression)来测度各层级自变量对心理健康的解释情况。空模型结果显示,组内相关系数(ICC)值为 0.213(>0.059),表明社区间的差异显著,有必要采用多层回归模型分析。该模型弥补了传统线性回归模型将分层数据纳入同一层次分析导致的组间差异平均化和估计偏差问题。本文选取 HLM 6.0 软件进行分析,采用随机截距模型,具体模型公式为<sup>[19]</sup>:

$$Y_{ij} = \alpha + \beta X_{ij} + \gamma Z_j + \mu_j + \varepsilon_{ij}$$

式中,个体  $i$  嵌套于社区  $j$  中;  $Y_{ij}$  表示居民心理健康水平得分;  $X_{ij}$  表示个体层级变量,包括绿地暴露强度和个体家庭属性;  $Z_j$  表示社区层级变量,包括绿地接触深度和社区建成环境;  $\beta$ 、 $\gamma$  分别为个体层级和社区层级变量的系数;  $\mu_j$ 、 $\varepsilon_{ij}$  分别为社区层级和个人层级的残差;  $\alpha$  为截距。

### 1.4.3 中介效应分析

根据中介变量在自变量和因变量间作用方式不同,多重中介效应可分为并行效应和链式效应<sup>[36]</sup>,本文主



要研究身体健康和社会交往二者作为中介变量相对独立作用的并行中介效应,采用逐步法<sup>[37]</sup>和 Sobel 法<sup>[38]</sup>进行中介机制的分析与检验。逐步法的模型公式如下:

$$M_{ij}=\alpha+\beta X_{ij}+\gamma Z_j+\mu_j+\varepsilon_{ij}$$
$$Y_{ij}=\alpha+\beta X_{ij}+\gamma Z_j+\varphi M_{ij}+\mu_j+\varepsilon_{ij}$$

式中, $M_{ij}$ 表示中介变量, $\varphi$ 为中介变量的系数。逐步法中若自变量与因变量之间存在显著相关性且自变量与中介变量存在显著相关性,控制中介变量后,自变量与因变量之间的相关性减弱或消失,则表明中介变量在自变量和因变量之间起到了中介作用。Sobel 检验中若  $P$  值显著 ( $<0.01$ ) 且  $Z$  值大于 1.65,则认为中介效应成立。

2 结果与分析

2.1 描述性统计结果

2.1.1 居民基础信息

受访居民的个人家庭属性特征统计见表 3。结果表明受访者以中年人(46.42%)为主;男女比例接近;从业人员占比较高(63.86%);以大专及以上学历者居多(44.24%);家庭结构以三口之家(35.20%)为主;家庭月收入介于 1—2 万元的受访者比例最高(45.79%)。

表 3 居民特征描述性统计  
Table 3 Descriptive statistics of resident characters

| 类别<br>Type                           | 变量<br>Variable | 说明<br>Instructions    | 均值或比率<br>Average value or ratio |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|
| 个人家庭属性<br>Personal family attributes | 年龄             | 18—30 岁               | 21.18%                          |
|                                      |                | 30—60 岁               | 46.42%                          |
|                                      |                | 60 岁以上                | 32.40%                          |
|                                      | 性别             | 男性                    | 50.78%                          |
|                                      |                | 女性                    | 49.22%                          |
|                                      | 就业情况           | 从业                    | 63.86%                          |
|                                      |                | 无业                    | 36.14%                          |
|                                      | 受教育程度          | 初中及以下                 | 25.23%                          |
|                                      |                | 高中                    | 30.53%                          |
|                                      |                | 大专、本科及以上              | 44.24%                          |
|                                      | 家庭结构           | 单身                    | 12.15%                          |
|                                      |                | 夫妻两人                  | 27.41%                          |
|                                      |                | 三口之家                  | 35.20%                          |
|                                      |                | 四口之家及以上               | 25.23%                          |
|                                      | 家庭月收入          | 小于 1 万元               | 20.56%                          |
|                                      |                | 1 万元—2 万元             | 45.79%                          |
|                                      |                | 2 万元—5 万元             | 29.91%                          |
|                                      |                | 5 万元以上                | 3.74%                           |
| 社会交往 Social interaction              | 社区人际关系满意度      | 取值范围 1—5, 值越高社会交往水平越高 | 2.71 (0.94)                     |
| 身体健康 Physical health                 | 身体健康水平         | 身体质量指数(BMI)           | 2.60 (0.51)                     |
|                                      |                | 体力活动量                 | 184.41 (104.51)                 |
| 心理健康 Mental health                   | 心理健康水平         | 心理健康量表(SWEMWBS)       | 25.50 (4.01)                    |

括号中数据为标准差

社会交往方面,受访居民的社区人际关系满意度整体一般,样本间差距较小(均值 2.71,标准差 SD = 0.94)。健康状况方面,受访者的 BMI 均值 2.60,属正常范围,且样本间差异小(SD = 0.51);体力活动量中等,但样本间差异较大(均值 184.41,SD = 104.51)。心理健康部分,SWEMWBS 量表均值为 25.50,表明受访者心

理健康水平一般,样本间差异较大( $SD=4.01$ )。

### 2.1.2 社区建成环境和绿地空间环境概况

24 个样本社区周边环境概况见表 4。建成环境方面,老旧/历史街区型社区人口密度和建筑密度均较高。邻近综合绿地的社区人口密度较低、建筑密度和容积率适中、建筑形式差异大(建筑密度  $SD=8.98$ )。邻近大型商业中心的社区以高层建筑为主,呈现高人口密度和高容积率特征。

表 4 样本社区空间环境概况

Table 4 Sample community surrounding environment profile

| 社区名称<br>Name                                  | 区属<br>District | 建成环境<br>Built environment     |                 |                | 绿地空间环境<br>Green space environment |                    |                |                   |                    |                 |                 |
|-----------------------------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                                               |                | 人口密度/<br>(人/hm <sup>2</sup> ) | 建筑密<br>度/%      | 容积率            | 水域<br>优势度                         | 水域<br>破碎度          | 绿地<br>优势度      | 绿地<br>破碎度         | 绿地可<br>达性/m        | 绿地<br>率/%       | 绿视<br>率/%       |
|                                               |                |                               |                 |                |                                   |                    |                |                   |                    |                 |                 |
| A 老旧/历史街区型 Old/historic neighborhood          |                |                               |                 |                |                                   |                    |                |                   |                    |                 |                 |
| 日升里                                           | 河北区            | 341.64                        | 26.67           | 1.60           | 0.09                              | 99.43              | 0.16           | 216.57            | 290.00             | 17.52           | 23.20           |
| 月桂园                                           | 河北区            | 490.87                        | 18.33           | 1.10           | 0.09                              | 99.43              | 0.16           | 222.95            | 164.00             | 17.12           | 24.10           |
| 颐海公寓                                          | 河北区            | 553.50                        | 21.43           | 1.50           | 0.08                              | 98.79              | 0.18           | 267.89            | 578.00             | 17.43           | 24.30           |
| 兴隆南里                                          | 和平区            | 942.60                        | 46.00           | 2.30           | 0.00                              | 0.00               | 0.02           | 7.74              | 305.00             | 9.16            | 28.60           |
| 志善里                                           | 和平区            | 1172.45                       | 26.67           | 1.60           | 0.00                              | 0.00               | 0.02           | 10.21             | 155.00             | 9.23            | 28.40           |
| 兴河里                                           | 和平区            | 1291.94                       | 30.00           | 1.80           | 0.09                              | 78.87              | 0.12           | 237.69            | 146.00             | 19.23           | 19.40           |
| 佛山里                                           | 河西区            | 534.71                        | 37.50           | 1.50           | 0.09                              | 97.89              | 0.13           | 205.70            | 240.00             | 20.35           | 19.10           |
| 临江里                                           | 南开区            | 5029.61                       | 40.00           | 1.70           | 0.09                              | 97.58              | 0.07           | 53.59             | 203.00             | 9.32            | 20.10           |
| 平均值 Mean value                                |                | 1294.66<br>(1447.84)          | 26.57<br>(0.11) | 1.64<br>(0.32) | 0.07<br>(0.04)                    | 71.50<br>(41.77)   | 0.11<br>(0.06) | 53.59<br>(152.79) | 260.13<br>(132.73) | 14.92<br>(0.05) | 23.40<br>(0.04) |
| B 邻近综合绿地公园型 Neighborhood near city park       |                |                               |                 |                |                                   |                    |                |                   |                    |                 |                 |
| 鲁能公馆                                          | 南开区            | 185.86                        | 11.80           | 2.95           | 0.11                              | 435.86             | 0.11           | 329.82            | 243.00             | 38.73           | 19.80           |
| 宁福里                                           | 南开区            | 254.89                        | 41.67           | 1.70           | 0.11                              | 435.86             | 0.16           | 399.19            | 150.00             | 36.71           | 21.50           |
| 龙滨园                                           | 南开区            | 395.05                        | 20.00           | 1.20           | 0.10                              | 178.51             | 0.14           | 356.79            | 116.00             | 38.54           | 19.20           |
| 福至里                                           | 河西区            | 1234.40                       | 24.32           | 1.50           | 0.09                              | 234.68             | 0.12           | 248.39            | 178.00             | 22.45           | 23.70           |
| 富邦花园                                          | 河西区            | 1064.21                       | 17.14           | 3.00           | 0.09                              | 224.58             | 0.11           | 282.46            | 118.00             | 22.58           | 23.80           |
| 天香水畔花园                                        | 南开区            | 471.82                        | 19.44           | 2.00           | 0.10                              | 162.34             | 0.10           | 337.29            | 128.00             | 26.93           | 22.10           |
| 芙蓉南里                                          | 南开区            | 819.46                        | 33.33           | 2.00           | 0.10                              | 163.76             | 0.10           | 346.89            | 150.00             | 26.41           | 21.90           |
| 金湾花园                                          | 河东区            | 840.08                        | 20.00           | 1.20           | 0.07                              | 0.00               | 0.08           | 226.75            | 152.00             | 26.54           | 19.30           |
| 平均值 Mean value                                |                | 658.22<br>(361.54)            | 23.46<br>(8.98) | 1.94<br>(0.66) | 0.10<br>(0.01)                    | 229.45<br>(136.62) | 0.12<br>(0.02) | 315.95<br>(54.59) | 154.38<br>(38.65)  | 29.86<br>(6.52) | 21.41<br>(1.72) |
| C 邻近大型商业中心型 Neighborhood near shopping center |                |                               |                 |                |                                   |                    |                |                   |                    |                 |                 |
| 新世界花园                                         | 和平区            | 439.30                        | 19.51           | 2.00           | 0.07                              | 0.00               | 0.06           | 11.06             | 213.00             | 11.16           | 14.30           |
| 新汇华庭                                          | 和平区            | 940.08                        | 11.53           | 3.71           | 0.07                              | 0.00               | 0.06           | 26.75             | 215.00             | 11.16           | 14.40           |
| 邮电公寓                                          | 南开区            | 734.40                        | 14.63           | 2.50           | 0.00                              | 0.00               | 0.08           | 20.50             | 486.00             | 11.05           | 14.50           |
| 开封里                                           | 和平区            | 4829.61                       | 6.36            | 1.40           | 0.08                              | 97.58              | 0.05           | 33.59             | 193.00             | 12.87           | 19.40           |
| 曲园                                            | 和平区            | 1520.61                       | 6.67            | 1.20           | 0.08                              | 96.90              | 0.05           | 12.34             | 418.00             | 11.92           | 21.60           |
| 惠灵顿海上花苑                                       | 红桥区            | 1097.02                       | 12.65           | 2.80           | 0.09                              | 102.54             | 0.09           | 208.24            | 353.00             | 21.84           | 14.80           |
| 先春园泉春里                                        | 红桥区            | 612.38                        | 10.42           | 2.50           | 0.09                              | 102.24             | 0.09           | 231.57            | 685.00             | 20.92           | 14.50           |
| 万顺温泉花园                                        | 河西区            | 1098.02                       | 12.53           | 2.10           | 0.10                              | 92.54              | 0.09           | 212.24            | 303.00             | 23.72           | 15.30           |
| 平均值 Mean value                                |                | 1408.93<br>(1330.27)          | 11.79<br>(3.98) | 2.28<br>(0.75) | 0.07<br>(0.03)                    | 61.48<br>(47.71)   | 0.07<br>(0.02) | 94.54<br>(95.57)  | 358.25<br>(157.58) | 15.58<br>(5.18) | 16.10<br>(2.62) |

括号中数据为标准差

绿地空间环境方面,如表 4、图 1 所示,各社区差异明显:邻近综合绿地公园型的社区水域和绿地的优势度、破碎度普遍较高,表明其景观质量优良且可接触性强;同时其绿地可达性(平均最小邻近距离 154.38m)和绿地率(均值 29.86%)最高,均表明该类社区绿地空间供给足、品质高。老旧/历史街区型社区绿地供给较

少;绿地品质较差且质量参差不齐(绿地破碎度均值 53.59,  $SD=152.79$ );但该类社区的街道绿视率普遍较高(均值 23.40%),由于其街道普遍呈“窄路密网”的特征,行道树更密集。邻近大型商业中心的社区情况与老旧/历史街区类似,绿地供给较少、质量较低、且绿视率也较低(均值 16.10%),整体绿地空间环境较差。

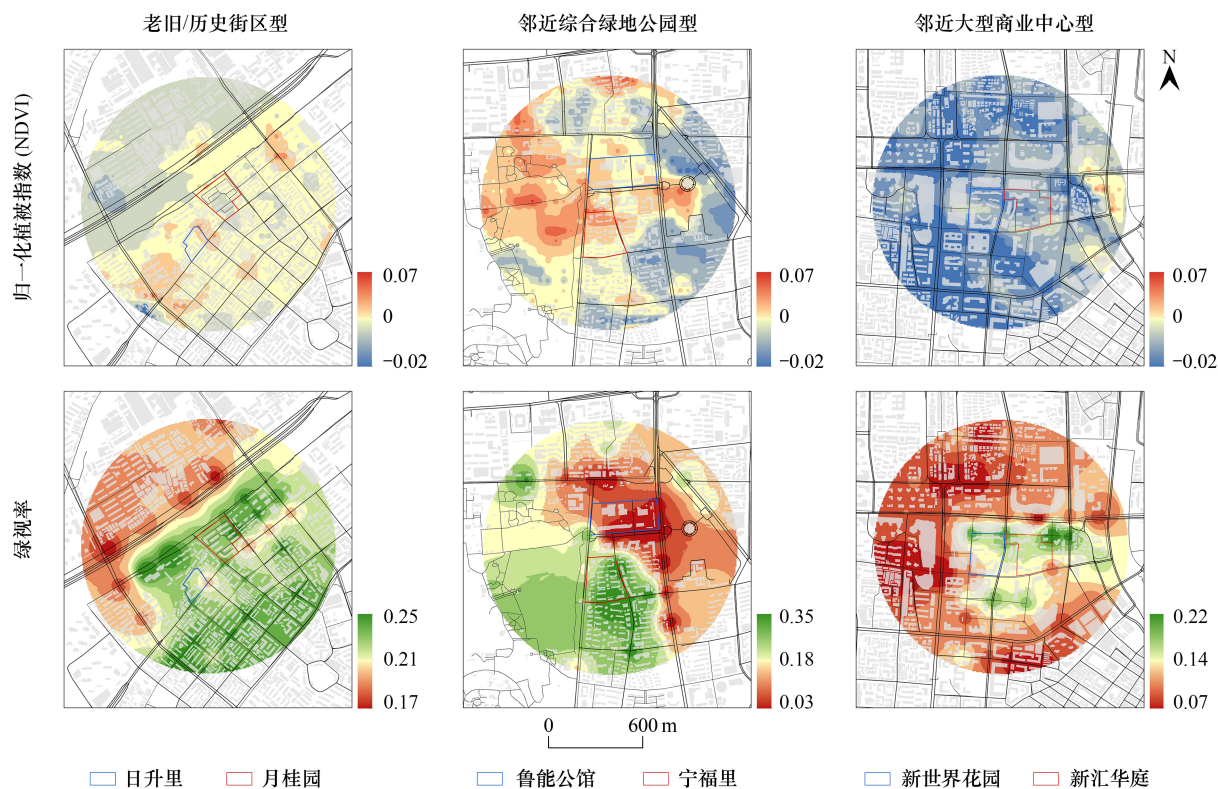


图1 三类社区归一化植被指数(NDVI)/绿视率示意

Fig.1 NDVI/Green looking ratio of three types of communities

研究社区的数量较多,受篇幅影响,仅展示三类社区中的部分社区

### 2.1.3 居民个体活动与社区绿地环境交互情况

如图2、图3所示,居民的绿地使用行为与社区周边的绿地环境存在一定关联。在绿地率较高的社区(图2中的B类社区),居民去绿地公园活动的频率往往更高,但在其中停留的时间会偏短,呈现“少量多次”的活动特点;而绿地率较低的社区则相反(图2中的A/C类社区),居民往往停留较长时间,但频率较低,推测可能与交通出行成本有关。而凭借简单的比对分析,无法明确居民日常出行的时长、频率与社区街道的绿视率是否有关(图3)。

## 2.2 回归分析结果

多层线性回归模型的结果见表5。其中,模型1的自变量采用空间环境体系(绿地率、绿视率等),衡量社区周边的静态绿地环境对心理健康的影响;模型2则采用个体与环境交互体系,衡量人群在绿地环境中的动态暴露过程对心理健康的影响。

模型1结果表明,空间环境方面,此次回归没有证据表明绿地率和绿视率与心理健康存在显著关联。但绿地优势度与之呈显著正相关( $\beta=29.9603, P<0.05$ ),即相较于供给数量,绿地质量更能影响居民的心理健康水平。绿地可达性( $\beta=-0.0063, P<0.001$ )和容积率( $\beta=-0.7685, P<0.001$ )与心理健康水平呈显著的负相关,即较长的绿地出行距离、较密集的居住环境会对心理健康水平产生负面影响。

模型2的结果表明,经过性( $\beta=0.2453, P<0.01$ )和停留性绿地环境暴露( $\beta=0.2390, P<0.01$ )均与居民心理健康水平显著正相关,即绿地暴露量的增加有助于居民心理健康水平的提升。同时,绿地接触深度也与心

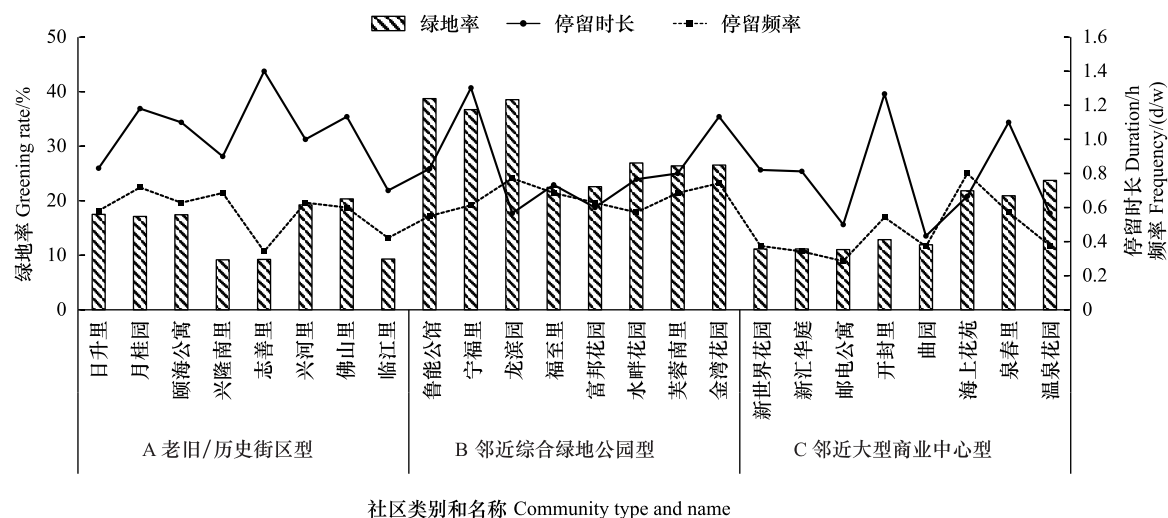


图2 各社区绿地率和居民平均停留时间、频率

Fig.2 Greening rate and average duration/frequency of stay in each community

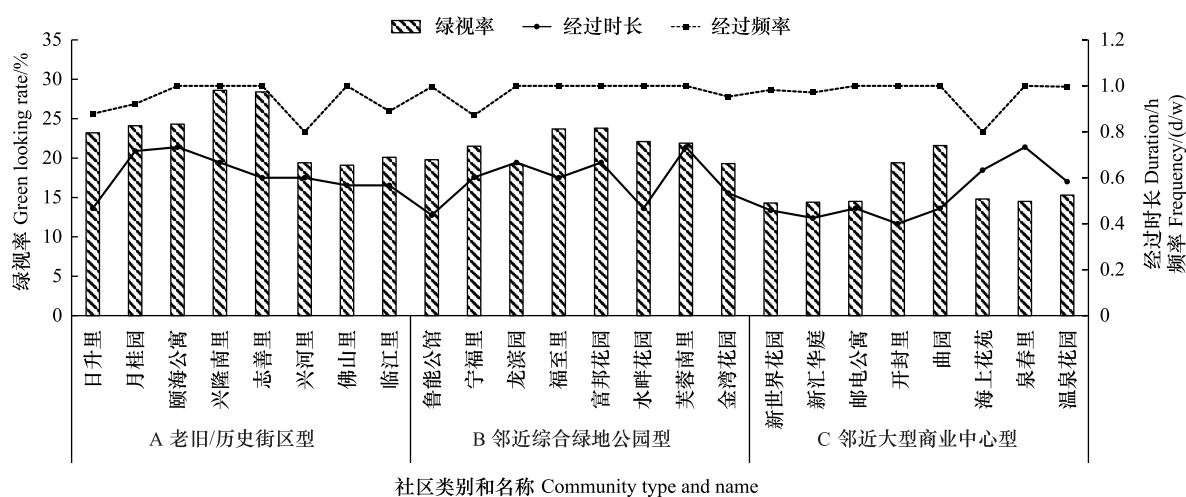


图3 各社区绿视率和居民平均经过时间、频率

Fig.3 Green looking rate and average duration/frequency of passage in each community

理健康水平显著相关;绿地优势度( $\beta=30.8734, P<0.01$ )和破碎度( $\beta=0.0088, P<0.01$ )与之显著正相关,即对心理健康具有正效益的绿地环境往往质量高、功能混合;水域破碎度与之显著负相关( $\beta=-0.0061, P<0.001$ ),即完整的水域更有助于居民心理健康状态的调整。可达性与容积率的结果与模型1基本一致,不再赘述。

比较模型1和模型2可知,绿地暴露强度与心理健康显著相关,但绿地空间供给情况与之不存在显著关联,说明绿地环境的心理健康效益作用于实际使用人群身上,衡量其健康影响应更关注个体与环境的交互作用(绿地暴露),而非仅依赖对环境供给的评估。其次,模型2的Deviance值(1600.3760)比起模型1(1678.5371)有所降低,表明模型2的拟合优度更好,比起静态的空间环境指标,动态的环境暴露指标更有解释力。同时模型1的空间环境属于社区层面变量,而心理健康属于个体层面变量,模型2将“暴露强度”自变量与心理健康因变量之间对齐了颗粒度,更好地反映了个体层面的变量关系。

### 2.3 中介效应分析结果

进一步探究模型2中各变量对心理健康的影响机制,表6展示了中介效应分析的结果。模型3、模型4检



验居民社会交往的中介效应;模型 5、模型 6 检验身体健康的中介效应。

表 5 居民心理健康水平的多层次线性回归模拟结果  
Table 5 Multilevel linear regression results of mental health

| 模型 1(自变量:空间环境体系)<br>Model 1 (independent variable: environment system) |                              |             |          | 模型 2(自变量:个体与环境交互体系)<br>Model 2 (independent variable: individual-environment interaction system) |         |             |         |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|---------|
| 类别 Type                                                                | 变量                           | 系数          | 标准误      | 类别 Type                                                                                          | 变量      | 系数          | 标准误     |
| 绿地供给情况<br>Greenspace supply                                            | 绿视率                          | -3.1726     | 7.8313   | 绿地暴露强度<br>Greenspace exposure                                                                    | 经过性环境暴露 | 0.2453 **   | 0.0807  |
|                                                                        | 绿地率                          | -6.7994     | 6.6995   |                                                                                                  | 停留性环境暴露 | 0.2390 **   | 0.0777  |
|                                                                        | 绿地品质情况<br>Greenspace quality | 水域优势度       | -11.4644 |                                                                                                  | 绿地接触深度  | 水域优势度       | -7.7979 |
|                                                                        | 水域破碎度                        | -0.0031     | 0.0030   |                                                                                                  | 水域破碎度   | -0.0061 *** | 0.0015  |
| 社区建成环境<br>Built environment                                            | 绿地优势度                        | 29.9603 *   | 11.1626  | 社区建成环境<br>Built environment                                                                      | 绿地优势度   | 30.8734 **  | 8.4747  |
|                                                                        | 绿地破碎度                        | 0.0115      | 0.0058   |                                                                                                  | 绿地破碎度   | 0.0088 **   | 0.0027  |
|                                                                        | 绿地可达性                        | -0.0063 *** | 0.0014   |                                                                                                  | 绿地可达性   | -0.0055 *** | 0.0012  |
|                                                                        | 常住人口密度                       | -0.0001     | 0.0001   |                                                                                                  | 常住人口密度  | -0.0001     | 0.0001  |
| 个人家庭属性<br>Personal family attributes                                   | 建筑密度                         | 0.3667      | 1.8516   | 个人家庭属性<br>Personal family attributes                                                             | 建筑密度    | 1.5387      | 1.9085  |
|                                                                        | 容积率                          | -0.7685 *** | 0.1768   |                                                                                                  | 容积率     | -0.8383 *** | 0.2000  |
|                                                                        | 年龄                           | 1.4374 **   | 0.5108   |                                                                                                  | 年龄      | 0.3310      | 0.6558  |
|                                                                        | 性别                           | 0.3444      | 0.4165   |                                                                                                  | 性别      | 0.3933      | 0.3330  |
| Deviance                                                               | 就业情况                         | -0.6619     | 0.4358   | Deviance                                                                                         | 就业情况    | 0.0043      | 0.4088  |
|                                                                        | 受教育程度                        | 0.7347 *    | 0.2932   |                                                                                                  | 受教育程度   | 0.6901 *    | 0.2723  |
|                                                                        | 家庭结构                         | 0.5553      | 0.4371   |                                                                                                  | 家庭结构    | 0.7140 *    | 0.2796  |
|                                                                        | 家庭月收入                        | 0.0600      | 0.2598   |                                                                                                  | 家庭月收入   | -0.0838     | 0.1734  |
| 社区数目 Community count                                                   |                              | 24          |          | 社区数目 Community count                                                                             |         | 24          |         |
| 样本量 Sample size                                                        |                              | 712         |          | 样本量 Sample size                                                                                  |         | 712         |         |

\*、\*\*、\*\*\* 分别表示  $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 、 $P<0.001$ ,所有模型使用了稳健标准误,下同;性别为分类变量,男性=1,女性=0;就业情况为分类变量,从业=1,无业=0;受教育程度为有序分类变量,初中及以下=1,高中=2,大专、本科及以上=3;家庭结构为有序分类变量,单身=1,夫妻两人=2,三口之家=3,四口之家及以上=4

对于社会交往情况,模型 3 结果表明,停留性绿地暴露 ( $P<0.001$ )、绿地破碎度 ( $P<0.05$ ) 和水域破碎度 ( $P<0.05$ ) 与社会交往显著相关。模型 4 结果显示,中介变量(社会交往)加入模型后,上述 3 个变量仍与心理健康显著相关 ( $P<0.05$ ),且社会交往与心理健康显著正相关 ( $\beta=1.2587, P<0.001$ )。进一步进行 Sobel 检验,结果见表 7, Sobel test 1 表明水域破碎度 ( $Z<1.65, P>0.01$ ) 对心理健康的影响不存在社会交往的中介效应;停留性环境暴露 ( $Z=3.0429, P<0.01$ ) 和绿地破碎度 ( $Z=2.6926, P<0.01$ ) 对居民心理健康的影响,存在社会交往的部分中介效应(两个变量在模型 2、模型 4 中均显著,说明中介变量只发挥了部分解释作用),即两者在一定程度上通过影响居民的社会交往情况,进而影响心理健康水平。城市绿地是居民重要的社交场所,优良的绿地质量和长时间的绿地活动有助于激发人群的活力,带动社会交往的积极性,从而改善人群心理健康。

对于身体健康水平,模型 5 结果显示,经过性和停留性环境暴露 ( $P<0.001$ )、绿地可达性 ( $P<0.05$ )、容积率 ( $P<0.01$ ) 与身体健康显著相关。模型 6 表明,中介变量(身体健康)加入模型后,经过性环境暴露与心理健康不再显著相关 ( $P>0.05$ );但其余上述变量仍然与之显著相关;同时身体健康与心理健康显著正相关 ( $\beta=0.0091, P<0.001$ )。Sobel 检验(表 7 Sobel test 2)表明,绿地可达性 ( $P>0.01$ ) 和容积率 ( $Z<1.65$ ) 对心理健康的影响不存在身体健康的中介效应。而经过性环境暴露 ( $Z=9.2773, P<0.01$ ) 对心理健康的影响,存在身体健康的完全中介效应(该变量在模型 2 中显著,在模型 6 中不显著,说明中介变量发挥了全部解释作用);停留性环境暴露 ( $Z=8.4337, P<0.01$ ) 则呈现出身体健康的部分中介效应。居民在绿色环境中行走、锻炼,有助于保持身体健康,释放压力,进而提升心理健康水平。

表 6 居民心理健康的中介效应检验结果  
Table 6 Mediating effect results of mental health

| 类别<br>Type                    | 变量<br>Variable | 模型 2 Model 2 |        | 模型 3 Model 3 |        | 模型 4 Model 4 |        | 模型 5 Model 5 |          | 模型 6 Model 6 |        |
|-------------------------------|----------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|----------|--------------|--------|
|                               |                | 系数           | 标准误    | 系数           | 标准误    | 系数           | 标准误    | 系数           | 标准误      | 系数           | 标准误    |
| 绿地暴露强度<br>Greenspace exposure | 经过性环境暴露        | 0.2453 **    | 0.0807 | 0.0247       | 0.0153 | 0.2142 ***   | 0.0622 | 15.0701 ***  | 1.0350   | 0.1081       | 0.0810 |
|                               | 停留性环境暴露        | 0.2390 **    | 0.0777 | 0.0406 ***   | 0.0107 | 0.1879 **    | 0.0661 | 4.5537 ***   | 0.3852   | 0.1977 *     | 0.0774 |
| 绿地接触深度<br>Greenspace contact  | 水域优势度          | -7.7979      | 7.9005 | -3.1347      | 2.6112 | -7.4364      | 7.6259 | -567.9926    | 279.2216 | -7.3436      | 7.7311 |
|                               | 水域破碎度          | -0.0061 ***  | 0.0015 | -0.0015 *    | 0.0007 | -0.0061 ***  | 0.0015 | -0.1207      | 0.0676   | -0.0061 ***  | 0.0015 |
| 社区建成环境<br>Built environment   | 绿地优势度          | 30.8734 **   | 8.4747 | 0.4742       | 2.8573 | 30.0001 **   | 8.4863 | -99.4614     | 325.0950 | 30.2572 **   | 8.5389 |
|                               | 绿地破碎度          | 0.0088 **    | 0.0027 | 0.0021 *     | 0.0010 | 0.0089 **    | 0.0028 | 0.2452       | 0.1347   | 0.0089 **    | 0.0028 |
| 中介变量<br>Mediator              | 可达性            | -0.0055 ***  | 0.0012 | -0.0002      | 0.0005 | -0.0053 ***  | 0.0012 | -0.0837 *    | 0.0384   | -0.0054 ***  | 0.0012 |
|                               | 常住人口密度         | -0.0001      | 0.0001 | 0.0000       | 0.0001 | -0.0001      | 0.0001 | -0.0094      | 0.0123   | -0.0001      | 0.0001 |
| Deviance                      | 建筑密度           | 1.5387       | 1.9085 | -0.5163      | 0.5588 | 1.6673       | 1.9306 | -130.3993 *  | 50.3755  | 1.6775       | 1.9307 |
|                               | 容积率            | -0.8383 ***  | 0.2000 | -0.1339      | 0.0649 | -0.8329 ***  | 0.1944 | -15.1832 **  | 4.1066   | -0.8423 ***  | 0.2022 |
| 社区数目<br>Community count       | 社会交往           |              |        |              |        | 1.2587 ***   | 0.2455 |              |          | 0.0091 ***   | 0.0008 |
|                               | 身体健康           |              |        |              |        |              |        |              |          | 1581.5105    |        |
| 样本量<br>Sample size            |                | 1600.3760    |        | 873.7935     |        | 1555.2475    |        | 3737.8266    |          | 24           |        |
|                               |                | 24           |        | 24           |        | 24           |        | 24           |          | 712          |        |
|                               |                | 712          |        | 712          |        | 712          |        | 712          |          | 712          |        |

表 7 Sobel 检验结果  
Table 7 Sobel test result

| 项<br>Items         | 检验 1 Sobel test 1 |           |           | 检验 2 Sobel test 2 |             |        |         |
|--------------------|-------------------|-----------|-----------|-------------------|-------------|--------|---------|
|                    | 停留性<br>环境暴露       | 水域<br>破碎度 | 绿地<br>破碎度 | 经过性<br>环境暴露       | 停留性<br>环境暴露 | 可达性    | 容积率     |
| Z                  | 3.0429            | -1.9800   | 2.6962    | 9.2773            | 8.4337      | 2.1453 | -3.5343 |
| 标准误 Standard Error | 0.0168            | 0.0009    | 0.0042    | 0.0148            | 0.0049      | 0.0004 | 0.0391  |
| P                  | 0.0023            | 0.0477    | 0.0070    | 0.0000            | 0.0000      | 0.0319 | 0.0004  |

3 讨论

本文从暴露科学视角出发,构建绿地暴露表征方程,提供一种创新的量化方法以衡量个体实际绿地暴露水平,推动环境暴露评估,特别是积极暴露评估方法的完善,为相关研究提供一定的理论参考价值。同时,全文综合考虑二维(绿地率)与三维(绿视率)、物质环境与个体行为、数量与质量等不同类型的影响因素,旨在将“人”纳入考量,探索“人本视角”的影响因素对心理健康的作用,所得结果证实了个体-环境交互过程对健康效益的关键作用,这与前人所证实的绿色视觉暴露<sup>[23]</sup>、绿地访问频率和主观感知<sup>[39]</sup>以及绿地质量<sup>[40]</sup>对心理健康促进作用更大等研究结果基本一致。在影响机制方面,本文证实身体健康与社会交往的中介作用,与前人研究的身体健康<sup>[23]</sup>、社会归属感<sup>[6,23]</sup>、地方依恋<sup>[19]</sup>等因子的中介效应结果吻合,并进一步证明了不同暴露因素的影响路径有所差异。

当前公众的心理健康水平是社会关注的重点议题,从城市绿地环境着手探索提高居民健康水平的路径已经成为环境心理学、城乡规划学、城市生态学等学科的关注重点。目前规划者大多由自上而下的角度进行城市建设,侧重空间“量”的满足和布局的合理性,忽视了人群的实际使用情况。健康导向的绿地和社区规划管理应充分考虑居民的需求和行为偏好,各有侧重地改善景观环境、丰富绿地功能,以推动有效、有益的绿地接触。同时本研究也为城市环境建设和改善提供新的视角和政策启示:需更加关注绿地作为城市基础设施的“健康效益”,推动政策由“指标导向”向“人本导向”转型,如从“绿地率”指标转为“300m 见绿、500m 入园”等更贴近居民活动行为的倡议,并根据不同的人群特征和活动偏好制定差异化的引导政策。同时鼓励公众自下而上参与绿地和社区管理,确保绿地环境的健康效应真正惠及人群。

本文存在以下研究不足:①研究主要依赖问卷数据,频率时长和心理健康等关键因素容易受数据的回忆偏差、社会期望偏差等影响;②在绿地暴露测度上,将环境“浓度”以平均化的绿地率和绿视率衡量,默认居民所处环境不变,但实际上绿地环境会随季节或活动的路径变化,且居民在其中接收绿色信息的敏感程度也不相同,如通勤和游憩对环境的敏感程度会有很大差别,因此测算结果并不能完全反映真实的暴露情况;③本文采用截面数据,仅能证实绿地暴露与心理健康的相关关系,无法识别因果关系。综上,未来研究中可聚焦于暴露科学视角,综合考虑暴露环境的动态变化和个体感知差异,利用监测技术明确活动轨迹、引入有效系数以明确感知差异,构建精准全面的暴露测度方法。同时可进一步探讨不同暴露途径或不同人群的健康作用机制差异。还可探究产生健康效应的最低暴露阈值,深入挖掘环境-暴露-人群健康的作用关系,为规划政策提供定量的科学指导。

4 结论

(1)居民的绿地使用行为与社区周边的绿地环境存在一定关联:绿地资源充足的社区,居民的绿地活动呈现出“少量多次”的特点。这说明环境会影响个体行为,也表明个体与环境并非独立因素,而是存在交互作用。

(2)比起单一的空间环境因素,个体与环境交互因素对居民心理健康的影响更显著:经过性和停留性绿地暴露均与心理健康显著正相关,而绿视率和绿地率这类环境因素却不能证明其直接的心理健康效益。环境

对健康的促进作用依赖于个体的实际暴露行为,在绿地规划和政策制定时,应基于居民的实际使用情况,注重城市绿地的健康效益提升,通过优化功能布局、美化景观、推行健康计划,鼓励居民积极参与绿地活动,提升健康水平。

(3) 绿地环境的景观品质与居民心理健康水平显著相关:品质高、斑块细碎的绿地空间和大面积完整的水域空间对心理健康具有正效益。绿地品质往往决定绿地空间对居民的吸引力,进而影响居民接触绿地的主动性和接触深度,在绿地建设和生态环境改善中,景观品质不容忽视,同时也可从品质入手,研究如何鼓励和提高人群与绿地的有效接触,进而增强绿地的健康效益。

(4) 居民的社会交往水平在停留性绿地暴露、绿地破碎度与居民心理健康的关系中发挥了部分中介作用;身体健康水平在停留性、经过性环境暴露与心理健康的关系中发挥了中介作用。城市绿地是居民重要的社交场所和锻炼场地,这要求在规划管理时不仅要关注其物质性,更要聚焦于它作为城市公共空间的社会性和所带来的健康效益,丰富绿地公共空间的功能、组织社区活动,促进居民活力。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 鲍海君,李灵灵. 国土空间规划视角下的健康城市规划评价指标体系研究. 生态学报,2024,44(10): 4081-4091.
- [ 2 ] 周燕,刘梦瑶,苟翡翠. 城市蓝绿空间对居民心理健康影响的研究进展评述. 园林,2023,40(6): 12-20.
- [ 3 ] 杨雨凡,陈美爱,徐丽华. 基于文献计量的城市自然与人群健康效应研究进展. 生态学报,2024,44(14): 6391-6404.
- [ 4 ] Bertram C,Rehdanz K. The role of urban green space for human well-being. Ecological Economics,2015,120: 139-152.
- [ 5 ] Wang R Y,Helbich M,Yao Y,Zhang J B,Liu P H,Yuan Y,Liu Y. Urban greenery and mental wellbeing in adults: cross-sectional mediation analyses on multiple pathways across different greenery measures. Environmental Research,2019,176: 108535.
- [ 6 ] Cardinali M,Beenackers M A,Fleury-Bahi G,Bodénan P,Petrova M T,van Timmeren A,Pottgiesser U. Examining green space characteristics for social cohesion and mental health outcomes: a sensitivity analysis in four European Cities. Urban Forestry & Urban Greening,2024,93: 128230.
- [ 7 ] Zhang J G,Yu Z W,Zhao B. Impact mechanism of urban green spaces in promoting public health: theoretical framework and inspiration for practical experiences. Landscape Architecture Frontiers,2020,8(4): 104.
- [ 8 ] Liu Z Q,Chen X M,Cui H H,Ma Y X,Gao N,Li X Y,Meng X Y,Lin H S,Abudou H,Guo L Q,Liu Q. Green space exposure on depression and anxiety outcomes: a meta-analysis. Environmental Research,2023,231: 116303.
- [ 9 ] 董玉萍,刘合林,齐君. 城市绿地与居民健康关系研究进展. 国际城市规划,2020,35(5): 70-79.
- [ 10 ] Wood L,Hooper P,Foster S,Bull F. Public green spaces and positive mental health-investigating the relationship between access,quantity and types of parks and mental wellbeing. Health & Place,2017,48: 63-71.
- [ 11 ] Beute F,Marselle M R,Olszewska-Guizzo A,Andreucci M B,Lammel A,Davies Z G,Glanville J,Keune H,O'Brien L,Remmen R,Russo A,de Vries S. How do different types and characteristics of green space impact mental health? A scoping review. People and Nature,2023,5(6): 1839-1876.
- [ 12 ] Ha J,Kim H J,With K A. Urban green space alone is not enough: a landscape analysis linking the spatial distribution of urban green space to mental health in the city of Chicago. Landscape and Urban Planning,2022,218: 104309.
- [ 13 ] Yu Z W,Yang G Y,Lin T,Zhao B,Xu Y Y,Yao X H,Ma W Y,Vejre H,Jiang B. Exposure ecology drives a unified understanding of the nexus of (urban) natural ecosystem,ecological exposure,and health. Ecosystem Health and Sustainability,2024,10: 0165.
- [ 14 ] 杨高原,余兆武,张金光,刘红晓,金贵,居阳,洪波,赵卓慧,张理卿,姚希哈,马文娟,熊浚祺,邵钰涵,姜斌. 暴露生态学视角下绿地暴露健康效益研究进展与展望. 生态学报,2024,44(14): 5914-5924.
- [ 15 ] 吝涛,曾志伟,姚霞,耿红凯,余兆武,王兰,林美霞,张浚茂,郑毅诚. 城市绿地暴露与人群健康效应研究. 生态学报,2023,43(23): 10013-10021.
- [ 16 ] 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. 风景园林,2022,29(10): 26-31.
- [ 17 ] Yu Z W,Ma W Y,Hu S Y,Yao X H,Yang G Y,Yu Z W,Jiang B. A simple but actionable metric for assessing inequity in resident greenspace exposure. Ecological Indicators,2023,153: 110423.
- [ 18 ] Yoo E H,Roberts J E,Eum Y,Li X J,Konty K. Exposure to urban green space may both promote and harm mental health in socially vulnerable neighborhoods: a neighborhood-scale analysis in New York City. Environmental Research,2022,204: 112292.
- [ 19 ] 吴蓉,潘卓林,刘晔,李志刚. 城市街景绿地对居民心理健康的影响——以广州为例. 地理研究,2021,40(8): 2272-2291.
- [ 20 ] Wang Z L,Cheng H B,Li Z G,Gou F C,Zhai W Y. Can green space exposure enhance the health of rural migrants in Wuhan,China? An exploration



- of the multidimensional roles of place attachment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2024, 93: 128228.
- [21] Xie X H, Zhou H Z, Gou Z H. Dynamic real-time individual green space exposure indices and the relationship with static green space exposure indices: a study in Shenzhen. *Ecological Indicators*, 2023, 154: 110557.
- [22] Yu C D, Kwan M P. Dynamic greenspace exposure, individual mental health status and momentary stress level: a study using multiple greenspace measurements. *Health & Place*, 2024, 86: 103213.
- [23] 李智轩, 何仲禹, 张一鸣, 金霜霜, 王雪梅, 朱捷, 刘师岑. 绿色环境暴露对居民心理健康的影响研究——以南京为例. *地理科学进展*, 2020, 39(5): 779-791.
- [24] Thompson D A, Fry R, Watkins A, Mizen A, Akbari A, Garrett J, Geary R, Lovell R, Lyons R A, Nieuwenhuijsen M, Rowney F, Stratton G, Wheeler B, White M, White J, Williams S, Rodgers S E. Exposure to green-blue spaces and mental health: a retrospective e-cohort study in Wales. *The Lancet*, 2021, 398: S85.
- [25] Chen K L, Zhang T Z, Liu F Y, Zhang Y J, Song Y. How does urban green space impact residents' mental health: a literature review of mediators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(22): 11746.
- [26] 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. *风景园林*, 2022, 29(3): 79-85.
- [27] 杨冰慧, 陈烨. 城市绿地雾霾对老年人行为决策与身心健康的影响. *生态学报*, 2022, 42(9): 3782-3793.
- [28] Xia Q F, Qin G Y, Liu Q, Hu Y Z. Green space exposure and Chinese residents' physical activity participation: empirical evidence from a health geography perspective. *Frontiers in Public Health*, 2024, 12: 1430706.
- [29] Dadvand P, Hariri S, Abbasi B, Heshmat R, Qorbani M, Motlagh M E, Basagaña X, Kelishadi R. Use of green spaces, self-satisfaction and social contacts in adolescents: a population-based CASPIAN-V study. *Environmental Research*, 2019, 168: 171-177.
- [30] 许婧雪, 谌丽, 张文忠. 建成环境是否影响居民健康生活方式——基于北京 22 个社区的实证分析. *地理科学进展*, 2021, 40(4): 660-670.
- [31] 余思奇, 朱喜钢, 刘风豹, 孙洁, 吴言. 社会公平视角下城市公园绿地的可达性研究——以南京中心城区为例. *现代城市研究*, 2020, 35(8): 18-25.
- [32] Yao Y, Liang Z T, Yuan Z H, Liu P H, Bie Y P, Zhang J B, Wang R Y, Wang J L, Guan Q F. A human-machine adversarial scoring framework for urban perception assessment using street-view images. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019, 33(12): 2363-2384.
- [33] Dong H W, Qin B. Exploring the link between neighborhood environment and mental wellbeing: a case study in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 164: 71-80.
- [34] 邱婴芝, 陈宏胜, 李志刚, 王若宇, 刘晔, 覃小菲. 基于邻里效应视角的城市居民心理健康影响因素研究——以广州市为例. *地理科学进展*, 2019, 38(2): 283-295.
- [35] 刘滨谊, 吴敏. 基于空间效能的城市绿地生态网络空间系统及其评价指标. *中国园林*, 2014, 30(8): 46-50.
- [36] 方杰, 张敏强, 李晓鹏. 中介效应的三类区间估计方法. *心理科学进展*, 2011, 19(5): 765-774.
- [37] Baron R M, Kenny D A. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1986, 51(6): 1173-1182.
- [38] Sobel M E. Asymptotic confidence intervals for indirect effects in structural equation models. *Sociological Methodology*, 1982, 13: 290.
- [39] Yang W Y, Yang R Y, Li X. A canonical correlation analysis study on the association between neighborhood green space and residents' mental health. *Journal of Urban Health*, 2023, 100(4): 696-710.
- [40] Park H, Brown C D, Pearson A L. A systematic review of audit tools for evaluating the quality of green spaces in mental health research. *Health & Place*, 2024, 86: 103185.