

王兰 WANG Lan

同济大学建筑与城市规划学院副院长、教授、博士生导师

The vice-dean, professor and doctoral supervisor in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University

王兰, 蒋希冀, 汪子涵, 安妮·韦尔内斯·穆登. 绿色空间对呼吸健康的影响研究综述及综合分析框架 [J]. 风景园林, 2021, 28 (5) : 10-15.

## 绿色空间对呼吸健康的影响研究综述及综合分析框架

# A Review of Researches on the Impact of Green Space on Respiratory Health and Its Comprehensive Analysis Framework

王兰 蒋希冀 汪子涵 (美) 安妮·韦尔内斯·穆登\*

WANG Lan, JIANG Xiji, WANG Zihan, (USA) Anne Vernez Moudon\*



中图分类号: TU986

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2021)05-0010-06

DOI: 10.14085/j.fjyl.2021.05.0010.06

收稿日期: 2021-02-22

修回日期: 2021-03-26

王兰 / 女 / 博士 / 同济大学建筑与城市规划学院副院长、教授、博士生导师 / 健康城市实验室主任 / 研究方向为健康城市规划与设计、城市更新、新城规划与开发

WANG Lan, Ph.D., is the vice-dean, professor and doctoral supervisor in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University, and director of Healthy City WLAN Lab. Her research focuses on planning and design for healthy cities, urban regeneration, new town planning and development.

蒋希冀 / 男 / 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与设计

JIANG Xiji is a Ph.D. candidate in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University. His research focuses on planning and design for healthy cities.

汪子涵 / 女 / 同济大学建筑与城市规划学院在读硕士研究生 / 研究方向为健康城市规划与设计

WANG Zihan is a master student in the College of Architecture and Urban Planning (CAUP), Tongji University. Her research focuses on planning and design for healthy cities.

(美) 安妮·韦尔内斯·穆登 / 女 / 博士 / 美国华盛顿大学建成环境学院教授 / 研究方向为城市形态分析、邻里与街道设计以及积极出行与健康

通信作者邮箱 (Corresponding author Email): moudon@uw.edu

(USA) Anne Vernez Moudon, Ph.D., is a professor in the College of Built Environments, the University of Washington, America. Her research focuses on urban form analysis, neighborhood and street design, and active travel and health.

**摘要:** 绿色空间具备重要的健康干预作用, 其中对呼吸系统的健康影响逐渐受到关注。基于 Web of Science 核心数据库, 遴选了 2000—2020 年针对绿色空间与呼吸健康相关关系开展实证研究的英文文献, 采用文献计量方法探析知识网络关系现状; 辨析了聚合性和个体性 2 类研究的主要特点。研究发现 2 类研究均缺乏纵向维度分析和影响路径分析; 同时, 城镇整体层面的研究采用的绿色空间测度指标单一, 城镇内部层面的研究对微观层面绿色空间特征的关注均显不足等。基于此, 建构了一个绿色空间对呼吸健康影响的综合分析框架, 并提出未来研究可拓展的分析对象、测度指标和分析方法。

**关键词:** 绿地; 健康城市; 健康结果; 呼吸系统; 定量分析

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目 (编号 41871359, 52078349)

**Abstract:** Green space plays an important role in health intervention. Its impact on the health of the human respiratory system is attracting more attention. This paper collects literature in English from 2000 to 2020 in the Web of Science core database to explore the relationship between green space and respiratory health. It applies the bibliometric method to analyze the status of knowledge network relations, and main characteristics of the studies based on aggregation and individuality. It discovers that these two types of studies both lack longitudinal dimension analysis and influential path analysis. Meanwhile, studies at the overall city and town level need to comprehensive measures, and studies focusing on internal spatial unites of cities and towns need pay more attention to micro-features of green space. The paper develops a comprehensive analytical framework for the impact of green space on respiratory health based on the analysis, with proposing analytical subjects, measurements and analytical methods for future studies.

**Keywords:** green land; healthy city; health outcome; respiratory system; quantitative analysis

**Fund Items:** General Program of the National Natural Science Fund of China (No. 41871359, 52078349)

绿色空间具有显著的健康促进作用。大量研究证实, 绿色空间对多种疾病的预防和治疗具有正面积积极效应, 包括呼吸系统疾病<sup>[1-2]</sup>、肥胖<sup>[3-4]</sup>、心血管疾病<sup>[5-6]</sup>、糖尿病<sup>[7-8]</sup>、抑郁症<sup>[9]</sup>和焦虑<sup>[10]</sup>等。影响绿

色空间健康促进作用的主要特征包括: 绿地规模与布局、可达性<sup>[11]</sup>和舒适性<sup>[12]</sup>等; 影响路径可归纳为: 减少健康风险暴露、促进健康行为以及提供心理恢复能力 3 个主要路径。要素特征及其作用路径之间存在

在着复杂的交互关系<sup>[13]</sup>。

绿色空间可以为呼吸系统健康提供正面积极效应,包括净化空气<sup>[4]</sup>、缓解热岛效应<sup>[8,14]</sup>和促进体力活动<sup>[15]</sup>。世界卫生组织(World Health Organization, WHO)下属的国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)明确了室外空气污染是一级致癌因素,每年大约有700万人因空气污染而过早死亡<sup>[6]</sup>。绿色空间具有滞尘和净化空气的能力<sup>[4]</sup>,可在一定程度上减轻空气污染对呼吸系统的危害;也为居民体力活动提供可能性<sup>[15]</sup>,通过促进锻炼而改善呼吸系统机能<sup>[17]</sup>。同时也需要关注绿色空间可能对呼吸健康起到的负面影响,如可能引发哮喘等呼吸系统疾病、增加人群在污染环境中活动的暴露风险等。

当前,呼吸系统疾病发病率日益增加;2017年全球慢性呼吸系统疾病患病人数比1990年增加了39.8%,达到5.449亿人<sup>[18]</sup>。因此亟待深入探究绿色空间对呼吸健康的影响机制。笔者以研究绿色空间对呼吸健康影响的英文实证文献为分析对象,采用知识图谱分析关键词的网络关系,辨析聚合性研究(aggregate study)和个体性研究(individual study)在变量选取、分析方法和结论等方面的主要特点,提出有待未来研究优化完善的内容、持续拓展的方向以及分析框架构想,以期对呼吸健康导向下绿色空间研究提供基础和线索,进而指导规划设计实践。

## 1 数据来源和基础数据分析

基于Web of Science核心合集数据库(Core Collection Database),本研究选取“绿色空间”相关关键词(例如green space、green land、greenness、park),“呼吸健康”相关关键词(例如respiratory health、respiratory disease、lung cancer、chronic obstructive pulmonary disease、asthma、pulmonary tuberculosis、tracheitis)组合进行主题检索,搜索范围为2000年1月—2020年10月的英文文章、书籍或书籍章节。在人工排除质性研究和研究核心内容存在偏差的文献后,最终得到37篇定量实证英文文献,作为研究的分析基础。本

主题下第一篇定量实证文献于2008年发表在《柳叶刀》(Lancet)上,探讨了英格兰居民的绿色空间暴露与全因死亡率和特定病因死亡率(包括肺癌)的相关性<sup>[19]</sup>。随后自2015年开始,此领域发文数量明显上升。

本研究运用CiteSpace软件开展计量分析得到关键词共现图谱(图1)。其中空气污染和体力活动共现频次<sup>①</sup>最高,说明这2个中介变量在绿色空间—呼吸健康相关性研究中探讨最多。哮喘、鼻炎和肺癌是共现频次较高的呼吸健康疾病类型,说明绿色空间可能对这些呼吸系统疾病的影响更大。网络中心节点(中介中心性<sup>②</sup>>0.1)既是重要研究主题,也起着连接不同研究热点的关键作用;包括环境(0.25)、心理健康(0.24)、关联性(0.19)、暴露(0.17)、儿童(0.17)、空气污染(0.16)、建成环境(0.15)、哮喘(0.13)和健康获益(0.12)等。

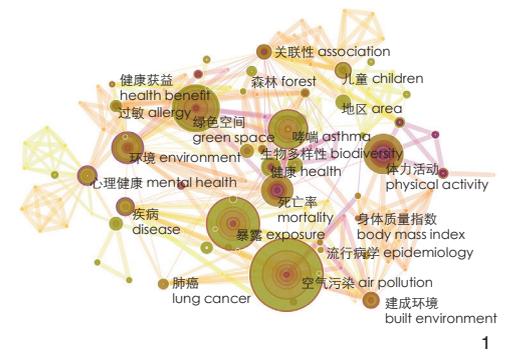
纳入分析的定量实证研究可被归纳为聚合性研究和个体性研究2类。其中,聚合性研究以群体(区域/群落)为分析单元,多使用常规统计和监测数据作为分析基础<sup>[20]</sup>,其空间尺度多为城市、社区或特定统计单元;个体性研究则是以个人为分析对象,关注在一个明确界定的群体中的个体差异<sup>[21]</sup>,如住房周边环境、暴露情况、患病表现等,有助于对人本尺度的微观环境开展更为细致的分析。本研究在这2个维度下分析既有研究,辨析不同尺度和健康数据来源下的绿色空间要素对呼吸健康的影响,包括在绿色空间特征测度、呼吸健康结果表征以及分析结论等方面表现出的特征与差异。

## 2 呼吸健康聚合性研究

目前聚合性实证研究关注中微观尺度,包括城市和乡镇、基本统计单元或网格;暂缺宏观尺度(如区域、国家层面)研究。案例多集中在欧洲、北美和东亚地区,当下研究均采用横截面分析方法。

### 2.1 城镇整体

已有研究以城镇整体作为研究对象,分析了绿色空间和呼吸健康之间的相关性,采用总体规模指标来表征绿色空间特征,数据



1 “绿色空间—呼吸健康”相关文献关键词共现图谱  
Mapping of keyword co-occurrence pertinent to “green space — respiratory health” literature

源自官方土地使用数据库<sup>[22-23]</sup>或高分辨率遥感数据<sup>[24]</sup>。其中,有2类空间分析对象:一类为重要城市或城市地区,在空间上往往不连续,相关数据基于城市总体进行聚合或识取;另一类是覆盖研究区域的城镇级行政管理单元,空间上连续完整。

以城市为整体对象,相关研究采用绿地率指标开展与肺癌死亡率的关联分析,结果均表明绿地率与肺癌死亡率之间不存在显著关联<sup>[22-24]</sup>。而在行政单元层面,虽然目前相关实证研究仅在中国台湾地区开展,文章数量较少,但研究结论显示出归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)对呼吸健康的显著积极影响。例如, Lee等<sup>[2]</sup>对台湾地区所有人群的分析发现,NDVI的单位增量与肺癌死亡率和总体呼吸系统疾病死亡率的降低有关。又如, Hsieh等<sup>[25]</sup>的分析发现,台湾地区青少年的NDVI暴露量(除了最高绿色暴露水平81%~100%外)与哮喘发生风险呈现显著负相关关系。

### 2.2 城镇内部

另一类聚合性研究则关注更小的城镇内部空间单元,主要包括基础统计单元和特定几何网格单元。人口普查区是常用的基础统计空间单元,有助于在分析模型中保持各种数据的空间范围一致性,例如社会经济数据<sup>[5,7,26]</sup>;而特定几何网格单元使用相对较少,因为常需采用空间插值方法开展数据的空间预处理<sup>[1]</sup>。这一尺度的研究关注的绿色空间特征丰富(如几何形态和结构特征等),同时相关研究采用肺癌、慢性阻塞性肺病和哮喘等多类呼吸系

统疾病的患病率或死亡率作为健康结果指标。

学者们对绿色空间规模与呼吸健康的相关性开展了多项研究，采用的测度指标不同，其结论存在不一致性。例如，Wang 等<sup>[27]</sup>以上海街道为统计单元，发现肺癌发病率在空间上呈现差异性分布；这种总体差异特征中的 5% 可以被绿地面积占比指标所解释。Servadio 等<sup>[28]</sup>在亚特兰大大都市区以人口普查区为空间分析单位发现，在污染暴露较为严重的环境中，树冠覆盖率越高，慢性阻塞性肺病等患病率越高；Xu 等<sup>[8]</sup>基于香港的最小规划统计区（Tertiary Planning Unit, TPU）的统计分析得到 NDVI 与肺癌死亡率无关的结论。挪威奥斯陆的实证研究发现哮喘发病率与其最小统计单元（circuit）尺度下的植被覆盖绿色度（vegetation cover greenness, VCG）和土地使用绿色度（land use greenness, LUG）之间没有显著联系<sup>[7]</sup>。

同时，相关研究结论在不同人群和病种间也呈现差异性。有学者开展了针对男性和女性分组的实证研究，发现英国人口普查统计区尺度下的绿地率<sup>[28]</sup>和香港最小规划统计区尺度下的 NDVI<sup>[8]</sup>对男性呼吸系统疾病总体死亡率的降低作用比对女性明显；而对于肺癌死亡率而言，Richardson 等<sup>[28]</sup>在英国的研究显示，人口普查区尺度下的绿地率与男性的肺癌死亡率无关，与女性显著相关。在绿色空间规模特征之外，聚合性研究证实与呼吸健康显著相关的结构特征包括树木密度（tree density）和叶面积指数<sup>[9]</sup>，而并未明确反映几何形态的指标（如内聚指数、斑块密度和形状指数等）对呼吸健康的显著作用<sup>[1]</sup>。

总体而言，聚合性研究体现出 3 个方面主要特点。1) 从绿色空间指标来看，城镇层面相关研究主要采用绿色空间的规模特征指标（包括绿地率和 NDVI），而基于基础统计单元的研究所选取的表征指标则更为多元；除了总体规模特征以外，绿色空间的几何形态（如内聚指数、斑块密度和形状指数）和结构特征（如树木密度、叶面积指数）也是研究关注点。2) 从研究结论来看，不同空间尺度的实证研究结果不一。以城市为整体对象的实证研究结论显示绿色空间规模对呼吸健康不存在明显影响，而行政单元尺度的相关研究则呈现

显著相关性；基于城镇内部空间单元的研究分析得到的绿色空间规模指标与不同呼吸健康结果、人群之间存在明显关联差异，且已有少数研究证实其结构特征具有显著呼吸健康影响。这说明未来研究应当重视分析空间尺度效应和群体差异，并探究绿色空间的规模特征与结构特征对居民呼吸健康可能造成的复合影响。3) 从研究方法来看，研究主要采用回归统计模型（如泊松回归、负二项式回归、逻辑回归和广义增强混合模型等），也有研究运用偏最小二乘法和结构方程模型，能够揭示特定健康影响的作用路径<sup>[1]</sup>。因此，未来研究有待革新分析方法与技术，这将能有效提升研究归因能力和对影响路径的解释力。

### 3 呼吸健康个体性研究

针对个体开展的定量实证研究所关注的呼吸健康结果类型较为丰富，既包括慢性呼吸系统疾病（如肺癌、慢性阻塞性肺疾病），也涵盖特定急性呼吸系统疾病（如哮喘），还将一些生理状态（如肺功能、打喷嚏、喘息）作为表征指标。根据其数据获取方式，研究可分为基于仪器测量、健康报告和既有健康数据库 3 类。

#### 3.1 基于仪器测量

采用仪器测量肺功能表征指标多被运用在多截面研究和实验性研究中。具体表征指标包括用力肺活量（forced vital capacity, FVC）和第一秒用力呼气量（forced expiratory volume in the first second, FEV1）。例如，Fuentes 等<sup>[29]</sup>测度了 7 000 多名居民在 8、15 和 24 岁 3 个年龄测到的肺活量，同时基于家庭地址周围特定缓冲区内 NDVI 计算得到生存期绿色指标（lifetime greenness），对两者进行线性回归分析发现，生活在有更多植被地方的儿童肺功能往往更好，但存在提高哮喘发生的可能性。Sinharay 等<sup>[29]</sup>在《柳叶刀》上发表关于老年群体（135 名）在不同交通污染环境行走对呼吸和心血管健康影响的研究，对比了城市公园和交通流量较大地区的影响差异。该实验使用精密仪器实时测度了颗粒物浓度、温度、相对湿度、噪声水平等环境因素，并在受试者步行结束后测量了 FVC、FEV1 和脉搏波速度

（pulse wave velocity, PWV）等指标；在运用随机效应和线性混合效应模型分析后发现，空气污染会抵消运动对心肺功能带来的益处。

可见，采用肺功能指标测度能够反映出环境对人体呼吸健康的实时影响，能够测度的城市环境和生理指标更为丰富。同时，这类研究还可以对混淆因素（如哮喘）和混合效应（如污染暴露和运动）进行详细分析。

#### 3.2 基于健康报告

基于问卷调查获取个体呼吸健康数据的研究数量较多，可收集更微观的绿色空间表征指标，如居住地与绿色空间的距离<sup>[30-31]</sup>、基于绿化程度和邻里绿地使用情况的评分<sup>[32]</sup>、树木密度<sup>[33]</sup>以及植被群落和树种特征<sup>[4]</sup>，这将有利于为邻里规划与景观设计提供具体指导。但自评健康通常被认为存在主观性偏差<sup>[34-35]</sup>。

同时，纳入分析的健康结果以哮喘居多，其他病种也很丰富，包括肺炎、支气管炎、鼻炎、特定呼吸道症状（如喘息、流鼻涕、湿疹）等。从研究结论来看，针对哮喘的实证分析结果不一。有学者研究发现以住宅为中心 200 m 半径范围和家庭园艺区域中的绿地面积越大，哮喘发生的概率越低<sup>[36]</sup>；而在立陶宛考纳斯市针对 4~6 岁儿童的实证分析得到了相反的结果（即以住宅为中心的 100 m 半径范围的绿地面积越大，儿童哮喘发生率越高）<sup>[37]</sup>；在中国苏州开展的中学生问卷调查分析显示 NDVI 与哮喘发生不存在显著关联<sup>[38]</sup>。对于其他类别的呼吸健康疾病或症状，特定范围内的绿地面积基本表现为显著正相关关系<sup>[31, 39]</sup>；有研究发现居住地与绿色空间的距离与变应性鼻结膜炎发病率的关联性不显著<sup>[30]</sup>，而与苏州实证研究中的肺炎、鼻炎和湿疹的发病率呈现显著负相关关系<sup>[38]</sup>。

在分析方法方面，此类研究多采用逻辑回归、多元线性回归以及广义方程模型，也有采用特定研究设计和分析模型来解析绿色空间对呼吸健康的作用路径。例如，Wu 等<sup>[4]</sup>采用多假设分析模型，分别将表征植被覆盖、植被群落结构、叶片习性和植被 PM<sub>2.5</sub> 吸附能力的特征指标，以及潜在交互影响项放入模型，证实了绿色植被通过降低 PM<sub>2.5</sub> 对居民呼吸健康起到积极效果，植被群落结构是这一效果

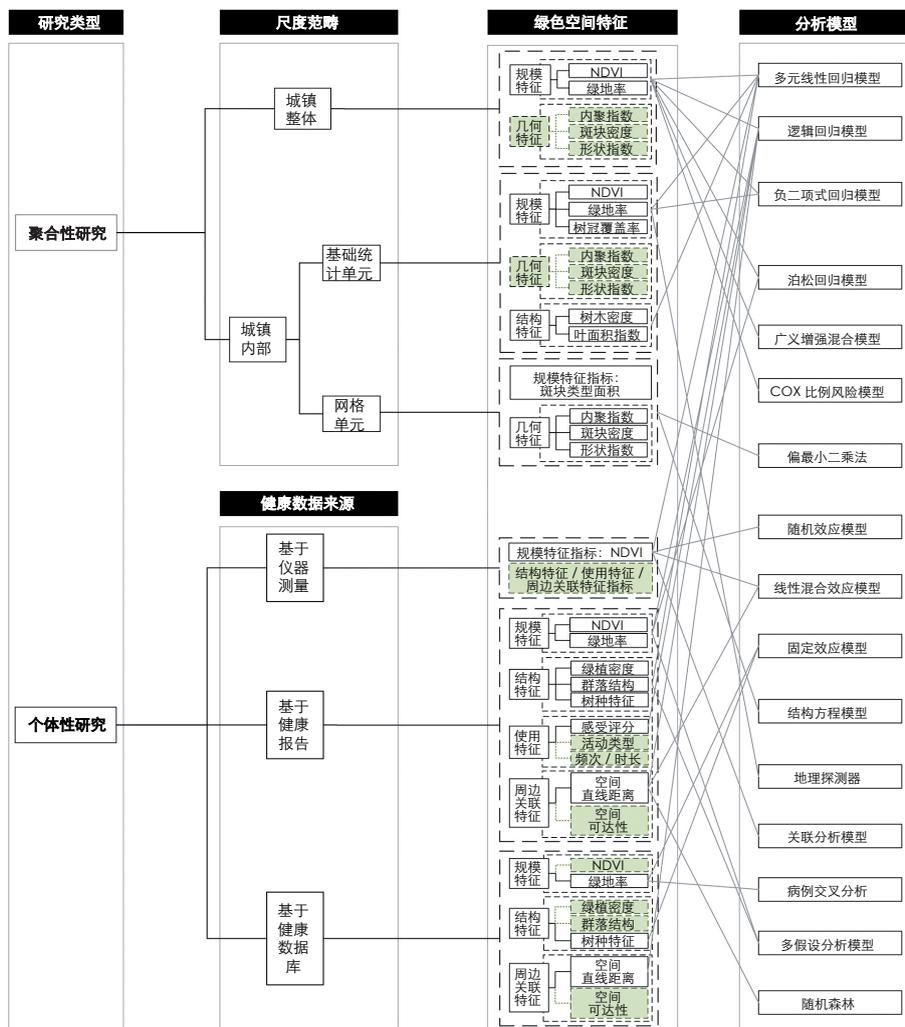
产生的真正因素。

### 3.3 基于健康数据库

健康数据库主要源自卫生部门或者医疗机构，其呼吸系统疾病数据较为全面和可靠。此类研究的呼吸健康结果以哮喘<sup>[39-40]</sup>和肺癌<sup>[41-42]</sup>的发病率为主，也包含呼吸系统疾病死亡率<sup>[43]</sup>。

在针对哮喘的研究中，分析结论之间也显现出明显差异。Parmes 等<sup>[39]</sup>针对欧洲 4 个国家（意大利、法国、斯洛文尼亚和波兰）年龄在 3~14 岁的 8 063 名儿童的研究发现，绿地覆盖的增加与儿童哮喘发病率的提升显著相关，且生活在针叶林附近会增加患病风险；但 Feng 等<sup>[40]</sup>在澳洲开展的相关研究发现，居住区周边绿地覆盖率超过 40% 后能够起到缓解交通污染对儿童哮喘影响的作用。针对肺癌的研究发现，在上海，居住地与公园的距离与居民肺癌发病率呈负相关，可能是由于上海中心城区的碎片化、小面积公园较多，无法产生森林源风（forest source wind）的同时，容易使得城市下垫面均匀，阻碍通风，最终导致空气污染物累积；临近的公园吸引居民锻炼，反而可能增加其暴露于空气污染中的风险<sup>[42]</sup>。另外，有研究发现树木比草坪和灌木更利于降低肺癌发病率<sup>[41]</sup>。

可以看到，健康数据的获取方式会对绿色空间特征指标的选取产生重要影响。相比于基于健康数据库的研究主要采用绿地覆盖率指标，源自仪器测量和问卷调查的健康数据的实证研究除了关注绿色空间的规模特征以外，由于需要面对个体对象开展数据搜集工作，因而常将包括分析对象居住地周边的绿化程度和绿地使用、植被密度和群落特征等人本尺度的微观特征纳入分析。从分析内容和结论来看，哮喘是基于健康报告和数据库 2 类研究中最关注的病种，文章数量相对较多，但分析结果呈现出明显差异。其中绿地规模特征（包括绿地率和 NDVI）与哮喘之间的相关性存在正向、负向或不显著的不同研究成果，研究结论的不一致表现可能与居民的呼吸过敏原暴露以及早期免疫系统的形成有关。另外，有学者已经证实绿色空间与居住地块的空间距离<sup>[42]</sup>、植被类型<sup>[41]</sup>以及群落组合<sup>[4]</sup>等都有可能显著影响特定呼吸健



注：在绿色空间特征中，黑色图框表示研究使用的指标，绿色图框为未来建议考虑的指标；与分析模型的灰色连线表示已被研究使用过。

2 绿色空间与呼吸健康关联性的综合分析框架构想

Concept of a comprehensive analysis framework on the association of green space and respiratory health

康结果。这表明未来有必要从宏观绿地布局形态到微观植被配置开展多尺度的综合性研究。

### 4 分析框架构想

综上所述，笔者总结目前绿色空间与呼吸健康关系的英文研究存在 4 个主要特点：1) 近几年相关研究热度明显上升，相关研究结论不一，对中低收入水平国家的关注不足；2) 不论聚合性研究还是个体性研究，都以横截面分析为主，缺乏纵向维度的分析探索；3) 未形成不同空间尺度和分析对象下绿色空间特征的系统测度方法，城镇整体层面的聚合性研究所采用的绿色空间测度指标单一，城镇内部层面的聚合性研究与个体研究

对微观层面绿色空间特征的关注均显不足；4) 对影响路径的研究较少，个体行为和环境影响特征较少被纳入研究设计。

基于此，以当下相关研究内容和分析方法为底板，结合笔者已有研究经验，同时参考部分学者已建立相关研究模型中的绿色空间特征类型划定<sup>[13, 44-46]</sup>，本研究建构了一个绿色空间对居民呼吸健康影响的综合分析框架，以期为深化相关实证研究提供参考（图 2）。其中，呼吸健康结果的表征大致分为总体呼吸健康、特定呼吸健康和自评呼吸健康 3 个方面，具体通过疾病的发病率、死亡率、相关生理指标和体征反应等进行量化测度。

基于这一研究分析框架，未来聚合性、

个体性 2 类研究可考虑如下推进方向：

聚合性研究需从增加分析数量、拓展分析尺度与对象、引入绿色空间特征指标以及革新分析方法等方面进行深化。首先，目前该类别以城市内部的基础统计单元研究为主，以城市整体为研究对象的实证分析数量不足，但不同尺度的研究结论不一；未来在城市整体层面有待积极开展针对不同地域和规模城市的实证研究，以进一步分析比较。其次，绿色空间几何特征（如斑块密度、形状指数）和结构特征（如树木密度、叶面积指数）在聚合性研究中应被重视，目前研究多采用规模特征指标，也少有研究将结构特征指标纳入分析模型。有研究证实了绿色空间的斑块密度<sup>[47-48]</sup>、植物配置<sup>[4, 49]</sup>等特点会影响颗粒物分布，进而对居民呼吸健康造成影响。另外，更高的绿色空间可获得性（常用人均面积指标）能够促进居民亲近自然<sup>[50-51]</sup>，影响居民呼吸健康，因此在城市整体层面也应当成为重要分析测度指标。在分析模型方面，当下研究多采用回归模型开展横截面分析，研究结论以绿色空间与呼吸健康结果的相关关系为主，缺乏对潜在影响机制、影响阈值和空间自相关（或分层异质性）可能带来的分析精度的关注。虽有学者考虑到了空间异质性而采用地理探测器开展相关实证分析<sup>[27]</sup>，但类似文章较少，未来研究有必要考虑空间分析存在的内生性问题，并积极提升对影响机制揭示、影响阈值划定，以及分析结果归因的能力。

未来个体性研究可重点从细化绿色空间特征测度指标、开展纵向分析以及优化模型使用 3 个方面拓展。在测度绿色空间特征方面，基于仪器测量的研究目前仅采用了 NDVI 指标作为自变量，未来可以进一步分析绿色空间的几何、周边关联和使用等方面特征对呼吸类生理指标（如 FVC、FEV1）的影响；基于健康报告的研究则需更加关注绿地使用特征（如活动类型、频率 / 时长）和绿色要素的空间可达性；对于基于健康数据库而开展的实证研究而言，未来可考虑将 NDVI、树木密度、群落结构以及空间可达性作为研究拓展的重要指标。在开展纵向分析方面，目前仅有少数历史维度的研究<sup>[32, 43]</sup>，未来需加强纵

向研究，并积极地从时空演化视角开展综合探索，以提高研究归因能力。在优化模型使用方面，目前个体性研究运用的主要还是回归模型，未来可以尝试采用具有揭示影响路径（如结构方程模型、广义线性模型）、发掘关联特征在空间上的差异（如地理加权回归模型、地理探测器），以及识别影响阈值（如多层回归模型）等能力的分析模型，将更有助于解释绿色空间影响呼吸健康的机制、增进相关规划设计的干预深度。

此外，群体差异性、全生命周期效应（full life-cycle effect）和环境因素之间交互影响等问题也应受到重视。有研究已证实男性和女性之间存在绿色空间对呼吸健康影响的显著差别<sup>[8, 28]</sup>，未来应积极开展特定亚组的比较分析，在不同性别、年龄结构和选择偏好的人群中，辨析绿色空间对不同特征人群呼吸健康影响效应的差异。同时，作为城市环境的一部分，绿色空间对整个生命过程中的健康促进起到重要作用<sup>[52]</sup>，长时间跨度的分析研究更利于捕捉其作用机制。已有研究发现从全生命周期来看，早期的过敏源暴露对应激反应的降低和自身免疫的建构具有积极意义<sup>[53-54]</sup>，因此在全生命周期视角下，绿色空间对呼吸健康影响的“链条效应”也应受到重视。另外，呼吸健康的环境影响具有复杂性，存在不同环境因素交互影响的可能。目前多数研究只考虑了绿色空间对呼吸健康的影响，而忽视了诸如城市交通、建筑密度和工业污染等可能形成的“联合影响”；未来研究可通过纳入更多的环境要素，并采用交互影响模型（如广义线性模型）进行综合分析。

## 5 结语

呼吸是人类生存的基本需求，探究绿色空间对居民呼吸健康的影响方式、路径和程度将具有重要现实意义，有助于为呼吸健康导向下绿色空间的科学规划与设计提供指引。联合国在《变革我们的世界：2030 年可持续发展议程》<sup>[55]</sup>中指出，到 2030 年应向所有人提供安全、包容、无障碍、绿色的公共空间。本研究系统梳理和分析了目前绿色空间与呼吸健康关系的英文研究文献，总结提出

未来研究有必要持续拓展分析尺度与对象、细化绿色空间特征测度指标、革新分析方法，并注重群体差异、全生命周期效应和环境因素之间的交互影响，为绿色空间的循证规划设计实践提供重要依据。

### 注释 (Notes):

① 共现频次是指通过单篇论文提取关键词，之后形成多篇文献关键词列表（非对称矩阵），再进行关键词列表对称矩阵，最后统计单个关键词的共现总次数。

② 中介中心性反映关键词在共现网络中的重要程度，数值超过 0.10 为关键节点。

### 参考文献 (References):

- [1] JAAFARI S, SHABANI A A, MOEINADDINI M, et al. Applying Landscape Metrics and Structural Equation Modeling to Predict the Effect of Urban Green Space on Air Pollution and Respiratory Mortality in Tehran[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020, 192(7): 412.
- [2] LEE H Y, WU C D, CHANG Y T, et al. Association Between Surrounding Greenness and Mortality: An Ecological Study in Taiwan[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(12): 4525.
- [3] TOFTAGER M, EKHOLM O, SCHIPPERIJN J, et al. Distance to Green Space and Physical Activity: A Danish National Representative Survey[J]. Journal of Physical Activity and Health, 2011, 8(6): 741-749.
- [4] WU J Y, YANG M X, XIONG L Y, et al. Health-Oriented Vegetation Community Design: Innovation in Urban Green Space to Support Respiratory Health[J]. Landscape and Urban Planning, 2021, 205(1): 103973.
- [5] JENNINGS V, GRAGG R S, BROWN C P, et al. Structural Characteristics of Tree Cover and the Association with Cardiovascular and Respiratory Health in Tampa, FL[J]. Journal of Urban Health-Bulletin of the New York Academy of Medicine, 2019, 96(5): 669-681.
- [6] TAMOSIUNAS A, GRAZULEVICIENE R, LUKSIENE D, et al. Accessibility and Use of Urban Green Spaces, and Cardiovascular Health: Findings from a Kaunas Cohort Study[J]. Environmental Health, 2014, 13(1): 20.
- [7] IHLEBAEK C, AAMODT G, ARADI R, et al. Association Between Urban Green Space and Self-reported Lifestyle-Related Disorders in Oslo, Norway[J]. Scandinavian Journal of Public Health, 2018, 46(6): 589-596.
- [8] XU L X, REN C, YUAN C, et al. An Ecological Study of the Association Between Area-Level Green Space and Adult Mortality in Hong Kong[J]. Climate, 2017, 5(3): 55.
- [9] ROBERTS H, VAN LISSA C, HAGEDOORN P, et al. The Effect of Short-Term Exposure to the Natural Environment on Depressive Mood: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Environmental Research, 2019, 177: 108606.
- [10] ULMER J M, WOLF K L, BACKMAN D R, et al. Multiple Health Benefits of Urban Tree Canopy: The Mounting Evidence for a Green Prescription[J]. Health and Place, 2016, 42: 54-62.
- [11] ALIYAS Z, UJANG N, ZANDIEH M. Park Characteristics

- in Relation to Exercise and Recreational Walking[J]. *Environmental Justice*, 2019, 12(5): 218-225.
- [12] WANG H, DAI X L, WU J L, et al. Influence of Urban Green Open Space on Residents' Physical Activity in China[J]. *BMC Public Health*, 2019, 19(1): 1093.
- [13] 干靓, 杨伟光, 王兰. 不同健康影响路径下的城市绿地空间特征 [J]. *风景园林*, 2020, 27 (4) : 95-100.
- [14] WANG G, ZHENG B, YU H W, et al. Green Space Layout Optimization Based on Microclimate Environment Features[J]. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 2019, 14: 9-19.
- [15] STEWART O, MOUDON A, LITTMAN A, et al. Why Neighborhood Park Proximity Is not Associated with Total Physical Activity[J]. *Health and Place*, 2018, 52: 163-169.
- [16] SCOVRONICK N. *Reducing Global Health Risks: Through Mitigation of Short-Lived Climate Pollutants*[R]. Geneva: World Health Organization, 2015.
- [17] GARDSJORD H S, TVEIT M S, NORDH H. Promoting Youth's Physical Activity Through Park Design: Linking Theory and Practice in a Public Health Perspective[J]. *Landscape Research*, 2014, 39(1): 70-81.
- [18] SORIANO J B, KENDRICK P J, PAULSON K R, et al. Prevalence and Attributable Health Burden of Chronic Respiratory Diseases, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet Respiratory Medicine*, 2020, 8(6): 585-596.
- [19] MITCHELL R, POPHAM F. Effect of Exposure to Natural Environment on Health Inequalities: An Observational Population Study[J]. *Lancet*, 2008, 372(9650): 1655-1660.
- [20] SINHARAY R, GONG J, BARRATT B, et al. Respiratory and Cardiovascular Responses to Walking Down a Traffic-Polluted Road Compared with Walking in a Traffic-Free Area in Participants Aged 60 Years and Older with Chronic Lung or Heart Disease and Age-Matched Healthy Controls: A Randomised, Crossover Study[J]. *Lancet*, 2018, 391(10118): 339-349.
- [21] CARNES B A, OLSHANSKY S J. Heterogeneity and Its Biodemographic Implications for Longevity and Mortality[J]. *Experimental Gerontology*, 2001, 36(3): 419-430.
- [22] RICHARDSON E, PEARCE J, MITCHELL R, et al. The Association Between Green Space and Cause-Specific Mortality in Urban New Zealand: An Ecological Analysis of Green Space Utility[J]. *BMC Public Health*, 2010, 10(1): 240.
- [23] RICHARDSON E A, MITCHELL R, HARTIG T, et al. Green Cities and Health: A Question of Scale?[J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2012, 66(2): 160-165.
- [24] BIXBY H, HODGSON S, FORTUNATO L, et al. Associations Between Green Space and Health in English Cities: An Ecological, Cross-Sectional Study[J]. *Plos One*, 2015, 10(4): e0125450.
- [25] HSIEH C J, YU P Y, TAI C J, et al. Association Between the First Occurrence of Asthma and Residential Greenness in Children and Teenagers in Taiwan[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(12): 2076.
- [26] SERVADIO J L, LAWAL A S, DAVIS T, et al. Demographic Inequities in Health Outcomes and Air Pollution Exposure in the Atlanta Area and Its Relationship to Urban Infrastructure[J]. *Journal of Urban Health-Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 2019, 96(2): 219-234.
- [27] WANG L, SUN W Y, ZHOU K C, et al. Spatial Analysis of Built Environment Risk for Respiratory Health and Its Implication for Urban Planning: A Case Study of Shanghai[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16: 1455.
- [28] RICHARDSON E A, MITCHELL R. Gender Differences in Relationships Between Urban Green Space and Health in the United Kingdom[J]. *Social Science and Medicine*, 2010, 71(3): 568-575.
- [29] FUERTES E, MARKEYVYCH I, THOMAS R, et al. Residential Greenspace and Lung Function up to 24 Years of Age: The Alspac Birth Cohort[J]. *Environment International*, 2020, 140(10): 105749.
- [30] DADVAND P, VILLANUEVA C M, FONT-RIBERA L, et al. Risks and Benefits of Green Spaces for Children: A Cross-Sectional Study of Associations with Sedentary Behavior, Obesity, Asthma, and Allergy[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2014, 122(12): 1329-1335.
- [31] DE OLIVEIRA E ALMEIDA L, FAVARO A, RAIMUNDO-COSTA W, et al. Influence of Urban Forest on Traffic Air Pollution and Children Respiratory Health[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, 192(3): 175.
- [32] TISCHER C, DADVAND P, BASAGANA X, et al. Urban Upbringing and Childhood Respiratory and Allergic Conditions: A Multi-Country Holistic Study[J]. *Environmental Research*, 2018, 161: 276-283.
- [33] BOEYEN J, CALLAN A C, BLAKE D, et al. Investigating the Relationship Between Environmental Factors and Respiratory Health Outcomes in School Children Using the Forced Oscillation Technique[J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2017, 220(2): 494-502.
- [34] CHAIX B, KESTENS Y, PERCHOUX C, et al. An Interactive Mapping Tool to Assess Individual Mobility Patterns in Neighborhood Studies[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2012, 43(4): 440-450.
- [35] MERLO J, OHLSSON H, LYNCH K F, et al. Individual and Collective Bodies: Using Measures of Variance and Association in Contextual Epidemiology[J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2009, 63(12): 1043-1048.
- [36] IDANI E, RAJI H, MARAGHI E, et al. Risk Factors Associated with Asthma Among Adults in Khuzestan, Southwest Iran[J]. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 2020, 8(2): 350-355.
- [37] ANDRUSAITYTE S, GRAZULEVICIENE R, KUDZYTE J, et al. Associations Between Neighbourhood Greenness and Asthma in Preschool Children in Kaunas, Lithuania: A Case-Control Study[J]. *BMJ Open*, 2016, 6(4): e010341.
- [38] LI L, HART J E, COULL B A, et al. Effect of Residential Greenness and Nearby Parks on Respiratory and Allergic Diseases among Middle School Adolescents in a Chinese City[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(6): 991.
- [39] PARMES E, PESCE G, SABEL C E, et al. Influence of Residential Land Cover on Childhood Allergic and Respiratory Symptoms and Diseases: Evidence from 9 European Cohorts[J]. *Environmental Research*, 2020, 183: 108953.
- [40] FENG X Q, ASTELL-BURT T. 2045 - Is Neighborhood Green Space Protective Against Associations Between Child Asthma, Neighborhood Traffic Volume and Area Safety? Multilevel Analysis of 4,447 Australian Children[J]. *Journal of Transport and Health*, 2017, 5: S40-S41.
- [41] WANG L, ZHAO X J, XU W Y, et al. Correlation Analysis of Lung Cancer and Urban Spatial Factor: Based on Survey in Shanghai[J]. *Journal of Thoracic Disease*, 2016, 8: 2626-2637.
- [42] XU W Y, ZHAO X J, WANG L. Impact of Built Environment on Respiratory Health: An Empirical Study[J]. *Nano LIFE*, 2018, 8(2): 1840001.
- [43] SUN S, SARKAR C, KUMARI S, et al. Air Pollution Associated Respiratory Mortality Risk Alleviated by Residential Greenness in the Chinese Elderly Health Service Cohort[J]. *Environmental Research*, 2020, 183: 109139.
- [44] 王兰. 健康城市规划: 回归与提升 [C]// 孙施文, 等. 中国城市规划学会学术成果: 品质规划. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [45] 马明, 蔡镇钰. 健康视角下城市绿色开放空间研究: 健康效用及设计应对 [J]. *中国园林*, 2016, 32 (11) : 66-70.
- [46] 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.
- [47] ZHOU W Q, HUANG G L, CADENASSO M. Does Spatial Configuration Matter? Understanding the Effects of Land Cover Pattern on Land Surface Temperature in Urban Landscapes[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 102(1): 54-63.
- [48] WU J S, XIE W D, LI W F, et al. Effects of Urban Landscape Pattern on PM<sub>2.5</sub> Pollution: A Beijing Case Study[J]. *Plos One*, 2015, 10(11): e0142449.
- [49] CHEN L X, LIU C M, ZOU R, et al. Experimental Examination of Effectiveness of Vegetation as Bio-filter of Particulate Matters in the Urban Environment[J]. *Environmental Pollution*, 2016, 208: 198-208.
- [50] KACZYNSKI A T, HENDERSON K A. Parks and Recreation Settings and Active Living: A Review of Associations with Physical Activity Function and Intensity[J]. *Journal of Physical Activity and Health*, 2008, 5(4): 619-632.
- [51] TRIGUERO-MAS M, DONAIRE-GONZALEZ D, SETO E, et al. Living Close to Natural Outdoor Environments in Four European Cities: Adults' Contact with the Environments and Physical Activity[J]. *International journal of Environmental Research and Public Health*, 2017, 14(10): 1162.
- [52] DOUGLAS O, LENNON M, SCOTT M. Green Space Benefits for Health and Well-Being: A Life-Course Approach for Urban Planning, Design and Management[J]. *Cities*, 2017, 66: 53-62.
- [53] FRUMKIN H, BRATMAN G N, BRESLOW S J, et al. Nature Contact and Human Health: A Research Agenda[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2017, 125(7): 075001.
- [54] HANSKI I, VON HERTZEN L, FYHRQUIST N, et al. Environmental Biodiversity, Human Microbiota, and Allergy Are Interrelated[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(21): 8334-8339.
- [55] United Union. 2030 Agenda for Sustainable Development[R]. New York: United Nations, 2016.

#### 图片来源 (Sources of Figures):

图 1、2 均由作者绘制。

(编辑 / 刘玉霞 李紫薇)