

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

## 绿色暴露作为促进健康服务的评估指标与机制研究综述

# A Review of Research on Green Exposure as an Assessment Indicator and Mechanism for Health Services Promotion

杜新存 李方正 \*

DU Xincun, LI Fangzheng\*

开放科学 (资源服务)  
标识码 (OSID)



中图分类号: TU985  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-1530(2022)10-0026-06  
DOI: 10.14085/j.fjyl.2022.10.0026.06  
收稿日期: 2022-07-20  
修回日期: 2022-08-22

杜新存 / 女 / 加州大学伯克利分校环境设计学院在读硕士研究生 / 研究方向为生态视角下的绿色空间规划  
DU Xincun is a master student in the College of Environmental Design, University of California, Berkeley. Her research focuses on green space planning from an ecological perspective.

李方正 / 男 / 博士 / 北京林业大学园林学院副教授 / 本刊特约编辑 / 研究方向为城市绿色空间生态系统服务权衡与协同、风景园林与公共健康  
通信作者邮箱 (Corresponding author Email): 375066107@qq.com

LI Fangzheng, Ph.D., is an associate professor in the School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, and a contributing editor of this journal. His research focuses on ecosystem service trade-offs and synergies of urban green space, and landscape architecture and public health.

**摘要:** 绿色暴露与健康服务联系紧密, 是促进健康服务的重要一环。基于 Web of Science 和中国知网数据库, 对现有研究成果进行了总结, 以健康服务中环境服务与个体健康为研究重点, 总结绿色暴露相关指标, 研究其促进健康服务的机制, 讨论绿色暴露影响健康服务的现实指导意义。不仅总结了绿色暴露促进健康服务的静态指标, 还关注了绿色暴露的动态指标, 更精细化地反映人在一定时间内绿色暴露状态的动态变化, 更充分地表达绿色暴露与人的密切关系。

**关键词:** 绿色暴露; 健康服务; 静态指标; 动态指标; 影响路径

**基金项目:** 国家自然科学基金 (编号 51908036)

**Abstract:** Green exposure is closely linked to health services and is an important part of health service promotion. Based on Web of Science and CNKI core database, this paper summarizes the existing research results, focusing on environmental services and individual health in health services, summarizes green exposure-related indicators, studies its mechanism of promoting health services, and discusses the practical guidance significance of green exposure influencing health services. This paper not only summarizes the static indicators of green exposure promoting health services, but also focuses on the dynamic indicators of green exposure, reflecting more finely the dynamic changes of green exposure status of people in a certain period of time and expressing more fully the close relationship between green exposure and people.

**Keywords:** green exposure; health services; static indicator; dynamic indicator; impact path

**Fund Item:** The National Natural Science Fund of China (No. 51908036)

环境与健康的关系一直是生态环境相关领域的研究热点。工业革命引发的一系列环境问题使人们暴露于污染环境, 这种污染环境对人的健康产生的不良影响引发了人们对自身与环境关系的思考, 相关研究开始探讨城市环境与健康的关系。Wild 于 2005 年提出了暴露组 (exposome) 的概念, 他认为“暴露组是一种贯

穿生命过程始终的环境暴露, 它在生命周期中不断变化”<sup>[1]</sup>。2018 年, Chen 等在相关研究中用数学模型研究一定时间内人与绿地的互动关系, 对绿色暴露进行测度<sup>[2]</sup>。2021 年, 复旦大学余兆武教授提出“暴露生态学”的概念, 他认为暴露生态学研究了人与生态系统接触的相互关系<sup>[3]</sup>。绿色暴露的研究以一种新角度关注

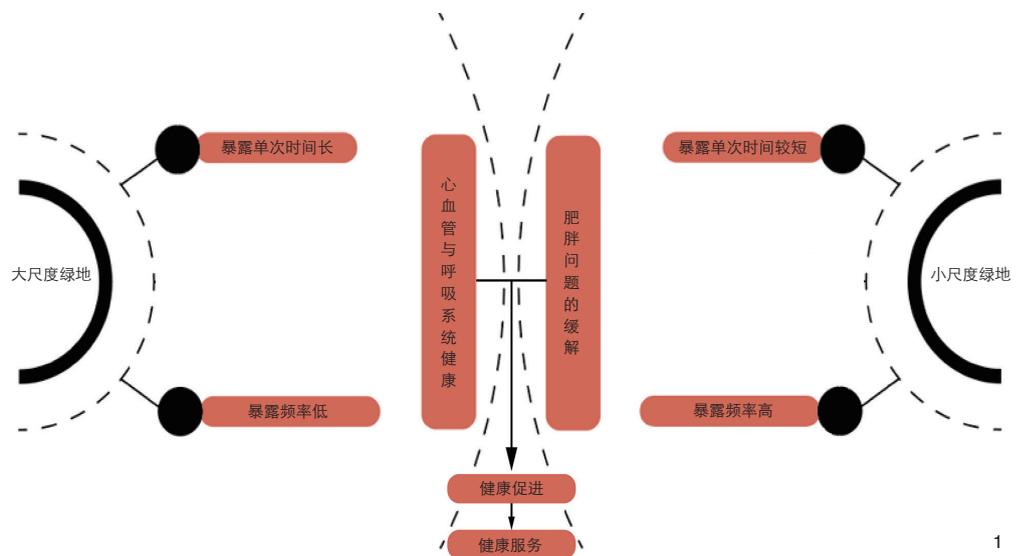
人在不同尺度、不同类型绿色空间中的暴露状态，提出了人与绿色空间的动态关系。在当前全球公共健康面临严峻挑战的形势下，研究绿色空间暴露对人群产生的影响任重道远。

世界卫生组织（World Health Organization, WHO）认为健康服务包括健康教育、健康促进和环境服务<sup>[4]</sup>。健康教育更加关注改善人与健康相关的行为活动<sup>[5]</sup>，其与绿色暴露指标的关联较弱，因此笔者不做讨论。健康促进是提升个体健康状态的过程<sup>[6]</sup>，1986年WHO在加拿大召开的第一届健康促进国际会议诞生的渥太华宪章（Ottawa Charter）明确了有利环境能够促进个体身心健康的原则<sup>[7]</sup>。环境服务是指与环境相关的服务活动<sup>[8]</sup>。通过整理相关研究发现，绿色暴露测度指标作为促进健康服务的评估指标主要可以衡量绿地接触时间、个体居住地点与绿地的距离远近以及进入绿地频率对健康产生的影响<sup>[9]</sup>。从绿地属性上看，绿地的开放程度（绿地公共性）、绿地绿度与绿地的植被类型也是常用指标<sup>[10]</sup>。研究绿色暴露作为促进健康服务的相关指标对于国家和社区在健康政策的制定和健康设施的建设能产生指导效果。但现有的研究大多关注绿色暴露促进健康服务的静态指标，不足以反映个体的动态变化。因此，有必要进一步梳理国内外相关研究进展，总结绿色暴露促进健康服务的相关指标，探索其中的影响机制，为政府在政策制定层面以及城市在更新建设方面提供更好的指引。

## 1 绿色暴露促进健康服务的多尺度特征

### 1.1 绿色暴露在大尺度绿地中促进健康服务的特征

大尺度绿地通常包含城市公园与城市森林以及外围郊野绿地和绿道。大尺度绿地有助于净化当地空气、缓解热岛效应、提升环境服务，进而促进健康服务。总结相关研究发现，暴露次数、暴露频率指标是绿色暴露在大尺度绿地中的测度指标。大尺度绿地中的绿色暴露单次时间长、频率低，且大尺度绿地中绿色暴露量会根据人的实时位置在不同时间段内动态变化<sup>[11]</sup>，这种变化由相关动



1 绿色暴露在不同尺度绿地下的表现特征<sup>[12-13, 16]</sup>

Performance characteristics of green exposure to green spaces at different scales<sup>[12-13, 16]</sup>

态暴露指标衡量。部分队列研究关注绿色暴露在大尺度绿地中与人群心血管健康<sup>[12]</sup>以及呼吸系统健康的相关性<sup>[13]</sup>。根据相关研究总结发现，绿色暴露量越大，暴露时间越长，对减少心血管与呼吸系统疾病的促进作用越明显<sup>[14-15]</sup>。

### 1.2 绿色暴露在小尺度绿地中促进健康服务的特征

小尺度绿地通常包含社区绿地、住宅附属绿地。相对于大尺度绿色暴露，小尺度绿地绿色暴露的研究聚焦于社区环境提升层面。绿色暴露在小尺度绿地中的测度指标与大尺度绿地相同，但人暴露于小尺度绿地的频率高，单次时间较大尺度绿地更短。根据相关研究总结发现，绿色暴露在小尺度绿地中与个体肥胖问题的关系较为密切，且绿色暴露量越大，暴露时间越久，具有肥胖问题的人群比例越小<sup>[16]</sup>（图1）。

## 2 数据分析与相关研究归类总结

本研究基于中国知网（CNKI）数据库和Web of Science核心合集数据库，选取与“绿色暴露”研究相关的关键词（如exposure to greenness、exposure to outdoor environment、outdoor exposure、exposure to green space）

与“健康”研究相关的关键词（如blood clots、blood pressure、coronary heart disease、cardiovascular、asthma、rhinitis、respiratory diseases、pulmonary nodules、lung cancer、pulmonary emphysema、physical activity、obesity、body type、BMI、general health）进行检索，笔者筛选出10篇其他概念性阐述文献和56篇定量实证的中英文文献作为本研究的分析样本。其中，3篇为发表于1980—2000年的文献，2篇为发表于2000—2010年的文献，34篇为发表于2010—2020年的文献，27篇为发表于2020—2022年的文献。

笔者对文献整理后发现，绿色暴露与健康相关研究内容主要涉及绿色暴露相关指标介绍和缓解相关疾病的机制。但现有文献较少关注绿色暴露的动态过程，相关指标不足以全面评估动态的暴露特征。

### 2.1 绿色暴露影响呼吸系统、心血管健康以及肥胖问题的相关研究较多

56篇定量实证文献中有32篇与上述3类问题相关，相关研究的地域分布包括欧洲、东亚、北美洲、大洋洲。不同国家或区域之间虽然在城市形态、社会和环境因素方面有所不同<sup>[17]</sup>，但在绿色暴露影响个体健康的结论上具有一致性。在大量的绿色暴露与呼吸

系统疾病相关的研究中,针对欧洲青少年群体健康的研究较多。因为呼吸系统疾病与人们日常活动频率较高的场所密切相关,所以相关研究中的绿色暴露场所多为住区绿地。在大量与心血管疾病相关的研究中,研究主要针对欧洲与大洋洲老年群体健康,但也有少部分针对中东与亚洲地区不同群体健康的研究<sup>[18-19]</sup>。相关研究中的绿色暴露场所尺度大多在小尺度社区绿地与中尺度城市绿地之间。绿色暴露与肥胖问题相关的研究未呈现地区倾向性,但针对亚洲地区的研究数量相对较少;相关研究对象主要针对儿童群体,绿色暴露场所尺度主要是小尺度社区绿地<sup>[20]</sup>。

## 2.2 绿色暴露影响呼吸系统以及心血管健康的研究往往能得出正向结论

相关研究中,绿色暴露对促进呼吸系统健康与减少心血管疾病关系较为密切,绿色暴露对呼吸系统健康与心血管健康有益。总体来说,绿色暴露与呼吸系统疾病相关研究中的绿地类型主要为社区绿地和家庭花园等可达性高的区域。绿色暴露对呼吸系统的影响通常会有中间变量——空气颗粒物指标,空气颗粒物指标包括空气颗粒物的种类与数量,它们会对呼吸系统产生影响<sup>[21]</sup>。总体来说,绿色暴露使得个体在特定空气颗粒物(如PM<sub>2.5</sub>)中的暴露量减少是绿色暴露对呼吸系统健康产生正向影响的主要原因<sup>[22]</sup>;但是很多研究认为这种正向影响还需要进一步考证。在绿色暴露与心血管健康相关的研究中,绿色暴露所在绿地尺度往往从社区到城市中大型公共绿地不等。绿色暴露通过影响个体户外活动时间与个体的空气颗粒物暴露情况,从而影响心血管健康,一般来说,个体的户外活动时间越长,在特定空气颗粒物中的暴露量越少,越能促进心血管健康,继而提升健康促进作用,促进健康服务<sup>[23]</sup>。

## 3 绿色暴露促进健康服务的测度指标及影响机制

一般来说,绿色暴露促进健康服务的指标可以分为静态暴露与动态暴露两大类。动态暴露指标可以测度不同时间、不同时间间隔内的绿色暴露情况,静态暴露只能测度人

与绿色空间接触的相关情况。此外,与个体健康促进的相关指标需要根据不同疾病具体分析。在影响机制层面上,绿色暴露主要通过影响个体在环境中的污染暴露量<sup>[24]</sup>与个体在绿色空间中的体力活动情况来影响健康服务<sup>[25]</sup>。

### 3.1 静态暴露指标

静态暴露指标一般用于测度绿色空间本身属性,静态暴露指标包括:城市绿地水平和人均绿地率。但这2个指标反映的是绿色水平的一个笼统的平均值,更为精细的静态暴露指标有NDVI指数、绿度测度指标与绿地开放程度测度。

上述精细化静态暴露指标在研究不同尺度绿地时的应用范围相似,但个别指标的具体测度要求有所不同。1)对于NDVI指数的测度,在不同尺度的绿地研究中一般会先对卫星图进行处理,得到“马赛克”式的网格<sup>[26]</sup>,再计算每一个网格的NDVI数值情况,统计其最大值、最小值与平均值,最后得到相应区域植物贫瘠或茂盛的指数<sup>[27]</sup>,从而测定城市绿地水平。2)对于绿度,是进行土地分类后,排除农田和荒地地块的绿地面积在总地块面积中的占比<sup>[28]</sup>。绿度的测度需要通过划分缓冲区进行,大尺度绿地的缓冲区半径一般大于1 km,小尺度绿地则相反,缓冲区半径小于1 km。3)对于绿地可达性指标,居住地与绿色空间的直接距离,能反映绿地访问者到达绿色空间的便利度<sup>[29]</sup>。4)对于绿地结构来说,大尺度绿地的相关研究主要依靠卫星雷达数据计算获得区域内乔、灌、草的比例。而小尺度绿地的相关研究获得的数据会更精确,通常会精确到绿地中的乔、灌、草面积比例与树种丰富度。具体方法一般为ArcGIS分析和观察调研法相结合<sup>[30]</sup>。

### 3.2 动态暴露指标

绿色暴露概念中,“暴露”这一概念尤为关键。绿色暴露指个体与绿色空间的接触,这一过程往往是动态的。而通过整理现有研究发现,多数研究使用上述静态暴露指标进行相关测度,很难反映这一动态过程。而动态暴露指标更关注人群暴露在绿色空间中的实时状态<sup>[31]</sup>,有很强的时空特征<sup>[32]</sup>,既能反

映瞬时时刻的人群绿色暴露状态,也能获得一系列连贯的动态数据,可以对绿色暴露数据进行准确测度。动态暴露的主要指标有5类。

1)暴露频度与暴露时长<sup>[33]</sup>。以可穿戴GPS设备为媒介收集人们访达绿色空间的频率数据以及在绿色空间内停留的时长数据<sup>[34]</sup>。收集个体一天、一周或者更长时间间隔中的绿色暴露数据。

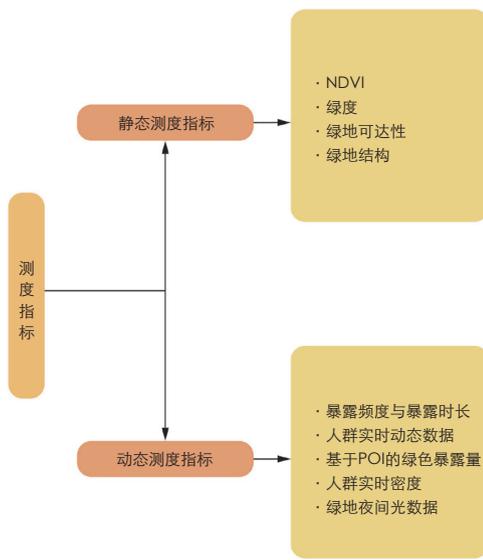
2)人群的实时动态数据以及绿色暴露量。通过基于位置服务(location based services, LBS)生成人口数据<sup>[35]</sup>,结合手机APP的定位功能与具有点位功能的网络平台获得人群实时与绿色空间的接触信息<sup>[36]</sup>,即某一时间段内有多少人与哪些绿色空间有接触。这种方法可以将人群的绿色暴露状态可视化,形成人群热力地图的图像,展现人口暴露在绿色空间的动态时空变化。但当测度涉及一些非智能手机使用人群,例如老人与小孩时也会产生数据结果偏差<sup>[11]</sup>。

3)基于兴趣点(point of interest, POI)的绿色暴露量。从网络社交平台和有点评功能的手机APP获得数据,基于POI识别每一个个体的停留点,包括公园和绿地,并将这种停留视为暴露<sup>[37]</sup>。通过POI数据可以分析不同个体对绿地访问的偏好,从而得到个体间绿地暴露情况的具体差异,进一步细化研究。

4)人群实时密度指标(hotspots)<sup>[38]</sup>。根据谷歌地图以及OpenStreetMap热点地图得到绿色空间内人群的聚散情况<sup>[39]</sup>,相关数据可以在不同时间段内进行收集<sup>[40]</sup>。

5)夜间光数据(nighttime light data),夜间光数据能在较小的干扰下更准确地识别城市边界及其附近城市森林<sup>[41]</sup>。动态暴露测度方法因为与大数据技术的使用联系紧密,十分依赖智能手机与互联网,所以要注意老人与儿童等不使用或很少使用智能手机的群体产生的数据误差<sup>[11]</sup>。

不同尺度下的绿色暴露动态指标组合也不同。大尺度绿地服务范围广,人群移动快,大尺度绿地研究更多使用人群实时动态数据指标以及人群实时密度指标与夜间光数据指标进行测度。而对于小尺度绿地空间,人群暴露有一定的时间规律性,因为小尺度绿地



2 绿色暴露测度指标  
Measurement indicators for green exposure

分布相对大尺度绿地分布更零散，缓冲区半径较小，一般为 50、100、300、500、1 000 m 不等。小尺度绿地中绿色暴露研究对人群细分种类更多，现有研究多倾向于使用暴露频度、暴露时长与基于 POI 的绿色暴露量指标相联系进行测度（图 2）。

### 3.3 绿色暴露促进健康服务的机制

绿色暴露对健康服务的促进机制主要包括 3 种：1) 通过促进环境服务水平（减小显性的污染暴露和提升隐性的环境舒适度）促进健康<sup>[42]</sup>；2) 通过适当增加个体的体力活动时间和强度促进健康<sup>[43]</sup>；3) 促进健康服务的资源分配。首先，绿色空间会改变空气中不同粒径颗粒物的组成与比例<sup>[44]</sup>，如绿地中不同类型的植被可以吸附不同粒径的颗粒物<sup>[29]</sup>，从而净化空气，提供优质的环境服务。由此可知绿色暴露影响个体的污染暴露量。

污染暴露量是用于衡量个体直接接触空气污染的状态的概念<sup>[45]</sup>，而绿色暴露影响污染暴露量主要有 3 种途径。1) 暴露尺度。暴露在不同尺度绿色空间中的污染暴露量有所区别<sup>[46]</sup>，大尺度绿色空间对空气污染物的净化能力更强，大型绿地面积与空气负离子浓度有正相关关系，而与净化过的空气长时间接触会降低居民生理性疾病的发病率<sup>[47]</sup>。小尺度绿地对空气污染物的净化能力稍弱，但也

可以通过增加暴露时长和暴露频度来增大绿色暴露量，从而对环境服务产生积极影响<sup>[48]</sup>。2) 暴露频度。动态人口数据显示人群在固定时间段内暴露于绿色空间的频度不同<sup>[49]</sup>，例如工作日的人群由于通勤，到访绿色空间的次数比休息日更多，而绿色暴露的频度增加会导致个体频繁与绿色空间接触，从而使污染暴露量降低，提升公共健康水平<sup>[50]</sup>。3) 暴露时长。不同类型、不同品质的绿色空间给予人不同的体验<sup>[51]</sup>，从而影响人群的绿色暴露时长。有研究显示，生活在新城区人群的绿色暴露时长高于生活在老城区的人群，且老城区白天的人群绿色暴露量明显高于夜晚的绿色暴露<sup>[52]</sup>。商业区、住宅区、工业区等不同功能分区的人群在绿地空间中的暴露时长也有区别<sup>[11]</sup>，功能分区会大大影响绿色暴露量，从而影响污染暴露量，进而影响相关群体的健康状况。在促进环境服务水平方面，Dong 等的研究发现绿色暴露影响哮喘病的机制很可能是暴露地绿地植被的多样性<sup>[53]</sup>；Squillaciotti 等发现 NDVI 指数与儿童支气管炎和哮喘病的发病率相关<sup>[54]</sup>。Beyer 等发现绿色暴露可以通过改变环境舒适度而影响个体的心理健康，社区绿化水平越高，个体居住时间越长，患抑郁症风险越小<sup>[55]</sup>。在绿色暴露与心血管疾病关系的研究中，通常认为绿色暴露通过改变特定空气颗粒物的含量影响个体健康，Percira 的相关研究中指出相比于绿化少的社区，绿化多的社区居民患冠心病的比例更小<sup>[56]</sup>。Lanki 等研究发现，相比于城市其他区域，绿色暴露通过减少个体暴露环境的空气颗粒物与噪声来提高环境舒适度、降低心率，有助于心血管疾病的防治<sup>[57]</sup>。在增加体力活动时间和强度以促进健康方面，绿色空间可以给个体提供舒适的体力活动场所<sup>[58]</sup>，暴露在其中会使得个体的体力活动水平产生变化<sup>[59]</sup>；一般来说，绿化暴露水平越高，体力活动水平越高，人群的整体健康状况就越好<sup>[60]</sup>。O'Callaghan-Gordo 等的研究表明，增加个体接触绿色空间的机会确实有助于增加体力活动时间从而降低肥胖度，但其中机制尚不明确<sup>[61]</sup>。社区绿地与居民区以及个体日常生活的关系更密切，且具有更高的

可达性，相关研究认为社区绿化的 NDVI 指数对减少肥胖症和呼吸系统疾病发病往往有正向作用<sup>[62-63]</sup>。在促进健康服务资源分配方面，Qian 等的研究表明，城市环境质量与污染防治、医疗资源都存在着正相关关系，而绿色暴露会促进城市环境质量的提升，就可以就绿色暴露与医疗资源的关系进行进一步探讨<sup>[64]</sup>。

## 4 讨论与总结

本研究阐述了绿色暴露、健康服务及其与环境、健康有关方面的概念。从绿地尺度、数据分析、测度指标以及促进机制 4 个方面总结了现有研究中绿色暴露如何作为促进健康服务的评估指标及其机制。

经过对文献的梳理发现：1) 既有文献大多停留在使用静态指标对绿色暴露进行测度，和人群活动联系较弱，相关指标不足以支撑动态绿色暴露测度；2) 研究对绿色暴露在不同尺度的特征分类不够细致，更多针对绿色空间与对某一类疾病关系的研究。

根据以上 2 点结论，笔者提出未来关于绿色暴露与健康服务研究方向的建议，即关注人与绿色空间的关系测度，利用智能设备、大数据获取更具针对性的人与绿色空间动态数据，形成绿色暴露动态数据集。具体而言，绿色暴露促进健康服务的相关指标和机制可以指导城市绿地宏观布局；不同尺度下绿色暴露促进健康服务的特征有所差异，如何在城市绿地规划中规划不同尺度的绿地数量及位置从而合理分配健康资源还值得深入探讨。在城市绿地规划层面上笔者认为基于绿色暴露的绿地规划应该注重 5 个方面的思考。1) 对人群流动大数据进行分析。一方面，根据一天中不同时段以及更长时间间隔里人群流动情况找到绿色暴露频度高、暴露时间长的区域，增加区域绿地量，科学规划绿地分布；而对于人群绿色暴露频度小，暴露时间短的区域也要注意分析这种现象的产生是否因为该区域绿地面积不足，从而考虑适当增加绿地。另一方面，不同年龄段、不同职业、不同健康状况的人群也会呈现出不同的绿色暴露水平，因而在绿地规划中应该从人群分类的角度出发，找准绿地服务对象，发挥绿色空间

最大作用。2) 指导社区科学增绿<sup>[65]</sup>。社区空间的绿色暴露已经融入人们的生活, 与人群健康息息相关。通过平衡各社区之间的绿地面积, 提升人群绿色暴露状况相对较差社区的绿色暴露机会。此外, 通过总结绿色暴露在社区绿地空间与不同类型疾病发病率的关系, 也可以指导社区进一步精确增绿, 更有针对性地进行“城市针灸”<sup>[66]</sup>。3) 提升绿地设计质量。绿色暴露不仅通过污染暴露量影响个体健康, 也会在空间舒适度层面影响人的行为活动。为此, 在绿色设计之前进行科学的调查可以得知人群对绿色空间的使用偏好以及对特定绿地的使用体验, 进一步指导未来的绿色空间设计。4) 绿色暴露的研究与人口大数据以及数字媒体技术息息相关, 在未来的城市绿地规划中应该重视对动态数据的应用, 通过合理的分析得出绿色暴露对于健康服务促进的最优解。5) 用绿色暴露相关评估指标支持健康服务, 在绿色暴露评估指标与方法的指导下布置健康服务设施, 使健康服务质量更上一个层次。让绿色暴露的测度指标成为健康服务指标体系中的一部分, 以此来更准确地提供城市健康服务。

在全球提倡健康生活的今天, 研究绿色暴露如何对健康服务产生促进作用具有深远的研究意义。美丽中国建设使得城市绿色不断增加, 人群暴露在绿色空间里的时间越来越长。绿色暴露指标如何指导健康服务研究, 最后指导绿地与城市规划工作尤为重要。在未来的研究中, 还需要通过更多交叉学科的研究来探索绿色暴露与健康服务之间更为深入的关系, 建设健康社会。

#### 参考文献 (References):

[1] WILD C P. Complementing the Genome with an “Exposome”: The Outstanding Challenge of Environmental Exposure Measurement in Molecular Epidemiology[J]. *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*, 2005, 14(8): 1847-1850.  
 [2] CHEN B, SONG Y M. Changes of Urban Greenspace Coverage and Exposure in China[M]//CHESHMEHZANGI A. *Green Infrastructure in Chinese Cities*. Singapore: Springer 2022: 173-189.  
 [3] 余兆武. “生态暴露”与“暴露生态学”概念与理论框架 [EB/OL]. (2021-10-21) [2022-04-02]. [https://mp.weixin.qq.com/s/UsnNVws8y\\_t\\_7NzulrBEXw](https://mp.weixin.qq.com/s/UsnNVws8y_t_7NzulrBEXw).

[4] ROBERTS J L. A Glossary of Technical Terms on the Economics and Finance of Health Services[EB/OL]. (1998-07-17) [2022-04-02]. [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0014/102173/E69927.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0014/102173/E69927.pdf).  
 [5] 马骁. 健康教育学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004.  
 [6] O'DONNELL M P. Definition of Health Promotion: Part III: Expanding the Definition[J]. *American Journal of Health Promotion*, 1988, 3(3): 5.  
 [7] World Health Organization. Ottawa Charter for Health Promotion[EB/OL]. (2012-06-12)[2022-04-02]. [https://intranet.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/129532/Ottawa\\_Charter.pdf](https://intranet.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/129532/Ottawa_Charter.pdf).  
 [8] OECD. Glossary of Statistical Terms: Environmental Services Definition[EB/OL]. (1997)[2022-08-22]. <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=843>.  
 [9] VICH G, MARQUET O, MIRALLES-GUASCH C. Green Exposure of Walking Routes and Residential Areas Using Smartphone Tracking Data and GIS in a Mediterranean City[J]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2019, 40: 275-285.  
 [10] 黄昕彤, 李亚辉. 城市传统公园绿地边界空间开放性探究 [C]//中国城市规划学会. 面向高质量发展的空间治理: 2020 中国城市规划年会论文集 (08 城市生态规划). 北京: 中国建筑工业出版社, 2021: 431-440.  
 [11] SONG Y M, HUANG B, CAI J X, et al. Dynamic Assessments of Population Exposure to Urban Greenspace Using Multi-source Big Data[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 634: 1315-1325.  
 [12] WOLCH J R, BYRNE J, NEWELL J P. Urban Green Space, Public Health, and Environmental Justice: The Challenge of Making Cities ‘Just Green Enough’[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 234-244.  
 [13] AERTS R, HONNAY O, VAN NIEUWENHUYSE A. Biodiversity and Human Health: Mechanisms and Evidence of the Positive Health Effects of Diversity in Nature and Green Spaces[J]. *British Medical Bulletin*, 2018, 127(1): 5-22.  
 [14] 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.  
 [15] SQUILLACIOTI G, BELLISARIO V, LEVRA S, et al. Greenness Availability and Respiratory Health in a Population of Urbanised Children in North-Western Italy[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(1): 108.  
 [16] GAILEY S, MCELROY S, BENMARHNIJA T, et al. Green Mobility and Obesity Risk: A Longitudinal Analysis in California[J]. *Health and Place*, 2021, 68: 102503.  
 [17] GREEN O O, GARMESTANI A S, ALBRO S, et al. Adaptive Governance to Promote Ecosystem Services in Urban Green Spaces[J]. *Urban Ecosystems*, 2016, 19(1): 77-93.  
 [18] NASSER Z, SALAMEH P, NASSER W, et al. Outdoor Particulate Matter (PM) and Associated Cardiovascular Diseases in the Middle East[J]. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 2015, 28(4): 641.  
 [19] SEO S, CHOI S, KIM K, et al. Association Between Urban Green Space and the Risk of Cardiovascular Disease: A Longitudinal Study in Seven Korean Metropolitan Areas[J]. *Environment International*, 2019, 125: 51-57.

[20] DE BONT J, MÁRQUEZ S, FERNÁNDEZ-BARRÉS S, et al. Urban Environment and Obesity and Weight-Related Behaviours in Primary School Children[J]. *Environment International*, 2021, 155: 106700.  
 [21] SONG Y M, HUANG B, HE Q Q, et al. Dynamic Assessment of PM<sub>2.5</sub> Exposure and Health Risk Using Remote Sensing and Geo-spatial Big Data[J]. *Environmental Pollution*, 2019, 253: 288-296.  
 [22] DATZMANN T, MARKEYVICH I, TRAUTMANN F, et al. Outdoor Air Pollution, Green Space, and Cancer Incidence in Saxony: A Semi-Individual Cohort Study[J]. *BMC Public Health*, 2018, 18(1): 1-10.  
 [23] DEWULF B, NEUTENS T, VAN DYCK D, et al. Associations Between Time Spent in Green Areas and Physical Activity Among Late Middle-Aged Adults[J]. *Geospatial Health*, 2016, 11(3): 411  
 [24] KUMAR P, DRUCKMAN A, GALLAGHER J, et al. The Nexus Between Air Pollution, Green Infrastructure and Human Health[J]. *Environment International*, 2019, 133: 105181.  
 [25] ORD K, MITCHELL R, PEARCE J. Is Level of Neighbourhood Green Space Associated with Physical Activity in Green Space[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2013, 10(1): 127.  
 [26] XIAO Y, ZHANG Y H, SUN Y Y, et al. Does Green Space Really Matter for Residents' Obesity? A New Perspective from Baidu Street View[J]. *Frontiers in Public Health*, 2020, 8: 332.  
 [27] 郭振, 胡聃, 李元征, 等. 北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性 [J]. *生态学报*, 2014, 34 (1) : 201-209.  
 [28] 胡晓雯, 曹爽, 赵显富. 基于植被指数的绿地信息提取的比较 [J]. *南京信息工程大学学报: 自然科学版*, 2012, 4 (5) : 420-425.  
 [29] 王兰, 张雅兰, 汪子涵. 针对慢性非传染性呼吸系统疾病的绿色空间定量研究进展 [J]. *南方建筑*, 2021 (3) : 1-7.  
 [30] AERTS R, DUJARDIN S, NEMERY B, et al. Residential Green Space and Medication Sales for Childhood Asthma: A Longitudinal Ecological Study in Belgium[J]. *Environmental Research*, 2020, 189: 109914.  
 [31] ZHAO P X, KWAN M P, ZHOU S H. The Uncertain Geographic Context Problem in the Analysis of the Relationships Between Obesity and the Built Environment in Guangzhou[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(2): 308.  
 [32] CHEN B, SONG Y M, JIANG T T, et al. Real-Time Estimation of Population Exposure to PM<sub>2.5</sub> Using Mobile- and Station-Based Big Data[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(4): 573.  
 [33] HONG S K, LEE S W, JO H K, et al. Impact of Frequency of Visits and Time Spent in Urban Green Space on Subjective Well-Being[J]. *Sustainability*, 2019, 11(15): 4189.  
 [34] MARQUET O, HIRSCH J A, KERR J, et al. GPS-Based Activity Space Exposure to Greenness and Walkability Is Associated with Increased Accelerometer-Based Physical Activity[J]. *Environment International*, 2022, 165: 107317.  
 [35] YOO E, ROBERTS J E. Static Home-Based Versus Dynamic Mobility-Based Assessments of Exposure to Urban Green Space[J]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2022, 70: 127528.  
 [36] GUO L, LUO J, YUAN M, et al. The Influence of

- Urban Planning Factors on PM<sub>2.5</sub> Pollution Exposure and Implications: A Case Study in China Based on Remote Sensing, LBS, and GIS Data[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 659: 1585-1596.
- [37] CUI Q Y, HUANG Y T, YANG G, et al. Measuring Green Exposure Levels in Communities of Different Economic Levels at Different Completion Periods: Through the Lens of Social Equity[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(15): 9611.
- [38] DASS S, O'BRIEN D T, RISTEA A. Strategies and Inequities in Balancing Recreation and COVID Exposure When Visiting Green Spaces[J/OL]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*: 1-13[2022-07-16]. <https://journals.sagepub.com/doi/suppl/10.1177/23998083221114645>.
- [39] KITCHIN R, LAURIAULT T P, WILSON M W. *Understanding Spatial Media*[M]. London: SAGE Publications Ltd, 2017.
- [40] LIU Y Q, WANG R Y, LU Y, et al. Natural Outdoor Environment, Neighbourhood Social Cohesion and Mental Health: Using Multilevel Structural Equation Modelling, Streetscape and Remote-Sensing Metrics[J]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2022, 48: 126576.
- [41] HUANG C H, YANG J, CLINTON N, ET AL. Mapping the Maximum Extents of Urban Green Spaces in 1039 Cities Using Dense Satellite Images[J]. *Environmental Research Letters*, 2021, 16(6): 064072.
- [42] 李经纬, 欧阳伟, 田莉. 建成环境对公共健康影响的尺度与方法研究[J]. *上海城市规划*, 2020 (2) : 38-43.
- [43] HUANG W Z, YANG B Y, YU H Y, et al. Association Between Community Greenness and Obesity in Urban-Dwelling Chinese Adults[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 702: 135040.
- [44] 张维康, 王兵, 牛香. 北京市森林植被冠层对空气颗粒物的调控功能[J]. *应用与环境生物学报*, 2018, 24 (2) : 254-259.
- [45] 马静, 柴彦威, 符婷婷. 居民时空行为与环境污染暴露对健康影响的研究进展[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(10): 1260-1269.
- [46] JIANG Y Q, HUANG G L, FISHER B. Air Quality, Human Behavior and Urban Park Visit: A Case Study in Beijing[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 240: 118000.
- [47] 朱春阳, 李树华, 纪鹏, 等. 城市带状绿地宽度对空气质量的影响[J]. *中国园林*, 2010, 26 (12) : 20-24.
- [48] 段小丽, 黄楠, 王贝贝, 等. 国内外环境健康风险评估中的暴露参数比较[J]. *环境与健康杂志*, 2012, 29 (2) : 99-104.
- [49] WANG X S, CHEN E X, LI Z Y, et al. Study on Urban Green Space Extracting and Dynamic Monitoring Method[C]//IEEE. 2012 First International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), Shanghai: IEEE, 2012: 1-4.
- [50] FLANAGAN E, MATTISSON K, WALLEES J, et al. Air Pollution and Urban Green Space: Evidence of Environmental Injustice in Adama, Ethiopia[J]. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2021: 728384.
- [51] 韩冰冰, 冷红. 寒地社区绿色空间对老年人主观幸福感影响: 以长春市为例[J]. *风景园林*, 2022, 29 (1) : 115-121.
- [52] SONG Y M, CHEN B, KWAN M P. How Does Urban Expansion Impact People's Exposure to Green Environments? A Comparative Study of 290 Chinese Cities[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 246: 119018.
- [53] DONG Y P, LIU H M, ZHENG T M. Association Between Green Space Structure and the Prevalence of Asthma: A Case Study of Toronto[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(11): 5852.
- [54] SQUILLACIOTI G, BELLISARIO V, LEVRA S, et al. Greenness Availability and Respiratory Health in a Population of Urbanised Children in North-Western Italy[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(1): 108.
- [55] BEYER K M M, KALTENBACH A, SZABO A, et al. Exposure to Neighborhood Green Space and Mental Health: Evidence from the Survey of the Health of Wisconsin[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2014, 11(3): 3453-3472.
- [56] PEREIRA G, FOSTER S, MARTIN K, et al. The Association Between Neighborhood Greenness and Cardiovascular Disease: An Observational Study[J]. *BMC Public Health*, 2012, 12: 466.
- [57] LANKI T, SIPONEN T, OJALA A, et al. Acute Effects of Visits to Urban Green Environments on Cardiovascular Physiology in Women: A Field Experiment[J]. *Environmental Research*, 2017, 159: 176-185.
- [58] DAI Y Y, ZHU Z Q, ZHOU S H. The Effects of Green Space on Leisure Time Physical Activities from the Perspective of Community Differentiation: A Case Study of Guangzhou, China[J]. *Tropical Geography*, 2019, 39: 237-246.
- [59] MUELLER W, WILKINSON P, MILNER J, et al. Neighborhood and Path-Based Greenspace in Three European Countries: Associations with Objective Physical Activity[J]. *BMC Public Health*, 2021, 21(1): 282.
- [60] SILVEIRA I H, JUNGER W L. Green Spaces and Mortality due to Cardiovascular Diseases in the City of Rio de Janeiro[J]. *Revista de Saude Publica*, 2018, 52: 49.
- [61] O'CALLAGHAN-GORDO C, ESPINOSA A, VALENTIN A, et al. Green Spaces, Excess Weight and Obesity in Spain[J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2020, 223(1): 45-55.
- [62] HUANG B S, LIU Y, CHEN Y X, et al. Establishing Associations Between Residential Greenness and Markers of Adiposity Among Middle-Aged and Older Chinese Adults Through Multilevel Structural Equation Models[J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2020, 230: 113606.
- [63] FAN J, GUO Y W, CAO Z, et al. Neighborhood Greenness Associated with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Nationwide Cross-Sectional Study in China[J]. *Environment International*, 2020, 144: 106042.
- [64] QIAN Z W, WAN G S, SHI Y F, et al. Correlation Analysis of Urban Environment Quality and Medical and Health Service[J]. *Correlation Analysis of Urban Environment Quality and Medical and Health Service*, 2018, 27(106): 233-239.
- [65] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于科学绿化的指导意见(国办发[2021]19号)[EB/OL].[2022-07-18]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2021/06/02/content\\_5614922.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2021/06/02/content_5614922.htm).
- [66] UNT A L, BELL S. The Impact of Small-Scale Design Interventions on the Behaviour Patterns of the Users of an Urban Wasteland[J]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2014, 13(1): 121-135.

#### 图片来源 (Sources of Figures):

图 1 整理自参考文献 [12][13][16], 图 2 由作者绘制。

(编辑 / 李清清)