

DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20230202

来源, 李佳彤. 基于居民活动的多尺度城市健康数据融合分析[J]. 西部人居环境学刊, 2023, 38(2): 8-16.

LAI Y, LI J T. Integrated Multi-scale Urban Health Data Analytics Based on Residents' Activities[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2023, 38(2): 8-16.

基于居民活动的多尺度城市健康数据融合分析*

Integrated Multi-scale Urban Health Data Analytics Based on Residents' Activities

来源 李佳彤 LAI Yuan, LI Jiatong

摘要: 多尺度的城市健康囊括了身体生理、精神与社会等多方面的健康状态, 涉及规划、医学、卫生、建筑、心理等多学科领域。其中, 居民活动与人口健康状况、生活行为方式、环境健康风险暴露等多种城市健康因素息息相关。基于居民活动的城市健康研究从以人为本的角度提供了重要的理论指导与科学依据, 并呈现出多尺度、多源数据融合的特点。随着全球的城市智慧化建设, 多尺度健康数据资源的丰富为基于多学科的健康研究与城市规划治理提供了新的研究方法与应用场景。本文从居民活动的视角出发, 梳理了地点、社区与城市三个尺度下已有的城市健康数据融合计算研究, 并对数据资源、监测技术、研究方法与应用场景进行了整理。面对当前城市健康研究中普遍存在的忽视人本尺度、缺乏数据融合等问题, 本文进一步探讨了数据驱动城市健康的途径。通过结合多种数字化技术、融通多尺度分析方法、推广多主体实施参

与, 促进多源、多尺度数据在城市健康研究中的融合计算分析, 以期指导未来的城市健康研究与人居环境建设。

关键词: 城市健康; 城市信息学; 智慧人居; 数据融合

Abstract: The continuous development of urban technology presents an opportunity to enhance the general competitiveness of cities and improve people's quality of life by integrating cutting-edge information technology and data-driven healthy city construction and governance. Big data resources and intelligent application scenarios reflecting residents' activities have enriched the development trend, providing new data resources and technical support for scientific understanding, observation, and comprehensive analysis of urban health from multiple scales. In this regard, future planning, design, construction, operation, maintenance, and governance of healthy cities require multi-scale urban health research from the perspective of residents' activities. This includes scientific understanding of complex mechanisms of multi-scale urban health with multi-source data related to residents' activities and providing scientific basis and quantitative analysis methods for intelligent planning and governance of healthy cities. It also includes supporting the application of urban information technology for the intervention of multi-scale health with a view to human health and ensuring the effective development and rational utilization of urban data resources with a value-oriented approach to human health.

This paper explains the concept of multi-scale urban health and its association with residents' activities, introducing the connotation of urban multi-scale health, the association between residents' activities and multi-scale health, and the emergence of related big data. As the concept of multi-scale urban health continues to expand and improve, multi-disciplinary, multi-scale, multi-dimensional, and multi-system urban factors play an increasingly important role in the construction of urban health. Additionally, the promotion of smart city construction and technology application, as well as the use of multi-scale urban health data based on residents' activities in urban planning, has led to a deeper analysis and research of the characteristics of residents' activities on a multi-scale level. In this context, it is necessary to analyze and study the factors affecting multi-scale urban health and residents' activity characteristics. The fusion calculation of urban health data is also necessary and important.

Therefore, based on the theoretical and data resources, this article further introduces the data use, computational methods, research findings and application scenarios of multi-scale urban health analysis at three spatial scales: location, community, and city. The main ways of data-driven urban health in light of the development trend of urban information technology and the complex problems facing future habitat construction are also outlined. Multi-scale health research presents different research methods and focuses, involving various urban spatial data, residents' activity data, and data collection methods. At the location scale, multi-dimensional perception and data integration of local space are realized based on sensor monitoring, geographic location services, and other methods. With the support of community spatial units and social organizational forms, community health records establishment, data crowdsourcing, and community participation can be carried out at this scale, thereby analyzing community residents' activities and spatial multifaceted factors from a relatively micro perspective. At the urban scale, factors such as urban heat environment, air pollution, building density, and social economy within and between cities are taken into consideration, and the mobility

中图分类号 TU984

文献标识码 B

文章编号 2095-6304 (2023) 02-02-09

*国家自然科学基金(72274101); 科技部国家重点研发计划(2022YFC3800603)

作者简介

来源 (通讯作者): 清华大学建筑学院, 自然资源部智慧人居环境与空间规划治理技术创新中心, 助理教授, 特别研究院, 博士生导师, yuanlai@mail.tsinghua.edu.cn

李佳彤: 清华大学建筑学院, 自然资源部智慧人居环境与空间规划治理技术创新中心, 博士研究生

of residents within and between cities provides important clues for urban health, especially in epidemic response research. Overall, the location scale involves fewer factors and a smaller spatial range but has the strongest intervention; the urban scale allows for more extensive and comprehensive analysis but has rather low intervention. Therefore, data calculation at these three scales is suitable for different health research and scenarios, and when conducting data fusion and calculation analysis, their targeted problems and suitable ranges should be identified.

Facing the problems of neglecting the human scale and lack of data fusion in current urban health research, this paper further explores the pathways of data-driven urban health. By combining multiple digital technologies, integrating multi-scale analysis methods, and promoting multi-subject implementation participation, the fusion of multi-source and multi-scale data in urban health research and computational analysis is promoted to guide future urban health research and human settlement construction.

The aim of this article is to provide guidance and suggestions for future urban multi-scale health enhancement and high quality development. Overall, the data fusion analysis based on the concept of multi-scale urban health of residents' activities is not only of great theoretical value to the science of habitat environment but also of practical significance to guide the all-round and whole-cycle health development of intelligent and healthy urban habitat planning, construction, and governance in China in the future.

Keywords: Urban Health; Urban Informatics; Smart Human Habitat; Data Integration

0 引言

随着城市科技不断发展,融合前沿信息技术和数据驱动的健康城市建设治理成为提升城市综合竞争力与改善人民生活质量的重要契机。近年来,反映城市居民活动的大数据资源和智慧应用场景不断丰富,这种发展趋势为从多尺度来科学理解、精细观测与综合分析城市健康提供了新的数据资源与技术支撑。鉴于此,未来健康城市的规划、设计、建设、运维与治理都亟需以居民活动为视角开展多尺度的城市健康研究,这既包括与居民活动相关的多源数据如何驱动对多尺度城市健康复杂机理的科学理解,为健康城市智慧化规划治理提供科学依据与量化分析方法;也包括城市信息技术应用如何支持对多尺度健康的干预,以人居健康为价值导向来确保城市数据资源的有效开发与合理利用。

本文首先阐述了多尺度城市健康的概念及其与居民活动的关联,随后介绍了城市多尺度健康的内涵、居民活动与多尺度健康的关联以及相关大数据的涌现。基于对相关理论与数据资源的梳理,本文进一步从地点、社区、城市三个空间尺度展开介绍了多尺度城市健康分析的数据使用、计算方法与研究发现,并结合城市信息技术的发展趋势与未来人居建设中所面临的复杂问题,概括了数据驱动城市健康的主要途径,以期对未来城市多尺度健康提升和高质量发展提供指导性建议。整体而言,基于居民活动多尺度城市健康理念的数据融合分析不仅对人居环境科学具有重要的理论价值,更对指导我国未来智慧和健康的城市人居规划、建设、治理等全方位全周期健康发展具有实际意义。

1 居民活动与多尺度城市健康

1.1 城市多尺度健康的内涵

以促进人类全面发展和满足人居需求为目标的健康人居是未来城市高质量发展的基本保障。追求享有高标准的健康生活是每个人的基本权利之一,这不仅包括身体生理健康,还包括精神、社会等全方位的健康状态。由于城市多伴随着高密度居住、交通拥堵、空气污染、绿地匮乏、噪音影响、室内环境风险等各种“城市病”,居民不仅长期暴露于多种污染风险之中,还往往需要面对繁忙城市生活所带来的生

理心理巨大压力,从而导致缺乏体育锻炼和非传染性疾病风险增加。与此同时,城市往往又具备更好的医疗健康、文化创新、社区服务、公共设施等资源。城市规划设计通常可基于特定的政策、文化与经济条件,通过对城市建设密度、用地功能布局、交通可达性、基础设施、步行空间质量、绿色公共空间等方面来影响居民生活行为、健康因素传播途径、慢性疾病与死亡风险^[1]。鉴于此,可通过更加科学合理的规划设计,配合新技术应用与治理创新来扭转城市生活的负面健康影响,更进一步地改善居住空间、生态环境、交通网络与公共服务设施来提高生活质量和改善人口健康。

在城市健康理念相关定义中,由世界卫生组织(WHO)于1986年提出的论述受到了广泛关注。WHO认为未来应促进“不断发展公共政策并创造物质和社会环境的城市,使其人民能够相互支持,履行生活的所有职能并实现其全部潜力”^[2],并自1988年以来在全球各地开展健康城市的推广项目。随着城市健康内涵的不断丰富,当代城市健康涉及人类生活环境多方面的全面身心健康,强调其整体性内涵^[3]以及通过城市规划对公共健康的主动干预^[4]。在近年来全球健康城市运动的背景下,我国也持续关注城市健康问题,推出了一系列政策文件以保障城市健康。例如,中国城市科学研究会(CSUS)、中国工程建设标准化协会(CECS)联合碧桂园于2020年共同编订了由空气、水、舒适、健身、人文、服务、创新7类指标组成的《健康社区评价标准》评价指标体系。此外,《健康中国行动(2019—2030)》侧重于微观具体情景,对健康普及、健康环境以及各类人群和疾病的防范提出了指标要求,并明确了政府与社会的各项职责^[5]。《“健康中国2030”规划纲要》则在宏观层面提出目标,从健康普及、健康服务、健康产业等方面构建我国的健康体系,推进健康中国建设^[6]。由此可见,健康城市的建设需要规划、医学、卫生、建筑、心理、健身、环境、毒理、管理等多学科充分集成才能实现,涉及了多尺度、多维度、多系统的各项要素。

关于多尺度城市健康,达尔格伦和怀特海德(Dahlgren & Whitehead)曾于1991年提出了“城市健康多尺度因素的概念,阐述了自然生态、建成环境、社会经济等多系统多尺度因素如何相互作用以影响个人与城市公共健康^[7]。不同学科亦从各自视角与侧重点出发,对“多尺度”所表达的范围与颗粒度进行了阐释。以常见的相关学科为例,地学视角通常认为多尺度是基于时空数据的不同空间与时间单元,即地理现象观测特定的时间段与空间范围;图形图像学视角认为

多尺度是图像识别处理过程中的多种分辨率,例如图片数据含有的像素;信息学视角则认为多尺度是信息管理与数据化过程中所采用的多种层级划分方式与记录单位,例如人口信息采集中所涉及的个人、家庭、社区等不同层级^[8]。

即使是在城市研究范畴内,多尺度的定义也会因具体领域而相异,例如城市生态学可从绿地斑块和城市两个尺度来进行评价^[9],城市用地规划可根据行政区、社区和自定义栅格来进行多尺度分析^[10],城市气象学则以街道—社区—城市—区域的顺序定义了微观、本地、中观多尺度气象要素^[11]。如图1所示,巴顿和格兰特(Barton & Grant)对城市健康相关的因素进行了梳理,总结了物理空间、自然生态、社会经济、政治文化等方面在个体、社区、城市、区域乃至全球范围的多种健康决定因素(图1)。

1.2 居民活动大数据的涌现

在大数据时代之前,由于缺乏大量真实反映居民活动的数据与相关技术应用支撑,城市多尺度健康研究往往局限于抽象概念、理念探讨以及聚焦具体案例的定性研究。二十一世纪以来,全球城市逐步形成了由数据底座、传感设备、通讯网络、信息安全与智能应用所组成的智慧城市信息技术构架^[13],并呈现出数字化空间、网络化活动、智能化场景三大特征^[14-15]。在此背景下,卡恩(Khan)等人指出多尺度模型将对城市复杂系统,尤其是包括智慧社区、智慧交通、智慧基础设施、智慧能源等多领域具有重要指导意义^[16]。具体对于多尺度健康而言,这种由数据驱动的科学理解一方面将支持更全面的规划决策,从而实现资源分配和服务覆盖的优化;另一方面,数字化、智慧化技术在当代城市健康相关的多行业主体、多层级管理、以及个体、人际、机构团体与基础设施的相互作用中发挥着重要的支撑作用^[17]。

国家和国际层面不断重视智慧城市建设所带来的健康效益,并围绕该议题提出了相关战略规划与发展理念。我国在“十二五”

和“十三五”期间,分别对智慧城市建设进行了顶层设计,并对智慧城市系统互联互通与动态仿真进行了部署^[18-19]。在“十四五”期间,我国进一步推进了智慧城市中数字经济、数字社会与数字政府的建设工作,重点关注城乡智慧化公共服务普及等民生内容^[20]。2014年,中国国家发改委发布了促进“健康智慧城市发展”的指导方针,将智慧城市定义为“利用物联网、云计算、大型信息技术等下一代信息技术的新概念和新模式,以促进城市智能城市规划、建设、管理和服务”。在国际层面,WHO亦于2014年推出了健康设施与社区数据工具箱(Health Facility and Community Data Toolkit),从数据治理、数据采集与管理、数据质量与分析、数据传播与使用四个方面提出了综合行动纲要^[21]。由此可见,智慧城市的建设发展过程创造了丰富的数据资源,实现了技术普及与算力提升,为开展基于多学科的健康研究与城市治理实践提供了新的客观依据、研究方法和应用场景。

具体在数据资源方面,多源的城市大数据有助于确定环境、行为、设施和健康结果等因素之间的相互联系。这些丰富多样的数据源可反映诸多与健康相关的信息,包括生态环境因素(例如空气质量、用水质量、噪音污染、自然灾害、室内污染、病原体介体生物等),人居行为因素(例如体育锻炼、文娱乐憩、吸烟、饮酒、数码产品使用、交通行为),家庭特征(例如年龄、性别、家庭规模、出生人口),社会经济地位(例如收入、教育、职业),设施资源(例如医院、诊所、病床资源、社区卫生服务、体育场馆),人口基础健康(例如就医率、社区健康报告、死亡率、平均寿命、哮喘与糖尿病等慢性病风险)以及医疗电子病历与医院历史临床数据(例如根据住院记录和健康结果报告所统计的死亡率、预期寿命、住院率、哮喘、糖尿病就医情况等)。此外,数字应用和物联网产品的增加也使应用程序接口(API)成为一种新兴的数据源。整体而言,虽然目前已有以上多种可反映个人、社区、城市多尺度健康相关的数据资源,大多数的智慧城市研究仍主要基于信息技术(ICT, Information and Communications Technology)和物联网(IoT, Internet of Things)系统数据,个人生理健康与活动行为调查、医疗数据尤其是电子病历信息还亟待开展更多数据集成和融合分析的工作,从而能更好地利用这些数据资源以促进智慧城市建设所带来的生活品质与健康效益提升^[22]。

1.3 居民活动与多尺度城市健康

居民活动泛指居民在城市中的户外活动,涉及通勤、购物、游憩等多方面活动内容,是城市居民日常活动的常见形式。居民活动与人口基础健康水平、生活行为方式、环境健康风险暴露等方面息息相关,因此以居民活动视角出发的城市研究能为建设以人为本的健康城市提供重要的理论指导与科学依据。多样而动态的居民户外活动往往具有不同时空范围,这与城市多尺度健康的理念产生了紧密的联系,即生活在城市中的人群和个体在地点、超本地(hyperlocal)、社区、城市、城际等微观、介观、宏观多种尺度下与多种因素相互作用所产生的健康影响。表1对近期相关研究所关注的居民户外活动类型进行了梳理,总结了居民活动视角的城市多尺度健康所涉及的多源数据、多尺度分析与多方面健康因素(表1)。由此可知,户外活动行为一方面

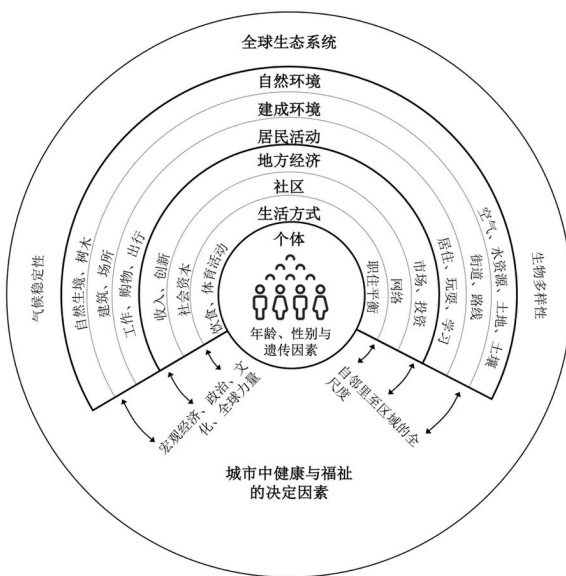


图1 多尺度城市健康决定因素

Fig.1 the determinants of health and well-being in cities

日常体育锻炼活动的频次与时空特征并分析其相关的健康影响^[23]；另一方面，居民户外活动的时空行为亦会决定其在空间中的健康风险暴露，例如居民在日常通勤活动中暴露于城市噪声^[24]、空气污染^[25-26]等健康风险中的时长、频次与强度与其相应的负面影响息息相关。

而在居民活动研究视角之下，空间行为互动理论是该视角的重要理论基础，认为城市空间与个体的户外活动行为之间存在着相互作用关系^[27]。由此理论衍生出“基于空间”和“基于人”的两种研究范式^[28]，并涉及到自微观地点尺度至宏观城市尺度的不同层级^[29]。多学科对于城市健康有着不同的尺度划分，综合人口学、城市规划等学科领域来看，在居民活动的视角下，地点、社区与城市尺度为较为常见的居民活动尺度划分，且对于微观、中观与宏观尺度下的居民活动特征具有一定的代表性。在地点尺度，个体户外活动的时空点位分布的动态变化反映着在微观尺度下个体或群体对具体空间的使用情况，例如通过对居民在公园绿地中的体育锻炼活动的微观测度，实现基于健康视角的场地设计^[30-31]。社区是城市的基本居住单元，可基于居民住宅

周边范围的活动轨迹来了解介观尺度下影响居民健康户外行为的多元空间因素^[32-33]，为介观尺度下健康导向的城市规划设计提供依据。在城市尺度，居民的区域出行和通勤活动时空动态及其与不同城市空间中多种环境、经济、社会因素之间的相互作用影响是宏观尺度下城市健康的重要研究内容。

健康机构与规划部门亦针对不同活动制定了相应的规划指南与评价体系，特别是WHO对多尺度城市进行了较为详细系统的解释。根据WHO住房与健康指南（WHO Housing and Health Guidelines）以及健康城市指南等文件，城市的多尺度健康主要体现在围绕人居活动的住宅、社区、城市三个尺度^[38-39]。WHO认为，住宅作为人类生存基本需求会直接影响居民健康，健康住宅需要在建筑质量、居住密度、室内温度、水质、噪声等方面满足可为人们带来安全感、舒适感、归属感和隐私感的居住标准，成为能够支持个人生理、精神和社会全面健康的庇护所^[40]。社区不仅为住宅提供外部环境资源，还是构架城市社会的基本单元，因此其规划设计不仅要遵循健康社区的发展原则^[41]，还要借助公众意识、居民参与和社区行动的力量^[42]。在城市尺度，倡导以平等、健康推广、跨部门合作、社区参与、环境支持、承担责任以及和平为原则的健康城市规划^[2]。整体而言，WHO围绕多尺度城市健康的理念提出了一系列研究报告与导则，为规划设计具有宜居性、包容性、连接性以及生态韧性的城市空间提供了指导依据^[43]。整体而言，涉及多学科、多维度、多系统的健康因素逐步受到重视，多尺度城市健康的理念内涵亦得到了扩展完善。

随着二十一世纪以来全球智慧城市建设的广泛推进，与多尺度城市健康紧密相关的数据资源不断涌现，不仅促使相关数据在城市规划中得到更多的应用，更通过多种新兴智慧场景催生出新的居民活动特征。遵循WHO对多尺度城市健康的定义，并考虑到住宅尺度健康因素通常以地点信息的数据形式录入，本研究相应地将多尺度城市健康数据划分为地点、社区、城市尺度。探讨多尺度城市健康数据融合分析的必要性主要体现在三个方面：首先，多尺度数据融合分析通过客观精细刻画在居住地点、社区和城市多个尺度上所显现的空间异质性，能更加深入地揭示城市环境不公正与健康不平等问题^[44]；其次，由于这些健康问题通常与城市的局部空间环境质量、居民社会经济属性、公共服务设施资源等多种因素相关，其应对策略需要借助居民个体、社区群体以及城市全局的多方主体参与及多尺度协同^[45]；最后，鉴于智慧化生活场景逐步实现“智慧家居—智慧社区—智慧城市”多尺度覆盖的未来趋势，利用数据打通多尺度智慧技术以促进健康将是未来智慧人居的重要价值之一^[46-47]。综上，从居民活动的视角对多尺度城市健康因素及其相关的数据融合分析进行总结和梳理具有重要意义。

2 多尺度城市数据融合计算

2.1 地点尺度

基于传感设备的定点（In-situ）监测以及基于大数据的空间场所量化测度提供了监控现实世界中特定地点的具体情况的能力，并通过

表1 基于居民活动的城市健康研究梳理

Tab.1 urban health studies based on residents' activities

文献名称	年份	活动类型	数据来源	健康因素	研究尺度
《居民活动视角的城市雾霾灾害韧性评估——以南京市主城区为例》 ^[26]	2019	日常出行	人口热力图	空气污染	城市
《居民日常出行特征与空气污染暴露对出行满意度的影响以北京市美和园社区为例》 ^[33]	2019	日常出行	问卷	空气污染	社区
<i>Using Google Street View to Investigate the Association Between Street Greenery and Physical Activity</i> ^[32]	2019	体育锻炼	问卷	街道绿化	社区
《空气污染对城市活力的影响及其建成环境异质性——基于大数据分析》 ^[25]	2021	日常出行	新浪微博	空气污染	城市
《健康支持性环境对城乡居民规律性体力活动的影响——基于社会生态学的视角》 ^[34]	2021	体育锻炼	中国综合社会调查项目	空气污染、水污染、噪声污染、建成环境	城市
《新冠肺炎疫情影响下居民时空行为变化及其制约因素分析》 ^[35]	2021	日常出行	问卷	疫情	社区
<i>Living with Urban Sounds: Understanding the Effects of Human Mobilities on Individual Sound Exposure and Psychological Health</i> ^[24]	2021	日常出行	GPS与活动日志数据	噪声暴露	社区
<i>Contribution of Park Visits to Daily Physical Activity Levels Among Older Adults: Evidence Using GPS and Accelerometry Data</i> ^[23]	2021	体育锻炼	GPS数据	公园绿地	社区
<i>The Effects of Park Improvement on Park Use and Park-Based Physical Activity</i> ^[30]	2021	体育锻炼	定点观测数据	公园绿地	地点
《基于人群活动的大城市防疫风险预测与防控要素研究——以武汉市为例》 ^[36]	2022	日常出行	LBS数据	疫情	城市
<i>Spatiotemporal Characteristics of Public Recreational Activity in Urban Green Space Under Summer Heat</i> ^[31]	2022	体育锻炼	定点观测数据	公园绿地、城市热环境	地点
<i>Geospatial Network Analysis and Origin-Destination Clustering of Bike-Sharing Activities During the COVID-19 Pandemic</i> ^[37]	2023	骑行出行	共享单车轨迹数据	疫情	城市

多种数据的采集、融合、计算和分析来实现对该地点的定量了解。从城市空间数据计算的角度而言,任何地理位置都可以通过物理邻近性与各种空间数据结合在一起,例如可基于具体的地理坐标点生成自定义范围的环城缓冲区(buffer)与周边的地理信息进行融合分析。此外,即使对于某些不直接带有地理信息的非空间数据,亦可以基于标识符或语义相关性等方式来实现数据融合,例如利用自然语言处理对文本类数据进行信息挖掘,通过提取相关提及地点的词汇以建立地理关联。这种空间数据查询方法能够选择城市中的任何点位,并在选定的时空范围内收集信息来量化城市空间局部情况。例如,可在具体地点周边采集与融合多源的数据,在微气候条件、城市形态和土地利用方面量化具体地理位置及其周边环境,以支持更加可持续的场地规划设计^[48]。基于多源数据融合计算的聚类分析可进一步解释局部空间的类型特征,如通过对空间场所行人活动友好程度进行量化测度与场所类型识别^[49]。

从居民活动的视角来看,基于位置服务(location-based services, LBS)可通过多种定位技术获取个体的实时位置信息,从而实现对地点周边城市健康相关居民活动的时空行为观测分析,例如居民对于公园^[50]、社区服务设施^[51]的活动区域与使用偏好等。基于位置服务精细刻画的行为时空轨迹亦可进一步解释与居民健康相关活动线路情况,例如胡(Hu)等人利用基于腾讯位置服务数据刻画了深圳市95 379例病人就医路径特征与空间可达性差异^[52],陈(Chen)等人利用百度位置服务数据刻画了深圳市台风极端天气前后的居民活动区域^[53]。在此基础上,也可以通过个案汇总在更大范围实现基于精确活动轨迹的疫情扩散风险预测^[54]、空气污染暴露研究^[54]等的健康风险因素研究。以上这些数据的应用分析与相关研究发现进一步为微观尺度的城市健康研究和基于地点尺度的城市健康规划提供了理论依据与技术方法。

2.2 社区尺度

鉴于居民个体活动往往与家庭和社区生活紧密联系,可通过融合诸多社区尺度的人口普查、家庭调查、公共活动以及反映局部人群社会经济情况的数据,对影响社区健康的多方面因素进行综合分析。在健康数据的收集与分析过程中,社区尺度健康可按照其研究范围划分为“全域社区单元”和“具体社区片区”两类。全市域范围上,较传统的方式是通过人口普查、家庭问卷、社区调研等形式收集社区健康数据,并根据统计结果制定相应的社区健康指标。例如,美国纽约市自1987年以来持续开展了社区健康档案项目(New York City Community Health Profiles)对全市59个社区单元(community districts)进行多年社区健康数据采集和追踪调查记录,并通过多源数据融合计算得出50余项社区健康指标。该社区健康档案项目亦支撑了后续诸多基于此数据资源与相关量化指标的社区人口健康研究。例如,孙(Sun)等人利用该数据并结合社区尺度社会、经济、环境等多种因素,通过空间回归模型分析了纽约市多种社区因素与当地人口肥胖率之间的关系^[55]。由此可见,社区健康调查记录能帮助我们量化描述城市中不同社区生活、工作、游憩行为特征、家庭社会经济特征与人口健康结果,并为制定社区尺度的健康政策、发展策略与规划方案提供长期性、系统化的客观依据与评估指标^[56]。

此外,城市中某些具体社区亦可以作为研究对象,通过对其范围内的空间特征、居民活动行为、健康风险因素等进行记录和追踪,开展更加微观与聚焦局部空间的健康研究。例如,霍夫(Hough)等人通过对英国西密德兰郡社区城市农场蔬菜与居民食用情况进行数据记录分析了土壤重金属对家庭种植蔬菜食用的健康风险^[57],王兰等人基于上海某社区的肺癌病例的空间分布探讨了社区建成环境与呼吸健康的关系^[58]。随着近年来新兴信息技术的推广应用,亦有社区利用传感设备与物联网来串联社区尺度的人(居民)、事(活动)、物(环境),并以此为基础开展社区健康数据的采集与分析。例如,芝加哥大学与当地社区联合开展了基于IoT的社区物联网(Array of Things)建设,通过多地点量化测度结合传感器装置以形成局部传感网络用以监测社区环境健康^[59]。类似的社区项目还包括基于IoT设备的空气质量监测^[60]、社区垃圾管理系统^[61]等。而在社区物联网基础设施之上,还可结合“未来社区”“智慧社区”“低碳社区”等主题,通过公众参与来鼓励居民加入,主动地开展数据众包(crowdsourcing)、健康行为意识反馈和参与式社区规划,并由以上的活动方式获得包括城市街道树木^[62]、居民绿地使用偏好^[63]、社区健康风险点位^[64]等数据,对传统被动式的普查数据或问卷调查数据起到了重要的补充作用。

2.3 城市尺度

城市尺度的居民活动特征是城市健康的重要研究视角,这既包括了城市全域范围中因热岛效应、季风风向、建筑密度等造成的市内(intra-city)差异,也包括因地理、气候、经济等因素造成的多城市城际(inter-city)差异。在城市内部,可对居民的区域内出行活动进行观测,通过共享单车使用情况^[37]、人口热力分布^[26]、LBS分布^[36]等数据来了解城市尺度下的居民出行活动动态。在获取全市范围人口热力时空分布信息后,可对其时空分布特征与动态变化进行量化分析,并基于此进一步研究空气污染^[26]、噪声^[24]、热环境^[31]、公园绿地^[23]、空间形态^[65]等多种局部因素对居民活动的扰动性及其造成的健康影响。而在城际范围,不同城市所反映的健康程度对都市圈、城市群、区域发展乃至全国人口健康提供了重要依据。例如由清华大学万科公共卫生与健康学院、清华大学中国新型城镇化研究院、清华大学健康中国研究院联合发布的《清华城市健康指数2022》利用时空大数据挖掘与技术分析技术,提出由健康服务、健康产业、健康行为、健康设施、健康环境、健康效用6大板块以及17个二级指标、39个三级指标的评价体系,为我国健康城市评价提供了数据样本、测评方法和指标体系。需要特别强调的是,在该评价体系所使用的数据中,有75%属于与居民活动相关的多源社会大数据,包括10亿条运动行为数据、300万亿条健康消费数据等信息等^[66]。

自2020年以来的新冠疫情(COVID-19)对全球带来了重大冲击,彰显了城市一城际尺度居民活动视角的健康研究对公共卫生危机应对的重要价值。例如,来源等人对美国县级新冠病例时序数据进行了细致的计算分析,阐述了疫情背景下由于信息源的异质性以及不同市县之间的地理、人口和社会经济因素等差异所带来的多源数据融合计算分析挑战。该研究通过对手机信令数据的时空统计刻画了各市县内外的居民活动情况,并结合其内部的疫情病例增长与居民人口特征,

分析了不同市县所呈现出的类型学特征^[67]。分析结果表明,对不同市县按照其内部人口年龄组成情况进行类型特征划分后,不同类型的市县在颁布当地居家令之前、期间和解除后呈现出具有显著差异的居民活动特征。例如,年轻成年人(20—24岁)比例较大的县,其居民活动的流动性较高,在居家令期间内部人口流动性削减最少。此外,来源等人通过对多个城市疫情应对和相关研究的梳理,总结了多尺度数据融合分析如何在移动(mobility)、设施(facility)、人口(population)、信息(information)和参与(engagement)五个方面综合提升城市的疫情应对能力^[68]。

综上,多尺度健康研究呈现出不同的研究方法与侧重点,并涉及多种城市空间数据、居民活动数据与数据收集采集方式(图2)。地点尺度基于传感器监测、地理位置服务等方式实现对局部空间的多方面感知与数据整合。依托社区的空间单元和社会组织形式,可在该尺度下开展社区健康档案建立、数据众包、社区参与等工作,从而以介观视角分析社区居民活动与空间多方面因素。城市尺度下,城市热环境、空气污染、建筑密度、社会经济等市内与市际因素被纳入考虑,城市内部与城际间居民流动为城市健康尤其是疫情应对研究提供了重要线索。综合比较来看,地点尺度涉及的因素较少、空间范围小但干预性最强;城市尺度可以进行广泛综合的分析,但可干预性低。因此,三种尺度下的数据计算适合不同的健康研究与场景,在进行数据融合计算分析时应对其所针对的问题和适合的范围进行甄别。

3 多尺度城市健康数据融合的途径

3.1 结合多数字技术

虽然上文阐述了多源数据如何支持包括地点、社区和城市多尺度的实证研究与量化分析,但目前为实现数据驱动多尺度城市健康过程中仍面临着诸多来自数据资源、分析方法与社会影响等方面的复杂挑战(表2)。首先在数据方面,当前的城市数据资源建设尚处于持续完善的过程之中,仍会出现由于数据缺失、数据质量和采样不全所导致的观测结果偏差、分析结果不准确和由不完整数据造成的算法偏

见。尤其对于城市居民活动数据而言,造成以上数据问题的原因既有可能是数据采集和分析过程中的研究设计失误,也有可能是科技鸿沟和不同人群在文化、经济、社会方面的差异所带来的不同数字参与程度。一方面,收集到的数据可能仅代表城市中具有某一特征的人,而缺乏对于全部城市居民的代表性。另一方面,城市作为复杂巨系统,其内部涉及多种因素间的多种相互关系,因而数据上呈现出的相关性并不一定意味着实际情况中的相关性。此外,城市区域发展的不均衡性导致了不同空间和群体之间的科技鸿沟,诸如城中村等地区在城市研究中往往面临着城市局部空间数据缺失的问题。面对以上数据缺失与数据偏见所带来的挑战,应当通过多种数字化途径获取整合多尺度、多形式的数据资源,降低单源数据可能存在的有偏性与不确定性问题^[69]。通过跨模式的数据融合技术,整合城市研究涉及到的社交媒体文本数据、带有地理标记的时间序列数据、街景图片数据、居民活动轨迹数据等多种类型与精度的数据^[70]。此外,也应当不局限于数据计算,将传统规划中的场地分析、3D建模、定性分析等方法与之相结合,逐步应对并解决数据问题所导致的城市公平性问题^[71]。

3.2 融通多尺度分析

构建融通多尺度城市健康的理论研究框架和分析方法将有助于城市多源数据的整合,使得点状、线状、面状的不同时空颗粒度下的城市数据可以进行综合分析,并具有不断扩展囊括新数据的能力^[72]。同时,大数据时代的城市研究要求在多尺度把握城市宏观特征与微观局部特征,全面地了解城市多方面健康相关因素的时空规律,从而开展有针对性的规划决策。例如聂文辉森(Nieuwenhuijsen)阐述了城市规划如何基于特定的政策、文化与经济条件,通过对城市建设密度、用地功能布局、交通通达性、基础设施、步行空间质量、绿色公共空间等方面来影响居民健康行为、健康因素传播途径、慢性疾病与死亡风险^[1]。因此,这也对城市健康研究提出新的要求,自城市尺度基于大范围数据的区域与空间差异研究,至地点尺度基于微观个体数据的个体活动规律与局部空间优化决策,在不同尺度层级对城市健康问题进行合理诊断。正如上文所提到的,多学科研究与行业领域对“多尺度”所表达的范围和粒度具有不同理解,并基于自身需求开发了一系列应对多尺度特征的方法。因此未来城市多尺度健康研究过程中,可进一步探索将多重网格、区域分解、多分辨率、自适应网格等多尺度计算方法与地理加权回归、深度学习、多尺度模型(Multi-Scale Modeling)等多种分析方法相结合,以实现利用多源数据和多学科方法来揭示城市多尺度健康的复杂影响和作用机理。

表2 数据驱动多尺度城市健康的途径

Tab.2 data-driven approaches to multi-scale urban health

驱动途径	聚焦问题	参与主体	开展方式	关键技术
多数字技术	数据偏见、数据鸿沟	规划与政府部门、企业	空间数据分析与3D建模等方法的融合	跨模式的数据融合技术、多软件协同工作
多尺度分析	宏观分析的割裂	规划与政府部门、企业	基于多源数据的多尺度整合与方法问题诊断	多尺度城市分析方法
多主体参与	精细化、人性化治理与管理权界缺位	规划与政府部门、企业、公众	基于城市信息化平台的公众参与	互动地图、数据众包、城市信息化公众参与平台

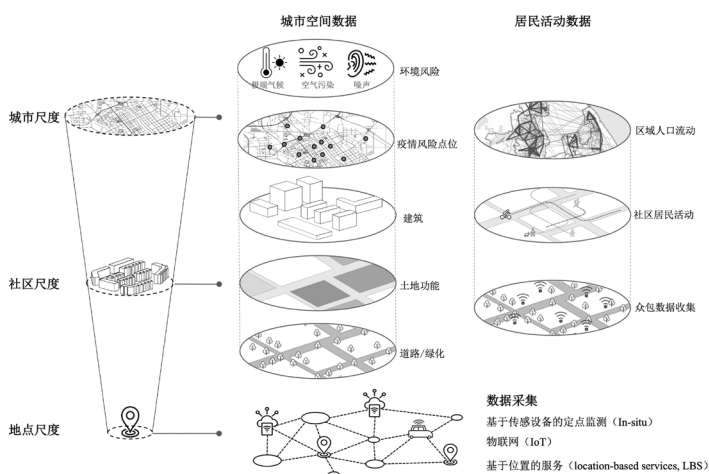


图2 地点、社区、城市尺度健康相关的居民活动与数据

Fig.2 location, community, and city-scale health-related resident activities and data

3.3 推广多主体参与

由本文对智慧城市发展演化过程的梳理可见,居民活动及其与多尺度城市健康的关系亦随着城市生活的数字化、智慧化而呈现出新的行为特征和需求趋势,并由此衍生出多种新的居民参与方式。当前在城市健康相关的数据融合计算与综合分析过程中,仍面临包括多学科研究方法路径不够清晰、计算伦理存有争议、信息管理存在障碍、多方长期合作关系难以维持等诸多社会技术挑战与局限性^[73]。大数据、人工智能与全网时代下,城市规划与城市治理由自上而下转变为自下而上,大数据算力的提升与信息交互技术大大增强了公众参与平台的构建水平以及大范围公众参与的可行性^[74]。城市信息化与数据平台使得动态精细化的空间资源配置与城市管理成为可能,同时也将引导规划更加关注人的活动,真正落实“以人为本”的理念^[75]。目前已出现利用信息技术的健康治理创新,例如通过手机应用程序促进居民对社区周边绿地的关注的方式实现对其身心健康的干预^[76],整合全市空气污染数据的信息互动平台推动居民对自身风险暴露的管理^[77],基于互动地图与照片众包技术实现空气污染相关政策制定中的公众参与^[78],居民通过应用程序上传携带地理信息的照片与音频可也以协助社区健康问题的反馈与解决方案实施^[64]。对于我国当下空间规划改革中城市精细化、人性化治理与空间管理权界缺位的困境^[79],基于多源数据融合的城市信息技术将是解决这些问题的重要途径之一。因此,未来可进一步推广利用社交网络、新兴媒体、数字服务等信息技术为城市多尺度健康提供新的规划交互体验、参与模式、干预手段与实施途径。

4 结语

多尺度城市健康要求城市中自然环境、建筑环境与社会个体多方面的和谐发展,同城市中居民的多种健康行为、环境风险暴露等因素高度相关。随着智慧城市技术与信息构架逐渐成熟,基于居民活动的多尺度城市健康数据为城市规划在数据资源、研究方法与应用场景等多方面提供了新的契机。当前的城市健康研究呈现出基于地点、社区与城市的多尺度分析特征,以及融合土地功能、建筑、交通、绿化、居民活动、气候等多源数据特征,并涉及到了定点监测、位置服务、众包等新数据获取途径。着眼未来,数据驱动的城市健康应当融合多种数字化资源,整合融通多尺度的城市分析方法,并着力推广多主体在城市规划各个环节的公众参与,通过数据融合计算分析配合城市设计、规划政策、智慧赋能等手段,以期建设更加健康的人居环境。

致谢:感谢清华大学—丰田联合研究院跨学科专项资助。

参考文献:

- [1] NIEUWENHUIJSEN M. Urban and Transport Planning, Environmental Exposures and Health-New Concepts, Methods and Tools to Improve Health in Cities[J]. *Environmental Health*, 2016, 15: 161-71.
- [2] DUHL L J, SANCHEZ A K. Healthy Cities and the City Planning Process: A Background Document on Links Between Health and Urban Planning[R].1999.
- [3] 杨春, 谭少华, 李梅梅, 等. 健康城市主动式规划干预途径研究[J]. *城市规划*, 2022, 46(11): 61-76.
- [4] 于一凡. 健康城市规划: 从发展理念走向规划实践[J]. *城市规划学刊*, 2022(6): 44-49.
- [5] 健康中国行动推进委员会. 健康中国行动(2019—2030年)[EB/OL]. (2019-07-15) [2023-02-08]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-07/15/content_5409694.htm.
- [6] 中共中央国务院. “健康中国2030”规划纲要[EB/OL]. (2016-10-25) [2023-02-08]. http://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm.
- [7] DAHLGREN G, WHITEHEAD M. The Dahlgren-Whitehead Model of Health Determinants: 30 Years on and still Chasing Rainbows[J]. *Public Health*, 2021, 199: 20.
- [8] 张昉, 赵书良, 武永亮. 面向多尺度数据挖掘的数据尺度划分方法[J]. *计算机科学*, 2019, 46(4): 57-65.
- [9] 李双金, 马爽, 张森, 等. 基于多源新数据的城市绿地多尺度评价: 针对中国主要城市的探索[J]. *风景园林*, 2018(8): 12-17.
- [10] WEI L, LUO Y, WANG M, *et al.* Multiscale Identification of Urban Functional Polycentricity for Planning Implications: An Integrated Approach Using Geo-Big Transport Data and Complex Network Modeling[J]. *Habitat International*, 2020, 97: 102134.
- [11] WONG N H, HE Y, NGUYEN N S, *et al.* An Integrated Multiscale Urban Microclimate Model for the Urban Thermal Environment[J]. *Urban Climate*, 2021, 35: 100730.
- [12] BARTON H, GRANT M. A Health Map for the Local Human Habitat[J]. *Journal of the Royal Society for the Promotion of Health*, 2006, 126(6): 252.
- [13] HABIBZADEH H, KAPTAN C, SOYATA T, *et al.* Smart City System Design: A Comprehensive Study of the Application and Data Planes[J]. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 2019, 52(2): 1-38.
- [14] MITCHELL W J. *City of Bits: Space, Place, and the Infobahn*[M]. Cambridge: MIT Press, 1996.
- [15] BRADLEY G. *Social and Community Informatics: Humans on theNet*[M]. Routledge, 2007.
- [16] KHAN A, ASLAM S, AURANGZEB K, *et al.* Multiscale Modeling in Smart Cities: A Survey on Applications, Current Trends, and Challenges[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2022, 78: 103517.
- [17] SADSAD R, MCDONNELL G. *Multiscale Modelling for Public Health Management: A Practical Guide*[M]. Chichester: John Wiley & Sons, Inc., 2014: 280-294.
- [18] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要[EB/OL]. (2016-03-17) [2023-03-05]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content_5054992.htm.
- [19] 中华人民共和国中央人民政府. 国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要[EB/OL].(2011-03-16)[2023-03-05]. http://www.gov.cn/2011h/content_1825838_4.htm.
- [20] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[EB/OL].(2021-3-13)[2023-03-05]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.
- [21] WHO, USAID, OSLO U O. *Health Facility and Community Data Toolkit* [R]. Geneva: World Health Organization, 2014.
- [22] ALLAM Z, TEGALLY H, THONDOO M. Redefining the Use of Big Data in Urban Health for Increased Liveability in Smart Cities[J]. *Smart Cities*, 2019, 2(2): 259-68.
- [23] VICH G, DELCLOS-ALIO X, MACIEJEWSKA M, *et al.* Contribution of Park Visits to Daily Physical Activity Levels Among Older Adults: Evidence Using GPS and Accelerometry Data[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 63.
- [24] KOU L, KWAN M-P, CHAI Y. Living with Urban Sounds:

- Understanding the Effects of Human Mobilities on Individual Sound Exposure and Psychological Health[J]. *Geoforum*, 2021, 126: 13-25.
- [25] 王波, 甄峰, 张姗姗, 等. 空气污染对城市活力的影响及其建成环境异质性——基于大数据分析[J]. *地理研究*, 2021, 40(7): 1935-48.
- [26] 孙鸿鹄, 甄峰. 居民活动视角的城市雾霾灾害韧性评估——以南京市主城区为例[J]. *地理科学*, 2019, 39(5): 788-96.
- [27] KNOX P L. *Urban Social Geography: An Introduction*[M]. 3rd ed. Harlow, Essex, England : New York: Harlow, Essex, England : Longman Scientific & Technical New York : Wiley, 1998.
- [28] 柴彦威, 谭一诺, 申悦, 等. 空间——行为互动理论构建的基本思路[J]. *地理研究*, 2017, 36(10): 1959-70.
- [29] 林姚宇, 王丹, 龚咏喜, 等. 城市居民活动时空结构研究进展及量化解析框架构建[J]. *现代城市研究*, 2021(2): 49-55.
- [30] ARIFWIDODO S D, CHANDRASIRI O. The Effects of Park Improvement on Park Use and Park-Based Physical Activity[J]. *Journal of Architecture and Urbanism*, 2021, 45(1): 73-9.
- [31] HUANG Z, DONG J, CHEN Z, *et al.* Spatiotemporal Characteristics of Public Recreational Activity in Urban Green Space under Summer Heat[J]. *Forests*, 2022, 13(8).
- [32] LU Y. Using Google Street View to Investigate the Association Between Street Greenery and Physical Activity[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 191.
- [33] 刘冠秋, 马静, 柴彦威, 等. 居民日常出行特征与空气污染暴露对出行满意度的影响——以北京市美和社区为例[J]. *城市发展研究*, 2019, 26(9): 35-42.
- [34] 王依明. 健康支持性环境对城乡居民规律性体力活动的影响——基于社会生态学的视角[J]. *现代城市研究*, 2021(10): 111-117.
- [35] 许伟麟, 李春江, 柴彦威, 等. 新冠肺炎疫情影响下居民时空行为变化及其制约因素分析[J]. *城市发展研究*, 2021, 28(3): 3-9.
- [36] 郭亮, 彭雨晴, 贺慧. 基于人群活动的大城市防疫风险预测与防控要素研究——以武汉市为例[J]. *西部人居环境学刊*, 2022, 37(5): 52-58.
- [37] XIN R, DING L, AI B, *et al.* Geospatial Network Analysis and Origin-Destination Clustering of Bike-Sharing Activities During the COVID-19 Pandemic[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2023, 12(1).
- [38] WHO. *Healthy Cities: Guidelines for the Development of Healthy Cities Projects and Activities*[R]. 1997.
- [39] WHO. *WHO Healthy Cities Project: A Guide to Assessing Healthy Cities*[C]//proceedings of the WHO healthy cities papers #3, Copenhagen, F, 1988. FADL.
- [40] WHO. *WHO Housing and Health Guidelines*[R], 2018-11-23.
- [41] WHO. *Regional OFFICE FOR SOUTH-EAST A. Healthy Space Next Door: A Toolkit for Healthy Community Design*[M]. New Delhi: World Health Organization. Regional Office for South-East Asia, 2021.
- [42] Ottawa Charter For Health Promotion Charte D'ottawa Pour La Promotion De La Santé[J]. *Canadian Journal of Public Health / Revue Canadienne de Sante'e Publique*, 1986, 77(6): 425-430.
- [43] WHO. *Integrating Health in Urban and Territorial Planning: A Sourcebook*[R]. 2023.
- [44] MA J, MITCHELL G, DONG G, *et al.* Inequality in Beijing: A Spatial Multilevel Analysis of Perceived Environmental Hazard and Self-Rated Health[J]. *Annals of the American Association of Geographers*, 2017, 107(1): 109-129.
- [45] 来源, 王钰, 林添怿. 面向绿色基础设施的城市信息学: 纽约市行道树数据收集、分析与公众科学的综合研究[J]. *风景园林*, 2021, 28(1): 17-30.
- [46] TRENCHER G, KARVONEN A. Stretching "Smart": Advancing Health and Well-Being Through the Smart City Agenda[J]. *Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability*, 2019, 24(7): 610-627.
- [47] KIM H, CHOI H, KANG H, *et al.* A Systematic Review of the Smart Energy Conservation System: From Smart Homes to Sustainable Smart Cities[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 140: 110755.
- [48] LIM T K, IGNATIUS M, MIGUEL M, *et al.* Multi-Scale Urban System Modeling for Sustainable Planning and Design[J]. *Energy and Buildings*, 2017, 157: 78-91.
- [49] LAI Y, KONTOKOSTA C E. Quantifying Place: Analyzing the Drivers of Pedestrian Activity in Dense Urban Environments[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 180: 166-178.
- [50] 郝新华, 王鹏, 段冰若, 等. 基于多源数据的奥林匹克森林公园南园使用状况评估[C]//中国城市规划学会. 规划60年: 成就与挑战——2016中国城市规划年会论文集(11风景环境规划). 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [51] 邓雨晴, 郭文兵, 龚亚男, 等. 人群活动导向的老城区公服设施供给模式研究[J]. *南方建筑*, 2022(5): 83-90.
- [52] HU W, LI L, SU M. Modeling Health Seeking Behavior Based on Location-Based Service Data: A Case Study of Shenzhen, China[J]. *International Journal of Geo-Information*, 2022, 11(5): 295.
- [53] CHEN Z, GONG Z, YANG S, *et al.* Impact of Extreme Weather Wvents on Urban Human Flow: A Perspective from Location-Based Service Data[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2020, 83: 101520.
- [54] GUO L, LUO J, YUAN M, *et al.* The Influence of Urban Planning Factors on PM(2.5) Pollution Exposure and Implications: A Case Study in China Based on Remote Sensing, LBS, and GIS data[J]. *Sci Total Environ*, 2019, 659: 1585-1596.
- [55] SUN Y, WANG S, SUN X. Estimating Neighbourhood-Level Prevalence of Adult Obesity by Socio-Economic, Behavioural and Built Environment Factors in New York City[J]. *Public Health*, 2020, 186: 57-62.
- [56] CITY; N Y. *New York City Community Health Profiles*[Z]. 2022
- [57] HOUGH R L, BREWARD N, YOUNG S D, *et al.* Assessing Potential Risk of Heavy Metal Exposure from Consumption of Home-Produced Vegetables by Urban Populations[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2004, 112(2): 215-221.
- [58] 王兰, 蒋希冀, 孙文尧, 等. 城市建成环境对呼吸健康的影响及规划策略以上海市某城区为例[J]. *城市规划*, 2018, 42(6): 15-22.
- [59] WILSON B, CHAKRABORTY A. Planning Smart(er) Cities: The Promise of Civic Technology[J]. *Journal of Urban Technology*, 2019, 26(4): 29-51.
- [60] DEEP B, MATHUR I, JOSHI N. Coalescing IoT and Wi-Fi Technologies for an Optimized Approach in Urban Toute Planning[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(27): 34434-34441.
- [61] NAGNOSTOPOULOS T, ZASLAVSKY A, SOSUNOVA I, *et al.* A Stochastic Multi-Agent System for Internet of Things-Enabled Waste Management in Smart Cities[J]. *Waste Management & Research*, 2018, 36(11): 1113-1121.
- [62] LAI Y, KONTOKOSTA C E. The Impact of Urban Street Tree Species on Air Quality and Respiratory Illness: A Spatial Analysis of Large-Scale, High-Resolution Urban Data[J]. *Health & Place*, 2019, 56: 80-87.
- [63] SCHRAMMEIJER E A, VAN ZANTEN B T, VERBURG P H. Whose Park? Crowdsourcing citizen's Urban Green Space Preferences to Inform Needs-Based Management Decisions[J]. *Sustainable and Society*, 2021, 74: 103249.
- [64] AFANEH H, FERNES P K, LEWIS E C, *et al.* Our Voice NOLA: Leveraging a Community Engaged Citizen Science Method to Contextualize the New Orleans Food Environment[J]. *International*

- Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(22): 14790.
- [65] FATHI S, SAJADZADEH H, SHESHKAL F M, *et al.* The Role of Urban Morphology Design on Enhancing Physical Activity and Public Health[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(7): 2359.
- [66] 人民网. 《清华城市健康指数2022》发布, 大数据绘制城市“健康画像”[N]. 光明日报, 2023-02-22.
- [67] LAI Y, CHARPIGNON M L, EBNER D K, *et al.* Unsupervised Learning for County-Level Typological Classification for COVID-19 Research[J]. Intell Based Med, 2020, 1: 100002.
- [68] LAI Y, YEUNG W, CELI L A. Urban Intelligence for Pandemic Response: Viewpoint[J]. JMIR Public Health Surveill, 2020, 6(2): e18873.
- [69] 裴韬, 刘亚溪, 郭思慧, 等. 地理大数据挖掘的本质[J]. 地理学报, 2019, 74(3): 586-98.
- [70] YU Z. Methodologies for Cross-Domain Data Fusion: An Overview[J]. IEEE Transactions on Big Data, 2015, 1(1): 16-34.
- [71] LAI Y, LIU Y. Computing Places and Human Activity in Data-Absent Informal Urban Settlements[C]// Proceedings of the IEEE Perawarecity-WSCC 2022: Joint Workshop on Pervasive Smart Sustainable Cities, Pisa, Italy, 2022.
- [72] ZENG C, HE S, CUI J. A Multi-Level and Multi-Dimensional Measuring on Urban Sprawl: A Case Study in Wuhan Metropolitan Area, Central China[J]. Sustainability, 2014, 6(6): 3571-98.
- [73] LAI Y, STONE D J. Data Integration for Urban Health[M]//AL. L A C E. Leveraging Data Science for Global Health. Springer. 2020: 351-363.
- [74] 赵珂, 于立. 大规划: 大数据时代的参与式地理设计[J]. 城市发展研究, 2014, 21(10): 28-32+83.
- [75] 许燕婷, 冯建喜. 从公共卫生运动看城市规划理论溯源、嬗变及范式转移[C]// 中国城市规划学会. 2020中国城市规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [76] MCEWAN K, FERGUSON F J, RICHARDSON M, *et al.* The Good Things in Urban Nature: A Thematic Framework for Optimising Urban Planning for Nature Connectedness[J]. Landscape and Urban Planning, 2020, 194: 103687.
- [77] CHE W, FREY H C, FUNG J C H, *et al.* PRAISE-HK: A Personalized Real-Time Air Quality Informatics System for Citizen Participation in Exposure and Health Risk Management[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 54: 101986.
- [78] LEPENIES R, ZAKARI I S. Citizen Science for Transformative Air Quality Policy in Germany and Niger[J]. Sustainability, 2021, 13(7): 3973.
- [79] 高洁, 刘畅. 伦理与秩序——空间规划改革的价值导向思考[J]. 城乡规划, 2018, 25(2): 1-7.

图表来源:

图1: 作者改绘自BARTON H, GRANT M. A Health Map for the Local Human Habitat[J]. Journal of the Royal Society for the Promotion of Health, 2006, 126(6): 252.

图2: 作者绘制

表1-2: 作者绘制

收稿日期: 2023-03-31
(编辑: 申钰文)