

居民时空行为与环境污染暴露对健康影响的研究进展

马 静¹, 柴彦威², 符婷婷²

(1. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘 要: 环境污染是全球共同面对的重大问题之一, 严重危害居民的健康状况。已有关于环境污染与健康研究主要包括宏观区域层面的环境污染与健康指标的相关关系研究; 基于居民日常交通出行的空气污染暴露与健康效应的研究; 以及关注社会经济属性, 重点探讨黑人、儿童、低收入者等弱势群体所承受的环境负面影响, 即环境公正和健康不平等研究。本文对上述研究进行较为系统的梳理与评价, 基于时空行为、环境公正等学科前沿议题, 为研究环境污染与健康之间的复杂性提供多样化的理论视角以及较为完整的分析框架。同时提出, 需要将个体时空行为、环境污染与健康相关联, 从微观层面深入研究基于居民时空行为轨迹的环境污染暴露与健康影响机理, 挖掘不同社会、空间背景下的环境公正与健康不平等的内在关系, 为发展更为公平、有效的城市与交通规划措施以及环境健康政策等提供科学依据。

关 键 词: 健康; 交通出行; 空气污染暴露; 环境公正; 健康不平等

1 引言

作为世界上最大的发展中国家, 中国在过去的30年间经历了快速的城市化过程以及经济发展阶段, GDP年均增长率达到9%左右, 但同时也产生了各种环境污染问题, 包括空气污染、水污染、噪音污染、土壤污染、工业废弃物污染等; 其中空气污染(例如PM_{2.5})成为危害居民健康的重大环境问题之一(Gee et al, 2004)。相关研究表明, 2010年中国由于空气污染所导致的过早死亡人数达120万左右, 约占世界死亡人数总和的40%(Lim et al, 2012)。随着空气污染不断加剧, 2014年初, 北京市气象局频繁发布霾黄色预警; 2015年12月, 北京首次启动空气重污染红色预警, 并对机动车出行等实施一系列限制措施。

长期以来, 关于环境污染与健康的研究一直受

到国内外学者的广泛关注。医学、环境流行病学、健康地理学等不同学科侧重点各异, 分别从不同侧面对其进行研究。如图1所示, 可将环境污染与健康研究主要划分为三大部分: 一是宏观区域层面的环境污染与健康指标(如各种疾病发病率、死亡率等)的相关关系研究; 二是通过个人时空行为将环境污染与健康关联起来, 从微观层面上分别探讨基于个人时空行为轨迹的环境(或空气)污染暴露, 以及居民日常交通出行的健康效应(如Body Mass Index, BMI); 三是关注社会经济属性, 重点探讨不同社会群体, 尤其是黑人、儿童、低收入者等弱势群体所承受的环境负面影响, 即环境公正(Environmental Justice)和健康不平等(Health Inequality)相关研究。

本文希望通过对国际层面的环境污染与健康研究进行较为系统的梳理与评价, 关注生活质量、社会公正、空气污染等热点问题, 为今后立足于中

收稿日期: 2017-03; 修订日期: 2017-09。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41601148, 41529101)[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41601148, No.41529101]。

作者简介: 马静(1986-), 女, 河南郑州人, 博士, 讲师, 研究方向为城市交通出行与碳排放, 环境污染与健康等,

E-mail: majingbnu@163.com。

引用格式: 马静, 柴彦威, 符婷婷. 2017. 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, 36(10): 1260-1269. [Ma J, Chai Y W, Fu T T. 2017. Progress of research on the health impact of people's space-time behavior and environmental pollution exposure [J]. Progress in Geography, 36(10): 1260-1269.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.10.008

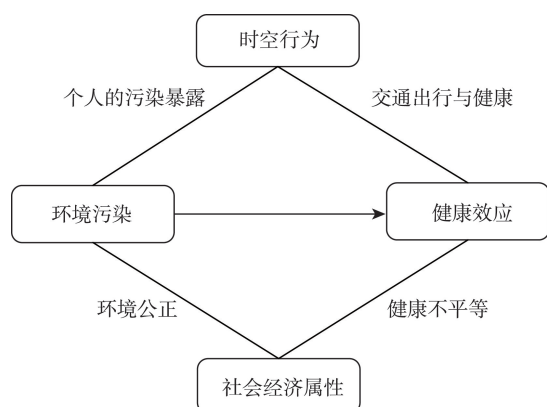


图1 环境污染与健康研究框架

Fig.1 A framework of research on environmental pollution and health

国城市独特背景的相关研究提供借鉴;同时,基于时空行为、环境公正等理论视角与学科前沿议题,为解释环境污染与健康影响之间的复杂性与多样性提供较为完整的分析框架,深入挖掘环境污染与居民时空行为的健康影响机理,为减少微观个体居民的环境污染暴露,发展更为公平的、有效的环境健康政策等提供科学依据。

2 宏观区域层面的环境污染与健康研究

该类研究主要运用环境医学以及流行病学等的理论与方法,基于宏观尺度,分析自然因素以及环境污染等因素的时空演变过程及对人类健康的影响规律,重点探讨不同环境因素与人类健康之间的暴露—效应(Dose-response)关系,为制定宏观层面的环境卫生标准以及预防措施等提供依据(杨林生等, 2010; 杨彦等, 2014)。其中,作为环境污染的重要成分之一,空气污染对疾病和健康的影响一直是多学科研究的重点内容。大量研究表明,细颗粒物如 $PM_{2.5}$ 是对人体健康危害最大的污染物,会对呼吸道疾病、心血管疾病等产生非常显著的负面影响(Pope, 2000; 阚海东等, 2002)。已有研究分别从空气污染与肺癌、慢性/急性支气管炎、心脑血管疾病、住院率、死亡率等与健康紧密相关的多个方面进行实证分析(Pope et al, 2002; Reynolds et al, 2003; Sun et al, 2005; Hart et al, 2013)。这些研究主要基于空间地域单元的视角,从宏观层面验证不同地方的空气污染浓度与汇总层面的各种健康指标之间

的相关关系。

关于空气污染暴露的测度与评估是这类研究的重点内容之一。早期采用的方法是利用空气质量固定监测点的数据,基于居住区人口分布特征,假定居民一天24小时停留在同一地方,通常是居住地,利用临近性、替代性等方法间接测量大都市区尺度范围内不同地区居民的潜在空气污染暴露量(Mitchell et al, 2003)。这种间接替代性测度方法较为简单,并未考虑土地利用类型、交通网络、地形等因素,因此测量误差较大。随着计算机技术以及地理信息技术的发展,较为复杂的时空统计模型逐渐应用于空气污染的扩散、传播与测度研究,大大提升了空气污染暴露测度的准确性。近期研究主要根据环境监测点数据,考虑多种地理空间要素,如土地利用类型、人口密度、交通路网、气候等因素,通过对长时段、高精度的空气污染浓度值进行地理空间插值或土地利用回归建模,得出连续的空气污染浓度曲面,进而对微观环境下的居民污染暴露量进行测度与评估(Fang et al, 2011)。

此外,在全球风险因素及环境卫生标准方面, Lim等(2012)通过对世界上21个区域的67个风险因素进行较为系统的健康风险评估,发现从1990年到2010年间全球风险因素对疾病负担的贡献发生较大的转变,主要风险因素从引起儿童传染病的因素转变为引起成人非传染性疾病的风险因素;其中环境颗粒物污染成为全球第九大健康风险因素,但在东亚等国家,该风险因素排名第四(仅次于高血压,吸烟和饮食结构不合理)。由于环境细颗粒物引发的患病率显著增加(Pope et al, 2011),使得美国加紧制定环境细颗粒物标准,将其年平均值从 $15 \mu g/m^3$ 降低为 $12 \mu g/m^3$ 。相关研究表明新标准的实施会为其带来巨大的经济收益(主要可减少健康医疗和生活福利大量的运营成本)(U.S EPA, 2012)。相比之下,中国的环境颗粒物标准($35 \mu g/m^3$)远远高于WHO建议的年限值($10 \mu g/m^3$),对居民健康状况产生巨大威胁,需要综合评估环境保护的经济效益与健康效应,以制定更为合理的环境卫生标准。

总体而言,这类研究主要基于宏观尺度,探讨国家、区域等宏观区域层面的空气污染浓度与健康指标之间的相关关系,未考虑微观个体居民日常的活动—移动行为,因而本质上是一种潜在的空气污染暴露测度,并不能准确地反映个体居民真实的空

气污染暴露情况,缺乏从微观层面对个体居民的环境污染暴露及健康效应的正面关注,未能深入挖掘影响居民健康状况的行为机理及其背后复杂的时空场景效应,因此未来研究需要从微观层面将环境、行为与健康关联起来进行综合分析。

3 以时空行为为媒介的环境污染与健康研究

3.1 城市建成环境对交通出行及健康的影响

城市建成环境与居民出行的关系一直是城市地理、城市规划、交通等多学科研究的重要内容。研究表明,城市空间结构(如人口密度、职住关系等)对居民的出行行为会产生显著的影响,不同类型居民的日常活动与行为模式表现为一定程度的社会与空间分异(柴彦威等, 2011; 孟斌等, 2012)。也有部分学者对社区形态、居民出行以及与空气污染有关的城市交通碳排放等进行实证分析(马静等, 2011; 秦波等, 2012; 曹小曙等, 2015)。但是,由于长期缺乏对居民健康状况的关注,关于交通出行与个体居民健康的研究总体而言较为缺乏(Handy et al, 2002; 鲁斐栋等, 2015)。步行、自行车等交通方式作为重要的体力活动形式之一,被认为是防治肥胖、心脑血管疾病等慢性病的有效方法,交通出行是影响人类健康状况的重要的、可干预的因素之一(Saelens et al, 2008; Alvarado et al, 2013)。

国际上关于交通出行与健康的研究近些年发展较快,成为热点问题之一。已有研究主要从体育运动学、城市规划、预防医学等多学科视角,分析交通方式、通勤时间等因素对居民身体健康状况产生的影响(Papas et al, 2007; Macmillan et al, 2013)。例如,基于美国时间利用调查以及饮食健康数据, Yang 等(2013)研究交通出行与身体质量指数(BMI)之间的关系,结果表明长时间使用小汽车出行能显著增加肥胖的比例,而步行、自行车等非机动车方式则有助于降低肥胖。其他学者关于通勤方式、出行时间与睡眠质量、精神健康以及自评健康等之间的关系进行的实证研究表明,长距离通勤对健康产生负面影响(Greenberg et al, 2005; Hansson et al, 2011)。另外,也有少量关于收入水平、交通出行与健康关系的研究(Craig, 2005)。

总体而言,近期关于交通出行与健康效应的研究是在传统城市形态与交通出行研究基础上的延

伸与拓展,此类研究重点关注城市建成环境方面,通过居民日常交通出行将城市规划与人类健康相关联,探索如何通过城市与交通规划减少道路交通事故和非传染性疾病,提高城市宜居性和居民健康状况。早期研究关注的城市建成环境指标包括密度(Density)、土地利用混合度(Diversity)及道路设计(Design)等,之后的研究逐渐在原有 3D 指标基础上扩展为 6D 指标,即增加目的地可达性(Destination Accessibility)、公共交通可达性(Distance to Transit)以及交通出行需求管理(Demand Management)等(Cervero et al, 1997; Ewing et al, 2010)。不同方面的城市与交通规划措施需要在不同层面执行。例如,区域层面涉及就业机会的分布,主要活动地点(医疗、教育、商场等)的可达性,以及停车场的布局 and 价格政策等;而社区层面则着重考虑居住密度、人行道设计以及公共交通可达性等方面。城市规划主要通过直接或间接地影响居民日常生活和交通模式的选择进而影响居民健康状况,包括肥胖症、心脑血管疾病、癌症等身体健康,以及压力、睡眠质量等精神健康。今后需通过发展紧凑城市,鼓励居民采用步行、自行车、公共交通等绿色出行方式,减少小汽车依赖,通过降低风险暴露量进而减少非传染性疾病及道路交通事故,提升居民整体健康状况及生活质量(Giles-Corti et al, 2016)。

相比之下,国内关于交通出行与健康的研究尚处于起步阶段。少量研究从城市规划的视角出发,分析建成环境对体力活动的影响,以及交通出行的健康效应等(朱菁等, 2014; 孙斌栋等, 2016)。但以上研究对城市建成环境及健康方面的测度较为简单,未能深入挖掘建成环境、交通出行及健康三者之间的内在关系。此外,没有考虑自然环境如空气污染对交通出行及健康的影响。例如,在空气质量良好情况下,步行、自行车等交通方式有利于增加体力活动和减少肥胖等,对健康产生正面影响;但在雾霾天,步行、自行车等交通方式的空气污染指数远大于出租车和私家车,采用步行、自行车方式出行的居民其空气污染暴露总量要显著大于采用小汽车出行的居民(Huang et al, 2012),进而会对其健康状况如呼吸道疾病等产生负面影响。由此可见,交通出行(如交通方式、出行距离、出行时间等)除对居民的健康状况产生直接影响外,还会通过空气污染暴露对居民的健康状况产生间接影响。环

境、出行、健康之间存在一个非常复杂的关系。随着中国多数城市频繁发生雾霾现象,远距离、长时间的交通出行使得居民长期暴露在不利的环境中,在一定程度上会增加呼吸道疾病以及心血管疾病等的发病率(林雄斌等, 2015)。需要综合考虑交通出行与空气污染暴露对健康的影响。

3.2 居民日常行为模式与空气污染暴露的健康影响

空气污染暴露(Air Pollution Exposure)是指个体居民与空气污染物直接接触使其暴露在空气污染中的状态或过程(Ott, 1982)。交通出行作为居民日常生活的重要组成部分,除直接关联城市建成环境与健康效应之外,同时也是关联自然环境,如空气污染与健康的关键要素。不同交通方式微观环境(Transport Microenvironment)下的空气污染浓度具有显著差异(Adams et al, 2001),居民选择不同的交通出行模式使其承受的空气污染暴露也很不相同。同时,基于交通出行(尤其是早晚高峰时段)的空气污染暴露占居民日常污染暴露总量的较大比例,会对居民的健康状况,例如呼吸道疾病等产生更为直接和显著的影响(Gulliver et al, 2005)。

基于个体行为研究范式分析居民出行模式与微观行为环境下的空气污染暴露是国际时空行为研究的前沿课题。近年来,已有少量从微观层面研究居民基于交通出行的空气污染暴露的群体差异(Gulliver et al, 2005; Kaur et al, 2007)。例如, Huang等(2012)基于通勤者经常使用的两条固定线路,利用便携式PM_{2.5}实时监测仪对不同交通方式在早晚高峰时段以及中午时段的空气污染指数进行18天的监测,从微观层面研究不同居民基于交通出行的空气污染暴露的社会差异。结果显示,使用出租车方式进行通勤的居民其空气污染暴露度要显著低于采用公共汽车和自行车通勤的居民。如果同时考虑空气污染物吸入率和出行时间,使用自行车方式出行的居民其空气污染暴露总量为最大。此外, Tsai等(2008)通过数名志愿者携带专业微粒质谱仪对台北地区不同通勤方式(如摩托车、小汽车、公交车、快速轨道交通等)进行多时段实时监测,显示不同交通方式的空气污染指数具有显著差异,小汽车为最低。长时间通勤也是影响使用公共交通方式出行的居民空气污染暴露总量较大的重要因素之一。

以上研究从微观层面揭示不同居民由于交通出行模式的不同导致在空气污染暴露程度上具有

显著的差异。同时,也证明了空气质量固定监测点的数据并不能很好地代表不同交通方式微观环境下(尤其是早晚高峰时段)的空气污染浓度(Adams et al, 2001; Tsai et al, 2008; Huang et al, 2012)。例如,空气质量固定监测点的数据往往低估了自行车、摩托车以及地铁等交通方式的细颗粒物污染浓度,同时往往高估了出租车和私家车的PM_{2.5}污染浓度。由此可见,不同的交通出行模式决定了不同的情景变量(Contextual Variables),不同类型居民由于其时空行为轨迹的不同会导致其承受的空气污染暴露具有显著差异(关美宝等, 2013; 郭文伯等, 2015),进而也会对其健康效应产生一定的影响。为此,需要从微观层面深入研究基于居民时空行为轨迹的空气污染暴露及其社会分异,并对健康效应的影响机理进行深入研究。

4 环境公正与健康不平等研究

4.1 环境公正

环境公正(Environmental Justice)是基于环境保护和社会公正相结合提出的一套理论概念,试图确保不同社会经济属性的人群,即不论其社会经济地位如何,都应承受同等程度由于社会经济发展所带来的环境负面影响(Cutter, 1995)。环境公正研究起源于美国,标志性事件是1982年在美国北卡罗来纳州一个大型黑人社区反对建立有毒垃圾填埋场。早期环境公正研究仅限于美国,研究对象聚焦于有色人种社区,主要关注垃圾填埋场和工业污染源的不均等分布(Laurent, 2011)。20世纪90年代后期传播到英国等欧洲国家,主要运用贫困(Deprivation)指标来研究环境不公正现象,关注的环境因素不仅包括垃圾填埋场、工业污染源,同时还拓展到空气质量、洪水灾害、道路交通事故,以及公园绿地的可达性等(Martuzzi et al, 2010)。相关研究表明,不同社会经济属性的人群所承受的环境负担存在显著差异。例如,在发达国家,尤其是英美国家,弱势群体(如低收入者、黑人等)通常更多地居住在空气污染比较严重的地方或者有害的工业设施、垃圾填埋场附近,较多地承受了环境负面影响,其健康状况也显著低于平均水平(Mitchell et al, 2003; Brulle et al, 2006)。上述研究,促进了西方发达国家环境公正理论的提出与发展,并制定相应的环境公正政策,以促进社会的可持续发展(UN ECE, 1999)。

然而,也有一些学者认为,在研究环境负担(Environmental Burden)的社会不平等同时,应考虑其社会分布的形成与发展,怎样才算是一种公平的社会分布等。例如,一些人住在有害的工业设施附近,从环境影响的角度来讲对他们是不公平的,但从其他角度考虑,这些人住在这里可以拥有更便宜的住房和享有更多的就业机会等。但在深入考虑环境污染对健康的负面影响的同时,环境公正的理论及研究就会得到更多的支持。Mitchell等(2003)的研究表明,2001年英国大约有250万人口居住在空气质量不符合国家标准的地区;这些人中有超过50%属于社会经济地位较低的群体,他们对空气污染所负的责任很小,但却承受着较多的环境负面影响。由于空气质量标准可看作为政府和市民的一种社会契约,用来保护公众健康,因此政策制定者和城市规划者一定要考虑环境因素所带来的健康不平等的负面影响。

总体而言,关于环境公正的研究表明,边缘社会群体(例如贫困人群、黑人和儿童)为恶劣的环境状况承受了更大的负担,包括垃圾污染、工业排放物及室外空气污染等(Mitchell et al, 2003; Brulle et al, 2006; Pearce et al, 2008)。基于环境公正视角的研究重点关注特定人群,如老年人、儿童、贫困人口以及黑人等弱势群体的环境健康效应,力图证明弱势群体对空气污染所负的责任很小,但却承受着较大幅度的环境负面影响(Pearce et al, 2010; Chen et al, 2013)。近期环境公正研究还试图通过长时段的动态分析,了解环境不平等现象的演变过程。例如, Mitchell等(2015)通过对2001-2011年英国空气质量的动态变化以及不同社会人群所承受的污染暴露程度进行实证分析,发现富裕地区空气质量改善最大,而贫困地区空气质量却出现了下降,该状况将会进一步加剧英国的环境不公正以及健康不平等现象。

相比之下,中国是世界上最大的发展中国家,目前正在经历快速的工业化以及城市化进程,同时也产生了严重的环境污染问题,并对居民健康产生较大的负面影响。了解这些环境负担如何在不同的社会人群中分布,以及环境影响与居民健康状况之间的内在关系,对于更好地保护弱势群体(例如老年人、小孩和低收入群体)的健康具有至关重要的作用(Wong et al, 2008; 刘晓霞等, 2012)。目前国内少数关于环境公正的研究主要集中在空气污染

的时空分布及对居民出行选择的影响等方面。例如,利用2010年北京两个典型郊区社区居民出行的GPS数据和活动日志调查数据,郭文伯等测度了不同交通方式环境下居民日常出行所受到的空气污染暴露度,并分析了不同人群对于PM_{2.5}空气污染暴露度的差异性(郭文伯等, 2015)。研究结果表明,中低收入群体的出行空气污染暴露量要高于高收入群体,不同社会群体的空气污染暴露度存在显著差异。总体而言,目前大部分的环境公正研究主要集中于西方发达国家,尤其是美国和英国。然而,环境污染问题在发展中国家更为严峻,与公共健康相关的环境不平等现象也逐渐在发展中国家凸显,但关于环境公正与健康不平等的研究在发展中国家却开展较少。

4.2 健康不平等研究

世界卫生组织的相关报告表明,所有的城市环境都会产生“系统性的、社会性的、不公平的”健康不平等现象,这种现象在不同的国家和地区表现特征和不平等程度具有显著差异,一定程度上是由于不同地域的营养水平、人口结构及流行病传播造成的(WHO, 2010)。一般而言,社会经济更为贫困的地区传染性疾病和非传染性疾病的发病率和死亡率更高(Giles-Corti et al, 2016)。Holdaway(2010)对中国面临与环境相关的主要健康风险因素进行了概述,并得出结论:“需要深入研究环境问题、贫困和健康不平等之间的关系,总之,我们需要知道更多关于中国环境健康风险的地理和人口的差异性,以及找出哪些群体的健康状况更易受到环境问题的影响”。利用抽样调查数据或多时间序列观察数据,在国家、区域、城市等不同空间尺度上对环境污染和健康不平等的分析表明,环境污染的负面影响在社会、经济和人口层面上分布不均匀,脆弱或贫困群体,特别是老年人和流动人口等弱势群体承担着环境污染所导致的更大的健康风险和伤害。另外,社会经济属性与城市建成环境具有内在联系,不同社会经济属性的人群居住地(和就业地)具有显著差异,而不同地方的空间特征、可达性等背景因素对健康不平等产生重要影响(Chakraborty et al, 2011; Chen et al, 2013; Ma et al, 2017)。

此外,交通出行方式通过影响环境、社会以及行为等多种风险暴露因素,是造成城市内部和城市之间健康不平等现象产生、持续以及加剧的重要因素之一(Stevenson et al, 2016)。低收入者、老年人、

残疾人等弱势群体较少能享受到由于小汽车发展而带来的交通便利、舒适度等各种福利,但他们却很有可能承受了更多的由于机动交通依赖所产生的各种负外部性,如空气污染、噪音污染、道路交通伤害等,对他们的健康状况产生严重危害(Giles-Corti et al, 2016)。在城市规划、交通发展以及环境健康政策等的制定与实施过程中,需要优先考虑弱势群体的需求与利益,创建适宜绿色出行的紧凑城市,减少健康不平等现象,促进社会可持续发展(Sallis et al, 2016)。

整体而言,目前关于环境公正与健康不平等的研究相对较为缺乏,尤其是在发展中国家,比如中国,关于环境负担的社会与空间分布,以及环境不公正现象如何对居民健康不平等产生影响的研究甚少。这主要原因是受数据限制。在中国,有关环境污染和健康数据是由不同的政府部分或机构为不同目的收集的,这些数据通常不能公开访问或跨平台共享(Holdaway, 2010)。环境污染统计数据(例如空气质量,工业废弃物,垃圾填埋场等)主要在较大空间地域单元如城市尺度上公布,因此无法用于研究城市内部不同人群暴露于环境危害的社会与空间差异性(Chen et al, 2013)。此外,中国没有针对所有人口进行的健康普查数据,而医院的病历数据也难以获取。因此,在缺乏政府支持的情况下,学者很难获得大样本微观空间尺度的环境风险和健康数据,在一定程度上限制了中国环境公正与健康不平等研究的开展(Ma et al, 2017)。

然而,作为世界上最大的发展中国家,中国是研究环境公正及健康不平等的重要案例地区。从环境公正的角度看,中国是一个追求社会主义市场经济的国家,也是世界上消费经济增长最快和中产阶级比例上升最快的国家,在政治上倡导平等主义原则,也就意味着所有环境不平等现象是不公正的。目前中国正面临重大的环境污染问题,严重危害居民的健康状况,在发展环境保护、公共卫生和更广泛的社会政策等方面,研究环境污染、健康不平等和人口结构之间的内在关系是紧迫而必要的。需要从微观层面深入了解各种环境危害的社会与空间分布,以及环境公正与健康不平等之间的内在关系,有助于帮助政府决策者更好地制定针对相应风险灾害、人群和地方的环境保护和公共健康政策。

5 结论与讨论

总体而言,已有环境污染与健康研究主要集中于宏观区域层面,以空间(通常是居住地)作为研究单元,缺乏从微观层面对个体居民、即“人”这一行为主体的时空行为及其健康效应的关注。例如,已有空气污染研究主要利用空气质量固定监测点数据验证不同地方的空气污染浓度与宏观区域层面的健康指标之间的关系,缺乏对微观个体居民活动—移动行为的正面关注,忽略交通出行作为连接空气污染暴露与健康机制这一关键要素,较少考虑微观个体居民时空行为模式及空气污染暴露等方面的社会分异,及其对健康不平等产生的影响。近年来,部分研究逐渐转向微观层面的分析,关注城市建成环境对居民出行模式及健康效应的影响,以及基于居民时空行为轨迹的空气污染暴露测度与评估。研究视角逐渐多样化,采用的方法也更为复杂,但整体缺乏对居民健康影响机理的微观行为分析及综合评价。

基于多学科研究范式,本文尝试构建环境、行为与健康研究的综合分析框架。如图2所示,时空行为是连接环境风险与健康效应的关键要素。城市建成环境主要通过直接影响居民日常生活方式及时空行为模式的选择,进而对居民健康状况,如肥胖症、心脑血管疾病、精神压力等产生间接影响。与此同时,自然环境如空气污染、噪音污染、水污染等因素除对居民健康状况产生直接影响之外,还可通过居民时空行为模式差异影响其环境污染暴露量,进而对居民健康状况,如呼吸道疾病等产生间接影响。由此可见,环境、行为与健康三者之

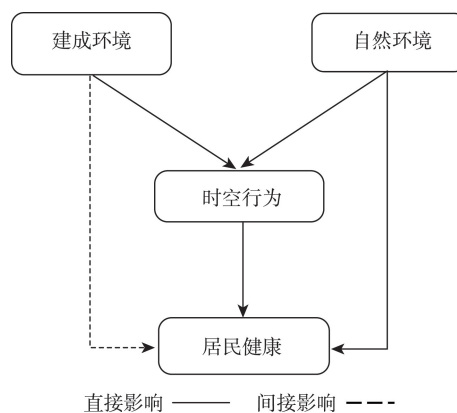


图2 环境、行为与健康三者的关系

Fig.2 Relationship between environment, behavior, and health

间的关系非常复杂,需要多学科、跨视角的综合分析。未来研究可利用GPS、便携式环境质量监测仪、信息通讯网络等技术手段,基于个体时空行为视角,将环境要素、居民日常行为模式与健康直接关联,从微观层面深入挖掘居民时空行为与环境污染暴露的健康影响机理,更好地理解影响居民健康效应的微观行为机制及环境因素,通过调控交通政策、规划措施等手段以及优化居民行为模式等鼓励居民绿色出行,减少环境污染暴露量,提高居民整体生活质量及健康状况,促进城市和社会的可持续发展。

此外,中国正在经历快速郊区化以及城市空间重构过程,不同类型居民由于受不同程度的宏观制度性因素(如户籍制度、郊区保障性住房政策)的影响以及自身经济能力的制约,居民在日常活动与行为模式等方面产生一定的社会与空间分异。在宏观的环境污染背景下,微观个体居民所承受的各种环境污染暴露量是否具有显著差异?低收入者、流动人口、老年人等弱势群体是否承受了较大程度的环境负面影响?不同类型居民在生活质量及健康状况等方面是否又具有显著的社会与空间分异?其影响机制是什么?这些问题的研究有助于从微观层面深化对环境公正的理解与认识,更好地挖掘环境公正与健康不平等之间的内在关系;同时也将为制定发展更为有效的、公正的环境与健康政策提供科学依据。

参考文献(References)

- 曹小曙, 杨文越, 黄晓燕. 2015. 基于智慧交通的可达性与交通出行碳排放: 理论与实证[J]. 地理科学进展, 34(4): 418-429. [Cao X S, Yang W Y, Huang X Y. 2015. Accessibility and CO₂ emissions from travel of smart transportation: Theory and empirical studies[J]. Progress in Geography, 34(4): 418-429.]
- 柴彦威, 张艳, 刘志林. 2011. 职住分离的空间差异性及其影响因素研究[J]. 地理学报, 66(2): 157-166. [Chai Y W, Zhang Y, Liu Z L. 2011. Spatial differences of home-work separation and the impacts of housing policy and urban sprawl: Evidence from household survey data in Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 66(2): 157-166.]
- 关美宝, 郭文伯, 柴彦威. 2013. 人类移动性与健康研究中的时间问题[J]. 地理科学进展, 32(9): 1344-1351. [Kwan M P, Guo W B, Chai Y W. 2013. Temporally integrated human mobility and health research[J]. Progress in Geography, 32(9): 1344-1351.]
- 郭文伯, 张艳, 柴彦威. 2015. 城市居民出行的空气污染暴露测度及其影响机制: 北京市郊区社区的案例分析[J]. 地理研究, 34(7): 1310-1318. [Guo W B, Zhang Y, Chai Y W. 2015. Measurement of residents' daily travel air pollution exposure and its mechanism: A case study of suburban communities in Beijing[J]. Geographical Research, 34(7): 1310-1318.]
- 阚海东, 陈秉衡. 2002. 我国大气颗粒物暴露与人群健康效应的关系[J]. 环境与健康杂志, 19(6): 422-424. [Kan H D, Chen B H. 2002. Analysis of exposure-response relationships of air particulate matter and adverse health outcomes in China[J]. Journal of Environment and Health, 19(6): 422-424.]
- 林雄斌, 杨家文. 2015. 北美都市区建成环境与公共健康关系的研究述评及其启示[J]. 规划师, 31(6): 12-19. [Lin X B, Yang J W. 2015. Built environment and public health review and planning in North American metropolitan areas[J]. Planners, 31(6): 12-19.]
- 刘晓霞, 邹小华, 王兴中. 2012. 国外健康地理学研究进展[J]. 人文地理, 27(3): 23-27. [Liu X X, Zou X H, Wang X Z. 2012. Progress of health geography in Western Countries[J]. Human Geography, 27(3): 23-27.]
- 鲁斐栋, 谭少华. 2015. 建成环境对体力活动的影响研究: 进展与思考[J]. 国际城市规划, 30(2): 62-70. [Lu F D, Tan S H. 2015. Built environment's influence on physical activity: Review and thought[J]. Urban Planning International, 30(2): 62-70.]
- 马静, 柴彦威, 刘志林. 2011. 基于居民出行行为的北京市交通碳排放影响机理[J]. 地理学报, 66(8): 1023-1032. [Ma J, Chai Y W, Liu Z L. 2011. The mechanism of CO₂ emissions from urban transport based on individuals' travel behavior in Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 66(8): 1023-1032.]
- 孟斌, 于慧丽, 郑丽敏. 2012. 北京大型居住区居民通勤行为对比研究: 以望京居住区和天通苑居住区为例[J]. 地理研究, 31(11): 2069-2079. [Meng B, Yu H L, Zheng L M. 2012. The analysis of commuting behavior in the huge residential districts: A case study of Wangjing and Tiantongyuan in Beijing[J]. Geographical Research, 31(11): 2069-2079.]
- 秦波, 邵然. 2012. 城市形态对居民直接碳排放的影响: 基于社区的案例研究[J]. 城市规划, 36(6): 33-38. [Qin B, Shao R. 2012. The impacts of urban form on household carbon emissions: A case study on neighborhoods[J]. City

- Planning Review, 36(6): 33-38.]
- 孙斌栋, 阎宏, 张婷麟. 2016. 社区建成环境对健康的影响: 基于居民个体超重的实证研究[J]. 地理学报, 71(10): 1721-1730. [Sun B D, Yan H, Zhang T L. 2016. Impact of community built environment on residents' health: A case study on individual overweight[J]. Acta Geographica Sinica, 71(10): 1721-1730.]
- 杨林生, 李海蓉, 李永华, 等. 2010. 医学地理和环境健康研究的主要领域与进展[J]. 地理科学进展, 29(1): 31-44. [Yang L S, Li H R, Li Y H, et al. 2010. Progress of medical geography and environmental health studies[J]. Progress in Geography, 29(1): 31-44.]
- 杨彦, 陆晓松, 李定龙. 2014. 我国环境健康风险评估研究进展[J]. 环境与健康杂志, 31(4): 357-363. [Yang Y, Lu X S, Li D L. 2014. Research progress of environmental health risk assessment in China[J]. Journal of Environment and Health, 31(4): 357-363.]
- 朱菁, 高鹏华, 吴潇, 等. 2014. 大城市居民通勤行为的健康效应研究: 以西安市为例[J]. 城市规划学刊, (6): 46-51. [Zhu J, Gao P H, Wu X, et al. 2014. The commuting effects to people's health: A case study of Xi'an[J]. Urban Planning Forum, (6): 46-51.]
- Adams H S, Nieuwenhuijsen M J, Colvile R N, et al. 2001. Fine particle (PM_{2.5}) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK[J]. Science of the Total Environment, 279(1-3): 29-44.
- Alvarado M, Lofgren K T. 2013. How can city planners improve health and reduce mortality in Alameda County, California? A cross-sectional analysis[J]. The Lancet, 381(S2): S7.
- Brulle R J, Pellow D N. 2006. Environmental justice: Human health and environmental inequalities[J]. Annual Review of Public Health, 27(1): 103-124.
- Cervero R, Kockelman K. 1997. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2(3): 199-219.
- Chakraborty J, Maantay J A, Brender J D. 2011. Disproportionate proximity to environmental health hazards: Methods, models, and measurement[J]. American Journal of Public Health, 101(S1): S27-S36.
- Chen J, Chen S, Landry P F. 2013. Migration, environmental hazards, and health outcomes in China[J]. Social Science & Medicine, 80: 85-95.
- Craig N. 2005. Exploring the generalisability of the association between income inequality and self-assessed health[J]. Social Science & Medicine, 60(11): 2477-2488.
- Cutter S L. 1995. Race, class and environmental justice[J]. Progress in Human Geography, 19(1): 111-122.
- Ewing R, Cervero R. 2010. Travel and the built environment [J]. Journal of the American Planning Association, 76(3): 265-294.
- Fang T B, Lu Y M. 2011. Constructing a near real-time space-time cube to depict urban ambient air pollution scenario[J]. Transactions in GIS, 15(5): 635-649.
- Gee G C, Payne-Sturges D C. 2004. Environmental health disparities: A framework integrating psychosocial and environmental concepts[J]. Environmental Health Perspectives, 112(17): 1645-1653.
- Giles-Corti B, Vernez-Moudon A, Reis R, et al. 2016. City planning and population health: A global challenge[J]. The Lancet, 388: 2912-2924.
- Greenberg M, Renne J, Lane R, et al. 2005. Physical activity and use of suburban train stations: An exploratory analysis [J]. Journal of Public Transportation, 8(3): 89-116.
- Gulliver J, Briggs D J. 2005. Time-space modeling of journey-time exposure to traffic-related air pollution using GIS[J]. Environmental Research, 97(1): 10-25.
- Handy S L, Boarnet M G, Ewing R, et al. 2002. How the built environment affects physical activity: Views from urban planning[J]. American Journal of Preventive Medicine, 23 (2): 64-73.
- Hansson E, Mattisson K, Björk J, et al. 2011. Relationship between commuting and health outcomes in a cross-sectional population survey in Southern Sweden[J]. BMC Public Health, 11: 834.
- Hart J E, Garshick E, Smith T J, et al. 2013. Ischaemic heart disease mortality and years of work in trucking industry workers[J]. Occupational and Environmental Medicine, 70 (8): 523-528.
- Holdaway, J. 2010. Environment and health in China: An introduction to an emerging research field[J]. Journal of Contemporary China, 19(63): 1-22.
- Huang J, Deng F R, Wu S W, Guo X B. 2012. Comparisons of personal exposure to PM_{2.5} and CO by different commuting modes in Beijing, China[J]. Science of the Total Environment, 425: 52-59.
- Kaur S, Nieuwenhuijsen M J, Colvile R N. 2007. Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations

- in urban street transport microenvironments[J]. *Atmospheric Environment*, 41(23): 4781-4810.
- Laurent É. 2011. Issues in environmental justice within the European Union[J]. *Ecological Economics*, 70(11): 1846-1853.
- Lim S S, Vos T, Flaxman A D, et al. 2012. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1999-2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010[J]. *The Lancet*, 380(9859): 2224-2260.
- Ma J, Mitchell G, Dong G P, Zhang W Z. 2017. Inequality in Beijing: A spatial multilevel analysis of perceived environmental hazard and self-rated health[J]. *Annals of the American Association of Geographers*, 107(1): 109-129.
- Macmillan A K, Hosking J, Connor J L, et al. 2013. A Cochrane systematic review of the effectiveness of organisational travel plans: Improving the evidence base for transport decisions[J]. *Transport Policy*, 29: 249-256.
- Martuzzi M, Mitis F, Forastiere F. 2010. Inequalities, inequities, environmental justice in waste management and health [J]. *European Journal of Public Health*, 20(1): 21-61.
- Mitchell G, Dorling D. 2003. An environmental justice analysis of British air quality[J]. *Environment and Planning A*, 35(5): 909-929.
- Mitchell G, Norman P, Mullin K. 2015. Who benefits from environmental policy? An environmental justice analysis of air quality change in Britain, 2001-2011[J]. *Environmental Research Letters*, 10(10): 105009.
- Ott W R. 1982. Concepts of human exposure to air pollution [J]. *Environment International*, 7(3): 179-196.
- Papas M A, Alberg A J, Ewing R, et al. 2007. The built environment and obesity[J]. *Epidemiologic Reviews*, 29(1): 129-143.
- Pearce J R, Kingham S. 2008. Environmental inequalities in New Zealand: A national study of air pollution and environmental justice[J]. *Geoforum*, 39(2): 980-993.
- Pearce J R, Richardson E A, Mitchell R J, et al. 2010. Environmental justice and health: The implications of the socio-spatial distribution of multiple environmental deprivation for health inequalities in the United Kingdom[J]. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 35(4): 522-539.
- Pope C A III. 2000. Invited commentary: Particulate matter-mortality exposure-response relations and threshold[J]. *American Journal of Epidemiology*, 152(5): 407-412.
- Pope C A III, Burnett R T, Thun M J, et al. 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution[J]. *JAMA*, 287(9): 1132-1141.
- Pope C A III, Burnett R T, Turner M C, et al. 2011. Lung cancer and cardiovascular disease mortality associated with ambient air pollution and cigarette smoke: Shape of the exposure-response relationships[J]. *Environmental Health Perspectives*, 119(11): 1616-1621.
- Reynolds P, von Behren J, Gunier R B, et al. 2003. Childhood cancer incidence rates and hazardous air pollutants in California: An exploratory analysis[J]. *Environmental Health Perspectives*, 111(4): 663-668.
- Saelens B E, Handy S L. 2008. Built environment correlates of walking: A review[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(7 Suppl.): S550-S566.
- Sallis J F, Bull F, Burdett R, et al. 2016. Use of science to guide city planning policy and practice: How to achieve healthy and sustainable future cities[J]. *The Lancet*, 388: 2936-2947.
- Stevenson M, Thompson J, de Sá T H, et al. 2016. Land use, transport, and population health: Estimating the health benefits of compact cities[J]. *The Lancet*, 388: 2925-2935.
- Sun Q H, Wang A X, Jin X M, et al. 2005. Long-term air pollution exposure and acceleration of atherosclerosis and vascular inflammation in an animal model[J]. *JAMA*, 294(23): 3003-3010.
- Tsai D H, Wu Y J, Chan C C. 2008. Comparisons of commuter's exposure to particulate matters while using different transportation modes[J]. *Science of the Total Environment*, 405(1-3): 71-77.
- UN ECE. 1999. Convention on access to information, public participation in decision-making and access to justice in environmental matters[R]. Geneva, Switzerland: United Nations Economic Commission for Europe.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2012. Regulatory impact analysis for the final revisions to the national ambient air quality standards for particulate matter[R]. EPA-452/R-12-005, Research Triangle Park, NC: U.S. EPA Office of Air Quality Planning and Standards Health and Environmental Impacts Division.
- Wong C M, Ou C Q, Chan K P, et al. 2008. The effects of air pollution on mortality in socially deprived urban areas in Hong Kong, China[J]. *Environmental Health Perspectives*,

116(9): 1189-1194.

World Health Organization (WHO). 2010. UN-Habitat. Hidden cities: unmasking and overcoming health inequities in urban settings[R]. Geneva, Switzerland: WHO.

Yang J W, French S. 2013. The travel: Obesity connection: Discerning the impacts of commuting trips with the perspective of individual energy expenditure and time use[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 40(4): 617-629.

Progress of research on the health impact of people's space-time behavior and environmental pollution exposure

MA Jing¹, CHAI Yanwei², FU Tingting²

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Environmental pollution is a major problem worldwide, subjecting people to serious health risks. Numerous studies on environmental pollution and health impact have been conducted, focusing on various aspects such as the associations between environmental pollution and health at the aggregate level, air pollution exposure and health effects based on daily travel behavior of residents, and environmental justice and health inequality. The environmental justice and health inequality research focuses on the adverse environmental impacts on the disadvantaged groups, such as the minority, children, people with low-level income, and migrants. This article aims to provide a comprehensive review on environmental pollution and health studies from various perspectives, and presents a diversified research framework to investigate the complexity between environmental pollution and health. Moreover, we propose that future research needs to link individual space-time behavior with environmental pollution and health, to explore the microscale or personal-level real-time air pollution exposure and its health effects based on the residents' space-time behavior trajectory. More research needs to be conducted to investigate the complex relationship between environmental justice and health inequality at microscale under different social and spatial contexts, in order to develop more just, effective urban/transportation planning measures and environmental health policies.

Key words: health; travel behavior; air pollution exposure; environmental justice; health inequality