

地理—生态过程视角的城市系统研究

杨德伟¹, 杨职优^{1,2}, 崔胜辉¹, 罗 涛¹

(1. 中国科学院城市环境与健康重点实验室/厦门市城市代谢重点实验室, 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:快速城市化、区域一体化与全球环境变化背景下, 地理—生态视角的城市系统格局、过程与机制研究已成为国内外关注的焦点和热点。文章从地理—生态过程视角, 对城市空间过程与机制、人文过程与机制、城市系统代谢过程与效率以及城市发展位势的竞合机制等进行了综述。指出综合运用宏观与微观相结合的现代科学路径, 从功能空间角度解构城市系统, 深入分析城市地理空间过程、微观主体行为、空间环境响应、人文生态驱动机制等问题, 是城市系统领域研究未来发展的方向。综述有助于了解城市系统研究的重点和方向, 把握城市系统发展的格局、过程与机制, 从而利于指导中国城市空间管理实践, 应对快速城市化与全球变暖等问题。

关 键 词:地理—生态过程; 功能空间; 格局; 机制; 城市系统

到2008年底, 中国城市化率已达到45.68%, 而且今后20年仍然处于城市化的快速发展时期。同年据联合国《世界城市化展望》报告, 全球城市居住人口已达33亿, 约占全球人口的一半, 并将迅速成长到2050年的64亿。另据IPCC报告, 化石燃料燃烧和土地利用变化每年排放到大气中的CO₂分别为5.5 Pg C (1Pg=1015g)和1.1 PgC, 合计为6.6 PgC^[1], 其中80%以上来自于城市区域^[2], 是大气的主要碳源^[3], 也是引起全球气候变化和温室效应的主因。城市化的快速推进, 必然伴随着空间、文化、社会意识、环境问题等的外向扩张与不断蔓延, 这种城市地理—生态过程及其效应引起了广泛关注。

中国城市化进程加快的近20年中, 发达国家100多年来分阶段逐步出现的环境问题在中国城市系统集中显现出来。这突出表现为城市对其支撑子系统的土地占用、资源剥夺、环境污染转移、发展机会争夺等^[4], 导致城市拓展区域土地利用类型复杂多变, 资源能源流失速度加快、生态退化严重、社会文化变动剧烈^[5-6]。城市系统已成为各种矛盾的交互面和集中域, 城市拓展区与跨域支撑区域则成为城市危机转移区。因此, 如何调控城市系统地理—生态过程, 优化城市空间与资源配置, 协调城市系统内部关系, 成为快速城市化与全球变化过程中决策者与研究者面临的关键问题^[7]。

人类活动的强烈干预推动着地球系统演化进入了“人类世”(Anthropocene Era)的新纪元^[8], 而城市系统则是人类活动强烈干扰与改造的集中区域。城市系统是以人为主体的, 以聚集经济效益和社会效益为目的, 融合人口、经济、科技、文化、资源、环境等各类要素的空间地域大系统^[9]。城市地理—生态过程及其与相关学科的交叉与融合正成为现代地理学和宏观生态学发展的重要方向^[10], 也成为新兴学科领域的萌芽地。与城市地理—生态过程相关的国际重大科学计划相继启动, 如国际地圈生物圈计划(IGBP)、人与生物圈计划(MAB)、全球变化的人文影响计划(IHDP)、全球碳计划(GCP)、政府间气候变化专门委员会(IPCC)以及国际科联环境问题委员会(SCOPE)等, 这推动了对城市地理—生态格局、过程和机制的持续关注和研究^[2,7,11-14]。

1 城市空间过程与机制研究一直是关注的热点

20世纪初以来, 随着城市化过程的逐步推进, 城市空间过程、结构、功能与管理等研究逐渐成为国内外关注的焦点^[7]。研究运用城市经济学、城市社会学、政治经济学、人文地理学以及规划设计学等多学科理论与方法^[14], 从物质空间、关系空间、社

收稿日期: 2010-04; 修订日期: 2010-07.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001098); 中国科学院院地合作项目(D-2009-02); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-450)。

作者简介: 杨德伟(1978-), 男, 理学博士, 助理研究员, 主要研究方向为城市地理—生态过程。

E-mail: yangdewei2008@126.com

会空间和文化空间等多个视点^[15],对城市系统演变过程中的要素积累和运作模式进行了全方位示踪与解构。城市空间的推进与演化,包括空间要素增值、空间结构演化以及水平和垂直方向上城市形态的伸展等内容。城市空间形成和演变研究分别始于国外对土地价值的探索,城市社会学家的城市社会空间结构、资本的政治动力机制、人文现象的地域规律和理想的的城市结构组织模式等的探索^[14-15]。

国内对城市空间扩展的研究则始于20世纪90年代,并以1995与2000年为主要断点形成了3个主要的阶段,关注重点依次是①区域范围内生产要素的空间布局与合理流动方式;②地价、土地利用、交通建设、居住空间等与城市扩展的关系,并开始了郊区化研究;③2000年至今深入探讨城市空间拓展的形成机制和影响因素^[14]。城市中心区是最初关注的重点,主要研究城市中心系统的空间合理布局优化、经济社会要素关系及其影响因素^[6,14]。顾朝林等在中国七大城市体系空间分析的基础上,利用中国快速城市化阶段的系统动力学模型对今后50年中国城市化进程进行模拟和预测,指出了各城市体系中城市中心系统优化的途径和管理策略,为中国城市化发展指明了方向^[6]。冯健等对转型期中国城市内部空间的重构研究后发现,中国城市正经历着从计划经济时期的同质性空间结构向市场经济时期的异质性空间结构的转变,这种转变可以从政治、经济、社会和个体等宏观和微观层面上寻求动力^[16]。Xu等对南京都市圈区域的时空景观格局进行了研究,认为城市扩展正处于“扩散—合并”阶段,可分为内增长、边缘扩展和自发增长3种类型^[17]。李月辉等对沈阳市的城市拓展区分为优先发展、适合发展、限制发展和严禁发展4个等级,最终形成生态安全格局,揭示了生态安全保障下城市空间扩展的趋势和方向^[18]。

20世纪中期以来,随着城市形态与意识扩展的空间延伸,城市外围邻接区域为研究者所集中关注。城市扩张表现为空间上“城市蔓延”现象^[19-22],研究空间常被描述为郊区、城乡过渡带、边缘区、半城市化区、蔓延区等^[6],研究视角从发展特征描述到发展规律、影响因素、动力机制、设施建设和人居环境等诸多方面。花利忠等运用RS与GIS手段对厦门市半城市化地区近20年来的景观格局空间演变特征进行了研究,分析了城市形态演变机制、城市围填海特征及政策影响^[19]。蒋芳等从城市扩展形态、扩展效率和外部影响等3个方面,运用基于地理空间指标体系的城市蔓延测度方法对北京市在

1996-2004年期间的城市扩展进行了研究^[20]。闫卫阳等分析了空间分割原理、断裂点模型等城市空间相互作用理论,为城市规划,城市影响空间和城市经济区的划分提供了理论基础^[23]。张慧霞借助于遥感、GIS等研究手段,对广州市边缘区土地利用空间结构和绿地景观格局进行不同梯度区层面的比较分析,探讨了绿地景观与城市热环境之间的相关性^[24]。城市系统空间研究主要采用GIS/RS手段、元胞自动机模型、数理模型、生物物理模型等予以量化,这表明研究方法手段呈非线性化、宏观与微观结合化趋势^[6,14]。目前研究来看,对城市中心区与邻域空间的环境资源以及社会意识的相互作用的关注缺乏系统性,对与城市中心区发展具有重要作用的非邻接区域研究较少。

从实践上看,城市的邻接外围区域是城乡统筹、区域一体化发展首选之地、核心部位^[25]。另一方面,在全球气候变化背景下,对城市系统碳收支具有重要作用的城市非邻接区域开始受到关注^[26],并提出将城市空间划分为城市蔓延区和城市足迹区两部分^[2]。所谓城市足迹区(Urban Footprint Region),被定义为满足城市居民消费和垃圾堆放所需的区域,以及被城市污染和气候变化影响的区域,与城市蔓延区(Urban sprawl,即城市建成区)有机构成城市系统^[2,26]。城市足迹区源于生态足迹研究中对“虚拟足迹空间”的探讨,是城市的“真实足迹空间”,但目前的相关研究较少,还没有非常成熟的概念。一般认为,城市足迹区是满足城市资源和垃圾堆放需求、城市污染转移和气候变化影响的功能空间,是城市持续发展的支撑区域与腹地。城市足迹区立足于城市子系统间环境资源联系,架设起了城市中心域与其邻接或非邻接区域联系的桥梁,为城市系统研究与空间管理提供了一个全新视角。目前,在全球气候变化与区域一体化发展的时代背景下,作为城市的邻域与跨域扩展空间,城市足迹区在城市空间扩展过程中的环境资源调节能力与贡献角色尚不清晰,这是一个急需研究的重要课题。

2 城市人文过程与机制研究是近年来的焦点

在全球化与信息技术革命以及经济地理学的复式转向的推动下,“城市空间转向”已成为事实。城市地理研究不仅需要物质空间进行研究,更要对人文空间及文化空间等进行研究,其研究的视点

是城市空间的主观性与客观性的融合^[15]。总体上看,地理学的空间研究逐渐从关注空间尺度上的物质经济行为转到社会文化意识,转向于谋求城市系统健康的人文导向与公共政策选择,越来越体现人本需求和空间的优化与调控。

20世纪80年代以来,西方经济地理学出现了理论视角的多元化。这种多元化可概括为“多维转向”,包括制度转向、文化转向、关系转向和尺度转向。在全球经济一体化和全球环境变化的背景下,经济地理学的“多维转向”,推动城市地理学对新的“客体”重新认识,城市生活的“历史性”、“社会性”,被“空间性”了,城市空间成为一个历史的一社会的一空间的现象^[15]。因此“城市空间转向”就成为必然。吕拉昌认为,“城市空间转向”可从以下3个方向理解^[15]:①城市空间的多学科转向:20世纪90年代后期,发生了一场可以称为跨学科的空间转向,人类生活的“历史性”、“社会性”,被“空间性”了,城市空间成为一个历史的一社会的一空间的现象。②城市空间的关系转向:作为一种社会关系、经济关系、邻里关系、空间关系等的集中地,城市在演化过程中将这些关系相互依赖和承转,构成城市的竞争性学习、反射性联系,成为都市激发性的重要来源,而且是都市特有的。③城市空间认识论的转向。城市空间研究具有多维的视角,包括把基于城市客观性的“空间实践”视角、基于区域主观性的“思维性图示”视角和城市主观性与客观性相结合的视角。因此,不同时期的城市地理学者仅能关注城市空间的某一方面的问题,这就构成了不同时期的城市地理学派。

伴随着经济地理学的“多维转向”,人文地理学也进入了从空间分析到社会理论的演化阶段^[27]。行为地理学的研究从早期的探讨环境使“绝大多数人达成共识的群体意向”的“单向研究”向研究人的行为与环境的互动关系的“双向研究”转变^[28],并逐步奠定了其在人文地理学科中的地位^[29]。在此过程中,城市行为地理学受到重视。通过家庭、社区微观主体及其出行行为、通勤行为、购物行为、休闲行为、迁居行为等的空间环境影响差异分析^[30-35],进而解释人地关系是提升其理论价值的重要方向之一^[36]。居民日常活动空间和城市日常活动系统是城市空间行为研究中的重要内容,柴彦威等认为基于活动日志调查、SP方法和RP方法、统计数据和GIS空间数据等多元数据的活动分析法,在移动一活动系统特征与行为机制研究的基础上,最终通过行为空间模拟、移动一活动需求预测和适应行为预

测等,可以实现对城市空间行为的有效分析^[30]。杨卡认为,选择北京、上海、广州、西安等大城市,围绕城市社会空间分异、城市人口的空间变动、城市居民迁居行为、城市贫困空间、特定群体的城市生活质量等论题,也是城市空间行为研究的重点^[37]。王兴中等编著的《中国城市社会空间结构研究》和《中国城市生活空间结构研究》两部书,前者系统地论述了城市居住分化模式、社会区域形成空间相互作用原理、社区分类与方法、社区生活质量与土地利用关系,以及社区空间结构与社会问题治理和管理等问题;后者从城市社会空间结构原理与社区规划的角度分别论述了城市生活空间结构、生活空间质量评价研究、生活空间宏观综合评价、微观综合评价、三大生活空间评价、城市日常行为场所的结构与城市生活场所的微区位理论等七部分进行了,这成为中国城市空间行为研究的重要标志^[38-39]。现代城市地理所面临的问题,是如何顺应城市发展的社会经济变化,城市空间的变化进行“思维革命”,提出新的城市地理理论^[15]。城市研究需要从物质分析非物质,也要从非物质分析物质,从两者融合的角度认识城市。因此,应该顺应学科发展趋向和时代需求,加强对城市家庭、社区等微观主体行为、社会生活空间运行机制及其区域生态效应探讨,推动中国城市系统的人文过程与机制研究。

3 城市代谢过程与效率研究是近年来新的研究视点

工业革命以来,城市化和城市扩展过程引起城市及其周边区域土地利用/覆盖变化强烈,而且化石燃料燃烧集中,这导致全球CO₂排放量的80%以上来自于城市区域^[2,26]。城市固体垃圾处理过程中的温室气体排放^[40],城市人均用水、能源和原料等代谢量等都呈明显增加的趋势^[41]。城市代谢的增加意味着城市足迹区面临着较大的环境资源负担,或足迹区的扩大^[2],因为城市的繁荣依赖于与其腹地的空间关系和全球资源网,代谢增加意味着失去更多的农田、森林和生物多样性,增加更多的交通和污染^[41]。

“城市代谢”概念最早由Wolman于1965年提出,他将城市视为一个生态系统,认为城市代谢就是物质、能量、食物等供应给该系统,然后又从城市生态系统中输出产品和废物的过程^[42]。从社会经济系统的物质能量代谢角度探讨城市过程和效率,

是一种有效的城市系统研究途径^[26]。开始关注于进出社会经济系统的物质数量与质量及其对生态环境产生的影响^[43-44]。鉴于物质流评价中物质形态差异所产生的汇总困难,以及对系统高度复杂的自我组织代谢特征的忽视,在城市代谢研究中同时考虑物质流与能量流已逐渐成为共识。城市代谢研究指明了人类社会物质和能量运动的基本方式和方向,有助于把握城市中人类活动的生态效应和城市运行效率,探索城市发展的可持续路径。

从城市物质、能量、营养等层面,了解城市原料—产品—废弃物的碳代谢过程,可以深入把握城市系统碳循环过程。城市作为一个复杂的社会—经济—自然复合系统,需要从宏观和微观尺度来研究城市系统的生物物理过程和社会经济过程及其相互作用^[45]。Kennedy等对世界5大洲8个都市区的城市代谢过程进行了宏观研究,发现大部分城市人均水、污水、能源和原料等代谢量都呈明显增加的趋势^[41]。Newman和Kenworthy对全球4大洲32个重要城市进行考察,探讨了城市人口密度与人均用能的关系,发现随着城市中人口密度的增加,个人交通能量消耗量减少^[46]。当前,职住行为、空中运输、化石燃料燃烧和土地利用变化等城市尺度上的物质能量交换活动所引起的温室气体排放足迹问题成为研究重点^[47-48],并逐步拓展到家庭^[32-33,35,48-49]、社区^[34]、地类转换^[50]等微观主体碳排放的空间环境效应,这有助于解释不同经济结构和生活方式对城市系统代谢与效率的影响。在此过程中,在自然系统中行之有效的碳代谢研究方法^[51-52],逐步引入社会经济系统研究中,成为城市人文过程研究的主流方法之一。这种微观层面上的碳过程研究,为分析社会、经济因素对碳循环的空间异质性的影响提供了较好的思路,并有助于解释不同经济结构和生活方式对碳循环的影响,为我们更精确估算城市碳通量奠定了基础。

基于城市代谢过程研究的成果,研究的视角不断扩展到交通、人口密度、人们的生活方式以及城市的规划形态等方面,对城市代谢效率的影响也进行了有益探索^[41]。城市代谢效率是指城市物质循环、能量流动、信息传递过程中提供的社会服务量的效率。对城市代谢效率进行定量的分析,“效率评价体系”是常见的分析手段,例如建立资源效率、环境效率和经济效率构成的三维空间模型,并以生产可能性曲线分析福利指标和生态效率指标的组合格况,根据无差异曲线分析福利指标和生态效率指标之间的和谐度^[53-54]。Svirejeva-Hopkins等基于

人口密度空间分布的双参数“Γ分布”模型,对城市拓展及其对区域碳排放进行了模拟和评估^[55]。Churkina认为要构建城市系统碳循环及其影响的综合评价模型,不仅要考虑生物和物理特性,也要包括城市系统的人文因素,从自然和人文两个角度构建城市碳通量的估算模型,并从城市碳库、城市输入通量和输出通量等方面来整体考虑城市的碳通量^[2]。能量代谢效率研究方法很大程度上随物质能量代谢的研究方法的发展而丰富。城市代谢效率的核算方法主要包括物质核算法、物质流分析、货币核算法、投入—产出分析、熵分析(exergy analysis)、能值分析法等。

城市代谢过程与效率研究实践,架设起了城市子系统间联系的桥梁,为城市规制碳排进程和协调系统关系提供了科学依据。城市与区域碳管理(URCM)研究计划是全球碳计划(GCP)的重要组成部分。URCM是基于区域且与政府政策密切相关的科学计划,其核心是城市和区域水平的能源使用和土地利用变化^[56]。这要求从城市—区域—全球综合视角,加强对城市化过程中城市规模和密度、城市蔓延、消费方式及生活方式等的碳管理^[48,55-58]。实施城市碳管理的目的是为了实现在去碳化的城市化发展道路^[59]。城市的去碳化即实现城市的U型反转;即从城市发展初期的低碳到现在的高碳,再到未来的去碳^[57]。结合Lebel等^[57-58]的研究,要实现去碳化的城市发展目标,需要采取的措施包括:①采用低碳强度的交通系统,同时尽量采用清洁能源和新能源;②积极推进行业的技术革新,以提高能源使用效率和减少碳排放;③调节城市规划、土地和交通基础设施,以提高城市代谢效率;④部分培养人们低碳化的饮食习惯;⑤调控过度消费的来降低碳排放,以缓解城市化对全球变暖的影响。城市是生产和消费系统的汇合点,也是大量碳流动和汇集的地方,这为管理和调整碳排放提供了机会。可以通过政策调控、技术升级、塑造标准和消费者文化等措施来实现碳减排和碳管理^[60]。

总体来说,城市碳循环和碳管理研究还处于起步阶段,而国内该领域的研究还几乎是空白^[26]。中国经济和城市人口的快速增长推动了城市的迅速扩张,其对碳排放的影响主要包括两个方面:一是城市化带来更多的工业碳排放、产品消耗碳排放及使用建筑材料带来的间接碳排放;二是城市化带来的非工业化碳排放(地类转化带来的碳排放),比如森林或草地转化为城市用地。因此,加强城市系统地类转换与家庭生态消费行为的碳代谢过程及其

区域环境影响研究,对加强城市空间科学管理,重建城市系统和谐关系具有重要的实践价值,这也将是今后城市碳循环研究和碳管理的重要课题。

4 城市系统发展位势研究正引起重视

生态位理论一般用来解释生物单元的地位与作用,揭示自然系统的演化机制^[61-62],逐步丰富拓展于生态学、社会学和人类生态学的多学科交叉研究实践中。学者提出了生态位态势理论^[63],用来表征自然和社会中的生物单元发展的态和势两种属性。鉴于城市系统各组分具有类似于生物单元之间的生存状态与竞争关系,生态位相关理论被引入城市生态系统研究中^[64]。城市生态状况和趋势与居民生活福利密切相关^[65],以及对发展机会的竞合作用,所引起的城市“生命体”各组成单元发展势与空间格局的变化^[66-68],成为两大研究视点,这为城市社会—经济—自然复合系统内在作用机制和空间优化提供了指导,也为中国城市区域规划实践指明了方向。过往研究大多从生态位异化选择、空余生态位开拓、生态位平衡等角度^[64],探讨城市组分生态位势的优化途径。目前,对城市系统组分演化位势研究还很欠缺,缺乏空间和人文视角的深入分析和系统梳理。城市系统作为社会—经济—自然复合系统,其子系统在资源维、环境维、空间维等跨尺度域的交汇和互作异常剧烈,需要从空间—人文视角的深入研究,上述研究为从地理—生态过程分析城市系统空间组分位势分析提供了借鉴。

5 国内外研究趋势

(1) 城市地理—生态格局、过程与机制的研究是当前国内外研究的热点与焦点,尤其关注城市中心区及其邻近拓展空间,侧重于土地利用拓展、生产要素流动、社会经济特征、职住行为、生活空间等方面的探讨。发展趋势是:①集成系统理论、自组织理论、GIS/RS、元胞自动机等理论与手段方法,对城市系统时空演化进行宏观模拟与预测;②使用新的研究手段,瞄准城市发展的新兴领域与全球环境变化热点,尤其是微观过程、人文机制以及最新的碳排机制研究。在此进程中,家庭、城市垃圾与地类转换的碳排过程及其空间环境效应研究,正成为新兴的城市研究领域。

(2) 对城市系统空间尺度域研究,目前研究集中于城市核心区及其邻域地区,对跨域城市足迹区

研究鲜见。目前研究侧重于城市尺度上环境行为机制的空间对比分析,忽视了城市系统组分关系整体协调研究,对城市扩展影响的“真实足迹空间”界定不清,导致区域环境角色模糊,使城市系统管理与应对策略无法落实到相应空间上。在全球化与区域一体化的背景下,探索城市系统的“真实足迹空间”的演化机制,研究城市与其邻域及跨域足迹区日益紧密的环境资源联系,有助于了解城市系统过程与机制,实现城市系统科学管理。

(3) 在全球变暖背景下,宏观尺度自然循环过程的碳收支研究受到国内外持续关注,城市代谢过程与效率分析成为新兴领域。这可为选择有效的减排对策以及争取碳减排谈判话语权提供科学依据,并有助于居民生活福利与城市系统健康发展实践。目前碳代谢研究侧重于宏观自然过程与产品生命过程,对微观主体行为与人文过程的空间环境影响的研究明显不足。总体来说,城市碳循环和碳管理研究还处于起步阶段,对城市 and 区域尺度上的人文过程和微观主体过程碳排放研究较少,而国内该领域的研究还几乎是空白。

(4) 从功能空间角度解构城市系统,通过地理空间过程、资源利用行为、空间环境响应、人文生态驱动机制等分析,剖析城市系统演化的时空格局、过程与机制,是丰富和完善城市系统研究工作中函待完成的紧迫任务之一。

参考文献

- [1] 李文华, 赵景柱. 生态学研究回顾与展望. 北京: 气象出版社, 2004.
- [2] Churkina G. Modeling the carbon cycle of urban systems. *Ecological Modeling*, 2008, 216(2): 107-113.
- [3] 王效科, 白艳莹, 欧阳志云, 等. 全球碳循环中的失汇及其形成的原因. *生态学报*, 2002, 22(1): 94-103.
- [4] 方创琳, 刘海燕. 快速城市化进程中的区域剥夺行为与调控路径. *地理学报*, 2007, 62(8): 849-860.
- [5] Liu J Y, Tian H Q, Liu M L, et al. China's changing landscape during the 1990's: Large-scale land transformation estimated with satellite data. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32, L02405, doi: 10. 1029/2004GL021649.
- [6] 顾朝林, 于涛方, 李玉鸣, 等. 中国城市化格局过程机理. 北京: 科学出版社, 2008.
- [7] Batty M. The size, scale, and shape of cities. *Science*, 2008(319): 769-771.
- [8] Cmtzen P J. Geology of mankind. *Nature*, 2002, 415 (6867): 23.
- [9] 吴晓军, 薛惠峰. 城市系统研究中的复杂性理论与应用. 西安: 西北工业大学出版社, 2007: 425.

- [10] 傅伯杰, 赵文武, 陈利顶. 地理—生态过程研究的进展与展望. 地理学报, 2006, 66(11): 1123-1131.
- [11] Gouthie H I, Jtaaffe E. The 20th century revolutions in American geography. *Urban Geography*, 2000, 23(6): 503-527.
- [12] 周一星. 城市地理学. 北京: 商务印书馆, 2003.
- [13] 柴彦威, 刘志林, 李峥嵘, 等. 中国城市的时空结构. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- [14] 李琳. 多视角下的城市空间扩展与国内研究阶段性进展. 现代城市研究, 2008(3): 47-55.
- [15] 吕拉昌. “城市空间转向”与新城市地理研究. 世界地理研究, 2008, 17(1): 32-38.
- [16] 冯健, 刘玉. 转型期中国城市内部空间重构特征、模式与机制. 地理科学进展, 2007, 26(4): 93-106.
- [17] Xu Chi, Liu Maosong, Zhang Cheng, et al. The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China. *Landscape Ecology*, 2007, 22(6): 925-937.
- [18] 李月辉, 胡志斌. 沈阳市城市空间扩展的生态安全格局. 生态学报, 2007, 26(6): 875-881.
- [19] 花利忠, 崔胜辉, 黄云凤, 等. 海湾型城市半城市化地区空间扩展演化: 以厦门市为例. 生态学报, 2009, 29(7): 3509-3517.
- [20] 蒋芳, 刘盛和, 袁弘. 北京城市蔓延的测度与分析. 地理学报, 2007, 62(6): 649-658.
- [21] Gallent N, Shaw D. Spatial planning, area action plans and the rural-urban fringe. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2007, 50(5): 617-638.
- [22] 刘卫东, 谭轲骅. 杭州城市蔓延评估体系及其治理对策. 地理学报, 2009, 64(4): 417-425.
- [23] 闫卫阳, 王发曾, 秦耀辰. 城市空间相互作用理论模型的演进与机理. 地理科学进展, 2009, 28(4): 511-518.
- [24] 张慧霞. 基于GIS的广州市边缘区绿地景观梯度变化研究[D]. 广州: 中国科学院, 2006.
- [25] 曾万涛. 城市边缘区: 城乡统筹、城乡一体化的核心部位. 湖南城市学院学报, 2008, 29(3): 36-39.
- [26] 赵荣钦, 黄贤金, 徐慧, 等. 城市系统碳循环与碳管理研究进展. 自然资源学报, 2009, 24(10): 1847-1859.
- [27] Gouthie H I, Jtaaffe E. The 20th century ‘Revolutions’ in American geography. *Urban Geography*, 2000, 23(6): 503-527.
- [28] 凯文·林奇. 城市意向. 方益萍, 何晓军, 译. 北京: 华夏出版社, 2001.
- [29] 柴彦威. 行为地理学研究的方法论问题. 地域研究与开发, 2005, 24(2): 1-5.
- [30] 柴彦威, 沈洁. 基于活动分析法的人类空间行为研究. 地理科学, 2008, 28(5): 594-600.
- [31] Wei Y M, Liu L C, Fan Y, et al. The impact of lifestyle on energy use and CO₂ emission: An empirical analysis of China’s residents. *Energy Policy*, 2007(35): 247-257.
- [32] Christopher L, Weber H, Matthews S. Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint. *Ecological Economics*, 2008(66): 379-391.
- [33] Druckman A, Jackson T. The carbon footprint of UK households 1990-2004: A socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input-output model. *Ecological Economics*, 2009(68): 2066-2077.
- [34] Heiskanen E, Johnson M, Robinson S, et al. Low-carbon communities as a context for individual behavioural change. *Energy Policy*, 2010, 38(12): 7586-7595.
- [35] Kerkhof A C, Benders R M J, Moll H C. Determinants of variation in household CO₂ emissions between and within countries. *Energy Policy*, 2009, 37(4): 1509-1517.
- [36] 周素红, 闫小培. 基于居民通勤行为分析的城市空间解读: 以广州市典型街区为案例. 地理学报, 2006, 61(2): 179-189.
- [37] 杨卡. 中国城市社会空间研究进展. 国际关系学院学报, 2009(3): 81-86.
- [38] 王兴中. 中国城市社会空间结构研究. 北京: 科学出版社, 2000.
- [39] 王兴中. 中国城市生活空间结构研究. 北京: 科学出版社, 2004.
- [40] Zhao W, Ester van der Voet, Zhang Y F, et al. Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China. *Science of the Total Environment*, 2009, 407(5): 1517-1526.
- [41] Kennedy C, Cuddihy J, Engel Yan J. The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 2007, 11(2): 43-59.
- [42] Wolman A. The metabolism of the city. *Scientific American*, 1965, 213(3): 179-190.
- [43] Warren-Rhodes K, Koeing A. Escalating trends in the urban metabolism of Hong Kong: 1971-1997. *AMBIO*, 2001, 30(7): 429-438.
- [44] 马其芳, 黄贤金, 于术桐. 物质代谢研究进展综述. 自然资源学报, 2007, 22(1): 141-152.
- [45] Alberti M, Waddel P. An integrated urban development and ecological simulation model. *Integrated Assessment*, 2000, 1(3): 2152-227.
- [46] Newman P W G, Kenworthy J R. Transport and urban form in thirty-two of the world’s principal cities. *Transport Reviews*, 1991, 11(3): 249-272.
- [47] Ramaswami A, Hillman T, Janson B, et al. A demand-centered, hybrid life-cycle methodology for city-scale greenhouse gas inventories. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(17): 6455-6461.
- [48] Tim Hillman, Anu Ramaswami. Greenhouse gas emission footprints and energy use benchmarks for eight U.S. cities. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44(6): 1902-1910.

- [49] Vande Weghe J, Kennedy C. A spatial analysis of residential greenhouse gas emissions in the Toronto census metropolitan area. *Journal of Industrial Ecology*, 2007, 11(2): 133-144.
- [50] Svirejeva-Hopkins A, Schellnhuber H J. Modelling carbon dynamics from urban land conversion: Fundamental model of city in relation to a local carbon cycle. *Carbon Balance and Management*, 2006, 1(8): 1-8.
- [51] Tian H, Mellilo J M, Kichlighter D W, et al. Effects of interannual climate variability on carbon storage in Amazonian eco-systems. *Nature*, 1998, 396: 664-667.
- [52] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳储量. *中国科学: D辑*, 2003, 33(1): 72-80.
- [53] David Browne, Bernadette O' Regan, Richard Moles. Assessment of total urban metabolism and metabolic inefficiency in an Irish city-region. *Waste Management*, 2009, 29(10): 2765-2771.
- [54] Zhang Y, Zhao Y W, Yang Z F, et al. Measurement and evaluation of the metabolic capacity of an urban ecosystem. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat*, 2009, 14(4): 1758-1765.
- [55] Svirejeva-Hopkins A, Schellnhuber H J. Urban expansion and its contribution to the regional carbon emissions: Using the model based on the population density distribution. *Ecological Modelling*, 2008, 216(2): 208-216.
- [56] Dhakal S, Betsill M M. Challenges of Urban and Regional Carbon Management and the Scientific Response. *Local Environment*, 2007, 12(5): 549-555.
- [57] Lebel L. Carbon and water management in urbanization. *Global Environmental Change*, 2005, 15: 293-295.
- [58] Lebel L, Garden P, Banaticla M R N, et al. Integrating carbon management into the development strategies of urbanizing regions in Asia. *Journal of Industrial Ecology*, 2007, 11(2): 61-81.
- [59] Canan P, Crawford S. What can be learned from champions of ozone layer protection for urban and regional carbon management in Japan? *Global Carbon Project*, 2006-16-17[2009-10-15]. <http://www.gcp-urcm.org/Main/Publications>.
- [60] Munksgaard J, Wier M, Lenzen M, et al. Using input-output analysis to measure the environmental pressure of consumption at different spatial levels. *Journal of Industrial Ecology*, 2005, 9(1/2): 169-185.
- [61] 马世骏, 王如松. 社会—经济—自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, 4(1): 1-9.
- [62] 尚玉昌. 现代生态学中的生态位理论. *生态学进展*, 1988, 5(2): 77-84.
- [63] 刘建国, 马世骏. 扩展的生态位理论//马世骏. *现代生态学透视*. 北京: 科技出版社, 1990: 72-89.
- [64] 王如松. 高效和谐: 城市生态调控原则和方法. 长沙: 湖南教育出版社, 1988.
- [65] 谭萌佳, 严力蛟, 李华斌. 城市人居环境质量定量评价的生态位适宜度模型及其应用. *科技通报*, 2007, 23(3): 439-445.
- [66] 陈绍愿, 林建平, 杨丽娟, 等. 基于生态位理论的城市竞争策略研究. *人文地理*, 2006, 88(2): 72-76.
- [67] 丁圣彦, 李志恒. 开封市的城市生态位变化分析. *地理学报*, 2006, 61(7): 752-762.
- [68] 徐厚琴. 西部干旱区省会城市生态经济位比较研究. *干旱区地理*, 2007, 30(3): 426-430.

Urban System Research from the Perspective of Geo-ecological Processes

YANG Dewei¹, YANG Zhiyou^{1,2}, CUI Shenghui¹, LUO Tao¹

(1. Key Lab of Urban Environment and Health/Key lab of urban metabolism of Xiamen, Institute of Urban Environment, CAS, Xiamen 361021, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Researches on the pattern, process and mechanism of urban system become the focus and hotspots under the background of rapid urbanization, regional integration and global environmental change. The urban system researches from the perspective of geo-ecological processes are reviewed, including urban spatial and human processes, system metabolism and efficiency and competition-cooperation situation. The article indicates that the most important future direction focuses on deep analyses of geo-spatial processes, micro-object behaviors, spatial environmental responses, human-driving mechanism by comprehensive macro- and micro-means. The review will contribute to understanding the emphases and direction of future urban researches, and grasping the pattern, processes and mechanism of urban evolution, and thus be beneficial to guiding urban spatial management and responding to rapid urbanization and global warming.

Key words: geo-ecological processes; functional space; pattern; mechanism; urban system

本文引用格式:

杨德伟, 杨执优, 崔胜辉, 等. 地理—生态过程视角的城市系统研究. *地理科学进展*, 2011, 30(2): 164-170.