

中国城市化过程及其资源与生态环境效应机制

李双成¹, 赵志强^{1,2}, 王仰麟¹

(1. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871; 2. 北京大学深圳研究生院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055)

摘 要: 目前中国城市化进程表现为速度过快、地域差异显著以及城乡二元结构明显等特征。城市化带来了显著的生态效应, 使城市生态系统的结构、过程和功能受到影响或发生不可逆转的变化, 出现了耕地资源流失、水资源稀缺、能源压力、城市环境污染严重以及城市区域生态占用扩大等资源与生态环境问题。目前国内外学者研究了城市热岛效应、城市地表覆被变化、城市生物多样性损失以及城市水土资源等问题, 但多侧重单要素、单城市、单学科研究, 缺乏多尺度机理性的研究。鉴于此, 提出若干未来城市化及其生态环境效应研究的方向与议题, 归纳为: (1) 中国城市化过程多尺度定量模拟与监测研究; (2) 阐明城市化影响下地表自然过程和人文过程相互作用的机理; (3) 资源与生态环境约束下中国未来城市化的可能情景及其风险评估等。

关 键 词: 城市化过程; 资源与生态环境效应; 研究动态; 中国

1 引言

城市化过程是指人口向城市地区集中和农村地区转变为城市地区的过程, 这一过程至少包括两方面内涵: 一是人口迁移, 它必然导致社会结构的变迁、经济要素的流动和产业的推移; 二是生态环境的变化, 这则引起土地利用/土地覆被类型、自然资源和生态环境状况的改变。目前人类社会正在经历着有史以来最快的城市化过程, 特别是在发展中国家。1900年时全世界大约仅有10%的人口居住在城市, 而目前这一比例已经超50%^[1]。改革开放30年以来, 中国作为世界上成长最快的经济体, 城市化过程发展迅速, 城市化率由1978年的17.9%上升到2007年的44.9%, 按照美国城市地理学家诺瑟姆提出的城镇化阶段性规律^[2], 20世纪90年代中期中国开始进入城镇化加速发展阶段。根据联合国的预测, 到2020年, 中国超过一半的人口将居住在城镇地区^[3]。到2050年, 这一比例预计可能会达到70%左右。

目前, 中国城市化进程呈现出以下一些特点:

(1) 城市化速度加快, 呈现“虚高”和“冒进”态势。2004年底全国有设市城市660多座, 建制镇

20600多个。城镇人口从1949年的5000万, 已经发展到2005年的5.62亿, 城镇化率已经达到43%。其中, 城镇化率从20%到40%只用了22年, 这个过程比发达国家平均快了1倍多。其中, 2005年我国43%的城镇化率是“虚高”的, 因为包括了1.3亿“农民工”和他们的家属^[4]。

(2) 城市化出现“集群式”特征。产业升级、产业转移以及国际国内产业分工调整导致的城市化及其速度的空间集聚日趋显著。在一些大城市地区, 城市新区与郊区新城纷纷涌现, 出现了城市区域化和区域城市化的快速增长现象, 在经济发达地区则进一步出现了城市群现象或集群发展模式。如长江三角洲、珠江三角洲和环渤海地区, 全球资本、技术、信息、劳动力、智能管理等活动与交流日趋集中, 逐渐形成以一个超大型城市为核心, 集聚着众多城市的城市密集区, 城市发展由“独立式”为主转变为“集群式”为主^[5]。

(3) 城市化水平空间异质性日益明显。20世纪90年代以来, 中国东、中、西三大地区经济发展水平差异逐步扩大, 直接导致了东西部大的区域空间上城市化水平的质与量均有显著差距。东部地区已经形成了以民营企业为依托的小城镇广域分布, 并出

收稿日期: 2008-08; 修订日期: 2008-12。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40635028); 国家自然科学基金项目(40771001)。

作者简介: 李双成(1961-), 男, 河北平山人, 副教授, 主要从事地表格局与过程复杂性计算和模拟研究。

E-mail: scli@urban.pku.edu.cn

现了环渤海地区、长江三角洲和珠江三角洲三个城镇密集地区,具有较为完善的城镇体系以及较高质量的城市化水平。而西部地区城市化主要依赖资源型工业和重工业,城市布局相对分散,城市化质量较低^[6]。城市化的省际与省内发展也同样差异巨大。京、津、沪的城市化水平最高,黑、辽、粤、苏、浙、闽、琼、鄂等省区的城市化水平次之,其他省和自治区的城市化水平最低。目前中国城市化过程在呈现加速、集群以及空间异质性态势的同时,也凸显了资源与生态环境的负面效应,而中国城市化过程的资源与生态环境效应特点也对应着上述城市化特点。

2 中国城市化过程的资源与生态环境效应特征

城市化是一种强烈的地表人类活动过程,与资源和生态环境条件之间相互耦合相互制约,城市化对资源及生态环境可能产生剧烈影响,而这种影响反过来又可能对城市化进程形成约束。一般认为,城市化带来的生态环境效应表现为:改变了城市区域生物地球化学循环,排放大量温室气体,造成严重环境污染;改变气候特征,出现“热岛”效应;改变下垫面景观结构特征,水分循环系统发生变化;以及生物多样性降低和外来物种入侵等。上述这些负面效应大多由城市化过程的资源利用不当和土地利用方式的转换引起^[1]。

纵观我国城市化发展历程、现状和态势,不可避免地会对资源与生态环境造成巨大影响,同时也面临能源和自然资源的超常规利用以及生态环境恶化带来的压力和制约。其特征表现如下:

(1)耕地资源流失过速。根据建设部门专家的数据,1991–2000 年全国城市建设用地,每年平均增加 150 多万亩,2001 年在 300 万亩以上,2002 年上升到 500 万亩左右,而建设用地的增加主要来自耕地占用。根据国土资源部的数据显示,在 1997–2000 年期间,平均每年建设占用耕地为 270 多万亩;而在 2001–2005 年期间,该数量已增加至 328 万亩。快速的城市化过程加剧了耕地资源的流失,如沿海各省市 2010 年的土地指标在 2001 年已经用完。城市水平很高的长三角地区更是人多地少,目前人均耕地仅 0.7 亩,土地资源十分稀缺,而且仍然在不断减少。

(2)城市水资源稀缺程度加剧。从水资源看,过

去的城市供水问题主要是给排水设施的不足,而今天随着城市人口的剧增,生产用水和生活用水量将大幅上升,加上江河湖泊等地表水以及地下水水质已遭受严重污染,据专家估计,这将使得我国 660 多个城市不同程度地面临水资源匮乏问题,200 多个城市严重水资源不足^[7]。

(3)能源供需平衡压力日益增大。城市化对能源,包括电、煤、石油、燃气等需求都将有巨大的增长。目前我国每生产 1 万元的 GDP 其能耗比发达国家高出 10~12 倍,同时城市的人均耗能、人均用水以及集中产生的垃圾量要比农村大得多。即使按照每年 1 个百分点的城市速率增长,未来城市化过程对于资源供给的压力也十分巨大。

(4)城市环境污染严重,生态恶化明显。快速城市化和经济持续高速发展给城市地区的环境造成巨大压力。水体污染、大气污染、土壤污染和固体废弃物堆积问题突出。据统计 90% 的城镇水域和 65% 的饮用水源受到不同程度的污染,90% 的城市沿河水域遭到污染,而全国城市污水处理率只有 36%。全国城市年产生生活垃圾 1.5 亿 t,有 200 个城市出现垃圾围城的局面,在 50% 的垃圾处理率中只有 10% 达到无害化处理标准。如长三角地区水资源污染严重,太湖流域出现普遍的“水质性缺水”;大气污染使几乎整个长江三角洲都处于酸雨的威胁;土壤重金属污染和有机物污染已出现由原来点状的、局部的演变成面上的区域性污染扩散的态势等^[8]。与此同时,城市区域的生态恶化态势显著,具体表现在城市或城市地区的热岛效应不断加强,城市土壤的理化性质和肥力下降,地表径流特性改变,自然和半自然景观破碎化严重,生物多样性和自然生态系统生产力降低,一些城市地下水过度开采引起的地面沉降加剧等等。

(5)城市地区的生态占用不断增加,需要的生态支撑面积越来越大。城市化发展通过地域景观演替和土地利用方式的变化,改变自然系统的承载能力,使城市化发展逐渐成为影响生态足迹供需变化的重要因素。城市和城市化地区是地表产生生态足迹密度最大的区域,也是生态赤字的主要贡献区。其中,城市化率对建筑用地、草地和化石燃料用地的影响较显著。据统计,一个城市需要大于其本身面积的 10~100 倍区域来支撑其物质和能量需求,其中也包括生态服务功能的供给和废弃物的吸纳与贮存^[9]。

3 城市化过程及其资源与生态环境效应机制研究现状

3.1 国内外研究现状与进展

城市化过程带来的资源与生态效应日益引起决策者、科学家和公众的关注。近年来国内外相关研究逐渐增多。

3.1.1 国外部分研究现状

1995 年,Grossman 和 Krueger 用计量经济学方法,以 42 个发达国家的板面数据进行实证,揭示了随着城市经济水平的提高,城市生态环境质量呈现倒“U”型的演变规律,提出著名的环境库兹涅茨曲线(EKC)假设^[10]。城市化引发的环境及生态问题,如城市局部气候恶化、生物多样性消失等激起了世界人们的广泛注意。如 Deosthali 模拟了城市化对城市局部气候的影响^[11],Deplazes 等^[12]分析了城市化对城市野生生物的多重影响等。

国际全球环境变化人文因素计划(International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change,IHDP) 关注城市化与全球变化相互关系及相互作用机制的研究。其中,科学计划—城市化与全球环境变化(UGEC)是 IHDP 的核心研究计划之一,该研究包括城市系统对全球环境变化的影响、全球环境变化影响城市系统的路径和作用

点、城市系统与全球环境变化的相互作用和结果、城市生态系统中对全球环境变化影响的结果与反馈过程等四大专题的研究^[13,14]。IHDP 有关城市化与全球环境问题的研究计划目前已制定发展战略规划^[15]。项目研究稳步推进并取得了积极进展,包括:全球环境变化海岸带城市地区人类安全的影响^[16],城市化过程中的碳管理与清洁空气问题,城市景观格局与全球环境变化问题,发展中城市建模、全球环境变化与政策制定问题,全球城市及其脆弱性问题及中国的城市化研究等^[17]。

近期国外研究中,最突出的是 2008 年 1 月发表在 Science 上的一组有关城市方面的文章。其中,Grimm 等^[1]人的《Global change and the ecology of cities》从城市生态学视角探讨了全球环境变化下由人类活动引发的在局地、区域和全球等不同尺度下城市社会生态系统的各种环境变化和响应(图 1)。

3.1.2 国内部分研究现状

近几年国内有关城市化及其资源与生态效应的研究工作也较多。在城市化过程中资源消耗以及反馈约束方面,除了一般的综合性论述外,土地资源、水资源和能源资源受到了较多的关注^[4,5,7]。李桂林等回顾了城市化过程对土壤资源的质与量产生的深刻影响,主要表现为:城市向外扩张、交通设施建设等占用的多为最好的农业土壤资源,导致土壤

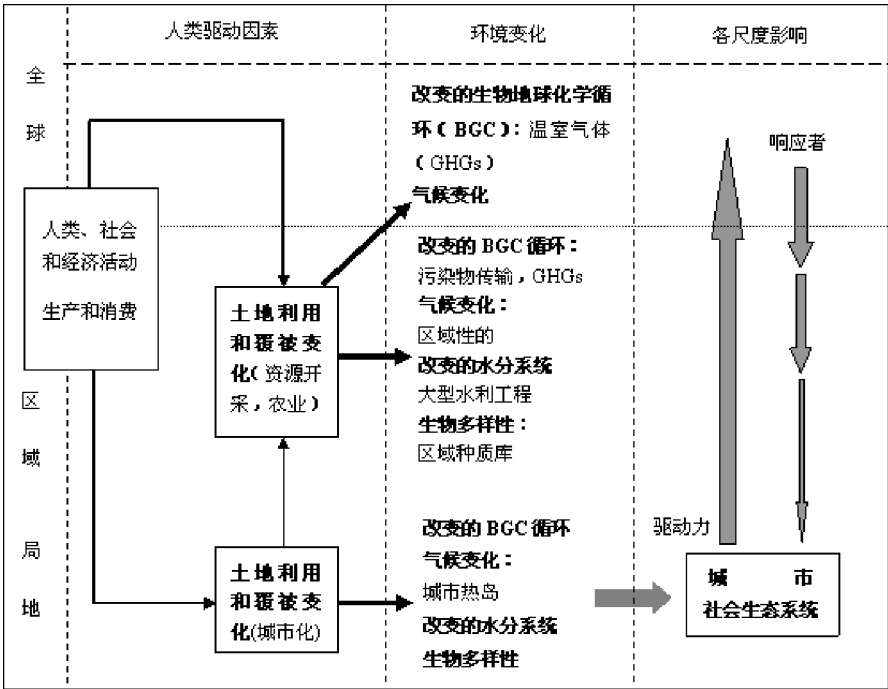


图 1 城市社会生态系统多尺度驱动-变化和响应框架(源自文献[1])

Fig.1 Framework showing urban socio-ecosystem as a driver of and responder to environmental change

资源数量缩减;建设用地开发、采石、筑路等在内的各种城市化活动能明显加剧土壤侵蚀过程;土壤利用方式的转换引起土壤理化性质的改变,同时导致土壤碳储量的变化;城市化过程中强烈的人为活动导致土壤中生物多样性和活力的下降;城市地区由于资源的集中消费及化学物质集中释放而对土壤环境的刺激强度越来越大^[18]。

中国现有 300 多个城市不同程度缺水,其中严重缺水的有 108 个。因此城市化进程与城市水资源、水环境研究成为热点。如张一平^[19]和宋军继^[20]对城市化引发的城市水环境问题进行了研究;周海丽等^[21]建立回归模型定量分析了深圳的城市化发展与城市水环境质量变化的关系。城市化对下垫面水文系统的影响也较为显著^[22]。陈德超等^[23]考察上海城市化过程中的河网水系变化,发现从一个世纪以前的河网密布,到随着近半个世纪的城市化过程中建成区不断向外扩展使许多河流被填没、淤堵,全市河道长度缩短了约 270km,河网密度也大为减少,其结果导致河道自然排水功能下降,加大了城市暴雨积水的可能,同时影响了河流的水质状况。王玉成等^[24]则研究了城市化过程中的“雨岛”效应,由于大量人口向城市聚居,工业、商业迅速发展,扬尘排放量显著增加,城市上空的灰尘成为降雨的催化剂,同时使城市温度明显提高,从而形成城市降雨。同时,下垫面性质发生改变,地面多成为硬制的、不透水表面,减少了蓄水洼地,蓄渗能力大幅度下降,使得地表径流总量增大。

城市化带来了显著的生态效应,这也是国内研究的一个方向。城市化过程通过直接或间接的改变地面形态及原本自然的生物地球化学过程,使生态系统的结构、过程和功能受到影响或发生不可逆转的变化。随着城市化进程的不断推进,城市景观格局特征越来越复杂,受格局影响的生态过程、功能也不断发生变化^[25]。城市化过程中对于气候影响最显著的是城市热岛效应。单体城市的热岛效应研究成果较多,以北京市为例,北京城市热岛强度和总人口对数呈线性相关关系;建成区的范围与城市热岛影响范围呈同步变化趋势;热岛强度以平均每 10 年 0.22℃的速率加剧^[26]。城市带或城市地区的热岛效应波及范围更大,对区域性气候格局构成影响。如长三角地区城市带热岛强度和城市总人口对数呈线性正相关关系;城市带增温效应使得区域的年平均气温在 1961–2005 年间增加了 0.072℃,其中

1991–2005 年间增温幅度为 0.047℃,表明这一时期长江三角洲城市带的空间扩展正在改变区域温度变化趋势,且这种增温趋势显著^[27]。

城市地区的土地利用和土地覆被变化研究一直是国内研究热点之一。早期的工作集中在不同时期土地利用类型之间的转换分析上,其数据多靠遥感影像解译获取,空间分析主要依靠地理信息系统,其指标多采用景观格局指数。近年来,一些学者采用基于非参数化的算法如人工神经网络、遗传算法、粗糙集理论、免疫进化算法及多智能体等,结合 GIS 与元胞自动机模型来模拟和预测城市地区的土地利用变化^[28]。同时,城市土地利用变化导致的生态环境效应也逐渐引起一些学者的关注^[29],效应研究集中在热环境^[30–31]和大气环境^[32]。

从整体上看,城市化对地表植被覆盖带来的是负面影响。韩贵锋和徐建华等^[33]利用 SPOT/VGT–NDVI 时间序列数据,探讨了城市化与地表植被之间的关系。研究表明,从时间序列上看,城市化率和植被生长活力之间有明显的负相关关系,相关程度越来越强;在空间上,植被生长活动与人口和 GDP 等变量之间均以负相关为主,且高的负相关主要分布在经济发达地区,例如上海–苏州–无锡–常州–镇江–南京城市带。说明人口大量集中、城镇用地的迅速扩张以及高强度的生产活动,对植被的侵占和破坏十分明显^[33]。城市化进程随着人口大量增加和环境污染,地表覆被与下垫面自然生境不断退化与丧失,进而降低了生物多样性^[34]。大致规律是,城市生物多样性由市郊向中心区梯度性减少,野生物种多样性由城市中心区向城郊逐渐增加,城市化增加了外来种入侵的概率^[35]。除了上述对于城市化过程中资源与生态环境效应的单要素研究外,一些学者尝试综合效应的研究。Shen 等^[36]采用一个基于过程的生态系统模型,分析了美国凤凰城地区荒漠生态系统响应城市化引起的环境变化。研究结果表明,可利用水分控制着生态系统对 CO₂ 浓度升高、气温和氮沉降响应的幅度与格局,城市化效应在湿润年份要比正常和偏干年份更显著。部分学者对城市化与生态环境的交互耦合机制与规律性做了分析,黄金川等^[37]采用代数学和几何学两种方法对环境库兹涅茨曲线和城市化对数曲线进行逻辑复合,推导出城市化与生态环境交互耦合的数理函数和几何曲线,揭示出区域生态环境随城市化的发展存在先指数衰退、后指数改善的耦合规律,并将交互

耦合的过程分为低水平协调、拮抗、磨合和高水平协调四个阶段。刘耀彬等^[38]通过实证分析发现,从时间上看,中国城市化与生态环境交互耦合的时序基本处于拮抗阶段,且二者的耦合协调度较低;从空间上看,中国省区城市化与生态环境的耦合度和耦合协调度都明显存在着地域性差异,且耦合协调度上表现出东部省区普遍高于中西部省区的规律。同时它还和区域经济发展水平存在很大的空间对应关系;由于经济发展、历史基础、自然条件和政策影响差异作用,中国省区城市化与生态环境的耦合强度与耦合协调程度在空间分布上不具有对应性。

3.2 目前研究的不足

通过上述分析可以发现,国内外有关城市化过程及其资源与生态环境效应的研究具有以下特点:(1)单项要素研究较多,缺乏综合分析。大多数研究偏重于城市化过程中某一要素或特定效应,对于整个城市系统内资源与生态效应的整合分析不足。尽管一些研究是对城市化与生态环境交互耦合的分析,但实际上是城市化水平与各个生态环境要素加权后的统计关系,而非机制上的综合分析。(2)关注单个城市问题较多,对城市群或城市地区关注较少。多数研究在个体城市上进行,但对由于区域经济社会发展差异造成的城市化的区域差异,及在经济发达地区形成的城市群或城市连绵带的研究较少。尽管也有部分学者将城市群作为区域研究对象,如珠江三角洲城市群^[39,40]、关中地区城市群^[41]、辽中南城市群^[42]和山东半岛城市群^[43]等,但主要是从城市群的水资源、土地资源等资源环境承载力角度进行实证研究^[44],缺乏城市群形成的机制及其生态环境效应研究。(3)不同的学科研究的侧重点不同。环境学家比较注重环境污染的评价与机理分析,旨在更好的进行环境保护与治理;地理学家比较注重区域,往往从资源利用与保护的角度来研究城市生态环境问题,目的是协调好人地关系;生态学家则比较注重城市生态因子的机理分析,目标是厘清生态因子之间的耦合关系;社会经济学者主要从经济与社会发展、城市规划和生态健康的角度展开,研究的重点是评价不同城市社会、经济与生态环境协调程度,以及规划的合理程度。(4)缺乏多尺度机理性的研究。不论是城市化过程本身,还是城市化引起的资源与生态效应,都呈现出不同的尺度特征。目前的研究大多在单一尺度上展开,且多为数理统计关系,缺乏对于过程的机制性探讨,因而

研究结果很难对科学决策提供支撑。

4 城市化过程及其资源与生态环境效应机制未来研究方向

城市化是社会经济发展的客观过程,但在一定程度上可以通过合理的措施进行科学调控。如上所述,目前中国城市化过程正在呈现加速态势,由此带来的资源与生态环境负面效应已经凸显,亟需回答一些重大的理论和实践问题,如中国需要多大的城市化年增长率?城市化过程的动力学机制是什么?城市化过程如何与社会经济发展相协调?如何取得最小生态风险和环境代价的城市化过程?如何减缓资源与生态环境效应对于城市化过程的制约?

目前中国正处在快速城市化和工业化的阶段,具有变化迅速、区域差异显著和梯度演进的特点,对于资源和生态环境的压力和破坏,以及受到它们约束与限制的态势均不同于以往发达国家的经历,且中国的社会经济制度与国外有较大的差异,同时发展的阶段及面临的社会经济文化背景迥然不同,因而不可能简单移植国外的相关理论和经验。开展中国城市化过程及其资源与生态环境效应机制和动态研究,成果需要满足不同层次多样化的国家需求。在城市以下层次上,城市化过程动力机制及其生态环境效应的研究成果,可以有效地为科学管理城市服务。如通过城市地区生物地球化学循环的研究,可以为建设健康城市和低碳城市提供科学依据;通过城市地区生态服务功能和生态效应研究,可以为建设生态城市提供帮助。在区域及国家尺度上,通过研究宏观自然、社会和经济因素对于中国城市化过程的作用机制、城市化过程的地域分异规律以及城市化与资源和生态环境效应相互关系,可以为国家层面的决策提供支撑。

基于以上国家需求,在今后的研究应注重以下几个突出的科学问题与发展方向。

4.1 中国城市化过程多尺度定量模拟与监测研究

通过机制模型、数理模型和实地监测等途径在城市内部尺度、城市尺度、城市群尺度以及全国尺度上定量模拟中国城市化过程,是推定城市化趋势并测度其资源与生态环境效应的基础。具体应注重如下内容的研究:(1)城市内部微观尺度上研究城市微观主体行为对于城市结构与功能的影响;社会经济技术发展过程对于城市结构与功能的作用机

制;城市内部结构异质性和功能分区形成的动力学机制等。(2)城市尺度上,研究对个体城市成长的过程模拟(自组织与他组织过程);城市形态及其演化的成因分析及空间表达;城市经济、社会和制度空间结构的演化机制;城市空间扩展的模拟与调控等。(3)城市群尺度上,研究城市间相互作用的机理分析;城市群区产业与空间结构演变机制;城市群形成演变的动力机制;城市群区功能体系及分区等。(4)在国家尺度上,研究中国城市化过程的动力机制模型;宏观自然-社会-经济因素对于中国城市化过程的作用机制;中国城市化过程演进历程及趋势分析;中国城市化地域分异规律及分区方案,分区指标包括城市自然环境背景、资源禀赋、产业结构、生产承载力、城市化发展水平等。

4.2 城市化影响下地表自然过程与人文过程的相互作用机制

城市化是人类活动及其构筑物对于地表自然过程的扰动与影响过程。在城市区域很难发现没有人为作用的纯自然过程。因而,城市化影响下的地表过程研究强调自然过程与人文过程的相互作用机制。应以城市化和工业化引起的土地利用/土地覆被变化为联结纽带,探讨城市化影响下多尺度地表过程。具体包括:(1)在城市尺度上侧重产业结构与土地利用格局的“热岛”和“雨岛”效应以及对生物地球化学循环的影响;城市土地利用/土地覆被变化对于水文过程和生物多样性的影响等。(2)区域尺度的研究则侧重产业结构与土地利用格局特征及变化引起的自然生态系统破碎化,以及对水分循环过程、区域气候过程和污染物区域传输的影响等。(3)国家尺度的研究侧重城市化过程对于全球气候变化的作用,以及对生态系统服务功能和生物地球化学循环的影响(如温室气体)等。

4.3 资源与生态环境约束下未来城市化的可能情景及其风险评估

城市化过程影响土地资源和生态环境,反过来资源与能源的稀缺和生态环境的恶化也对未来的城市化发展形成约束。因此,有必要针对我国代表性区域的具体情况,探讨在资源和生态安全约束下未来城市化的可能情景,并针对这些情景进行风险评估。在风险评估的基础上,提出相关问题的解决对策。具体研究内容包括:(1)自然资源对城市化约束理论框架及其模型;(2)城市化过程与土地资源动态的耦合分析,包括城市化进程中的土地资源时空

格局、土地资源对于城市化过程的约束机制、城市化进程中的土地资源配置等研究;(3)城市化过程与水资源动态的耦合分析,包括城市化进程中的水资源动态分析和水资源对于城市过程的约束机制等;(4)城市化过程与能源供需的耦合分析,包括城市的规模和空间结构对能源需求的影响机理以及城市化进程的能源供需动态平衡态势分析等;(5)城市化过程与区域生态环境关系研究,包括不同区域城市化与生态环境耦合度模型、区域生态环境对于城市过程的响应分析、城市化规模与生态环境承载力关系分析、生态安全约束下城市化发展趋势分析等。

总之,分析多尺度下中国城市化过程的动力机制及其时空特征,阐明城市化影响下地表自然过程和人文过程相互作用的机理,表征城市化要素与资源和生态环境因子之间的定量联系,预测资源与生态安全约束下中国未来城市化的发展趋势等内容都是未来研究的重要议题。

致谢:本文在写作过程中吸纳了北京大学城市与环境学院王学军和柴彦威等教授的一些建议和思路,特此致谢!

参考文献

- [1] Grimm N B, et al. Global change and the ecology of cities. *Science*, 2008, 319:756~760.
- [2] Northam R M. *Urban Geography*. New York: John Wiley & Sons, 1975.
- [3] United Nations. *World Population Prospects*. New York, NY: United Nations, 2002.
- [4] 陆大道, 姚士谋. 中国城镇化进程的科学思辨. *人文地理*, 2007, 4:1~6.
- [5] 姚士谋, 管驰明, 王书国 等. 我国城市化发展的新特点及其区域空间建设策略. *地球科学进展*, 2007, 22:271~279.
- [6] 陈波翀, 郝寿义. 试论中国城市化快速发展道路. *人文地理*, 2005, 20(5): 44~47.
- [7] 张敬淦. 中国城市化进程中的资源短缺问题. *城市问题*, 2008, 1:5.
- [8] 顾朝林. 长江三角洲城市化未来可能出现的问题. *城市问题*, 2008, 1:6~7.
- [9] 赵卫, 刘景双, 孔凡娥等. 城市化对区域生态足迹供需的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(1):120~126.
- [10] Grossman G, Krueger A. Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110:353~377.
- [11] Vrshali Deosthali. Assessment of impact of urbanization

- on climate: An application of bio-climatic index. *Atmospheric Environment*, 1999, 33:4125~4133.
- [12] Peter Deplazes, Daniel Hegglin, Sandra Gloor, et al. Wilderness in the city: The urbanization of *Echinococcus Multilocularis*. *Trends in Parasitology*, 2004, 20(2):77~84.
- [13] 李杨帆, 朱晓东, 马妍. 城市化和全球环境变化与 IHDP. 环境与可持续发展, 2008, 6:42~43.
- [14] IHDP. Science Plan: Urbanization and Global Environmental Change (IHDP Report No. 15). Bonn: IHDP Secretariat, 2005.
- [15] IHDP. The IHDP Strategic Plan 2007~2015 (IHDP Update 1. 2008). Bonn: IHDP Secretariat, 2008.
- [16] IHDP. The Implications of Global Environmental Change for Human Security in Coastal Urban Areas (IHDP Update Issue 2 September 2007). Bonn: IHDP Secretariat, 2007.
- [17] IHDP. Urbanization and Global Environmental Change—An Exciting Research Challenge (IHDP Newsletters 2. 2006). Bonn: IHDP Secretariat, 2006.
- [18] 李桂林, 陈杰, 孙志英等. 城市化过程对土壤资源影响研究进展. *中国生态农业学报*, 2008, 16 (1): 234~ 240.
- [19] 张一平. 城市化与城市水环境. *城市环境与城市生态*, 1998, 11(2):20~22, 27.
- [20] 宋军继. 浅谈当前城市水环境现状及发展对策. *水土保持研究*, 2003, 10(3):114~116.
- [21] 周海丽, 史培军, 徐小黎. 深圳城市化过程与水环境质量变化研究. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2003, 39(2): 273~279.
- [22] 张学真. 城市化对供水河流水文序列的影响分析. *水利经济*, 2005, (1):39~41.
- [23] 陈德超, 李香萍, 杨吉山等. 上海城市化进程中的河网水系演化. *城市问题*, 2002, (5):31~35.
- [24] 王玉成, 耿延博, 王婷等. 城市化对水文要素影响分析. *东北水利水电*, 2008, 26(6):16~17.
- [25] 李伟峰, 欧阳志云, 王如松等. 城市生态系统景观格局特征及形成机制. *生态学杂志*, 2005, 24 (4) :428~432.
- [26] 季崇萍, 刘伟东, 轩春怡. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究. *地球物理学报*, 2006, 49(1):66~77.
- [27] 谢志清, 杜银, 曾燕等. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响. *地理学报*, 2007, 62(7):717~726.
- [28] 陶海燕, 黎夏, 陈晓翔等. 基于多智能体的地理空间分异现象模拟——以城市居住空间演变为例. *地理学报*, 2007, 162(6): 579~588.
- [29] 宋治清, 王仰麟. 城市景观及其格局的生态效应研究进展. *地理科学进展*, 2004, 23(2):97~106.
- [30] 岳文泽, 徐丽华. 城市土地利用类型及格局的热环境效应研究——以上海市中心城区为例. *地理科学*, 2007, (2):243~248.
- [31] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华. 基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究——以城市热环境和植被指数为例. *生态学报*, 2006, (5):1450~1460.
- [32] 张惠远, 饶胜, 迟妍妍等. 城市景观格局的大气环境效应研究进展. *地球科学进展*, 2006, 21(10):1025~1032.
- [33] 韩贵锋, 徐建华. 长江三角洲地区城市化与植被活动之间的时空相关性. *生态科学*, 2008, 27(1):1~5.
- [34] 王光美. 城市化影响下北京植物多样性现状与保护对策研究. 中国科学院植物研究所博士学位论文, 2006
- [35] 李俊生, 高吉喜, 张晓岚等. 城市化对生物多样性的影响研究综述. *生态学杂志*, 2005, 24(8):953~957.
- [36] Shen W J, et al. Effects of urbanization-induced environmental changes on ecosystem functioning in the Phoenix Metropolitan Region, USA. *Ecosystems*, 2008, 11:138~155.
- [37] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. *地理研究*, 2003, 22(2):211~220.
- [38] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析. *自然资源学报*, 2005, 20(1):105~112.
- [39] 张磊. 珠江三角洲经济区城市生态环境承载力研究. *环境科学与技术*, 1997, (2):11~12.
- [40] 周纯, 舒廷飞, 吴仁海. 珠江三角洲地区土地资源承载力研究. *国土资源科技管理*, 2003, (6):16~19.
- [41] 蒋晓辉等. 陕西关中地区水环境承载力研究. *环境科学学报*, 2001, 21(3):312~317.
- [42] 陈红, 回燕斌. 辽中南城市群水资源承载力分析. *科技情报开发与经济*, 2007, 17(10):158~160.
- [43] 谈家青, 孙希华, 李玉江. 山东半岛城市群相对资源承载力与竞争力研究. *资源开发与市场*, 2007, 23 (3):196~198.
- [44] 刘晓丽, 方创琳. 城市群资源环境承载力研究进展及展望. *地理科学进展*, 2008, 27(5):35~42.

Urbanization Process and Effects of Natural Resource and Environment in China: Research Trends and Future Directions

LI Shuancheng¹, ZHAO Zhiqiang^{1,2}, WANG Yanglin¹

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: The urbanization process in China is characterized by excessive development, significant regional difference, and obvious urban-rural dual structure, resulting in significant eco-environmental impacts on urban ecosystems. Those impacts include cultivated land loss, water scarcity, energy shortage, environmental pollutions, and increased ecological footprint in urban area, which are the main causes for retrogressive succession of ecosystem structures, processes and functions. Presently, related researches on urbanization process and corresponding eco-environmental effects focus on urban heat island, urban land use/land cover, urban hydrological effects, urban biodiversity, and urban water and soil resources, and show specific features and trends such as particular emphasis on single urbanization factor, single city case, and single scale descriptive analysis, especially those lacking of multi-scale researches on dynamical mechanisms of urban spatio-temporal development. Therefore, authors propose some perspective research issues on urban processes and their eco-environmental effects, and they can be concluded to three development directions: (1) analyzing multi-scale dynamical mechanisms of urbanization process in China and spatio-temporal patterns and characteristics; (2) explaining interactional mechanisms between physical and human process under urbanization effects; and (3) predicting future development trends and risk assessment of urbanization in China under different scenarios of the constraints imposed by natural resources and eco-environmental conditions.

Key words: urbanization process; effects of resources and eco-environment; research trends; China