

城市化对碳排放影响研究进展

秦耀辰, 荣培君, 杨群涛, 李 旭, 宁晓菊

(河南大学环境与规划学院/中原经济区“三化”协调发展河南省协同创新中心, 河南 开封 475004)

摘 要:城市化是全球发展的趋势,而城市化进程对温室气体尤其是二氧化碳排放的影响受到学术界的广泛关注。本文在全面系统梳理国内外文献及相关研究成果的基础上,从碳排放研究的起源与发展、研究内容与研究方法等方面对当前国内外研究现状进行了归纳和评述。从中看出:国内外的研究内容主要集中于城市化和碳排放的关系、城市化对碳排放影响的宏观及微观因素,以及城市化对碳排放的作用机理等方面;研究方法以定量分析为主,除基础的IPAT模型、STIRPAT模型之外,时空地理加权回归模型、指数分解、结构分解、多指标面板数据聚类分析等方法也广泛应用。总体而言,城市化进程对碳排放的影响是一个长期且复杂的过程,涉及诸多因素,目前的研究已逐渐深入、研究方法也多有创新,但仍需丰富研究视角、完善研究体系,更好地为城市化发展策略提供科学依据,为低碳城市发展奠定基础。

关 键 词:城市化;碳排放;影响因素;研究进展

doi: 10.11820/dlkxjz.2014.11.009

中图分类号:K901.8

文献标识码:A

1 引言

“温室气体已经并将继续给地球和人类带来灾难”,这一观点已经得到广泛认同(Al-mulali et al, 2013)。二氧化碳是温室气体最主要的组成部分。联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的研究结果显示,二氧化碳量约占人为气体总排放量的76.7%(IPCC, 2007)。因此,减少温室气体排放的关键在于减少二氧化碳排放,即走节能减排的低碳发展道路。而低碳发展道路是基于生产和消费的低碳,生产和消费的过程大多是在城市中完成的,因为占世界面积2%的城市却排出了世界75%的CO₂(Muneer et al, 2011)。世界观察研究所出版的《地球白皮书2007-2008:城市的未来》中指出,只有城市才是导致和解决气候变化的“钥匙”。

城市化(通常又称为城镇化、都市化)对碳排放的影响研究可以追溯到碳排放的不公平性研究。Heil等(1997)最先从各国人均GDP与碳排放的关系进行了碳排放不公平性的量化研究。之后,城乡之间碳排放的差异研究不断引起重视,学者普遍认为

城市和乡村的碳排放存在显著的区域不公平性(宋德勇等, 2011)。Brand等(2010)对英国家庭做出问卷调查并进行回归分析,提出了“60-20”定律,即碳排放总量的60%是由20%的高排放者产生的,最低端20%的消费者仅占不到1%排放量,其中高排放者主要集中在大城市。姚亮等(2011)使用综合生命周期分析法算得2007年中国城镇居民碳排放量达到碳排放总量的76.44%。在不考虑其他因素的前提下,一个农村居民转变为城镇居民能源消费量将会增加1085.26 kg标煤(张馨, 2011)。城市化发展关系全球环境的代内和代际间的公平(陆森菁等, 2013)。

然而,城市化是个世界性的现象,也是历史发展的必然趋势,深刻影响着各个国家(徐安, 2011)。据联合国人居署预测,2030年世界城市化率将达到60%,2050年将达到70%(秦耀辰等, 2013)。因此,城市化和碳排放之间是否存在必然联系,存在什么样的关系,城市化如何影响碳排放,以及低碳城市化的策略等问题日益受到学术界关注。总览国内外文献发现,国外20世纪90年代开始有学者关注城市化与碳排放关系问题,但比较零星,2005年以

收稿日期:2014-08;修订日期:2014-10。

基金项目:国家自然科学基金项目(41171438, 41371525);河南省教育厅人文社科基地项目(2012-JD-013)。

作者简介:秦耀辰(1959-),男,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事区域可持续发展理论、模型与信息系统研究,

E-mail: qinyu@henu.edu.cn。

后才逐渐增多,近几年达到高峰。而中国关于城市化与碳排放关系或对碳排放影响的量化研究基本在 2010 年以后,起步较晚,但关注程度较高。虽然近些年关于城市化对碳排放影响的研究大量增加,但是在一定程度上还缺乏系统性和严谨性。本文在研读大量国内外文献的基础上,归纳整理相关的研究内容和方法,分析其现状和发展趋势,以期为城市化过程中的节能减排提供借鉴。

2 研究内容

2.1 城市化和碳排放的关系

城市化和碳排放关系研究是研究城市化对碳排放影响的基础性工作。国外从 20 世纪 90 年代就有学者关注此方面的研究,采用的方法也多种多样,如普通最小二乘法、固定效应模型、时间序列回归模型等。2003 年诺贝尔经济学奖得主克莱夫·格兰杰(Clive W. J. Granger)开创了用于分析经济变量之间因果关系的 Granger 因果检验方法,只要各指标经过单位根检验能证明时间序列平稳就可使用此方法。2010 年以后,此方法被逐渐应用到碳排放研

究中,并获得众多学者的青睐。城市化和碳排放的因果关系研究以实证研究为主,如表 1 所示。其中有的学者以国家发达程度划分,研究发达国家或发展中国家;有的以区域划分,研究亚洲、非洲、欧盟等地区;有的以单个国家为研究对象,如中国、突尼斯等。其研究结果也因地区不同或方法不同存在一定的差异,但基本都能证明城市化和碳排放之间存在一定的相关关系或因果关系。针对中国的研究结果表明:城市化水平对碳排放量的弹性系数为 1.6~1.8,即城市化水平每增长 1%,碳排放量将相应地增长 1.6%~1.8%(关海玲等, 2013; 周葵等, 2013)。

从大量实证研究可以看出,关于城市化对碳排放的影响结果主要有 3 种观点:一是城市化进程有利于降低碳排放强度,因为随着人口密度的增加,公共物品的使用出现规模效应,加之技术的不断进步,其单位 GDP 所消耗能源和碳排放量会有所减少(吴殿廷等, 2011);二是城市化进程会增加碳排放,因为城市化过程中大规模人口和经济活动聚集,引起能源消费和碳排放量的增加(Jones, 1989; Parikh et al, 1995; York, 2007a, 2007b; 周葵等, 2013),至于某一地区城市化发展究竟给碳排放带来影响的方

表 1 城市化与碳排放因果关系实证研究
Tab. 1 Empirical study of the causal relationship between urbanization and carbon emissions

典型案例	研究区域/数据年代	方法	因果关系
Jones, 1989	59 个发达国家/1980	OLS(普通最小二乘法)	城市化对能源消耗和碳排放呈正向影响
Parikh et al, 1995	78 个发达和发达国家/ 1965-1987	FE(固定效应模型) OLS(普通最小二乘法)	城市化对人均能源消耗和碳排放呈正向影响
York, 2007a	14 个欧盟国家/1960-2000	Prais-Winsten regression(时间序列线性 回归模型)	城市化对碳排放成呈正向影响
York, 2007b	14 个亚洲国家/1971-2002	Prais-Winsten regression(时间序列线性 回归模型)	城市化与碳排放存在显著的正相关关系
Gam et al, 2012	突尼斯(非洲)/1976-2006	协整分析、误差修正、Granger 因果检验	城市化与碳排放存在双向正影响关系
Al-mulali et al, 2013	中东和北非地区/1980-2009	OLS(普通最小二乘法)、Granger 因果 检验	城市化和碳排放有显著的双向正相关关系
杨子晖, 2010	多个发展中国家/1979-2009	Granger 因果检验	工业化和城市化程度对碳排放量存在正向影响
Dong et al, 2011	中国/1979-2009	SVAR model(向量自回归模型)	城市化水平对 CO ₂ 排放改变的贡献率大约为 18%
周葵等, 2013	中国各省/1978-2009	协整分析;Granger 因果检验	城市化率与碳排放量呈正相关关系,碳排放 量受城市化率水平累积的影响
谢守红等, 2013	中国各省/1985-2009	相关分析、协整检验、Granger 因果分 析、误差修正模型	城市化水平与碳排放存在显著正相关关系
姬世东等, 2013	中国 32 个城市/1999-2011	面板协整模型	城市化水平对 CO ₂ 排放的影响不显著
赵红等, 2013	中国各省/1978-2010	协整模型、Granger 因果检验	城市化与碳排放仅存在单向影响机制,二者 相互影响均呈一定滞后特征
吴殿廷等, 2011	世界 112 个独立经济体/2009	多元线性回归分析,主成分分析	单位 GDP 的碳排放强度随着城市化率的提 高而降低

向则要综合分析正负两方面影响;三是城市化水平对碳排放的影响不显著(姬世东等, 2013)。

2.2 城市化对碳排放的影响机制

城市化对碳排放的影响是一个复杂的问题,涉及到很多层面,但总体来说,城市化通过影响经济增长、居民消费升级、产业结构转换进而影响碳排放(Zha et al, 2010)。而经济增长是由城市化过程中的投资增长、技术进步和人力资本积累等因素造成;居民消费升级是通过城市化过程中影响社会消费心理、改变消费结构内容、第三产业运作模式变革等因素造成的;产业结构转换是由城市化过程中生产资源从附加值低的产业向附加值高的产业转移和劳动人口的转移造成的(徐安, 2011)。

2.2.1 宏观视角

城市化对碳排放的影响研究所涉及的宏观因素主要有以下两方面:

(1) 城市化发展的阶段和水平。城市化进程导致生产生活方式和土地利用类型发生变化,进而影响碳排放的变化(孙昌龙等, 2013)。孙昌龙等(2013)使用STIRPAT模型评估了不同城市化阶段各因子对碳排放的影响,认为在城市化发展的初级阶段,城市化水平的提高对碳排放的贡献比较小;城市化的中期阶段,城市化水平的提高对碳排放的贡献有所增加;城市化的后期,城市化水平的提高对碳排放的影响有所下降。Madlener等(2011)认为城市化对能源消耗和碳排放的影响取决于各个经济部门的城市化水平及国家的发展水平。1950-1996年,中国城市化飞速发展,其碳排放总量增加了37倍,而同期美国只增加了1倍多,西欧大部分国家仅略有增加(Siddiqi, 2000)。Hossain(2011)研究表明:对于新兴的工业化国家,城市化对碳排放有显著的正向影响。Dong等(2011)以中国为研究对象,发现城市化水平对CO₂排放改变的贡献率大约为18%,且城市化进程对温室气体的排放呈倒U型影响。需要指出的是,城市化水平大多以城市化率(城镇化率)来衡量,而国际上对城市化率的计算大多是依据城市人口占总人口的比重,世界银行公布的各国城市化数据也基于此。但是城市人口的确定和每个国家城乡划分的标准有关,因此不同国家的研究用于横向比较会出现一定的偏差。甚至同一个国家统计口径也并非一致,如中国2008年以后的官方数据是将在城市居住半年以上的常住人口作为城市人口。但因城市化是一个复杂的现象,学者在

研究城市化率时会采用城镇人口指标法、非农业人口指标法、土地利用指标法和复合指标法等,因此研究结果的可比性值得斟酌。

(2) 区域差异。不同地区的城市化进程存在空间异质性、相关性和外溢性,因此对碳排放影响的方向和大小也存在差异。Al-mulali等(2012)通过研究东亚和太平洋、东欧和中亚、拉丁美洲和加勒比地区、中东和北非、南亚、撒哈拉以南非洲和西欧7个不同地区1980-2008年期间的城市化与碳排放间的关系,结果表明:16%的低收入国家城市化对碳排放有消极影响,而中等收入和高收入国家则相反,与Poumanyvong等(2011)的研究结果一致。Zhang等(2012)提出中国中部地区城市化对CO₂排放的影响大于东部地区。肖宏伟等(2014)利用时空地理加权回归模型对中国各省市的研究结果显示,对于上海、江苏、浙江、北京、天津等城镇化率较高且以发展第三产业为主的东部地区,其城镇化发展对碳排放增长有抑制作用,而湖北、湖南、陕西、内蒙古、黑龙江、江西等以工业为主导产业中西部地区,其城镇化水平的提高会对碳排放增加起到促进作用。王桂新等(2012)研究发现提高居住密度和降低通勤时间与通勤距离能够降低碳排放强度,因此,通过城市空间结构优化能够降低城市碳排放,并有利于建设低碳城市。

2.2.2 微观视角

城市化对碳排放的影响因素主要有以下几方面:一是人口因素,包括人口规模和人口密度。人口城市化是城市化最典型的特征,Zha等(2010)认为人口的增加无论对于城市还是对于农村都会导致CO₂排放的增加。然而有学者的实证研究证明人口城镇化水平与碳排放强度呈倒U型关系,在人口城镇化初期会促进碳排强度的增加,随着城镇化快速推进则会抑制碳排强度(Li et al, 2013; Shafiei et al, 2014);二是经济水平,主要体现在GDP或人均GDP方面。Dong(2011)认为温室气体的增长率因GDP的增长每年约增长1.53%。而Aunan等(2014)认为当国家的人均GDP和服务业在GDP比重足够高时,城市化进程是对保护环境有利的;三是技术因素。技术进步是促进能源使用效率提高和能源强度下降的主要原因(Stern, 2008)。但是技术因素如何考量,有学者使用能源使用效率(Inmaculada, 2011; Chikaraishi et al, 2014),有学者使用能源强度(徐安, 2011),但其研究结论基本一致,即:在能源强

度最高地区,城市化对碳排放影响最小,而在能源强度中等地区,城市化对碳排放影响最大;四是产业结构。从城市起源开始,产业结构就承担着重要角色。城市化的过程也是产业结构转型的过程,其对第二产业的发展与提升和第三产业的带动作用都非常明显,同时产业结构的优化升级也不断促进城市化的发展。Chikaraishi等(2014)提出,当服务业在国民生产总值中占得比重足够高时,城市化发展更利于环境友好型社会的建立。Lin等(2014)指出,中国在城市化进程中碳排放明显增加是因为工业化的发展和大量基础设施的建设需要消耗大量的化石能源。而中国高投入、高消耗、高排放、低效率、难循环的粗放式产业发展方式对环境影响更为显著(Zhang et al, 2010)。

3 研究方法

3.1 数据来源及处理方法

目前国内外研究碳排放的数据主要是从以下几个渠道获得:一是国际能源总署 IEA(International Energy Agency)发布的数据,但是该渠道只能提供 20 世纪 90 年代后期以来的数据;二是二氧化碳信息分析中心 CDIAC(Carbon Dioxide Information Analysis Center)所提供的年度数据;三是美国能源情报署 EIA(Energy Information Administration)所提供的年度数据;四是根据联合国政府间气候变化专门委员会 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)的指导目录计算而得。国内的相关的数据统计工作起步较晚,没有关于碳排放的直接官方数据,学者一般通过国家及各地区的统计年鉴、中国能源统计年鉴的等资料计算而得。具体计算方法主要有以下几种:一是一次能源(煤炭、石油、天然气)的消费量乘以各自的碳排放系数后加总;二是各省市 9 种能源消费量乘以各自碳排放系数加总得到该省市的碳排放;三是依据中国能源平衡表中的终端能源消费量计算城镇、交通等的碳排放,其碳排放系数大多采用 IPCC《国家温室气体排放清单指南》中的数据,也有部分学者使用国家发展和改革委员会能源研究所等提供的数据。

3.2 主要研究方法分析

城市化对碳排放的影响研究使用定性方法的较少,一般通过观察法和文献搜集进行归纳演绎,比较城市化进程中各国所采取的碳减排政策特点及启示;或通过原始资料的趋势对比分析人口、

GDP 等与能源消耗和碳排放的关系。而定量的研究则方法多样,且已成为主流,如:Ehrlich等(1971)提出建立的“IPAT”环境污染模型、Dietz等(1994)在 IPAT 模型基础上建立并得到广泛应用的 STIRPAT 模型、Huang等(2010)提出的时空地理加权回归模型、指数分解分析、结构分解分析、协整分析、多指标面板聚类分析等,如表 2 所示。各种方法有其自身的优缺点和使用的条件,多种方法从不同侧重点共同探讨城市化对碳排放的影响,所得结论有的起到相互验证的作用,有的起到补充的作用,也有的会出现结论不一致的现象,这与研究选取的样本特征、研究对数据的处理方法、方法本身对误差的处理、所选变量或指标的差异有关。但目前已经有一些学者同时选用多种方法进行研究并验证自己的结论,使得研究结果更加精确和有说服力,也是未来研究的趋势所在。

4 评述及展望

总结以往的研究内容和方法,可以看出关于城市化对碳排放影响的研究越来越受到学术界的关注和重视,研究的视角在不断丰富,方法更加科学多样。但是从已有的文献来看,研究还存在着一定的局限性。

从研究的内容来看,存在以下问题:①城市化对碳排放作用机理的探讨不够深入。究竟城市化是通过什么途径影响碳排放,人类活动、城市化和碳排放之间究竟是怎样的关系,需要进一步的理论和模型研究。②目前学者们关注的区域视角主要是国际层面、国家层面和地区层面,省级和地市级层面的专门研究相对缺乏。而每一个城市是社会经济发展的基本单元,其人口结构、产业结构、经济水平、城市化水平等均存在差异,想要真正实现低碳城市的发展战略,针对每个城市的研究必不可少。

从研究的方法来看,尚有以下不足:①数据的统计口径不统一。国际上对城镇化率、城市化水平等概念没有达成共识,城乡的划分标准也不一致,其统计方法也随着统计部门政策的改变而变化,不仅国际上难以横向比较,单个国家内部时间上纵向分析的准确性也受到影响。②碳排放的计算方法存在差异。各个国家对碳排放的相关统计采用的指标不同,学者们在研究时所采用的碳排放系数也不相同,其中在较为公认的 IPCC《国家温室气体排

表2 城市化对碳排放影响的主要研究方法

Tab. 2 Main methods of research for the impact of urbanization on carbon emissions

方法	简述	优点	缺点	典型案例
IPAT(环境压力等式)	定量反映人类活动对环境的影响,即 $I=P\times A\times T$, I 为环境压力; P 为人口规模; A 为富裕程度; T 为技术	建立了人文因素与环境影响之间的账户恒等式,在对碳排放的影响定量研究中应用广泛	只能改变1个变量,而其他因素保持不变;结果只能是对因变量等比例分析	Ehrlich et al, 1971; Dietz et al, 1994; Dietz et al, 1997
STIRPAT 模型(IPAT 随机模式)	可拓展的随机性的环境影响评估模型(通过对人口、资产、技术3个自变量和因变量之间的关系进行评估)	指数的引入使之可用于分析人文因素对环境的非比例影响,加入了随机性	模型增加的变量需要与指定的乘法形式具有概念上的一致性	Dietz et al, 1994; Cole et al, 2004; Martínez-Zarzoso et al, 2011; 杨晓军等, 2013
GTWR(时空地理加权回归模型)	扩展传统地理加权回归模型GWR,假定线性回归系数是地理位置和观测时刻的任意函数,纳入时空特性	可分析回归关系的时空特性,也可解决回归模型的时空非平稳性	权函数的选择要遵循一定规律	Bishop et al, 2011; 肖宏伟等, 2014
IDA(指数分解分析, LM-DI 较常用)	是把目标变量(如CO ₂ 排放量)的变化分解成若干影响因素的变化,进而评估出各影响因素对目标变量变动的贡献程度	常用的LMDI方法有效的解决了分解中的剩余问题,避免了参数估计的主观性和随意性	对各部门的最终需求等分解较为粗糙;有的影响因素难以纳入模型	Torvanger, 1991; Ang et al, 1998; 汪东等, 2012; 朱勤等, 2013
SDA(结构分解分析)	以消耗系数矩阵为基础,利用投入产出表的比较静态方法,对各影响因素等进行细致分析	使方程式和变量的数目大大减少,解决实际计算的困难。可考察变量变动对其他部门造成的间接影响	要求有严格的投入产出数据	Cortés- Borda et al, 2014; Mc Gregor et al, 2008; 王会等, 2011; 汪臻, 2012
协整分析方法	分析非平稳经济变量间数量关系,通过线性误差修正模型(ECM)刻画经济变量之间的线性调整机制	时间序列无需平整,排除单位根带来的随机性趋势,修正误差	对部分协整或协整势低的情况效果不理想	Gam et al, 2012; 孙欣等, 2014
多指标面板数据聚类分析	对各指标进行时间降维,取各指标的年度平均增长率进行聚类分析,说明面板数据的时序和截面特征	分类时,能充分考虑指标在时间和截面两个维度上的特征,且能一次容纳多个指标	数据结构较为复杂	Zhang et al, 2012; Liddle et al, 2014; 涂正革等, 2012
EBA(极值边界分析)	对回归系数进行灵敏性分析,检验目标变量回归系数的“稳健性”,解释抗干扰的“稳健性”的显著关系的多元线性回归模型	结果不是1个统计量,而是1个统计分布,超越传统回归结果的显著性和渐进一致性	需要进行多次回归检验	Sturm et al, 2005; 王立平等, 2014

放清单指南》中,不包含电力和热力的系数,并且其计算方法仅从生产角度出发,因此,有学者考虑到省际间的能源输入输出,探索从终端需求角度进行计算。但不同的计算方法会造成研究结果的差异性,缺乏可比性。③在具体进行城市化对碳排放的影响因素研究时,一些因素难以纳入定量分析之中,因此,学者们只能从现有的统计数据中寻找那些能表征这些因素的指标,如技术因素、资本效率、所有制的影响等。④城市化本身是一个复杂的问题,涉及人口的流动、资金的转移、产业结构的转型升级、技术的进步、人们生活生产方式的改变等等,而碳排放同样是一个综合复杂的系统工程,它涉及工业生产耗能、交通耗能、日常生活耗能、废弃物处理和非能源消费等多个环节,是不同因素相互作用

的结果。而目前学者们采取的分析方法只能局限于有限的若干变量,一旦变量个数过多,其结果的稳定性和解释力就会受样本的限制。因此还需要用系统的思维进一步探索更为系统的研究方法。

中国正处于城市化发展快速发育时期,根据中国社科院发布的《2013年中小城市绿皮书》预测,到2020年,中国的城镇人口将达到8.37亿,城市化率将达到60.34%。人口的聚集、工业化的推进、大量基础设施的建设等因素诱发了中国城市化和碳排放之间的矛盾。虽然一些研究也证实城市化与碳排放之间可能存在倒U型关系,但前提是要到达城市化的高级阶段,技术足够进步,第三产业在国民生产总值中要达到较高的比重,而中国的大多数城市还无法达到这些条件。因此,借鉴现有的研究经验,可从

以下方面进行应对:①加强对制定提高城市化水平的政策研究。发达国家的城市化主要由经济发展、产业发展、人口集聚推动,而中国城市化的典型特征是政府主导、大范围规划,容易造成同质化竞争和粗放式的土地利用模式。2011年中国统计的土地城市化率比人口城市化率要高出16.57个百分点。而城市化的最重要作用是发挥规模经济效益,提高要素集聚效率,因此,如何科学合理地制定提高城市化水平的政策的研究还需加强。②重视碳排放数据平台建设,尽早完善统计指标并使之与国际接轨,重视数据标准化处理方法的研究,增强其研究结果的科学性和可对比性。③尽管中国学者涉足城市化对碳排放影响研究领域较晚,但运用新方法的能力较强。今后在深化研究的同时,要注重方法上的多样化、创新化,指标选取上应避免随意性、粗糙性,视角上应把碳排放对城市化的反作用机理研究纳入其中。④城市化对碳排放的影响不仅是环境问题,而且是一个复杂的社会问题,所以该项研究需要人口学、社会学、经济学、地理学等诸多领域学者共同合作展开研究,但目前的研究尚处于各自为政的局面,各种背景的学者研究的侧重点不同,导致缺乏系统性。⑤研究的空间尺度不仅限于全球、国家、中东西部地区,也应将各省区、市作为研究对象,这样可以根据地区的具体情况,有针对性地制定政策,促进当地产业结构和居民能源消费结构向更节能环保的方向发展,最终减少城市化对碳排放的负面影响。

参考文献(References)

关海玲, 陈建成, 曹文, 等. 2013. 碳排放与城市化关系的实证. 中国人口·资源与环境, 23(4): 111-116. [Guan H L, Chen J C, Cao W, et al. 2013. Empirical research on relationship between carbon emissions and urbanization. China Population, Resources and Environment, 23(4): 111-116.]

姬世东, 吴昊, 王铮. 2013. 贸易开放、城市化发展和二氧化碳排放: 基于中国城市面板数据的边限协整检验分析. 经济问题, (12): 31-35. [Ji S D, Wu H, Wang Z. 2013. Openness to trade, urbanization and carbon dioxide emissions: based on panel data of China's urban bound co-integration analysis. On Economic Problems, (12): 31-35.]

陆森菁, 陈红敏. 2013. 碳排放不公平性研究综述. 资源科学, 35(8): 1617-1624. [Lu M J, Chen H M. 2013. Review on the inequality of carbon emissions. Resources Science, 35(8): 1617-1624.]

秦耀辰等. 2013. 低碳城市研究的模型与方法. 北京: 科学出版社. [Qin Y C, et al. 2013. Studies on low-carbon city: models and methods. Beijing, China: Science Press.]

宋德勇, 徐安. 2011. 中国城镇碳排放的区域差异和影响因素. 中国人口·资源与环境, 21(11): 8-14. [Song D Y, Xu A. 2011. Regional difference and influential factors of China's urban carbon emissions. China Population, Resources and Environment, 21(11): 8-14.]

孙昌龙, 靳诺, 张小雷, 等. 2013. 城市化不同演化阶段对碳排放的影响差异. 地理科学, 33(3): 266-272. [Sun C L, Jin N, Zhang X L, et al. 2013. The impact of urbanization on the CO₂ emission in the various development stages. Scientia Geographica Sinica, 33(3): 266-272.]

孙欣, 张可蒙. 2014. 中国碳排放强度影响因素实证分析. 统计研究, 31(2): 61-67. [Sun X, Zhang K M. 2014. The empirical analysis on influence factors of carbon emission intensity in China. Statistical Research, 31(2): 61-67.]

涂正革, 谌仁俊. 2012. 中国碳排放区域划分与减排路径: 基于多指标面板数据的聚类分析. 中国地质大学学报: 社会科学版, 12(6): 7-13. [Tu Z G, Shen R J. 2012. Analysis on China's carbon emission division and reduction path-based on multivariate panel data clustering analysis method. Journal of China University of Geosciences: Social Sciences Edition, 12(6): 7-13.]

汪东, 汲奕君, 田丽丽, 等. 2012. 中国居民生活能源消费CO₂排放的影响因素研究. 环境污染与防治, 34(4): 101-105. [Wang D, Ji Y J, Tian L L, et al. 2012. Zhongguo jumin shenghuo nengyuan xiaofei CO₂ paifang de yingxiang yinsu yanjiu. Environmental Pollution and Control, 34(4): 101-105.]

汪臻. 2012. 中国居民消费碳排放的测算及影响因素研究[D]. 安徽: 中国科学技术大学. [Wang Z. 2012. Study on calculation and impact factors of carbon emissions from residents' consumption[D]. Anhui, China: University of Science and Technology of China.]

王桂新, 武俊奎. 2012. 城市规模与空间结构对碳排放的影响. 城市发展研究, 19(3): 89-95. [Wang G X, Wu J K. 2012. Study on the impact of urban scale and spatial structure on CO₂ emission. Urban Studies, 19(3): 89-95.]

王会, 王奇. 2011. 中国城镇化与环境污染排放: 基于投入产出的分析. 中国人口科学, (5): 57-66. [Wang H, Wang Q. 2011. The pollution emission and urbanization in China: based on the input-output analysis. China Population Science, (5): 57-66.]

王立平, 张海波, 刘云. 2014. 基于EBA模型的中国碳排放稳健性影响因素研究. 地理科学, 34(1): 47-53. [Wang L P, Zhang H B, Liu Y. 2014. An empirical analysis of factors of carbon emissions in China based on EBA model. Scientia Geographica Sinica, 34(1): 47-53.]

- 吴殿廷, 吴昊, 姜晔. 2011. 碳排放强度及其变化: 基于截面数据定量分析的初步推断. 地理研究, 30(4): 579-589. [Wu D T, Wu H, Jiang Y. 2011. A research on influencing factors of carbon emission intensity. Geographical Research, 30(4): 579-589.]
- 肖宏伟, 易丹辉. 2014. 基于时空地理加权回归模型的中国碳排放驱动因素实证研究. 统计与信息论坛, 29(2): 83-89. [Xiao H W, Yi D H. 2014. Empirical study of carbon emissions drivers based on geographically time weighted regression model. Statistics and Information Forum, 29(2): 83-89.]
- 谢守红, 徐西原. 2013. 中国城市化与碳排放关系的动态计量分析. 人口与发展, 19(2): 26-32. [Xie S R, Xu X Y. 2013. The empirical analysis of the relationship between China's urbanization and the carbon emissions. Population and Development, 19(2): 26-32.]
- 徐安. 2011. 我国城市化与能源消费和碳排放的关系研究[D]. 武汉: 华中科技大学. [Xu A. 2011. Study of the relation of urbanization and energy consumption and carbon emissions in China[D]. Wuhan, China: Huazhong University of Science and Technology.]
- 杨晓军, 陈浩. 2013. 中国城镇化对二氧化碳排放的影响效应: 基于省级面板数据的经验分析. 中国地质大学学报: 社会科学版, 13(1): 32-37. [Yang X J, Chen H. 2013. Effects of urbanization on carbon dioxide emissions in China: empirical analysis based on provincial panel data. Journal of China University of Geosciences: Social Sciences Edition, 13(1): 32-37.]
- 杨子晖. 2010. "经济增长"与"二氧化碳排放"关系的非线性研究: 基于发展中国家的非线性Granger因果检验. 世界经济, (10): 139-160. [Yang Z H. 2010. "Jingji zengzhang" yu "eryanghuatan paifang" guanxi de feixianxing yanjiu: jiyu fazhanzhong guojia de feixianxing Granger yinguojianyan. World Economic, (10): 139-160.]
- 姚亮, 刘晶茹, 王如松. 2011. 中国城乡居民消费隐含的碳排放对比分析. 中国人口·资源与环境, 21(4): 25-29. [Yao L, Liu J R, Wang R S. 2011. Comparison and analysis of carbon emissions embodied in household consumption between urban and rural area of China. China Population, Resources and Environment, 21(4): 25-29.]
- 张馨, 牛叔文, 赵春升, 等. 2011. 中国城市化进程中的居民家庭能源消费及碳排放研究. 中国软科学, (9): 65-75. [Zhang X, Niu S W, Zhao C S, et al. 2011. The study on household energy consumption and carbon emissions in China's urbanization. China Soft Science, (9): 65-75.]
- 赵红, 陈雨蒙. 2013. 我国城市化进程与减少碳排放的关系研究. 中国软科学, (3): 184-192. [Zhao H, Chen Y M. 2013. Research on relationship between urbanization process and carbon emission reduction in China. China Soft Science, (3): 184-192.]
- 周葵, 戴小文. 2013. 中国城市化进程与碳排放量关系的实证研究. 中国人口·资源与环境, 23(4): 41-48. [Zhou K, Dai X W. 2013. An empirical study on the relationship between urbanization and carbon emissions in China. China Population, Resources and Environment, 23(4): 41-48.]
- 朱勤, 魏涛远. 2013. 居民消费视角下人口城镇化对碳排放的影响. 中国人口·资源与环境, 23(11): 21-29. [Zhu Q, Wei T Y. 2013. Impact of urbanization on carbon emissions from perspective of residential consumption. China Population, Resources and Environment, 23(11): 21-29.]
- Al-mulali U, Binti Che Sab C N, Fereidouni H G. 2012. Exploring the bi-directional long run relationship between urbanization, energy consumption, and carbon dioxide emission. Energy, 46(1): 156-167.
- Al-mulalia U, Fereidounia H G, Lee J Y M, et al. 2013. Exploring the relationship between urbanization, energy consumption and CO₂ emission in MENA countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23: 107-112.
- Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. 1998. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. Energy, 23(6): 489-495.
- Aunan K, Wang S X. 2014. Internal migration and urbanization in China: impacts on population exposure to household air pollution (2000-2010). Science of the Total Environment, 481: 186-195.
- Bishop G A, Schuchmann B G, Stedman D H, et al. 2011. Emission changes resulting from the San Pedro Bay, California ports truck retirement program. Environmental Science and Technology, 46(1): 551-558.
- Brand C, Preston J M. 2010. "60-20 emission": the unequal distribution of greenhouse gas emissions from personal, non-business travel in the UK. Transport Policy, 17(1): 9-19.
- Chikaraishi M, Fujiwara A, Kaneko S, et al. 2014. The moderating effects of urbanization on carbon dioxide emissions: a latentclass modeling approach. Technological Forecasting and Social Change: doi: 10.1016/j.techfore.2013.12.025
- Cole M A, Neumayer E. 2004. Examining the impact of demographic factors on air pollution. Population and Environment, 26(1): 5-21.
- Cortés- Borda D, Ruiz- Hernández A, Guillén- Gosálbez G. 2014. GHG emissions minimization at the macroeconomic level via a multi- objective optimization/input- output approach: a case study of the EU-25 economy. Computer Aided Chemical Engineering, 33: 1069-1074.
- Dietz T, Rosa E A. 1994. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. Human

- Ecology Review, 1(2): 277-300.
- Dietz T, Rosa E A. 1997. Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(1): 175-179.
- Dong X Y, Yuan G Q. 2011. China's greenhouse gas emissions' dynamic effects in the process of its urbanization: a perspective from shocks decomposition under long-term constraints. *Energy Procedia*, 5: 1660-1665.
- Ehrlich P R, Holdren J P. 1971. Impact of population growth. *Science*, 171: 1212-1217.
- Gam I, Ben R J. 2012. Electricity demand in Tunisia. *Energy Policy*, 45: 714-720.
- Heil M T, Wodon Q T. 1997. Inequality in CO₂ emissions between poor and rich countries. *The Journal of Environment and Development*, 6(4): 426-452.
- Hossain M S. 2011. Panel estimation for CO₂ emissions, energy consumption, economic growth, trade openness and urbanization of newly industrialized countries. *Energy Policy*, 39(11): 6991-6999.
- Huang B, Wu B, Barry M. 2010. Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices. *International Journal of Geographical Information Science*, (3): 383-401.
- Inmaculada M Z, Antonello M. 2011. The impact of urbanization on CO₂ emissions: evidence from developing countries. *Ecological Economics*, 70(7): 1344-1353.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007: the fourth assessment report of the inter-governmental panel on climate change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press: 103-146.
- Jones D W. 1989. Urbanization and energy use in economic development. *The Energy Journal*, 10(4): 29-44.
- Li C, Kuang Y Q, Huang N S, et al. 2013. The long-term relationship between population growth and vegetation cover: an empirical analysis based on the panel data of 21 cities in Guangdong Province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(2): 660-677.
- Liddle B, Lung S. 2014. Might electricity consumption cause urbanization instead? evidence from heterogeneous panel long-run causality tests. *Global Environmental Change*, 24: 42-51.
- Lin B Q, Ouyang X L. 2014. Energy demand in China: comparison of characteristics between the US and China in rapid urbanization stage. *Energy Conversion and Management*, 79: 128-139.
- Madlener R, Sunak Y. 2011. Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: what can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustainable Cities and Society*, 1(1): 45-53.
- Martínez-Zarzoso I, Maruotti A. 2011. The impact of urbanization on CO₂ emissions: evidence from developing countries. *Ecological Economics*, 70(7): 1344-1353.
- McGregor P G, Swales J K, Turner K. 2008. The CO₂ "trade balance" between Scotland and the rest of the UK: performing a multi-region environmental input-output analysis with limited data. *Ecological Economics*, 66(4): 662-673.
- Muneer T, Celik A N, Caliskan N. 2011. Sustainable transport solution for a medium-sized town in Turkey: a case study. *Sustainable Cities and Society*, 1(1): 29-37.
- Parikh J, Shukla V. 1995. Urbanization, energy use and greenhouse effects in economic development: results from a cross-national study of developing countries. *Global Environmental Change*, 5(2): 87-103.
- Poumanyong P, Kaneko S. 2011. Does urbanization lead to less energy use and lower CO₂ emissions? a cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2): 434-444.
- Shafiei S, Salim R A. 2014. Non-renewable and renewable energy consumption and CO₂ emissions in OECD countries: a comparative analysis. *Energy Policy*, 66: 547-556.
- Siddiqi T A. 2000. The Asia financial crisis: is it good for the global environment? *Global Environmental Change*, 10(1): 1-7.
- Stern H. 2008. The accuracy of weather forecasts for Melbourne, Australia. *Meteorological Applications*, 15(1): 65-71.
- Sturm J E, De Haan J. 2005. Determinants of long-term growth: new results applying robust estimation and extreme bounds analysis. *Empirical Economics*, 30(3): 597-617.
- Torvanger A. 1991. Manufacturing sector carbon dioxide emissions in nine OECD countries, 1973-1987: a division index decomposition to changes in fuel mix, emission coefficients, industry structure, energy intensities and international structure. *Energy Economics*, 13(3): 168-186.
- York R. 2007a. Demographic trends and energy consumption in European Union Nations, 1960-2025. *Social Science Research*, 36(3): 855-872.
- York R. 2007b. Structural influence on energy production in South and East Asia, 1971-2002. *Sociological Forum*, 22(4): 532-554.
- Zha D L, Zhou D Q, Zhou P. 2010. Driving forces of residential CO₂ emissions in urban and rural China: an index decomposition analysis. *Energy Policy*, 38(7): 3378-3383.
- Zhang C G, Yan L. 2012. Panel estimation for urbanization, energy consumption and CO₂ emissions: a regional analysis in China. *Energy Policy*, 49: 488-498.
- Zhang J F, Deng W. 2010. Industrial structure change and its eco-environmental influence since the establishment of municipality in Chongqing, China. *Energy Policy*, 2: 517-526.

Research progress of impact of urbanization on carbon emissions

QIN Yaochen, RONG Peijun, YANG Quntao, LI Xu, NING Xiaoju

(College of Environment and Planning/Henan Collaborative Innovation Center for Coordinating Industrialization,
Urbanization and Agriculture Modernization in Central Economic Zone, Henan University, Kaifeng 475004,
Henan, China)

Abstract: Urbanization is not only a worldwide phenomenon, but also the trend of historical development. As the impact of global climate change on people and the environment grows increasingly profound, the impact of urbanization on greenhouse gas emissions, especially carbon dioxide emissions has received growing academic attention. This article examines a large number of international and Chinese literature on the impact of urbanization on carbon emissions and systematically summarizes and reviews these studies from the following three aspects: the origin and development of research on the impact of urbanization on carbon emissions, research contents, and research methods. The review shows that, current studies focus on the relationship between urbanization and carbon emissions; influencing factors of urbanization on carbon emissions, which include macro- and micro-level factors, and the impact mechanism of urbanization on carbon emissions. The main research methods are quantitative. Various methods, such as IPAT, STIRPAT, GTWR, IDA, SDA, EBA, have been applied. Although Chinese research on the topic lags behind international studies, rapid progress has been made over recent year. Overall, the impact of urbanization on carbon emissions is a long and complex process, which involves population density, technological progress, industrial structure, level of economic development, and stage and level of urbanization in various countries and regions, as well as many other factors. Although the content of the current research is becoming more detailed and the issues have been addressed more thoroughly, and the research methods have become more scientific and diverse, the study on this problem still needs to be improved. For example, research perspectives should be broadened and research methods should be refined in order to provide a scientific basis for urban development strategies and lay the foundation for the development of low-carbon cities.

Key words: urbanization; carbon emission; influencing factor; research progress