

城市蔓延对环境污染的影响研究

——基于35个大中城市的门槛模型分析

周 慧

重庆大学公共管理学院, 重庆
Email: cqzhouhui2019@126.com

收稿日期: 2020年10月1日; 录用日期: 2020年10月22日; 发布日期: 2020年10月29日

摘 要

随着城镇化的不断推进, 以城市规模扩大和人口扩张为特征的城市蔓延带来了诸多无法回避的问题, 环境污染就是其中之一。文章基于2009~2017年中国35个大中城市面板数据, 采用门槛模型研究了城市蔓延影响城市环境污染的效应及其内在机理。研究表明, 城市蔓延对环境污染的影响显著为正, 城市空间低密度的快速扩张加剧了城市环境污染, 并通过交通污染增加、城市生态系统自净能力减弱和城市工业化加深进行传导。本文对探讨城市经济和生态环境的协同发展路径具有一定理论与现实意义。

关键词

城市蔓延, 环境污染, 门槛模型, 城市环境

Research on the Impact of Urban Sprawl on Environmental Pollution

—Based on the Threshold Model Analysis of 35 Large and Medium Cities

Hui Zhou

School of Public Administration, Chongqing University, Chongqing
Email: cqzhouhui2019@126.com

Received: Oct. 1st, 2020; accepted: Oct. 22nd, 2020; published: Oct. 29th, 2020

Abstract

With the continuous advancement of urbanization, urban sprawl characterized by urban scale expansion and population expansion has brought many unavoidable problems, and environmen-

tal pollution is one of them. Based on the panel data of 35 large and medium-sized cities in China from 2009 to 2017, this article uses a threshold model to study the effect of urban sprawl on environmental pollution and its internal mechanism. The research results show that the impact of urban sprawl on environmental pollution is significantly positive. The rapid expansion of urban low-density space has aggravated urban environmental pollution, which is transmitted through increased traffic pollution, weakened urban ecological system self-purification capabilities, and deepened urban industrialization. This article has certain theoretical and practical significance for exploring the coordinated development path of urban economy and ecological environment.

Keywords

Urban Sprawl, Environmental Pollution, Threshold Model, Urban Environment

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言和文献综述

经济增长伴随资源消耗和污染增加，而城市化的推进、城市的扩张和蔓延也对环境污染具有相当重要的影响。城市的蔓延和发展一直以来广受学者们关注。城市蔓延是“城镇化进程中城市无序扩张与蔓延的现象，使原本主要集中在城市核心区的活动扩展到城市外围区，城市形态总体呈现出分散、低密度和区域功能单一的特征”[1]。城镇化加快推进、城市的扩张蔓延有助于经济增长和提高居民生活质量，但过程中造成的环境污染问题也成为亟待解决的难题。随着中国经济增长进入新常态，生态文明建设被摆在尤为突出的位置，环境水平成为衡量发展质量的重要标准。已有研究发现城镇化过程中环境污染问题严重：城市居民人均能源消费是农村居民的3.5到4倍[2]，城镇化中工业化能耗[3]、城市交通能耗[4]加快了碳排放和环境污染；而城市蔓延也对生态环境产生深远影响。城市蔓延是比城镇化更普遍发生的现象。目前中国城市蔓延的重要特征是“土地城镇化快于人口城镇化”，城市空间快速且低密度的扩张造成大量土地资源浪费、失地农民不断增多、城市居民出行拥堵、生态环境持续恶化，大城市病问题日益严重。研究城市蔓延进程中的环境污染问题具有一定现实基础。

国内外学者对于城市蔓延的研究较为丰富且日益深入，主要集中于以下几个方面：一是对城市蔓延的测度，包括城市建成区面积[5]和人口密度指标[6]，以及城市区资本密度指标(以单位土地面积的房间数量作为代理变量)，但这些单一指标测量难以全面反映城市蔓延的实质；王家庭等[7]用城市面积增长率和城市人口增长率的差作为蔓延指标，仍较为粗糙；Sutton [8]则借助遥感技术，利用 DMSP/OLS 夜间灯光数据构造城市蔓延指标，显得更为合理。除此之外，对城市蔓延的多维指标测算研究也日趋丰富，如 Galster [9]，涉及城市蔓延的各个维度和多重特征，更具有说服力[10]。

二是对城市蔓延的经济、社会和环境等效应研究，此类研究越来越成为近年来的热点问题。例如城市蔓延对全要素生产率的影响：秦蒙、刘修岩[11] [12]认为城市蔓延对中国生产率具有负面影响，并且随着城市化率的提高，城市蔓延对生产率的负面影响在减弱；而 Brulhart *et al.* [13]则认为城市蔓延对生产率的影响并不明显；范剑勇[14]得出城市蔓延和高密度产业空间集聚则对人均产出和生产效率有正面影响的结论。此外，Burchfield *et al.* [15]将城市蔓延的不良影响归纳为土地资源过度消耗、市政基础设施成本提高、市内通勤成本提高、土地利用模式恶化和劳动者工作地与居住地空间分离。

已有研究对城市蔓延的各种经济绩效的关注较多,但对城市蔓延的环境效应关注较少(仅有李强、高楠[1];王家庭等[16];Fujiwara [17]),运用实证方法对城市蔓延的环境污染效应进行分析验证以及对该效应的更深入研究更是少之又少。王家庭等[14]从规范分析角度描述了城市蔓延对生态环境的影响,李强、高楠[1]则从实证角度分析城市蔓延影响生态环境的效应和机理,但未考虑城市蔓延对环境污染的非线性效应。环境污染的实证常用指标则是碳排放[18]、工业二氧化硫排放量[1]及各种复合指标体系。

综合上述背景和文献,本文将对中国 35 个大中城市经济增长背景下的城市蔓延和环境污染情况做初步分析,基于 2009~2017 年中国大中城市面板数据,运用门槛模型的实证方法研究城市蔓延和环境污染的非线性关系,探究其内在形成机制,进而为中国生态文明和城镇化建设提供参考。

2. 理论分析

在经济增长的过程中,农村农民单纯依靠土地的收入不能满足自身需求,而城市工业化现代化水平提高,需要大量劳动力,且工资高于农村收入,因此造成农村剩余劳动力向城市迁移、城镇化水平不断提高。与此同时,城市化进程中城市规模和人口的扩张带来的城市蔓延,大量消耗各种资源,并排放大量废水、废气等污染物,造成生态环境恶化,“大城市病”就是城市蔓延的一个突出后果。一方面,大量人口向城市集中,各类生活活动势必会消耗水、电、能源和自然资源等,居民出行对城市交通系统带来巨大考验的同时,越来越多的私家车带来的尾气排放也严重污染了环境[1];另一方面,城市自身的特征决定了其比农村更多地进行工业活动,其中不乏重资产、高污染的工业企业,造成了城市蔓延的污染效应。

本文认为城市蔓延主要通过以下传导途径作用至环境污染:一是城市蔓延增加了交通污染。交通污染是我国增长最快的重要污染源,其作用在城市污染中更是不容忽视。低密度的城市蔓延使居民工作地点和居住地点分离,造成居民通勤成本(包括通勤时间和通勤距离)增加[19]。居民更多选择私家车进行长距离通勤,私家车数量增加,燃油消耗增加,从而加剧城市环境污染。二是城市蔓延弱化了生态系统的自净能力。城市低密度蔓延往往侵占农田耕地、绿化空间用于建设城市用地,损坏了生态系统的空间和多样性,从而弱化了生态环境本身的自我净化和调节能力,城市生态系统更加脆弱,造成环境污染更严重。三是城市蔓延加快了工业、建筑业的扩张。城市工业企业的建设带来大量废水废气和烟粉尘的排放;建筑业住宅增加但多数配套设施发展落后,对人口吸引力不足,“鬼城”、“空城”在各城市屡见不鲜[20]。加上城市大气环流引发的城市热岛效应,城市环境污染持续恶化。

具体到城市蔓延的过程,城市规模扩张对环境污染的影响效果可能并非线性。城市蔓延初期,城市规模和人口快速扩大,生活和生产活动爆炸式增加,造成污染排放急速增长,环境污染效果明显;城市蔓延中期,受“大城市病”等因素影响,到一定程度城市规模不再盲目扩张,城市环境污染可能不会显著增长或不增长;而当突破某个门槛值、到达城市蔓延后期,城市规模变化不大,但“大城市病”得到缓解和治理,城市建设中各方的矛盾得以缓和,资源利用更高效、污染治理水平更先进,城市环境污染水平可能降低。

从现有文献的经验研究结论来看,目前中国大中城市的城市蔓延现状较为严重[21],相关问题也是学者们研究的热点和焦点,因此本文以全国 35 个大中城市¹为研究对象进行分析。实践中对于城市蔓延的测度主要有两大类,一是利用 DMSP 全球夜间灯光数据和 Landscan 人口统计分析数据测度的城市蔓延指数相对最为合理,但由于数据本身的限制(如数据可得性和滞后性),夜间灯光数据仅能获取到 2013 年,对现阶段城市蔓延进程的研究缺乏最新证据;二是利用城市面积和人口的指标,虽较为粗糙、不能反映

¹ 本文的 35 个大中城市为:北京、天津、石家庄、沈阳、上海、南京、杭州、宁波、福州、厦门、济南、青岛、广州、深圳、海口、大连、太原、呼和浩特、长春、哈尔滨、合肥、南昌、郑州、武汉、长沙、南宁、重庆、成都、贵阳、昆明、西安、兰州、西宁、银川和乌鲁木齐。

城市蔓延的内在差异，但数据齐全、口径统一且时效性强，直观可比。因此本文选择后者，参考王家庭 [22] 构建经典的城市蔓延单指标指数 $sprawl_i$ 。“该测度方式为对基期而言城市建成区面积增长比与市辖区人口增长比的比值，反映了建成区扩张和人口增长的不协调”，公式为：

$$sprawl_i = \frac{(s - s_0)/s_0}{(p - p_0)/p_0}$$

式中， $sprawl_i$ 为第 i 期城市蔓延指数， s 为当期城市建成区面积， p 为当期期末市辖区人口数； s_0 为基期建成区面积， p_0 为基期期末市辖区人口数。

2009 年~2017 年中国 35 个大中城市的城市蔓延情况如下表 1，取城市蔓延指数的平均数。将期间内建成区面积和市辖区人口数在某连续两年内未发生变化的个别城市的城市蔓延指数取值为零。

Table 1. Spread of 35 large and medium cities
表 1. 35 个大中城市蔓延情况

城市蔓延 sprawl	城市
<0	济南 海口 呼和浩特 哈尔滨 兰州
0~5	北京 石家庄 沈阳 上海 南京 杭州 宁波 厦门 广州 深圳 太原 合肥 南昌 郑州 长沙 南宁 成都 昆明 西安 西宁 银川 乌鲁木齐
>5	天津 福州 青岛 大连 长春 武汉 重庆 贵阳

由表 1，可以得出近十年来中国大中城市蔓延程度普遍较高，其中重庆、贵阳、福州等城市的蔓延更甚，而呼和浩特、兰州、哈尔滨等城市相对来说处于收缩状态。

3. 实证分析

(一) 模型设定

由理论分析考虑到“门槛效应”可能存在，建立如下门槛模型：

$$y_{it} = \mu_{it} + \theta x_{it} + \alpha_1 q_{it} I(q_{it} \leq \gamma_1) + \alpha_2 q_{it} I(\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2) + \alpha_3 q_{it} I(\gamma_2 < q_{it} \leq \gamma_3) + \dots + \epsilon_{it}$$

其中， y_{it} ：被解释变量， x_{it} ：解释变量， θ ：相应的系数向量， q_{it} ：门槛变量， α_i ：门槛效应的系数， I ：指标函数，当存在该门槛时取值为 1，否则取值为 0， γ_i ：特定的门槛值($i = 1, 2, 3, \dots$)。门槛变量为城市蔓延。

(二) 变量描述

被解释变量。环境污染用城市工业二氧化硫的排放量表示。

解释变量。城市蔓延为主要解释变量，用前文所述的 $sprawl$ 指标表示；经济增长用人均生产总值表示；其余纳入环境污染模型的控制变量包括产业结构(用该城市第二产业增加值占 GDP 的比重表示)；对外开放(用各市外商直接投资额表示)；基础设施建设情况(用城市公路里程数表示)；另外，考虑到城市首位因素，即城市发展要素会在城镇体系中的最大城市集中，而该城市一般是该省(或自治区)的省会城市，因此为了表征该特征，设置省会城市的虚拟变量 $capital$ ，若该城市为省会城市赋值为 1，否则为 0。

本文实证分析所使用的数据主要取自《中国城市统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》，各大中城市历年的城市统计年鉴，以及一些城市的《经济与社会发展统计公报》。时间跨度为 2009~2017 年。城市蔓延探讨的是城区边界扩张问题，故选择市辖区的统计口径。35 个大中城市的相关数据较为齐全，样本无缺失值，样本容量为 315。运用 LLC 法(用于相同单位根的情形)和 IPS 法(用于不同单位根的情形)对面板数据进行单位根检验，发现各个变量均通过平稳性检验。各个变量的描述性统计见下表 2：

Table 2. Descriptive statistics of variables
表 2. 变量描述性统计

	指标	n	mean	Std.	min	max
So2	工业二氧化硫排放量	315	3,434,914	5.96e+07	91.66	1.06e+09
sprawl	城市蔓延指数	315	-3.017569	94.5480	-1616.947	238.7274
pgdp	人均 GDP	315	72,702.97	29,914.04	18,671	183127
industry	第二产业比重	315	0.43680	0.082476	0.004809	0.589505
Fdi	外商直接投资	315	368,398	40,9320.5	751	2,433,000
gllc	公路里程	315	15,169.09	20,202.34	867.69	147,881
capital	是否为省会城市	315	0.8571429	0.3504839	0	1

(三) 基础回归结果

对 35 个大中城市数据进行最小二乘回归，结果如下：

Table 3. Basic regression results
表 3. 基础回归结果

变量	Lnso2
sprawl	0.0022487*** (0.0007)
pgdp	-7.75e-06** (3.06e-06)
industry	2.536827*** (0.8748)
fdi	4.79e-07** (2.02e-07)
gllc	0.000015*** (3.50e-06)
capital	0.3255703 (0.2222)
_cons	9.61166*** (0.5799)
n	315
R ²	0.1715

注：括号内数据为标准误，*、**、***分别表示在 10%、5%、1%水平上显著，下同。

表 3 的结果显示，城市蔓延对环境污染的影响显著为正，表明当前中国大中城市的蔓延现象实际加重了环境污染；而城市经济增长则能显著改善环境污染，说明目前处于环境库兹涅兹倒 U 型曲线的右边，即环境污染随经济增长不断下降的趋势中。城市工业化则显著增加了环境污染，需要对产业进行升级和合理化；城市开放度同样显著恶化了环境质量，城市基础设施建设(以城市公路里程为代表)则能改善环境质量。本文设定的是否为省会城市的虚拟变量则在基础回归中不显著，说明省会城市与非省会城市的环

境污染差异不大，但也可能与样本中选取的 35 个大中型城市基本都为省会城市有关。

(四) 门槛模型回归结果

首先检验是否存在门槛效应以及存在几重门槛，因此依次进行单门槛、双门槛、三门槛检验，下表列出了三个门槛变量效应的检验结果。为防止过多增加门槛值导致各个分段模型样本量过多损失，本文仅检验了三个门槛。

Table 4. Threshold number test

表 4. 门槛数检验

门槛变量	门槛检验类型	F 统计量	P 值	BS 次数	1%	5%	10%
城市蔓延 sprawl	单一门槛	2.150	0.115	200	7.510	4.081	2.288
	双重门槛	5.714**	0.040	200	7.910	5.161	4.080
	三重门槛	3.378*	0.055	200	7.432	3.881	2.359

注：检验结果均采用“bootstrap 法”模拟后得到结果。

Table 5. Threshold value test

表 5. 门槛值检验

门槛变量	门槛类型	估计值	95%置信区间
城市蔓延 sprawl	双重门槛	0.372	[-16.446, 26.241]
		0.851	[0.481, 1.258]

由以上表 4、表 5 可以得出，在以城市蔓延为门槛变量回归时，在 5% 的显著性水平下存在双重门槛效应，说明城市蔓延对环境污染的非线性效应。对门槛变量的门槛值进行估计和检验得到，城市蔓延的两个门槛值分别为 0.372 和 0.851，置信区间见表 5。由于存在两个门槛，因此样本数据被门槛值划分为 3 段。由表 6，以经济增长为核心解释变量的各分段回归结果均通过显著性检验。门槛效应图见图 1。

Table 6. Segmented regression of threshold

表 6. 门槛分段回归

Lnso2	Coef.	Std.err	t	p
pgdp_1	-0.0000269***	2.81e-06	-9.59	0.000
pgdp_1	-0.0000226***	2.77e-06	-8.16	0.000
pgdp_1	-0.0000275***	2.65e-06	-10.35	0.000
_cons	12.77666***	0.1915027	66.72	0.000
n			315	
R ²			0.2835	

根据门槛模型回归结果，城市蔓延对环境污染的作用表现为双重门槛效应。当城市蔓延跨过第一个门槛值后，城市规模和人口扩张带来的环境污染效应有所减小，而跨过第二个门槛值后，城市蔓延带来的环境污染略有上升。说明城市蔓延早期是城市规模和人口的快速扩张，具有一定的盲目性，对生态环境的损害比较大；而越过某一门槛值(本文检验为 0.372)后，城市内部关于发展和环境之间的矛盾通过各种方式得以缓和，城市蔓延对环境的污染有所减小；但若不对城市蔓延模式的进行合理引导，城市发展还是会受到环境的制约。

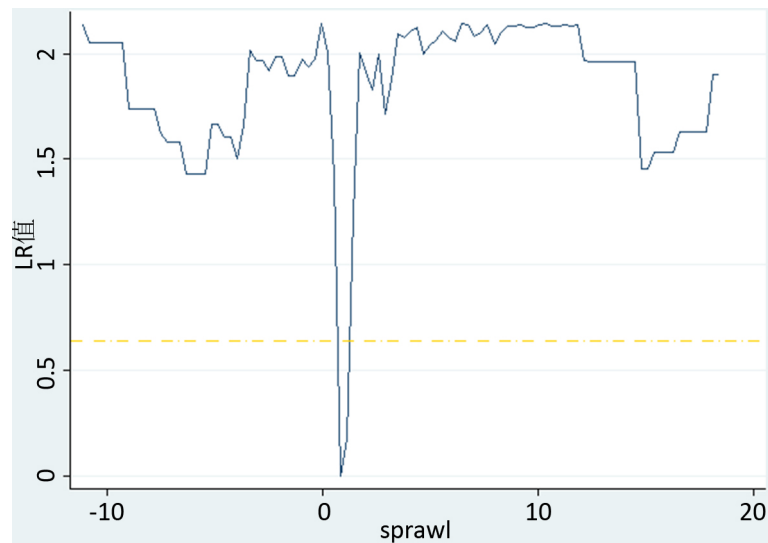


Figure 1. Threshold effect diagram

图 1. 门槛效应图

4. 区域异质性分析

改革开放以来中国东中西部三大区域经济发展十分不平衡，东部沿海地区有便利的交通，先进的科技，经济实力较强；而中西部地区相对缺乏地理、要素优势，经济发展明显落后于东部沿海地区。在政策、人才、投资、人口等各种因素的作用下，中国三大区域本身经济实力存在较大差异，需要进行区域异质性分析。本文采用主流文献的区域划分方法，将 35 个城市划分东、中、西部逐一进行具体分析。东部城市为：北京、天津、石家庄、上海、南京、杭州、宁波、福州、厦门、济南、青岛、广州、深圳、海口、大连和沈阳共 16 市；中部城市包括：太原、呼和浩特、长春、哈尔滨、合肥、南昌、郑州、武汉、长沙和南宁共 10 市；其余为西部城市，包括重庆、成都、贵阳、昆明、西安、兰州、西宁、银川和乌鲁木齐共 9 市。把我国大中城市划分为东中西部三大类进行回归便于研究各部分区域城市蔓延和环境污染的不同特点，进而便于因地制宜地对各区域发展制定针对性政策。分区域回归结果如下表 7 所示：

Table 7. Regression results by region

表 7. 分区域回归结果

Lnso2	东部		中部		西部	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
sprawl	0.000586** (0.0002)	-0.0002* (0.0005)	0.0002564* (0.00018)	-0.000678 (0.0028)	-0.002368 (0.0059)	-0.0007321 (0.00486)
PGDP	-0.00002*** (3.6e-06)	-0.00001*** (3.79e-06)	-0.00002*** (5.31e-06)	-0.000024*** (4.48e-06)	-0.000021* (0.00001)	-0.000016* (9.11e-06)
Industry	3.228572** (1.5791)	5.956*** (1.5702)	6.9829** (2.03097)	3.619591** (1.5106)	2.124977 (2.6335)	3.0613 (1.92402)
Fdi	-2.57e-08 (2.4e-07)	1.17e-07 (2.47e-07)	6.74e-07 (6.54e-07)	6.30e-07 (6.51e-07)	-5.68e-07 (9.08e-07)	-8.31e-07 (5.51e-07)
gllc	0.0000601 (0.000039)	0.000132*** (0.00003)	-9.33e-06 (0.0000367)	-0.0000253 (0.0000257)	-0.000015 (0.000032)	0.0014** (3.9e-06)
capital	-	-0.067160 (0.4078)	-	-	-	-
_cons	10.5169*** (1.0195)	7.76*** (1.076742)	9.006056*** (1.03142)	10.83811*** (0.8442797)	11.92*** (1.4913)	10.667*** (1.020645)

Continued

影响效应	固定	随机	固定	随机	固定	随机
R 方	0.4542	0.3919	0.5946	0.5758	0.3539	0.8479
观测值	144	144	90	90	81	81
Hausman 检验	603.02		6.14		0.37	
Hausman-p	0.0000		0.0465		0.8301	

从上表结果看,东中西部各个城市之间的面板回归结果存在明显差异。东部城市估计结果的 Hausman 检验表明应采用固定效应模型,具体来看,城市蔓延指标在 5%的水平下显著为正,表明东部城市蔓延程度越大,环境污染越严重,研究期间内城市用地扩张和人口增加的作用下环境质量下降。城市经济增长对环境污染的作用显著为负,城市工业化同样显著加剧了环境污染,但代表基础设施的公路里程数和城市开放程度则对环境污染的影响并不显著。东部沿海城市大都继续蔓延,对环境污染的影响也较为显著,需要合理转变城市发展方式,把握好东部城市的地理优势和对人才的吸纳效应,实现城市合理蔓延和精明增长。中部城市估计结果 Hausman 检验表明在 5%显著性水平下固定效应模型更合适。中部城市蔓延的污染效应不如东部显著,并且中部城市蔓延程度也弱于东部城市。但中部城市工业化带来的污染则显著高于东部城市,需要尤其警惕。西部地区估计结果的 Hausman 检验表明应该选择随机效应模型,模型核心解释变量城市蔓延系数并不显著,与西部城市蔓延度不高(个别城市蔓延指数甚至为负)有关,系数反映了西部城市环境污染可能更多依赖于基础设施建设的完善程度(公路里程指标的系数显著为正)。西部城市基础设施建设完善的地方对人口迁移的吸引力相对更大,带来的污染亦有所增加。从控制变量的解释力来看,区域异质性回归结果表明不同区域环境污染问题具有差异化特征,而城市蔓延并不能解释所有区域的污染水平。在中国进入新常态发展阶段的近十年来,东中西部城市蔓延具有不同表现和特征,不同区域城市蔓延程度的差异造成其对城市污染的影响效果明显不同。东部地区城市蔓延程度普遍较高,加之经济增长较快,工业化程度发达,对环境的损害相对更大;而中西部本身城市蔓延水平偏低,降低环境质量的因素或与中部城市工业化水平和西部城市基础设施建设水平紧密相关。

5. 结论及展望

本文从居民生活、交通、城市建设和工业化等维度探讨中国城市蔓延影响城市生态环境的内在机制,在此基础上,基于中国 35 个大中城市 2009~2017 年市级面板数据,实证研究了城市蔓延影响生态环境的效应,研究表明:

1) 中国不同城市蔓延表现存在分化,城市蔓延现象普遍存在,但少部分城市从指标上来看存在收缩特征。城市蔓延通过交通、工业和生态环境自净能力减弱的传导路径加剧环境污染。

2) 城市蔓延对环境污染的实证研究结果显示,城市蔓延对环境污染的影响显著为正,且具有双重门槛效应,表明城市蔓延加剧了中国大中城市的环境污染,并存在区域异质性。为减轻中国城镇化进程中所面临的生态环境恶化问题,中国城镇化建设中应探索城市蔓延的合理发展路径和模式,反过来推动城市经济不断发展。

由于数据所限,本文尚未获取到关于城市蔓延测度、城市环境污染更准确合理的指标(如夜间灯光数据、城市地理特征数据)。此外,目前关于城市蔓延的研究已深入到县市级,关于我国城市蔓延的表现特征以及此过程中对城市环境污染的模式机理等的研究有待进一步完善深入。

参考文献

[1] 李强,高楠.城市蔓延的生态环境效应研究——基于 34 个大中城市面板数据的分析[J].中国人口科学,2016(6):

- 58-67.
- [2] 林伯强, 刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略[J]. 经济研究, 2010(8): 66-78.
 - [3] 陈诗一. 节能减排与中国工业的双赢发展: 2009-2049[J]. 经济研究, 2010(3): 129-143.
 - [4] 周银香. 基于系统动力学视角的城市交通能源消耗及碳排放研究——杭州市为例[J]. 城市发展研究, 2012(9): 99-105.
 - [5] 杨洋, 王颖, 何春阳, 黄庆旭. 21 世纪以来城市蔓延国际研究进展与趋势——基于 CiteSpace 的知识图谱分析[J]. 世界地理研究, 2020(4): 750-761.
 - [6] 洪世键, 张京祥. 城市蔓延的界定及其测度问题探讨——以长江三角洲为例[J]. 城市规划, 2013, 37(7): 42-45.
 - [7] Fulton, W.B., Pendall, R., Mai, N., et al. (2001) Who Sprawls Most? How Growth Patterns Differ across the US.
 - [8] 王家庭, 赵丽. 我国大中城市蔓延水平评估[J]. 中南财经政法大学学报, 2013(4): 43-48.
 - [9] 邵汉华, 夏海波. 中国城市蔓延对绿色全要素生产率的影响[J]. 资源科学, 2020(4): 790-800.
 - [10] 张帆. 中国城市蔓延的影响因素分析——基于 35 个大中城市面板数据的实证研究[J]. 湖北社会科学, 2012(5): 69-72.
 - [11] Sutton, P.C. (2003) A Scale-Adjusted Measure of “Urban Sprawl”: Using Night-Time Satellite Imagery. *Remote Sensing of Environment*, **86**, 353-369. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00078-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00078-6)
 - [12] Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M.R., et al. (2001) Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept. *Housing Policy Debate*, **4**, 681-717. <https://doi.org/10.1080/10511482.2001.9521426>
 - [13] 刘修岩, 李松林, 秦蒙. 开发时滞、市场不确定性与城市蔓延[J]. 经济研究, 2016(8): 159-186.
 - [14] 秦蒙, 刘修岩. 城市蔓延是否带来了我国城市生产效率的损失?——基于夜间灯光数据的实证研究[J]. 财经研究, 2015(7): 28-40.
 - [15] Burchfield, M., Overman, H., Puga, D. and Turner, M. (2006) Causes of Sprawl: A Portrait from Space. *Quarterly Journal of Economics*, **121**, 587-633. <https://doi.org/10.1162/qjec.2006.121.2.587>
 - [16] Brulhart, M. and Sbergami, F. (2009) Agglomeration and Growth: Cross-Country Evidence. *Journal of Urban Economics*, **65**, 48-63. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2008.08.003>
 - [17] 范剑勇. 产业集聚与地区间劳动生产率差异[J]. 经济研究, 2006(11): 72-81.
 - [18] 王家庭. 城市蔓延的表现及其对生态环境的影响[J]. 城市问题, 2014(5): 24-29.
 - [19] Fujiwara, T., et al. (2009) A New Bromotyrosine Compound from a Narine Sponge *Psammaphysilla purpurea*. *The Journal of Antibiotics*, **62**, 393-395. <https://doi.org/10.1038/ja.2009.49>
 - [20] 冯玲, 吝涛, 赵千钧. 城镇居民生活能耗与碳排放动态特征分析[J]. 中国人口资源与环境, 2011(5): 93-100.
 - [21] 毛文峰. 城市蔓延对环境污染的影响研究——来自我国 279 个地级市的经验证据[D]: [硕士学位论文]. 天津: 南开大学, 2017.
 - [22] 江曼琦, 席强敏. 中国主要城市化地区测度——基于人口聚集视角[J]. 中国社会科学, 2015(8): 26-46.