

中国城市化环境污染效应研究: 城市边界拓展视角的考察

高永祥

(金陵科技学院商学院,江苏 南京 210069)

摘要:城市内部非核心区域的向外扩张构成中国在过去 20 多年城市化进程快速推进的一个典型特征,由此体现的城市空间格局演变使得城市化的环境污染效应变得复杂。基于我国 273 个地级市 1999—2020 年面板数据,从城市内部非建成区面积反映的城市边界区域扩张视角探讨了城市化进程的环境污染效应及其区域异质性作用规律。研究发现:城市边界扩张的环境污染效应呈 U 形关系,即城市边界扩张在初期有助于降低环境污染,但边界的过度扩张则显著不利于环境改善。特别地,城市边界扩张更易在我国三、四线城市和中西部区域城市呈现较为明显的环境污染效应。结合城市边界扩张的异质环境污染影响,认为我国高等级城市可以保持适度空间外拓,同时重点优化拓展空间各类功能区的布局并加强与原核心城区的整合;对城市边界扩张过快的低等级城市,需要限制其无序扩张并加强扩张区域的综合治理。针对城市边界扩展污染效应表现出的 U 形关系特点,认为关键是通过人-地空间耦合的增强、更严格环境规制的实施、构建城市边界拓展区域经济效益多渠道环境污染补偿机制等,降低城市边界向外扩张越过环境污染效应拐点的可能性,并减缓其越过污染效应拐点的不利影响。

关键词:城市化;边界扩张;污染效应;U 形关系;异质作用

中图分类号:Q56;R11 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-4970(2023)05-0125-10

城市作为人类活动相对集中的空间组织形式,促进了社会经济的发展,体现了人类文明进程的高度。然而,城市也因为是人类密集社会经济活动的空间载体,成为环境污染不可忽视的来源之一,进而对生态环境的可持续性提出挑战。较之农业文明,城市通过人类社会经济活动在有限空间的相对集中,通过资源利用效率的提升和集约型发展,在人类历史进程中曾扮演了亲生态的角色,至少减缓了人类活动对资源的无序开发和对生态的过度破坏。但是,城市化进程依然无法避免人类基于社会经济发展为目的污染的排放,无法规避人类对资源禀赋的不同程度索取和

对生态环境的破坏,城市甚至因为是现代人类文明下较为集中空间活动的主要载体,而成为能源消耗与环境污染的主要来源。

城市化同样是中国过去 20 年快速增长的重要驱动力之一。特别地,从密集开发建成区向外围低密度地区拓展体现的城市土地扩张,这构成我国城市化的典型特征之一,并由此对区域经济增长乃至环境质量产生重要影响^[1]。首先,不像西方国家普遍存在的由人口增长或人口从城镇向乡村流动推动的、非正式的乃至自发的城市土地扩张,也不像发达国家许多城市出现的人口持续下降过程中的城市土

引用本文:高永祥.中国城市化环境污染效应研究:城市边界拓展视角的考察[J].河海大学学报(哲学社会科学版),2023,25(5):125-134.

基金项目:江苏省哲学社会科学基金项目(21GLD005)

作者简介:高永祥(1969—),男,教授,博士,主要从事城市经济发展研究。E-mail:gyx@jit.edu.cn

地扩张停滞乃至城市收缩^[2],中国的城市化主要表现为以城市外围地区过度扩张或低密度土地利用为主要形式的城市土地开发^[3-4],甚至是没有显著人口流入的城市土地向外扩张。其次,作为一种特殊的制度安排,我国持续多年的户籍制度带来的人口流动限制,更加凸显以土地扩张为主要形式的城市化进程^[5]。以土地为导向的空间扩张,加上半城市化的新村、新区和经济开发区,这构成中国城市化的主要特征^[6]。再次,为了获得发展动力和变得更具吸引力,不同级别城市彼此展开竞争,其采取的主要方式之一就是在远离城市中心区域的城市边缘地带重复土地城市化。最后,面对人口相对在城市内部有限空间的集中,旨在借助以土地为导向城市化来促进经济增长的手段越来越面临低效率环境承载和加剧环境污染挑战^[3,7]。

综上,较之发达国家缺少人口城市化支撑导致的城市蔓延,中国城市化更主要是土地开发不断突破原有城市建成区域边界,向城市内部非核心区域持续扩张。或者说,城市内部非核心区域的过度扩张构成中国城市空间拓展的主要特征。因此,关注中国城市化的环境污染效应,尤其需要重视以城市内部非核心区域向外扩张为主要特征城市边界拓展的影响。较之既有侧重具体城市的案例剖析或者基于城市整体扩张角度的考察,本研究主要有两方面贡献:其一,聚焦我国城市化进程中以城市内部非核心区域向外扩张为主要特征的城市边界区域拓展,探讨其存在的非线性环境污染效应。具体而言,不同于专注某一地理空间的研究,如特定区域、特定省份或城市,乃至更小地理单元的考察,本研究利用中国地级市面板数据,旨在揭示城市内部非核心区域向外扩张对环境影响的一般规律并得出普适性结论。其二,注意到城市化进程的空间异质性特点,比较考察了城市边界拓展环境污染效应的区域异质性并揭示了异质作用的根源,由此在一定程度上丰富既有研究。

一、城市边界拓展污染效应及其理论机制

1. 城市扩张污染效应的总体评述

城市扩张的环境污染效应已获得广泛关

注,大多数学者侧重对城市化进程和城市扩张整体视角的研究:有研究认为城市扩张存在不利环境效应,不仅仅是生态环境的破坏^[8],城市建设用地扩张会消耗较多资源,其产生的废气、废水、垃圾等也增加环境承载力的负担^[9]。城市用地扩张增加了人们的出行时长,导致更多家庭选择私家车出行,进而对环境质量造成不利影响^[10]。此外,人口城市化作为城市扩张的一个重要方面,通过增加生活污染排放等降低环境质量^[11]。不同于上述研究认为城市扩张造成环境污染的观点,还有研究认为城市扩张有利于环境污染降低和环境质量改善。如,翁智雄等基于我国地级市样本的实证发现,城市规模扩大可通过污染转移效应对环境产生显著改善作用^[12];邓翔等实证表明,扩大城市规模对环境还是存在正向提升作用的,特别是对我国大城市和受污染影响较为严重的华北地区^[13];毛德凤等侧重人口特征体现的城市扩张的研究表明,以城市人口密度衡量的城市扩张每提高1%,环境质量可以提高4.8%^[14]。

较之简单肯定或者否定观点,越来越多研究强调城市扩张的污染效应遵从环境库兹涅茨曲线规律,即两者存在非线性关系。如,王家庭等基于我国省级面板数据的研究发现,城市化与环境污染之间存在倒U形关系^[15];陈阳等结合城市样本数据的实证则表明,城市规模扩大对绿色全要素生产率的作用呈先降后升的U形关系^[16]。以大中城市私人交通发展间接体现的城市扩张为考察对象,赵春明等的研究一方面肯定初期城市空间扩张与城市交通网络优化能抑制城市雾霾污染的加剧;另一方面也指出,由于城市道路私人交通承载水平有限,城市私人交通发展与雾霾污染之间存在显著的U形关系^[17]。

整体角度的考察是有益的,但也可能高估城市内部建成区的环境污染效应,相应地低估城市内部非核心区域拓展的污染影响。特别地,上述研究没能明辨造成城市化与环境污染之间非线性关系的主要空间来源。

2. 城市边界拓展的污染效应及其空间异质性

聚焦城市总体角度的实证有助于对城市化进程下的环境污染效应做出总体判断,不同于

此,还有研究注意到城市扩张模式或者城市扩张类型差异带来的城市化拓展异质环境污染效应,该类成果对侧重城市内部非核心区域向外拓展角度的研究,具有更好的借鉴意义。特别地,城市蔓延作为城市扩展的一类典型特征,得到了诸多研究的探讨并证实其环境污染效应^[18-19]。城市蔓延起源于城市化,突出了城市化中低密度扩张特征,但城市蔓延将人口空间分布与土地向外扩张混合在一起,无法有效揭示城市边界扩展程度及其环境污染效应。以城市蔓延为考察对象的研究也无法区分主城区与外围城区的空间格局差异。再者,城市蔓延只是城市土地扩张的一种类型,其主要特征是城市空间范围内的低密度土地开发和利用。

无论是实践还是学术研究,都存在许多其他类型的城市土地扩张模式,填充、边缘扩张和跨越式扩张即是几种典型。更多研究亦表明,城市土地规划和利用结构而非城市整体对可持续发展产生深远影响,这其中就包括建成区与非建成区划分^[4,7,20]。例如,Song 等侧重我国特大城市的考察认为,城市边界扩张带来新旧城区绿色环境的差异,较之旧城区空间,人们可以在规划更加有序和亲环境的新城区拥有更多绿色环境^[21]。当然,聚焦我国大城市的考察及由此得出的结论不具有广泛适用性,尤其对广大中小城市。Hien 等提供了来自越南首都河内城市向外扩张污染效应的经验证据,即 20 世纪 90 年代初开始,随着城市边界由距离市中心 6 公里拓展到 10 公里及至 21 公里,大量交通和工业污染物排放聚集点更多出现在拓展区域的新建城区^[22]。

城市边界区域拓展带来环境污染效应的空间异质性,或者说污染效应的地区差异比较同样得到关注。因为考察污染物类型或者环境指标差异,相关研究结论并不一致,但对本研究实证同样具有参考价值。例如,在大量侧重 PM_{2.5} 浓度的考察中,刘伯龙等发现我国位于高或者中排放区省份(主要是东部或中部省份)的城镇化推进导致雾霾污染的浓度增加相对较低;位于低排放区的西部省份,其城镇化推进导致雾霾污染的浓度增加显著更高^[23]。不同与此,杨冕等发现,我国中、低排放区城镇化

率的提高会增加 PM_{2.5} 浓度,而高排放区城镇化率的提高反而会降低 PM_{2.5} 浓度^[24];Luo 等同样聚焦 PM_{2.5} 浓度的实证发现,我国西北、东北地区的城市化更有利于污染程度的降低^[25];Song 等研究也表明,城市边界扩张并不总是对城市绿色环境存在负面影响,特别是在自然条件恶劣的地区^[21]。

3. 城市边界拓展污染效应的理论机制

城市扩张影响环境质量内在机制的讨论同样重要并获得不断深入,聚焦城市拓展区域的探讨甚至更印证了相关机制作用的一般规律及其有效性。如,Fallah 等发现,低密度的城市土地扩张不利于产业集聚和生产力^[19]。土地扩张通常会带来交通拥堵等社会成本的增加^[26],导致自然资源枯竭和环境污染以及其他社会成本或间接费用^[27],最后阻碍城市的可持续发展。王家庭等认为,房地产开发投资与城市用地规模扩张,尤其是工业企业选址的郊区化导致工业生产冗余和过度竞争、基础设施利用率下降和社会成本增加,最终不仅降低城市经济的潜在增长率,而且显著加剧城市生活污染和工业污染排放^[15];赵春明等认为,城市空间扩张过程中的交通网络建设和优化可以抑制城市雾霾污染的加剧,但是,上述促进作用也可能因为私人汽车数量的不断增多和通勤成本的增加而被削弱^[17]。

无论工业用地需求及该类土地性质决定的城市用地增长,还是城市交通网建设体现的土地需求,两者均构成城市空间向外扩张的主要形式,并且通过扩张土地上的工业污染或者交通污染等方式,使得城市拓展边界成为城市环境污染的一个主要来源。特别地,行政权力下放和中国土地市场化改革使地方政府具有更大的积极性和自主性实施区域经济发展规划,将土地供应作为一种关键的资源和财富积累的工具^[28]。行政分权和土地财政加剧了城市建成区以外土地的过度开发利用,或者说城市的相对扩张,最终加剧对我国许多城市经济发展和环境质量的不利影响。不同于大多数围绕机制探讨给出否定态度的论证,作为城市扩张存在积极环境作用机制的支撑观点,陆铭等认为,农村人口城镇化带来的城市人口规模扩大能够产生空间集聚效应,并由此有效减少工业污染排

放强度和缓解环境问题^[29]。综上,尽管既有文献已经较好地识别城市化导致环境污染的各种机制并予以证实,但仍缺少各种机制叠加情况下,聚焦以城市内部非核心区域体现的城市边界区域拓展的环境污染效应的专门讨论。

二、特征事实、模型和变量说明

围绕城市边界拓展和城市环境污染的量化考察,一方面有助于揭示两者的基本状况,另一方面可为初步判断两者的定性关系特点、而后续实证模型可从更加一般化的角度考察奠定基础。

1. 典型特征考察

在实证方面,已有大量研究从土地利用类型、城市边界内已开发和未开发土地,建成区面积变化或其他土地开发利用角度考察了城市空间扩张特征^[20]。无论基于特定测量指标还是构建指标体系,都只能揭示城市空间扩张的某些方面。特别地,城市蔓延被广泛使用并描述社会经济活动的低密度空间扩张^[18]。然而,该指标主要基于标准化密度进行测量,缺点是无法有效区分城市内部空间人口分布和土地空间拓展的差异化作用^[30],然而亦可通过不同类型区域拓展情况的比较来考察城市扩张特点^[31]。不同于基于相对人口密度空间差异对城市蔓延情况的判断和衡量,本研究重点关注的城市边界扩张类型是低密度社会经济活动和非农业用地在城市中心区以外空间的无序增长。按照《中国城市统计年鉴》提供的城市空间开发数据,主要包括城区面积和建成区面积,较之城区面积,建成区主要指城区内已成片开发建设、市政公用设施和公共设施基本具备的区域。如果说城区面积反映了城市区域总体面积的构成情况,建成区则侧重反映城市内部较完善开发中心区域的面积。因此,城区面积减去建成区面积的部分,可以作为描述城市非中心区域低密度空间利用情况的考察对象。

再者,选择城市土地扩张的相对增长还是绝对增长,同样是一个值得关注的问题。相对增长更能反映城市土地扩张的相对情况,但这可能导致过度平均化,掩盖彼此差异。比较而言,相对增长衡量方法的缺点则变成绝对衡量方法的优点,例如,上海、北京、深圳、重庆、南

京、成都等特大城市都存在很明显的城市土地净扩张,但其相对增加并没有显著高于很多中小城市。在既有相关文献中,更多研究从城市某种乃至多种类型土地开发的相对水平等角度考察^[32]。本研究综合绝对水平和相对水平两个角度,公式(1)表述的不考虑建成区的城区面积,即城市非核心区域土地净利用的空间基础,同时公式(2)用城市非核心区域土地净扩展面积和建成区面积的比值描述城市土地的相对扩张。

$$nlexp_{it} = urban_area_{it} - builtup_area_{it} \quad (1)$$

$$rlexp_{it} = nlexp_{it} / builtup_area_{it} = (urban_area_{it} - builtup_area_{it}) / builtup_area_{it} \quad (2)$$

式中: $nlexp$ 、 $urban_area$ 和 $builtup_area$ 依次表示某城市 i 在 t 年非核心区域土地的净扩张面积、城区面积和建成区面积; $rlexp$ 表示城市非核心区域土地的相对扩张水平。

图 1 显示,在 2007 年之前,中国经历了城市土地由核心城区向城市内部非核心区域净扩张水平的明显增长,城市空间净拓展区域面积是建成区面积的 5 倍多。2000 年以前,我国许多城市的核心建成区面积相对很小,而且在很长一段时间内比较稳定。因而,无论是城市土地的向外绝对扩张还是相对扩张程度都较大。在经历城市边界持续且大规模向外扩张阶段以后,城市土地向外相对扩张水平转为较低增速且继续下降。然而,得益于 2010 年户籍制度的逐步取消,以土地为导向的城市空间向外绝对拓展在经历 2007—2010 年的震荡调整后重又攀升。在城市边界拓展两阶段划分基础上(图 1),图 2 进一步综合考虑了城市环境污染状况。可以发现,尽管我国第二阶段(2008—2020)城市边界拓展的相对水平较第一阶段(1999—2007)明显下降,城市边界拓展的绝对

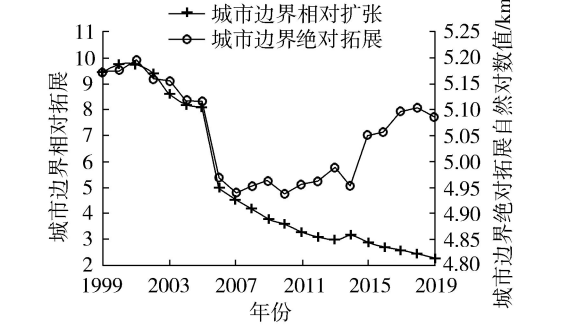


图 1 城市边界的绝对和相对扩张情况

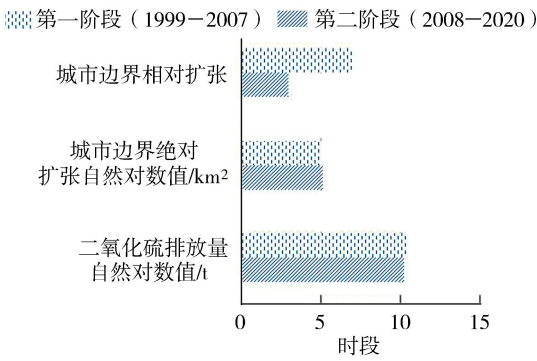


图2 城市边界拓展和环境污染的分阶段比较

水平依然很高,甚至与第一阶段持平。相应地,以二氧化硫衡量的城市污染排放总量并没有明显降低。

结合城市等级差异的分类比较表明(图3),以城市内部非建成区空间衡量的城市边界拓展规模越大,特别是城市边界拓展的绝对规模越大,环境污染效应就越强。然而结合城市所在区域发展阶段差异呈现的比较结果(图4)表明,较之中西部区域城市,尽管东部区域城市边界拓展的绝对规模和相对规模均更高,相应地环境污染总量水平也更高,但是其污染程度与中西部城市的差距并不是很大。最后,散点图5进一步揭示了城市边界绝对扩张与污染排放之间可能存在的非线性U形关系。

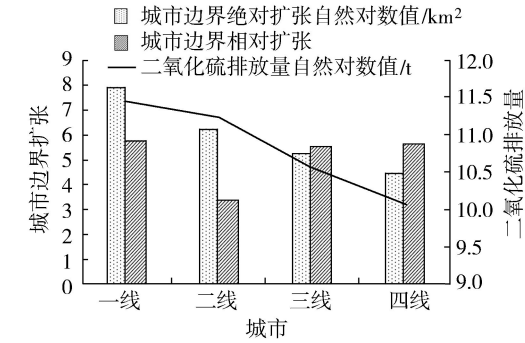


图3 等级差异下城市边界拓展与环境污染的比较

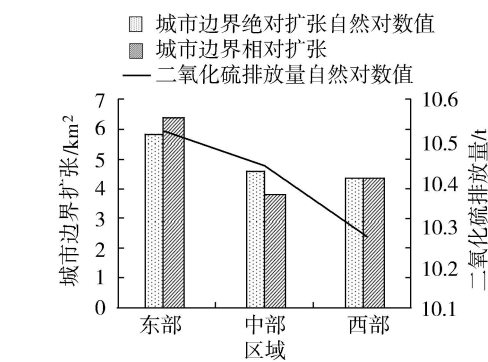


图4 区域差异下城市边界拓展与环境污染的比较

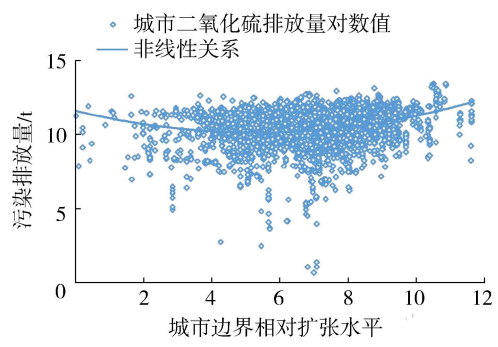


图5 城市边界扩张与环境污染之间的非线性关系

当然,两者非线性关系是否在统计意义上成立,仍然有待后续实证检验。

2. 模型和变量衡量

在量化考察基础上,为进一步揭示城市边界拓展的环境污染效应,参考基准计量模型的同时考虑城市边界拓展可能存在的非线性作用,研究构建如下计量模型:

$$pollu_{it} = \beta_0 + \beta_1 \times rlexp_{it} + \beta_2 \times rlexp_{it}^2 + \beta_3 Z_{it} + \lambda_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中:被解释变量 $pollu$ 为环境污染水平,即城市 i 在 t 年工业二氧化硫排放量的自然对数值;核心解释变量 $rlexp$ 为以城市内部非建成区空间衡量的城市边界相对扩张程度; $rlexp^2$ 为城市边界相对扩张的二次项; Z_{it} 为一组控制变量; λ_i 和 λ_t 分别代表城市和时间固定效应; ε_{it} 为随机干扰项; β_0 到 β_3 为一组待估参数。

控制因素主要考虑5个方面:①经济发展水平($scale$)。环境库兹涅茨曲线表明,经济发展水平是决定城市环境质量和污染情况的基础性因素之一,用2000年为基期消费价格指数消费处理的城市人均GDP的自然对数值衡量。②人口密度($dpop$)。多数学者认为,城市人口规模的扩大会带来城市环境污染的加剧^[12,18]。然而在给定城市人口情况下,城市人口密度越大,反而越有利于降低环境污染,这里用城市总人口数除以城市面积表示。③经济结构($struc$)。产业结构决定城市的能源消耗结构,较之第一、三产业,工业仍然是中国大多数城市发展的产业载体,因而也是城市污染的主要来源。本研究用城市第二产业占GDP的比重表示。④制度环境($insti$)。面对GDP导向的经济增长模式,地方政府倾向于以土地为杠杆,通过土地财政在较短时间内推动第二产业,尤其

是污染密集型制造业的域内扩张,这最终加剧城市间忽视环境问题的恶性竞争。按照毛德凤等^[14]的方法,用地级市财政分权度衡量制度环境,即 $insti = \text{地级市人均财政收支} / (\text{地级市人均财政收支} + \text{省级人均财政收支} + \text{全国人均财政收支})$ 。⑤开放水平(fdi)。开放环境可以通过发达国家的污染转移加剧地区环境污染,也可能通过技术外溢和高环境标准促进地区环境改善^[33]。本研究用经过汇率换算的外商直接投资额的自然对数值表示。

数据来源方面,城市环境污染数据来自《中国环境统计年鉴》,城市边界扩张测度相关原始数据均来自《中国城市统计年鉴》,控制变量数据来自国务院发展研究中心数据库城市经济子库,最终整理得到 1999—2020 年中国 273 个地级市的面板数据。表 1 给出所有计量指标的描述性统计,部分变量经对数化处理。

表 1 变量定义与描述性统计

变量	样本	均值	标准差	最小值	最大值
$pollu$	6 006	10.640	1.249	0.709	13.743
$rlexp$	6 006	6.263	4.132	0.001	11.691
$scale$	6 006	9.457	2.030	0.832	11.837
$dpop$	6 006	0.472	0.447	0.001	3.011
$struc$	6 006	0.495	0.126	0.011	0.815
$insti$	6 006	0.247	0.111	0.003	0.707
fdi	6 006	10.358	2.716	0.009	18.054

表 2 基准估计结果

方程	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
被解释变量	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂	PM2.5	SO ₂
解释变量	$rlexp$			$nlexp$		
$rlexp$	0.002 16 [0.002 39]	-0.010 6** [0.005 36]	-0.014 7** [0.006 37]	-0.015 7** [0.006 56]	-0.234*** [0.047 4]	-0.005 76*** [0.002]
$rlexp^2$		0.000 857*** [0.000 167]	0.000 894*** [0.000 25]	0.000 97*** [0.000 257]	0.004 8*** [0.001 42]	9.59e-05 * [0.000]
$scale$	0.384** [0.188]	-0.022 3*** [0.003 51]	0.522*** [0.156]	0.52*** [0.160]	0.012 0 [0.041 2]	-0.000 238 [0.001]
$dpop$	0.123*** [0.035 5]	-0.066 1** [0.033 6]	-0.050 5** [0.022 5]	-0.075** [0.033 9]	-0.985*** [0.330]	-0.006 73*** [0.001 1]
$struc$	2.231*** [0.146]	0.898*** [0.133]	0.765*** [0.131]	0.91*** [0.133]	4.749*** [1.250]	0.125** [0.055]
$insti$	-0.016 2 * [0.008 65]	-0.008 28 [0.007 68]	-0.000 74 [0.007 53]	-0.006 84 [0.007 70]	0.008 88 [0.071 5]	0.076 [0.081]
fdi	-0.050 0*** [0.003 40]	0.504*** [0.159]	-0.014 9*** [0.003 65]	-0.023*** [0.003 55]	-4.105*** [1.422]	-0.021 8 [0.056]
常数项	9.557*** [0.128]	10.114*** [0.121]	10.879*** [0.115]	10.106*** [0.122]	24.918*** [1.034]	3.048*** [0.043]
R ²	0.135	0.383	0.393	0.383	0.444	0.899
样本量	6 006 (273)	6 006 (273)	5 698 (259)	5 733 (273)	6 006 (273)	6 006 (273)

注：*、**和*** 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平显著；回归系数对应方括号中数值为标准误差,样本量对应括号中数值为观察个体数。

三、计量结果和解释

1. 基准结果和解释

表 2 基准估计结果中,方程(1)首先给出的是没有考虑二次项情况下的估计结果,变量 $rlexp$ 未通过显著性检验,这说明不考虑二次项的拟合无法有效揭示城市边界扩张的环境污染效应。加入二次项以后,方程(2)显示,不仅变量 $rlexp$ 的系数在 1% 水平显著为负,相应平方项 $rlexp^2$ 系数也在 1% 水平显著为正,这说明城市边界拓展的环境污染效应是非线性的。在加入变量 $rlexp$ 二次项后,方程的拟合度也有了显著提升。然而,Lind 等指出,仅仅根据二次项显著即得出两个变量存在非线性关系是不精确的,甚至是错误的^[34]。因为一旦真正的关系是凸性且单调的,二次项模型设定将错误地产生一个极值点和一个 U 形关系。进一步采用精确判断 U 形关系是否存在的检验方法。结果表明,变量 $rlexp$ 的极值点为 6.184,出现在区间范围[0.001, 11.691]。给定 U 形关系判定对应的 T 值为 3.04,这在 5% 水平拒绝了零假设(H_0 :单调递增或单调递减)。此外,非线性模型的斜率判断在临界点左侧显著为负,在右侧显著为正,该检验结果进一步证实我国城市边界扩张与环

境污染存在 U 形关系。基于计量检验得出 U 形结构的显著成立,这一方面证实了图 5 量化关系考察中的判断;另一方面,该非线性作用规律表明我国城市边界扩张在初期阶段主要通过缓解城区人口过度集中和交通拥堵问题,以及通过企业和产业部门的空间布局优化,尤其是向城市边界拓展区域的搬迁和开发区集中,改善城市环境污染状况。然而,城市边界扩张存在最佳规模,即存在环境污染效应“拐点”。当城市边界扩张超过城市人口规模增长和产业发展实际需要和社会生态系统承载能力的时候,就可能导致城市蔓延潜在风险,进而加剧城市环境污染^[35]。特别地,当城市边界扩张构成地方政府土地财政的主要手段之一,以及城市边界拓展区域存在相对较低环境规制和环境监管下,大量污染性产业将会加快从其他地方迁移至此,最终加剧城市边界拓展的环境污染效应。

表 2 中方程(3)剔除城市边界拓展前 5% 城市样本,城市边界扩张对环境污染作用的 U 形结构关系依然成立。鉴于城市边界拓展可能存在的滞后污染效应,方程(4)将核心解释变量的滞后一期纳入计量模型,结果依然稳健。方程(2)至(4)主要以城市 SO₂ 排放情况作为考察环境污染的实际对象,该类污染物主要由工业生产中煤和石油的燃烧所致,但其只不过是城市化发展中的代表性环境污染类型之一。比较而言,PM2.5 主要由汽车尾气、化石燃料燃烧、垃圾焚烧的转化以及道路和施工扬尘、工业粉尘等人为因素所致。为了避免环境污染物

主观选择导致的拟合结果偏差,同时也为了更全面地考察城市化进程中来自生产和生活两个主要但存在明显差异领域的环境污染,方程(5)将被解释变量替换为城市 PM2.5 水平。变量 *rlexp* 在 1% 水平通过显著性检验且仍然为负,同时其二次项也在 1% 水平显著为正^①。方程(6)将解释变量替换为城市边界拓展的绝对水平,U 形结构关系依然在 5% 通过了显著性检验。

控制变量影响方面,城市经济规模(*scale*)和工业化进程(*struct*)作用大多在 1% 水平通过显著性检验且为正,这两个因素主要加剧城市环境污染。人口密度(*dpop*)对环境污染影响大多在 1% 水平显著为负,说明人口密度增强有助于环境改善:一方面是因为人口密度越高,人们的环境意识和环境重视程度越高;另一方面是因为人口密度增加会通过规模效应和技术效应倒逼城市环境治理能力提升^[7]。外商直接投资体现的城市开放度(*fdi*)作用在多数方程表现为环境改善作用。

2. 分类比较和解释

鉴于总体样本估计无法揭示异质性条件下城市扩张的环境污染效应,分类比较重点结合城市等级规模和区域发展阶段异质,对分组样本进行考察。首先,城市等级异质下的分类比较结果(表 3)表明,城市边界扩张的环境污染效应主要在针对三、四线城市样本的考察中通过显著性检验。其中,变量 *rlexp* 一次项在 5% 水平依然显著为负,这首先还是肯定了三、四线城市边界拓展有利于缓解环境污染;同时,二次

表 3 异质样本的分类回归结果

方程	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
组别	一、二线城市	三、四线城市	东部城市	中部城市	西部城市
<i>rlexp</i>	-0.0126 [0.0113]	-0.0136** [0.00609]	-0.00897*** [0.00355]	-0.0156** [0.00674]	-0.0399*** [0.0015]
<i>rlexp</i> ²	-0.00064 [0.000426]	0.00113*** [0.000487]	0.000714*** [0.00024]	0.00131** [0.00046]	0.00349*** [0.00086]
控制变量	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
R ²	0.672	0.338	0.402	0.549	0.210
样本量	1144(52)	4862(221)	2222(101)	2486(113)	1298(59)

注: *、** 和*** 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平显著;回归系数对应方括号中数值为标准误差,样本量对应括号中数值为观察个体数。

①替换被解释变量为粉尘排放量,对应拟合结果中变量 *rlexp* 二次项系数仍然在 10% 水平显著为正,表明 U 形关系成立。

项 r_{lexp}^2 系数依然在 1% 水平显著为正,表明城市边界拓展的环境污染效应是非线性的。较之一、二线城市,我国三、四线城市边界拓展前的城市绝对规模相对偏小,城市边界扩张的环境改善效应更容易表现出来。但是,三、四线城市原有较小的核心城区空间规模也决定其更容易出现相对边界扩张过度,进而更容易越过 U 形结构的拐点,进而导致城市边界扩张的环境污染效应。特别地,以工业用地为载体城市土地对外扩张构成三、四线城市边界较快扩张的主要类型。最终,在相对宽松的环境规制、我国土地财政和利用土地招商引资竞争策略的共同影响下,三、四线城市的加速向外土地扩张大多伴随污染产业的迁入——城市边界扩张区域更主要成为外资企业和国内一、二线城市转移污染性产业的“污染天堂”^[36]。我国东、中、西三大区域分组回归结果亦证实,城市边界扩张有助于降低环境污染,但是因为存在明显的 U 形关系,过度扩张则会导致城市污染加剧。研究通过进一步计算发现,三大区域 U 形结构关系的拐点值依次为 6.28, 5.95 和 5.72,这表明我国中、西部区域城市边界拓展更容易越过环境污染效应拐点而表现为不利影响。这也印证了图 4 揭示的规律,即我国中、西部区域城市边界拓展的绝对程度明显低于东部区域城市,但是其平均污染排放水平几乎持平于东部城市。

四、结 语

探讨以城市内部非建成区土地拓展为主要形式的城市边界扩张及其存在的环境污染效应,这不仅丰富了既有侧重城市整体空间拓展或者城市总人口规模乃至人口密度体现的城市化发展视角的研究,更丰富了落脚于城市内部空间形态差异或者内部板块功能差异视角的探讨。城市边界扩张的环境污染效应不仅存在,而且主要呈现 U 形关系特点。城市边界扩张只是在突破拐点以后,才会明显加剧城市环境污染。这一发现有两层含义:其一,城市边界向外拓展在没有越过拐点或者说城市边界相对扩展有限情况下,还是有助于降低城市污染水平;其二,城市内部核心区域空间范围越大,城市边界扩张越过拐点的可能性越低,进而其更能够

发挥环境改善作用。突破围绕地级市的全样本考察,也异于侧重个别区域或者具体城市的论证,本研究实证考虑到我国城市发展阶段和规模等级差异,同时揭示了城市边界扩张污染效应的空间异质性。例如,由于一、二线城市核心建成区空间规模较大且发展质量较高,这使得其城市边界扩张相对不易越过环境污染效应拐点而表现为显著不利作用。当然,一、二线城市边界向外扩张也没有明显表现出环境污染改善效果。不同于此,我国三、四线城市既有核心建成区规模相对不大。在经济追赶目标驱使、地方土地财政和相对较低环境规制下,这些城市土地扩张更容易突破环境污染效应 U 形关系的拐点,最终加剧当地环境污染。城市边界拓展环境污染效应的区域异质性作用特征同样在东、中、西部地区分类比较中得到证实。相对东部区域城市,中西部区域城市边界扩张的环境污染效应更易出现。

围绕研究结论,政策启示主要有如下两点:一方面,较之城市边界拓展的环境改善作用,更应重视其环境污染效应。我国房地产业的市场化改革和土地财政带来的地方经济发展激励效应以及经济发展必然会经历污染性增长阶段的一般规律,这些因素驱使我国在过去二十多年经历了中高速城市化,尤其是城市边界的过度扩张。因此,限制城市边界的过度扩张,这对缓解我国城市化进程的环境污染效应至关重要。我国一、二线城市可以在保持适度城市空间向外拓展基础上,重点优化拓展空间各类功能布局并加强与原核心城区的整合。对于大多数三、四线城市,不仅要提高城市边界向外扩张的门槛,尤其是限制无序扩张,更要对近年来过度扩张区域加强综合治理。例如,人口密度的提升能够削弱城市环境污染状况,甚至通过倒逼环境治理能力的提升,促进城市环境质量的改善。我国持续推进以农村人口市民化为特征的人口城市化发展,并且其仍具有较大的增长空间。同步区域人口空间承载能力的拓展和人口承载质量的优化,由此可以提升公众亲环境认可度。我国人口跨地区更加频繁流动带来的冲击同样需要重视,特别是存在严重人口外流的城市,在加强这类城市土地边界过度扩张规制的同

时,建议加快推进本地周边乡镇人口的城市落户,理性看待并允许城市由空间拓展向适度收缩转变。更重要的是,优化城市存量人口的空间布局并增强人地空间耦合程度。

另一方面,采取针对性措施,降低城市边界向外扩张越过环境污染效应拐点的可能性的同时,减缓其越过污染效应拐点的不利影响。特别是对仍然存在较强依托城市边界扩张带动地方经济增长倾向的中西部地区城市以及我国大量三、四线城市,更需要加强城市边界拓展过程中扩张区域的环境规制,尤其污染性产业入驻的环境规制,同时加强城市边界拓展带来经济收益对拓展区域环境污染的多渠道补偿。例如,在精准了解城市拓展区域污染性企业数量和产业构成及其规模基础上,可以考虑将这些污染因素纳入城市未来土地规划审批的负面清单,通过将潜在污染因素内置于城市边界拓展社会经济综合效应评估体系,为优化决策提供支撑。

参考文献:

- [1] WU J, GUO Q, HEWINGS G J D. Land regulating economy as a policy instrument in urban China[J]. *Cities*, 2019, 94(11): 225-234.
- [2] IWASAKI Y. Shrinkage of regional cities in Japan: analysis of changes in densely inhabited districts [J]. *Cities*, 2021, 113(6): 103168.
- [3] DENG H, ZHANG K, WANG F, et al. Compact or disperse? Evolution patterns and coupling of urban land expansion and population distribution evolution of major cities in China, 1998—2018 [J]. *Habitat International*, 2021, 108(2): 102324.
- [4] LI Z, LUAN W, ZHANG Z, et al. Relationship between urban construction land expansion and population: economic growth in Liaoning Province, China[J]. *Land Use Policy*, 2020, 99(12): 105022.
- [5] SHEN J, CHEN C, YANG M, et al. City size, population concentration and productivity: evidence from China[J]. *China and World Economy*, 2019, 27(1): 110-131.
- [6] WEI Y D. Zone fever, project fever: development policy, economic transition, and urban expansion in China [J]. *Geographical Review*, 2015, 105(2): 156-177.
- [7] LUO J, XING X, WU Y, et al. Spatio-temporal analysis on built-up land expansion and population growth in the Yangtze River Delta Region, China: from a coordination perspective [J]. *Applied Geography*, 2018, 96(2): 98-108.
- [8] FURBERG D, BAN Y F. Satellite monitoring of urban sprawl and assessment of its potential environmental impact in the Greater Toronto Area between 1985 and 2005 [J]. *Environmental Management*, 2012, 50(6): 1068-1088.
- [9] 郭施宏,高明,吴雪萍. 经济发展、城市扩张与空气污染[J]. *财经问题研究*, 2017(9): 114-122.
- [10] ARDIWIJAYA V S, SOEMARDI T P, SUGANDA E, et al. Bandung urban sprawl and idle land: spatial environmental perspectives [J]. *APCBEE Procedia*, 2014, 10: 208-213.
- [11] 王连芬,张静蕊. 中国城市化对环境质量影响的空间计量分析 [J]. *统计与决策*, 2018(11): 86-89.
- [12] 翁智雄,马忠玉,葛察忠,等. 多因素驱动下的中国城市环境效应分析——基于 285 个地级及以上城市面板数据[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017(3): 63-73.
- [13] 邓翔,张卫. 大城市加重地区环境污染了吗? [J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2018(1): 36-44.
- [14] 毛德凤,彭飞,刘华. 城市扩张、财政分权与环境污染——基于 263 个地级市面板数据的实证分析[J]. *中南财经政法大学学报*, 2016(5): 42-53.
- [15] 王家庭,王璇. 我国城市化与环境污染的关系研究——基于 28 个省市面板数据的实证分析[J]. *城市问题*, 2010(5): 9-15.
- [16] 陈阳,唐晓华. 制造业集聚和城市规模对城市绿色全要素生产率的协同效应研究 [J]. *南方经济*, 2019(3): 71-89.
- [17] 赵春明,潘细牙,李宏兵,等. 私人交通、城市扩张与雾霾污染——基于 65 个大中城市面板数据的实证分析[J]. *财贸研究*, 2020(10): 20-29.
- [18] BART I L. Urban sprawl and climate change: a statistical exploration of cause and effect, with policy options for the EU [J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 283-292.
- [19] FALLAH B N, PARTRIDGE M D, OLFERT M R. Urban sprawl and productivity: evidence from US metropolitan areas[J]. *Papers in Regional Science*, 2011, 90(3): 451-472.
- [20] 王家庭,臧家新,卢星辰,等. 城市私人交通和公共交通对城市蔓延的不同影响: 基于我国 65 个大中城市面板数据的实证检验 [J]. *经济地理*, 2018(2): 74-81.
- [21] SONG Y, CHEN B, KWAN M P. How does urban expansion impact people's exposure to green environments? A comparative study of 290 Chinese cities[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 246(10): 119018.
- [22] HIEN P D, MEN N T, TAN P M, et al. Impact of

- urban expansion on the air pollution landscape: a case study of Hanoi, Vietnam [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 702: 134635.
- [23] 刘伯龙,袁晓玲,张占军. 城镇化推进对雾霾污染的影响——基于中国省级动态面板数据的经验分析[J]. *城市发展研究*, 2015(9): 23-27.
- [24] 杨冕,程燕,李强道. 城镇化对雾霾污染的影响研究——基于中国 285 个地级市的实证检验[J]. *江南大学学报(人文社会科学版)*, 2022(4): 26-39.
- [25] LUO K, LI G D, FANG C L, et al. PM_{2.5} mitigation in China: socioeconomic determinants of concentrations and differential control policies [J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 213(1): 47-55.
- [26] EWING R, PENDALL R, CHEN D. Measuring sprawl and its transportation impacts [J]. *Transportation Research Record*, 2003, 1831: 175-183.
- [27] GLAESER E L, KAHN M E, RAPPAPORT J. Why do the poor live in cities? The role of public transportation [J]. *Journal of Urban Economics*, 2008, 63(1): 1-24.
- [28] ZHANG C, MIAO C, ZHANG W, et al. Spatiotemporal patterns of urban sprawl and its relationship with economic development in China during 1990—2010 [J]. *Habitat International*, 2018, 79(2): 51-60.
- [29] 陆铭,冯皓. 集聚与减排:城市规模差距影响工业污染强度的经验研究[J]. *世界经济*, 2014(7): 86-114.
- [30] LOPEZ R, HYNES H P. Sprawl in the 1990s: measurement, distribution, and trends [J]. *Urban Affairs Review*, 2003, 38(3): 325-355.
- [31] FENG Y C, WANG X H, DU W C, et al. Spatiotemporal characteristics and driving forces of urban sprawl in China during 2003—2017 [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 241: 118061.
- [32] SONG X Q, FENG Q, XIA F Z, et al. Impacts of changing urban land-use structure on sustainable city growth in China: a population-density dynamics perspective [J]. *Habitat International*, 2021, 107: 102296.
- [33] 李小平,卢现祥. 国际贸易、污染产业转移和中国工业 CO₂ 排放[J]. *经济研究*, 2010(1): 15-26.
- [34] LIND J T, MEHLUM H. With or without u? The appropriate test for a U-shaped relationship [J]. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 2010, 72(1): 109-18.
- [35] 秦蒙,刘修岩,仝怡婷. 蔓延的城市空间是否加重了雾霾污染:来自中国 PM_{2.5} 数据的经验分析[J]. *财贸经济*, 2016(11): 146-160.
- [36] 刘晨跃,徐盈之. 城镇化如何影响雾霾污染治理? ——基于中介效应的实证研究[J]. *经济管理*, 2017(8): 8-25.

(收稿日期:2022-10-22 编辑:高虹)

Environmental Pollution Effect of Urbanization: An Empirical Study Based on Urban Boundary Expansion/GAO Yongxiang (School of Business, Jinling Institute of Science and Technology, Nanjing 210069, China)

Abstract: The outward urban land expansion of the non-core areas within a city, which is a typical characteristic of China's urbanization during the past two decades, complicates the environmental pollution effect of urbanization. Based on the panel data of 273 prefecture-level cities in China from 1997 to 2020, this paper explores the environmental pollution effect and the regional heterogeneous environmental impact of urbanization process from the perspective of urban boundary expansion reflected by the non-built-up urban regions. The results show that the environmental pollution effect of urban boundary expansion shows a U-shaped relationship, that is, urban boundary expansion is helpful to reduce environmental pollution in the initial stage; however, excessive boundary expansion is significantly detrimental to environmental improvement. In particular, urban boundary expansion is comparatively easy to cause environmental pollution effect in third- and fourth-tier cities and cities in central and western China. Given the heterogeneous environmental pollution impacts caused by urban boundary expansion, we suggest that high-tier cities could maintain moderate boundary expansion by optimizing the spatial layout of various functional units for the newly expanded urban region and enhancing the integration with the early core urban areas. In contrast, we suggest prohibiting the disorderly expansion of low-tier cities and enhancing comprehensive management of the expanded areas. Moreover, given the U-shaped relationship between urban boundary expansion and environmental pollution, we suggest lowering the possibility of going across the inflection point and mitigating the adverse pollution effect through enhanced population-land spatial coupling, strict environmental regulations, and multi-channel compensation.

Key words: urbanization; boundary expansion; pollution effect; U-shaped relationship; heterogeneous effect