

中国城市土地城镇化多层级影响因素分析

张凯煌¹, 千庆兰¹, 杨青生²

(1. 广州大学地理科学学院, 广州 510006; 2. 广东财经大学地理与旅游学院, 广州 510320)

摘要: 土地城镇化是地理学与土地科学交叉的核心研究领域。随着中国城镇化水平不断提升, 土地城镇化作为城镇化在空间的具体体现, 已经成为学者和政府共同关注的焦点。土地城镇化受到省、市多层面因素影响, 单一层面的影响因素并不能完全有效解释中国特殊行政体系下的多层级关系。本文采用熵值法对中国省、市两个层面影响因素的不同指标进行客观赋权, 建立两层线性模型, 对2005年和2016年全国102个具有代表性的城市土地城镇化影响因素进行实证研究。结果表明: ① 市级层面, 2005年要素投入和公共服务是影响城市土地城镇化的主要因素, 其中以要素投入最重要。2016年经济发展水平成为最关键的影响因素, 要素投入、公共服务、人口集聚对土地城镇化的影响程度依次降低。② 省级层面, 区域经济发展水平差异是土地城镇化的主要影响因素。政府资源保护态度、生态和农业资源与市级因素以及城市建成区面积呈显著负相关。根据区域所处发展水平的不同, 政府开发态度、地理区位与市级因素存在复杂的影响关系。③ 1978年改革开放以来, 中国土地城镇化是工业化和城镇化共同作用的结果, 土地城镇化进程逐步由政府主导转向经济驱动。多层级土地城镇化研究, 可以更好地解析不同层面影响因素对土地城镇化水平影响机制和跨级关系, 为更合理精准的城镇化政策制定提供理论依据。

关键词: 土地城镇化; 多层级; 影响因素; 经济驱动; 资源保护; 中国

DOI: 10.11821/dlxb202001013

1 引言

土地城镇化, 是指某一区域城镇化过程中土地利用由农村形态向城镇形态转化的过程^[1]。作为地理学、土地科学和城市规划等多学科的交叉领域^[2], 研究土地城镇化有助于加深对城镇化在空间形态变化上的理解, 进而为城市发展提供更加实际的决策依据^[3]。

自20世纪80年代以来, 中国城市数量不断增加, 城市建成区面积日益扩大, 土地城镇化水平不断提升。根据《中国城市统计年鉴》, 截至2016年底, 中国城市建成区面积为54331.47 km², 相比1984年增长了614.47%, 年均增长8.6%。在土地快速扩张背景下, 土地城镇化的相关研究引起学界重视。国内外学者主要从扩张的空间特征^[4-5]、模式^[6-7]及其影响因素^[8]等方面对土地城镇化展开相关研究, 并取得了大量成果。目前, 在土地城镇化影响因素上, 国内外学者分别从城市层面^[8-10]和区域层面^[11-13]展开, 在城市层面的影响因素上, 认为人口规模^[14]与经济增长^[9]是主要原因。也有学者关注到了环境^[10]、政治和政策因素^[10]对土地城镇化的影响。在区域层面中, 工资水平的区域差异被认为能够有效解

收稿日期: 2018-11-05; 修订日期: 2019-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771127) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41771127]

作者简介: 张凯煌(1996-), 男, 广东广州人, 硕士生, 研究方向为经济地理与区域发展。E-mail: KH819@outlook.com

通讯作者: 千庆兰(1970-), 女, 吉林吉林人, 教授, 硕士生导师, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: Qianlynn@21cn.com

读区域内城市的用地面积扩张^[12-13]。此外,社会经济发展水平、产业结构、政治制度、公共服务条件和空间因素被认为是主要的影响因素^[7, 12]。在统计方法选择上,回归分析^[15]是最主要的研究方法,多元线性回归、Logistic回归,结构方程模型、系统动力学是常用的分析方法^[2]。目前,国内学者对于土地城镇化的多层级影响因素的研究还不多见,仅有为数不多的几篇文献,如叶青青等对湖北省建设用地集约利用程度进行了多层线性模型分析,得出人口密度和城镇化率是县域的主要影响指标,财政收入和二、三产业比重是市域的主要影响指标^[16]。

综上所述,在城市和区域层面,普遍认为人口集聚程度、经济发展水平、产业结构、要素投入、城市吸引力(包括劳动者工资和公共服务条件)、政府的政策制度和地理区位是影响土地城镇化的主要因素。目前,传统的分析方法集中关注对单一层级的研究,即主要针对所属研究单元内的影响因素对土地城镇化的影响,较少既研究所属单元影响因素,同时又考虑到上级行政单元对其土地城镇化的影响。实际上,由于中国存在特殊的行政体制,省级行政决策部门会对市级层面的土地城镇化水平产生重要影响。因此探究这种多层级的影响,是研究中国特色土地城镇化的新课题。

本文对2005年和2016年全国102个具有代表性的城市土地城镇化影响因素展开实证研究。由于影响因素众多且复杂,采用单一指标难免“以偏概全”,故本研究分为省、市两级,结合前人相关研究成果,按照影响因素指标内涵,分别进行省、市不同层面的指标选取。在市级层面,我们选取涵盖人口集聚、经济发展、要素投入、公共服务等的9项影响因素指标;在省级层面,集中选取反映政府开发态度、政府资源保护态度、生态资源、农业资源、地理区位等的14项影响因素指标。由于不同指标在不同层面的影响因素中发挥的作用不同,为避免赋权的主观性,通过熵值法对不同层次的影响因素进行客观赋权,建立两层线性模型,旨在更好地解析省级与市级层面影响因素对城市土地城镇化水平及其变化的影响机制和跨级关系。

2 研究假设、数据与方法

2.1 研究假设及指标选取

参考已有的国内外相关研究成果,结合中国土地城镇化的实际,并考虑指标的可获得性,本文分省、市两个层面进行中国土地城市化影响因素指标选取(表1)。由于中国特殊的制度环境,在考虑省级层面的土地城镇化影响因素时,除了反映区域整体资源环境外,侧重政府决策意志对市级层次的影响作用;社会经济因素对城市建设影响更为直接,因此,我们在市级层面对该类指标进行重点分析。

2.1.1 市级层面的影响因素假设

(1) 人口集聚。由经济发展带来大量外来人口,让城市住宅区建设走向繁荣,进而带来土地利用向城市土地利用类型的快速转变。随着人口的增长,城市所容纳人口的空间也相应膨胀^[17-18]。因此,一般来讲,人口越密集的城市,其建成区面积越大。

综上,提出假设1:人口集聚水平与城市建成区面积正相关。

(2) 经济发展。已有研究认为,经济发展是建成区建设的主导因素^[19]。快速的经济不仅带来产业结构的转变,同时也带来工业、服务业的规模扩张,创造大量的就业机会,吸引非农人口向城市集聚,促使城市特别是具有外向型经济特点的城市土地利用快速扩张。因此,城市经济发展水平越高的地方,建成区面积越大,其增长速度也越大。

综上,提出假设2:城市的经济发展水平与建成区面积正相关。

(3) 要素投入。经济发展需要配备大量的基础设施,新的工业、服务业的出现带来了用地的需求,加上大量的住宅区建设,都对资本要素的投入提出了高需求^[20]。因此,一般来讲,资本要素投入越高的地方,建成区面积越大,其增长速度也越大。

综上,提出假设3:要素投入与城市建成区面积正相关。

(4) 公共服务。中国长期存在城乡二元户籍制度,导致公共服务出现城乡差异。不同城市之间也存在公共服务设施条件的差异^[21]。因此,具有较高水平的公共服务条件的城市是乡村居民或其他城市的居民的首选迁入地区。

综上,提出假设4:公共服务水平与建成区面积正相关。

2.1.2 省级层面的影响因素假设

(1) 政府开发态度。政府对土地开发的态度一定程度上反映政府对社会经济的支持程度^[22]。一般而言,城市所处区域对土地扩张的态度越开放、政策越宽松,城市经济发展越快,人口集聚程度越高,要素投入就越大,公共服务水平便越高,城市建成区的面积扩张就会越快。

综上,提出假设5:政府对土地城镇化的态度与人口集聚、经济发展、要素投入、公共服务、建成区面积正相关。

(2) 政府资源保护态度。随着城镇化水平的不断推进,大量的城市土地挤占自然生态环境空间,部分产业直接对自然环境产生破坏性影响^[23]。因此,出台严格的区域生态保护政策,这不仅是对人口集聚、经济发展、要素投入的控制,更是抑制建成区面积肆意扩张、提高城市人均绿地面积的有效方式。

综上,提出假设6:

假设6a:生态、农业保护政策与人口集聚、经济发展、要素投入和建成区面积负相关。

假设6b:生态、农业保护政策与公共服务正相关。

(3) 生态资源。生态资源是土地城镇化的潜在吸引要素。生态资源丰富的地区,其对生态资源匮乏地区的吸引力大,充足的淡水资源可以满足城市的生产生活需要,丰富的森林资源则有益于居民的身心健康。生态资源水平较好的地区,人口集聚、经济发展水平较高,容易吸引要素投入,并伴有良好的公共服务条件,从而增加建成区面积^[24]。

综上,提出假设7:生态资源的丰富程度与人口集聚、经济发展、要素投入、公共服务、建成区面积正相关。

(4) 农业资源。农业的生产力水平是城市形成的第一前提^[25]。充足的粮食生产量,带来人口规模的增长,并转化为非农劳动力,提高经济发展水平,带动要素的投入,影响公共服务的水平,从而对区域内部的城市建成区规模产生积极作用,即农业资源越丰富的地区,城市化水平越高。

综上,提出假设8:农业资源的丰富程度与人口集聚、经济发展、要素投入、公共服务、建成区面积正相关。

(5) 地理区位。中国的东、中、西部以及东北地区存在明显的地区差异。在不同的区域地形条件影响下,城市土地城镇化水平呈现出空间差异。地理区位条件好的区域,其人口、经济、公共服务水平都处于较高的水平,要素投入的规模较大,建成区的面积增长更大^[26]。

综上,提出假设9:地理区位的优越程度与人口集聚、经济发展、要素投入、公共服务、建成区面积正相关。

2.2 研究数据

由于土地城市化受行政区域变更影响存在较大波动,因此采用城市建成区面积作为

表1 土地城镇化影响指标的选取及其说明

Tab. 1 Variables of land urbanization

层级	一级变量	二级指标	单位	属性	含义
市	土地城镇化	-	km ²	-	土地城镇化水平
	人口集聚	人口密度	人/km ²	正	城市人口集聚水平
	经济发展	城镇人均可支配收入	元	正	城市居民生活水平
		人均GDP	万元/人	正	城市经济发展水平
	要素投入	非农产业占比	%	正	城市非农产业发展水平
		地均固定资产投资	万元/km ²	正	城市要素投入强度
		道路面积	km ²	正	城市要素投入强度
	公共服务	义务教育阶段生均教师数	个/百人	正	城市教育供给水平
		每万人医疗床位	床/万人	正	城市医疗供给水平
		人均公园绿地	m ² /人	正	城市环境质量水平
省	政府开发态度	土地出让金占财政收入比	%	正	政府对土地城镇化的财政依赖程度
		建筑企业税金占利润总额比	%	负	政府对建筑企业的抑制程度
		建设用地总规模*	%/年	正	政府对城市土地扩张的积极态度
	政府资源保护态度	耕地保有量*	%/年	负	政府对城市土地扩张的态度
		基本农田保护面积*	10 ⁴ hm ²	负	政府对耕地保护的强度
		自然保护区面积	%	负	政府对生态环境的保护态度
	生态资源	人均水资源	m ³ /人	正	区域水资源的丰富程度
		人均森林资源	m ² /人	正	区域森林资源的丰富程度
	农业资源	人均耕地资源	m ² /人	正	区域耕地资源的丰富程度
		人均粮食	kg/人	正	区域粮食资源的丰富程度
人均牛奶		kg/人	正	区域乳类产品的丰富程度	
人均肉类		kg/人	正	区域肉类产品的丰富程度	
地理区位	海拔	m	负	区域的地形地势	
	所处区域	-	正	区域所处的区位条件	

注：*指标来源于《全国土地利用总体规划纲要(2006-2020年)(调整后)》。

城市土地城镇化的衡量指标。城市建成区面积数据来自《中国城市建设统计年鉴》，相关的社会经济数据、资源环境数据来自《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《全国土地利用总体规划纲要(2006—2020年)》以及各相关省市统计年鉴。

本文的研究对象分为市级与省级两层。根据城市的人口规模^①、经济发展水平^②、城市的区域代表性^③与样本的区域分布，选取除港澳台外的31个省、市、自治区的102个城市(其中东部地区43个城市、中部地区28个城市、西部地区22个城市以及东北地区9个城市)作为研究样本。

2.3 研究方法

2.3.1 熵值法 熵值法能够有效进行客观赋权并消除主观选择的不利影响，因此在人文社

① 选取2016年人口规模大于300万的城市。根据2014年国务院印发的《关于调整城市规模划分标准的通知》，人口规模大于300万的城市I型大城市。

② 选取2016年人均国民生产总值达到3896美元及以上水平的城市。根据世界银行在2015年发布的最新标准，3896美元及以上的国家或地区被定义为中高收入经济体。汇率以2015年年底的人民币兑美元(6.3元人民币为1美元)进行换算。相关链接：https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519#High_income

③ 如拉萨人口规模仅60.12万人，但是由于其是西藏省会，故将其计入。

科领域应用广泛^[27]。相比于主成分不稳定的因子分析法^[28-29],熵值法能够保证变量的统一,避免出现不同年份出现不同变量的问题。本文选用熵值法作为指标客观赋值的方法。分析步骤如下:

(1) 标准化数据

正向指标:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min[X_j]}{\max[X_j] - \min[X_j]} \quad (1)$$

负向指标:

$$X'_{ij} = \frac{\max[X_j] - X_{ij}}{\max[X_j] - \min[X_j]} \quad (2)$$

式中: X'_{ij} 为标准化后的结果值; X_{ij} 表示第 i 个样本城市的影响因素 j 的值; $\max[X_j]$ 为影响因素 j 中的最大值; $\min[X_j]$ 为影响因素 j 中的最小值。

(2) 信息熵及其权重计算

信息熵计算:

$$E_j = -K \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, \quad K = \ln n^{-1}, \quad p_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1; j=1}^n X_{ij}} \quad (3)$$

式中: 假定 $p_{ij} = 0$, 则定义 $E_j = 0$; n 为城市的样本数。

权重计算:

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^k D_j}, \quad D_j = 1 - E_j \quad (4)$$

式中: D_j 反映所选影响因素之间的差异性程度,即数据差异性程度越高, D_j 就越大,在变量中的权重也就越大。当 $D_j = 0$ 时,变量的数据完全相等,差异性最小。

2.3.2 多层线性模型 在社会科学领域上的研究中,研究数据往往存在多层级的结构。多层线性模型,又称分层线性模型,是通过回归的回归,是实现分析具有嵌套结构特征数据的一种分析方法,在模型中,不同脉络的回归系数不同。在两层模型中,第二层的变量能对第一层的回归系数进行解释^[30-31]。传统的分析方法,如AHP法,其定性研究成分偏多且无法对不同层次的影响因素进行解释,更多的是对不同变量的归一化处理并对单一层面的变量进行分析^[28];而传统的线性回归模型也仅能研究单一层面的影响因素,并且方式单一^[31-32]。

因此,相比于上述方法,多层线性模型的优势表现在前提假设、参数估计以及跨级研究等方面:①多层线性模型不要求满足随机误差满足方差齐性且独立的前提假设;②可以通过多种方法进行参数估计,使模型更加吻合观测数据;③多层线性模型可以应用于研究不同层级因素之间的跨级作用。

利用多层次模型对城市建成区面积作研究时,对城市层面进行双重嵌套,建立两层线性回归模型,本文中,第一层模型用来研究市级影响因素对城市建成区面积的作用结果,第二层模型探索省级影响因素对城市建成区面积的影响及其与市级层面影响因素之间的作用结果。具体形式如下:

第一层:

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} W_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (5)$$

第二层:

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}X_j + r_{0j} \quad (6)$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11}X_j + r_{1j} \quad (7)$$

式中: i 与 j 表示城市与省份, 被解释变量 Y_{ij} 表示第 j 个省份内的城市 i 的建成区面积; W_{ij} 表示 j 省份中的城市 i 的建成区面积的市级影响因素; β_{0j} 和 β_{1j} 分别表示样本城市1受所处省份 j 所影响的建成区面积的截距项和斜率; X_j 表示省级层面对城市建成区面积产生影响的因子; 截距 γ_{00} 和 γ_{10} 代表省级影响因素对城市总体土地城镇化水平的作用大小; 斜率 γ_{01} 和 γ_{11} 代表省级影响因素对市级影响因素的跨级作用。

本文采用限制性最大似然估计 (Restricted maximum likelihood, REML) 对模型进行参数估计, 相比于极大似然估计法, REML法通过一个特殊矩阵对数据进行处理, 以消除剩余变量, 得到一个无偏的参数估计结果^[33]。

3 结果分析

应用熵值法, 本文对2005年和2016年市级与省级的23项指标, 共计4692个原始数据进行计算, 得出相应数值和不同变量下指标所占权重。表2给出了指标所占权重结果。

从指标占变量内的权重来看, 在市级变量中, 经济发展的指标权重排序为人均

表2 2005年和2016年各指标的熵值法分析结果
Tab. 2 The result of entropy analysis of factors in 2005 and 2016

级	一级变量	二级指标	2005年		2016年	
			冗余度	变量内权重	冗余度	变量内权重
市	人口集聚	人口密度	0.051	1	0.055	1
		经济发展				
	要素投入	城镇人均可支配收入	0.054	0.382	0.033	0.240
		人均GDP	0.077	0.548	0.091	0.662
		非农产业占比	0.010	0.069	0.014	0.098
		地均固定资产投资	0.039	0.334	0.039	0.338
	公共服务	道路面积	0.110	0.656	0.105	0.637
		义务教育阶段生均教师数	0.018	0.110	0.021	0.125
		每万人医疗床位	0.060	0.301	0.038	0.249
		人均公园绿地	0.140	0.599	0.116	0.651
省	政府开发态度	土地出让金占财政收入比	0.056	0.482	0.042	0.518
		建筑企业税金占利税总额比	0.018	0.154	0.018	0.222
		建设用地指标	0.042	0.365	0.021	0.260
	政府资源保护态度	耕地指标	0.013	0.174	0.013	0.488
		基本农田保护面积	0.057	0.745	0.011	0.394
		自然保护区面积	0.006	0.081	0.003	0.118
	生态资源	人均水资源	0.373	0.636	0.327	0.637
		人均森林资源	0.214	0.364	0.186	0.363
	农业资源	人均耕地资源	0.054	0.163	0.065	0.192
		人均粮食	0.034	0.103	0.049	0.144
		人均牛奶	0.210	0.636	0.198	0.584
		人均肉类	0.032	0.098	0.027	0.080
	地理区位	海拔	0.004	0.059	0.004	0.059
所处区域		0.062	0.941	0.062	0.941	

GDP>城镇人均可支配收入>非农产业占比;要素投入中道路面积发挥的作用相比地均固定资产更大;公共服务上,指标权重排序为人均公园绿地>每万人医疗床位>义务教育阶段生均教师数。在省级变量中,政府开发态度上,指标权重排序为土地出让金>建设用地指标>建筑企业税金占比;政府资源保护指标中,在2005年基本农田保护面积占比最大,为0.745,但是在2016年降至0.394,此时权重最大的是耕地指标,权重比例由0.174上升为0.488;生态资源中,人均水资源一直是影响变量的最大权重指标;农业资源中,人均牛奶占权重比例最大;地理区位中,所属区域是最大的影响指标,占比达0.941,反映地形的海拔指标几乎不产生影响。

从指标在两个年份的权重变化幅度上看,市级指标中,非农产业占比、城镇人均可支配收入、人均GDP三项变化幅度最大,而每万人医疗床位、义务教育阶段生均教师数有明显的变化。省级指标中,耕地指标、基本农田保护面积、自然保护区面积三者排名靠前,另外,建筑企业税金占比、人均粮食、建设用地指标、人均耕地资源、人均肉类都有比较大的变化。

本文使用多层线性模型对建成区面积的影响因素进行二层构建,对模型所得固定效应系数估计值进行市级、省级以及跨级分析。省级固定效应的系数反映了省级变量对市级变量的作用方向及强弱大小。

第一层全部解释变量获得显著性变量结果后,若在第二层的研究中引入全部变量将会导致第一层固定效应系数的显著性结果发生明显变化^[34],因此在本研究中将对第一层建立两个模型。第一个模型即全模型,模型将第一层中所有的变量纳入,得出的显著性变量组成第二个模型即最优模型。在最优模型的基础上建立第二层变量的全系数模型进行分析。相关描述性统计结果如表3与表4所示。

3.1 市级变量分析

如表5所示,最优模型当中,2016年的截距水平较2005年明显下降,说明城市建成区面积越来越与城市本身的条件相关,而省级层面对城市建成区的直接影响降低了。要素投入是城市建成区面积扩张的直接驱动力。2005年,要素投入的影响强度最大。要素投入当中,道路面积是关键指标,说明基础设施建设,尤其是对交通设施的投入,能够有效促进城市建成区面积的扩张。而这也与实际相吻合。但这种影响到2016年时急剧减弱,在一定程度上表明了要素驱动城市建成区面积扩张的模式发生了转变。

公共服务是影响城市建成区面积扩张的一个重要因素。公共服务与城市建成区面积之间有明显的正相关关系。公共服务与城市建成区面积水平之间相关性显著。良好的公

表3 2005年变量描述性统计结果

Tab. 3 Statistical result of variables in 2005 dataset

	变量	平均值	标准差	最小值	最大值
市级层次	人口集聚	0.20	0.16	0.00	1.00
	经济发展	0.29	0.20	0.02	0.89
	要素投入	0.20	0.13	0.03	0.68
	公共服务	0.16	0.12	0.02	1.03
省级层次	政府开发态度	0.44	0.19	0.05	0.74
	政府资源保护态度	0.38	0.17	0.12	0.94
	生态资源	0.03	0.10	0.00	1.00
	农业资源	0.18	0.10	0.03	0.97
	地理区位	0.65	0.37	0.00	1.00

表4 2016年变量描述性统计结果
Tab. 4 Statistical result of variables in 2016 dataset

	指标	平均值	标准差	最小值	最大值
市级层次	人口集聚	0.22	0.16	0.00	1.00
	经济发展	0.26	0.15	0.04	0.81
	要素投入	0.21	0.13	0.02	0.69
	公共服务	0.22	0.14	0.05	0.95
省级层次	政府开发态度	0.28	0.08	0.11	0.61
	政府资源保护态度	0.59	0.11	0.24	0.98
	生态资源	0.03	0.10	0.00	1.00
	农业资源	0.17	0.16	0.02	0.93
	地理区位	0.65	0.37	0.00	1.00

表5 2005和2016年中国建成区面积市级影响因素的模型结果
Tab. 5 The result of municipal factors influencing land urbanization in China in 2005 and 2016

市级	截距(面积初值)		人口集聚		经济发展		要素投入		公共服务	
	2005年	2016年	2005年	2016年	2005年	2016年	2005年	2016年	2005年	2016年
全模型	157.90***	25.18***	-113.44	83.87**	17.96	142.68***	1050.56***	116.71***	401.42***	137.70***
最优模型	157.90***	25.18***		83.87**		142.68***	974.17***	116.71***	444.93**	137.70***

注: ** $P \leq 0.05$, *** $P \leq 0.01$ 。

共服务是城市的竞争优势,优越的公共服务设施将会通过吸引人口的集中而实现城市建成区扩张。

经济发展水平逐渐成为影响城市建成区面积的主要推动力。2005年城市的经济发展水平对建成区面积的影响并不显著。但是这一情况在2016年发生了变化,并成为了影响城市建成区面积的最主要的动因。中国城市化较工业化相比明显滞后,体制转轨时期的工业化实际上是由城市化推动^[35]。要素投入带来中国城市建成区面积不断扩张,城市化水平不断提升,工业化水平逐步提高,城市经济发展取得长足进步。追求更高收入、更好居住条件的劳动力不断向城市转移,使得经济发展水平的差异成为了市级层面上建成区规模差异的主要原因,城市建成区面积的扩张模式转向了经济驱动。

人口集聚日益对城市建成区面积的扩张发挥重要作用。2005年城市的人口集聚程度对建成区面积的影响不太显著。但是在2016年,其表现出与城市建成区面积之间有很强的正相关关系。上面的讨论中,本文已经明确了经济发展水平与城市建成区面积之间的关系。一方面,在经济发展水平较高的地区,城市对土地利用的集约程度将会更高,人口密度更大。另一方面,由于经济发展水平高的城市有着更多的劳动机会、更高的劳动报酬、更好的公共服务设施,大量的人口集中分布于这些城市。高密度人口不仅是城市繁荣的表现,还通过带动房地产市场的需求,成为建成区面积扩张的重要影响因素。

3.2 省级变量及其跨级作用

3.2.1 省级变量的空间分异 为了更直观的分析省级变量之间的空间分布差异,将省级变量中政府开发态度、政府资源保护态度、生态资源以及农业资源的综合得分按自然间断点法进行分省、分年份的可视化表达(图1、图2)。地理区位变量由于受所属区域影响大,且不存在得分变化,故不将其得分进行对比分析。

2005年政府开发态度得分高、中高的省区主要集中在东部沿海各省以及四川、重

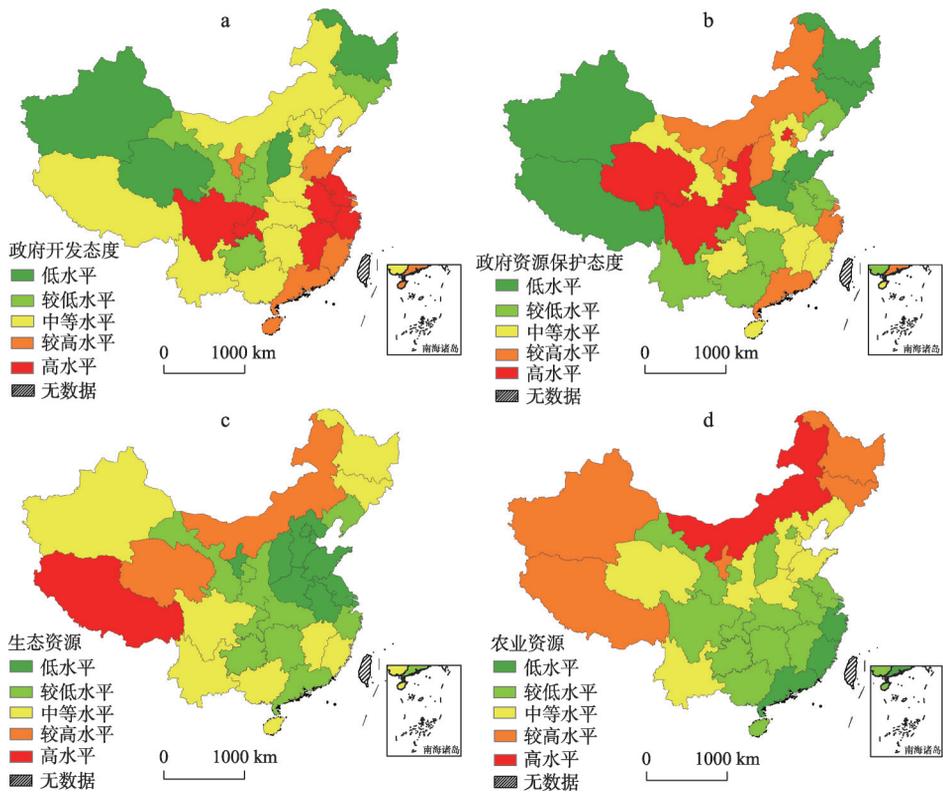


图1 2005年中国省级变量的区域差异

Fig. 1 Variables by province in China in 2005

庆、宁夏；政府资源保护态度得分较高集中在西部内陆各省，部分东部发达省市（北京、天津、上海、浙江、广东）亦处于中高水平；生态资源指标得分，西部地区明显优于东部地区；农业资源上，畜牧业发达的内蒙古自治区得分最高，农业发达的华北普遍得分处于中高水平上，东南沿海地区在该变量上的得分最低。

2016年与2005年相比，政府开发态度得分水平较高的省区都不同程度出现下滑，高水平的政府开发态度只剩下上海一市，绝大多数省份的开发态度处于中等水平；政府资源保护态度上，东部和中部地区在2016年的得分有较大改善，表现出越来越多的省份对资源保护的重视在提高；生态资源、农业资源在两年的对比中没有明显变化。

3.2.2 省级变量的跨级作用分析 政府开发态度对城市建成区面积起到重要影响，这种影响更集中地表现在2016年。研究发现，政府开发态度可以在某种程度上从侧面反映区域经济发展水平。在经济发展水平较高的区域，出于减少自然、社会环境问题的考量，政府倾向于抑制区域开发；而在经济发展水平较低的区域，则会对开发采取开放的态度，因此会进行更大规模的要素投入，这将对城市建成区面积产生积极作用。

政府资源保护态度对城市建成区面积具有显著的负面影响。2005年政府资源保护态度的分值呈现东高西低的分异特征。2005年东部地区正处于城镇化的快速发展阶段^[36-37]，该时期其政府资源保护态度与要素投入表现出正向关系。随着全国环保意识增强，西部地区政府的资源保护意识逐步提高，资源保护的政策力度也逐步加大，此时政府资源保护态度与建成区面积呈现显著的负相关，一方面西部地区本身建成区面积水平偏低；另一方面政府资源保护态度在经济发展较好的中东部地区表现出对城市建成区的抑制作用。

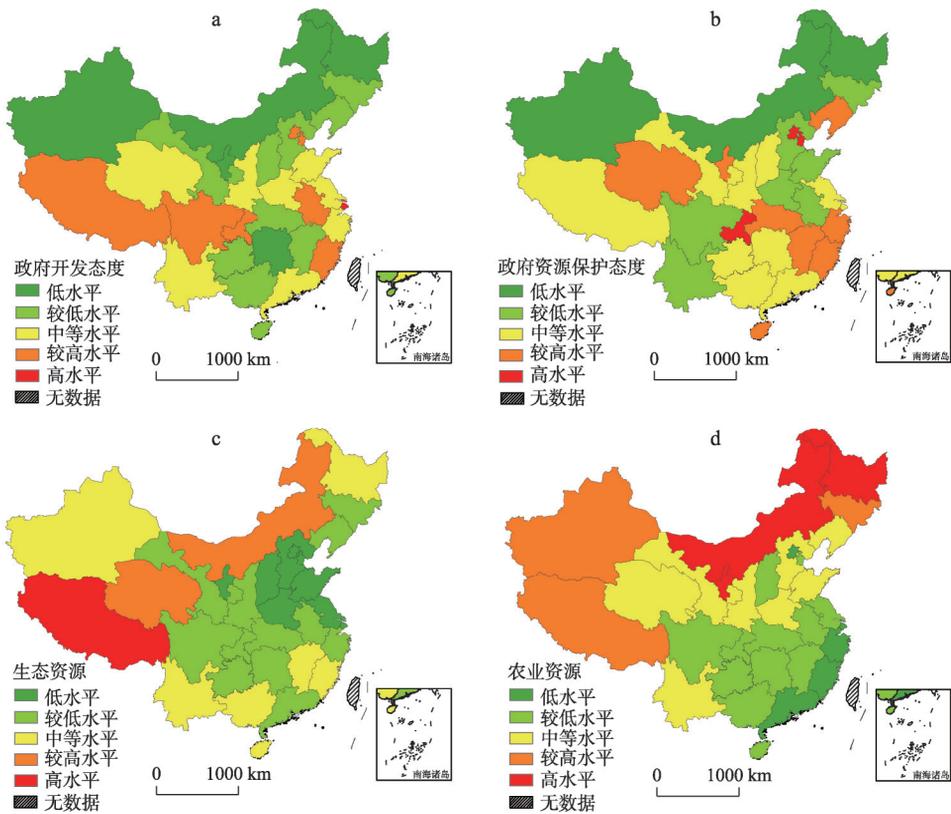


图2 2016年中国省级变量的区域差异
 Fig. 2 Variables by province in China in 2016

生态资源与市级公共服务条件之间的关系明显，表现为负相关。该类资源集中分布在中国的中西部经济较为落后的地区，而这些地区的城市公共服务配套处于较低的水平。

农业资源与城市建成区之间呈现明显的负相关关系。中国农业资源集中分布在中部、华北和东北地区，在东南地区相对匮乏。农业资源丰富的区域，经济发展水平相对较低，这些区域拥有大量农业剩余劳动力人口。因此，农业资源较好的地区更多的是在为经济发展水平较高的地区提供剩余农产品和剩余劳动力。受益于计划经济时代的建设基础，这些区域有着更加优越的公共服务条件，但这种显著关系在市场力量逐步增强的10年后不再明显。

地理区位受所属区域影响程度大，一定程度上可以被看作是经济发展水平的指标。其对市级层面的作用集中表现在2005年。这种影响通过两种截然不同的方式表现：一方面，在经济发展水平较高的地区，城市的公共服务配套条件更好。另一方面，由于城市体系规模存在明显的地域性^[38-39]，在经济发展水平较高的地区，城市的首位度往往较高，区域中绝大多数的要素将会向首位城市集中。因此，发达地区的城市，其建成区面积反而较低。这一情况也反映在地理区位对要素投入不显著的负向影响上（表6）。

3.3 中国城市土地城镇化多尺度影响机制

土地城镇化的影响因素多样，省、市不同层面的影响因素对城镇化的作用和侧重点不同。从整体上看，要素投入是推动中国城市土地城镇化的直接驱动力，表现为要素投入驱动土地城镇化发展进程，即随着要素投入的增加，城市建成区面积日益扩张，土地

表 6 2005 和 2016 年中国建成区面积多层次影响因素的模型结果
 Tab. 6 The result of multilevel factors influencing land urbanization in 2005 and 2016

市级	截距(面积初值)		人口集聚		经济发展		要素投入		公共服务	
	2005	2016	2005	2016	2005	2016	2005	2016	2005	2016
FM	157.904***	25.180***	-113.443	83.866**	17.962	142.678***	1050.564***	116.706***	401.419***	137.704***
BM	157.904***	25.180***		83.866**		142.678***	974.166***	116.706***	444.931**	137.704***
省级	2005	2016	2005	2016	2005	2016	2005	2016	2005	2016
截距	125.338***	-163.851***		259.571		-62.248	592.268**	949.811***	255.4682**	1013.346***
X_1	42.908	-824.386		779.383		-7225.857**	-632.633	6649.941**	-748.051	6344.718
X_2	-66.036	-950.776**		159.433		4514.314	1437.472***	65.208	23.41774	-1602.625
X_3	-2103.430	3794.889		-2374.787		10891.450	-15362.800	-185.446	-21760.5	-24191.067**
X_4	43.121	-759.147**		1542.973		-855.624	-878.967	1658.562	2717.385**	2203.215
X_5	-90.921**	113.764		-55.565		-345.189	-591.586	11.762	995.369**	-140.121

注: **: $P \leq 0.05$, ***: $P \leq 0.01$; X_1 : 政府开发态度, X_2 : 政府资源保护态度, X_3 : 生态资源, X_4 : 农业资源, X_5 : 地理区位; FM 指全模型, BM 指最优模型。

城镇化水平不断提高。在这过程中, 政府政策和经济发展水平是中国城市土地城镇化的两个关键动力, 随着区域经济发展阶段的演进, 二者的影响及作用也会发生变化。政策因素对中国城市土地城镇化的影响显著, 通过政府政策带动产业发展, 工业化带动城镇化。政府通过政策吸引大量要素投入, 促进了城镇化水平的提升, 并且这种影响在一些具有优势公共配套的地区得到进一步强化。随着城市化水平的逐步提高, 经济发展水平逐渐成为影响土地城镇化进程的主要因素, 一方面, 发达地区的经济发展带动了地方要素投入, 带来更多优质公共配套服务设施, 从而吸纳更多人口集聚。另一方面, 中国区域间的发展水平差异进一步拉大。大批的劳动力向东部沿海发达地区迁移, 推动了东部城市的土地城镇化过程。随着这种反馈作用不断累积, 经济发展水平逐步成为影响土地城镇化建设的核心动力。大城市经济发展水平高, 在职业前景、劳动报酬以及公共配套等方面优势明显, 劳动力因此不断向这些城市集中, 进而倒逼城市进行空间扩张。同时, 对土地财政的过度依赖, 让政府乐意为进一步的城镇化提供足够的土地供给。经济驱动下的要素再投入, 让土地城镇化走向了下一个增长循环。此外, 社会经济发展水平对城镇化的作用具有一定的复杂性, 经济发展水平与城镇化之间并非绝对正相关, 发达地区的大城市往往具有较高的城市首位度, 对要素的集聚能力强大, 该区域中的中小城市城镇化水平反而受到遏制。政府对资源的态度也随着发展水平的提高而发生转变, 总体上看, 资源保护和生态建设的意识将会提高, 政策力度将会加大(图3)。但是这种累积机制最后会走向极限。大城市承载力的有限性将会影响环境保护并限制土地开发。落后地区的崛起, 将为劳动力创造属于区域本身的发展机会。在推拉之间将会形成平衡, 土地建成区面积的变化将会趋于稳定。

4 结论

本文分别对 2005 年和 2016 年中国东、中、西部的 102 个代表性城市的土地城镇化影响因素展开实证研究。采用熵值法, 在对省、市两个层面的影响因素指标进行客观赋权的基础上, 利用多层线性模型, 对中国城市土地城镇化的多层次影响进行分析。研究揭示了不同层级影响因素对中国城镇化的作用, 解析了不同层级影响因素之间的关联, 分

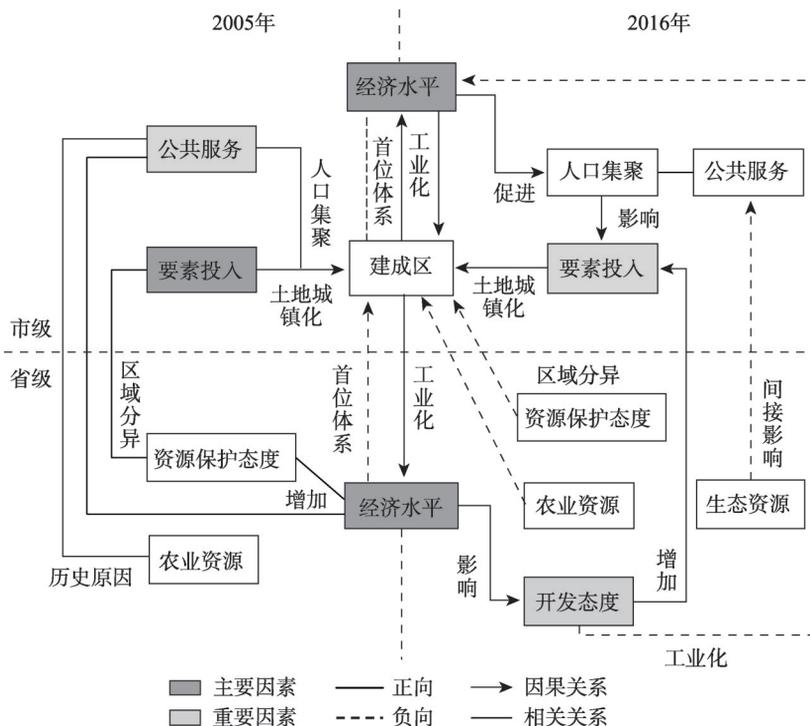


图3 中国土地城镇化多尺度影响机制示意图

Fig. 3 The multilevel impact mechanism of land urbanization in China

析了省级因素对市级因素的影响对建成区面积的作用方式和强度，总结了中国城市土地城镇化的多级影响机制，得到如下研究结论：

(1) 从不同层级因素对土地城镇化的影响看，2005年要素投入和公共服务是市级层面影响城市土地城镇化的最主要因素，其中以要素投入最为重要。区域经济发展水平差异是省级层面主要的影响因素。但这一情况在2016年发生了转变，经济发展水平成为市级最关键的影响因素，要素投入、公共服务、人口集聚对土地城镇化的影响程度依次降低。

(2) 从跨层级影响看，政府资源保护态度、生态资源和农业资源对市级因素以及城市建成区面积呈现显著的负面影响。根据区域发展水平的差异，政府开发态度和地理区位与市级因素之间存在复杂的影响关系。政府开发态度上，发达地区倾向于抑制土地开发以保护环境，较落后的地区则对土地开发有着积极的态度。地理区位上，发达地区的大城市是要素流动的受益者，建成区面积扩张迅速，中小城市在区域中对要素资源的集聚竞争能力则较弱。

(3) 土地城镇化受到经济、社会、政策等多因素的综合作用，中国土地城镇化是工业化和城镇化共同作用的结果，并逐步由政府主导转向经济驱动。此外，区域背景及经济发展水平的地区差异，会影响土地城镇化的发展进程。

从城市数量、城镇面积、城市人口、城镇建设来看，中国城镇化仍将在未来继续保持快速发展态势。同时，资源环境约束日益增大，集约化和紧凑化的城镇发展模式是中国新型城镇化道路的必然选择。当前，大城市从“增量扩张”转变为“存量发展”，中小城市城镇化进程中“质”和“量”两方面仍有较大提升空间。此外，如何培育具有地方特色的优势产业，协调城镇化与产业发展也将是未来中国城镇化关注的重点。

致谢: 特别感谢英国南安普顿大学的冯志昕 (Frank Zhixin FENG) 高级研究员的帮助。

参考文献(References)

- [1] Lv Ping, Zhou Tao. Research on Land Urbanization and Price Mechanism. Beijing: Renmin China University of China Press, 2008: 1-13. [吕萍, 周滔. 土地城市化与价格机制研究. 北京: 中国人民大学出版社, 2008: 1-13.]
- [2] Liu Tao, Cao Guangzhong. Progress in urban land expansion and its driving forces. Progress in Geography, 2010, 29(8): 927-934. [刘涛, 曹广忠. 城市用地扩张及驱动力研究进展. 地理科学进展, 2010, 29(8): 927-934.]
- [3] Murakami A, Zain A M, Takeuchi K, et al. Trends in urbanization and patterns of land use in the Asian mega cities Jakarta, Bangkok, and Metro Manila. Landscape & Urban Planning, 2005, 70(3): 251-259.
- [4] Liu Jiyuan, Kuang Wenhui, Zhang Zengxiang, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3-14. [刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.]
- [5] Zhao Xiaoli, Zhang Zengxiang, Wang Xiao, et al. Analysis of Chinese cultivated land's spatial-temporal changes and causes in recent 30 years. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(3): 1-11. [赵晓丽, 张增祥, 汪潇, 等. 中国近30a耕地变化时空特征及其主要原因分析. 农业工程学报, 2014, 30(3): 1-11.]
- [6] Wang Xinsheng, Liu Jiyuan, Zhuang Dafang, et al. Spatial-temporal changes of urban spatial morphology in china. Acta Geographica Sinica, 2005, 32(3): 392-400. [王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 中国特大城市空间形态变化的时空特征. 地理学报, 2005, 32(3): 392-400.]
- [7] Yan Mei, Huang Jinchuan. Review on the research of urban spatial expansion. Progress in Geography, 2013, 32(7): 1039-1050. [闫梅, 黄金川. 国内外城市空间扩展研究评析. 地理科学进展, 2013, 32(7): 1039-1050.]
- [8] Jiang Xiaoli, Zhang Pingyu. A study on spatial-temporal evolution of land use and dynamic mechanism in Dalian urban area. Human Geography, 2013, 28(4): 77-82. [姜晓丽, 张平宇. 大连市建成区土地利用时空演变与动力机制分析. 人文地理, 2013, 28(4): 77-82.]
- [9] Xu Jiaolin, Lou Jiang. Driving factors of land urbanization in prefectural cities of Jiangsu province. Shanghai Land & Resources, 2015, 36(4): 31-34, 38. [许皎琳, 楼江. 土地城镇化驱动因素研究: 以江苏省各地级市为例. 上海国土资源, 2015, 36(4): 31-34, 38.]
- [10] Bičík I, Jeleček L, Štěpánek V. Land-use changes and their social driving forces in Czechia in the 19th and 20th centuries. Land Use Policy, 2001, 18(1): 65-73.
- [11] Lu Changhe. Urban land expansion and arable land loss in China: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei region. Land Use Policy, 2005, 22(3): 187-196.
- [12] Camagni R, Gibelli M C, Rigamonti P. Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion. Ecological Economics, 2002, 40(2): 199-216.
- [13] Zhang Tingwei. Community features and urban sprawl: The case of the Chicago metropolitan region. Land Use Policy, 2001, 18(3): 221-232.
- [14] Zhang Lixin, Zhu Daolin, Du Ting, et al. Spatio-temporal pattern evolvement and driving factors of land urbanization in Yangtze River Economic Belt. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(9): 1295-1303. [张立新, 朱道林, 杜挺, 等. 长江经济带土地城镇化时空格局及其驱动力研究. 长江流域资源与环境, 2017, 26(9): 1295-1303.]
- [15] Shi Lijiang, Wang Shengyun, Yao Xiaojun, et al. Spatial and temporal variation characteristics of land use and its driving force in Shanghai city from 1994 to 2006. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(12): 1468-1479. [史利江, 王圣云, 姚晓军, 等. 1994—2006年上海市土地利用时空变化特征及驱动力分析. 长江流域资源与环境, 2012, 21(12): 1468-1479.]
- [16] Ye Qingqing, Liu Yanfang, Liu Yaolin, et al. Study on the impact factors of construction land use intensity at county level in Hubei Province based on hierarchical linear model. China Land Sciences, 2014, 28(8): 33-39, 97. [叶青青, 刘艳芳, 刘耀林, 等. 基于多层线性模型的湖北省县域建设用地集约利用影响因素研究. 中国土地科学, 2014, 28(8): 33-39, 97.]
- [17] Lu Xinhai, Ke Nan, Kuang Bing, et al. Spatial-temporal features and influencing factors of difference in land urbanization level of central China. Economic Geography, 2019, 39(4): 192-198. [卢新海, 柯楠, 匡兵, 等. 中部地区土地城镇化水平差异的时空特征及影响因素. 经济地理, 2019, 39(4): 192-198.]
- [18] Deng Ruimim, Li Shaoying, Wu Zhifeng, et al. Regional difference and driving mechanism of construction land

- expansion types in prefecture-level cities of Guangdong province. *Tropical Geography*, 2018, 38(5): 689-698. [邓瑞民, 李少英, 吴志峰, 等. 广东省地级市建设用地扩展模式区域差异与驱动机制. *热带地理*, 2018, 38(5): 689-698.]
- [19] Yu Zhenning, Wu Cifang. Analysis on spatial characteristics and influence factors of land urbanization from the perspective of ESDA-GWR in Zhejiang province. *China Land Sciences*, 2016, 30(3): 29-36. [俞振宁, 吴次芳. 基于ESDA-GWR的浙江省土地城镇化空间特征及影响因素分析. *中国土地科学*, 2016, 30(3): 29-36.]
- [20] Lv Ligang, Sui Xueyan, Wang Xiang, et al. Spatial variation of land urbanization in Jiangsu and dominant drivers. *Human Geography*, 2018, 33(4): 88-94, 112. [吕立刚, 隋雪艳, 汪翔, 等. 江苏省土地城镇化的空间分异及其主导因素探测. *人文地理*, 2018, 33(4): 88-94, 112.]
- [21] Chen Juan. Household registration system reform and public service supply in small and medium-sized cities. *Journal of Zhejiang Party School of CPC*, 2017, 33(5): 77-83. [陈娟. 户籍制度改革与中小城市公共服务供给: 湖州市的实践探索与路径构建思考. *中共浙江省委党校学报*, 2017, 33(5): 77-83.]
- [22] Mao Jiangxing. A study on the characteristics and mechanism of factors influencing urban land use change under rapid urbanization in Shenzhen city [D]. Guangzhou: Sun-Yat Sen University, 2006. [毛蒋兴. 快速城市化过程中的深圳土地利用变化特征及影响因素研究[D]. 广州: 中山大学, 2006.]
- [23] Huang jinchuan, Fang Chuanglin. Analysis of coupling mechanism and rules between urbanization and eco-environment. *Geographical Research*, 2003, 22(2): 211-220. [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.]
- [24] Liu Hehe, Yang Qingshan, Zhang Yu. Urbanization and ecological environment effect in Northeast China based on decoupling analysis. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(12): 1860-1869. [刘贺贺, 杨青山, 张郁. 东北地区城镇化与生态环境的脱钩分析. *地理科学*, 2016, 36(12): 1860-1869.]
- [25] Xu Xueqiang, Zhou Yixing, Ning Yuemin. *Urban Geography*. Beijing: Higher Education Press, 2009: 54-82. [许学强, 周一星, 宁越敏. *城市地理学*. 北京: 高等教育出版社, 2009, 54-82.]
- [26] Zhang Fei, Kong Wei. Analysis on spatio-temporal characteristic and influence mechanism of land urbanization in china. *Areal Research and Development*, 2014, 33(5): 144-148. [张飞, 孔伟. 我国土地城镇化的时空特征及机理研究. *地域研究与开发*, 2014, 33(5): 144-148.]
- [27] Wang fuxi, Mao Aihua, Li Helong, et al. Quality measurement and regional difference of urbanization in Shandong Province based on the entropy method. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(11): 1323-1329. [王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 等. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析. *地理科学*, 2013, 33(11): 1323-1329.]
- [28] Deng Xue, Li Jiaming, Zeng Haojian, et al. Research on computation on methods of AHP weight vector and its applications. *Mathematics in Practice and Theory*, 2012, 42(7): 93-100. [邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究. *数学的实践与认识*, 2012, 42(7): 93-100.]
- [29] Johnston R J. *Multivariate Statistical Analysis in Geography: A Primer on the General Linear Model*. New York: Longman Scientific and Technical, 1980.
- [30] Raudenbush S W, Bryk A S. *Publications of the American Statistical Association*. 2nd ed. London, England: Sage, 2002: 767-768.
- [31] Hox J J. *Multilevel Analysis: Techniques and Applications*. 2nd ed. New York: Routledge, 2003.
- [32] Lei Li, Zhang Lei. Principle and application of the hierarchical linear model. *Journal of Capital Normal University (Social Sciences Edition)*, 2002, 51(2): 110-114. [雷雳, 张雷. 多层线性模型的原理及应用. *首都师范大学学报(社会科学版)*, 2002, 51(2): 110-114.]
- [33] Cox D, Commenges D, Davison A, et al. *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*. Oxfordshire: Oxford University Press, 2006.
- [34] Song Jianan, Jin Xiaobin, Tang Jian, et al. Analysis of influencing factors for urban land price and its changing trend in china in recent years. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1045-1054. [宋佳楠, 金晓斌, 唐健, 等. 中国城市地价水平及变化影响因素分析. *地理学报*, 2011, 66(8): 1045-1054.]
- [35] Zhou Weifu. The harmonious development of industrialization and urbanization in China [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Social Sciences, 2002. [周维富. 中国工业化与城市化协调发展论[D]. 北京: 中国社会科学院研究生院, 2002.]
- [36] Cao Xiaoshu, Tian Wenzhu, Guo Qingming, et al. Type of city-land use expansion in Guangzhou-Hongkong urban corridor. *Economic Geography*, 2006, 26(1): 111-113, 117. [曹小曙, 田文祝, 郭庆铭, 等. 穗港城市走廊城镇用地扩展类型分析. *经济地理*, 2006, 26(1): 111-113, 117.]
- [37] Li Jianlin, Xu Jiqin, Li Weifang, et al. Spatio-temporal characteristics of urbanization area growth in the Yangtze river

- delta. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 437-447. [李加林, 许继琴, 李伟芳, 等. 长江三角洲地区城市用地增长的时空特征分析. *地理学报*, 2007, 62(4): 437-447.]
- [38] Li Shaoxing. Evolution characters of urban hierarchy system in China since the reform and opening-up. *Geography and Geo-information Science*, 2009, 25(3): 54-57. [李少星. 改革开放以来中国城市等级体系演变的基本特征. *地理与地理信息科学*, 2009, 25(3): 54-57.]
- [39] Fang Chuanglin, Song Jitao, Zhang Qiang, et al. The formation, development and spatial heterogeneity patterns for the structures system of urban agglomerations in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 827-840. [方创琳, 宋吉涛, 张嵩, 等. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局. *地理学报*, 2005, 60(5): 827-840.]

An analysis of multilevel variables influencing China's land urbanization process

ZHANG Kaihuang¹, QIAN Qinglan¹, YANG Qingsheng²

(1. School of Geography, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. School of Geography and Tourism, Guangdong University of Finance & Economics, Guangzhou 510320, China)

Abstract: In recent years, land urbanization, as a spatial manifestation of China's expanding urbanization, has emerged as a core research field within urban geography and land science. Provincial administrative departments within China's distinctive administrative system significantly influence municipal administrative departments and urbanization levels. Individual-level influencing factors cannot fully explain the Chinese mode of urbanization. Therefore, a multilevel linear model was developed to identify factors influencing China's land urbanization process. The results indicated that in 2005, factor inputs, in particular, and public service critically influenced land urbanization in municipal urban areas. By 2016, economic development levels had superseded factor inputs, public service, and population agglomeration as the key influencing factor. At the provincial level, differences in economic development levels critically influenced land urbanization. The provincial government's prioritization of ecological and agricultural resource conservation had a significant negative impact on city-level factors and urban built-up areas. The relationship between the government's developmental attitude, geographical locations, and city-level factors was complex and varied according to regional development levels. A further finding was that since China's reform and opening-up policy was initiated in 1978, land urbanization has been driven by industrialization and urbanization, gradually shifting from government-led to economy-driven stage. Thus, a multilevel study of land urbanization reveals mechanisms and cross-level relationships among different factors that influence levels of land urbanization. Moreover, it provides a theoretical basis for rational policy formulation.

Keywords: land urbanization; multilevel linear modeling; influencing factors; economy-driven; resource conservation; China