

引用格式: 袁凯华, 梅昀, 陈银蓉, 等. 中国建设用地集约利用与碳排放效率的时空演变与影响机制[J]. 资源科学, 2017, 39(10): 1882-1895. [Yuan K H, Mei Y, Chen Y R, et al. Temporal and spatial evolution and influencing mechanism of construction land intensive utilization on carbon emissions efficiency in China[J]. *Resources Science*, 2017, 39(10): 1882-1895.] DOI: 10.18402/resci.2017.10.08

# 中国建设用地集约利用与碳排放效率的时空演变与影响机制

袁凯华, 梅 昀, 陈银蓉, 兰梦婷

(华中农业大学公共管理学院, 武汉 430070)

**摘 要:** 为探索城市化进程建设用地集约利用对碳排放效率的影响机制, 促进城市集约与低碳建设同步推进, 本文构建了建设用地集约利用模型和非期望产出SBM模型, 在分析省际层面的建设用地集约利用和碳排放效率时空变异基础上, 采用空间计量和空间相关性方法探索了集约利用对碳排放效率的内在影响机制和外部特征。研究结果表明: ①省级层面建设用地集约度整体呈上升趋势, 由东至西逐级递减; ②省际碳排放效率无明显时序波动性, 多数省份呈一定程度上升, 因技术效率差异, 南方省份综合效率上升整体快于北方; ③除固定资产和人口承载现状影响不显著外, 劳动力、能源的集约效应对碳排放效率具有负向影响, 而科技集约、绿化水平和产业结构具有正向促进作用; ④研究区域内建设用地集约程度与碳排放效率两者增加趋势呈空间负相关性, 局部聚集效应明显, 以HL和LH聚类为主, 应优化集约内部结构以促进碳排放效率提升。

**关键词:** 土地集约利用; 碳排放效率; 空间计量; 空间自相关; 中国

DOI: 10.18402/resci.2017.10.08

## 1 引言

建设用地是土地资源的重要组成部分, 也是承载人类和社会经济活动的主要载体<sup>[1]</sup>。由于人口增长、城市化进程推进, 建设用地成为稀缺资源, 对土地的集约利用逐渐成为解决建设用地资源短缺和城市化推进矛盾的主要方式<sup>[2]</sup>。土地集约利用是通过在单位面积土地上合理增加物资、劳动投入以提高土地收益的经营方式<sup>[3]</sup>。建设用地集约利用内涵虽无专门界定, 但一般认为其是在环境承载力范围内, 通过增加非土地生产要素, 如资本、劳动和技术等在建设用地的集中投入和使用, 提高单位土地人口承载力和经济产出能力的经营模式<sup>[4-6]</sup>。土地集约利用除产生正外部性效应外, 也伴随产生负外部性效应, 如碳排放增加等。集约利用对碳排放的影响是双向的, 集约程度上升会增加单位土地的碳排

放量, 但减少了更多的碳汇或低排放碳源转变为高排放碳源<sup>[7]</sup>。因土地集约引发的碳排放负外部性对大气碳环境的影响与建设用地集约度和碳排放效率密切相关。在积极建设低碳社会背景下, 界定两者关系的影响机制对指导城市化进程中建设用地规划与利用、维护低碳环境具有积极影响。

目前, 国内外对土地利用与碳排放间的研究主要集中在不同土地利用方式的碳排放与封存效应<sup>[8,9]</sup>、土地利用变化对碳排放的影响机制<sup>[10-12]</sup>、土地利用结构与碳排放优化研究<sup>[13-15]</sup>等领域。现有研究表明土地利用方式变化与碳排放存在着联系, 但主要集中在碳源/汇结构和建设用地扩张对碳排放的影响。对土地集约利用, 尤其是建设用地集约利用与碳排放效率之间的研究较少。少数关于土地集约与碳排放效率的研究集中于农用地<sup>[16,17]</sup>或城市土地

收稿日期: 2017-02-24; 修订日期: 2017-09-11

基金项目: 国家社会科学基金项目(14BGL218)。

作者简介: 袁凯华, 男, 浙江杭州人, 博士生, 主要研究方向为土地资源经济与可持续发展。E-mail: Kevinyuan@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 陈银蓉, E-mail: chyinrong@126.com

2017年10月

集约利用的碳排放效率分析,后者研究重点侧重于效率本身而忽视了集约利用与效率的内在影响机制<sup>[18,19]</sup>。

本研究从探索建设用地集约利用与碳排放效率关系入手构建建设用地集约评价体系,以碳排放作为非期望产出,采用SBM(Slack Based Measure)模型计算了中国30个省建设用地的碳排放效率,利用空间分析与空间计量等方法对两者间关系从数量趋势、空间分布以及内在影响机制进行了全面分析,以期对各省建设用地集约利用、建设低碳社会提供参考。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 建设用地集约利用评价方法

目前,土地集约利用评价体系尚未形成统一认识,多因研究目的而相异<sup>[20]</sup>。根据集约评价主导性和可比性原则,投入-产出评价指标体系<sup>[21]</sup>更符合本文评价需求。同时,文中将多因素综合评价法作为集约度计算方法<sup>[22-24]</sup>,借鉴《开发区土地集约利用评价规程》<sup>[25]</sup>提出的全面评测土地投入、经营管理现状和产出效益的集约内涵,依据相关研究成果<sup>[3,26,27]</sup>对投入-产出体系进行了改进,提出从土地投入水平、土地利用强度和土地产出效益三个准则层构建集约利用评价体系。土地投入水平选取建设用地集约评价的4项指标:劳动力、能源、固定资产和科技投入;土地利用强度选取反映土地承载水平、生态现状和交通通行水平的3项指标:人口密度、绿地率和道路密度;土地产出效益选取反映建设用地主要产出的3项指标:第二和第三产业增加值以及地均

碳排放量(非期望产出)。集约评价指标体系及说明见表1。

集约度模型如下:

$$P_j = \sum_{i=1}^n x'_{qij} \times w_i \quad (1)$$

式中  $P_j$  为评价单元  $j$  的集约程度得分值;  $x'_{qij}$  为  $q$  年  $j$  省第  $i$  项指标的标准化数值,采用最大值标准化法(公式(2))处理;  $w_i$  为第  $i$  个指标权重,为避免权重确定的主观性,由熵值法确定。由于普通熵值法不能处理面板数据,本文在计算指标比重、信息熵和信息熵冗余度时对其进行了改进<sup>[28]</sup>,具体计算过程如下:

$$x'_{qij} = x_{qij} / x_{\max} \quad (2)$$

$$f_i = 1 + \ln(rn) \sum_q \sum_j \frac{x'_{qij}}{\sum_q \sum_j x'_{qij}} \quad (3)$$

$$w_i = f_i / \sum f_i \quad (4)$$

式中  $x_{qij}$  为  $q$  年  $j$  省第  $i$  个指标的原值;  $x_{\max}$  为第  $i$  个指标最大值;  $f_i$  为第  $i$  项指标信息熵冗余度(指标比重、信息熵计算已合并至公式(3));  $r, n$  分别为研究年期和单元数量。

### 2.2 碳排放效率SBM模型

碳排放作为非期望产出,不适用于经典DEA模型, Tone<sup>[29]</sup>基于上述问题提出了非角度非径向SBM模型,既解决了投入产出松弛型问题和非期望产出下的效率评价问题,又避免了角度和径向选择的偏差影响,适用于本文研究对碳排放效率的准确

表1 中国分省建设用地集约利用评价指标及权重

Table 1 Evaluation index and weight of intensive utilization of construction land in each province in China

目标层	准则层(权重)	指标层(权重)	指标说明
建设用地集约利用度	土地投入水平(0.52)	地均劳动力(0.06)/(万人/km <sup>2</sup> )	城市从业人员数/建成区面积
		地均能源(0.09)/(万 tce/km <sup>2</sup> )	城市能源消费量/建成区面积
		地均固定资产(0.15)/(亿元/km <sup>2</sup> )	城市固定资产投资/建成区面积
		地均科技(0.22)/(万元/km <sup>2</sup> )	城市R & D经费/建成区面积
	土地利用强度(0.20)	人口密度(0.07)/(万人/km <sup>2</sup> )	年末城镇常住人口/建成区面积
		总绿地率(0.05)	城市绿地面积/建成区面积
		道路密度(0.08)/(km/km <sup>2</sup> )	城市道路长度/建成区面积
	土地产出效益(0.28)	地均第二产业增加值(0.10)/(亿元/km <sup>2</sup> )	城市第二产业增加值/建成区面积
		地均第三产业增加值(0.11)/(亿元/km <sup>2</sup> )	城市第三产业增加值/建成区面积
		地均碳排放量(0.07)/(万 t/km <sup>2</sup> )	城市碳排放总量/建成区面积

测度。

构建SBM模型时,假定存在 $n$ 数量决策单元且均包含了 $I$ 类投入和 $D(U)$ 类(非)期望产出,分别定义其向量矩阵为 $X=[x_1, \dots, x_n]$ 、 $Y^D=[y_1^D, \dots, y_n^D]$ 、 $Y^U=[y_1^U, \dots, y_n^U]$ 。则根据Tone研究方法<sup>[29]</sup>,碳排放效率SBM模型可写成如下形式:

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{i} \sum_{i=1}^i \frac{s_i^-}{x_{ij}}}{1 + \frac{1}{D+U} (W^D \sum_{k=1}^D \frac{s_k^D}{y_{kj}^D} + W^U \sum_{k=1}^U \frac{s_k^U}{y_{kj}^U})} \quad (5)$$

s.t.

$$\begin{cases} x_{ij} = \lambda X + s^- \\ y_j^D = \lambda Y^D - s^D \\ y_j^U = \lambda Y^U + s^U \\ s^- \geq 0, s^D \geq 0, s^U \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中 $\rho$ 为决策单元效率值; $s$ 为投入与产出的松弛变量; $x_{ij}$ 为 $i$ 单元第 $j$ 项投入; $y_{kj}$ 为 $k$ 单元第 $j$ 项产出,投入产出指标采用与集约度计算相同的土地投入水平与土地产出效益指标(表1); $W^D$ 、 $W^U$ 分别为期望与非期望产出的相对权重,根据产出数量分别设定为2/3和1/3; $\lambda$ 为权重向量; $s^-$ 、 $s^U$ 、 $s^D$ 分别表示投入与非期望产出的冗余量以及期望产出的不足量。设定 $\sum \lambda = 1$ ,则 $\rho$ 为纯技术效率( $\rho_t$ ),否则为综合技术效率( $\rho_c$ ), $\rho_s = \rho_c / \rho_t$ 表示决策单元规模效率。

### 2.3 空间计量模型

建设用地集约利用下的碳排放效率回归计量模型存在空间上的现实关联性和异质性,因而必须考虑可能存在的空间效应。由于研究对象为面板数据,考虑到省份作为个体因素对回归变量影响的实际存在<sup>[30]</sup>,选择固定效应模型更佳。为此,可将空间滞后模型SAR(见公式(7))与空间误差模型SEM(见公式(8))结合建立广义空间自回归模型GSAR。

$$\begin{cases} y = pWy + X\beta + \varepsilon \\ \varepsilon \sim (0, \sigma^2 I_n) \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} y = X\beta + \mu \\ \mu = \lambda W\mu + \varepsilon \\ \varepsilon \sim (0, \sigma^2 I_n) \end{cases} \quad (8)$$

式中 $y$ 为被解释变量; $p$ 为空间自回归系数; $W$ 为变

量空间矩阵; $X$ 为解释变量集; $\beta$ 为解释变量的回归系数; $\varepsilon$ 为随机误差; $\mu$ 为关于空间误差正态分布的随机误差序列项; $\lambda$ 为空间误差系数,其值大小体现了残差空间相关程度。

GSAR模型变量集选择应充分考虑集约评价内涵和模型的现实指导意义,从土地投入、现状和产出三个角度选取。首先,土地投入机制对碳排放效率具有直接影响:①中国多数劳动力密集型企业与碳排放处于弱脱钩状态<sup>[31]</sup>,增加劳动力集约水平会导致碳排放增加;②中国能源消费以煤炭等化石能源为主,是碳排放主要来源,对其具有负向影响<sup>[32]</sup>;③由固定资产投资引致的碳排放占比一直处于上升阶段<sup>[33]</sup>,增大地均固定资产投资不利于提升碳排放效率;④技术进步可双向带动地区碳生产率和全要素碳生产率<sup>[34]</sup>,对生产减少传统要素依赖具有直接作用。

其次,从土地利用现状分析,加大建设用地的绿化水平,提升碳汇占比有助于从整体上减少碳排放总量<sup>[35]</sup>;而单位土地人口规模越大,资源和能耗也越多,同时因人口过多导致的内部规模不经济(如交通堵塞等)也会造成碳排放增加<sup>[36]</sup>。

最后,从土地产出分析,不同产业的能源需求和转化效率不同,产业结构分配变动对碳排放总量和效率都存在显著影响<sup>[37]</sup>。

鉴于此,本文将劳动力、能源、固定资产、科技投入、绿化率、人口承载水平和产业结构等7个因素作为GSAR模型变量,从空间滞后和空间误差两种效应检验上述变量对碳排放效率的影响程度。具体公式如下:

$$\begin{cases} cf = pW_{ij}cf + \beta_1 li_{i,t} + \beta_2 ei_{i,t} + \beta_3 fai_{i,t} + \beta_4 si_{i,t} \\ \quad + \beta_5 gi_{i,t} + \beta_6 pi_{i,t} + \beta_7 is_{i,t} + \mu_{i,t} + \tau_i + \omega_i \\ \mu_{i,t} = \lambda W_{ij}^2 \mu_{i,t} + \varepsilon \\ \varepsilon \sim (0, \sigma^2 I_n) \end{cases} \quad (9)$$

式中 $cf$ 为被解释变量,即集约利用状态下的碳排放效率; $W_{ij}$ 和 $W_{ij}^2$ 分别为空间滞后项和空间误差项基于 $i$ 、 $j$ 两省中心的空间距离权重矩阵; $li_{i,t}$ 、 $ei_{i,t}$ 、 $fai_{i,t}$ 、 $si_{i,t}$ 、 $gi_{i,t}$ 、 $pi_{i,t}$ 分别代表 $i$ 省 $t$ 年劳动力、能源、固定投资、科技投入、绿化、人口集约度等变量,变量含义与表1指标说明一致; $is_{i,t}$ 为产业结构水



2017年10月

平,以第三和第二产业增加值的比值表示; $\beta_{1-7}$ 分别为7种变量的回归系数; $\tau_t$ 、 $\omega_i$ 分别为时间和空间固定效应; $\lambda$ 和 $\rho$ 分别为空间误差自相关和自回归系数,当 $\lambda=0$ 时,转变为SAR模型,而当 $\rho=0$ 时,转变为SEM模型。

## 2.4 空间自相关

探索土地集约发展趋势与碳排放效率的相关性可以揭示两者的相关程度和属性的空间聚集程度,直观佐证土地集约发展与碳排放效率的内在联系。为此,本文引入陆汝成等、Wartenberg提出的双变量全局和局域自相关方法<sup>[38,39]</sup>来刻画建设用地集约程度与碳排放综合效率增长的双变量空间相关性。其中,双变量全局空间自相关指数(DGM)定义如下:

$$DGM = n \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} Y_{a_i} Y_{b_j}}{\sum_i \sum_j w_{ij}} / ((n-1)) \quad (i \neq j) \quad (10)$$

式中 $Y_{a_i}$ 、 $Y_{b_j}$ 分别为*i*省建设用地利用集约度与*j*省碳排放效率增加值; $\sum_i \sum_j w_{ij}$ 为基于各省中心坐标空间距离计算的空间权重矩阵。

DGM指数可观测变量的全局相关程度,数值绝对值越大则相关性越强,但无法表征不同省份的空间关联模式和分布特征,需要局域空间自相关指数(DLM)补充,并利用LISA散点图计算指标显著性水平以揭示局部区域邻近省份间的相关性。DLM指数正值表示区域周围相似值空间集群,负值则为非相似值空间集群,定义如下:

$$DLM = \frac{(Y_{a_i} - \bar{Y}_a)}{\sigma_a} \sum_i w_{ij} \frac{(Y_{b_j} - \bar{Y}_b)}{\sigma_b} \quad (i \neq j) \quad (11)$$

式中 $\bar{Y}_a$ 、 $\bar{Y}_b$ 、 $\sigma_a$ 、 $\sigma_b$ 分别为集约利用度与碳排放效率增加值的区域平均值和方差; $\sum_{i=1}^n w_{ij}$ 为各省到*j*省的空间权重矩阵。

## 2.5 数据来源及统计描述

碳排放量测算采用世界资源研究所权威发布的城市温室气体核算工具2.0<sup>[40]</sup>,计入核算的数据包括所有煤炭类、石油类、天然气以及电热力消费。计算过程考虑了地区供应、加工转换、损失量、终端消费和平衡差额,各类能源碳排放因子根据各省实际情况作出调整,能源数据来源于《中国能源统计年鉴》<sup>[41]</sup>;各省建成区面积、城镇年末常住人口数、城镇固定资产投资、城镇道路长度、绿地面积数据来源于国家统计局网站<sup>[42]</sup>;城镇就业人数来源于《中国城市统计年鉴》<sup>[43]</sup>;第二、三产业增加值数据来源于《中国统计年鉴》<sup>[44]</sup>;各省研究与试验发展经费数据来源于《全国科技经费投入统计公报》<sup>[45]</sup>。其中,城镇固定资产投资、产业增加值、R & D经费数据以研究期首年为基期,采用了GDP平减指数法进行了实际价值换算。本文选取2005-2014年间30省(直辖市、自治区)面板数据。鉴于数据可得性,研究区域不包括西藏、香港、澳门及台湾地区。各省指标计算结果统计描述如表2。

## 3 结果及分析

### 3.1 建设用地集约利用评价结果

基于集约度数值分布规律基础采用数轴法<sup>[15]</sup>将建设用地集约利用水平分为4个等级:I-IV级集约数值分布范围分别为0.16~0.26、0.27~0.35、0.36~0.50、0.51~0.76。评价等级结果越高,则集约程度

表2 中国30省份集约利用评价指标数值统计描述

Table 2 Statistical description of the original value of Intensive utilization evaluation in 30 provinces of China

指标层	最小值	最大值	均值	标准差
地均劳动力/(万人/km <sup>2</sup> )	0.27	1.32	0.75	0.20
地均能源/(万tce/km <sup>2</sup> )	4.24	28.89	10.26	4.16
地均固定资产/(亿元/km <sup>2</sup> )	1.06	17.40	5.98	3.33
地均R&D经费/(万元/km <sup>2</sup> )	824.74	91 544.01	14 884.14	15 352.84
人口密度/(万人/km <sup>2</sup> )	0.80	2.78	1.71	0.41
绿地率/%	22.68	49.15	36.03	0.05
道路密度/(km/km <sup>2</sup> )	4.27	24.15	7.05	2.78
地均第二产业增加值/(亿元/km <sup>2</sup> )	1.13	9.89	4.77	1.99
地均第三产业增加值/(亿元/km <sup>2</sup> )	1.04	15.29	4.15	2.12
地均碳排放量/(万t/km <sup>2</sup> )	2.35	15.41	6.32	2.58

愈高。

图1为2005-2014年4个时期的集约度空间演变过程。2005年,除上海市以外的其余省份均处于Ⅰ级和Ⅱ级集约,其中Ⅰ级省份占比63%;至2014年时,已经不存在Ⅰ级集约省份,80%省份为Ⅲ级至Ⅳ级水平。从时序特征看,建设用地集约程度普遍处于提升态势,城市化进程总体呈集约发展趋势。事实上,2000年以来国家对建设用地供应逐渐收紧的控制政策导致土地资源供给稀缺性显现,各省都采取了增加土地之外的要素供给。从空间分布看,集约度总体呈从东至西逐步减小的态势。由于经济发展差距对地区城市化水平的影响,西部地区与东部地区相比集约利用水平提升缓慢,但仍有一定程度提高。而部分中部省份由于城市化扩张速度相对较慢,建设用地增加有限,受中部崛起战略不

断提升的基础设施投入、人才引进和技术产业升级的影响,其集约度也有了较高水平提升。

### 3.2 建设用地碳排放效率分析

本文利用DEA-solver计算了2005-2014年间建设用地集约利用的碳排放规模、技术和综合效率。通过聚类分析将三类效率值划分为4个等级,并选取2005年、2008年、2011年和2014年4年效率值进行了分类统计,见表3、表4、表5。

规模效率代表集约投入规模与产出规模的匹配程度<sup>[16]</sup>。由表3可知,2005-2014年各省份规模效率整体处于较高水平。其中,2005年时达到完全规模有效(规模效率为1)的省份有8个,平均效率达0.89。除广东外,河北、内蒙古、黑龙江和新疆等诸多不发达省份也达到Ⅳ级效率,上述省份在集约投入规模与产出之间保持了较好匹配,说明规模效率

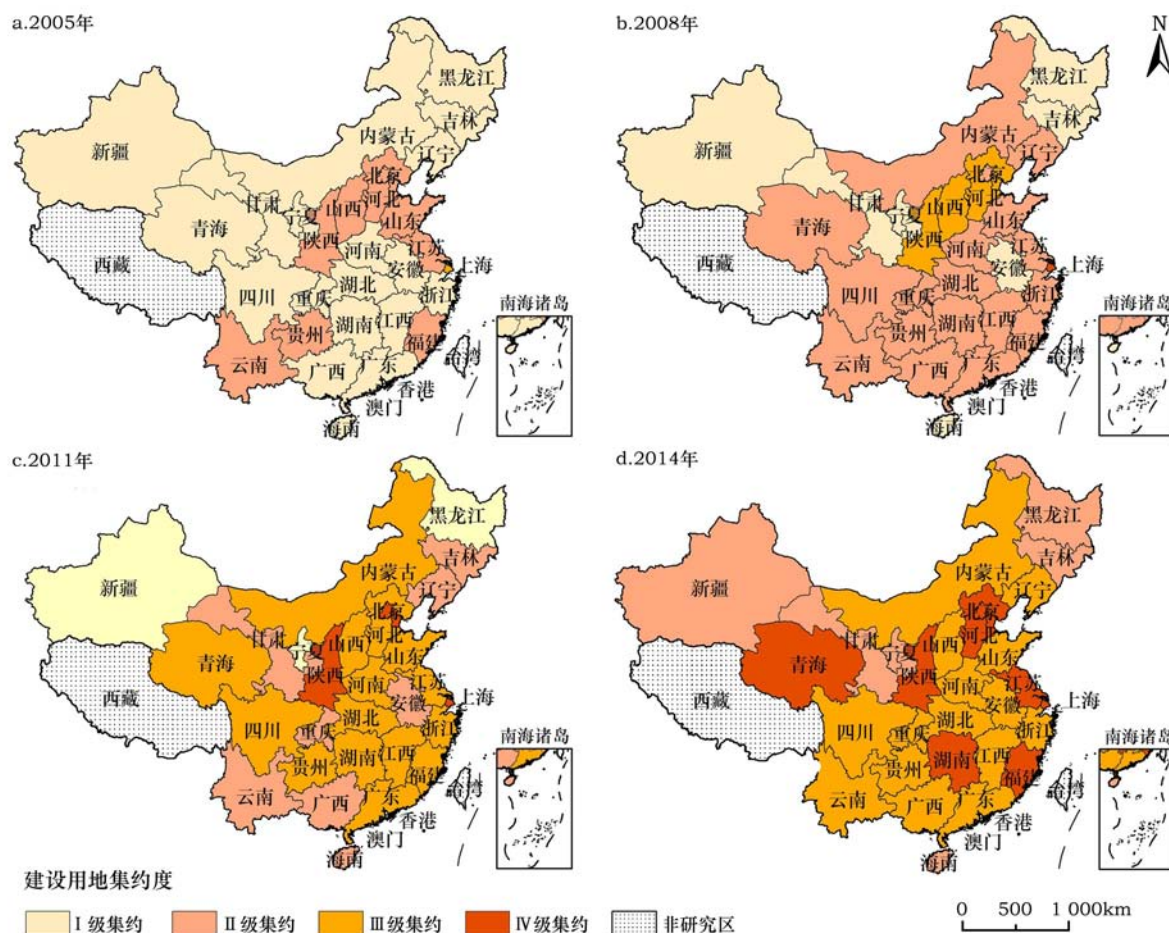


图1 2005-2014年中国建设用地集约度空间演变

Figure 1 Intensive spatial evolution of construction land in China from 2005 to 2014

注:由于数据获取困难,本次研究不包括香港、台湾、澳门和西藏。

2017年10月

表3 2005–2014年中国建设用地集约利用碳排放规模效率各级数量统计

Table 3 Number of carbon emissions scale efficiency of construction land at all levels in China from 2005 to 2014

年份	Ⅰ级规模效率区[0:0.80)		Ⅱ级规模效率区[0.80:0.90)		Ⅲ级规模效率区[0.90:1)		Ⅳ级规模效率区[1]	
	数量	占比	数量	占比	数量	占比	数量	占比
2005	8	0.27	1	0.03	13	0.43	8	0.27
2008	4	0.13	6	0.20	13	0.43	7	0.23
2011	3	0.10	3	0.10	18	0.60	6	0.20
2014	4	0.13	2	0.07	12	0.40	12	0.40

表4 2005–2014年中国建设用地集约利用碳排放技术效率各级数量统计

Table 4 Number of carbon emissions technical efficiency of construction land at all levels in China from 2005 to 2014

年份	Ⅰ级技术效率区[0:0.60)		Ⅱ级技术效率区[0.60:0.80)		Ⅲ级技术效率区[0.80:1)		Ⅳ级技术效率区[1]	
	数量	占比	数量	占比	数量	占比	数量	占比
2005	8	0.27	11	0.37	1	0.03	10	0.33
2008	5	0.17	9	0.30	2	0.07	14	0.47
2011	1	0.03	10	0.33	6	0.20	13	0.43
2014	1	0.03	8	0.27	2	0.07	19	0.63

表5 2005–2014年中国建设用地集约利用碳排放综合效率各级数量统计

Table 5 Number of carbon emissions comprehensive efficiency of construction land at all levels in China from 2005 to 2014

年份	Ⅰ级综合效率区[0:0.55)		Ⅱ级综合效率区[0.55:0.75)		Ⅲ级综合效率区[0.75:1)		Ⅳ级综合效率区[1]	
	数量	占比	数量	占比	数量	占比	数量	占比
2005	11	0.37	10	0.33	1	0.03	8	0.27
2008	6	0.20	12	0.40	5	0.17	7	0.23
2011	0	0.00	15	0.50	9	0.30	6	0.20
2014	1	0.03	8	0.27	9	0.30	12	0.40

本身与经济发达水平非直接相关。在2014年时,已有12省份达到完全规模效率,平均效率达0.94,除江苏、浙江、湖南、贵州和新疆5省呈规模效率下降或不变外,其他省份呈较大幅度上升态势,Ⅲ级和Ⅳ级效率省份高达80%,建设用地集约规模与规模效率整体匹配良好。

技术效率主要用于衡量管理、技术等因素影响下决策单元资源配置能力和使用效率<sup>[16,46]</sup>。表4中,2005–2014年区域内技术效率整体呈逐年递增趋势,低技术效率区域不断减少。2005年,各省区技术效率普遍偏低,均值为0.75,其中Ⅰ级和Ⅱ级区域占比64%,完全技术效率区域只有10个。2014年时,技术效率水平整体最高,平均技术效率值达0.89,完全技术效率区域有19个,占比70%,相较2005年大幅增加。经济发展良好、集约水平较高的东部发达省份几乎全部处于Ⅳ级技术效率,而效率不足的区域主要为新疆、甘肃等生产管理技术落后

以及在经济发展中依靠不断加大能源等非技术要素投入的省份。

综合效率是规模效率与技术效率的综合结果,是衡量建设用地集约利用水平实现单位碳排放产出效率高低的的有效指标<sup>[17]</sup>。由表5可知,2005–2014年各省综合效率整体呈上升趋势,与技术效率相似。2005年Ⅰ级与Ⅱ级效率省份有21个,占比70%,全国平均效率只有0.67;而2014年时,这一比例降至30%,Ⅲ级与Ⅳ级效率区域大幅增加,占比增至70%,完全效率省份有12个,平均效率达0.84。

为观测综合效率的时空变化趋势,文中依据2005年、2008年、2011年和2014年综合效率数值绘制了综合效率空间演变图(图2)。图2显示一些早期发展落后省份反而具有较高效率,如新疆、内蒙古、河南等,这些区域整体经济发展较为落后,呈低投入低产出状态,但两者匹配良好。反观部分发达省份正处于工业和产业黄金时期,一味追求



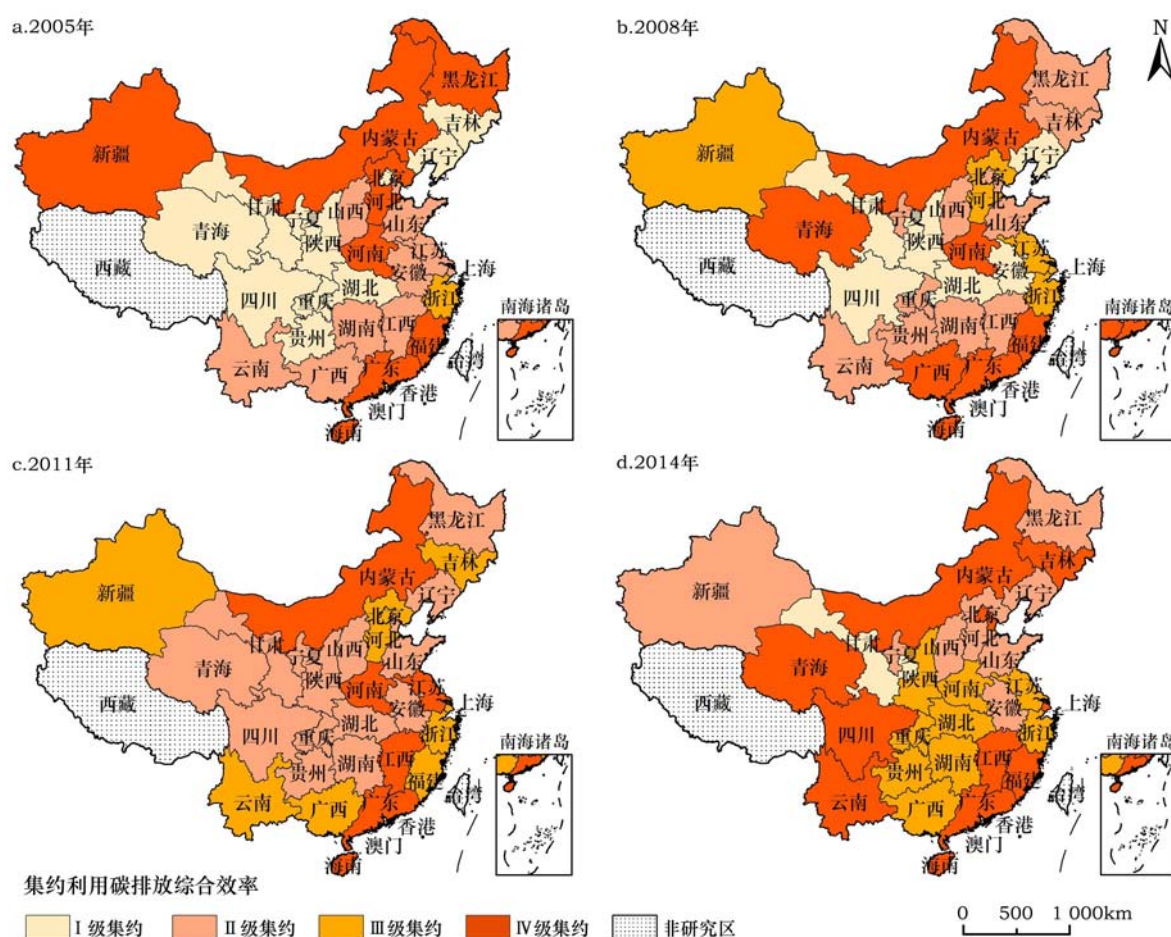


图2 2005–2014年中国建设用地集约利用碳排放综合效率空间演变

Figure 2 Spatial evolution of carbon emission comprehensive efficiency in construction land in China from 2005 to 2014

注:由于数据获取困难,本次研究不包括香港、台湾、澳门和西藏。

经济产出导致集约规模过大效率偏低。这一情况在10年后正好相反,欠发达省份如山西等省,进入了以部分要素高投入换取经济发展的模式,而诸如京津沪等地区则逐步完成了产业转型,以技术、人力和能源的平衡投入保持着较高的综合效率。

### 3.3 建设用地集约度与碳排放效率相关关系的空间计量分析

由建设用地集约利用和碳排放效率现状分析可知,两者在整体的时序发展和空间分布趋势上具有一致性的同时也存在差异,对碳排放效率展开不同土地集约因素的空间计量分析有助于探索建设用地集约利用过程对碳排放效率变化的内在影响机制,分析不同因素的影响效应。

#### 3.3.1 普通面板模型计量与空间相关性分析

空间计量分析的前提是确定模型类型并验证

模型残差间是否存在空间相关性。利用 Matlab 2014 进行混合、个体固定、时间固定和双向固定效应模型的回归分析,以检验不同模型的总体拟合度、个体系数显著性以及残差空间相关性。如表6所示,双向固定效应模型的拟合优度和 Log-L 值最高,分别为 0.8315 和 358.61,这表明相较其他模型而言,该模型拟合效果最佳,本文也将采用其对影响碳排放效率的各集约因素展开研究。

表6中双向固定效应模型 LM 检验结果分别通过 1% 和 5% 的显著性检验,说明模型残差存在显著的空间相关性,选择空间计量模型将更为精确。由于 LM-lag 统计量结果显著大于 LM-err 统计量,因而空间自回归模型成为本文模型最佳选择。

#### 3.3.2 空间面板模型计量结果分析

利用 SAR 和 SEM 模型对双向固定效应模型重

2017年10月

表6 碳排放效率集约利用影响因素普通面板模型估计与检验结果

Table 6 Estimation and test results of ordinary panel model of intensive utilization influencing factors on carbon emissions efficiency

变量	混合效应	个体固定效应	时间固定效应	双向固定效应
<i>li</i>	-0.44(-3.92)***	-0.49(-3.86)***	-0.47(-4.21)***	-0.51(-4.38)***
<i>ei</i>	-0.01(-0.21)	-0.76(-5.94)***	-0.03(-0.52)	-1.00(-7.41)***
<i>fai</i>	0.21(3.59)***	0.27(4.75)***	0.02(0.17)	0.06(0.66)
<i>si</i>	0.22(2.50)**	0.94(9.81)***	0.21(2.40)**	0.77(7.73)***
<i>pi</i>	0.33(3.09)***	-0.37(-2.40)**	0.43(3.66)***	-0.15(-0.95)
<i>gi</i>	0.25(1.94)*	0.24(2.11)**	0.25(1.90)*	0.35(2.78)***
<i>is</i>	0.01(0.15)	0.16(3.31)***	-0.01(-0.30)	0.19(3.73)***
<i>R-Squared</i>	0.166 5	0.809 8	0.206 0	0.831 5
<i>Log-likelihood</i>	115.19	334.01	122.23	358.61
<i>LM-lag</i>	2.59	6.28**	0.41	16.84***
<i>Robust LM-lag</i>	1.78	0.67	5.05**	33.34***
<i>LM-err</i>	3.88**	9.76***	0.01	5.00**
<i>Robust LM-err</i>	3.07*	4.15**	4.64**	21.51***

注:括号内数据表示 *t* 统计量值; \*、\*\*、\*\*\* 分别表示系数通过 10%、5% 和 1% 的显著性水平检验。

新回归,结果如表7。与普通双向固定效应模型相比,SAR和SEM模型回归拟合优度分别为0.8399和0.8346,具有小幅提升。同时Log-L值也有一定程度上升,整体拟合效果提升。具体系数对比中,系数的正负性与原估计模型一致,但多数 *T* 值具有一定幅度改进,表明上述两个模型对双向固定效应模型的系数回归结果改进较明显。此外,虽然空间滞后项和空间误差项分别通过了10%和5%的检验,但SAR的拟合优度和对数似然值相较SEM更高,总体拟合效果更优,因此本文将从SAR模型结果展开对变量意义的分析。

(1)劳动力集约度 *li* 通过了1%显著性水平检验且系数为负,表明劳动力不断聚集对生产过程碳排放效率具有负向影响。劳动力集中表明产业结构中存在大量劳动密集型产业和传统服务业,如轻型制造业、矿产能源生产产业和商业餐饮行业等,技术转化效率低,产出过程伴随大量碳排放。此外,大量劳动力涌入致使城市规模扩大、内部运行(城市交通、物流等)成本增加,间接导致了碳排放效率下降。

(2)能源集约度 *ei* 通过了1%显著性检验,对碳排放效率负向影响最大。2016版《BP世界能源统计年鉴》<sup>[47]</sup>显示中国能源消费已连续15年占据全球第一。目前,中国仍以化石能源消费为主,仅煤炭

表7 碳排放效率集约利用影响因素双向固定效应模型的空间计量估计与检验结果

Table 7 Spatial metrological estimation and test results of bidirectional fixed effect model of intensive utilization influencing factors on carbon emissions efficiency

变量	SAR	SEM
<i>li</i>	-0.51(-4.47)***	-0.54(-4.62)***
<i>ei</i>	-0.99(-7.43)***	-0.88(-6.52)***
<i>fai</i>	0.06(-0.68)	0.01(0.01)
<i>si</i>	0.76(7.71)***	0.76(7.78)***
<i>pi</i>	-0.14(-0.91)	-0.13(-0.88)
<i>gi</i>	0.35(2.82)***	0.32(2.55)**
<i>is</i>	0.19(3.69)***	0.18(3.42)***
<i>W*dep.var.</i>	-0.15(-1.01)*	
<i>Spat.aut.</i>		-0.40(-2.30)**
<i>R-Squared</i>	0.839 9	0.834 6
<i>Log-likelihood</i>	362.43	361.53

注:括号内数据表示 *t* 统计量值; \*、\*\*、\*\*\* 分别表示系数通过 10%、5% 和 1% 的显著性水平检验。

就占据全部能源消费70%以上。能源消费方式缺乏精炼过程,如北方多地区煤炭消费以直接燃烧为主,利用效率偏低,成为碳排放总量增长的直接因素,并大幅降低了碳排放效率。

(3)固定资产集约度 *fai* 对碳排放效率影响不显著。固定资产投资建设过程虽然造成了碳排放总量增加,但基本建设建立在新增用地中,而对原有固定资产的更新改造包含技术改造和城市环境改



造,对地均碳排放量和效率影响均较小。此外,由于固定资产新投资严格遵循节能评估,以提高能源利用效率为原则,因此对地区碳排放效率影响不大。

(4)科技投入集约度 $si$ 通过1%显著性检验,呈极显著正向效应。增加单位技术研发经费投入的影响达到0.76,提升作用最明显。其原因在于技术研发投入自身不会增加地均碳排放量,且因技术投入带动的产业生产、能源消耗模式转变将进一步促进碳排放效率提升。当前全国产业正经历技术转型期,技术性产业比重迅速增加,这是全国平均技术效率增长的直接原因,也是综合效率提高的主要原因。

(5)绿化集约度 $gi$ 通过1%显著性检验,说明提高绿化集约水平有助于提升碳排放效率。土地利用方式的碳排放效应研究认为林地、草地等碳排放小于吸收量,属于碳汇,而建设用地为碳排放水平最高的碳源<sup>[35]</sup>。因此建设用地中加大园林绿化建设,不仅可降低纯碳源比例,且因碳汇吸收抵消了部分碳排放,双向降低了地均产出碳排放量,有利于提高碳排放效率。

(6)人口承载水平 $pi$ 影响不显著。虽然城市人口承载规模本身对总碳排放量具有正向影响<sup>[36]</sup>,但当前城市化进程的主要方式为外向扩展,而非人口垂直集约化。除少数发达省份外,各省单位土地承载的人口数量相差有限,对碳排放效率影响也较小。

(7)产业结构 $is$ 通过1%显著性检验,降低第二产业、提升第三产业在国民经济中的比重对提升碳排放效率具有促进作用。以信息、科技、金融为主的新兴第三产业在带动经济增长同时产生的碳排放是微乎其微的。十二五、十三五规划以来,东部发达省份进行了多次产业转型和升级,第三产业的质和量都有大幅提升。至2013年中国第三产业首次超越第二产业,GDP占比达46.1%,整体上升趋势与碳排放效率发展趋势具有一致性。但目前餐饮、交通等传统服务业的比重仍然较高,优化三产内部结构将有助于进一步提升碳排放效率。

### 3.4 集约利用度与碳排放效率趋势空间关系分析

运用GeoDa软件全局空间自相关方法得出集

约度和综合效率增加值的Double Moran's I散点图及数值(图3),并利用arcgis绘制了显著性 $P<0.05$ 水平下两者局部空间自相关LISA图(图4)。图3中,I-IV四象限分别为HH、HL、LL和LH象限。其中落在I、III象限的区域代表其具有较高(较低)集约利用程度增加同时碳排放综合效率也具有较大(较小或负)幅度增加,两者增长趋势呈空间正相关;II、IV象限则相反。研究区实际Moran's I指数为-0.1937,说明建设用地集约利用与综合效率增长总体呈负相关性。落在I、III象限的省区占样本总量26.6%,II、IV象限省区占据60%,表明多数省份在集约化进程中,碳排放效率与集约程度发展趋势表现出非一致性。图4是各省份建设用地集约度与综合效率增长趋势的空间关联分布状况,除甘肃、宁夏、广西和湖北省(自治区)呈非显著聚集外,多数省份以HL和LH聚类为主,HH、LL聚类省份不仅少且基本处于分散状态。上述聚类特征可结合空间计量结果加以分析。

(1)HH聚类的特征解释。HH聚类省份(直辖市)为京津沪地区,集约利用度和碳排放综合效率在10年时间增长分别超过30%和35%。由于同为直辖市,相较其他省份而言土地集约利用建设已历经多年,且因其定位于政治和金融中心,已逐渐脱离能源、人力集约阶段,以科技、教育和生态等领域

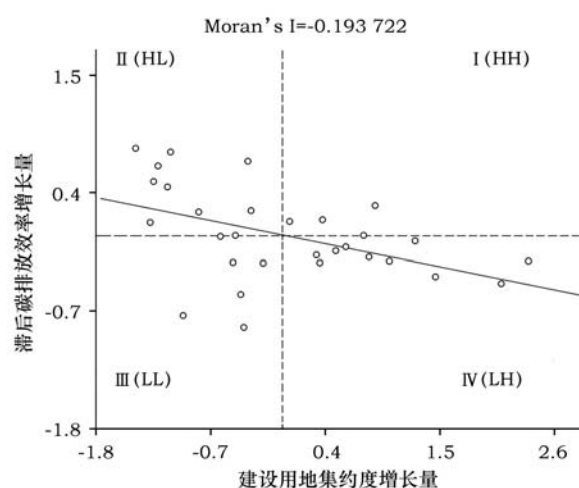


图3 2005-2014年中国建设用地集约利用与碳排放综合效率增长全局空间自相关Moran散点图

Figure 3 Global spatial autocorrelation moran scatter diagram between construction land intensive utilization and carbon emission comprehensive efficiency growth in China from 2005 to 2014

2017年10月

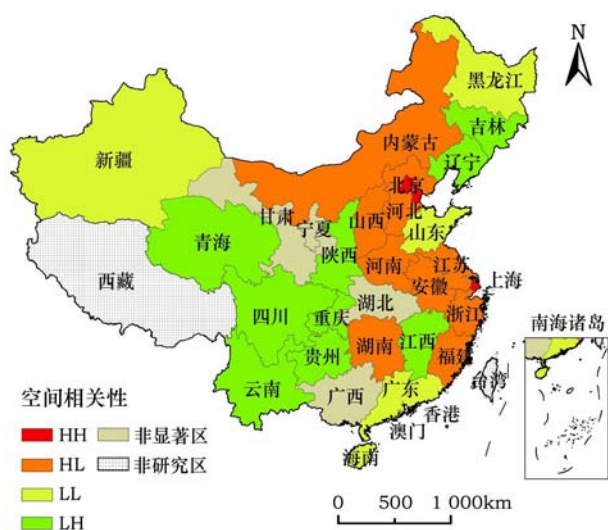


图4 2005-2014年中国建设用地集约利用与碳排放综合效率增长局部空间自相关LISA图

Figure 4 Local indexes of spatial association between construction land intensive utilization and carbon emission comprehensive efficiency growth in China from 2005 to 2014

注:由于数据获取困难,本次研究不包括香港、台湾、澳门和西藏。

的智力和技术集约为主,通过不断退出一般制造业和污染企业,着重发展第三产业经济。如北京市在十二五规划末服务业比重占据GDP80%,技术性交易额占据全国1/3以上。新兴领域的集约投入不仅使碳排放增加减缓,更使排放强度明显下降,实现了土地集约与碳效率的双向提升。

(2)HL聚类的特征解释。HL聚类省份主要分布为东中部地区,湖南省成为HL聚类的孤立点。其中,浙、苏、皖、湘4省碳排放效率始终处于中高水平,在原有集约模式下效率增加有限;而其他5省的基础集约水平较低,以内蒙古和山西为代表省份的经济结构中一直以第二产业为主,对能源要素投入的过度依赖导致其碳排放速率逐年递增,致使碳排放综合效率下降。

(3)LL聚类的特征解释。LL聚类省份有粤、鲁、黑、琼、新5省,其空间分布分散,形成聚类的原因也各异。广东省作为技术产业发展先行区,产业以第三产业和高技术先进制造业为主,碳排放效率一直处于高位水平;海南省产业结构中以第一产业为主,第三产业次之,第二产业占比较小,单位产出的碳排放水平较低,因此广东省和海南省碳排放效率增加空间有限;山东省能源消耗居全国之首,高

碳排放工业比重较大,虽然处于产业转型期,但效率提升缓慢;黑龙江省和新疆维吾尔自治区在城市化进程中大幅提升工业化水平,在技术产业等智力领域的投入却很小,导致原本较高的碳排放效率一直处于下降状态,并以技术效率的下降为主。上述省份与浙江省等后备城市用地紧缺的现状不同,城市化过程采取向外扩张和集约投入并存的方式,集约度增加缓慢。

(4)LH聚类的特征解释。LH聚类主要分布在中国西南部,另外吉、辽、赣3省也属于该聚类。由于经济发展欠发达,土地资源并非像东部省份一直处于高度稀缺状态,利用方式相对粗放。其中西南各省二、三产业相对落后,自身碳排放水平较低。随着技术性产业转移,原本落后的生产结构和技术得到了提升并带动了单位碳排放产出增加。而江西、吉林、辽宁等省受到发达省份技术辐射带动作用明显。以吉林省为代表,作为老工业基地在技术转型后碳排放技术效率提升了35%。因此,技术辐射的空间溢出效应是上述各省碳排放效率显著增加的主要原因。

## 4 结论与讨论

本文通过构建建设用地集约利用评价模型及指标体系测算了2005-2014年省际建设用地集约利用度;基于非期望产出SBM模型构建了集约利用状态下的碳排放效率投/产指标体系,并计算了各省碳排放技术、规模与综合效率。以此为基础,采用空间计量模型和空间相关性分析探索了建设用地集约利用与碳排放效率的内在联系机制及空间关系。主要结论如下:

(1)研究期内各省建设用地集约利用程度均处于上升趋势。至2014年时,全国83%省份处于Ⅲ级以上集约水平。空间分布上,建设用地集约分布与中国经济发展整体类似,遵循从东至西逐级递减的分布特点。

(2)研究期内省际碳排放效率在时序上无波动性变化,除新疆、黑龙江、河北和山西等少数省份外,其余各省均有一定程度上升。综合效率空间变化趋势中,南方省份整体效率上升较快,而北方上升缓慢,甚至出现停滞或下降局面。引起全国碳排放效率变化的主要原因为技术效率变化趋势差异。

(3)根据空间计量结果可知,建设用地集约利用过程中不同要素投入所产生的集约效应对碳排放效率影响不同。除固定资产集约度和人口承载水平对碳排放效率影响不显著外,劳动力、能源的集约效应对碳排放效率呈负向影响,而科技研发投入、绿化水平和产业结构对碳排放效率具有正向促进作用。

(4)全局空间自相关指数显示,2005-2014年的10年间建设用地集约度和碳排放效率增加趋势呈空间负相关。局域自相关指数显示局部聚集效应明显,并以HL和LH聚类为主。集约利用水平的提升对碳排放效率而言并非单纯的高投入高产出高效率格局,优化内部集约结构,在一定程度上对提升碳排放效率具有更大的促进作用。

从建设用地集约利用内涵展开其对碳排放效率的影响机制研究有助于城市建设规划部门了解城市集约化发展过程对低碳社会建设的影响,对今后低碳城市的建设具有借鉴意义。但限于篇幅,本文未就不同区域中观尺度的建设用地低碳管理对策提出具体的政策措施建议,有待今后针对具体城市两者关系的研究中进一步完善。

## 参考文献(References):

- [1] Crecente R, Alvarez C, Fra U. Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia[J]. *Land Use Policy*, 2002, 19(2): 135-147.
- [2] 谢敏,郝晋珉,丁忠义,等.城市土地集约利用内涵及其评价指标体系研究[J].中国农业大学学报,2006,11(5):117-120. [Xie M, Hao J M, Ding Z Y, et al. Study on connotation of intensified urban land use and its evaluation index[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2006, 11(5): 117-120.]
- [3] 毕宝德.土地经济学[M].北京:中国人民大学出版社,2011. [Bi B D. *Land Economics*[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2011.]
- [4] 丘金峰,杨树鑫.房地产法辞典[M].北京:法律出版社,1992. [Qiu J F, Yang S X. *Real Estate Law Dictionary*[M]. Beijing: Law Press, 1992.]
- [5] 曹银贵,郑新奇,胡业翠.区域建设用地集约利用评价研究-以济南市为例[J].经济地理,2010,30(6):1016-1020. [Cao Y G, Zheng X Q, Hu Y C. Appraisal on regional construction land intensive use- taking JINAN as example[J]. *Economic Geography*, 2010, 30(6): 1016-1020.]
- [6] 赵鹏军,彭建.城市土地高效集约化利用及其评价指标体系[J].资源科学,2001,23(5):23-27. [Zhao P J, Peng J. High efficient and intensified use of urban land and its evaluation index system[J]. *Resources Science*, 2001, 23(5): 23-27.]
- [7] 张俊峰,张安录,董捷.土地集约利用与土地利用碳排放的关系研究-以武汉城市圈为例[J].农业现代化研究,2013,34(6):717-721. [Zhang J F, Zhang A L, Dong J. Study on relationship of intensive land use and carbon emission-a case study of Wuhan urban agglomeration[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2013, 34(6): 717-721.]
- [8] Dumortier J, Hayes D J, Carriquiry M, et al. Sensitivity of carbon emission estimates from indirect land- use change[J]. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 2011, 33(4): 428-448.
- [9] 韩骥,周翔,象伟宁.土地利用碳排放效应及其低碳管理研究进展[J].生态学报,2016,36(4):1152-1161. [Han J, Zhou X, Xiang W N. Progress in research on land use effects on carbon emissions and low carbon management[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(4): 1152-1161.]
- [10] Ali G, Nitivattananon V. Exercising multidisciplinary approach to assess interrelationship between energy use, carbon emission and land use change in a metropolitan city of Pakistan[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(1): 775-786.
- [11] Vleeshouwers L M, Verhagen A. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(6): 519-530.
- [12] 张梅,赖力,黄贤金,等.中国区域土地利用类型转变的碳排放强度研究[J].资源科学,2013,35(4):114-121. [Zhang M, Lai L, Huang X J, et al. The carbon emission intensity of land use conversion in different regions of China[J]. *Resources Science*, 2013, 35(4): 114-121.]
- [13] 游和远,吴次芳,沈萍.土地利用结构与能源消耗碳排放的关联测度及其特征解释[J].中国土地科学,2010,24(11):4-9. [You H Y, Wu C F, Shen P. Correlation degree measurement and characteristic explanation between land use structure and carbon emission from energy consumption[J]. *China Land Science*, 2010, 24(11): 4-9.]
- [14] 余德贵,吴群.基于碳排放约束的土地利用结构优化模型研究及其应用[J].长江流域资源与环境,2011,20(8):911-917. [Yu D G, Wu Q. Application of the model of land used structure optimization based on Low- carbon limited[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(8): 911-917.]
- [15] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋,等.区域土地利用结构的碳效应评估及低碳优化[J].农业工程学报,2013,29(17):220-229. [Zhao R Q, Huang X J, Zhong T Y, et al. Carbon effect evaluation and low-carbon optimization of regional land use[J]. *Transactions of*



2017年10月

- the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(17): 220-229.]
- [16] 游和远, 吴次芳. 农地集约利用的碳排放效率分析与低碳优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(2): 224-234. [You H Y, Wu C F. Analysis of carbon emission efficiency and optimization of low carbon for agricultural land intensive use[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(2): 224-234.]
- [17] 孙英彪, 苏雄志, 许皞. 河北省耕地集约利用水平与碳排放效率的相关性[J]. 农业工程学报, 2016, 32(19): 258-267. [Sun Y B, Su X Z, Xu H. Correlation between levels of cultivated land intensive use and carbon emission efficiency in Hebei Province[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2016, 32(19): 258-267.]
- [18] 张苗, 甘臣林, 陈银蓉. 基于SBM模型的土地集约利用碳排放效率分析与低碳优化[J]. 中国土地科学, 2016, 30(3): 37-45. [Zhang M, Gan C L, Chen Y R. Carbon emission efficiency analysis and low carbon optimization for urban land intensive use based on SBM model[J]. *China Land Sciences*, 2016, 30(3): 37-45.]
- [19] 朱志远, 苗建军, 崔玮. 城市建设用地集约利用的碳排放效率分析[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(3): 98-103. [Zhu Z Y, Miao J J, Cui W. Analysis of carbon emission efficiency for urban construction land intensive use[J]. *Areal Research and Development*, 2016, 35(3): 98-103.]
- [20] 赵小凤, 黄贤金, 陈逸, 等. 城市土地集约利用研究进展[J]. 自然资源学报, 2010, 25(11): 1979-1996. [Zhao X F, Huang X J, Chen Y, et al. Research progress in urban land intensive use[J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(11): 1979-1996.]
- [21] 祝小迁, 程久苗, 王娟, 等. 近十年我国城市土地集约利用评价研究进展[J]. 现代城市研究, 2007, (7): 69-75. [Zhu X Q, Chen J M, Wang J, et al. Research progress on the evaluation of urban land intensive use in China in the last decade[J]. *Modern Urban Research*, 2007, (7): 69-75.]
- [22] 王静, 邵晓梅. 土地节约集约利用技术方法研究: 现状、问题与趋势[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 68-74. [Wang J, Shao X M. Methodologies of intensive land use research: issues and trend[J]. *Progress in Geography*, 2008, 27(3): 68-74.]
- [23] 林坚, 张沛, 刘诗毅. 论建设用地节约集约利用评价的技术体系与思路[J]. 中国土地科学, 2009, 23(4): 4-10. [Lin J, Zhang P, Liu S Y. Discussion on technical system and perspectives of evaluation on construction land saving and intensive use[J]. *China Land Sciences*, 2009, 23(4): 4-10.]
- [24] 宋戈, 王兰霞, 方斌, 等. 大城市周边卫星城土地集约利用评价方法研究-以黑龙江省阿城市为例[J]. 经济地理, 2005, 25(6): 887-890. [Song G, Wang L X, Fang B, et al. A study of evaluation method of the satellite city land-use intensification-a case study of aching of Heilongjiang province[J]. *Economic Geography*, 2005, 25(6): 887-890.]
- [25] 中华人民共和国国土资源部. TD/T 1029-2010, 开发区土地集约利用评价规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. TD/T 1029-2010, Code for Evaluation of Intensive Land Use in Development Zones[S]. Beijing: China Standard Press, 2010.]
- [26] 李秀彬, 朱会义, 谈明洪, 等. 土地利用集约度的测度方法[J]. 地理科学进展, 2008, 27(6): 12-17. [Li X B, Zhu H Y, Tan M H, et al. Measurement of land use intensity[J]. *Progress in Geography*, 2008, 27(6): 12-17.]
- [27] 郑华伟, 刘友兆, 王希睿. 中国城镇化与土地集约利用关系的动态计量分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(9): 1029-1034. [Zheng W H, Liu Y Z, Wang X J. Dynamic econometric analysis of the relationship between urbanization and land intensive utilization in China[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(9): 1029-1034.]
- [28] 杨丽, 孙之淳. 基于熵值法的西部新型城镇化发展水平测评[J]. 经济问题, 2015, (3): 115-119. [Yang L, Sun Z C. The development of western new-type urbanization level evaluation based on entropy method[J]. *On Economic Problems*, 2015, (3): 115-119.]
- [29] Tone K. On returns to scale under weight restrictions in data envelopment analysis[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2001, 16(1): 31-47.
- [30] 马大来, 陈仲常, 王玲. 中国省际碳排放效率的空间计量[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(1): 67-77. [Ma D L, Chen Z C, Wang L. Spatial econometrics research on inter-provincial carbon emissions efficiency in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(1): 67-77.]
- [31] 王君华, 李霞. 中国工业行业经济增长与CO<sub>2</sub>排放的脱钩效应[J]. 经济地理, 2015, 35(5): 105-110. [Wang J H, Li X. The effect of sector decoupling between China's industrial economic growth and carbon dioxide emissions[J]. *Economic Geography*, 2015, 35(5): 105-110.]
- [32] 曹广喜, 杨灵娟. 基于间接碳排放的中国经济增长、能源消耗与碳排放的关系研究1995-2007年细分行业面板数据[J]. 软科学, 2012, 26(9): 1-6. [Cao G X, Yang L J. Research on the relationship between Chinese economic development, energy consumption and carbon emissions based on indirect carbon emission-based on the sub-sector panel data from 1995 to 2007[J]. *Soft Science*, 2012, 26(9): 1-6.]
- [33] 郑蕾, 唐志鹏, 刘毅. 中国投资引致碳排放与经济增长的空间特征及脱钩测度[J]. 资源科学, 2015, 37(12): 2330-2340. [Zheng L, Tang Z P, Liu Y. Spatial characteristics and decoupling of carbon emissions and economic growth induced by Chinese investments[J]. *Resources Science*, 2015, 37(12): 2330-

- 2340.]
- [34] 刘传江,赵晓梦.长江经济带全要素碳生产率的时空演化及提升潜力[J].长江流域资源与环境,2016,25(11):1635-1644. [Liu C J, Zhao X M. Research on spatial-temporal evolution of total factor productivity carbon and potential to increase carbon productivity in the Yangtze River economic belt[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25 (11): 1635-1644.]
- [35] 赵荣钦,陈志刚,黄贤金,等.南京大学土地利用碳排放研究进展[J].地理科学,2012,32(12):1473-1480. [Zhao R Q, Chen Z G, Huang X J, *et al.* Research progresses of land use carbon emission in Nanjing University[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(12): 1473-1480.]
- [36] 李楠,邵凯,王前进.中国人口结构对碳排放量影响研究[J].中国人口·资源与环境,2011,21(6):19-23. [Li N, Shao K, Wang Q J. Study on impact from population structure on carbon emissions in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(6): 19-23.]
- [37] Grubb M, Sha F, Spencer T, *et al.* A review of Chinese CO<sub>2</sub> emission projections to 2030: the role of economic structure and policy[J]. *Climate Policy*, 2015, 15(sup1): S7-S39.
- [38] 陆汝成,黄贤金.基于省级和市级层次的违法占用耕地与经济发展的空间计量分析[J].中国土地科学,2012,26(7):60-66. [Lu N C, Huang X J. Spatial analysis on the relation between illegal cultivated land occupation and economic development at provincial and municipal levels[J]. *China Land Science*, 2012, 26 (7): 60-66.]
- [39] Wartenberg D. Multivariate spatial correlation: a method for exploratory geographical analysis[J]. *Geographical Analysis*, 1985, 17(4): 263-283.
- [40] 世界资源研究所.城市温室气体核算工具2.0[EB/OL].(2015-04-02)[2017-02-24]. <http://www.wri.org.cn/node/41204>. [WRI. Urban Greenhouse Gas Accounting Tool 2.0 [EB/OL]. (2015-04-02)[2017-02-24]. <http://www.wri.org.cn/node/41204>.]
- [41] 中华人民共和国国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2015. [Department of Energy Statistics of National Bureau of Statistics of China. China Energy Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.]
- [42] 中华人民共和国国家统计局.国家数据库[DB/OL].<http://data.stats.gov.cn>. [National Bureau of Statistics of China. National database[DB/OL].<http://data.stats.gov.cn>.]
- [43] 中华人民共和国国家统计局城市社会经济调查司.中国城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2015. [Department of Urban Surveys of National Bureau of Statistics of China. China City Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.]
- [44] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2015. [National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.]
- [45] 国家统计局,科学技术部,财政部.2015年全国科技经费投入统计公报[N].中国信息报,2016-11-14(001)[National Bureau of Statistics of China, Ministry of Science and Technology of China, Ministry of Finance of China. Statistical Communique on National Science and Technology Funding in 2015[N]. China Information News, 2016-11-14(001).]
- [46] 李胜文,李大胜,邱俊杰,等.中西部效率低于东部吗?基于技术集差异和共同前沿生产函数的分析[J].经济学:季刊,2013,12(2):777-798. [Li S W, Li D S, Qiu J J, *et al.* Is the Middle-West less efficient than the East?[J]. *China Economic Quarterly*, 2013, 12(2): 777-798.]
- [47] BP Statistical Review of World Energy. 2016年BP世界能源统计年鉴[EB/OL].(2016-06-26)[2017-02-24]. [http://www.bp.com/zh\\_cn/china/reports-and-publications/bp\\_2016.html](http://www.bp.com/zh_cn/china/reports-and-publications/bp_2016.html). [BP Statistical Review of World Energy. BP World Energy Statistics Yearbook 2016 [EB/OL]. (2016-06-26)[2017-02-24].[http://www.bp.com/zh\\_cn/china/reports-and-publications/bp\\_2016.html](http://www.bp.com/zh_cn/china/reports-and-publications/bp_2016.html).]

# Temporal and spatial evolution and influencing mechanism of construction land intensive utilization on carbon emissions efficiency in China

YUAN Kaihua, MEI Yun, CHEN Yinrong, LAN Mengting

(College of Public Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Exploring the influence mechanism of construction land intensive utilization on carbon emission efficiency in urbanization is necessary to promote the simultaneous development of urban utilization and low carbon society construction in China. Here, we constructed an evaluation model of construction land intensive utilization and the non-expected output SBM model. Based on the analysis of temporal and spatial variability at the provincial level, the intrinsic mechanism and external characteristics between construction land intensive utilization and carbon emission efficiency were explored using the spatial econometric model and spatial correlation analysis tool. We found that construction land intensive utilization at the provincial level showed an overall tendency to grow in the course of temporal evolution as well as a gradually declining trend from east to west in the course of spatial variation. There was no obvious timing fluctuation of carbon emission efficiency among provinces, most of which are increasing to some extent. Due to variation differentiation in technical efficiency development, comprehensive efficiency in southern provinces was rising faster than the north. The influence of different factors on carbon emission efficiency was quite different. In addition to fixed assets and population bearing status, the intensive utilization of labor and energy had a negative effect on carbon emission efficiency, while intensive investment in science and technology, increase in greening rate and improvement of industrial structure had a positive role in promoting carbon emission efficiency. There was a negative spatial correlation for growth between construction land intensive utilization and carbon emission efficiency in the study region, and the local aggregation effect was obvious, more based on HL and LH clustering. This means that the internal structure should be optimized to further enhance the promotion of carbon emission efficiency on construction land utilization in China.

**Key words:** land intensive; carbon emission efficiency; spatial econometrics; spatial autocorrelation; China