

# 基于 SBM 模型的土地集约利用碳排放效率分析与低碳优化

张 苗,甘臣林,陈银蓉

(华中农业大学公共管理学院,湖北 武汉 430070)

**摘要:**研究目的:寻找以碳排放作为成本的适度土地集约利用水平,构建城市土地集约利用的低碳优化策略。研究方法:模型法,对比分析法。研究结果:(1)在空间分布上,东、中部地区具有较高的土地集约利用水平和碳排放效率值;(2)在省际分布上,土地集约利用水平与其碳排放效率值高低并不一致,仅有14%的省份处于高土地集约利用水平和高碳排放效率的理想状态;(3)技术效率不足是造成东、中部地区总效率低下的原因,技术效率不足和规模效率不足是西部地区总效率低下的原因。研究结论:全国29个省份的城市土地集约利用碳排放效率存在差异,需结合东、中、西部地区区域城市土地利用与经济发展特点,差别化地构建低碳土地利用优化策略。

**关键词:**土地利用;土地集约利用碳排放;效率分析;SBM

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1001-8158(2016)03-0037-09

## Carbon Emission Efficiency Analysis and Low Carbon Optimization for Urban Land Intensive Use based on SBM Model

ZHANG Miao, GAN Chen-lin, CHEN Yin-rong

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

**Abstract:** The purpose of this study is to analyze the efficiency values of carbon emission from urban land intensive use and design optimization strategies for urban land use. Methods of modeling and comparative analysis were employed to evaluate the urban land use intensity and calculate the total efficiency values, technical efficiency values, and scale efficiency values of carbon emission from urban land intensive use in all provinces. The results indicate that: 1) The provinces whose intensity values of urban land use are large are mainly located in eastern and central China, consistently with its efficiency value of carbon emission. 2) More than 80% provinces in China have the relatively ineffective efficiency of carbon emission from urban land intensive use, and there are only 14% provinces whose high efficiency of carbon emission from urban land intensive use are consist with their high intensity values of urban land use. 3) The main reason for the low total efficiency in eastern and central China is the imperfect technical efficiency of carbon emissions from urban land intensive use, while in western China both the imperfect technical efficiency and the imperfect scale efficiency have great effect on the low total efficiency. The paper concludes that the intensity values of urban land intensive use are

收稿日期:2015-09-25;修稿日期:2015-11-06

基金项目:国家社科基金(14BGL218);中央高校基本科研业务费专项基金资助(2662013SC41);教育部人文社会科学研究青年项目(15YJC630011)。

第一作者:张苗(1989-),女,山东莱芜人,博士研究生。主要研究方向为土地利用与管理。E-mail: zhangmiao45@126.com

different in 29 provinces, and we should fully consider the characteristics of urban land use and economy development in the Eastern, the Middle and the Western, and design the optimization strategies respectively.

**Key words:** land use; carbon emission of urban land intensive use; efficiency analysis; SBM model

## 1 引言

城市化进程的加快导致越来越多的农用地转为非农用地,有限的土地资源对城市的发展产生阻碍,土地集约利用被认为是解决城市盲目扩张引起的土地低效利用、空间布局不合理和资源浪费等的有效办法<sup>[1]</sup>;劳动、资本和技术等要素的投入是提高土地集约利用水平的前提,建设用地作为城市发展最重要的载体,以上要素的投入集中在建设用地上,研究表明建设用地成为所有土地利用类型中最大的碳源<sup>[2-5]</sup>,而农用地向非农用地的转换也会增加碳排放量<sup>[6]</sup>,土地集约利用对碳排放的影响在于一方面减少了作为碳汇的农用地向建设用地的转换从而减缓了土地利用碳排放,另一方面因增加劳动资本等要素投入促进了作为碳源的建设用地的碳排放。土地集约利用的水平和阶段决定了土地集约利用对土地利用碳排放表现为促进还是减缓作用<sup>[7-8]</sup>,研究表明在土地利用的资本集约阶段,提高土地利用水平会促进土地利用碳排放增加<sup>[9]</sup>,土地利用碳排放作为提高土地集约利用水平的“成本”,成为一种环境负担和外部性损失,因此寻找到以碳排放作为成本的适度土地集约利用水平成为土地低碳和经济利用的关键,与兼顾“集约”和“低碳”的新型城镇化理念相一致,而理想的土地集约利用碳排放效率可以帮助实现研究目的。

本文拟在已有文献研究的基础上,研究以碳排放作为成本的适度土地集约利用水平,寻找理想的土地集约利用碳排放效率,具体思路为采用全国第二次土地调查数据并基于所有土地利用类型的碳排放量,运用SBM模型,估算各地区土地集约利用的碳排放效率,并对总效率小于1的碳排放无效地区土地集约利用提出低碳优化策略,兼顾土地集约利用的碳排放权利与义务。

## 2 研究方法介绍

### 2.1 土地集约利用计算模型

城市土地集约利用水平的计算公式如下:

$$F_p = \sum_{i=1}^D f_i \times B_{ip} \quad (1)$$

式(1)中, $F_p$ 为省份 $P$ 的城市土地集约利用水平, $f_i$ 为第 $i$ 个指标的权重, $B_{ip}$ 为省份 $P$ 的第 $i$ 个指标无量纲值, $D$ 为总指标数。

### 2.2 SBM模型

碳排放作为一种环境负担与外部性损失,是土地集约利用时产生“好”产出的成本,也是提高土地集约利用水平时所不期望的一种产出,因此需要在土地集约利用碳排放效率分析模型中解决非期望“坏”产出纳入效率分析的问题。传统的DEA(Data Envelopment Analysis)不能处理非期望产出的问题,或者经过其他解决途径处理时会存在破坏真实性与效率结果不精确的问题。

国外学者曾提出多种构想来解决“非期望产出”问题,如Hailu A.等<sup>[10]</sup>将非期望产出视作投入变量,Seiford L.M.等<sup>[11]</sup>将非期望产出乘以负一,Färe R.等<sup>[12]</sup>运用距离函数方法,而Tone K.<sup>[13]</sup>提出了SBM(Slack Based Measure)模型,SBM模型同时从投入和产出两个角度对无效率状况进行测量,属于非导向模型,不但解决了径向模型(DEA)对无效率的测量不包含松弛变量的问题,还可以将非期望产出直接纳入产出<sup>[14]</sup>,考虑本文要解决

的实际问题,最终采用SBM模型。

假设总数量为 $n$ 的省份,城市土地集约利用中存在 $I$ 种投入、 $O_1$ 种期望产出和 $O_2$ 种非期望产出,根据Tone的研究成果,第 $k$ 个省份包含非期望产出的SBM模型<sup>[14]</sup>数学表达如下:

$$\text{Min } \rho_k = \frac{1 - \frac{1}{i} \sum_{i=1}^I \frac{S_{ki}^-}{X_{ki}}}{1 + \frac{1}{O_1 + O_2} (W_1 \sum_{j=1}^{O_1} \frac{S_{kj}^g}{Y_{kj}^g} + W_2 \sum_{j=1}^{O_2} \frac{S_{kj}^b}{Y_{kj}^b})} \quad (2)$$

约束条件为:

$$\begin{aligned} X_{ki} &= \sum_{r=1}^n X_{ri} \lambda_r + S_{ki}^- \\ Y_{ki}^g &= \sum_{r=1}^n Y_{ri} \lambda_r - S_{ki}^g \\ Y_{ki}^b &= \sum_{r=1}^n Y_{ri} \lambda_r + S_{ki}^b \\ \sum_{r=1}^n \lambda_r &= 1, S^- \geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0, \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

式(2)中 $\rho_k$ 为第 $k$ 个DMU(Decision Making Unit,决策单元)的效率值; $X_{ki}$ 为第 $k$ 个DMU的第 $i$ 项投入; $Y_{kj}^g$ 为第 $k$ 个DMU期望产出; $Y_{kj}^b$ 为第 $k$ 个DMU非期望产出; $\lambda_r$ 为第 $r$ 个DMU参考集的权重; $S^-$ 为投入冗余量; $S^g$ 为期望产出不足量; $S^b$ 为非期望产出冗余量; $W_1$ 和 $W_2$ 为期望产出与非期望产出间的相对权重,如期望产出包括2项指标,非期望产出包括1项指标,3项指标同等重要,则可以设定 $W_1 = 2/3$ , $W_2 = 1/3$ 。在 $\sum_{r=1}^n \lambda_r = 1$ 约束下, $\rho_k$ 实际上是给定规模报酬可变假设下的技术效率,去掉权重约束条件,则可以获得固定规模报酬下的总效率,假设第 $k$ 个DMU总效率为 $S_0$ ,则通过SBM模型计算含非期望产出的规模效率 $\theta_0$ 如下:

$$\theta_0 = S_0 / \rho_0 \quad (3)$$

### 2.3 指标选取

土地集约利用的测度指标因研究目的不同而相异<sup>[1]</sup>,本文所指的土地集约利用特指城市土地集约利用。在选取测度指标时,如果既用投入的劳动与资本指标又用产出指标,不仅容易造成指标之间具有较强的相关性,对其他的衡量指标也是一种弱化,最终影响土地集约利用水平的正确测度<sup>[15-16]</sup>。综上,考虑已有文献研究和数据的可获得性及SBM模型中对投入产出指标的数量限制<sup>[14]</sup>,选取劳动、资本和技术的代表性指标依次为地均二、三产业从业人数、地均城镇固定资产二、三产业投资额和地均R&D(Research and Development)经费,对土地集约利用水平的指标进行测度,并根据中国处于城市化加速期分析三种投入指标对提高土地集约利用水平的重要性,采用MATLAB软件(1—9尺度成对比较法)计算权向量并作一致性检验( $CR = 0.0426 < 0.1$ ),确定三个指标的权重(表1)。

为实现土地集约利用水平与其碳排放效率分析之间的可比较性,将碳排放效率计算中的投入指标与衡量土地集约利用水平的三项指标保持一致(表1)。考虑对土地的投入带来的土地利用收益和已有文献研究<sup>[15-17]</sup>,SBM模型的产出指标选择二、三产业增加值和社会消费品零售总额,土地利用过程中的碳排放既是一种成本投入又是一种非期望的产出,最终采用相对指标形式的产出指标(表1),其中前2个指标属于“好”的期望产出,第3个指标属于“坏”的非期望产出,并设定SBM模型中 $W_1 = 2/3$ , $W_2 = 1/3$ 。

计算城市土地集约利用水平时,为了消除指标之间的量纲影响,考虑衡量指标为正向指标,采用式(4)进行标准化处理。

表1 土地集约利用测度指标与SBM投入产出指标

Tab.1 Indices of urban land intensive use and the input-output indices of SBM in analysis			
指标(单位)		权重	指标说明
土地集约利用指标	地均二、三产业从业人数(人/hm <sup>2</sup> )	0.26	市辖区二、三产业人数/市辖区建成区面积
	地均城镇固定资产二、三产业投资额(10 <sup>4</sup> 元/hm <sup>2</sup> )	0.41	城镇固定资产二、三产业投资额/市辖区建成区面积
	地均R&D经费(10 <sup>4</sup> 元/hm <sup>2</sup> )	0.33	R&D经费/市辖区建成区面积
SBM模型产出指标	单位碳排放量实现二、三产业GDP增加值(10 <sup>4</sup> 元/t)	—	二、三产业GDP增加值/碳排放量
	单位碳排放量实现社会消费品零售总额(10 <sup>4</sup> 元/t)	—	市辖区社会消费品零售总额/碳排放量
	地均净碳排放量(t/hm <sup>2</sup> )	—	净碳排放量/市辖区建成区面积

注:SBM模型投入指标与土地集约利用测度指标一致;净碳排放量为碳排放量与碳吸收量的加和。

表2 土地利用和能源消耗类型碳排放系数

Tab.2 The carbon emissions coefficient of land use and energy consumption type			
土地利用类型	碳排放系数(t/hm <sup>2</sup> ·a)	能源消耗类型	碳排放转换系数(t/tce)
耕地	0.372	煤炭	0.755
园地	-0.398	焦炭	0.855
林地	-4.870	原油	0.584
草地	-0.191	燃料油	0.618
水域及水利设施用地	-0.410	汽油	0.556
		柴油	0.591
		天然气	0.448
		煤油	0.574

注:土地利用碳排放系数参考余雪振<sup>[20]</sup>所总结的方精云、管东升、赖力等学者的研究成果;能源消耗类型的碳排放系数参考游和远和吴次芳<sup>[11]</sup>对代表性研究成果的总结。

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}}$$

(4)

式(4)中, $X_{ij}$ 表示指标标准值, $X_{ij}$ 表示指标原始值, $X_{i\min}$ 表示第*i*项指标的最小值, $X_{i\max}$ 表示第*i*项指标的最大值(SBM模型的投入产出指标无需标准化)。

3 数据来源与统计描述

3.1 土地利用碳排放量计算

本文将耕地和建设用地作为碳源,园地、林地、草地、水域作为碳汇<sup>[18]</sup>,其中耕地、园地、林地和草地通过面积和对应的碳排放系数(表2)进行计算(式5);建设用地上的碳排放<sup>[19]</sup>是根据人类社会生产和生活活动在建设用地上所消耗的能源,包括煤炭、焦炭、原油等所产生的碳排放量进行测算(式6)),对应碳排放系数见表2,并据此计算土地利用总碳排放量(式7))。

$$E_i = s_i \times \delta_i$$

(5)

式(5)中, $E_i$ 为除建设用地以外的第*i*种土地类型的碳排放量, $s_i$ 为对应的土地面积, $\delta_i$ 为第*i*种土地类型对应的碳排放系数。

$$E_j = \sum e_j \times \delta_j$$

(6)

式(6)中,  $E_j$  为建设用地所承载的能源碳排放总量,  $e_j$  为建设用地承载的第  $j$  种能源消耗量,  $\delta_j$  表示第  $j$  种能源的碳排放系数。

$$E = \sum (E_i + E_j) \tag{7}$$

式(7)中,  $E$  为土地利用总的碳排放量,  $E_i$  和  $E_j$  同上。

3.2 其他数据来源及统计描述

土地利用数据采用全国第二次土地调查数据,来源为中国国土资源部官方网站,因西藏数据暂未公布,所以不列入分析范围。第二次全国土地调查数据截止时间是2009年末,因此社会经济和能源数据采用2010年的相关年鉴<sup>①</sup>,主要参考《中国统计年鉴(2010)》、《中国科技统计数据(2010)》和《中国能源统计年鉴(2010)》。因青海省市辖区和建成区面积统计口径不一致以及香港、澳门和台湾数据未收录在统计年鉴中,也不列入分析范围。

根据指标定义,将收集齐全的基础数据进行运算得出6个投入产出指标值,具体统计描述见表3。

表3 29个省份指标值统计描述

Tab.3 Statistical description of index value in 29 provinces

指标	最大值	最小值	均值	标准差
地均二三产业从业人数(人/hm <sup>2</sup> )	44.548	11.959	24.467	7.701
地均城镇固定资产二三产业投资额(10 <sup>4</sup> 元/hm <sup>2</sup> )	953.432	310.475	684.668	178.484
地均R&D经费(10 <sup>4</sup> 元/hm <sup>2</sup> )	49.526	3.386	16.592	11.850
单位碳排放量实现二三产业GDP增加值(10 <sup>4</sup> 元/t)	3.069	0.387	1.226	0.661
单位碳排放量实现社会消费品零售总额(10 <sup>4</sup> 元/t)	1.362	0.072	0.329	0.270
地均净碳排放量(t/hm <sup>2</sup> )	2229.152	-1009.303	506.511	606.841

4 土地集约利用水平与其碳排放效率分析

4.1 土地集约利用水平及其碳排放效率值

由式(1)计算得各省的土地集约利用水平;基于DEA-Solve运算平台<sup>[14,22]</sup>,计算得各省的土地集约利用碳排放效率值。按照东、中、西部区域内的总效率从大到小排序,结果见表4。其中总效率揭示了土地集约利用中投入实现产出的效率高,为本文所寻找的土地集约利用碳排放效率;技术效率表明在给定的投入组合条件下,土地集约利用所能获得的相对最大产出;规模效率揭示了在技术水平不变的前提下,土地集约利用实现已有产出水平所需的相对最少投入,及其是否处于最适规模。结果表明仅有北京、江苏、广东、江西、广西和云南6个省份处于有效的土地集约利用碳排放效率状态。

4.2 土地集约利用水平及其碳排放效率空间分布

为了直观显现两者空间分布情况,采用聚类分析<sup>[27]</sup>的方法分别对土地集约利用水平与其碳排放总效率、技术效率和规模效率数值进行聚类分析,根据分类结果取其分为4类的结果,并根据数值高低依次命名为 等、等、等和等,其中 等代表具有较高的土地集约利用水平(碳排放效率),反之, 等则代表较低的土地集约利用水平(碳排放效率)。分等后的土地集约利用水平及其碳排放效率空间分布见图1。

图1(a)表明,东部和中部大部分省份具有较高的土地集约利用水平,西部省份土地集约利用水平较低;图1(b)表明,东中部大部分省份碳排放效率值较大,西部地区省份碳排放效率值较低。

① 全国各省(市)二调数据于2014年陆续在中国国土资源部官方网站公布,截至目前,仅有少数省(市)对外公布了2010年至今在二调基础上进行了变更统计的土地面积数据,大多数省份的土地面积数据仍为一调基础上的变更数据,为保持统计口径的一致性,本文采用二调数据,因二调截止时间为2009年末,并保持社会经济数据与其时间相一致,因此收集2010年相关统计年鉴数据。

表4 土地集约利用水平及其碳排放效率值

Tab.4 Intensity values and efficiency values of carbon emission of urban land intensive use											
省份	土地集约利用水平	总效率	规模效率	技术效率	所属区域	省份	土地集约利用水平	总效率	规模效率	技术效率	所属区域
北京	0.619	1.000	1.000	1.000	东部	吉林	0.378	0.434	0.750	0.579	中部
江苏	0.477	1.000	1.000	1.000	东部	湖北	0.496	0.420	0.831	0.505	中部
广东	0.414	1.000	1.000	1.000	东部	河南	0.439	0.329	0.854	0.385	中部
福建	0.605	0.567	0.987	0.574	东部	山西	0.442	0.132	0.629	0.21	中部
天津	0.554	0.525	0.891	0.589	东部	广西	0.302	1.000	1.000	1.000	西部
上海	0.746	0.491	0.849	0.578	东部	云南	0.497	1.000	1.000	1.000	西部
浙江	0.591	0.488	0.917	0.532	东部	重庆	0.437	0.695	0.998	0.696	西部
海南	0.462	0.405	0.668	0.607	东部	四川	0.593	0.436	0.889	0.49	西部
山东	0.439	0.320	0.749	0.427	东部	甘肃	0.152	0.396	0.533	0.743	西部
辽宁	0.453	0.309	0.757	0.408	东部	宁夏	0.000	0.325	0.325	1.000	西部
河北	0.521	0.181	0.788	0.229	东部	内蒙古	0.424	0.265	0.462	0.574	西部
江西	0.519	1.000	1.000	1.000	中部	新疆	0.272	0.231	0.541	0.427	西部
湖南	0.386	0.559	0.926	0.603	中部	陕西	0.638	0.229	0.705	0.326	西部
黑龙江	0.130	0.514	0.514	1.000	中部	贵州	0.235	0.219	0.578	0.379	西部
安徽	0.332	0.459	0.720	0.638	中部						

注：东、中、西的划分按照“七五”计划中的地区划分，同时结合西部大开发的政策进行调整。其中土地集约利用度的计算是以标准化后的数值为基础。

由式(3)可知总效率为技术效率与规模效率的乘积(取值范围[0,1]),大小取决于两者中较小的一个,由图1(c)、1(d)与图1(b)可知,东部省份总效率值与技术效率值高低保持一致,中部地区除黑龙江外,总效率值与技术效率值高低保持一致,西部地区除甘肃、宁夏和内蒙古之外,总效率值与技术效率值保持一致,表明东、中部和西部大部分省份的技术效率不足是导致总效率低下的主要原因。

4.3 土地集约利用水平与其碳排放效率一致性分析

结果表明在空间分布上土地集约利用度与其碳排放效率值大小分布一致,但两者是否在省际角度上保持一致需要进一步分析,从而判断29个省份的土地集约利用水平高低是否必然地对应着土地集约利用过程中碳排放效率的高低。

按照土地集约利用水平从大到小顺时针排列,并根据式(4)将土地集约利用水平标准化,一致性比较如图2。图2表明,并不是较高的土地集约利用水平伴随着较高的碳排放效率,如上海市土地集约利用水平全国最高,但处于碳排放无效状态;全国只有20%的省份碳排放效率为1,仅有北京、江西、云南和江苏4个省份处于所寻求理想的有效碳排放效率下的土地集约利用状态,能够兼顾集约与低碳。那么当前在追求土地集约利用的同时,若期望实现土地的低碳利用,则需要合理优化土地集约利用投入与产出。

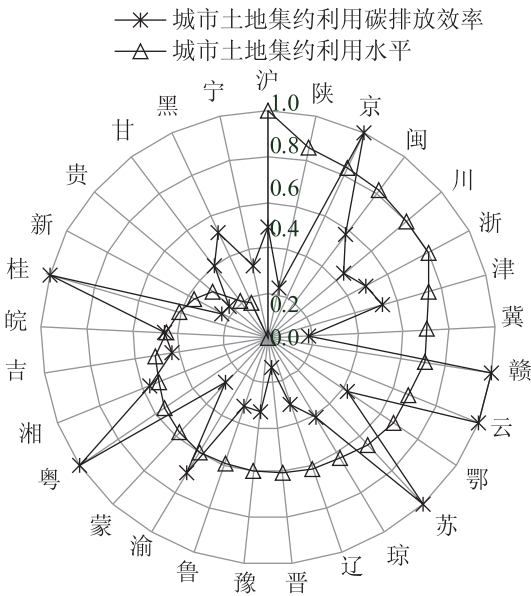


图2 土地集约利用与其碳排放总效率一致性  
Fig.2 Consistency between urban land use intensity and its efficiency of carbon emission

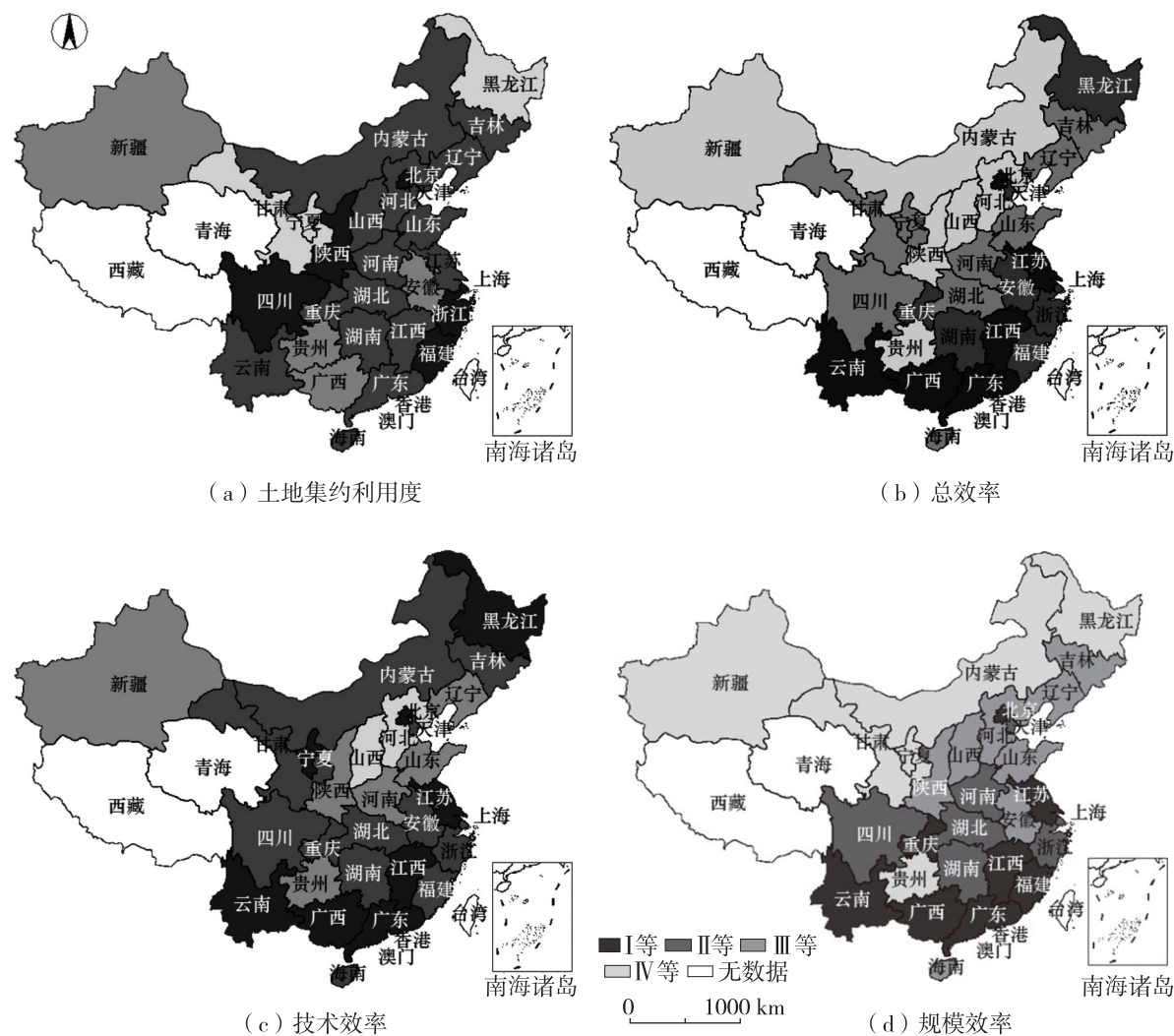


Fig.1 Spatial distribution of urban land use intensity and its efficiency of carbon emission in China

5 土地集约利用低碳优化策略

本文将碳排放效率的相对有效定义为土地低碳利用。固定规模报酬下的SBM模型同时给出了各省份实现碳排放总效率有效时的投入产出改进值。投入冗余表明同其他总效率有效省份相比在保持产出不变的条件下该省份投入可以减少的数量；非期望产出冗余表明在保持投入不变的条件下可以减少的数量；期望产出不足表明在保持投入不变条件下可以增加的数量<sup>[24]</sup>。

对于东部地区,投入改进：政府部门可制定薪酬和福利优惠的鼓励政策引导农村劳动力向中、西部转移，鼓励二、三产业从业人员(含高校毕业生)向中、西部转移来减少地均二、三产业人数；加快能源消费结构转型和产业结构优化是减少碳排放的重要保证，减少第二产业的投资额并将第二产业的投资额转移到第三产业来减少地均城镇固定资产二、三产业投资额；加快研究成果转化，将更多的科研成果应用于实际，提高R&D经费的使用效率，特别是环渤海地区的天津、辽宁和山东。产出改进：增加社会消费品零售总额主要靠拉动内需实现，在东部地区拉动内需可采取以拉动农村消费为突破口，通过诸如提高农产品价格、增加政府补贴等提高农民收



入拉动内需。

对于中部地区,投入改进:中部地区大部分省份是中国的农业大省,需保证耕地上有充足的农业劳动力,尤其是现在耕地被撂荒现象较为严重,减少地均二、三产业从业人数可以采取控制农村第一产业劳动力向城市二、三产业劳动力转移,对从事农耕的农民给予奖励和补贴,使农民的农业收入水平尽量不低于从事二、三产业带来的非农收入水平;关于地均城镇固定资产二、三产业投资额和地均R&D经费投入的改进建议参考东部地区。产出改进:对于中部地区拉动内需可采取的措施有增加就业岗位,推进农村劳动力转移,同时对居民传统的消费观念进行引导,鼓励正确的消费。

对于西部地区,规模效率不足是造成中、西部4个省份总效率低下的主要原因,改善投入产出匹配度以提高规模效率可以有效改进西部省份的土地集约利用碳排放总效率。

对于非期望产出地均净碳排放量的改进,投入改进主要是基于减少碳源碳排放的角度,而增加碳汇可采取诸如大量植树造林,科学管理林地面积,鼓励种植碳吸收能力较强的树种和优势树种种植,并培育混合树种林区,建立低碳经济林区,保护湿地,鼓励人工湿地建设等措施。

## 6 结论

本文以全国29个省份为研究对象,计算了土地集约利用水平,并基于所有土地利用类型的碳排放量,构建SBM模型,估算了各地区土地集约利用的碳排放总效率、技术效率与规模效率,并对总效率小于1的碳排放无效率地区给出优化方案,研究结论如下:

(1)在空间分布上,东、中部地区的省份具有较高的土地集约利用水平,西部地区发展不均,50%以上土地集约利用水平较低,与东、中、西地区的经济发展水平相吻合。

(2)全国80%以上省份的土地集约利用碳排放总效率相对无效,从总效率数值大小上看,东、中部地区碳排放效率值较大,与东、中部地区具有较高的土地集约利用水平相一致,但全国仅有14%的省份处于高土地集约利用水平和高土地集约利用碳排放效率的理想状态,土地集约利用水平与其碳排放效率高低并不完全一致。

(3)导致全国86%的省份总效率低下的主要原因是技术效率不足。在空间分布上,东、中部地区技术效率不足是造成总效率低下的主要原因;西部地区总效率低下的原因既包括技术效率不足也包括规模效率不足。

(4)在土地集约利用低碳优化中,产出改进的宽度和幅度小于投入改进,投入的改进要根据中国经济发展情况和新型城镇化的进度,东部地区要鼓励农村劳动力,二、三产业从业人员向中、西部转移,减少第二产业的投资额并将第二产业多余的投资额转移到第三产业,加快研究成果转化,将更多的科研成果应用于实际,提高R&D经费的使用效率;中部地区则要提高农民收入水平,使农民的农业收入水平尽量不低于从事二、三产业带来的非农收入水平,保证农用地上的劳动力;西部地区生态环境脆弱,提高投入产出的匹配度,降低碳排放量,实现土地的低碳利用。

### 参考文献(References):

- [1] 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):1980-1996.
- [2] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋.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.
- [3] 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 and Sustainable Energy Reviews, 2012, 16(1): 775-786.
- [4] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋,等.南京市不同土地利用方式的碳储量与碳通量[J].水土保持学报,2012,26(6):164-170.
- [5] 赵荣钦,黄贤金,刘英,等.区域系统碳循环的土地调控机理及政策框架研究[J].中国人口·资源与环境,2014,24(5):



- 51 - 56.
- [6] 曲福田,卢娜,冯淑怡.土地利用变化对碳排放的影响[J].中国人口·资源与环境,2011,21(10):76 - 83.
- [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——以武汉市城市圈为例[J].农业现代化研究,2013,34(6):717 - 721.
- [8] 许恒周,郭玉燕,陈宗祥.土地市场发育、城市土地集约利用与碳排放的关系[J].中国土地科学,2013,27(9):26 - 29.
- [9] 张苗,陈银蓉,周浩.基于面板数据的土地集约利用水平与土地利用碳排放关系研究——以1996~2010年湖北省中心城市数据为例[J].长江流域资源与环境,2015,24(9):1464 - 1470.
- [10] Hailu A, Veeman T S. Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs :an application to the Canadian pulp and paper industry[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2001, 83(3):605 - 616.
- [11] Seiford L M, Zhu J. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 142(1):16 - 20.
- [12] Färe R, Grosskopf S, Pasurka C A. Environmental production functions and environmental directional distance functions[J]. Energy, 2007, 32(7):1055 - 1066.
- [13] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3):498 - 509.
- [14] 成刚.数据包络分析方法与MaxDEA软件[M].北京:知识产权出版社,2014.
- [15] 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.
- [16] 许学强,周一星,宁越敏.城市地理学[M].北京:高等教育出版社,1997.
- [17] 毕宝德.土地经济学[M].北京:中国人民大学出版社,2005.
- [18] 赖力.中国土地利用的碳排放效应研究[D].南京:南京大学,2010.
- [19] 杜官印.建设用地对碳排放的影响关系研究[J].中国土地科学,2010,24(5):32 - 36.
- [20] 余雪振.武汉市土地利用变化碳排放效应研究[D].武汉:华中农业大学,2013.
- [21] 游和远,吴次芳.土地利用的碳排放效率及其低碳优化——基于能源消耗的视角[J].自然资源学报,2010,25(11):1875 - 1886.
- [22] Cooper W W, Seiford L M, Tone K. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-solver Software[M]. Berlin: Springer, 2007.
- [23] 汪晓银,周保平.数学建模与数学实验[M].北京:科学出版社,2010.
- [24] 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.

(本文责编:陈美景)