

引用格式:岳立,李文波. 环境约束下的中国典型城市土地利用效率——基于DDF-Global Malmquist-Luenberger指数方法的分析[J]. 资源科学, 2017, 39(4): 597-607. [Yue L, Li W B. Typical urban land use efficiency in China under environmental constraints based on DDF-Global Malmquist-Luenberger index modeling[J]. *Resources Science*, 2017, 39(4): 597-607.] DOI: 10.18402/resci.2017.04.02

# 环境约束下的中国典型城市土地利用效率 ——基于DDF-Global Malmquist-Luenberger指数方法的分析

岳立,李文波

(兰州大学经济学院,兰州 730000)

**摘要:**为了测度中国城市土地利用效率整体特征及其区域差异,探讨提升各省份的城市土地利用效率改革方案,本文选取北京、天津等15个典型省份(自治区、直辖市)为研究对象,利用方向性距离函数(DDF),在考虑非期望产出情况下,构建了城市土地利用效率的非期望产出排放效率模型和期望产出效率模型,得到各省份城市非期望产出减排潜力( $1-\alpha$ )和期望产出扩张潜力( $\beta$ ),结合 $(1-\alpha)$ 和 $\beta$ 值,将15个典型省份分为土地利用高效区、粗放区和相对无效区三类区域。通过GML指数分析,得到三类区域在环境约束下的城市土地利用效率以及影响因素变动情况。研究结果表明:典型省份的城市土地利用效率整体呈现上升趋势,技术效率和技术进步均对城市土地利用效率产生累积正效应。三类区域城市土地利用效率增长幅度和影响因素存在较为明显的差异,高效区和粗放区土地利用效率变化特征相似,技术效率和技术进步共同推动效率增长;技术进步是影响相对无效区效率变动的根本原因,技术效率是促进相对无效区效率增长的主要动力。

**关键词:**环境约束;城市土地利用效率;方向性距离函数;GML指数;技术效率;中国

DOI: 10.18402/resci.2017.04.02

## 1 引言

随着中国经济进入中高速发展阶段,城市化也在大规模推进。在2009-2014年期间,中国城市化率由2009年的48.34%提高到2014年的54.77%,年均增长3.5%。城市建成区面积则由2009年的3.81万 $\text{km}^2$ 增加到2014年的4.98万 $\text{km}^2$ ,年均增长5.6%<sup>[1]</sup>,表现为土地城市化水平明显高于人口城市化水平,说明城市建设规模过度外延扩张的同时,城市化人口严重滞后<sup>[2]</sup>。城市是高排放、高耗能产业集中分布的空间,城市污染物排放危害着居民的健康和生存,城市环境问题不容乐观。2020年中国将全面建成小康社会,与此同时,城市化率预期提升到60%。城市土地作为城市化运行的物质载体,其有限供给、粗放低效利用等问题已经成为制约城市社

会经济发展的瓶颈,提高城市土地利用效率,既是解决城市人地矛盾的关键,也是改善城市环境质量的需要<sup>[3-5]</sup>。因此,研究在环境约束下的城市土地利用效率对于改善城市环境、促进土地资源和经济协调发展十分必要。

国外关于城市土地利用效率的基础性研究主要包括以下几个方面:①对于城市土地利用变化结构和空间扩展的研究,其中以生态学派研究最为典型。②对于城市土地利用变化的内在驱动力机制的研究,核心是研究驱动力与土地利用变化的关系,主要理论有经济区位理论、社会行为理论以及政治经济学理论。③对于城市土地利用变化方法的探讨。如Christian Langpap等利用计量模型与流域健康指标模型研究了政府在土地利用方面的激

收稿日期:2016-10-28;修订日期:2016-12-28

作者简介:岳立,女,新疆哈密人,教授,博士生导师,主要研究领域为区域人口资源环境与可持续发展、低碳经济。E-mail: mgliang@lzu.edu.cn

通讯作者:李文波, E-mail: 18215165351@163.com

励措施与土地利用效率之间的关系<sup>[6]</sup>。Elena G. Irwin通过对土地利用空间与环境、政策相互作用的研究,检验了城市空间土地利用变化经济模型的有效性<sup>[7]</sup>。Peter H. Verburg等利用全球经济模型(GTAP)和综合评估模型,研究了生态环境和社会经济环境变化这两个因素对土地利用效率的影响<sup>[8]</sup>。

国内有关城市土地效率的研究也在不断深入,日趋丰富与完善。从研究对象、评价指标和研究方法看,由单个城市、单一评价指标、定性描述研究逐渐转向城市群、综合评价指标、定量分析研究。定量分析主要以数据包络方法为主,如吴得文等、张志辉、梁流涛等利用数据包络模型(DEA)分别分析了2008年、2010年、2011年中国地级以上城市土地利用效率空间分布差异以及影响因素,均认为大部分城市土地利用效率处于递增状态,但依旧有较大的改善空间,同时,城市土地利用效率在不同区域存在显著差异<sup>[9-11]</sup>。张良悦等利用数据包络分析和超效率数据包络分析方法通过测算2001年、2003年、2005年中国地级以上城市土地利用效率,得出中国城市土地利用效率存在明显的区域差异和粗放特征<sup>[12]</sup>。许健伟等、杨海泉等利用DEA模型分别测算了2000-2010年、2001-2012年的城市群土地利用效率,均得出城市群土地利用效率整体呈下降趋势<sup>[12,13]</sup>。李永乐等、黄和平等分别利用GIS空间、泰尔指数、面板数据模型、脱钩分析模型,测算了1999-2011年、1990-2013年城市土地利用效率及其影响因素,均得出土地利用效率在不同区域均呈现不断上升趋势,并提出城市土地利用效率的改善途径<sup>[14,15]</sup>。杨清可等利用SBM-Undersirable模型,将非期望产出引入模型,以长三角地带为研究对象,得出非期望产出对长三角地带城市土地利用效率产生一定的负效应<sup>[16]</sup>。Miao J J等基于环境生产技术和方向性距离函数,将非期望产出引入生产框架,构建了一组从不同视角下的土地利用模型,分析各省份的城市土地利用效率及其特征,得出城市土地利用效率呈现出自东向西递减的变化趋势<sup>[17]</sup>。

以上文献对于城市土地利用效率方面的研究,仍有以下不足:①局限于从社会经济视角来探究城市土地利用效率及其影响因素,忽略了城市土地利用过程中产生的非期望产出如第二、第三产业排放

的废弃物等对城市土地利用效率的影响,很难客观、准确地测算并分析城市土地利用效率。②单个城市或部分城市群的城市土地利用效率研究居多,但缺乏在全国范围内的综合研究。③国内多数学者广泛使用Malmquist-Luenberge(ML)指数进行城市土地利用效率及其分解研究,但ML指数在形式上不满足传递性要求,测算跨期方向性距离函数时存在线性规划无可行解等缺陷,在时间序列上很难进行效率跨期比较分析。由于Global Malmquist-Luenberger指数具有可传递性特征,测算效率时不存在线性规划无可行解等问题,本文在现有对城市土地利用效率研究理论和方法的基础上,从中国31个省份中选取具有代表性的15个省份(自治区、直辖市)作为研究对象,将非期望产出纳入模型框架,利用DDF-GML指数分析方法,对城市土地利用效率进行了区域比较分析、时间序列内的变化特征以及其影响因素的研究,以期为提高各省份城市土地利用效率提供科学决策依据。

## 2 研究方法、指标选取与数据来源

### 2.1 方向性距离函数与效率模型

本文将对中国15个典型省份的城市土地利用效率进行测度,以方向性距离函数(DDF)为基础,构建非期望产出排放效率模型和期望产出效率模型。根据Chung等设定的方向性距离函数,将具有弱可处置性的非期望产出纳入投入产出效率评价中,实现对期望产出与非期望产出的增减约束<sup>[18]</sup>,定义方向性距离函数。

假设有 $n$ 个决策单元(DMU),每个决策单元均利用 $i$ 种投入 $x=(x_1, x_2, \dots, x_i) \in R_i^+$ ,得到 $j$ 种期望产出 $y=(y_1, y_2, \dots, y_j) \in R_j$ 和 $m$ 种非期望产出 $b=(b_1, b_2, \dots, b_m) \in R_m^+$ ;设方向性向量为 $g=(g_y, g_b)$ ,  $t$  ( $t=1, 2, 3, \dots, T$ )代表每一时期,则第 $t$ 期方向性距离函数为:

$$D^t(x^t, y^t, b^t; g) = \sup \left\{ \gamma \mid (y^t + \gamma g_y, b^t - \gamma g_b) \in P^t(x^t) \right\} \quad (1)$$

式中 $x^t$ 为第 $t$ 期的投入资本、劳动力和土地三种投入要素向量; $y^t$ ,  $b^t$ 分别表示第 $t$ 期的期望产出向量、非期望产出向量; $\gamma$ 为第 $t$ 期的期望产出最大化、非期望产出最小化的方向性距离函数值。

2017年4月

$P^t(x^t) = \{(y^t, b^t) | x^t \Rightarrow (y^t, b^t), t = 1, 2, \dots, T\}$  为当期生产可能性集合,该集合同时包含期望产出和非期望产出,且非期望产出具有弱可处置性。 $D^t(x^t, y^t, b^t; g) = 0$ ,说明在投入要素一定的条件下,决策单元的投入产出效率最优。 $D^t(x^t, y^t, b^t; g) > 0$ ,说明决策单元的投入产出效率存在潜在提升空间,同时,该值越大,投入产出效率越低,潜在提升空间越大。

通过具体变化上述方向性向量,得到的方向性距离函数线性规划式,即为非期望产出排放效率模型和期望产出效率模型,模型分别如下。

非期望产出排放效率模型:

$$s.t. \begin{cases} \alpha^* = \min \alpha \\ x\lambda \leq x_k, y\lambda \geq y_k, b\lambda = \alpha b_k \\ \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中 $\alpha^*$ 为非期望产出排放效率模型的最优解; $x, y, b$ 分别表示要素投入、期望产出、非期望产出值; $x_k, y_k, b_k$ 分别为第 $k$ 个决策单元的要素投入、期望产出、非期望产出值; $\lambda$ 为相对于有效决策单元组合中被评价单元的权重系数向量。 $\alpha$ 为在要素投入和期望产出既定条件下,决策单元的潜在最优非期望产出与实际非期望产出比值,  $0 < \alpha \leq 1$ ,  $(1 - \alpha)$ 表示非期望产出减排潜力,  $\alpha$ 值越大,该决策单元非期望产出排放效率越高,投入产出效率越高,非期望产出减排潜力越小。

期望产出效率模型:

$$s.t. \begin{cases} \beta^* = \max \beta \\ x\lambda \leq x_k, y\lambda \geq (1 + \beta)y_k, b\lambda = b_k \\ \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中 $\beta^*$ 为期望产出效率模型的最优解; $\beta$ 为在非期望产出约束下,期望产出扩张潜力,  $\beta$ 值越大,该决策单元期望产出效率越低,投入产出效率越低,期望产出扩张潜力越大。

## 2.2 Global Malmquist - Luenberger (GML) 指数分析方法

GML指数具有传递性、循环累加性,研究效率时可以进行跨期比较等优点,克服了传统ML指数存在的缺陷,本文采用GML指数分析方法进行环境约束下的效率及其分解研究。根据Oh构建的GML指数方法<sup>[19]</sup>,利用方向性距离函数,定义 $t$ 期到 $t+1$

期的GML指数为:

$$\begin{aligned} GML_{t+1}^t(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) \\ &= \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \\ &= \frac{1 + D^t(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \\ &\quad \left[ \frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D^t(x^t, y^t, b^t)} \times \frac{1 + D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \right] \\ &= EC_{t+1}^t \times TC_{t+1}^t \end{aligned} \quad (4)$$

式中 $D^G(x, y, b) = \sup\{\gamma | (y + \gamma y, b - \gamma b) \in P^G\}$ 表示全局方向性距离函数; $P^G(x)$ 为全局生产可能性集合,该集合是所有当期生产可能性集合的并集; $GML_{t+1}^t$ 、 $EC_{t+1}^t$ 、 $TC_{t+1}^t$ 分别为决策单元两时期的投入产出效率、技术效率变化以及技术进步; $GML_{t+1}^t$ 、 $EC_{t+1}^t$ 、 $TC_{t+1}^t$ 大于(小于)1分别代表投入产出效率水平提高(降低)、技术效率提升(下降)、技术进步(倒退)。通过分析GML指数及其分解项,可以观测城市土地利用效率变化趋势以及影响因素变动情况,从而可以较为准确地为各个省份的城市土地利用提供改善方案。

为了测算GML指数及其分解项,需求解上式中的不同方向性距离函数。对于 $t$ 期、 $t+1$ 期的方向性距离函数以及全局方向性距离函数可以通过以下线性规划得到:

$$D^t(x^t, y^t, b^t) = \max \beta \quad (5)$$

$$s.t. \begin{cases} x\lambda \leq x_k^t \\ y\lambda \geq (1 + \beta)y_k^t \\ b\lambda = (1 - \beta)b_k^t \\ \lambda \geq 0 \end{cases}$$

$$D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) = \max \beta \quad (6)$$

$$s.t. \begin{cases} x\lambda \leq x_k^{t+1} \\ y\lambda \geq (1 + \beta)y_k^{t+1} \\ b\lambda = (1 - \beta)b_k^{t+1} \\ \lambda \geq 0 \end{cases}$$

$$D^G(x^t, y^t, b^t) = \max \beta \quad (7)$$

$$s.t. \begin{cases} x\lambda \leq x_k^t \\ y\lambda \geq (1 + \beta)y_k^t \\ b\lambda = (1 - \beta)b_k^t \\ \lambda \geq 0 \end{cases}$$



$$D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) = \max \beta \tag{8}$$

$$s.t. \begin{cases} x\lambda \leq x_k^{t+1} \\ y\lambda \geq (1+\beta)y_k^{t+1} \\ b\lambda = (1-\beta)b_k^{t+1} \\ \lambda \geq 0 \end{cases}$$

2.3 数据来源与指标选取

考虑中国城市化发展状况和城市第二、三产业产值增长情况及第二、三产业对GDP贡献,本文用2009-2014年城市化率平均增长率和第二、三产业增加值占GDP总产值比重的乘积值作为研究样本选取条件,选取排名前15位的省份(自治区、直辖市):北京、天津、山西、内蒙古、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、重庆、陕西、青海、宁夏。由于数据获取困难,本次研究不包括香港、台湾与澳门。

借鉴已有的研究成果,本文将产业增加值和污染物排放作为产出指标,其中,将第二、三产业增加值作为期望产出指标;由于第三产业污染物排放比重很小,数据来源有限,所以只将工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、一般工业固体废弃物产生量作为非期望产出指标,将与产出相关性较强的城市从业人数、城市固定资产投资、城市建成区面积作为投入指标。具体指标描述见表1。

以上投入产出指标中,城市建成区面积来源于《中国城市统计年鉴》<sup>[1]</sup>,其余指标来源于《中国统计年鉴》<sup>[20]</sup>。

3 城市土地利用效率的实证分析

3.1 非期望产出减排潜力

在非期望产出具有弱可处置性的限制条件下,利用非期望产出排放效率模型,得到15个省份的城市2009-2014年间的历年非期望产出减排潜力值

(1-α),评价并分析城市土地利用过程中各省份的城市污染物排放情况。根据各个省份的城市非期望产出减排潜力值的分布特点,将减排潜力依次分为低减排潜力、一般减排潜力、较高减排潜力、高减排潜力等4个区间(表2)。由于非期望产出减排潜力值α≥0.6的省份较少,将α≥0.6的区间定义为高减排潜力区间。从表2可以看出,15个省份历年减排潜力值均值低于0.350,即在现有要素投入和期望产出一定的基础上,非期望产出缩减空间在35%以下,这种趋势大致呈逐年下降趋势(2009-2010年有所上升),说明自十二五规划以来,在城市土地利用以及生态环境治理方面,各级政府出台了一系列较为全面的土地政策,城市土地利用中污染物排放问题得到一定程度的改善,尤其是北京、上海、山东,多年处于最优生产前沿面上,相应土地政策取得的成效较为显著。从区域分布看,处于西部地区的陕西、青海、宁夏等省份,非期望产出减排潜力较高;而东部地区大多靠近生产前沿面,非期望产出减排潜力空间较小。

3.2 期望产出扩张潜力

在要素投入既定以及非期望产出约束下,利用期望产出效率模型,可得期望产出扩张潜力(β),根据表2非期望减排潜力划分依据,将扩张潜力同样依次划分为4个区间(表3)。从表3可以看出,15个省份的期望产出扩张潜力在2009-2014年间逐年下降,在2013年下降幅度达到最大,2014年这种下降趋势稍有缓解,这说明全国城市土地利用扩张程度在逐年缩小,尤其2013年城市化步伐的加速催化城市空间进一步外延扩张,导致期望产出趋向饱和,在2014年中国经济处于转型期,经济增速减缓,

表1 城市土地利用效率投入产出指标描述性统计情况

| Table 1 Descriptive statistics of urban land use efficiency input output index |                         |              |        |           |        |         |         |
|--|-------------------------|--------------|--------|-----------|--------|---------|---------|
| 投入产出指标   |                         | 观测数          | 最大值    | 最小值       | 平均值    | 标准差     |         |
| 投入指标   | 城市就业人数/万人               | 90           | 1 973  | 51        | 587    | 418     |         |
|  | 城市固定资产投资/亿元             | 90           | 41 599 | 689       | 11 961 | 9 237   |         |
|  | 城市建成区面积/km <sup>2</sup> | 90           | 5 398  | 112       | 1 698  | 1 370   |         |
| 产出指标   | 期望产出                    | 第二三产业增加值/亿元  | 90     | 64 643    | 974    | 20 482  | 16 127  |
|  | 非期望产出                   | 废水排放量/万 t    | 90     | 263 760   | 3 144  | 85 886  | 79 973  |
|  |                         | 二氧化硫排放量/t    | 90     | 1 545 966 | 40 347 | 629 780 | 414 754 |
|  |                         | 固体废弃物产生量/万 t | 90     | 30 520    | 1 021  | 9 340   | 8 526   |

注:非期望产出数据均采用各个省份工业污染物排放数据。

2017年4月

表2 2009–2014年15个典型省(自治区、直辖市)的城市非期望产出减排潜力

Table 2 None expected output reduction potential of the cities in the 15 typical provinces of China from 2009 to 2014

| 减排区间                | 2009年                           | 2010年                           | 2011年                           | 2012年                           | 2013年                                | 2014年   |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|
| 低减排潜力<br>[0.0,0.2)  | 北京*、天津、内蒙<br>古、上海*、江苏、<br>山东、广东 | 北京*、天津、内蒙<br>古、上海*、江苏、<br>山东、广东 | 北京*、天津、内蒙<br>古、上海*、江苏、<br>山东、广东 | 北京*、天津、内蒙<br>古、上海*、江苏、<br>山东、广东 | 北京*、天津*、内蒙<br>古、上海*、山东*、<br>广东、山西、辽宁 | 北京*、天津*、内蒙<br>古、上海*、江苏、山<br>东*、广东、山西、浙<br>江、福建、辽宁 |
| 一般减排潜力<br>[0.2,0.4) | 福建                              | 浙江、福建                           | 山西、浙江、福建                        | 山西、浙江、福建                        | 江苏、浙江、福建、<br>陕西                      | 重庆、青海、宁夏  |
| 较高减排潜力<br>[0.4,0.6) | 浙江、重庆、陕西、<br>山西、辽宁              | 重庆、山西、辽宁                        | 辽宁、重庆                           | 辽宁、陕西                           |                                      | 陕西  |
| 高减排潜力<br>[0.6,1.0)  | 青海、宁夏                           | 陕西、青海、宁夏                        | 陕西、青海、宁夏                        | 重庆、青海、宁夏                        | 重庆、青海、宁夏                             |   |
| 均值                  | 0.303                           | 0.334                           | 0.299                           | 0.286                           | 0.202                                | 0.139   |

注:\*表示减排潜力值为0。

表3 2009–2014年15个典型省(自治区、直辖市)的城市期望产出扩张潜力

Table 3 Expected output expansion potential of the cities in the 15 typical provinces of China from 2009 to 2014

| 扩张区间                | 2009年                        | 2010年                                   | 2011年   | 2012年                                      | 2013年  | 2014年  |
|---------------------|------------------------------|---|---|--|--|--|
| 低扩张潜力[0.0,0.2)      | 北京、内蒙古*、<br>山东*、广东           | 北京*、天津*、<br>山西*、内蒙古*、<br>福建、广东*、宁<br>夏* | 北京*、天津、山西*、<br>内蒙古*、上海*、江<br>苏、山东*、广东*、重<br>庆、陕西、青海 | 北京*、天津、山<br>西、内蒙古*、上<br>海*、江苏*、山<br>东*、广东* | 北京*、天津、山西、<br>内蒙古*、上海*、江<br>苏、山东*、广东*、辽<br>宁、浙江、福建*、重<br>庆、青海、宁夏 | 北京*、天津、内蒙<br>古*、上海*、江苏*、<br>山东*、广东*、辽宁、<br>浙江、福建、重庆、陕<br>西、青海、宁夏 |
| 一般扩张潜力<br>[0.2,0.4) | 天津、山西、辽<br>宁、上海、江苏、<br>浙江、福建 | 江苏、陕西                                   | 辽宁、浙江、福建、<br>宁夏                                     | 辽宁、浙江、福<br>建、重庆、陕西、<br>青海、宁夏               | 陕西   | 山西   |
| 较高扩张潜力<br>[0.4,0.6) | 重庆                           | 辽宁、上海、浙<br>江、山东、重庆                      |   |  |  |  |
| 高扩张潜力[0.6,1.0)      | 陕西、青海、宁夏                     | 青海                                      |   |  |  |  |
| 均值                  | 0.333                        | 0.284                                   | 0.146   | 0.141                                      | 0.071  | 0.058  |

注:\*表示扩张潜力值为0。

城市土地扩张减缓。在15个省份的城市中,60%省份的期望产出扩张潜力值低于25%,说明在环境约束下,全国大部分省份的土地利用活动产生的期望产出几乎饱和,进一步增加期望产出将使环境污染加剧。从单个地区看,北京、山东、天津、山西以及内蒙古等省份多年处在最优生产前沿面上,说明在当前环境承载力范围内期望产出趋于最大化;其余地区的期望产出均在一定程度上存在提升空间,尤其对于西部地区的陕西、青海两地, $\beta$ 值历年均值高于0.3,期望产出有较大扩张空间,直到2011年后,这些地区的期望产出扩张潜力才逐年降低,说明根据各个省份的规模扩张速度、城市土地利用效率以及环境保护等现实因素,政府提出将城市建设

重心转向中西部地区,缓解东部地区城市土地扩张压力,刺激中西部地区可持续发展。

以上分别从非期望产出和期望产出角度出发,单一地探究了城市土地利用效率,均有一定的局限性。为了进一步探讨城市土地利用效率及影响因素特征,本文结合非期望产出减排潜力( $1-\alpha$ )和期望产出扩张潜力 $\beta$ ,将15个省份划分为以下3类区域。

(1)土地利用高效区,包括北京、广东、江苏、上海、山东、天津、内蒙等7个地区。这类区域非期望产出减排潜力和期望产出扩张潜力均较低,城市土地利用效率整体较高,这类区域主要处于中国东部,城市化水平高,经济发展快,区位或资源优势显著,城市土地利用较为合理,环境污染小。

(2)土地利用粗放区,包括山西、辽宁、浙江、福建等4个地区。这类区域是中国工业发展重点区域,非期望产出减排潜力较高,期望产出扩张潜力较低。在2014年底,4个省份的第二产业增加值和第三产业增加值占各省份的GDP比重均分别在40%和38%以上,在工业污染物排放方面,该区域工业废水排放量年均增长1.20%,工业一般固体废弃物产生量年均增长9.20%,而二氧化硫排放量年均下降1.20%。这说明该区域城市经济增长依旧靠工业拉动,经济发展方式是粗放式发展,环境污染问题较为严重,制约着城市土地利用效率的进一步提升。

(3)土地利用相对无效区,包括重庆、陕西、宁夏、青海等4个地区。这类区域属于西部地区,非期望产出减排潜力较高,期望产出扩张潜力较高,城市土地利用低效益现象较为明显。该区域经济发展水平整体较低,基础设施落后,区位优势不显著,城市发展与环境治理不均衡等一系列问题制约着该区域社会经济的发展。

3.3 GML 指数及其分解

为了进一步探索上述三类区域城市土地利用效率变动的影响因素以及区域差异,本文利用GML指数求得各个省份的GML指数及其分解项(表4)。在表4中通过累积变化值和几何平均值来反映各省份的城市土地利用效率及其影响因素的总体变动情况和年均变动程度<sup>[21]</sup>。从表4可以看出,在考虑非期望产出下,15个省份的城市2009-2014年GML值整体累增20.38%,相应年均增长率为3.64%,说明在环境约束下,这6年间15个省份的土地利用效率整体呈上升趋势,在城市土地利用活动中,环境效益在综合效益中所占比重逐渐升高。从GML指数分解项来看,技术效率(EC)和技术进步(TC)分别累增10.80%、9.55%,技术效率和技术进步均表现出正向增长,对城市土地利用效率的提升均产生了促进作用,同时可以看出,这两个影响因素对城市土地利用效率的贡献程度相当。

从本文所分三类区域来看,在环境约束下,土地利用高效区、粗放区和相对无效区GML累积增长

表4 中国15个典型省(自治区、直辖市)GML指数及其分解值  
Table 4 GML index and its decomposition of the 15 typical provinces of China

| 地区        | 累积变化值 |       |       | 几何平均值 |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | GML   | EC    | TC    | GML   | EC    | TC    |
| 北京        | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 天津        | 1.321 | 1.000 | 1.321 | 1.057 | 1.000 | 1.057 |
| 内蒙        | 1.323 | 1.499 | 0.883 | 1.058 | 1.084 | 0.975 |
| 上海        | 1.132 | 1.000 | 1.132 | 1.025 | 1.000 | 1.025 |
| 江苏        | 1.173 | 1.000 | 1.173 | 1.032 | 1.000 | 1.032 |
| 山东        | 1.484 | 1.211 | 1.225 | 1.082 | 1.039 | 1.042 |
| 广东        | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 山西        | 1.074 | 0.991 | 1.084 | 1.014 | 0.998 | 1.016 |
| 辽宁        | 1.380 | 1.371 | 1.007 | 1.067 | 1.065 | 1.001 |
| 浙江        | 1.324 | 1.018 | 1.301 | 1.058 | 1.004 | 1.054 |
| 福建        | 1.102 | 0.951 | 1.159 | 1.020 | 0.990 | 1.030 |
| 重庆        | 1.119 | 1.115 | 1.004 | 1.023 | 1.022 | 1.001 |
| 陕西        | 1.219 | 1.077 | 1.131 | 1.040 | 1.015 | 1.025 |
| 青海        | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 宁夏        | 1.405 | 1.387 | 1.013 | 1.070 | 1.068 | 1.003 |
| 整体均值      | 1.204 | 1.108 | 1.096 | 1.036 | 1.019 | 1.017 |
| 土地利用高效区   | 1.205 | 1.101 | 1.105 | 1.036 | 1.018 | 1.019 |
| 土地利用粗放区   | 1.220 | 1.083 | 1.138 | 1.040 | 1.014 | 1.025 |
| 土地利用相对无效区 | 1.186 | 1.145 | 1.037 | 1.033 | 1.026 | 1.007 |



2017年4月

率分别为20.27%、22.01%、18.58%,相应年均增长率分别为3.64%、3.96%、3.34%,其中土地利用粗放区GML累积增长幅度最高,土地利用相对无效区GML累积增长幅度最低。就三类区域GML指数分解情况看,三类区域的技术效率和技术进步均呈现出正向增长,城市土地利用效率均得益于技术效率和技术进步这两个影响因素的共同促进作用。

从各省份GML指数的具体测算结果看,GML值累积变化率在30%以上的省份的有6个,分别为来自土地利用高效区的天津、内蒙、山东,粗放区的辽宁、浙江,相对无效区的宁夏,这6个省份的土地利用效率年均增长率均在55%以上,这些省份的对3类区域的城市土地利用效率的整体提升产生举足轻重的作用。北京、广东、青海这3个省份的GML指数累积变化值均为1,说明这3个省份的土地利用效率在这6年间几乎没有发生变化,对于处于土地利用高效区的北京和广东,城市土地利用效益的重心由经济效益和社会效益向经济、社会、环境效益三位一体化转变,继续向符合可持续发展方向推进;对于处于土地利用相对无效区的青海,由于受到区位因素的影响,城市土地利用规模和土地利用技术创新没有得到实质性的发展。除北京、广东、青海这3个城市外,其余省份的GML指数均大于1,城市土地利用效率均有不同程度的提升,但其影响因素却不尽相同。天津、上海、江苏、山西、福建等5个省份的土地利用效率增长主要得益于技术进步,其中,山西和福建这2个省份的土地利用效率增长是由于技术进步促进作用远大于技术效率抑制作用所致,说明这5个省份在期望产出扩张潜力趋于饱和的情况下,城市土地利用效率的驱动因素来自于技术创新,技术进步极大地促进这些省份的土地高效利用;对于浙江、山东、辽宁、重庆、陕西和宁夏等6个省份,城市土地利用效率增长依旧得益于技术进步和技术效率的共同促进作用,说明这6个省份在城市规模扩张的同时,进一步进行技术创新;对于内蒙古地区,城市土地利用效率增长却得益于技术效率促进作用远大于技术倒退抑制作用,该地区城市土地利用依旧局限于在期望产出有较小扩张空间基础上进一步扩大城市用地规模。

综上所述,在环境约束下,土地利用高效区、粗

放区和相对无效区城市土地利用效率整体呈累增趋势,累增幅度和影响因素对城市土地利用效率的贡献程度仍有一定差异。土地利用效率粗放区城市土地利用效率累积增长率最高,技术进步对其累积增长贡献较大。土地利用效率高效区次之,技术效率和技术进步共同促进该区域城市土地利用效率增长,两个影响因素的贡献率差异不明显。对于土地利用相对无效区,其城市土地利用效率累增程度最低,技术进步增长缓慢是造成该区域城市土地利用效率增长程度较低的根本原因,同时,该区域城市土地利用对于技术效率的依赖程度较大。

通过观测各省份2009-2014年间GML指数及其分解项变化情况,以2009年为基期,得到三大区域历年GML指数及其分解项累积变化趋势图,反映中国城市土地利用效率在时间序列上的变动情况及其影响因素变动差异(图1)。从图1可以看出,在环境约束下,15个省份的土地利用效率除个别年份外整体呈现逐年上升趋势。在2009-2010年以及2013-2014年两个时间段内,GML与TC指数上升的同时,EC指数在下降,在这两个时间段内,城市土地利用效率增长主要是受技术进步拉动作用;在2010-2012年期间,GML与EC指数上升的同时,TC指数在下降,该阶段城市土地利用效率增长是技术效率提升所致;而在2012-2013年期间,GML与TC指数下降的同时,EC指数在上升,该阶段城市土地利用效率恶化却是由技术倒退所致。说明在十一五规划末期,各级政府在城市土地利用方面严格制约土地粗放利用现象的政策取得一定成效,而在十二五规划初期,随着城市化步伐加快,城市建设用地加剧扩张,城市土地利用规模进一步扩大,在2013年之后,由于国内经济进入转型期,经济发展步伐放缓,城市土地利用主要以技术创新为参考因素,促使城市土地利用更趋合理、集约。

再具体分析三大区域城市土地利用效率及其影响因素变动情况,土地利用高效区和粗放区GML值、EC值和TC值变动趋势和15个省份整体变动趋势大致相同,在图1中,GML指数和TC均呈弱增长趋势,而EC值变化却呈先下滑后上升趋势,EC值在2009-2010年间开始下滑,在2010年以后又缓慢上升。对于土地利用相对无效区,GML值、EC值和

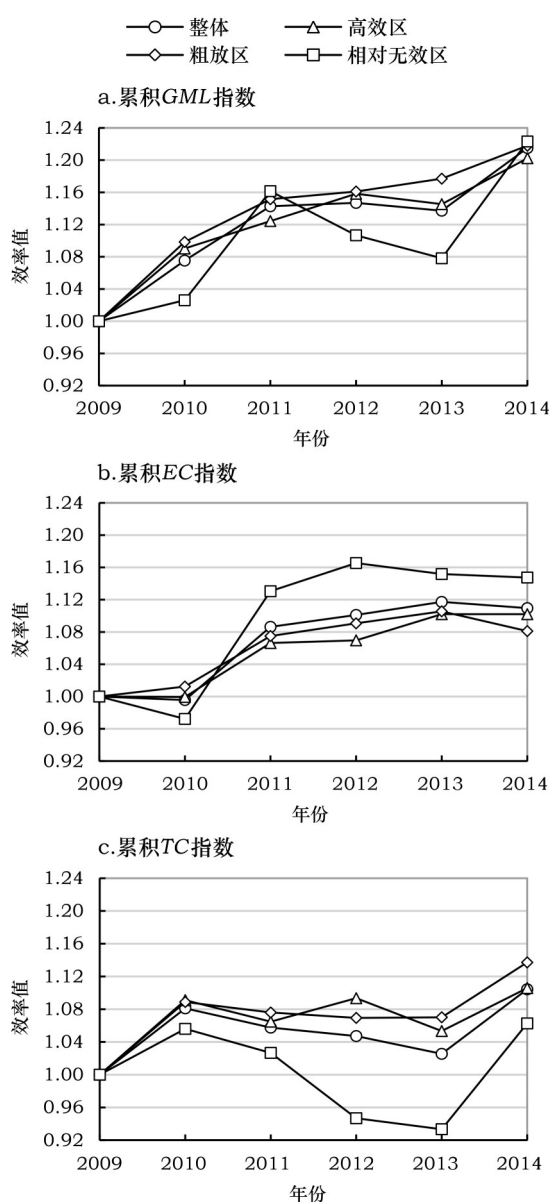


图1 2009-2014年三大区域累积GML指数及其分解项变化趋势

Figure 1 Cumulative GML index and its decomposition change trend of the three regions from 2009 to 2014

TC值变动趋势与其他两大区域有较明显的差异,图中3项指标震荡幅度较大,在2009-2010年间,GML值和TC值缓慢上升,EC值呈下降趋势,2010-2011年间,GML值和EC值增长幅度较大,TC值呈下降趋势,2011-2013年间,GML值和TC值均呈下降趋势,EC稍微有所上升,2013-2014年间,GML值和TC加速上升,EC略有下降趋势,由此可知,对于土地利用相对无效区,在2009-2010和2010-2011年这

两个时间段内,该区域城市土地利用效率变动的主要影响因素分别是技术进步和技术效率,在2011-2014年间,该区域城市土地利用效率变动受技术变化波动的影响较大,这说明在深入推进西部大开发战略以及丝绸之路经济带一体化建设背景下,中国城市建设重心逐渐转向城市土地利用相对无效区,加大对该区域的投资,促进技术进步,提高城市土地利用效率,带动中国整体土地利用效率提升。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本文首先利用方向性距离函数,构建了非期望产出排放效率模型和期望产出效率模型,得到15个省份(自治区、直辖市)的非期望产出减排潜力和期望产出扩张潜力。根据非期望产出减排潜力和期望产出扩张潜力的组合特征,将15个省份的具体分为土地利用高效区、土地利用粗放区和土地利用效率相对无效区三大区域,利用GML指数分析方法测度各个省份的土地利用效率GML值、EC值和TC值的各自累积变化值和几何平均值,分析三大区域的GML值、EC值和TC值历年累积变化情况,得出以下结论:

(1)15个省份的非期望产出减排潜力除个别年份外整体呈下降趋势,说明随着城市规模扩大、城市经济发展,在土地利用规划的同时,更加重视产业布局,对废弃物排放监管更加严格,城市环境质量逐年得到改善。大部分省份的期望产出扩张潜力逐渐减小,趋于饱和,说明在现有的环保政策、技术下,城市社会经济发展受环境约束越来越强,如果不找到合理的解决途径,进一步提高城市土地利用效率,将伴随着非期望产出增加。

(2)从2009-2014年间,15个省份的GML指数累积变化值逐年增加,说明15个省份的土地利用效率整体呈现上升趋势,土地利用粗放区的城市土地利用效率累积增幅最大,土地利用高效区次之,土地利用相对无效区最低。土地利用高效区和土地利用粗放区这两类区域的城市土地利用效率变化特征在时间序列上相似。

(3)三大区域城市土地利用效率分解项EC值和TC值累积变化在研究期内波动幅度较大,说明三大区域城市土地利用效率增长幅度和影响因素



2017年4月

存在较为明显的差异。土地利用高效区和土地利用粗放区技术效率和技术进步均对城市土地利用效率产生累积正效应,技术效率和技术进步共同推动城市土地利用效率增长;对于土地利用相对无效区,城市土地利用效率及其影响因素变动幅度震荡均较为显著,技术进步是影响该区域城市土地利用效率变动的根本原因,技术效率提升是该区域城市土地利用效率增长的主要动力。

#### 4.2 建议

根据三大区域非期望产出减排潜力和期望产出扩张潜力,以及城市土地利用效率的内在影响因素变动特征,提升城市土地利用效率必须采取有针对性的差异化政策。对于土地利用高效区,在发挥模范作用的同时,政策制定的着眼点要放在优化投入要素配置上,要素投入侧重于技术创新,加大技术进步对于城市土地利用效率的贡献。对于土地利用粗放区:一方面,在发展经济的同时,必须加大力度改善环境质量,限制城市建设规模外延扩张速度,盘活城市土地存量,开发闲置低效土地,提高土地利用效率;另一方面,要高度重视技术进步对该区域城市土地利用效率提升的明显作用,通过经济结构调整和产业结构优化升级,不断提高土地利用效率。对于土地利用相对无效区,由于受到经济实力薄弱、基础设施投资不足、区位优势不明显等限制因素的影响,土地利用效率较低,该区域应紧密结合自身区域发展实情,紧抓“丝绸之路经济带一体化战略”这一历史机遇,借鉴其他两大区域的城市土地利用经验,一方面,在现阶段要积极引进先进技术,强化现有技术支撑;另一方面,未来要把技术创新作为土地利用效率提升的根本动力。

#### 参考文献(References):

- [1] 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, 2010-2015. [The National Bureau of Statistics of Social and Economic Investigation Department. China City Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2010-2015.]
- [2] 张良悦, 师博, 刘东. 中国城市土地利用效率的区域差异-对地级以上城市的DEA分析[J]. 经济评论, 2009, (4): 18-26. [Zhang L Y, Shi F, Liu D. Regional difference of urban land use

- efficiency in China: a DEA analysis of cities above prefecture level cities[J]. *Economic Review*, 2009, (4): 18-26.]
- [3] 贝涵璐, 吴次芳, 冯科, 等. 土地经济密度的区域差异特征及动态演变格局-基于长江三角洲地区的实证分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(11): 1952-1961. [Bei H L, Wu C F, Feng K, et al. Regional disparity and dynamic evolution of land economic density-evidence from the Yangtze River Delta Area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(11): 1952-1961.]
- [4] 张明斗, 莫冬燕. 城市土地利用效益与城市化的耦合协调性分析-以东北三省34个地级市为例[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 8-16. [Zhang M D, Mo D Y. Coupling coordination degree of urban land use benefit and urbanization: A case study of 34 prefecture level cities in three provinces in Northeast China[J]. *Resource Science*, 2014, 36(1): 8-16.]
- [5] 鲍新中, 刘澄, 张建斌. 城市土地利用效率的综合评价[J]. 城市问题, 2009, (4): 48-49. [Bao X Z, Liu C, Zhang J B. Comprehensive evaluation of urban land use efficiency[J]. *Urban Issues*, 2009, (4): 48-49.]
- [6] Langpap C, Hascic I, Wu J J. Protecting watershed ecosystems through targeted local land use policies[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2008, 90(3): 684-700.
- [7] Irwin E G. New directions for urban economic models of land use change: Incorporating spatial dynamics and heterogeneity[J]. *Journal of Regional Science*, 2010, 50(1): 65-91.
- [8] Verburg P H, Berkel D B V, Doorn A M V, et al. Trajectories of land use change in Europe: A model-base exploration of rural futures[J]. *Landscape Ecology*, 2010, 25(2): 217-232.
- [9] 吴得文, 毛汉英, 张小雷, 等. 中国城市土地利用效率评价[J]. 地理学报, 2011, 66(8): 1111-1121. [Wu D W, Mao H Y, Zhang X L, et al. Assessment of urban land use efficiency in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1111-1121.]
- [10] 张志辉. 中国城市土地利用效率研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2014, (7): 134-149. [Zhang Z H. Study on the urban land use efficiency in China[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2014, (7): 134-149.]
- [11] 梁流涛, 赵庆良, 陈聪. 中国城市土地利用效率空间分异特征及优化路径分析: 基于287个地级以上城市的实证研究[J]. 中国土地科学, 2013, 27(7): 48-54. [Liang L T, Zhao Q L, Chen C. Analysis on the characters of spatial disparity of urban land use efficiency and its optimization in China: An empirical study based on 287 cities above prefecture level[J]. *China Land Science*, 2013, 27(7): 48-54.]
- [12] 许建伟, 许新宇, 朱明侠, 等. 基于数据包络分析的长三角城市群土地利用效率及其变化研究[J]. 世界地理研究, 2013, 22(1): 121-129. [Xu J W, Xu X Y, Zhu M X, et al. Urban land use efficiency and its change of the Yangtze River delta based on data envelopment analysis[J]. *World Regional Studies*, 2013, 22

- (1):121-129.]
- [13] 杨海泉,胡毅,王秋香. 2001-2012年中国三大城市群土地利用效率评价研究[J]. 地理学报,2015,35(9):1095-1100. [Yang H Q, Hu Y, Wang Q X. Evaluation of land use efficiency in three major urban agglomerations of China in 2001- 2012[J]. *Acta Geographica Sinica*,2015,35(9):1095-1100.]
- [14] 李永乐,舒帮荣,吴群. 中国城市土地利用效率:时空特征,地区差距与影响因素[J]. 经济地理,2014,34(1):133-139. [Li Y L, Shu B R, Wu Q. Urban land use efficiency in China: Spatial and temporal characteristics, regional difference and influence factors[J]. *Economic Geography*,2014,34(1):133-139.]
- [15] 黄和平,彭小琳. 脱钩视角下城市土地利用效率变化与提升策略[J]. 资源科学,2016,38(3):493-450.[Huang H P, Peng X L. Urban land use efficiency changes and improvement strategies from a decoupling perspective in Nanchang City[J]. *Resources Science*,2016,38(3):493-500.]
- [16] 杨清可,段学军,叶磊,等. 基于SBM-Undesirable模型的城市土地利用效率评价-以长三角地区16城市为例[J]. 资源科学,2014,36(4):712-721. [Yang Q K, Duan X J, Ye L, *et al*. Efficiency evaluation of city land utilization in the Yangtze River Delta using a SBM- undesirable model[J]. *Resources Science*, 2014,36(4):712-721.]
- [17] Miao J J, Zhu L. Research on efficiency measurement of urban land- use in China[J]. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*,2013,2(9):248-254.
- [18] Chung Y H, Fare R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function Approach[J]. *Journal of Environmental Management*,1997,51(3):229-240.
- [19] Oh D H. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. *Journal of Productivity Analysis*,2010,34(3):183-197.
- [20] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2010-2015. [Statistical Bureau of China. Chinese Statistical Yearbook [M]. Beijing:China Statistics Press,2010-2015.]
- [21] 金春雨,王伟强. 环境约束下我国三大城市群全要素生产率的增长差异研究-基于Global Malmquist-Luenberger指数方法[J]. 上海经济研究,2016,(1):3-12. [Jin C Y, Wang W Q. Research on differences exist of total factor productivity growth in three major urban agglomeration of China under environmental constraints: Based on Global Malmquist- Luenberger index[J]. *Shanghai Economic Research*,2016,(1):3-12.]

## Typical urban land use efficiency in China under environmental constraints based on DDF–Global Malmquist–Luenberger index modeling

YUE Li, LI Wenbo

(School of Economics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In order to measure the overall characteristics and regional differences of urban land use efficiency in China, discuss the reform program for the improvement of urban land use efficiency in provincial cities. Here, we take 15 typical Chinese provinces such as Beijing, Tianjin and use the directional distance function (DDF) to construct a non-expected output emission efficiency model and expected output efficiency model of urban land use efficiency to derive the non-expected output reduction potential ( $1-\alpha$ ) and expected output potential ( $\beta$ ) for the selected cities. Using  $1-\alpha$  and  $\beta$ , the 15 typical provinces were divided into three types: efficient land use area, extensive land use area, and relative void land use area. Urban land use efficiency and the influence factors for the three kinds of areas under the environmental constraints are analyzed by the *GML* index and its decomposition. We found that the urban land use efficiency of cities showed an upward trend as a whole, both technical efficiency and technological progress have a positive cumulative effect on urban land use efficiency. The growth rate and impact factors of urban land use efficiency have obvious differences. The cumulative increase range of the efficiency of urban land utilization is highest in extensive areas, followed by higher efficiency land utilization areas, and then relative void land utilization areas. The characteristics of urban land use efficiency change are similar for efficient areas and extensive areas. Technology efficiency and technology progress promoted the growth of urban land use efficiency. As for the relative void land use areas, the fluctuation amplitudes of urban land use efficiency and its influence factors are significant. Technological progress is the fundamental cause of changes in efficiency in the relative void area. Technical efficiency is the main driving force for growth in urban land use efficiency.

**Key words:** environmental constraints; urban land use efficiency; directional distance function; *GML* index; technical efficiency; China