

DOI: 10.5846/stxb201811162490

黄和平, 李亚丽, 王智鹏. 基于 Super-SBM 模型的中国省域城市工业用地生态效率时空演变及影响因素研究. 生态学报, 2020, 40(1): 100-111.

Huang H P, Li Y L, Wang Z P. Spatio-temporal changes of eco-efficiency and influencing factors of industrial land use at the provincial level of China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(1): 100-111.

基于 Super-SBM 模型的中国省域城市工业用地生态效率时空演变及影响因素研究

黄和平*, 李亚丽, 王智鹏

江西财经大学生态经济研究院, 南昌 330013

摘要: 研究城市工业用地生态效率能够准确认识当前城市工业用地可持续发展水平, 对节约和集约用地具有重要意义。以省域为单位, 运用 Super-SBM 模型测算 2000—2016 年中国 30 个省(市、区)城市工业用地生态效率, 分析其时空演变特征, 并运用面板数据模型对其影响因素进行实证分析。结果表明: (1) 2000—2016 年中国城市工业用地生态效率总体呈下降趋势, 总体下降 5.81%, 年均下降 0.35%, 其过程呈现“先下降后上升”两阶段变化特征; (2) 工业用地生态效率均值相对无效率城市远多于相对有效率城市, 生态效率均值最高的是海南, 其次为北京和上海, 排在最后三位的是四川、江西、山西; (3) 生态效率有效的省(市、区)个数先大幅度减少后小幅度增多, 有效区域由东部地区、西北、东北地区向东南地区、东北经济发达沿海地区、西北地区、华北地区转移; (4) 2000—2016 年城市工业用地生态效率均值按从大到小排序依次为华南地区、华北地区、华东地区、西北地区、东北地区、西南地区和华东地区, 区域间城市工业用地生态效率存在较为显著的差异, 且随着城市工业的发展区域差异呈增大趋势; (5) 环境管制力度、工业行业集聚程度、工业对外开放水平对城市工业用地生态效率起显著正向促进作用, 而经济发展水平、土地市场化水平、工业行业产权结构、土地使用成本对城市工业用地生态效率则起显著负向阻碍作用, 工业能源消费结构、工业产业结构对城市工业用地生态效率影响不大。从研究数据与指标选取的局限性以及未来研究的重点方向等方面进行了探讨。

关键词: 生态效率; 影响因素; 城市工业用地; Super-SBM 模型; 面板数据模型

Spatio-temporal changes of eco-efficiency and influencing factors of industrial land use at the provincial level of China

HUANG Heping*, LI Yali, WANG Zhipeng

Institute of Ecological Economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China

Abstract: The current sustainable development level of urban industrial land could be accurately judged by researching the eco-efficiency of urban industrial land, which is of great significance for conservation and intensive land use. Super-SBM model is used to calculate the eco-efficiency of urban industrial land in 30 provinces (cities and districts) from 2000 to 2016 and to analyze the spatio-temporal characteristics of urban industrial land eco-efficiency as well as the empirical analysis of influencing factors by using panel data model. The results showed that: (1) The eco-efficiency of urban industrial land use outnumbered a downward trend from 2000 to 2016, with an overall decrease of 5.81% and annual average decrease of 0.35%, containing a characteristic of a two-stage change of “decrease firstly and then increase” during the process. (2) The cities with effective eco-efficiency of urban industrial land use outnumber those of ineffective eco-efficiency. Hainan was ranked top according to the ecological efficiency on average, followed by Beijing and Shanghai and

基金项目: 国家自然科学基金项目(41661113); 江西省社会科学规划项目(18YJ13)

收稿日期: 2018-11-16; **网络出版日期:** 2019-10-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hphuang2004@163.com

the last three were Sichuan, Jiangxi, and Shanxi. (3) The number of eco-efficient provinces (cities and districts) decreased greatly firstly and then increased slightly. The effective regions had transferred from eastern, northwestern, and northeastern regions to southeastern regions, northeast economic developed coastal regions, northwestern regions and northern regions in China. (4) The means of ecological efficiency of urban industrial land in descending order was respectively South China, North China, East China, Northwest China, Northeast China, Southwest China, and central China from 2000 to 2016. There were significant differences in the eco-efficiency of urban industrial land among regions and the regional differences enlarged with the development of urban industry. (5) The strength of environmental regulation, industrial agglomeration and industrial opening to the outside world played a significant positive role in promoting the ecological efficiency of urban industrial land whereas economic development level, the level of land marketization and industrial property structure played the opposite role and the industrial energy consumption structure and industrial structure had no significant effect on ecological efficiency. In the end of the paper, there was a detailed discussion about the limitations of data and index selection in this study and the key directions of future research.

Key Words: eco-efficiency; influencing factors; urban industrial land; Super-SBM model; panel data model

工业用地是城市经济社会发展的基本生产要素,是驱动中国城市化和工业化进程的车轮^[1]。改革开放 40 年来,中国工业经济发展取得巨大的成就,2016 年工业总产值达到 1755.2 亿元,为国内生产总值贡献 33.31%。城市工业用地面积稳步增长,2016 年中国城市工业用地面积达到 10250.60km²,比 2000 年增加 5409.06km²,占城市建设用地面积的 19.43%,明显高于发达国家平均 10%左右的水平^[2]。与此同时,中国城市工业用地普遍存在利用无序、闲置浪费、容积率低等造成的产出效率低下等问题。据预测,到 2030 年城镇化水平将达到 70%左右且将全面实现工业化,届时中国城市工业用地需求将日趋紧张,人地矛盾将更为突显。当前,如何有效地实现工业用地节约集约利用,提升城市工业用地效率成为政府和学界亟需解决的重点课题^[3]。因此,如何盘活城市工业用地存量,转变土地由外延粗放式扩张向内涵集约式发展,逐步提高工业用地利用效率,实现工业用地节约集约利用,促进工业经济由规模速度型向质量效益型转变具有重要的意义^[4]。

目前对城市工业用地生态效率的定义还没有统一界定,城市工业用地生态效率是在城市工业用地利用效率基础上考虑环境因素影响演变而来,传统意义上的城市工业用地利用效率是指在一定经济产出约束下,城市工业用地开发利用的充分程度^[5]。相似地,城市工业用地生态效率可定义为在一定社会经济产出和资源环境代价约束下,城市工业用地可持续开发利用的充分程度。近年来,国内外学者对工业用地的研究主要集中在工业产业效率^[6-8]、工业用地价格^[9-12]、工业用地政策^[13-15]、工业土地集约利用^[16-19]等方面,工业用地生态效率的相关研究则相对较少。城市工业用地利用效率的研究主要包括以下几个方面:(1) 在研究尺度上,主要集中在宏、中观尺度^[20-26],也有学者尝试从微观尺度对企业的工业用地利用效率进行了研究^[27];(2) 在指标选取上,绝大部分学者将工业总产值作为产出指标,工业用地面积、工业企业从业人员、工业固定资产投资等作为投入指标^[2, 5, 20];(3) 在研究方法上,可将城市工业用地利用效率测度方法归为三类:一类是引入相关计量分析模型^[18],常用的模型有层次分析法、主成分分析法等,该方法的优势在于理论与观察资料相结合,赋予理论以经验的内容,但存在个人主观性较强的不足;一类是构建参数评价模型^[2],常用的模型有 C-D 生产函数、全要素生产率等,该方法的优势在于描述前沿面的前沿生产函数构造,能预测和控制投入产出,稳定性强,也存在个人主观性较强的不足;还有一类是建立非参数评价模型,常用的模型有 DEA、Malmquist 指数和 SBM 模型^[20, 23]等,该方法的优势在于不需要对总体参数进行假定,能有效避免主观性因素的影响,有广泛的适用性,结果稳定性较好。

城市工业用地利用效率影响因素的研究主要分为两个方面:一是城市工业用地利用效率影响因素的指标选取^[28-30],可分为直接影响因素和间接影响因素,直接影响因素包括经济发展水平、土地市场化水平、工业行

业产权结构、土地使用成本等,间接因素则包括地方政府干预、土地结构改变、新型城镇化等;二是城市工业用地利用效率影响因素的研究方法,常用的研究方法包括系统 GMM 方法^[19]、Tobit 模型^[21,28]、面板数据模型^[29-30]等。城市工业用地利用效率影响因素研究无论是直接影响因素还是间接影响因素均可以运用面板数据模型和 Tobit 模型进行回归分析,区别在于 Tobit 模型适用于效率值介于 0 到 1 之间的情形,而面板数据运用更加广泛且对效率值类型无要求。

综上所述,目前国内对城市工业用地生态效率的研究,还可以从以下几个方面进一步深化和拓展:(1) 已有的文献主要是对城市工业用地的利用效率进行研究,将资源环境代价影响纳入城市工业用地的生态效率研究相对较少;(2) 对城市工业用地生态效率区域差异的定量研究和环境因素对城市工业用地利用效率的影响分析还有待于进一步深化。鉴于此,本文将资源消耗、环境污染和生态改善纳入城市工业用地生态效率测算指标体系,运用 Super-SBM 模型测算中国 30 个省(市、区)城市工业用地生态效率并分析其时空演变特征,在此基础上利用面板数据模型分析城市工业用地生态效率的影响因素,以为城市工业用地的高质量可持续发展提供参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 Super-SBM 模型

DEA 模型是由 Charnes 和 Cooper 在“相对效率评价”概念基础上发展起来的一种评价具有相同类型投入和产出的若干决策单元相对有效方法,适用于多投入、多产出的边界生产函数的研究^[31]。传统 DEA 模型最大的不足,在于模型产出指标一般为经济社会类期望产出指标,对于非期望产出指标却不适用。处理存在非期望产出情况下的效率评价方法包括投入产出转置法、正向属性转换法和方向性距离函数法,这 3 种方法虽然解决了非期望产出问题,却忽视了投入和产出变量的松弛性问题^[32]。Tone^[33]提出了一种基于松弛变量测度的非径向非角度的 DEA 分析方法,即 SBM 模型,测算的效率值随着投入和产出松弛程度的变化而严格单调递减,但是会出现多个决策单元同为完全有效的情况,以及无法对这些决策单元进行有效的评价与排序。鉴于此,Tone^[34]基于修正松弛变量进一步提出了 Super-SBM 模型,该模型有效解决了 SBM 模型对有效单元无法继续进行评价和排序的缺陷。

那么考虑松弛变量的 Super-SBM 模型,具体形式见公式(1):

$$\begin{aligned} \rho = \min & \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i / x_{i0}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \bar{y}_r^g / y_{r0}^g + \sum_{j=1}^{s_2} \bar{y}_j^b / y_{j0}^b \right)} \\ \text{s.t. } & x_0 = X\lambda + S^-, y_0^g = Y^g\lambda - S^g, y_0^b = Y^b\lambda + S^b \\ & \bar{x} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_j, \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^g, \bar{y}^b \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^b \\ & \bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b \\ & \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j = 1, S^- \geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0, \bar{y}^g \geq 0, \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, ρ 为目标效率值,即生态效率值; x 、 y^g 和 y^b 分别为投入、期望产出和非期望产出; m 、 s_1 和 s_2 分别为投入、期望产出指标和非期望产出指标个数;向量 S^- 、 S^g 和 S^b 分别为投入松弛量、期望产出的松弛量和非期望产出的松弛量; λ 为权重向量。当 $\rho \geq 1$ 时,被评价的决策单元相对有效;当 $\rho < 1$ 时,被评价的决策单元相对无效。

1.1.2 变异系数

运用变异系数来反映中国城市工业用地生态效率的变动差异程度^[32],其计算方法见公式(2):

$$\begin{aligned}
 CV &= \frac{\sigma}{|u|} \\
 \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - u)^2}{n}} \\
 u &= \frac{\sum A_i}{n}
 \end{aligned} \quad (2)$$

式中, CV 为变异系数值; A_i 为中国各区域城市工业用地生态效率样本值(分为华东、华北、华中、华南、西南、西北、东北七大区域, 即 $n=7$); μ 为中国城市工业用地生态效率平均值, σ 为标准差。 CV 值越大, 表示中国各地区城市工业用地生态效率的差异越大, 均衡性越差; CV 值越小, 表示各地区城市工业用地生态效率差异越小, 均衡性越好。

1.1.3 面板数据模型

本文研究对象为中国 30 个省(市、区), 基于 Super-SBM 模型测算得到的生态效率值, 运用面板数据模型对其影响因素进行实证分析^[35], 面板数据模型的一般形式见公式(3):

$$y_{it} = \sum_{k=1}^9 \beta_{ki} x_{kit} + u_{it} \quad (3)$$

式中, $i=1, 2, \dots, 30$, 表示 30 个区域; $t=1, 2, \dots, 17$, 表示 17 个时期; k 表示解释变量个数; y_{it} 为被解释变量, 表示第 i 个个体在时期 t 的观测值; x_{kit} 是解释变量, 表示第 k 个解释变量对于个体 i 在时期 t 的观测值; β_{ki} 是待估参数; u_{it} 是随机干扰项。

1.2 指标选取

1.2.1 生态效率指标体系构建

为使城市工业用地生态效率的分析结果更加科学合理, 本文基于科学性、全面性和可操作性等原则选取相互独立的投入-产出指标。投入指标从土地、劳动力和资本 3 个方面分别选取了城市工业用地面积、单位面积城市工业企业年均从业人员和单位面积城市工业固定资产投资 3 个指标; 期望产出指标从经济、社会和生态 3 个方面分别选取了单位面积的工业生产总值、城镇工业从业人员年平均工资和城市绿地面积 3 个指标; 非期望产出指标从环境污染方面选取了单位面积的工业废水排放量、单位面积的工业废气排放量和单位面积的工业固废排放量 3 个指标。本文构建的城市工业用地生态效率评价指标体系如表 1 所示。

表 1 城市工业用地生态效率投入产出指标体系

Table 1 Index system for input and output of ecological efficiency of urban industrial land

类别 Category	分类指标 Classification index	单项指标 Single index
投入 Input	土地	城市工业用地面积
	劳动力	单位面积城市工业企业年均从业人员
	资本	单位面积城市工业固定资产投资
期望产出 Expected output	经济效益	单位面积工业生产总值
	社会效益	城镇工业从业人员年平均工资
	生态效益	城市绿地面积
非期望产出 Unexpected output	环境污染	单位面积工业废水排放量
		单位面积工业废气排放量
		单位面积工业固废排放量

单位面积指的是单位城市工业用地面积

1.2.2 影响因素指标体系构建

借鉴已有研究成果^[36], 结合各地区城市工业用地的特点, 从经济发展、环境管制、工业能源结构、工业产

业结构、工业政策等方面来选取影响城市工业用地生态效率的因素进行分析,如表 2。

表 2 城市工业用地生态效率影响指标变量与说明

Table 2 Variables and explanations of eco-efficiency influencing indicators of urban industrial land

解释变量 Explanatory variable	变量说明 Variable specification
经济发展水平 Economic development level	人均 GDP
环境管制力度 Strength of environmental regulation	地区工业污染治理投资/地区生产总值
工业能源消费结构 Industrial energy consumption structure	地区工业煤炭消费总量/地区工业能源消费总量
工业产业结构 Industrial structure	地区工业生产总值/地区生产总值
工业行业聚集程度 Industrial agglomeration degree	各地区工业生产总值/全国工业生产总值
土地市场化水平 The level of land marketization	各地区国有建设土地招拍挂出让土地宗数/(国有建设出让土地宗数+国有建设划拨土地宗数)
工业土地使用成本 Industrial land use cost	每年城市工业用地地价
工业对外开放水平 Industrial opening-up level	规模以上工业企业出口交货值/规模以上工业企业销售产值
工业行业产权结构 Industrial property structure	各地区国有及国有控股工业企业资产/全国国有及规模以上非国有工业企业资产

1.3 数据来源

本文的数据涉及 17 年、30 个省(市、区)城市的相关经济社会、生态环境面板数据,其中城市工业用地面积、工业生产总值、地区工业能源消费总量、城市绿地面积、城镇工业从业人员工资、人均 GDP、地区工业污染治理投资、地区工业煤炭消费总量、地区工业生产总值、地区生产总值和全国工业生产总值数据来源于《中国统计年鉴》(2001—2017 年);城市工业企业年均从业人员数据来源于《中国城市统计年鉴》(2001—2017 年);工业能源消费结构数据来源于《中国能源统计年鉴》(2001—2017 年);城市工业固定资产投资数据来源于《中国固定资产投资统计年鉴》(2001—2017 年);工业废水排放量、工业废气排放量和工业固体废弃物排放量数据来源于《中国环境统计年鉴》(2001—2017 年);土地市场化水平和工业土地使用成本数据来源于《中国国土资源年鉴》(2001—2017 年);工业对外开放水平和工业行业产权结构数据来源于《中国工业统计年鉴》(2001—2017 年)。因西藏自治区多个指标数据缺失,故本文研究对象为除西藏自治区以外的 30 个省(市、区)。2000—2005 年的部分城市工业用地面积缺失,本文采用归纳法利用城市工业用地面积占城市建设用地面积比值的变化趋势来获得;城镇工业从业人员工资根据城镇单位就业人员平均工资和城镇私营单位就业人员平均工资中采矿业、制造业、电力、热水、燃气及水生产和供应业、建筑业的加权平均值获得。此外,为了真实反映经济发展动态,消除价格变动的因素,将人均 GDP、工业生产总值、城镇工业从业人员工资和城市工业固定资产投资分别根据相应的价格指数换算成 2000 年不变价格。

2 实证分析

2.1 城市工业用地生态效率实证分析

2.1.1 城市工业用地生态效率时间序列分析

根据公式(1),计算得到全国 30 个省(市、区)历年工业用地生态效率值,如表 3 所示。由表 3 可知,2000—2016 年中国城市工业用地生态效率总体呈下降趋势,总体下降 5.81%,年均下降 0.35%;其中,2000—2016 年中国城市工业用地生态效率变化呈现“先下降后上升”的两阶段趋势。从各城市总体变化趋势来看,除天津、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、湖北、广东、重庆、四川和云南的工业用地生态效率总体呈下降趋势,其余城市工业用地生态效率总体呈上升趋势。

根据 Super-SBM 模型原理,当生态效率值大于或等于 1 时,被评价的决策单元相对有效;生态效率值小于 1 时,被评价的决策单元相对无效。由表 3 可知,2000—2016 年中国城市工业用地生态效率均值大于或等于 1 的省(市、区)有 9 个,生态效率均值小于 1 的省(市、区)有 21 个,相对无效率城市是相对有效率城市的 2.3 倍。其中,东部 12 省(市、区)中生态效率相对有效的城市有 6 个,西部 10 省(市、区)中生态效率相对有效的

城市有 3 个,而中部 9 省的工业用地生态效率全部相对无效。生态效率相对有效的省(市、区)主要集中在东部地区和西北地区,生态效率相对无效的省(市、区)主要集中在中部和西南地区。东部沿海地区是中国经济发展较为发达的地区,城市工业经济发展迅速,在工业土地规划、管理与利用方面更为高效。西部地区工业用地生态效率相对有效的城市主要分布在西北地区的省(市、区),受国家西部大开发战略重点扶持的政策影响显著,工业用地生态效率相对较高。

表 3 2000—2016 年中国 30 个省(市、区)城市工业用地生态效率值

Table 3 Eco-efficiency of industrial land in 30 provinces (cities and districts) of China between 2000—2016

地区 Region	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	均值 Mean	排名 Rank
北京	1.16	1.26	1.52	1.44	1.30	1.46	2.02	1.62	1.97	1.66	1.63	2.26	1.95	1.74	1.79	1.77	1.52	1.65	2
天津	1.22	1.87	1.81	1.10	1.52	1.70	1.81	1.65	1.18	1.21	1.12	1.27	1.17	1.05	1.01	1.01	1.00	1.33	5
河北	0.37	0.35	0.41	0.39	1.03	0.37	0.34	0.26	0.30	0.30	0.32	0.42	1.10	1.00	1.05	0.57	0.58	0.54	19
山西	0.22	0.23	0.23	0.23	0.32	0.33	0.32	0.18	0.27	0.29	0.28	0.32	0.30	0.41	0.36	0.43	0.26	0.29	30
内蒙古	1.03	0.40	0.32	0.33	0.42	1.07	1.04	0.40	0.42	0.49	1.07	1.05	1.07	1.01	1.04	1.03	1.21	0.79	13
辽宁	1.06	0.60	0.56	0.47	0.46	0.41	0.31	0.34	0.37	0.34	0.35	0.35	0.36	0.36	0.36	0.35	0.56	0.45	23
吉林	0.49	0.45	0.71	0.63	0.50	0.43	0.34	0.33	0.55	0.47	0.54	1.02	0.58	0.39	0.40	0.28	0.41	0.50	20
黑龙江	1.21	1.52	1.16	1.08	1.13	1.10	0.34	1.44	0.37	0.35	0.37	0.39	1.01	0.54	0.39	0.36	0.36	0.77	14
上海	1.80	1.38	1.09	1.84	1.43	1.44	1.18	1.14	1.08	1.49	1.65	1.32	1.35	1.48	1.54	1.46	1.36	1.41	3
江苏	1.06	1.41	1.52	1.49	1.53	2.63	1.57	1.07	1.28	1.16	1.17	1.24	1.21	1.10	1.03	1.10	0.45	1.30	7
浙江	1.36	1.25	1.03	1.07	1.06	0.47	0.36	0.33	0.31	0.32	3.39	2.88	0.31	0.62	0.69	0.58	0.34	0.96	10
安徽	0.69	0.60	1.00	0.57	0.57	0.68	1.03	0.73	0.62	0.50	0.56	1.00	0.69	0.46	0.54	0.41	0.31	0.64	17
福建	1.21	1.20	1.19	1.09	1.15	0.47	0.46	0.22	0.33	0.34	0.34	1.02	1.06	1.11	1.06	1.15	0.76	0.83	12
江西	0.31	0.40	0.45	0.38	0.41	0.44	0.41	0.26	0.31	0.34	0.35	0.34	0.34	0.32	0.25	0.23	0.25	0.34	29
山东	1.06	1.07	1.10	1.06	1.05	1.05	0.45	1.05	0.59	0.70	0.63	0.70	0.72	1.00	1.13	1.04	1.39	0.93	11
河南	0.42	0.42	1.01	0.40	0.41	0.41	0.31	0.28	0.27	0.28	0.33	0.31	0.30	0.50	0.47	0.45	0.57	0.42	22
湖北	0.48	0.61	0.65	0.46	0.45	0.41	0.28	0.28	0.26	1.42	0.27	0.25	0.27	0.25	0.26	0.23	0.28	0.42	24
湖南	0.45	0.39	0.42	0.41	0.42	0.45	0.39	0.29	0.34	0.32	0.32	0.35	0.41	1.13	0.41	0.44	1.14	0.47	22
广东	1.48	1.54	1.32	1.47	1.42	1.50	1.29	1.32	1.38	1.36	1.33	1.23	1.23	1.23	1.23	1.26	1.27	1.35	4
广西	1.01	1.00	1.01	0.37	0.41	0.43	1.01	0.34	0.36	0.39	0.40	0.41	0.48	1.01	1.00	1.02	1.02	0.69	16
海南	1.40	1.59	1.61	1.31	1.40	1.49	1.45	2.02	2.60	3.12	3.11	2.96	2.27	1.40	1.62	1.82	2.24	1.97	1
重庆	0.42	0.41	0.38	0.33	0.49	0.39	0.40	0.23	0.32	0.33	0.35	0.40	0.43	0.36	0.27	0.25	0.32	0.36	26
四川	0.46	0.40	0.34	0.40	0.43	0.42	0.37	0.27	0.31	0.31	0.30	0.31	0.31	0.28	0.29	0.26	0.42	0.35	27
贵州	0.38	0.49	1.09	1.04	1.02	1.04	1.06	0.47	0.52	1.02	1.01	0.52	1.00	1.00	0.48	0.43	0.52	0.77	15
云南	1.20	1.12	1.11	1.10	1.10	0.57	0.69	0.20	0.27	0.36	0.39	0.35	0.29	0.56	0.50	0.43	0.37	0.62	18
陕西	0.31	0.34	0.39	0.36	0.40	0.39	0.47	0.22	0.27	0.31	0.31	0.35	0.36	1.04	0.55	1.14	1.05	0.48	21
甘肃	0.28	0.20	0.20	0.27	0.36	0.43	0.37	0.26	0.31	0.34	0.33	0.32	0.39	0.54	0.39	0.51	0.45	0.35	28
青海	1.16	1.21	1.29	1.23	1.38	1.14	1.23	1.09	1.12	1.03	1.04	1.59	1.14	1.17	1.15	1.62	1.20	1.22	8
宁夏	1.18	1.14	1.03	1.06	1.07	1.06	1.10	1.33	1.42	1.44	1.32	1.36	2.25	1.22	1.13	1.42	1.49	1.30	6
新疆	1.03	0.64	1.19	1.05	1.12	1.06	1.12	1.01	1.02	1.06	1.16	1.12	1.08	1.20	1.25	1.21	1.22	1.09	9
均值 Mean	0.86	0.85	0.91	0.81	0.86	0.84	0.78	0.69	0.69	0.77	0.86	0.91	0.85	0.85	0.79	0.81	0.81	—	—

从工业用地生态效率均值排序情况来看,其大小排序依次为海南>北京>上海>广东>天津>江苏>宁夏>青海>新疆>浙江>山东>福建>内蒙古>黑龙江>贵州>广西>安徽>云南>河北>吉林>陕西>湖南>辽宁>河南>湖北>重庆>甘肃>四川>江西>山西。可以发现,北京市、上海市和天津市的城市工业用地生态效率在全国分别排名第二、三、五,都位于东部地区。其中,北京市、上海市和天津市分别是我国的政治中心、经济中心、首批沿海开放城市,经济发达,工业企业用地面积有限,工业发展主要依靠资本和技术的投入,具有很高的工业生

产总值,工人工资水平位于全国前列,国家领导人重视当地经济发展的同时又重视环境的保护,对工业企业环境管制严格,因此其城市工业用地生态效率水平高。重庆市城市工业用地生态效率全国排名第 26,处于较低水平。虽然重庆也是我国四大直辖市之一,是西南地区最大的工商业城市,但是其城市工业用地面积相对较大,因其地理位置因素,大量的人才向东部转移,工业生产主要依靠资源的投入;近年来,重庆逐渐发展为全国著名的旅游城市,当地政府重视环境的保护,工业“三废”排放较少,但是经济、社会产出不高,导致其城市工业用地生态效率水平较低。

由表 3 数据显示可知,海南省大部分年份的城市工业用地生态效率都处于较高水平,这些年份投入冗余较少,产出达到最优水平;通过对原始数据分析发现,海南生态效率最高的年份,单位面积工业生产总产值都处于最高水平,工业三废排放量处于很低水平,单位面积工业企业工人投入数处于较高水平,单位面积固定资产投资处于很低水平,城市工业用地投入处于中间水平。而山西省大部分年份的城市工业用地生态效率处于较低水平,大部分年份存在投入冗余和产出不足的情况;通过原始数据发现,山西省存在着单位面积工业企业从业人员投入相对较高,单位面积固定资产投资相对较低,单位面积工业总产值产出相对较低,工人工资偏低,工业三废排放相对偏高,城市绿地面积偏低的现象。通过以上分析可以发现,不同的地区城市工业用地利用应因地制宜,如海南省是旅游城市,重视环境保护和绿化,工业不发达,可以采用劳动密集型的工业生产方式。山西是煤矿大省,有较为良好的工业发展条件,但工人投入较多,固定资产投资较少,对环境重视程度不够,导致城市工业用地生态效率低下,适于采用资本密集型的工业生产方式。

2.1.2 城市工业用地生态效率时空演变分析

为对中国 30 个省(市、区)工业用地生态效率值空间分布有更加直观的了解,根据决策单元是否有效,按照等间距法绘制了 2000、2008、2016 年城市工业用地生态效率值有效性空间分布图(图 1)。从图 1 中可以看出,2000 年决策单元有效的省(市、区)主要集中在东部地区、西北、东北地区,决策单元无效的省(市、区)主要集中在中部地区;决策单元有效的省(市、区)有 17 个,其中中部 9 省(市、区)生态效率值有效的省(市、区)1 个,西部 10 省(市、区)生态效率值有效的省(市、区)5 个,东部 12 省(市、区)生态效率值有效的省(市、区)11 个。2008 年决策单元有效的省(市、区)个数大幅度减少,主要集中在西北、东部沿海地区,决策单元无效的省(市、区)个数增多,在中、东、西部都有分布;决策单元有效的省(市、区)有 9 个,其中中部 9 省(市、区)生态效率值有效的省(市、区)为 0 个,西部 10 省(市、区)生态效率值有效的省(市、区)有 3 个,东部 12 省(市、区)生态效率值有效的省(市、区)有 6 个。2016 年决策单元有效的省(市、区)个数较 2008 年有所上升,主要集中在东南地区、东北经济发达沿海地区、西北地区、华北地区,决策单元无效的省(市、区)个数较 2008 年有所下降,主要分布在西南、中部、东部地区;决策单元有效的省(市、区)有 13 个,其中中部 9 省(市、区)生态效率值有效的省(市、区)有 4 个,西部 10 省(市、区)生态效率值有效的省(市、区)有 4 个,东部 12 省(市、区)生态效率值有效的省(市、区)有 5 个。综上所述,2000—2016 年生态效率值有效的省(市、区)个数呈现先大幅减少后小幅增多的趋势,有效区域由东部地区、西北、东北地区向东南地区、东北经济发达沿海地区、西北地区、华北地区转移。通过原始数据分析发现,2000—2016 年虽然我国城市经济、社会和生态产出都呈大幅度提升趋势,工业三废排放量都呈减少趋势,但是城市工业用地生态效率有效的省(市、区)数量却在减小,可能原因是部分省(市、区)城市工业用地面积存在扩张过度和单位面积固定资产投资过剩情况,易造成资源浪费,从而导致生态效率反而降低。

2.1.3 城市工业用地生态效率区域差异分析

分别计算得到 2000—2016 年中国城市工业用地生态效率变异系数以及华东、华北、华中、华南、西南、西北、东北七大区域城市工业用地生态效率的均值(由中国社科院出版的全国及七大区域地图可以看出,内蒙古大部分地区属于华北地区,因此本文把内蒙古自治区归属于华北地区),进一步从区域差异来解析城市工业用地生态效率的空间格局演变特征(图 2)。从图 2 中可以看出,华南地区生态效率均值都在全国平均水平以上;西北、华东和华北地区生态效率均值大部分年份在平均水平以上,且西北和华北地区更为接近全国平均

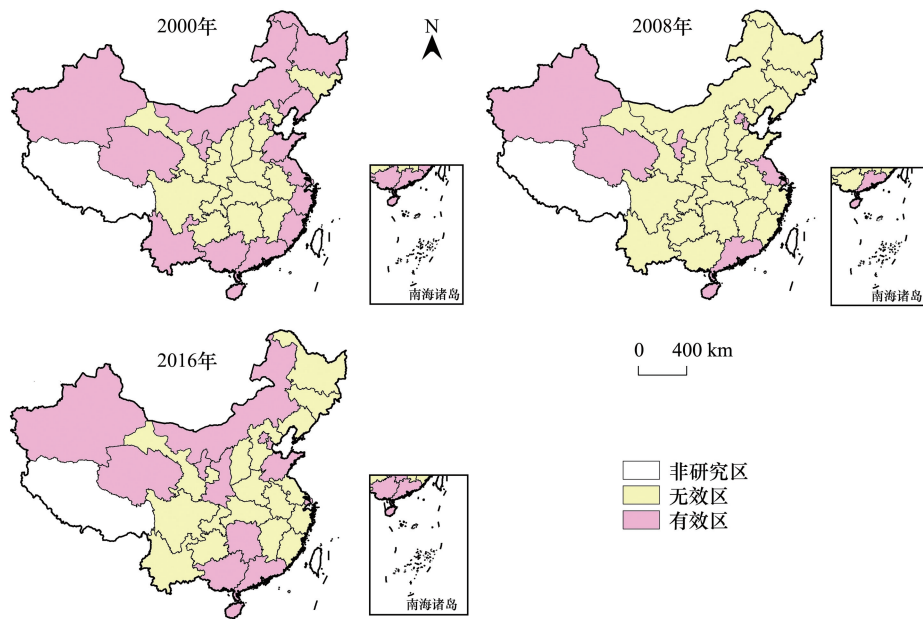


图 1 2000—2016 年中国城市工业用地生态效率有效性空间分布图

Fig.1 Spatial distribution of ecological efficiency of urban industrial land in China between 2000—2016

水平;西南、华中地区生态效率值低于平均水平;东北地区生态效率均值大部分年份在全国平均水平以下。经济水平较高的华东地区城市工业用地生态效率接近全国平均水平,经济发展水平处于中间的华中地区城市工业用地生态效率最为低下,经济发展水平最低的西北地区城市工业用地生态效率与中国城市工业用地生态效率平均水平较为接近,说明城市工业用地生态效率与经济发展水平并不一致,西北地区的城市工业用地较华中、西南地区更为合理。全国区域变异系数在 2000—2016 年总体呈增长趋势,年均增长率为 4.26%,表明中国七大区域城市工业用地生态效率存在较为明显的差异,且这种差异随着城市工业的发展呈增大趋势。

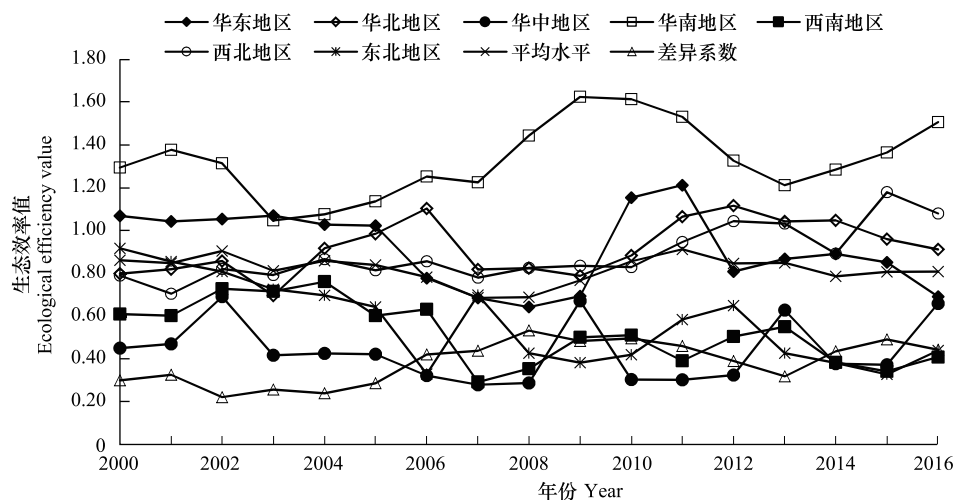


图 2 2000—2016 年中国七大区域城市工业用地生态效率变化情况

Fig.2 Industrial land eco-efficiency in seven major regional cities of China from 2000 to 2016

2.2 城市工业用地生态效率影响因素实证分析

城市工业用地生态效率是衡量城市工业土地利用效果的重要标准,是多种因素综合驱动的结果。中国城市工业用地生态效率总体处于上升的发展趋势,但其时空演变过程中区域差异性显著,因此在城镇化和工业

化快速推进的背景下,进一步有效识别各种因素的作用力度与方法,对于提高城市工业用地生态效率具有积极的意义。由于土地市场化水平、工业对外开放水平和工业土地使用成本指标数据在 2000—2004 年大量缺失,西藏地区的工业能源消费结构和工业土地使用成本指标数据在 2000—2016 年全部缺失,因此本文仅对 2005—2016 年中国 30 个省(市、区)(除西藏自治区外)城市工业用地生态效率的影响因素做实证分析。

2.2.1 数据平稳性检验

为避免宏观数据非平稳性造成的伪回归,采用相同根检验方法 LLC (Levin-Lin-Chu) 和不同根检验方法 Fisher-PP 对数据进行单位根检验,结果如表 4 所示。

由表 4 可知,9 个解释变量中生态效率、工业产业结构、工业行业集聚程度、工业对外开放水平和土地使用成本为非平稳序列,经一阶差分和二阶差分后,均呈现出一定的平稳性,可以进行下一步回归分析。

表 4 面板数据单位根检验结果
Table 4 Unit root test results of panel data

指标说明 Index explanation	水平值 Horizontal value		一阶差分 First order difference		二阶差分 Second order difference	
	LLC	PP	LLC	PP	LLC	PP
生态效率 Eco-efficiency value	-7.7210 (0.0000)	113.8110 (0.0000)	-19.7420 (0.0000)	324.652 (0.0000)	-19.5298 (0.0000)	453.7680 (0.0000)
经济发展水平 Economic development level	-13.5577 (0.0000)	265.8510 (0.0000)	-5.2876 (0.0000)	60.5223 (0.4568)	-21.4175 (0.0000)	425.7750 (0.0000)
环境管制力度 Strength of environmental regulation	-10.0968 (0.0000)	138.9730 (0.0000)	-5.3510 (0.0000)	291.9730 (0.0000)	-3.7519 (0.0001)	472.9570 (0.0000)
工业能源消费结构 Industrial energy consumption structure	-4.1153 (0.0000)	210.3610 (0.0000)	-12.8498 (0.0000)	533.9900 (0.0000)	-12.6491 (0.0000)	679.4090 (0.0000)
工业产业结构 Industrial structure	1.8804 (0.9700)	30.2960 (0.9995)	-4.0218 (0.0000)	173.1410 (0.0000)	-9.4054 (0.0000)	478.3430 (0.0000)
工业行业集聚程度 Industrial agglomeration degree	-4.7398 (0.0000)	68.1899 (0.2188)	-1.2422 (0.1071)	108.3510 (0.0001)	-7.3364 (0.0000)	333.6550 (0.0000)
土地市场化水平 The level of land marketization	-11.9672 (0.0000)	103.3530 (0.0004)	-6.8326 (0.0000)	262.8420 (0.0000)	-16.4569 (0.0000)	508.0250 (0.0000)
工业对外开放水平 Industrial opening-up level	-9.9868 (0.0000)	56.1362 (0.6177)	-7.3755 (0.0000)	191.6180 (0.0000)	-11.6054 (0.0000)	394.5210 (0.0000)
工业行业产权结构 Industrial property structure	-5.5393 (0.0000)	93.2246 (0.0039)	-4.8561 (0.0000)	197.0450 (0.0000)	-9.6577 (0.0000)	459.4570 (0.0000)
土地使用成本 Industrial land use cost	-3.6438 (0.0001)	81.7681 (0.0324)	14.3525 (1.0000)	53.9056 (0.6967)	11.3694 (0.0000)	175.4740 (0.0000)

LLC: 相同根检验方法; PP: 不同根检验方法

2.2.2 模型选择与结果分析

运用 Eviews 8.0 对面板数据进行协方差分析检验,发现该模型适用于混合回归模型、个体固定效应回归模型和个体随机回归模型,且回归结果显示该模型整体拟合优度较好,具体见表 5。从回归结果可以看出,3 种模型回归结果大体一致,模型拟合优度 R^2 为 0.9713,说明模型整体拟合优度较好。9 个解释变量中 7 个都显著影响城市工业用地生态效率,其中经济发展水平、土地市场化水平、工业行业产权结构、土地使用成本对城市工业用地生态效率起着负向阻碍作用,环境管制力度、工业行业集聚程度、工业对外开放水平对城市工业用地生态效率起着正向促进作用,工业能源消费结构、工业产业结构对城市工业用地生态效率影响作用不大。

各解释变量具体分析结果见表 5。

表 5 面板数据模型回归结果
Table 5 Panel data model regression results

解释变量 Explanatory variable	混合效应模型 Mixed effect model		个体固定效应模型 Individual fixed effect model		个体随机效应模型 Individual random effect model	
	Coefficient	t-Statistic	Coefficient	t-Statistic	Coefficient	t-Statistic
常数项 Constant	1.9418 ***	12.7242	1.9418 ***	12.1856	1.9418 ***	12.1856
经济发展水平 Economic development level	-0.1714 ***	-13.5411	-0.1714 ***	-12.9679	-0.1714 ***	-12.9679
环境管制力度 Strength of environmental regulation	3.0525 **	2.2446	3.0525 **	2.1496	3.0525 **	2.1496
工业能源消费结构 Industrial energy consumption structure	-0.0284	-0.7115	-0.0284	-0.6814	-0.0284	-0.6814
工业产业结构 Industrial structure	0.1441	1.3450	0.1441	1.2881	0.1441	1.2881
工业行业集聚程度 Industrial agglomeration degree	30.0449 ***	15.8225	30.0449 ***	15.1528	30.0449 ***	15.1528
土地市场化水平 The level of land marketization	-0.1802 ***	-3.7445	-0.1802 **	-3.5860	-0.1802 ***	-3.5860
工业对外开放水平 Industrial opening-up level	8.0956 ***	11.6659	8.0956 ***	11.1721	8.0956 ***	11.1721
工业行业产权结构 Industrial property structure	-1.4082 ***	-7.7101	-1.4082 ***	-7.3838	-1.4082 ***	-7.3838
土地使用成本 Industrial land use cost	-0.8402 ***	-22.4264	-0.8402 ***	-21.4772	-0.8402 ***	-21.4772
R-squared	0.9713		0.9713		0.9713	
Adjusted R-squared	0.9705		0.9679		0.9705	
Prob(F-statistic)	0.0000		0.0000		0.0000	

** 表示 5% 的显著性水平, *** 表示 1% 的显著性水平

从表 5 可以看出,经济发展水平的系数为负,在 1% 的水平上显著,说明当地的经济发展水平对城市工业用地生态效率起到显著负向作用。一般而言,区域经济发展水平越高的地区,工资相对水平越高,政府有更多的资金投入工业基础设施建设和工业污染治理,城市工业用地生态效率也越高。但是回归结果显示,当地经济发展高有可能阻碍城市工业用地的生态效率,可能原因是当地经济发展主要是依靠第三产业的拉动,或随着城市的大规模建设,政府大量举债,当地人均 GDP 已不能真实反映该地区的经济发展水平。

环境管制力度的系数为正,在 5% 的水平上显著,说明环境管制力度对城市工业用地生态效率起到显著正向作用。当地政府和工业企业重视环境,对环境治理投资力度大,工业“三废”排放量就相对减少很多,城市工业用地的非期望产出减少,生态效率相对提高。因此,加大环境保护力度可以一定程度改善当地的工业用地生态效率。

工业行业集聚程度系数为正,在 1% 的水平上显著,说明工业行业集聚程度对城市工业用地生态效率起到显著正向作用。一般而言,工业行业集聚能够降低企业运输成本,实现信息共享,提高城市工业用地的效率,易实现工业规模化效益。

土地市场化水平系数为负,在 1% 的水平上显著,说明当地的土地市场化水平对城市工业用地生态效率起到显著负向作用。市场是实现资源配置的有效手段,土地市场通过显化土地价值,可以提高土地资源的利用效率,市场有自主调控手段,人为过度干涉,可能会造成资源分布不均,资源闲置浪费等现象。因此,应该适度放开政府“有形”的手,充分发挥市场“无形”的手。

工业对外开放水平系数为正,在 1% 的水平上显著,说明工业对外开放水平对城市工业用地生态效率起到显著正向作用。当地对外开放水平越高,有更多的产品用于出口或进口,提高同行业的竞争压力,实现工业

行业的优胜劣汰,提高工业用地利用程度。

工业行业产权结构系数为负,在 1%的水平上显著,说明工业行业产权结构对城市工业用地生态效率起到显著负向作用。各地区国有及国有控股工业企业资产占全国国有及规模以上非国有工业企业资产比例越大,市场竞争压力越小,可能存在着土地资源浪费,工业企业工人人数过多,固定资产投资过多等现象,反而降低了当地城市工业用地生态效率水平。

土地使用成本系数为负,在 1%的水平上显著,说明土地使用成本对城市工业用地生态效率起到负向作用。一般而言,工业用地地价越高,持用工业用地的面积相对减少,工业用地的效率会相对提升,但是也有可能随着工业用地地价的提高,企业成本增加,更少的人愿意投资工业企业,反而造成工业用地效率的下降。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文基于 Super-SBM 模型,考虑环境对城市工业用地的影响,测算了 2000—2016 年中国 30 个省(市、区)城市工业用地生态效率,并进行时空演变特征分析,最后运用面板数据模型对城市工业用地生态效率进行影响因素实证分析,得出以下结论:

(1)时序变化方面,2000—2016 年中国城市工业用地生态效率总体呈下降趋势,总体下降 5.81%,年均下降 0.35%,过程中呈现“先下降后上升”两阶段变化趋势;2000—2016 年城市工业用地生态效率均值相对无效率城市是相对有效率城市的 2.3 倍;按照生态效率均值的大小排序:海南>北京>上海>广东>天津>江苏>宁夏>青海>新疆>浙江>山东>福建>内蒙古>黑龙江>贵州>广西>安徽>云南>河北>吉林>陕西>湖南>辽宁>河南>湖北>重庆>甘肃>四川>江西>山西。

(2)空间演变方面,2000—2016 年生态效率值有效的省(市、区)个数呈现先大幅度减少后小幅度增多的趋势,有效区域由东部地区、西北、东北地区向东南地区、东北经济发达沿海地区、西北地区、华北地区转移;其中,低水平区域由中西部逐渐向中部集聚,较低水平区域由中西部向东、中、西部数量较为均衡方向发展。

(3)区域差异方面,区域城市工业用地生态效率均值从大到小依次为华南地区、华北地区、华东地区、西北地区、东北地区、西南地区和华东地区,且七大区域间城市工业用地生态效率存在较为显著的差异,随着城市工业的发展区域差异呈增大趋势。

(4)影响因素方面,经济发展水平、土地市场化水平、工业行业产权结构、土地使用成本对城市工业用地生态效率起着显著负向阻碍作用,环境管制力度、工业行业集聚程度、工业对外开放水平对城市工业用地生态效率起着显著正向促进作用,工业能源消费结构、工业产业结构对城市工业用地生态效率影响作用不大。

3.2 讨论

通过对中国 30 个省(市、区)城市工业用地的生态效率时空演变特征及影响因素分析,为城市工业用地的集约与节约利用提供一定的参考。同时,本文也存在一些不足和可供探讨之处:

一是研究尺度较大,本文基于省级面板数据从省域尺度对城市工业用地生态效率进行了分析,反映出省域整体情况,但各省内部情况差异明显,只是从省域尺度来研究各城市的工业用地生态效率特征分析稍显粗放,因此进一步从地市尺度对各城市工业用地生态效率特征及影响因素进行研究将是下一步开展的重点。

二是数据获取的局限性,导致部分年份或部分城市数据缺失,通过趋势平滑法、替代法获得的数据一定程度上会对研究结果产生影响,如部分年份的城市工业用地面积、城镇从业人员年均工资等是通过相应数据处理方法来获得,难免对结果产生影响。

三是部分指标选取可能存在一定争议,如生态效益指标用城市绿地面积来表征,本文认为城市绿地的起源是人类为了缓解城市工业污染而兴起的,随着经济的发展,城市绿地逐渐发挥了城市居民休闲、娱乐、陶冶情操的作用,但是在一定程度上,城市绿地为缓解城市工业污染方面仍然起着不可替代的作用。

四是城市工业用地投入—产出指标与影响因素指标选择可能存在一定相似关联性,可能对结论存在一定

影响,但本文的指标体系构建基于已有研究成果和对生态效率内涵理解的基础上,数据来源于公开统计年鉴数据,一定程度上也具有较强的可靠性。因此,丰富对地市尺度的研究、完善指标体系选取以及突破数据局限性尤为重要。

参考文献 (References):

- [1] 郭贯成, 丁晨曦, 王雨蓉. 新型城镇化对工业土地利用效率的影响: 理论框架与实证检验. 中国土地科学, 2016, 30(8): 81-89.
- [2] 高魏, 马克星, 刘红梅. 中国改革开放以来工业用地节约集约利用政策演化研究. 中国土地科学, 2013, 27(10): 37-43.
- [3] 罗能生, 彭郁. 中国城市工业土地利用效率时空差异及地方政府竞争影响. 中国土地科学, 2016, 30(5): 62-70.
- [4] 严思齐, 彭建超. 财政分权对工业土地利用效率影响的门槛效应——基于省级面板数据的实证研究. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2019, 19(1): 118-129.
- [5] 陈伟, 彭建超, 吴群. 城市工业土地利用损失与效率测度. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(2): 15-22.
- [6] 王雪, 施晓清. 基于投入产出表的北京市产业生态效率. 生态学报, 2018, 38(8): 2660-2671.
- [7] 孙玉峰, 郭全营. 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析. 生态学报, 2014, 34(3): 710-717.
- [8] 任胜钢, 张如波, 袁宝龙. 长江经济带工业生态效率评价及区域差异研究. 生态学报, 2018, 38(15): 5485-5497.
- [9] Wu Y Z, Zhang X L, Skitmore M, Song Y, Hui E C M. Industrial land price and its impact on urban growth: a Chinese case study. Land Use Policy, 2014, 36(1): 199-209.
- [10] Zhang X L, Lin Y L, Wu Y Z, Martin S. Industrial land price between China's pearl river delta and southeast Asian regions: competition or coopeition? Land Use Policy, 2017, 61(2): 575-586.
- [11] 徐思超, 朱道林, 伦飞, 景思琦, 吴亮, 李晓亮. 工业与住宅用地比价关系的重新考察——兼论工业与住宅用地价格差异的内在原因. 中国土地科学, 2017, 31(5): 47-54.
- [12] 王家庭, 曹清峰, 田时嫣. 产业集聚、政府作用与工业地价: 基于 35 个大中城市的经验研究. 中国土地科学, 2012, 26(9): 12-20.
- [13] Needham B, Louw E, Metzmakers P. An economic theory for industrial land policy. Land Use Policy, 2013, 33(7): 227-234.
- [14] Hamblin A. Policy directions for agricultural land use in Australia and other post-industrial economies. Land Use Policy, 2009, 26(4): 1195-1204.
- [15] 吕晓, 牛善栋, 黄贤金, 赵雲泰, 赵小风, 钟太洋. 基于内容分析法的中国节约集约用地政策演进分析. 中国土地科学, 2015, 29(9): 11-18, 26-26.
- [16] Simola A. Intensive margin of land use in CGE models-Reviving CRESH functional form. Land Use Policy, 2015, 48(11): 467-481.
- [17] Hudalah D, Viantari D, Firman T, Woltjer J. Industrial land development and manufacturing deconcentration in Greater Jakarta. Urban Geography, 2013, 34(7): 950-971.
- [18] Meng Y, Zhang F R, An P L, Dong M L, Wang Z Y, Zhao T T. Industrial land-use efficiency and planning in Shunyi, Beijing. Landscape and Urban Planning, 2008, 85(1): 40-48.
- [19] Tu F, Yu X F, Ruan J Q. Industrial land use efficiency under government intervention: Evidence from Hangzhou, China. Habitat International, 2014, 43(7): 1-10.
- [20] 谢花林, 王伟, 姚冠荣, 刘志飞. 中国主要经济区城市工业用地效率的时空差异和收敛性分析. 地理学报, 2015, 70(8): 1327-1338.
- [21] 庄红卫, 李红. 湖南省不同区域开发区工业用地利用效率评价研究. 经济地理, 2011, 31(12): 2100-2104.
- [22] 陈伟, 彭建超, 吴群. 基于容积率指数和单要素 DEA 方法的工业用地利用效率区域差异研究. 自然资源学报, 2015, 30(6): 903-916.
- [23] 蒋海龄. 我国中部地区工业土地利用效率的时空差异、影响因素及收敛性分析. 南昌: 江西财经大学, 2016.
- [24] 崔新蕾, 赵燕霞. 资源型城市工业用地利用效率及影响因素研究. 国土资源科技管理, 2018, 35(3): 1-14.
- [25] 刘蕾, 毕如田, 张孟容. 山西省 11 个地市中小型工业企业用地利用效率及影响因素. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2016, 36(4): 288-293+299.
- [26] 严思齐, 彭建超, 吴群. 中国工业土地利用效率收敛特征. 资源科学, 2018, 40(6): 1163-1174.
- [27] 江馨. 平湖市工业土地利用效率研究. 杭州: 浙江大学, 2017.
- [28] 许明强. 城市工业用地产出率影响因素及区域比较——地级城市面板数据分析. 中国土地科学, 2016, 30(12): 71-82.
- [29] 刘向南, 单嘉铭, 石晓平, 汪明进. 发达地区城市工业用地效率评价及影响因素研究——以浙江省绍兴市为例. 华东经济管理, 2016, 30(12): 70-76.
- [30] 陆砚池, 方世明. 基于 SBM-DEA 和 Malmquist 模型的武汉城市圈城市建设用地生态效率时空演变及其影响因素分析. 长江流域资源与环境, 2017, 26(10): 1575-1586.
- [31] 周泽炯, 胡建辉. 基于 Super-SBM 模型的低碳经济发展绩效评价研究. 资源科学, 2013, 35(12): 2457-2466.
- [32] 杨良杰, 吴威, 苏勤, 蒋晓威, 卫云龙. 基于 SBM-Undesirable 模型的 1997—2010 年中国公路运输效率评价. 地理科学进展, 2013, 32(11): 1602-1611.
- [33] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [34] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1): 32-41.
- [35] 陶长琪. 计量经济学教程. 上海: 复旦大学出版社, 2012.
- [36] 汪克亮, 孟祥瑞, 杨宝臣, 程云鹤. 基于环境压力的长江经济带工业生态效率研究. 资源科学, 2015, 37(7): 1491-1501.