

中国绿色生产效率区域差异及空间格局演变

穆学英, 刘 凯, 任建兰*

(山东师范大学地理与环境学院, 济南 250014)

摘 要:绿色生产效率评价是评估中国生态文明建设和经济转型可行性的重要途径。基于“人地协调”理念和“过程+格局”思维,建立了衡量绿色生产效率的投入—产出指标,采用数据包络分析法对中国30个省(市、区)近10年的绿色生产效率进行测度,运用熵值法、基尼系数、探索性空间数据分析、空间自相关等方法,结合ArcGIS、Geoda软件,对中国2005-2014绿色生产效率差异以及空间格局的时空演变进行研究。结果表明:①2005-2014年中国绿色生产效率呈上升趋势,呈现从“大差距低水平”向“小差距高水平”转变的时序特征;②2005-2014年中国四大地区绿色生产效率呈现东部地区>东北地区>中部地区>西部地区的空间分异特征;③中国绿色生产效率呈现东高西低的率三级阶梯空间格局特征;④中国各省(市、区)绿色生产效率值与相邻地区存在相似性,表现出一定的空间集聚特征;⑤经济发展基础和差别化的资源环境区域政策是绿色生产效率区域差异的主要因素。

关键词:绿色生产效率;区域差异;时空格局;数据包络分析法;中国

1 引言

中国快速发展的工业化推动经济持续高速发展,但高速增长的经济无法掩盖生产方式不经济性、发展质量偏低及发展理念等问题。目前,中国作为世界上最大的能源消费国及CO₂排放量大国,生产方式的不经济性已成为关乎人类社会发展和国际政治经济格局的全局性、战略性问题。中共中央、国务院出台了《关于加快推进生态文明建设的意见》,首次提出新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化和绿色化“五化”协同发展,表明从关注经济增长的指标向经济增长的目的性和可持续性的过渡。因此,实现生态建设和可持续发展必须要解决资源浪费所带来经济增长的低效问题及由于片面追求GDP而带来经济增长的环境问题。提高生产效率,减少污染排放,实现经济发展与资源消耗脱钩成为中国经济转型和生态文明建设的重要目标。

关注一国经济增长质量的思想已经在学术界

形成基本共识(宋长青等, 2013),但区域经济发展中的效率问题并未引起足够的关注(于婷婷, 2016)。多数国家的经济增长使资源投入的结果,而非效率的提升(陆大道, 2015)。因此,重新反思中国的发展模式,转变经济发展方式,关注经济发展中的效率问题便显得尤为迫切和重要。20世纪20年代末期,柯布—道格拉斯(Cobb et al, 1928)提出生产函数理论后,国内外学者开始着手于对生产效率的理论研究。主要从以下两方面开展:①由Solow(1956)提出的作为传统投入要素之外驱动经济增长的重要引擎,全要素生产率已被广泛运用于新古典增长的核算中,随着研究的深入,全要素生产率的测量方法从最初的增长核算法发展到随机生产前沿模型、Malmquist指数法等方法的研究(郭庆旺等, 2005; 李春米等, 2014)。②生产效率的实证研究,主要集中在不同时间维度、空间尺度上对农业、工业领域的研究(熊强等, 2013; 王文刚等, 2012; 周亮等, 2013)。随着环境问题的日益突出,生态文明建

收稿日期:2017-03;修订日期:2017-07。

基金项目:国家自然科学基金项目(41571525);山东省社科重大委托项目(16AWTJ05) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41571525; Major Projects Supported by Social Sciences of Shandong Province, No.16AWTJ05]。

作者简介:穆学英(1992-),女,山东昌邑人,硕士研究生,研究方向为区域可持续发展,E-mail: muxueying823@sina.com。

通讯作者:任建兰(1954-),女,山东莱州人,教授,博士生导师,研究方向为区域可持续发展与人口、资源与环境经济学,E-mail: renjianlan@sina.com。

引用格式:穆学英, 刘凯, 任建兰. 2017. 中国绿色生产效率区域差异及空间格局演变[J]. 地理科学进展, 36(8): 1006-1014. [Mu X Y, Liu K, Ren J L. 2017. Spatial differentiation and change of green production efficiency in China[J]. Progress in Geography, 36(8): 1006-1014.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.08.009

设和经济转型的迫切需求,经济学家开始尝试将资源与环境因素纳入经济效率和全要素生产效率的测度中,由此关于城市效率、生态效率、绿色经济效率的研究逐渐涌现(杨龙等, 2010; 许建伟等, 2013; 李江苏等, 2017; 任宇飞等, 2017)。

绿色生产作为一种以生态经济协调发展为核心,通过效率的改进和技术的进步,实现对资源利用效率最大化、对环境压力最小化目标的生产方式,越来越受到关注和重视。《国际清洁生产宣言》中首次提出“绿色生产率”是一种预防性战略。部分学者将能源消耗和污染物排放的投入产出效率定义为绿色生产效率(Ahmed, 2012),认为绿色生产效率是在考虑资源投入和环境代价的基础上,评价一个国家或地区生产效率的重要指标,反映了在追求经济效益的过程中利用自然资源和减轻环境压力的效率。随着生态文明建设和经济转型的需求,关于绿色生产效率的研究逐渐完善,国内学者对绿色生产率的研究大致可从宏观经济层面、微观经济层面和全要素生产率三层面展开。一是在宏观经济层面,主要集中于对绿色经济效率的探究,研究内容侧重于对绿色经济效率内涵的解读(钱争鸣等, 2013; 王军等, 2014),其实质就是一种考虑资源投入和污染物产出的综合经济效率,与绿色生产效率的可持续观一脉相承,所不同的是绿色经济效率更着重于对绿色 GDP 产出效益的研究。其研究区域由国家逐渐深入对类型区、省区、地级市绿色生产效率的实证研究,运用 Tobit 模型、OLS 回归模型探究绿色生产效率演变的机制已成为当下研究的热点(聂玉立等, 2015; 王晓云等, 2016)。二是在微观层面,主要致力于在公众参与者及政府环境规制下,如何推动企业进行绿色技术创新,解决企业生产过程中如何利用技术手段及创新路径进行无害化处理,发展循环经济,实现清洁生产(曹霞等, 2015)。三是对绿色全要素生产效率的研究,主要从经济学视角,对制造业(殷宝庆, 2012)、工业(吴英姿等, 2013)、农业(李谷成, 2014)的绿色生产效率进行研究,由简单的以参数、非参数为主要研究方法的绿色全要素生产率测算研究逐渐向以空间计量模型为主要方法的影响机理过渡(汪峰等, 2015; 王兵等, 2015)。通过上述梳理可以发现,目前大多数研究都是从经济学领域对绿色经济效率、绿色全要素生产效率进行评价,着重于对研究方法的阐述及计量模型的运用,造成“重模型轻分析”的弊端,缺少地理学视角下对绿色生产效率进行区域宏观层

面上定性与定量结合的区域差异及时空格局研究。为此,本文从“过程+格局”视角,结合数据包络分析法、探索性空间数据分析技术,对中国 30 个省(市、区)的绿色生产效率进行区域差异及时空格局研究,以揭示中国绿色生产效率的差异及空间分异格局的演变特征,以期探讨中国目前绿色生产效率现状和特征,实现生产方式绿色化、生态文明建设及经济的转型提供参考和借鉴。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

本文以利用熵值法确定的能源消耗指数以及综合污染物指数作为投入要素,运用数据包络分析方法计算得出各省份的绿色生产效率,并结合基尼系数揭示中国绿色生产效率的相对差异程度,探究绿色生产效率的时间演变特征。借助 Geoda、ArcGIS 软件,运用探索性空间数据分析方法对绿色生产效率进行空间格局的可视化表达,揭示绿色生产效率空间格局的演变。

2.1.1 熵值法

为准确度量各地区生产过程中环境污染及资源消耗的程度,考虑到污染物排放以及资源消耗的多样性,因此选取熵值法客观地确定各指标权重,从而得出综合污染指数及资源消耗指数。具体过程如下:

为避免数据的冗杂,运用极差标准化方法对数据进行标准化处理,,公式为:

$$u_i = (x_i - \beta_i) / (\alpha_i - \beta_i) \quad (1)$$

$$u_i = (\alpha_i - x_i) / (\alpha_i - \beta_i) \quad (2)$$

式中: u_i 代表标准化值; x_i 代表原始指标; α_i 为指标最大值; β_i 为指标最小值。

利用标准化值计算指标比重 s_i :

$$s_i = \frac{u_i}{\sum_{i=1}^n u_i} \quad (3)$$

计算指标熵值 h_i :

$$h_i = -\sum_{i=1}^n s_i \ln(s_i) \quad (4)$$

将熵值标准化:

$$a_i = \frac{\max h_i}{h_i} \quad (a_i \geq 1, i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

计算指标权重 w_i :

$$w_i = a_i / \sum_{i=1}^n a_i \quad (6)$$

2.1.2 变异系数

变异系数是测度数据差异的常用方法,用来衡量中国绿色生产效率的相对差异程度,公式为:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (7)$$

式中: V 是变异系数; σ 是绿色生产效率的标准差; \bar{x} 是绿色生产效率平均值。

2.1.3 超效率数据包络分析法(SE-DEA)

在测度决策单元(DMU)的效率方面,数据包络分析法(DEA)已被证实是一种相对有效的工具,其形式类似于传统的DEA模型(徐成龙等, 2014),它是在DEA模型基础上,针对有效决策单元效率值的比较问题而提出的,有助于了解连续时间段内决策单元的动态效率变化情况,其表达式如下:

$$\begin{cases} \min \theta \\ \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j=1, 2, 3, \dots, n \\ S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: X_j 为相关决策单元的输入变量; Y_j 为相关决策单元的输出变量; S^- 和 S^+ 为松弛变量,分别表示投入产出指标的调整量; λ_j 为计算权重系数; X_0 、 Y_0 分别代表地区的投入和产出总量; n 为决策单元数; θ 为DMU₀的效率值,是对各省份绿色生产能力、绿色生产效率多方面能力的综合衡量与评价。 $0 < \theta \leq 1$,若 $\theta = 1$,则为综合技术效率有效,否则为无效。

2.1.4 探索性空间数据分析

探索性空间数据分析(Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA)是有效地检验区域内单元是否具有空间依赖性或空间异质性的方法。采用Moran's I (Global Moran's I , GMI)指数测度空间关联的结构模式,反映全局空间关联特征。

$$I = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (X_k - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n W_{kj}} \quad (9)$$

式中: X_k 和 X_j 为区域属性值, \bar{X} 为均值, W_{kj} 为空间权重矩阵, S^2 为样本方差, k, j 表示各个省(市区)。Moran's I 值介于-1和1之间,大于0表示存在空间上的正相关;小于0表示负相关。另外需要采用 Z 值对Moran's I 对统计结果进行检验:

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{Var}(I)}} \quad (10)$$

式中: Z 为检验统计量; $E(I)$ 为期望; $\text{Var}(I)$ 为方差。

2.2 指标选取与数据来源

对中国绿色生产效率进行度量,不仅要准确衡量生产效率,还要体现生产过程中的“绿色”属性。不仅要投入产出角度考虑投入要素在生产过程中的利用率,还要加入绿色化的理念,充分考虑资源消耗及环境污染。

本文将中国30个省(市、区)看作决策单元(DMU)(不含中国香港、澳门、台湾和西藏等4个省区)。以投入—产出理论为基础,考虑绿色生产率不同于以绿色GDP为产出指标的绿色经济效率,因此,以经济效益为产出指标;在投入指标中,选取就业人数代表人力投入,资本存量代表财力投入,选取耕地面积、生产用水、能源消耗指数代表物力的投入;此外,考虑到生产过程中由于废弃物排放的不经济性对生态环境造成的价值亏损,因此将综合污染物指数作为投入要素纳入评价体系内。所用的数据主要来自2006-2015年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国城市统计年鉴》。

其中,在对能源消耗指数进行熵值法计算时,充分考虑三大能源,煤炭、石油、天然气的消费量;综合污染指数是对工业废气排放量、工业废水排放量、工业固体废物产生量3个指标运用熵值法的综合计算;生产用水为工业生产用水和农业生产用水的加总;而资本存量是在参考张军等(2004)研究基础上,采用永续盘存法计算资本存量,公式为:

$$k_t = (1 - \delta)k_{t-1} + I_t \quad (11)$$

式中: k_t 为 t 期的资本存量; I_t 为 t 期的投资,以固定资本总额替代; k_{t-1} 为 $t-1$ 期的资本存量; δ 为资本的折旧率。

3 中国绿色生产效率的时序演变与区域差异

3.1 中国绿色生产效率的时序演变特征

通过EMS 1.3软件对投入产出的指标进行处理,得出了2005-2014年中国30个省(市、区)的绿色生产效率值,并借助变异系数反映各省份之间绿色生产效率的差异程度,绘制出全国绿色生产效率的变化趋势图(图1),结果发现:① 2005-2014年中国

绿色生产效率整体呈上升态势,从2005年的0.533上升到2014年的0.733,但增长幅度较为缓慢。其根本原因是长期以来采用粗放型的增长模式,资源匮乏,环境恶化成为绿色生产效率提高的主要瓶颈。②根据曲线变化特征,将近10年中国绿色生产效率分为3个阶段:第一阶段(2005-2008年),绿色生产效率处于稳步上升阶段,该阶段伴随着世界贸易大门的打开,国际间的贸易合作逐步加深,在刺激中国经济增长的同时,也带来了技术上的革新,这种由信息技术溢出带来技术上的进步提高了生产过程中资源利用的效率,使得绿色生产效率得以稳步提升。第二阶段(2007-2011年),绿色生产效率处于缓慢上升阶段,该阶段中国面临金融危机和技术壁垒的冲击,使得依靠资本、资源的经济增长速度放缓的同时在一定程度上限制了技术的溢出效应,技术进步对资源利用率提升作用相对减缓;伴随着中国工业化的进程,第二产业的主体地位逐渐突出,使财富积累过程中对环境造成破坏的程度加深,降低了绿色生产效率。第三阶段(2012-2014年),绿色生产效率处于逐步提升阶段,该阶段在国际贸易的绿色壁垒以及国内环境恶化、资源约束趋紧的冲击下,以及“倒逼机制”的推动下,通过对经济增长方式进行深刻反思,提出了“五化”协同发展,由以往单纯追求经济增长的发展理念转变为经济、政治、文化、社会、生态文明建设“五位一体”的协调发展,绿色生产效率得以稳步提升。③绿色生产效率变异系数呈缓慢下降趋势,表明绿色生产效率的区域差异逐步缩小,经济落后的地区可通过生态补偿实现区域均衡化发展。总体来看,2005-2014年中国绿色生产效率从“大差距低水平”向“小差距高水平”演变。

3.2 区域视角下中国绿色生产效率分异

为进一步探究区域内部绿色生产效率的差异程度,分别计算2005-2014年中国四大地区(东北地

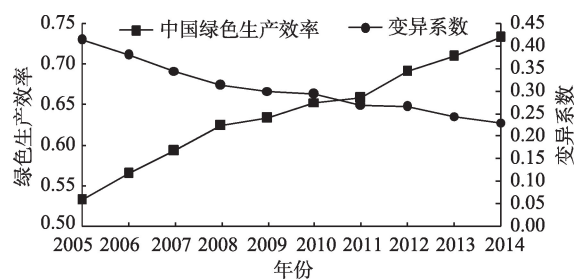


图1 2005-2014年中国绿色生产效率及变异系数

Fig.1 Green production efficiency and coefficient of variation in China, 2005-2014

区:辽宁、吉林、黑龙江;东部地区:北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南;中部地区:山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南;西部地区:内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆)。绿色生产效率的均值,结果显示:①绿色生产效率呈现东部地区>东北地区>中部地区>西部地区的时间分异特征。②东部地区与其他三个地区的绿色生产效率差距较大,但这种差距呈现逐年缩小的态势。③东北部地区与中、西部地区绿色生产效率差距逐渐缩小,且东北部地区与中部地区逐渐趋同(图2)。

上述变化表明,绿色生产效率与经济发展的水平存在一定的关联性。东部地区依靠自身的资源禀赋条件,多样的生态系统,具有较强的资源环境净化能力,并且随着对外开放、科技创新、信息技术溢出、第三产业迅速崛起并成为经济发展的主要支撑力量,对资源及环境的压力逐渐减少,因此多年来一直保持低速稳定增长,成为四大区域中绿色生产效率最高的地带;以高耗能、高污染的重工业为主的东北部地区,由于2003年国家实施的东部振兴战略,迎来经济的快速增长,绿色经济生产效率也处于快速增长时期,但随着工业化城镇化的调整与转型,资源型城市发展的资源枯竭问题逐渐凸显,以资源开发早、规模大为特征的东北部地区过早步入资源枯竭型城市,经济发展长期积累的结构性问题集中爆发、体制机制弱化、创新创业活力不足等诸多问题,导致发展的可持续性难度加大,因此绿色生产效率较东部地区偏低;中西部地区由于以内向型经济为主,受国际金融危机冲击相对较少,加上国家扩大内需和促进区域协调发展政策的推动作用,中西部地区较东部和东北地区经济增长速度

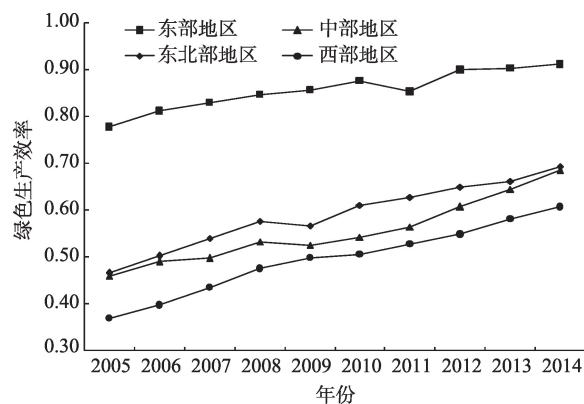


图2 2005-2014年中国四大区域绿色生产效率变化趋势图

Fig.2 Trend of green production efficiency in four regions of China, 2005-2014

较快。但由于中西部地区经济基础较薄弱,在政策驱动下引进的资本密集型重工业和制造业多为承接东部转移的落后产能,因而其在发展过程中不仅受到路径依赖的桎梏,还要消耗大量的资源,加之地区经济模式单一、市场机制不完善,因此效率水平始终低于东部和东北地区。

4 中国绿色生产效率的空间演变特征

4.1 中国绿色生产效率的分类特征

利用ArcGIS中的自然断裂分级法将中国30个

省(市、自治区)划分为高水平型、较高水平型、较低水平型、低水平型等四种类型,并选取2005、2008、2011、2014年为研究截面进行绿色生产效率空间格局演变分析(图3)。整体来看,绿色生产效率分布呈现东高西低“三级阶梯”空间格局特征。

具体来看,高水平型主要分布在以大中城市为核心的东部沿海地区,数量由2005年的4个(北京、上海、广东、海南)增加到2014年的9个(北京、上海、天津、广东、海南、福建、浙江、湖南、江苏),范围由东南沿海逐步扩展到东部沿海,由珠三角向长三角、京津冀延伸。这些地区在区位优势及政策优势

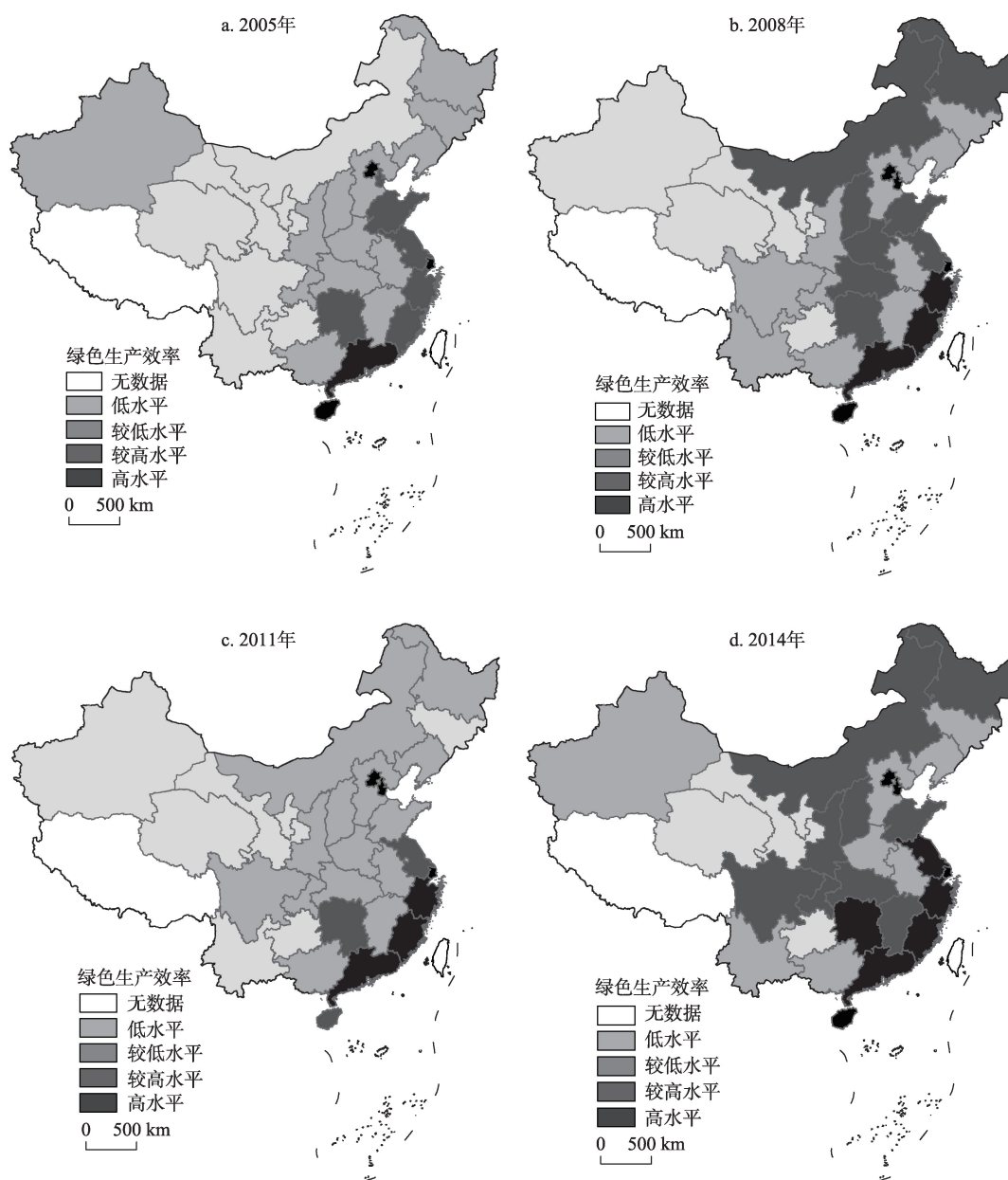


图3 中国绿色生产效率空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of green production efficiency in China

的双重推动下,实现集约型模式下经济高质量增长的同时,通过先进的技术优势在产业结构优化及环境治理方面取得了较大进步,基本完成了从劳动密集型产业向资本密集型、知识技术密集型的转化,对科技创新日益增长的需求逐渐取代了对资源环境的索取和依赖,受资源环境压力及劳动力成本等倒逼的影响,对绿色生产效率提出更高的要求。因此,该类省市今后应推动以企业为主体、市场为主导的创新驱动战略的实施,通过技术创新和智能制造建设智慧城市,开创绿色生产新时代。

较高水平型分布呈现由东部地区向中西部逐渐蔓延的趋势。2014年,包括重庆市、四川省、陕西省、内蒙古自治区4个西部省市,山西省、江西省、湖北省3个中部省份以及黑龙江省和山东省2个东部省份。大多为资源依赖型区域,处于工业化中期,产业为“二三一型”结构,以重工业为主体加之路径依赖下创新能力和产业活力的不足,科技及劳动力投入创造的财富难以补偿经济积累过程中对水、土地、能源等不可再生资源的索取;产业结构性的长期积累、体制机制改革的不到位,对第三产业的挤压,导致经济发展面临瓶颈。今后,一方面要加大生态建设,提高资源供给能力;因此,今后一方面要“去产能”,坚决淘汰落后产能,引导产能有序退出,推动产业结构绿色转型;另一方面要完善制度体制建设,严守生态红线,推动生态文明建设。

较低水平型主要分布在中西部地区,数量逐渐减少,从2005年13个省市(湖北、辽宁、河南、广西、重庆、吉林、陕西、黑龙江、江西、河北、安徽、山西、新疆)减少到2014年8个省区(包括吉林、辽宁、河北、河南、安徽、新疆、云南、广西)。这些省区大部分处于工业化中期阶段,受自身资源及区位条件的约束,加上较强的资源依赖性,以及高耗能、高污染制造业带来生产方式的不经济性,导致企业经济效益明显下降的同时造成生态系统脆弱化;体制性、机制性、结构性问题也愈加复杂。因此,未来对能源、水、土地等战略性资源设定合理消耗的“天花板”,根据自身比较优势及资源环境承载能力,培育具有特色的新型产业体系,尤其是节能环保的新兴产业。培育新动能、打造新引擎,加快经济增长方式和经济结构调整,强化投资对经济的带动作用。例如,近年来,陕西加快了产业结构的调整,非能源工业比重逐步高出能源工业,“煤”主浮沉和“油”主浮沉的经济结构改善,战略性新兴产业、文化产业投资态势良好,投资在经济增长中的作用越来越明

显,绿色生产效率由2005年的0.445增长至2014年的0.697。

低水平型主要分布在西部地区,且数量逐渐减少,从2005年7个(云南、甘肃、四川、青海、内蒙古、贵州、宁夏)减至2014年4个(包括贵州、甘肃、宁夏以及青海4个省区)。由于受自然因素及历史基础等的制约,大规模工业化起步晚,加之农业基础不稳,生产效率低下,人才流失严重及人才引进的困难,经济结构不合理,使得其绿色生产效率处于低水平。但随着西部崛起战略的实施,部分省区依靠其资源优势,生态补偿,通过发展第三产业拉动经济的增长,提高绿色生产效率,例如,内蒙古和云南逐渐由低水平型发展到较高水平型。因此,走西部特色的绿色经济发展道路才是西部崛起的正确选择。

4.2 绿色生产效率的空间关联特征

交通条件的改善,开放、共享程度的加深,技术溢出效应的存在都在一定程度上促进各地区的空间集聚性,为验证绿色生产效率是否存在空间关联的特征,对中国绿色生产效率进行了全局自相关研究。利用Geoda软件通过rook(queen)建立权重得到Moran's I 散点图(图4),探究4个年份中国绿色生产效率的空间集聚特征。图4中: $F3$ 代表2005年绿色经济效率的标准化, $WF3$ 代表其滞后值; $F6$ 、 $F9$ 、 $F12$ 分别代表2008、2011、2014年。结果表明,

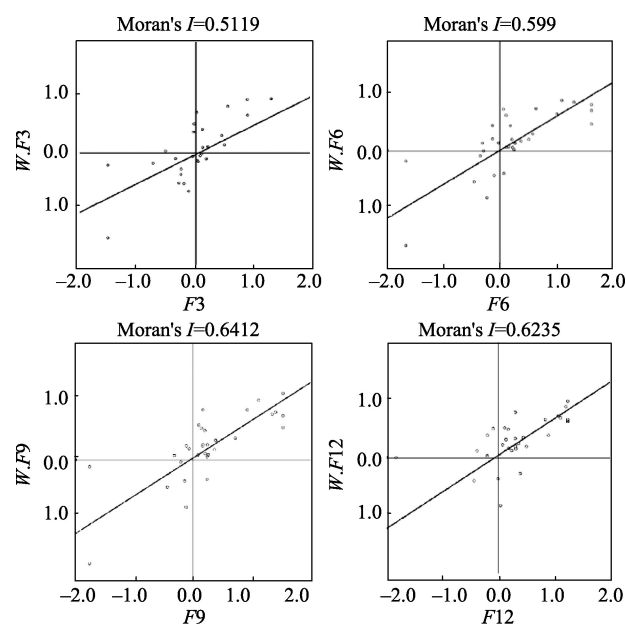


图4 中国绿色生产效率Moran's I 指数散点图

Fig.4 Moran's I index of green production efficiency in China

①4个年份全局 Moran's I 指数均为正,说明各省(市、区)绿色生产效率值在空间上存在正相关性,且 $Z(I)$ 值均 >1.96 ,表明结果在 0.01 水平上显著,说明统计结果可信,且空间是集聚的,具有明显的正向全局自相关性。② Moran's I 指数从 2005 年的 0.5199 上升到 2011 年的 0.6412,然后又降至 2014 年的 0.6235,表明这种空间的正向集聚态势先增强,随后又稍稍减弱。③落在第一象限的点数逐渐增多,第三象限的点数明显减少,说明高一高聚集效应加强而低一低聚集效应逐渐减弱。④散点图的分布由分散逐渐趋向集中,全国各省(市、区)绿色生产效率逐渐向均衡化方向发展。

5 结论与讨论

5.1 结论

通过以上分析,本文得出以下结论:

(1) 2005-2014 年,中国绿色生产效率总体呈上升趋势。但长期以来粗放型的经济增长模式下对资源制约和环境代价的忽视使得绿色生产效率增幅缓慢。

(2) 2005-2014 年中国绿色生产效率呈现:东部地区 $>$ 东北地区 $>$ 中部地区 $>$ 西部地区的空间分异特征;东部地区的绿色生产效率具有明显优势;东北部地区与中、西部地区绿色生产效率差距逐渐缩小。中国绿色生产效率的空间格局整体上呈现东高西低的“三级阶梯”特征。高水平型主要分布在东部沿海地区;较高水平型分布由东部地区向中西部逐渐蔓延的趋势;较低水平型和低水平型主要分布在中、西部地区,且数量逐渐减少。

(3) 中国各省(市、自治区)绿色生产效率值与相邻地区存在相似性,表现出一定的空间集聚特征,且集聚态势先增强,随后又稍稍减弱;落在第一象限的点数逐渐增多,第三现象的点数明显减少;散点图的分布由分散逐渐趋向集中,全国各省(市、自治区)绿色生产效率逐渐向均衡化方向发展。

5.2 讨论

提高绿色生产效率是实现中国生态文明建设和经济转型的重要途径。绿色生产效率的区域评价是从整体上考量经济发展质量、资源消耗和环境污染的重要手段。通过对本文的分析总结,我们发现:

(1) 绿色生产效率的考量是对传统生产方式单纯唯 GDP 和经济效率的挑战。改革开放以来,规模

报酬递增机制在经济发展中的作用得到加强,这种资本驱动下的粗放型经济增长方式使经济效率显著提升,中国经济以前所未有的速度在增长。但要素边际效用递减规律注定了这种经济发展方式的不可持续性,尤其是那些以资源环境为代价来发展经济的地区。长期以来因忽视资源消耗和环境保护所带来经济增长的质量问题,以及粗放型增长方式所带来经济效率的问题,使我们逐渐意识到传统的生产方式不仅无法实现经济的可持续增长,还直接影响到人们的生活质量。而绿色生产效率是生态文明建设和绿色化发展背景下,以资源环境的价值理论为基础,对经济发展方式、生产效率的重新考量,为解决过去经济增长的质量问题及经济效率的问题提供了可能性。

(2) 经济发展基础和差别化的资源环境区域政策是绿色生产效率区域差异的主要因素。绿色生产效率在空间上呈现东高西低“三级阶梯”的格局特征与中国的经济发展格局基本一致,绿色生产效率高的区域往往具有良好的经济基础,但经济基础好的区域则不一定都有较高的绿色生产效率,从这一方面看,经济发展基础可理解为绿色生产效率的必要不充分条件。而资源环境的区域政策是绿色生产效率的主要推动力,在环境恶化、资源约束趋紧的冲击下,对经济发展的方式进行了深刻反思,环境的“倒逼机制”,资源环境生态红线的管控,生态保护补偿机制、“大气十条”“水十条”“土十条”的相继发布及落实,使各区域绿色生产效率稳步增长,推动中国绿色生产效率向“小差距高水平”演变。

(3) 地学的“人地协调”理念和“过程+格局”思维为绿色生产效率的研究提供了一个新的视角。本文以“人地协调”理念为指导,建立了衡量绿色生产效率的投入—产出指标,对中国绿色生产效率的时间演变、区域差异、空间格局进行了系统分析,可诊断各省(市、区)绿色生产效率的时空格局差异性、原因和存在的突出问题,进而探讨中国绿色生产效率提升空间和潜力的路径指向,为推进中国绿色发展提供地域分工依据。

本文着重于绿色生产效率的“过程+格局”研究,对绿色生产效率的驱动机制和影响机理尚未涉及,在后续研究中,可以定性方法和定量手段相结合,继续开展绿色生产效率时空格局的影响机理研究,形成绿色生产效率“过程+格局+机理”的地理学研究范式。

参考文献(References)

- 曹霞, 张路蓬. 2015. 企业绿色技术创新扩散的演化博弈分析[J]. 中国人口·资源与环境, 25(7): 68-76. [Cao X, Zhang L P. 2015. Evolutionary game analysis of the diffusion of green technological innovation of enterprises[J]. China Population, Resources and Environment, 25(7): 68-76.]
- 郭庆旺, 贾俊雪. 2005. 中国全要素生产率的估算: 1979-2004[J]. 经济研究, (6): 51-60. [Guo Q W, Jia J X. 2005. Estimating total factor productivity in China[J]. Economic Research Journal, (6): 51-60.]
- 李春米, 魏玮. 2014. 中国西北地区环境规制对全要素生产率影响的实证研究[J]. 干旱区资源与环境, 28(2): 14-19. [Li C M, Wei W. 2014. Empirical study of environmental regulation in northwest China on TFP (total factor productivity)[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 28(2): 14-19.]
- 李谷成. 2014. 中国农业的绿色生产率革命: 1978-2008年[J]. 经济学(季刊), 13(2): 537-558. [Li G C. 2014. The green productivity revolution of agriculture in China from 1978 to 2008[J]. China Economic Quarterly, 13(2): 537-558.]
- 李江苏, 王晓蕊, 苗长虹. 2017. 基于两种DEA模型的资源型城市发展效率评价比较[J]. 经济地理, 37(4): 99-106. [Li J S, Wang X R, Miao C H. 2017. Comparison of development efficiency evaluation in resource-based cities based on DEA model[J]. Economic Geography, 37(4): 99-106.]
- 陆大道. 2015. 中速增长: 中国经济的可持续发展[J]. 地理科学, 35(10): 1207-1219. [Lu D D. 2015. Moderate-speed growth: Sustainable development of China's economy[J]. Scientia Geographica Sinica, 35(10): 1207-1219.]
- 聂玉立, 温湖炜. 2015. 中国地级以上城市绿色经济效率实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 25(S1): 409-413. [Nie Y L, Wen H W. 2015. Green economic efficiency of Chinese city at the level of municipality or above[J]. China Population, Resources and Environment, 25(S1): 409-413.]
- 钱争鸣, 刘晓晨. 2013. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 23(7): 104-109. [Qian Z M, Liu X C. 2013. Regional differences in China's green economic efficiency and their determinants[J]. China Population, Resources and Environment, 23(7): 104-109.]
- 任宇飞, 方创琳. 2017. 京津冀城市群县域尺度生态效率评价及空间格局分析[J]. 地理科学进展, 36(1): 87-98. [Ren Y F, Fang C L. 2017. Spatial pattern and evaluation of eco-efficiency in counties of the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration[J]. Progress in Geography, 36(1): 87-98.]
- 宋长青, 李子伦, 马方. 2013. 中国经济增长效率的地区差异及收敛分析[J]. 城市问题, (6): 46-51. [Song C Q, Li Z L, Ma F. 2013. Zhongguo jingji zengzhang xiaolv de diqu chayi ji shoulian fenxi[J]. Urban Problems, (6): 46-51.]
- 汪锋, 解晋. 2015. 中国分省绿色全要素生产率增长率研究[J]. 中国人口科学, (2): 53-62, 127. [Wang F, Xie J. 2015. Research on provincial green total factor productivity growth rate in China[J]. Chinese Journal of Population Science, (2): 53-62, 127.]
- 王兵, 刘光天. 2015. 节能减排与中国绿色经济增长: 基于全要素生产率的视角[J]. 中国工业经济, (5): 57-69. [Wang B, Liu G T. 2015. Energy conservation and emission reduction and China's green economic growth: Based on a total factor productivity perspective[J]. China Industrial Economics, (5): 57-69.]
- 王军, 耿建. 2014. 中国绿色经济效率的测算及实证分析[J]. 经济问题, (4): 52-55. [Wang J, Geng J. 2014. Analysis and empirical study on China green economic efficiency[J]. On Economic Problems, (4): 52-55.]
- 王文刚, 李汝资, 宋玉祥, 等. 2012. 吉林省区域农地生产效率及其变动特征研究[J]. 地理科学, 32(2): 225-231. [Wang W G, Li R Z, Song Y X, et al. The various components of agricultural land production efficiency in Jilin Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 32(2): 225-231.]
- 王晓云, 魏琦, 胡贤辉. 2016. 我国城市绿色经济效率综合测度及时空分异: 基于DEA-BCC和Malmquist模型[J]. 生态经济, 32(3): 40-45. [Wang X Y, Wei Q, Hu X H. 2016. Comprehensive evaluation of cities' green economy efficiency and spatial and temporal differentiation in China: Based on the DEA-BCC and Malmquist model[J]. Ecological Economy, 32(3): 40-45.]
- 吴英姿, 闻岳春. 2013. 中国工业绿色生产率、减排绩效与减排成本[J]. 科研管理, 34(2): 105-111, 151. [Wu Y Z, Wen Y C. 2013. Green productivity, deduction performance, and abatement cost for the industry in China[J]. Science Research Management, 34(2): 105-111, 151.]
- 熊强, 郭贵成. 2013. 中国各省区城市工业用地生产效率差异研究[J]. 资源科学, 35(5): 910-917. [Xiong Q, Guo G C. 2013. Productive efficiency of regional urban industrial land in China[J]. Resources Science, 28(2): 14-19.]
- 徐成龙, 任建兰, 程钰. 2014. 山东省环境规制效率时空格局演变及影响因素[J]. 经济地理, 34(12): 35-40. [Xu C L, Ren J L, Chen Y. 2014. Influence factors and temporal-spatial evolution of environmental regulation efficiency in Shandong Province[J]. Economic Geography, 34(12): 35-40.]
- 许建伟, 许新宇, 陈兴鹏, 等. 2013. 基于DEA交叉模型的甘肃省城市效率评价[J]. 自然资源学报, 28(4): 618-624.

- [Xu J W, Xu X Y, Chen X P, et al. 2013. Evaluation on urban efficiencies of Gansu Province based on DEA-cross model[J]. *Journal of Natural Resources*, 28(4): 618-624.]
- 杨龙, 胡晓珍. 2010. 基于DEA的中国绿色经济效率地区差异与收敛分析[J]. *经济学家*, (2): 46-54. [Yang L, Hu X Z. 2010. Analysis on regional difference and convergence of the efficiency of China's green economy based on DEA[J]. *Economist*, (2): 46-54.]
- 殷宝庆. 2012. 环境规制与我国制造业绿色全要素生产率: 基于国际垂直专业化视角的实证[J]. *中国人口·资源与环境*, 22(12): 60-66. [Yin B Q. 2012. Environmental regulation and China's green total factor productivities: Based on the perspective of vertical specialization[J]. *China Population, Resources and Environment*, 22(12): 60-66.]
- 于婷婷, 宋玉祥, 浩飞龙, 等. 2016. 吉林省经济效率差异及空间格局演变[J]. *地理科学*, 36(7): 1066-1072. [Yu T T, Song Y X, Hao F L, et al. 2016. The inequality of economic efficiency and space pattern evolution in Jilin Province [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 36(7): 1066-1072.]
- 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 2004. 中国省际物质资本存量估算: 1952-2000[J]. *经济研究*, (10): 35-44. [Zhang J, Wu G Y, Zhang J P. 2004. The estimation of China's provincial capital stock: 1952-2000[J]. *Economic Research Journal*, (10): 35-42.]
- 周亮, 徐建刚, 张明斗, 等. 2013. 粮食增产背景下淮河流域农业生产效率时空变化分析[J]. *地理科学*, 33(12): 1476-1483. [Zhou L, Xu J G, Zhang M D, et al. 2013. Spatial-temporal variation of agriculture production efficiency under the background of grain production increase in the Huaihe River Basin[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 33(12): 1476-1483.]
- Ahmed E M. 2012. Green TFP intensity impact on sustainable East Asian productivity growth[J]. *Economic Analysis and Policy*, 42(1): 67-78.
- Cobb C W, Douglas P H. 1928. A theory of production[J]. *American Economic Review*, 18(1): 139-165.
- Solow R M. 1956. A contribution to the theory of economic growth[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1): 65-94.

Spatial differentiation and change of green production efficiency in China

MU Xueying, LIU Kai, REN Jianlan*

(School of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Evaluating green production efficiency has become an important way to examine the feasibility of China's ecological civilization construction and economic transformation. Based on the concepts of coordinated human-environment development and process and pattern-oriented evaluation, this study established an input-output index for measuring green production efficiency. Using data envelopment analysis method, we measured the efficiency of green production of 30 Chinese provinces (municipalities and autonomous regions) between 2005 and 2014. Using entropy, Gini coefficient, exploratory spatial data analysis, combined with ArcGIS and Geoda software, we explored the divergence and spatiotemporal change of green production efficiency in China from 2005 to 2014. The results indicate that: (1) The efficiency of green production in China showed an upward trend in 2005-2014, shifting from large gap at an overall low level to small gap at an overall high level. (2) The efficiency of green production in the four main regions of China during the 10 years showed the following spatial characteristics: the efficiency of green production in the eastern region > Northeast region > central region > western region. (3) The efficiency of green production in China presented a "three steps" spatial pattern, that is, high in the east and low in the west. (4) The green production efficiency value of each province (municipality, autonomous region) was similar to that of the neighboring areas, and showed certain spatial agglomeration characteristics. (5) The basis of economic development and differentiation in resources, environment, and regional policies are the main factors influencing regional differences in green production efficiency.

Key words: green production efficiency; spatial differentiation; spatiotemporal pattern; data envelopment analysis (DEA); China