



辛龙,孙慧,王慧,等.基于地理探测器的绿色经济效率时空分异及驱动力研究[J].中国人口·资源与环境,2020,30(9):128-138.
[XIN Long, SUN Hui, WANG Hui, et al. Research on the spatial-temporal differentiation and driving force of green economic efficiency based on the geographic detector model[J]. China population, resources and environment, 2020, 30(9): 128-138.]

基于地理探测器的绿色经济效率 时空分异及驱动力研究

辛 龙^{1,2} 孙 慧^{1,2} 王 慧^{1,2} 肖涵月^{1,2}

(1. 新疆大学新疆创新管理研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830046;

2. 新疆大学经济与管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要 绿色经济效率(GEE)提升是经济绿色、高质量发展的“助推剂”。该研究基于 Undesirable-SBM 模型测度 2007—2017 年我国大陆 30 个省份的 GEE,利用空间自相关及冷热点分析法,探究 GEE 的时空演变特征,运用地理探测器模型进一步揭示其驱动力的空间异质性。结果表明:①GEE 呈“U 形尾波”的阶段性特征,整体上由“小差距高效率”向“大差距低效率”动态演进,区域间形成“东—中—西”阶梯式递减的分异格局,“分化”与“极化”现象日益加剧。②GEE 存在显著的“倒 U 型”空间关联性,总体呈“东热西冷”的空间分异特征,“极化—涓滴”效应有所凸显。其中,GEE 热点区范围逐渐扩大,呈现零星面状分布向沿海带状蔓延的演进格局,次冷点区范围有所缩小,而次热点区和冷点区变化微弱,空间格局基本稳定。③GEE 提升的驱动力全局差异不突出,但局域尺度差异显著。东、中、西部 GEE 提升的核心驱动力分别是:东部为政府干预、对外开放水平和技术创新水平;中部为能源强度、教育投入和市场化水平;西部为资本、能源强度、城市规模、教育投入、技术创新水平、环境规制和互联网普及率。基于此,东、中、西部要因势而谋、因地制宜。东部需激活技术密集型地区的“长板优势”,发挥科技创新的“滚雪球效应”;中西部需挖掘资源禀赋,推进新能源发展,加大科技研发投入,优化配置教育资源;同时,要推进整体信息化建设,强化网络引领。

关键词 绿色经济效率;时空格局;驱动力;异质性;地理探测器模型

中图分类号 F062.1 文献标识码 A 文章编号 1002-2104(2020)09-0128-11 DOI:10.12062/cpre.20200305

改革开放以来,高速的经济发展导致资源匮乏及环境污染,资源环境的制约日益增强^[1]。党的十九大报告中 15 次提及“绿色”,4 次提及“绿色发展”,强调“绿水青山就是金山银山”“大力推进生态文明建设”“坚定不移贯彻绿色发展”等理念,体现了国家对环境问题的高度重视。面对经济发展的新常态,“绿色”导向的经济转变方式,是经济由高速增长向高质量发展的“助推器”。然而,我国地区经济发展差异显著,资源利用程度迥异,环境污染不同程度地加剧,各地区在发展经济的同时均难以兼顾资源配置与环境保护,经济—资源环境的矛盾与日俱增,这既对把握区域绿色经济效率时空变化特征、剖析非均质条件下区域差异状况有新的挑战,也对优化资源配置、提升经

济绿色效率,促进经济绿色发展提出了更高要求。绿色经济效率(GEE)是考虑资源和环境代价后的综合经济效率,自 2011 年联合国发布报告进一步深化绿色经济内涵后^[2],绿色经济效率开始受到学界的关注。“绿色经济”最早由 David^[3]在 1989 年著作《绿色经济蓝图》中首次提出,绿色经济效率是绿色经济发展水平的反映,值越大表明绿色经济发展程度越好^[4],因而绿色经济效率是绿色经济发展的“关键脉搏”。基于此,为提升绿色经济效率的发展空间,厘清绿色经济效率的驱动力,探究新时代经济高质量发展路径,采用 2007—2017 年我国大陆 30 个省份的面板数据,基于空间异质性视角,运用 Undesirable-SBM 模型、空间自相关及冷热点分析法综合测算我国大陆各省

收稿日期:2019-12-19 修回日期:2020-03-26

作者简介:辛龙,博士生,主要研究方向为资源与环境经济。E-mail:19990819661@163.com。

通信作者:孙慧,博士,教授,博导,主要研究方向为资源与环境经济。E-mail:shuixju@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金项目“新疆资源型产业污染集聚、损益偏离与包容性绿色增长”(批准号:71963030);新疆社科基金项目“新疆培育旅游支柱产业对策研究”(批准号:18BJY035);新疆高校科研计划项目“新疆绿色低碳循环发展创新团队”(批准号:XJEDU2017T003);新疆自然科学基金项目“碳排放约束下新疆工业经济绩效及低碳转型路径研究”(批准号:2017D01C071)。

域及三大区域的绿色经济效率,探究其时空演变特征,并运用地理探测器模型揭示其驱动力的空间异质性,为促进“经济-环境”协同发展,制定有针对性、差异化的区域绿色经济绿色发展对策提供科学的理论依据与实践指导。

1 文献综述

现有相关研究主要集中在三个方面:①绿色经济效率测度上,LUUK 等^[5]采用可持续窗口模型测度老挝的绿色经济增长水平;TAO 等^[6]以碳排放作为非期望产出,运用不可分离投入产出 SBM 模型测算了 1995—2012 年中国省级绿色经济效率;钱龙^[7]采用 VRS-DEA 模型对我国 285 个地级市的绿色效率和经济效率分别进行测度,再将其耦合合成绿色经济效率后进行实证分析;叶仁道等^[8]尝试提出偏正态面板数据模型测度我国绿色经济效率;郝国彩等^[9]利用超效率 SBM 模型测算长江经济带城市绿色经济绩效;张文博等^[10]运用 Undesirable-SBM 模型对“一带一路”沿线城市绿色经济效率进行测度并分析其影响因素;林晓等^[11]通过对辽宁省 14 个城市绿色经济效率的测度发现其空间格局呈“山脊状”特征。②绿色经济效率的影响因素研究,主要探究财政分权^[12]、资源利用^[13]、经济集聚^[1]、环境规制^[14]、新型城镇化^[15]、高技术产业集聚^[16]、产业集聚^[17]、制造业价值链攀升^[18]等因素对绿色经济效率的差异化影响。③绿色经济效率的收敛性方面,钱争鸣等^[19]认为各省区绿色经济效率呈动态的“倒 U 型”演变态势,并具有条件 β 收敛性。

地理探测器模型 (Geographical Detector Model) 由王劲峰等^[20]于 2017 年首次提出,这种新型的空间分析模型最初应用在探索地方性疾病风险及其影响因素的研究中,近几年被广泛运用于自然和社会现象的多因子影响交互作用研究中,如土地开发与利用方面^[21-22]、自然资源与生态景观评价方面^[23-25]、环境污染方面^[26-27]、旅游行为及空间特征方面^[28-29]、公共医疗方面^[30-31]以及城镇扩张^[32]和资源集聚^[33]等。与传统方法相比,该模型具有三个优势:①从异质性视角下探究影响因子的空间分异特征;②对多重共线性免疫,并能较好地避免自变量和因变量互为因果的内生性问题^[20];③不仅能探测定量因子,也能对多种类型的定性驱动因子进行识别分析。

综上所述,已有研究多采用传统计量方法测度绿色经济效率并探讨其影响因素的线性关系,鲜有对绿色经济效率与驱动力间可能的非线性关系进行探究,国内学者利用地理探测器模型探究绿色经济效率驱动力的研究也相对匮乏。随着空间交互日益频繁,新型地理统计学开始将经济等因素的空间效应纳入分析模型,更能客观真实地反映绿色经济效率驱动力的区域差异性。

2 研究方法与数据来源

2.1 Undesirable-SBM 模型

数据包络分析 (DEA) 是基于决策单元测度“投入-产出”效率的非参数估计方法^[34]。传统的 DEA 模型 (BCC 和 CCR 模型) 未考虑松弛性问题,结果无法准确计算包含非期望产出的效率值。为此,学者提出了基于松弛的非径向 SBM 模型^[35],但绿色经济效率不仅仅要考虑资源的投入和效益的产生,更要将环境代价纳入研究过程中,才能科学有效地测算“绿色”经济效率值。因此,本研究采用 Tone^[36]提出的 Undesirable-SBM 模型,将环境污染等非期望产出纳入研究模型,客观科学地测算 2007—2017 年全国及各地区的绿色经济效率。

模型构建如下:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left[\sum_{r=1}^{s_1} \frac{S_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{S_r^b}{y_{r0}^b} \right]}$$

$$s. t. \begin{cases} x_0 = X\lambda + s^- \\ y_0^g = Y^g\lambda - s^g \\ y_0^b = Y^b\lambda + s^b \\ s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中: ρ^* 代表绿色经济效率; s^- 、 s^g 和 s^b 分别表示投入、期望产出和非期望产出的松弛量; m 、 s_1 和 s_2 分别是投入、期望产出和非期望产出指标个数; x 、 y^g 和 y^b 分别是投入、期望产出和非期望产出值; λ 为权重向量。目标函数 ρ^* 是关于 s^- 、 s^g 和 s^b 严格单调递减,且 $0 \leq \rho^* \leq 1$ 。当 $\rho^* = 1$,即 $s^- = 0$, $s^g = 0$, $s^b = 0$ 时,决策单元完全有效;若 $\rho^* < 1$,说明决策单元存在效率损失,投入产出需要进一步优化。

2.2 空间自相关

采用全局自相关分析绿色经济效率在全域尺度上的空间关联性,常用全局 Moran's I 指数反映,其公式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

式(2)中: n 为样本数量, X_i 为观测数据, W_{ij} 为邻接权重矩阵。当 Moran's I > 0 为正空间自相关,说明绿色经济效率高或低的区域在空间上呈集聚分布;当 Moran's I < 0 为负空间自相关,表示相邻区域之间绿色经济效率存在明显空间差异;当 Moran's I $= 0$ 表示无相关性,呈随机分布。

2.3 冷热点分析法

冷热点分析法用于辨识不同空间位置上的高值区和低值区,即探究绿色经济效率的热点区和冷点区的空间分

布特征。其公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} X_i X_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_i X_j} \quad (3)$$

为便于阐述,对其进行标准化处理:

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{Var}(G_i^*)}} \quad (4)$$

式中: W_{ij} 是空间权重矩阵, X_i 、 X_j 分别为区域 i 、 j 的观测值, $E(G_i^*)$ 和 $\text{Var}(G_i^*)$ 分别为 G_i^* 的数学期望和变异系数。若 $Z(G_i^*)$ 显著为正值,说明该地区周围的价值较高,属于热点区;若 $Z(G_i^*)$ 显著为负值,说明该地区周围的价值较低,属于冷点区。

2.4 地理探测器模型

在绿色经济效率时空演变的驱动机制中,其驱动因子涉及多个方面,采用地理探测器模型能较为科学合理地探测其影响机理。绿色经济效率的驱动因子探测模型如下:

$$P_{D,G} = 1 - \frac{1}{\sigma_G^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \sigma_{D,i}^2 \quad (5)$$

式(5)中: $i = 1, \dots, m$ 是驱动因子的分层, $n_{D,i}$ 为层 i 上的个数, σ_G^2 和 $\sigma_{D,i}^2$ 分别是观测区域和层 i 的绿色经济效率的方差。 $P_{D,G}$ 的取值范围为 $[0, 1]$, $P_{D,G}$ 值越大,表明 D 因子对绿色经济效率的驱动作用越大,反之,则越小。

2.5 指标选取与数据来源

在指标选取上,基于绿色经济效率的内涵与模型设定,构建绿色经济效率的指标体系。①投入要素。根据新经济增长模型,劳动力和资本投入是最基本的生产要素,考虑到当前日益凸显的能源供给问题,同时能源消耗也是非期望产生的主要来源之一,因此,将劳动力、资本和能源作为投入要素。劳动力投入用年末就业总人数表示;资本投入用资本存量衡量,资本存量采用永续盘存法计算,借鉴张军等^[37]研究,折旧率取 9.6%;能源投入选取地区能源消费总量来衡量。②期望产出要素。绿色经济增长理论旨在追求经济效益的同时,尽可能的降低资源环境代

价,因此,将经济产出作为期望产出要素,用地区国内生产总值表示,并以 2007 年为基期的价格指数进行平减处理。

③非期望产出要素。非期望产出主要考虑社会经济发展中造成的环境污染,较为常用的非期望产出有工业“三废”的排放量、二氧化碳和二氧化硫排放量等,为避免要素过于单一而导致测算偏差,本文选取工业废气排放量、工业废水排放量和工业固体废物排放量作为非期望产出。

该研究以 2007—2017 年我国大陆地区各省市、自治区(因数据缺失,未计算西藏及港澳台地区)的平衡面板数据为实证样本。各指标数据具体源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》以及各省市、自治区统计年鉴。地理信息基础数据来源于国家地理信息中心 1:400 万数据库。

3 绿色经济效率时空演变格局

3.1 时序演变分析

基于 Undesirable-SBM 模型测算出 2007—2017 年中国省域绿色经济效率(见图 1)。结果表明,我国绿色经济效率总体呈先降低、再缓慢增长、后波动性发展趋势,区域差距逐步加大,表现出阶段性和区域性特征,整体上由“小差距高效率”向“大差距低效率”动态演进。

分阶段来看,逐步下降阶段(2007—2009 年),我国绿色经济效率值由 2007 年的 0.533 下降为 2009 年的 0.459,下降 16.12%;缓慢增长阶段(2009—2012 年),绿色经济效率缓慢提升,由 0.459 增长为 0.492,提升幅度为 7.19%;波动性发展阶段(2012—2017 年),绿色经济效率呈“M”型变化趋势,分别在 2014 年和 2016 年出现波峰,总体由 2013 年的 0.451 增加为 2017 年的 0.479,提升 6.21%。因此,我国省域绿色经济效率在时序上呈现出明显的阶段性特征。从区域性角度看,绿色经济效率均值呈现东部 > 全国 > 中部 > 西部,东部地区效率值持续稳定在全国水平之上,遥遥领先中西部地区,处于“领头羊”地位,其效率值先稳中有降,再大幅度提升,后趋于波动发

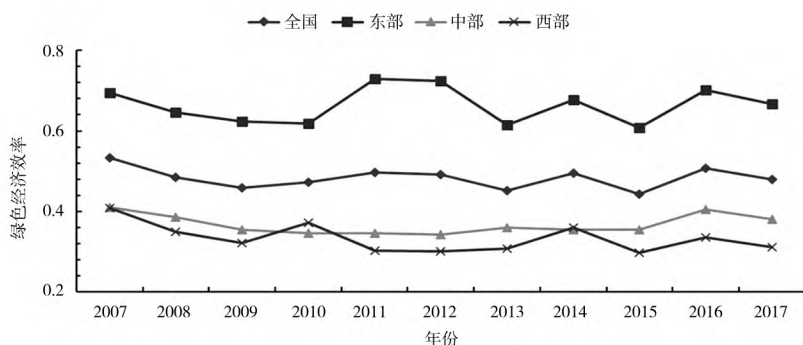


图 1 2007—2017 年我国绿色经济效率变化趋势

展,呈现“Ω”型发展态势,中部与全国水平存在一定差距,但总体发展平稳,西部整体处于劣势水平,但有个别年份赶上甚至超过中部地区。随着时间推移,东部与中部地区效率差值由0.285增高为0.296,增幅3.86%,区域间差异逐步扩大,中部与西部地区的效率差值由0.002增加到0.071,东部与西部地区的效率差值由0.287扩大到0.354,提升23.34%,区域间“分化”与“极化”现象日益加剧。

3.2 空间演变分析

3.2.1 空间分异特征

为进一步明晰各省域绿色经济效率的空间异质性,借助 ArcGIS10.3 对绿色经济效率分级并做可视化表达(见图2)。不同等级绿色经济效率的空间分布变化显著,总体呈“东-中-西”阶梯式递减的空间分异特征。2007—2017年间高效率区连片集中分布,形成辽-京-津-鲁-沪-粤-琼连片分布带,这类区域主要集中在东南沿海地区,以其得天独厚的区位和资源优势,在保证经济高质量发展的同时,通过技术创新及知识溢出,不断实现产业优化升级,从而减轻对资源环境的压力,绿色经济效率保持高水平态势。中等效率区空间范围逐渐缩小,由黑龙江和“苏-浙-闽”形成的“双核”型分布向以江浙为主的“单核”型分布演进。黑龙江对资源环境的依赖性较强,多以重工业为主,同时科技水平有限和创新活力不足,是制约当地绿色发展的重要原因,而江浙一带主要以轻工业为主,通过不断优化集群建设、推进落实“两化融合”政策,从而在兼顾质量和效益的前提下,实现绿色发展,使其绿色经济效率处于中等水平。低效率区空间格局基本稳定,主要分布在西北和中部地区,与高效率 and 中等效率地区形成“边缘-外围”态势。此类地区经济基础较东部地区相对薄弱,路径依赖下的产业结构和科技创新能力较

低,西北地区更受到自然因素及对外开放程度等的制约,在经济发展过程中对资源的需求更高,对环境的压力与日俱增,使得其绿色经济效率处于较低水平。

3.2.2 空间关联特征

为进一步厘清绿色经济效率的空间关联性,借助 GeoDa 软件,对 2007—2017 年我国绿色经济效率进行全局空间自相关分析(见表1)。结果表明,中国省域绿色经济效率的 Moran's I 指数均大于0,且总体上均通过了1%的显著性水平检验,说明绿色经济效率存在显著的空间自相关性。如图3所示,全国绿色经济效率总体呈空间集聚态势,两极分化特征显著。研究期内,绿色经济效率的空间依赖性呈现先增后减的“倒U型”趋势,且占据第一、三象限的样本点比重逐渐增大,各散点围绕拟合曲线的趋势越发显著,表现为绿色经济效率较高或较低的区域周围也集聚着绿色经济效率较高或较低的区域,致使空间异质性逐渐扩大,两极分化态势凸显。

基于上述宏观视角分析,仅能大体判断我国绿色经济效率的全域空间关联性特征,为进一步科学有效地分析局域尺度下绿色经济效率是否具有空间异质性,通过利用 G_i^* 指数描绘绿色经济效率冷热点演变趋势图(见图4)。由图4可知:绿色经济效率整体呈“东热西冷”的空间分布格局,热点区空间范围逐渐扩大,热点区从零星面状分布向沿海带状格局演进,由长江中下游地区趋于东南沿海区域,最终涵盖自环渤海至东南沿海的大部分省域。次热点区由东南沿海向东北及中部地区扩展,从连续分布转向断裂分散态势。冷点区主要分布在西部地区,空间格局较为稳定,次冷点区占据范围有所缩小,呈现先发散后收敛态势。绿色经济效率的时空分异特征更好地印证了“极化-涓滴”效应。初期,东部地区以其区位和资源双重优势的推动,绿色经济效率较高,而西部地区受到环境因素及人

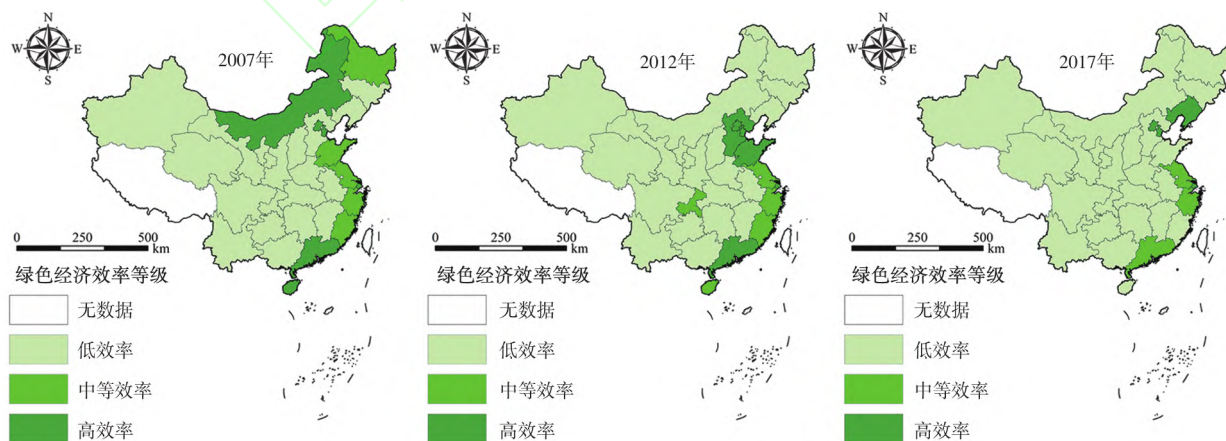


图2 我国绿色经济效率空间分布格局

注:根据国家测绘地理信息局标准地图(审图号:GS(2016)1569号)绘制而成,底图无修改。

才缺乏等条件的制约,绿色经济效率处于落后水平,东、西部地区极化效应日益加剧。随着时间推移,通过对口援建、西部大开发、精准扶贫等一系列国家战略的实施,西部地区人才引进初见成效,科技创新活力不断提升,经济发展水平日益提高,致使次冷点区逐渐向次热点区转变,西部地区绿色经济效率有所提升,涓滴效应渐渐凸显。

4 绿色经济效率驱动力解析

为进一步科学有效地厘清中国绿色经济效率时空分异格局的内在机理,有必要重点探究我国全域绿色经济效率产生异质性的主要驱动力以及不同时期、不同区域绿色经济效率驱动力的异同。

4.1 指标选取

我国绿色经济效率的时空演变是一个较为复杂的过程,受到多方因素如自然、经济、政策、教育、创新能力、交通可达性等的综合作用。通过文献梳理^[1,4,7,9-11],基于绿色经济增长理论以及新经济增长模型,主要考察经济发展水平(X_1)、产业结构(X_2)、城市化水平(X_3)、人力资本(X_4)、

能源强度(X_5)、政府干预(X_6)、城市规模(X_7)、教育投入(X_8)、对外开放水平(X_9)、技术创新水平(X_{10})、市场化水平(X_{11})、交通可达性(X_{12})、环境规制(X_{13})、信息基础设施(X_{14})、互联网普及率(X_{15})等 15 项探测因子,对我国绿色经济效率时空分异的驱动力进行定量分析(见表 2)。

4.2 全域视角下绿色经济效率驱动力探测

首先,运用自然断裂法对探测因子进行离散化和类别化处理(见图 5),再通过地理探测器模型测算各探测因子对我国绿色经济效率驱动能力的 $P_{D,c}$ 值(见表 3)。结果显示,各因子对我国的绿色经济效率都有一定的驱动作用,其核心驱动

表 1 2007—2017 年我国绿色经济效率的 Moran's I 指数

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012
全局	0.206	0.351	0.333	0.168	0.461	0.471
P 值	0.017	0.002	0.003	0.045	0.001	0.001
年份	2013	2014	2015	2016	2017	
全局	0.437	0.402	0.467	0.438	0.385	
P 值	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	

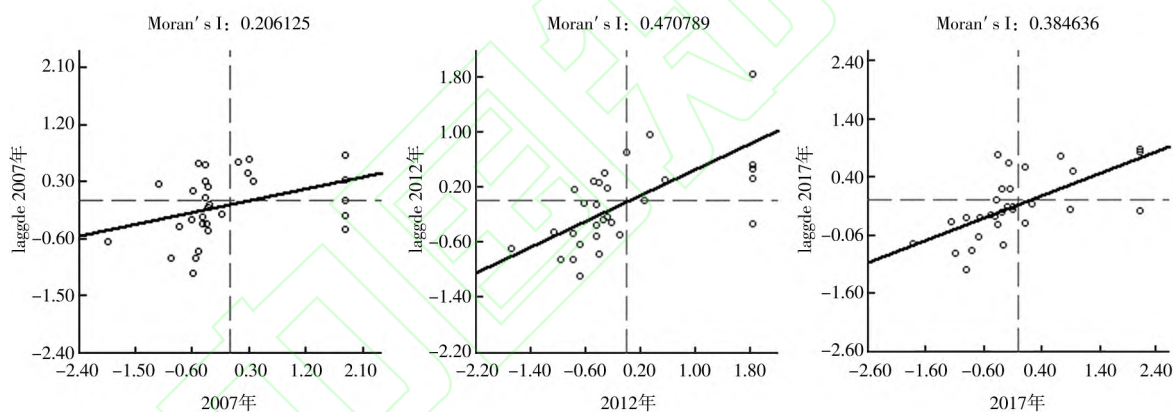


图 3 2007—2017 年我国绿色经济效率 Moran's I 散点图



图 4 我国绿色经济效率冷热点演变趋势

注:根据国家测绘地理信息局标准地图(审图号:GS(2016)1569 号)绘制而成,底图无修改。

力是城市化水平(0.612)、对外开放水平(0.552)、经济发展水平(0.530)、技术创新水平(0.363)、能源强度(0.312)、人力资本(0.295)和交通可达性(0.277)。

城市化水平对绿色经济效率有显著影响,说明随着城市化水平的不断提升,资源利用效率和垃圾处理能力进一步提高,环境污染现象得到明显改善,绿色经济效率有所增长。2017年城市化水平对绿色经济效率的影响(0.602)比2007年(0.612)有所减弱,可能是随着我国新型城镇化进程的不断加快,创建生态文明和资源节约型城市力度逐渐加大,经济发展与资源环境渐渐趋于协调,城市化水平对绿色经济效率的驱动作用有所放缓。

对外开放水平对绿色经济效率的驱动作用显著,“污染避难所假说”认为,由于世界各国有不同的环境规制,地区间污染密集型产业的比较优势会发生转变^[38],当环境规制较宽松时,外资易流入污染密集型产业,导致当地的资源环境压力增加,抑制了绿色经济效率的提升。2017年对外开放水平对绿色经济效率的影响(0.579)比2007年(0.552)有所增强,虽然对外投资前期会产生一定的环境代价,但随着国内产业优化和规模经济的发展,环境污染有所减少,且通过对外投资可以获得逆向知识溢出,大大提升国内技术创新能力,在发展经济的同时提高环保水平,推动绿色经济效率良性发展。

经济发展水平对绿色经济效率的影响不言而喻,它为

表2 绿色经济效率驱动力指标

代码	探测因子	具体含义
X_1	经济发展水平	人均GDP(以2007年为基期折算后的实际值)
X_2	产业结构	第三产业增加值/第二产业增加值
X_3	城市化水平	城镇人口占年末总人口比重
X_4	人力资本	每十万人中大学生人数
X_5	能源强度	年末能源消费总量占GDP总值比重
X_6	政府干预	一般性地方财政支出占GDP总值比重
X_7	城市规模	地区年末总人口数
X_8	教育投入	地区财政支出中教育支出占比
X_9	对外开放水平	当年直接利用外资金额
X_{10}	技术创新水平	研发支出R&D总金额
X_{11}	市场化水平	非国有企业员工占比
X_{12}	交通可达性	城市客运周转量
X_{13}	环境规制	环境污染治理投资额
X_{14}	信息基础设施	地区邮电业务总量
X_{15}	互联网普及率	国际互联网用户数

绿色经济效率的发展提供经济基础和物质保障。我国发展初期,主要通过消耗能源资源来带动经济快速增长,重视“金山银山”,忽视“绿水青山”的做法给环境造成极大负荷,导致绿色经济效率不高。随着国家一系列生态保护政策的出台和人民日益提高的环保意识,经济发展方式由高速增长型逐步向高质量集约型转变,因此2017年经济发展水平对绿色经济效率的影响(0.468)比2007年(0.530)有所降低。

技术创新水平对绿色经济效率有显著影响,说明技术创新是第一生产力,不仅为经济发展提供动力支持,还是解决资源环境问题的有力手段。2017年技术创新水平对绿色经济效率的影响(0.449)比2007年(0.363)有大幅度增强,随着国家科教强国战略的实施和对技术创新能力的高度重视,技术创新红利日益凸显,科技成果大量增加,这对绿色经济效率的提升发挥着决定性作用。

能源强度对绿色经济效率的驱动作用显著,大量的能源消耗将产生更多的“三废”,投入增加产生了更多非期望产出,降低了绿色经济效率。2017年能源强度对绿色经济效率的影响(0.392)比2007年(0.312)略微增强,说明随着能源革命的推进,能源结构逐渐优化,节能减排效应有所显现,更加促进经济转型,推动生态文明建设,进一步提高绿色经济效率。

人力资本对绿色经济效率有显著影响,人才队伍是科技创新的主要载体,通过技术溢出进而提高生产率和资源利用率,大大减轻对资源环境的压力;较高的人力资本有助于劳动者综合素质的提升,加强环保意识,勇担共建生态文明家园的社会责任。2017年人力资本对经济效率的影响(0.277)比2007年(0.295)略有减弱,说明可能随着国家的人才强国战略的实施和对教育工作的重视,高素质人才队伍日益壮大,国民整体素质渐渐提高,人力资本的驱动力度有所减缓,绿色经济效率逐渐趋于稳定态势。

交通可达性对绿色经济效率有显著影响,俗话说“要致富,先修路”,交通通达性对区域经济的发展具有重要意义,同时,交通建设也会对生态环境产生一定的破坏,从而进一步影响绿色经济的发展。2017年交通可达性对绿色经济效率的影响(0.405)比2007年(0.277)显著增强,说明由于我国高铁的开通、多种交通方式不断优化、提出绿色交通发展新理念等诸多因素的综合作用下,便捷、畅通的交通系统极大地影响着经济、政策、生态环境等多个方面,因此,交通可达性对绿色经济效率的影响日益加大。

4.3 局域视角下驱动力时空分异分析

虽然上述探测因子在全国尺度上对绿色经济效率有显著影响,但这些驱动力在不同区域上对绿色经济效率的驱动作用可能是有差异的。因此,采用地理探测器对中、东、

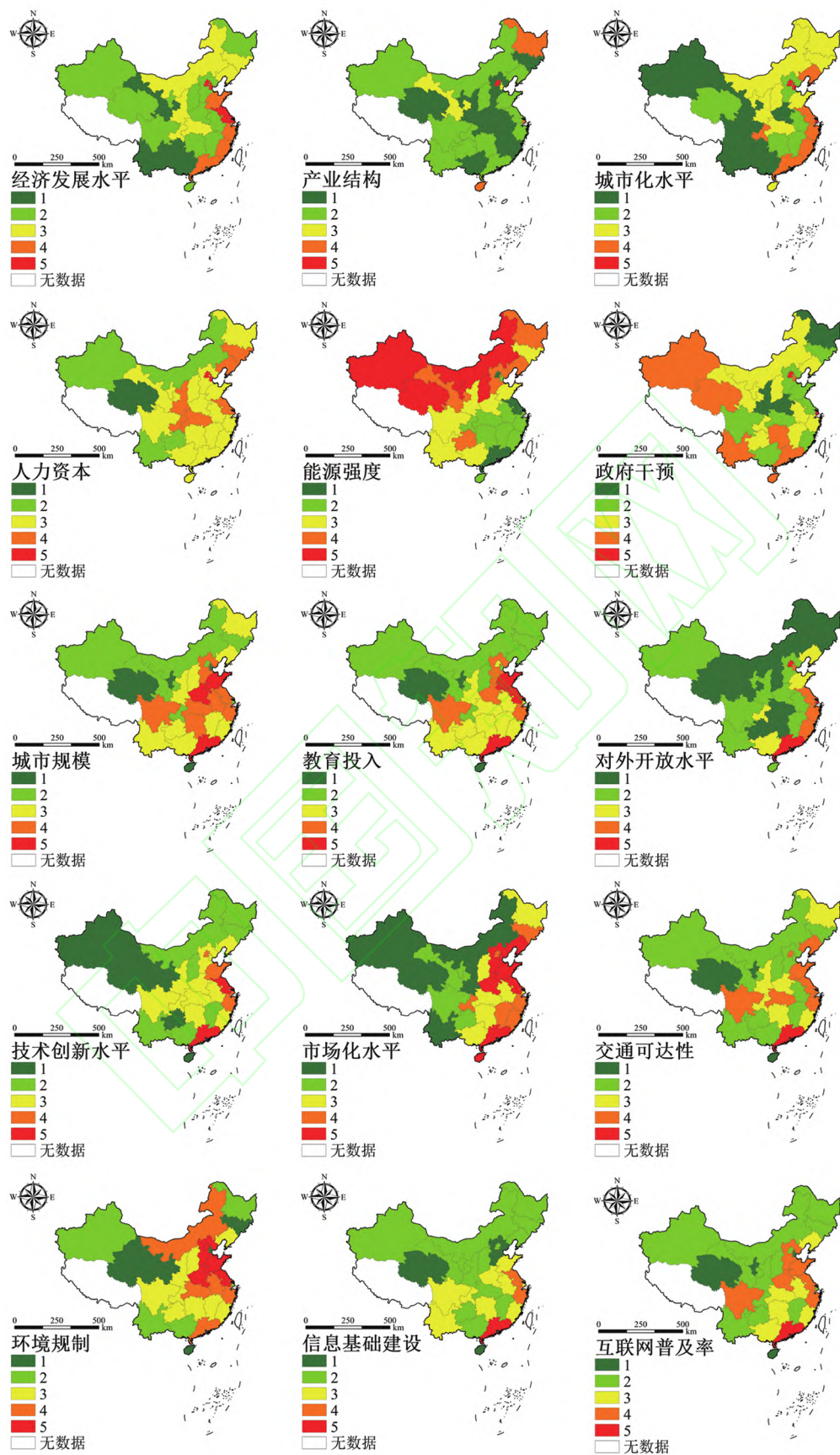


图 5 地理探测因子类别化空间分布

注:根据国家测绘地理信息局标准地图(审图号:GS(2016)1569 号)绘制而成,底图无修改。

西部地区分别进行探测,得出各因子在不同区域上的 $P_{D,C}$ 值(见表4),进一步揭示各因子对绿色经济效率驱动作用的时空异质性。

从东部地区来看,经济发展水平、产业结构、城市化水平、人力资本、能源强度和城市规模等因子对绿色经济效率的驱动作用有所减弱,说明东部地区因其区位和资源双重优势,致使经济发展水平较高,产业结构优化程度较好,新型城镇化进程较快,人才引进力度较强,人力资本优势更加显现,因此,这些因素并不是影响东部地区绿色经济发展的核心驱动力。而政府干预、对外开放水平和技术创新水平对绿色经济效率的影响显著增强,可能是东部地区虽具有较好的基础设施等硬件条件,但随着社会发展,“硬件”的提升终会遇到“天花板”,因此,采取加大政府扶持力度和提高技术创新水平等“软件”方面的举措,将更有利于绿色经济效率的提升。

从中部地区来看,能源强度与教育投入对绿色经济效率的影响显著增强,市场化水平的驱动作用略微减弱,其中,能源强度是中部地区绿色经济效率发展的主导因子。长期以来,中部地区存在能耗大、产值低的问题,由于其部分地区特有的资源优势,一些高耗能的产业逐渐集聚,致使中部地区能源强度不降反升。应通过加大教育投入,培养专业化人才和引进先进的知识和技术,从而提高能源

表3 2007—2017年全国探测因子 $P_{D,C}$ 结果

代码	探测因子	$P_{D,C}$		驱动作用
		2007	2017	
X_1	经济发展水平	0.530 ***	0.468 ***	↓
X_2	产业结构	0.173 ***	0.131 ***	↓
X_3	城市化水平	0.612 ***	0.602 ***	↓
X_4	人力资本	0.295 ***	0.277 ***	↓
X_5	能源强度	0.312 ***	0.392 ***	↑
X_6	政府干预	0.131 ***	0.085 **	↓
X_7	城市规模	0.144 ***	0.053 *	↓
X_8	教育投入	0.089 *	0.125 *	↑
X_9	对外开放水平	0.552 ***	0.579 ***	↑
X_{10}	技术创新水平	0.363 ***	0.449 ***	↑
X_{11}	市场化水平	0.080 **	0.241 ***	↑
X_{12}	交通可达性	0.277 ***	0.405 ***	↑
X_{13}	环境规制	0.128 ***	0.094 ***	↓
X_{14}	信息基础设施	0.088 **	0.130 ***	↑
X_{15}	互联网普及率	0.143 ***	0.114 ***	↓

注:***、**、* 分别表示变量在1%、5%、10%的水平上显著。

表4 2007—2017年区域探测因子 $P_{D,C}$ 结果

代码	探测因子	2007			2017		
		东部	中部	西部	东部	中部	西部
X_1	经济发展水平	0.402 ***	0.256	0.056	0.320 *** (↓)	0.155	0.131
X_2	产业结构	0.293 **	0.131	0.071	0.270 *** (↓)	0.191	0.053
X_3	城市化水平	0.499 ***	0.216	0.077	0.445 *** (↓)	0.053	0.175
X_4	人力资本	0.463 ***	0.127	0.038	0.199 ** (↓)	0.042	0.284 ** (↑)
X_5	能源强度	0.246 **	0.504 **	0.012	0.220 *** (↓)	0.851 *** (↑)	0.431 *** (↑)
X_6	政府干预	0.176	0.448	0.076	0.373 *** (↑)	0.059	0.118
X_7	城市规模	0.463 ***	0.190	0.073	0.212 ** (↓)	0.283	0.275 ** (↑)
X_8	教育投入	0.108	0.374	0.037	0.085	0.425 *** (↑)	0.258 *** (↑)
X_9	对外开放水平	0.316 ***	0.247	0.040	0.473 *** (↑)	0.141	0.139
X_{10}	技术创新水平	0.223 ***	0.124	0.012	0.378 *** (↑)	0.124	0.366 *** (↑)
X_{11}	市场化水平	0.047	0.465	0.011	0.018	0.420 * (↓)	0.298
X_{12}	交通可达性	0.226 **	0.051	0.030	0.255	0.089	0.201
X_{13}	环境规制	0.135	0.247	0.004	0.071	0.031	0.289 *** (↑)
X_{14}	信息基础设施	0.004	0.063	0.039	0.059	0.181	0.172
X_{15}	互联网普及率	0.132 *	0.336	0.003	0.141	0.073	0.314 *** (↑)

注:***、**、* 分别表示变量在1%、5%、10%的水平上显著。

利用率,降低能源强度。中部地区较高的市场化水平提高了资源配置效率,随着市场化竞争日益加剧,技术落后的企业逐渐被淘汰,绿色企业的发展体系不断优化,进而大大促进绿色经济效率的提高。

从西部地区来看,人力资本、能源强度、城市规模、教育投入、技术创新水平、环境规制和互联网普及率等因素对绿色经济效率的驱动力显著提升。毋庸置疑,西部地区的人力资本、教育投入和技术创新水平一直相对较低,随着“西部大开发”与对口援建等举措的实施,教育投入虽然有所增加,但西部地区的人才普遍存在着“孔雀东南飞”和“一江春水向东流”现象,高质量人才的流失将直接导致技术创新水平的落后。我国三大地区能源强度由西向东呈现明显的“梯度递减”格局^[39],西部地区因其煤炭、矿产等资源丰富,高能耗产业密集,但由于落后的技术水平导致生产率和能源利用率较低,能源强度成为制约当地绿色经济效率的核心驱动力。西部地区由于地域辽阔和自然气候恶劣等条件致使其城市规模和环境规制水平较低,较大的人口流动和较弱的环境污染治理力度严重阻碍绿色经济效率的提高。需要注意的是,以往相关研究并未考虑互联网对绿色经济效率的影响,相对中、东部地区而言,西部地区的互联网普及率还远远落后,随着“互联网+”时代的高速发展,不断释放的互联网创新溢出红利将带来更多的新型经济模式,因此,互联网普及率对西部地区的绿色经济发展至关重要。

5 结论、讨论及建议

5.1 结论及讨论

采用 Undesirable-SBM 模型、空间自相关、冷热点分析及地理探测器模型等方法,构建绿色经济效率评价体系,综合测算 2007—2017 年我国各省域绿色经济效率,在异质性视域下,探究我国绿色经济效率的时空演变格局及其驱动力,主要结论如下。

(1) 2007—2017 年我国绿色经济效率呈“先降低再增长后波动”的阶段性特征,整体上由“小差距高效率”向“大差距低效率”动态演进,区域间形成“东—中—西”阶梯式递减的分异格局,“分化”与“极化”现象日益加剧。

(2) 绿色经济效率存在显著的空间关联性,空间依赖程度呈“倒 U 型”发展态势,绿色经济效率热点区范围逐渐扩大,由零星面状分布向沿海带状格局演进,次冷点区范围有所缩小,次热点区和冷点区空间格局较为稳定,总体呈“东热西冷”的空间分异特征,“极化—涓滴”效应有所凸显。

(3) 在全域尺度上,探测因子驱动力差异不明显,影

响我国绿色经济效率的核心驱动力表现不突出。局域尺度探测的驱动力差异显著,影响三大地区的绿色经济效率发展的核心驱动因子是:东部为政府干预、对外开放水平和技术创新水平;中部为能源强度、教育投入和市场化水平;西部为人力资本、能源强度、城市规模、教育投入、技术创新水平、环境规制和互联网普及率。由此可知,绿色经济效率驱动力存在明显的空间异质性,因此,各区域要因因地制宜,规划科学合理的发展对策,缩小区域差异,实现区域协调发展。

通过对我国省域绿色经济效率的时空演变和影响机制进行分析,结合地区实际情况,对影响因素的时空异质性进行了解释。但在以下方面有待进一步深入:①研究尺度上,基于数据的可得性,本研究仅从省际尺度进行分析,可能忽略区内差异性,若对更小尺度进行探究,可能会有新的发现,因此,后续研究可在微观尺度上进行深入探索。②驱动因子选取方面,本文在文献梳理的基础上,主要从经济、社会、制度等方面考虑,但绿色经济效率往往受到诸多因素干扰,因此,在后续的研究中,应更加关注自然条件、历史文化、空间互动等多种因素。

5.2 政策建议

为促进实现“经济—环境”的双赢目标,根据以上结论,提出如下政策建议。

第一,挖掘中西部资源禀赋,推进新能源发展。研究结果表明,能源强度显著制约我国中西部地区绿色经济效率的提升,因此,利用中西部丰裕的光能风能资源优势,加强太阳能光伏电站建设,如完善新疆“西电东送”配套服务设施建设,大力发展新疆、甘肃等地的光伏产业,努力打造中西部清洁能源基地,推进中西部地区经济可持续发展。

第二,发挥东部科技创新的“滚雪球效应”,加大西部科技投入。研究表明,技术创新水平显著影响东西部地区绿色经济效率,因此,对于技术密集型的东部地区,要加强广东、浙江等科技创新的“长板优势”,提升自主创新能力,推动产业转型升级。对于西部地区,加大科研人才队伍建设、科技配套设施投入,根据优化调整的产业结构合理配置资源,促进高能耗、高污染产业的结构优化升级。其中,对于西北地区,可利用“一带一路”的区位优势和政策支持,加强西安、甘肃、新疆等区域协作。坚持“绿色发展”理念,促进技术驱动产业绿色转型升级,加强旅游业等服务业的“联动”效应,推进技术与产业融合发展。

第三,加大中西部财政支持,优化教育资源配置。研究结果显示,教育投入显著影响中西部地区的绿色经济效率,西部地区人才“引不来、留不住”问题突出。首先,提高财政投入水平,对新疆、甘肃、西藏等边陲地区加强对口

帮扶和支援力度;积极搭建平台、创新引入机制,加强“政产学研”合作,提升西部高校教育教学活力。其次,采取宏观调控手段,优化配置教育资源,进一步缩小区域、学校间的差距。优化中西部高等教育发展布局,依据中西部教育资源优势特色,科学设置水利、林业、高原冻土、民族艺术和旅游等支柱产业与特色学科,完善教育评价体系,引导西部高校合理定位、办出特色,促进多方联动的高层次人才作为绿色经济发展的重要推手。

第四,强化网络引领,推进信息化建设。研究结果表明,互联网普及率是影响绿色经济发展的重要因素,“5G时代”到来,孕育产生多种新兴业态,释放的巨大潜能为我国信息化发展提供了有利增长空间。同时,“东—中—西”经济基础和资源禀赋具有异质性,加强网络引领,利于推进区域化发展;加强网络与产业融合,用信息化手段推进产业转型升级,发挥“补短板、促平衡”效应,弥补教育、贫困等制约因素的不利影响,进而缩小区域差距,促进中西部地区实现“弯道超车”,提升区域经济绿色发展的动力。

(编辑:李 琪)

参考文献

- [1] 林伯强, 谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率[J]. 经济研究, 2019, 54(2): 119-132.
- [2] UNEP. Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty reduction [EB/OL]. 2011. <http://www.unep.org/greeneconomy/Home/test/tabid/29808.html>.
- [3] DAVID P, HE X J. 绿色经济的蓝图[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1996: 47-73.
- [4] 钱争鸣, 刘晓晨. 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, 2013, 23(7): 104-109.
- [5] LUUK J, KAIVO J. Green economic development in lao PDR: a sustainability window analysis of green growth productivity and the efficiency gap[J]. Journal of cleaner production, 2019 (3): 211-223.
- [6] TAO X P, WANG P. Provincial green economic efficiency of china: a non-separable input-output SBM approach [J]. Applied energy, 2016 (5): 161-171.
- [7] 钱龙. 中国城市绿色经济效率测度及影响因素的空间计量研究[J]. 经济问题探索, 2018 (8): 160-170.
- [8] 叶仁道, 张勇, 罗堃. 中国绿色经济效率的测算及影响因素——基于偏正态面板数据模型[J]. 技术经济, 2017, 36(11): 79-85.
- [9] 郝国彩, 徐银良, 张晓萌, 等. 长江经济带城市绿色经济绩效的溢出效应及其分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 75-83.
- [10] 张文博, 邓玲, 尹传斌. “一带一路”主要节点城市的绿色经济效率评价及影响因素分析[J]. 经济问题探索, 2017 (11): 84-90.
- [11] 林晓, 徐伟, 杨凡, 等. 东北老工业基地绿色经济效率的时空演变及影响机制——以辽宁省为例[J]. 经济地理, 2017, 37(5): 125-132.
- [12] 方杏村, 田淑英, 王晓玲. 财政分权、产业集聚与绿色经济效率——基于270个地级及以上城市面板数据的实证分析[J]. 经济问题探索, 2019 (11): 164-172.
- [13] JYRKI L, JARI K. Resource efficiency and green economic sustainability transition evaluation of green growth productivity gap and governance challenges in Cambodia [J]. Sustainable development, 2019, 27(3): 83-99.
- [14] 张英浩, 陈江龙, 程钰. 环境规制对中国区域绿色经济效率的影响机理研究——基于超效率模型和空间面板计量模型实证分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(11): 2407-2418.
- [15] 方齐云, 许文静. 新型城镇化建设对绿色经济效率影响的时空效应分析[J]. 经济问题探索, 2017 (10): 64-72.
- [16] 胡安军, 郭爱君, 钟方雷, 等. 高新技术产业集聚能够提高地区绿色经济效率吗? [J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(9): 93-101.
- [17] 张治栋, 秦淑悦. 产业集聚对城市绿色效率的影响——以长江经济带108个城市为例[J]. 城市问题, 2018 (7): 48-54.
- [18] 徐盈之, 顾沛. 制造业价值链攀升带来了绿色经济效率提升吗? [J]. 江苏社会科学, 2019 (4): 93-106, 258-259.
- [19] 钱争鸣, 刘晓晨. 我国绿色经济效率的区域差异及收敛性研究[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2014 (1): 110-118.
- [20] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- [21] 黄烈佳, 杨鹏. 长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1780-1790.
- [22] 梁鑫源, 李阳兵. 三峡库区规模农地时空变化特征及其驱动机制[J]. 地理学报, 2018, 73(9): 1630-1646.
- [23] PENG W F, KUANG T T. Quantifying influences of natural factors on vegetation ndvi changes based on geographical detector in Sichuan, Western China[J]. Journal of cleaner production, 2019 (6): 233-248.
- [24] 王正雄, 蒋勇军. 基于GIS与地理探测器的岩溶槽谷石漠化空间分布及驱动因素分析[J]. 地理学报, 2019, 74(5): 1025-1039.
- [25] 刘春艳, 张科, 刘吉平. 1976—2013年三江平原景观生态风险变化及驱动力[J]. 生态学报, 2018, 38(11): 3729-3740.
- [26] DING Y T, ZHANG M. Using the geographical detector technique to explore the impact of socioeconomic factors on pm2.5 concentrations in China[J]. Journal of cleaner production, 2019 (3): 211-216.
- [27] 杨智威, 陈颖彪, 吴志峰, 等. 粤港澳大湾区城市热岛空间格局及影响因子多元建模[J]. 资源科学, 2019, 41(6): 1154-1166.
- [28] 徐冬, 黄震方, 胡小海, 等. 浙江省县域旅游效率空间格局演变及其影响因素[J]. 经济地理, 2018, 38(5): 197-207.
- [29] 阮文奇, 郑向敏, 李勇泉, 等. 中国入境旅游的“胡焕庸线”空间分布特征及驱动机理研究[J]. 经济地理, 2018, 38(3): 181

- 189, 199.

- [30] 李瀚祺, 贾鹏, 费腾. 基于众源数据挖掘的中国饮食口味与慢性病的空间关联[J]. 地理学报, 2019, 74(8): 1637-1649.
- [31] 宋雪茜, 邓伟, 周鹏, 等. 两层级公共医疗资源空间均衡性及其影响机制——以分级诊疗改革为背景[J]. 地理学报, 2019, 74(6): 1178-1189.
- [32] 王莉红, 张军民. 基于地理探测器的绿洲城镇空间扩张驱动力分析——以新疆石河子市为例[J]. 地域研究与开发, 2019, 38(4): 68-74.
- [33] 郭庆宾, 许洪, 刘承良. 长江中游城市群资源集聚能力影响因素与形成机理[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 151-157.
- [34] CHANES A, COOPER W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European journal of operational research, 1978, 2(6): 429-444.
- [35] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European journal of operational research, 2001, 130(3): 498-509.
- [36] TONE K. Dealing with undesirable outputs in dea: a Slacks Based Measure (SBM) approach [R]. Grips Research Report Seires, 2003.
- [37] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. 经济研究, 2004(10): 35-44.
- [38] COPELAND B R, TAYLOR M S. North-south trade and the environment [J]. Quarterly journal of economics, 1994(3): 755-787.
- [39] 罗明, 范如国, 杨维国. 技术内生下的中国区域能源强度时空演化研究[J]. 经济问题探索, 2017(10): 166-176.

Research on the spatial-temporal differentiation and driving force of green economic efficiency based on the geographic detector model

XIN Long^{1,2} SUN Hui^{1,2} WANG Hui^{1,2} XIAO Han-yue^{1,2}

(1. Center for Innovation Management Research of Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830046, China;

2. School of Economics and Management of Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830046, China)

Abstract Green Economic Efficiency (GEE) improvement is a ‘booster’ for green and quality economic development. Based on the Undesirable-SBM model, the GEE of 30 provinces in mainland China from 2007 to 2017 have been measured. Using spatial autocorrelation and cold and hot spot analysis methods, the spatial and temporal evolution of GEE has explored. The geographic detector model is productively used to expose the spatial heterogeneity of its driving force. The results show that: ① GEE shows the phasic features of a ‘U-shaped tail wave’ from 2007 to 2017, and it changes from ‘low-range strong effect’ to ‘high-range weak effect’ dynamically, forming a regional differentiation pattern of ‘east-middle-west’ step-decreasing and intensifying the phenomenon of ‘polarization’ and ‘differentiation’. ② GEE has a significant ‘inverted U-shaped’ spatial correlation and general spatial differentiation pattern of ‘hot east and cold west’, and the ‘polarization-trickling’ is prominent. Among them, the scope of GEE hotspots has gradually expanded, showing the evolutionary pattern of sporadic planar distribution spreading to coastal bands, and the scope of sub-coldspots has narrowed. However, the changes of sub-hotspots and cold spots are slight, and the spatial pattern is basically stable. ③ The global differences in driving forces for GEE improvement are not prominent, but the local scale differences are significant. The core driving forces for the promotion of GEE in the eastern, central, and western regions are: the eastern region includes government intervention, degree of opening up, and technological innovation level; the central region includes energy intensity, education input and marketization level; the western region includes human capital, energy intensity, city size, education investment, technological innovation level, environmental regulations and Internet penetration. Hence, the eastern, central and western regions should be adjusted to local conditions and benefits. The eastern region needs to activate the ‘long-board advantage’ in technology-intensive areas and exert the ‘snowball effect’ in technological innovation; the central and western regions need to tap resource endowments, encourage new energy development, enhance investment in scientific and technological research and development areas, improve the allocation of educational resources. Overall, it is necessary to comprehensively advance information construction and strengthen network leadership as well.

Key words green economic efficiency; spatial and temporal patterns; driving force; heterogeneity; geographic detector model