

引用格式: 陈明华, 史楠, 张边秀, 等. 国家重大战略区域绿色低碳发展绩效时空分异与演进趋势[J]. 资源科学, 2024, 46(11): 2178–2193. [Chen M H, Shi N, Zhang B X, et al. Spatiotemporal differentiation and evolution trend of green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions[J]. Resources Science, 2024, 46(11): 2178–2193.] DOI:10.18402/resci.2024.11.07

国家重大战略区域绿色低碳发展绩效 时空分异与演进趋势

陈明华, 史楠, 张边秀, 谢琳霄

(山东财经大学经济学院, 济南 250014)

摘要:【目的】本文旨在评价国家重大战略区域绿色低碳发展绩效, 探析其时空分异特征及动态演进趋势, 为协同促进区域高质量发展提供科学依据和决策参考。【方法】基于超效率EBM模型的Global-Luenberger指数对2012—2020年重大战略区域绿色低碳发展绩效进行科学评价, 运用Dagum基尼系数、方差分解、传统与空间Kernel密度估计等方法揭示其时空分异特征、动态演进规律以及长期转移趋势。【结果】①样本考察期内, 重大战略区域绿色低碳发展绩效均得到提升, 整体表现出“粤港澳”>“成渝”>“京津冀”>“长三角”>“黄河流域”>“长江中游”的区域非均衡特征。②重大战略区域绿色低碳发展绩效的空间差异较小, 随时间推移呈现先下降再上升趋势。超变密度差异是主要空间差异来源; 结构差异主要取决于技术进步差异、投入要素和非期望产出生产率差异, 进一步细分要素, 环境污染治理生产率差异和净碳减排生产率差异是绿色低碳发展绩效地区差距的主要驱动力。③重大战略区域绿色低碳发展绩效总体向好但存在空间极化趋势。各区域绿色低碳发展均表现为“低绩效城市向上转移、中间绩效城市持续性较强、高绩效城市向下转移”, 总体呈现出逆转的分布特征。考虑空间条件时, 黄河流域、长江中游、长三角的正向溢出效应显著, 粤港澳、成渝的空间溢出效应不明显, 京津冀存在“以邻为壑”现象。【结论】为建立以重大战略区域为引领的绿色低碳发展新格局, 应合理优化空间布局并科学把握结构差异以协同提升绿色低碳发展绩效, 同时充分发挥空间溢出效应, 形成绿色低碳发展绩效提升合力。

关键词: 绿色低碳发展; Global-Luenberger指数; Dagum基尼系数; Kernel密度估计; 重大战略区域

DOI: 10.18402/resci.2024.11.07

1 引言

自2012年党的十八大以来, 面对气候变化和生态污染问题, 中国深入开展了污染防治攻坚战, 能源消费低碳化加快推进, 环境污染和碳排放得到缓解和控制。根据国家统计局数据显示, 2023年中国单位GDP的二氧化碳排放比2012年下降40.1%, 而清洁能源消费占能源消费总量比重相较2012年提升了82.07%。根据IQAir发布的数据, 2023年中国PM_{2.5}平均浓度为32.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 较2018年下降了8.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。然而, 当前中国处于工业化、城镇化深入发

展阶段, 发展方式粗放、能源结构偏煤、环境治理低效等问题依然存在, 碳减排和环境污染治理仍面临诸多挑战。为此, 2023年7月的全国生态环境保护大会指出, 坚持把绿色低碳发展作为解决生态环境问题的治本之策, 同年的中央经济工作会议和政府工作报告也突出强调促进绿色低碳发展。由此可见, 推动绿色低碳发展已成为中国生态文明建设亟须探究的课题^[1]。

为统筹区域协调发展, 中国政府围绕国家重大战略区域提出一系列全局谋划和系统部署, 多措并举

收稿日期: 2023-12-19; 修订日期: 2024-05-31

基金项目: 山东省社会科学规划项目(22CJJ23)。

作者简介: 陈明华, 男, 山东临沂人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为经济增长与绿色发展。E-mail: chenminghua1978@163.com

通讯作者: 史楠, 女, 山东泰安人, 硕士研究生, 研究方向为经济增长与绿色发展。E-mail: shinan524@163.com

2024年11月

举推进区域重大战略。已有研究表明,国家重大战略区域是开展减污降碳的“主战场”^[2]。2021年12月,中国工信部印发《“十四五”工业绿色发展规划》,明确指出优化重点区域绿色低碳布局,立足京津冀、长三角、粤港澳等五大区域,打造绿色低碳发展高地。2023年12月,《中共中央国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》提出,聚焦区域重大战略,加强绿色发展协作,建设美丽中国先行区。可见,国家重大战略区域不仅为平衡南北方、协调东中西提供空间载体,也为优化绿色低碳发展的空间布局提供关键着力点。

然而,不同地区的经济发展基础、自然资源禀赋、区域政策导向等均存在差异,绿色低碳发展的空间非均衡现象普遍存在^[3],并且在投入要素频繁流动、环境污染不断扩散以及技术溢出效应持续增强的背景下,区域绿色低碳发展绩效会随着时间推移而不断调整和演变,且具有空间依赖性^[4]。鉴于此,本文关心的问题一方面包括国家重大战略区域绿色低碳发展绩效的差异大小及其形成的深层次原因,另一方面还包括重大战略区域绿色低碳发展绩效的分布动态演进特征以及空间溢出条件下的长期转移趋势。基于上述问题的研究,对于厘清国家重大战略区域绿色低碳发展绩效的差异规律、系统探寻重大战略区域绿色低碳发展路径、协同促进区域高质量可持续发展具有重要的理论价值和现实意义。

进入新时代,关于绿色低碳发展绩效的研究成果不断涌现,部分学者对其理论内涵、现实挑战、实现路径进行了详细阐述^[5,6]。随着研究内容丰富化以及研究方法多样化,越来越多学者转向对绿色低碳发展绩效的实证研究:①在测度方面,大部分文献对绿色发展、低碳发展绩效单独测算,测度方法有层次分析法、熵权法、数据包络分析(DEA)等^[7,8]。其中,DEA分析能够同时考虑多种投入和多种产出,无需设定具体的函数表达形式,逐步成为评价绩效的主流方法^[8]。已有学者使用DDF-Luenberger模型^[9]和SBM模型^[10]对绿色低碳发展绩效进行测度。此外,在投入-产出指标设计上,多数学者将能源、资本、劳动作为投入^[9,10],但在期望和非期望产出的指标设定中存在差异。如李福柱等^[1]将工业三废

和碳排放量纳入非期望产出,同时考虑到碳汇对碳中和的影响,将绿化面积纳入期望产出范畴;杨斌等^[11]则通过计算耕地上各类种植作物的碳吸收量来衡量碳汇水平。②在区域差异方面,多数学者使用泰尔指数^[12]、Dagum基尼系数^[13]测度空间差异,少部分学者将方差分解与Global-Luenberger指数^[14]、熵权法^[15]结合揭示区域差距的结构来源。在研究对象上,已有研究多集中于区域单元^[7]、省份^[16]等地域尺度,探究绿色发展或低碳发展的区域差异。少数文献针对绿色低碳发展的时序变动和区域差异进行研究,发现绿色低碳发展绩效的空间非均衡分布特征明显,但总体差异呈现减小趋势^[10]。③在演进趋势方面,现有文献并未对绿色低碳发展绩效的时空演进态势进行分析,而是采用传统Kernel密度估计、传统Markov链等方法,探讨了不同区域绿色发展绩效的动态演进趋势^[17,18]。研究得出较为一致的结论,绿色发展绩效总体偏低,但整体向高水平发展,绝对差异呈现缩小趋势。此外,部分学者运用空间Kernel密度估计方法对空间溢出条件下绿色发展绩效的动态演进特征进行考察,发现地区间相互作用产生的空间溢出效应会对分布动态演进产生一定影响^[19]。

早期学者多针对单个重大战略区域进行研究,近年来越来越多学者将五大国家重大战略区域作为整体综合考察。已有文献主要聚焦国家重大战略区域的“绿色”方面,围绕着绿色转型绩效、生态文明发展、工业绿色发展等方面进行测度研究^[14,15,20]。除此之外,也有学者对重大战略区域“低碳”方面的现状进行考察^[2],研究表明重大战略区域碳排放强度整体下降,区域间差异具有扩大趋势,京津冀和黄河流域极化现象明显。上述研究为全面考察国家重大战略区域的绿色低碳发展绩效奠定了良好基础,但仍存在一定拓展空间:首先,现有文献多从绿色发展或低碳发展层面对国家重大战略区域展开分析,关于绿色低碳发展绩效的文献相对匮乏,并且目前还没有研究聚焦国家重大战略区域绿色低碳发展绩效的时空分异及动态演进。其次,目前关于绿色低碳发展绩效的测度方法侧重于径向DEA模型或SBM模型,无法同时解决径向和非径向模型固有的问题,也无法衡量绩效在时间序

列上的动态变化。最后,鲜有文献同时考虑“绿色”和“低碳”的内涵特征、侧重点,将两者纳入统一框架进行测度,相关研究的指标体系缺乏关于环境污染治理和碳减排的针对性指标,无论从投入还是产出方面都有待进一步深化拓展。

与已有研究相比,本文的边际贡献体现如下:

①在研究方法方面,运用超效率EBM模型的Global-Luenberger指数测度国家重大战略区域绿色低碳发展绩效,并通过投入产出贡献精确化分解以全面洞察绿色低碳发展绩效的动力源泉,为探寻绿色低碳发展绩效的区域差异化提升路径指明方向。②在投入指标选择方面,不仅考虑了传统的劳动、资本、水、土地、能源等投入要素,还将节能环保支出作为要素投入纳入其中,可以更好地反映经济社会绿色低碳转型的资源依赖性和可持续性。在产出指标选择方面,同时考虑了环境污染以及碳汇、碳源,运用碳汇系数法对城市碳吸收量进行测度,并将碳吸收和碳排放差额的净碳排放作为非期望产出以契合碳中和的长期愿景。③在研究内容方面,借助Dagum基尼系数和方差分解方法从空间和结构双重维度考察重大战略区域绿色低碳发展绩效的差异来源,使用传统和空间Kernel密度估计方法,多维度考察重大战略区域绿色低碳发展绩效的动态演进规律,为建立以重大战略区域为引领的绿色低碳发展新格局以及探寻因地制宜的绿色低碳发展路径提供科学依据和决策参考。

2 研究方法、指标选取与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 绿色低碳发展绩效评价方法

(1)超效率EBM模型。传统DEA模型假设投入产出等比例变动,忽视了投入产出的松弛变量,SBM模型虽然考虑到松弛变量,但测度结果会出现目标值和实际值相背离的问题^[9]。而Tone等^[21]提出的EBM模型不仅考虑了目标值与实际值之间的径向比例改进,而且能处理投入产出的非径向松弛变量,进而弥补了SBM模型的不足。但当运用EBM模型测算时会出现多个决策单元效率为1的情况,无法对其进行横向比较。因此,本文结合Anderson等^[22]提出的“超效率”模型,在测算决策单元效率时,将自身组合用其他决策单元的投入和产出组合替

代,充分考虑有效决策单元间的比较,最终构建了超效率EBM模型。假设重大战略区域绿色低碳发展绩效有 $k=1, 2, \dots, K$ 个决策单元, $t=1, 2, \dots, T$ 个决策时期每个决策单元 k 具有 M 种投入要素 $X_m(m=1, 2, \dots, M)$,生产出 N 种期望产出 $Y_n(n=1, 2, \dots, N)$ 和 I 种非期望产出 $B_i(i=1, 2, \dots, I)$,具体公式如下:

$$\rho^* = \min \frac{\theta + \varepsilon_x \sum_{m=1}^M \frac{w_m^- s_m^-}{x_{mj}}}{\varphi - \varepsilon_y \sum_{n=1}^N \frac{w_n^+ s_n^-}{y_{nj}} - \varepsilon_b \sum_{i=1}^I \frac{w_i^b s_i^-}{b_{ij}}} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1, k \neq j}^K x_{mk}^t \lambda_k^t - s_m^- \leq \theta x_{mj} \\ \sum_{t=1}^T \sum_{k=1, k \neq j}^K y_{nk}^t \lambda_k^t + s_n^- \geq \varphi y_{nj} \\ \sum_{t=1}^T \sum_{k=1, k \neq j}^K b_{ik}^t \lambda_k^t - s_i^b \leq \varphi b_{ij} \\ \lambda_k^t \geq 0, s_m^- \geq 0, s_n^- \geq 0, s_i^b \geq 0 \\ \sum_{t=1}^T \sum_{k=1, k \neq j}^K \lambda_k^t = 1 \end{cases} \quad (2)$$

式中: ρ^* 为决策单元(DMU)的综合效率值; x_{mj} 、 y_{nj} 、 b_{ij} 分别为决策单元 $j(j=1, 2, \dots, K)$ 的投入、期望与非期望产出真实值; w_m^- 、 w_n^+ 、 w_i^b 分别为各项投入、期望产出和非产出指标的相对重要程度; s_m^- 、 s_n^+ 、 s_i^b 分别为各项投入、期望产出和非期望产出松弛值; ε_x 、 ε_y 、 ε_b 为非径向指标的重要程度; θ 和 φ 分别表示投入和产出下绿色低碳发展效率; λ_k^t 为线性组合系数值。

(2)Global-Luenberger(GL)指数。L指数是基于差值、可加结构的测度方法,能够刻画总体绩效与投入产出要素绩效之间的内在逻辑关系。但是,L指数存在不可传递、无可行解等问题。GL指数将每个决策单元绩效在全球最佳生产前沿下进行测度,确保决策单元绩效具有跨期可比性^[23]。最终,本文采用超效率EBM模型的GL指数测算了 t 时期与 $t+1$ 时期之间的绿色低碳全要素生产率(Green and low-carbon total factor productivity, GLTFP)增长,即绿色低碳发展绩效^[24]。因其可加性特征,本文从技术角度将GLTFP分解为技术进步(TC)和效率变动(EC),从要素视角将其分解为投入要素生产率增长、期望产出生产率增长和非期望产出生产率增长。另外,从要素层面能够进一步分解为劳动、土地和能源等投入要素生产率以及各项产出生产率增长,具体计算公式如下:

$$\begin{aligned} GLTFP_t^{t+1} &= IE_t^G - IE_{t+1}^G = EC_t^{t+1} + TC_t^{t+1} \\ &= (GTFP_t^{t+1})_x + (GTFP_t^{t+1})_y + \\ &\quad (GTFP_t^{t+1})_b \end{aligned} \quad (3)$$

2024年11月

$$GLTFP_t^{t+1} = \sum_{m=1}^M (GTFP_t^{t+1})_{x_m} + \sum_{n=1}^N (GTFP_t^{t+1})_{y_n} + \sum_{i=1}^I (GTFP_t^{t+1})_{b_i} \quad (4)$$

$$IE^G = \sum_{m=1}^M IE_{x_m}^G + \sum_{n=1}^N IE_{y_n}^G + \sum_{i=1}^I IE_{b_i}^G \quad (5)$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_m^-}{x_{mj}} + \frac{1}{(N+I)} \left(\sum_{n=1}^N \frac{s_n^+}{y_{nj}} + \sum_{i=1}^I \frac{s_i^-}{b_{ij}} \right) \right)$$

式中: IE_t^G 表示以全局生产前沿面为参考测算得到的决策单元在 t 时期的总无效率值; IE_{t+1}^G 表示以全局生产前沿面为参考测算得到的决策单元在 $t+1$ 时期的总无效率值; $GLTFP_t^{t+1} > 0$ 表示绿色低碳发展绩效得到提升。此外, IE^G 为各项投入要素无效率 (IE_x^G)、各项期望产出无效率 (IE_y^G) 以及非期望产出无效率 (IE_b^G) 之和。

2.1.2 区域差异测度及其来源

(1) Dagum 基尼系数。Dagum 基尼系数充分考虑了样本间的交叉重叠问题及子样本的分布特征, 将总体空间差距 G 分解成区域内差异 G_1 、区域间净差异 G_2 和超变密度 G_3 三部分 (即 $G=G_1+G_2+G_3$), 能够更细化地衡量各部分差异对总体差距的影响程度。为此, 本文运用 Dagum 基尼系数对重大战略区域绿色低碳发展绩效的空间差异进行测度, 详细计算过程可以参考陈晓兰等^[25]的研究, 限于篇幅, 本文不再赘述。

(2) 方差分解。方差分解能够从内部结构方面解释要素生产率差异对绿色低碳发展绩效差距的贡献。因此, 本文将方差分解方法与 Global-Luenberger 生产率指数结合, 从技术和要素两方面分析, 并进一步细分投入产出要素, 为差距形成提供详尽的结构来源解释, 具体运算过程参见刘华军等^[23]。

2.1.3 动态演进规律方法

(1) 传统 Kernel 密度估计。传统 Kernel 密度估计能够通过连续的密度曲线刻画研究对象的分布位置、延展性以及极化趋势等动态演进特征。本文选择高斯核函数来研究重大战略区域绿色低碳发展绩效的分布动态演进, 具体公式参考张卓群等^[2]、师博等^[26]。

(2) 空间 Kernel 密度估计。相较于传统 Kernel 密度估计, 空间 Kernel 密度估计方法具有同步分析时间和空间信息的优势, 能够更加具象、全面地反映时空维度下重大战略区域绿色低碳发展绩效的

动态演变过程, 将条件核密度估计引入区域绿色低碳发展绩效的动态演进研究中, 具体公式如下。

$$f(u, v) = \frac{1}{Nh_u h_v} \sum_{i=1}^N \text{Ker}_u \left(\frac{U_i - u}{h_u} \right) \text{Ker}_v \left(\frac{V_i - v}{h_v} \right) \quad (6)$$

$$g(v|u) = \frac{f(u, v)}{f(u)} \quad (7)$$

式中: $f(u)$ 为 u 的边际核密度函数; $g(v|u)$ 为在随机变量 u 的条件下随机变量 v 的分布状态; $f(u, v)$ 是 u 和 v 的联合核密度函数; $\text{Ker}(\cdot)$ 为高斯核函数; N 为样本观测值个数; U_i 和 V_i 均为独立同分布的观测值; u 和 v 均为随机变量; h 为带宽。

2.2 指标选取与数据来源

绿色低碳发展是一种融合了经济社会发展绿色化和低碳化特征和内涵的可持续发展模式^[4], 旨在实现生态保护、节能减排与经济增长三者共赢。其中, “绿色化”体现在合理控制生产要素投入, 稳步促进经济发展的同时最大限度地减少环境污染, 实现经济发展质量提升; “低碳化”一方面体现在能源消费结构的优化, 着力推进碳减排, 另一方面体现在充分发挥生态系统的碳汇功能, 最大幅度增加碳吸收量。结合李福柱等^[1]、杨斌等^[11]的研究, 绿色低碳发展是指通过资本、劳动、科技、环境治理和各类资源要素投入, 实现经济总产值和生态价值最大化, 同时最大限度地控制环境污染和碳排放的过程。在此基础上, 本文将绿色低碳发展绩效定义为“绿色化”和“低碳化”约束下相邻两时期经济增长和生态价值等综合产出与投入要素比值的变化率, 并以绿色低碳全要素生产率的增长率来衡量绿色低碳发展绩效^[27]。最终遵循指标合理性、客观性和数据可得性的原则, 本文以资本、劳动、科技、环境治理、用地、用水和能源消耗作为投入要素, 地区生产总值作为期望产出, 将工业废水量、 $\text{PM}_{2.5}$ 和生活垃圾清运量合成环境污染指数作为“绿色”非期望产出, 将碳排放量和碳汇合成净碳排放量作为“低碳”非期望产出 (表1)。具体数据处理及来源如下:

投入要素: 劳动投入选取城镇单位从业人员、私营和个体从业人员之和表征。资本投入以资本存量表征, 并采用永续盘存法进行核算:

$$C_{i,t} = C_{i,t-1}(1-d_{i,t}) + I_{i,t} \quad (8)$$

$$C_0 = I_0 / (g_i + d) \quad (9)$$

表1 重大战略区域绿色低碳发展绩效的指标评价体系

Table 1 Evaluation indicator system for green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions

目标层	指标层	单位
投入指标	资本	资本存量
	劳动	城镇单位从业人员、私营和个体从业人员之和
	科技	专利授权量
	环境治理	节能环保公共预算支出
	资源投入	城市建设用地面积
期望产出指标		能源消耗量
		全社会用水量
	经济效益	实际GDP
非期望产出指标	“绿色”负产出	环境污染综合指数
	“低碳”负产出	净碳排放量

式中: I_0 为基期全社会固定资产实际投资; C_0 为基期资本存量; $C_{i,t}$ 和 $C_{i,t-1}$ 分别为 i 城市在 t 和 $t-1$ 时期的资本存量; $I_{i,t}$ 为 i 城市在 t 时期的资本总量; $d_{i,t}$ 为 i 城市在 t 时期的资本折旧率,设定为固定的10.96%^[28]; g_i 为城市固定资产实际投资额的几何平均增长率,并以2011年为基期进行平减。能源投入以能源消耗量表征,因各地级市能源消耗量数据统计口径不一,将全社会用电量、煤气供气量和液化石油气供气量折算成标准煤后的总量用以表征城市能耗量;土地投入以城市建设用地面积表示;水资源投入以地区用水总量表征;科技投入用专利授权量表示,反映出对绿色低碳发展的赋能效应;环境治理投入以节能环保公共预算支出表征,反映政府对减污降碳的资金分配和投资能力。以上数据均来自2012—2020年的《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》等。针对部分年份、城市的数据缺失,采用线性插值法补齐。

产出要素:经济发展水平是衡量区域发展质量与水平的常用指标,本文选取地区生产总值表示期望产出,并以2011年为基期进行平减。在非期望产出设定中,一方面,本文以 $PM_{2.5}$ 代表“蓝天”指标,工业废水排放量代表“碧水”指标,生活垃圾清运量代表“净土”指标^[29],并运用熵值法将3个指标合成环境污染综合指数作为非期望产出。其中, $PM_{2.5}$ 数据来自达尔豪斯大学大气成分分析组,工业废水排放与

生活垃圾清运量数据均来源于2012—2020年的《中国城市统计年鉴》。另一方面,在“双碳”目标下,为满足碳中和的长期愿景,本文将碳吸收和碳排放差额的净碳排放也作为一种非期望产出。碳排放数据来自公众环境研究中心和中国城市温室气体工作组编制的统计数据。此外,在碳汇测度方面,本文参考陈帝伯等^[30]的思路,采用碳汇系数法对林地、草地、水域和城市绿地4种土地的碳吸收量进行计算。其中,森林、草地和水域是自然生态系统吸收二氧化碳的“主力军”,城市绿地是城市生态系统中发挥碳增汇功能的重要空间载体。城市土地利用覆盖数据来源于年度中国土地覆盖数据集(CLCD)^①,该数据集利用Landsat土地覆盖数据基于GEE平台制作。

2.3 研究区域

根据中共中央、国务院印发的《京津冀协同发展规划纲要》《粤港澳大湾区发展规划纲要》等文件,同时考虑到数据可获得性,本文最终测度了2012—2020年国家重大战略区域183个地级及以上城市的绿色低碳发展绩效。由于长三角与长江经济带中涵盖部分重合城市,根据国家区域战略布局,将长江经济带拆分为长三角、长江中游、成渝三大区域进行研究^②。

3 结果与分析

3.1 重大战略区域绿色低碳发展绩效评价

图1显示了重大战略区域绿色低碳发展绩效的

① <http://irsip.whu.edu.cn/resources/CLCD.php>。

② 最终确定京津冀、黄河流域、粤港澳、长三角、长江中游、成渝6个国家重大战略区域。其中,京津冀包括13个城市:北京、天津、石家庄、唐山、秦皇岛、邯郸、邢台、保定、张家口、承德、沧州、廊坊、衡水。粤港澳包括9个城市:广州、深圳、珠海、佛山、惠州、东莞、中山、江门、肇庆(其中,港澳数据与广东省9个城市的统计口径不一致,本文未将其列入样本考察范围内)。由于篇幅所限,未一一列出所有城市,如有需要可向作者索取。

2024年11月

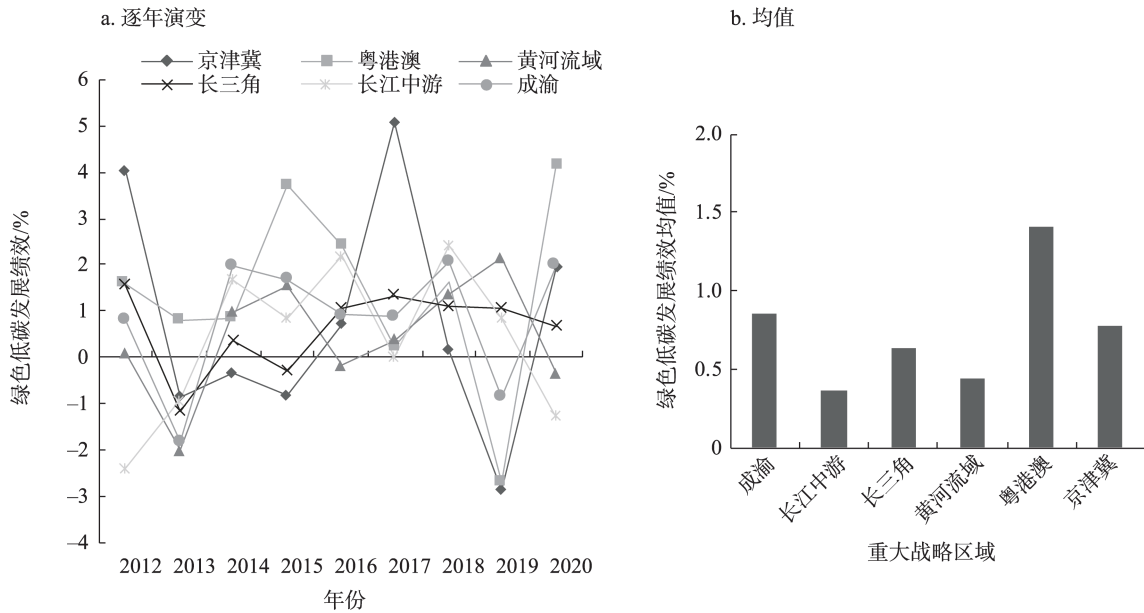


图1 2012—2020年重大战略区域绿色低碳发展绩效的评价结果

Figure 1 Evaluation results of green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions, 2012–2020

逐年演变特征和均值。新时代以来,随着能源结构持续优化和生态环境治理深入推进,国家重大战略区域绿色低碳发展绩效均得到提升,但存在明显的空间异质性和阶段性特征。其中,粤港澳的绿色低碳发展绩效均值为1.41%^③,大幅高于第二名成渝的0.85%,并且在样本期内呈波动上升态势,可能因为粤港澳凭借区位优势,绿色低碳产业和高新技术产业高速发展,有利于各类自然资源和创新要素自由流动和高效配置,进而提高了绿色低碳发展绩效。成渝的绿色低碳发展绩效除2013年和2019年大幅下降外,其他时期均围绕1%轻微波动。京津冀的绿色低碳发展绩效均值位居区域第三,样本期间起伏较大,2012—2017年呈现“W”型波动态势,并于2017年达到最大值5.06%,此后又明显下降。黄河流域的绿色低碳发展绩效均值为0.44%,整体呈现波动中上升的变化趋势。引人注意的是,长三角、长江中游和成渝的绿色低碳发展绩效均值分别为0.63%、0.37%、0.85%,呈现“西>东>中”依次递减的空间分布格局。这一现象与西部地区“后发优势理论”相契合。成渝主要得益于西部大开发等政策激励,成都作为区域性创新城市引领技术减排和污染治理,乐山、宜宾作为成渝地区的主要资源型城市

易获得清洁能源实现结构减排,绿色低碳发展绩效得到明显提升。

表2报告了重大战略区域绿色低碳发展绩效的阶段性特征。2015年党的十八届五中全会将绿色发展纳入五大新发展理念,着力解决环境治理和生态保护问题,为绿色低碳转型发展赋能添力。这一时间节点将重大战略区域绿色低碳发展绩效分成两个特征时期,即2012—2015年的稳步提升期、2016—2020年的快速增长期。在稳步提升期,粤港澳的领先地位尤为突出,绿色低碳发展绩效均值为1.74%;成渝、京津冀次之,分别为0.66%、0.51%,仅长江中游绩效均值为负。在快速增长期,除粤港澳外,其他区域的绿色低碳发展绩效均出现不同程度

表2 重大战略区域绿色低碳发展绩效:分阶段考察

Table 2 Green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions: A staged review (%)

地区	2012—2015年	2016—2020年	增长幅度
京津冀	0.51	1.00	0.49
粤港澳	1.74	1.15	-0.59
黄河流域	0.14	0.67	0.53
长三角	0.12	1.05	0.93
长江中游	-0.20	0.83	1.03
成渝	0.66	1.00	0.34

③ 表中数据为绿色低碳全要素生产率的增长率。

提升。其中,长江中游的绿色低碳发展绩效增长幅度最高(1.03%),长三角紧随其后(0.93%),黄河流域(0.53%)、京津冀(0.49%)、成渝(0.34%)依次递减。由此可见,国家重大战略区域绿色低碳发展绩效基本呈现“起点低、进步快”的特征。除此之外,党的十八届五中全会后,各区域绿色低碳发展绩效均值趋近,在一定程度上说明经济社会绿色低碳转型与区域协调发展互促共进。

3.2 重大战略区域绿色低碳发展绩效的空间差距及其来源

3.2.1 空间差距来源及贡献

表3列出了重大战略区域绿色低碳发展绩效的空间差距来源及其贡献。整个样本期间,重大战略区域绿色低碳发展绩效的空间差距一直处在较低水平并且总体呈现下降趋势,年均递减率为0.72%。总体基尼系数在2012—2016年稳定下降并于2016年达到最小值,但近年来呈波动上升态势。这表明党的十八大以来,区域协调发展和减污降碳协同治理相辅相成,重大战略区域绿色低碳发展绩效协同提升取得了一定成效。其中,2016年的总体基尼系数是样本期间最小值,为0.0239。主要原因在于,2015年,《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》正式出台,各区域充分利用“一带一路”建设机遇,加强区域之间在产业结构优化、环境污染治理、资源综合利用等方面的合作和交流,进而缩小了总体的地区差距。而近年来随着生态文明建设持续推进,各区域绿色低碳转型压

力不断加大,但不同区域的生态环境约束、经济产业结构、技术创新水平等方面存在较大差异,在资源禀赋、经济发展、管理理念等多重因素的综合作用下,重大战略区域绿色低碳发展绩效协同提升受阻。从基尼系数分解结果来看,区域间差异相对较小但波动较大,均值为0.0055,平均贡献率为18.29%;区域内差异在样本期内基本保持稳定,贡献率围绕24.24%小幅波动。超变密度的平均贡献率高达57.47%,且其演变特征和总体基尼系数基本一致,呈现先缓慢下降再波动上升趋势。超变密度是由区域内部城市的绿色低碳发展绩效分化与区域间差距交织在一起产生的,说明重大战略区域绿色低碳发展绩效的交叉重叠现象明显,各区域均存在绿色低碳发展高绩效和低绩效城市。例如,粤港澳的绿色低碳发展绩效明显高于黄河流域,但其内部城市惠州、江门的绿色低碳发展绩效远低于黄河流域多数城市的水平。

3.2.2 区域内差距

图2显示了重大战略区域绿色低碳发展绩效的区域内空间差距。黄河流域的区域内差异始终保持在相对较高水平,主要原因是沿黄河各城市的经济发展模式、生态环境状态、资源禀赋条件等存在较大差异,绿色低碳发展的空间不平衡问题突出。京津冀的区域内差异均值为0.0312,仅次于黄河流域,2016年达到低谷后开始回升。这可能与京津的虹吸效应密切相关,北京、天津凭借区位优势,汇聚资源要素,而相邻的河北以重工业为主,承接起北京和天

表3 2012—2020年重大战略区域绿色低碳发展绩效的空间差距来源及其贡献

Table 3 Spatial differences and contributions of green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions, 2012–2020

年份	总体 G	区域内		区域间		超变密度	
		G_1	贡献率/%	G_2	贡献率/%	G_3	贡献率/%
2012	0.0360	0.0085	23.57	0.0089	24.57	0.0187	51.86
2013	0.0302	0.0074	24.36	0.0035	11.64	0.0193	63.99
2014	0.0283	0.0066	23.44	0.0034	11.90	0.0183	64.65
2015	0.0283	0.0069	24.49	0.0055	19.56	0.0158	55.95
2016	0.0239	0.0061	25.48	0.0050	21.09	0.0128	53.44
2017	0.0296	0.0072	24.34	0.0052	17.43	0.0173	58.23
2018	0.0279	0.0068	24.40	0.0031	10.99	0.0180	64.61
2019	0.0309	0.0073	23.50	0.0081	26.10	0.0156	50.40
2020	0.0338	0.0083	24.61	0.0072	21.31	0.0183	54.09
均值	0.0299	0.0072	24.24	0.0055	18.29	0.0171	57.47

2024年11月

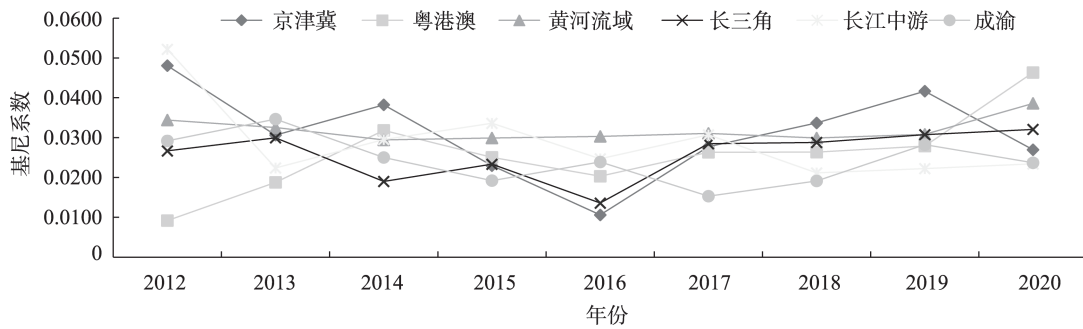


图2 2012—2020年重大战略区域内部绿色低碳发展绩效的空间差距

Figure 2 Spatial differences in green and low-carbon development performance within the National Major Strategic Regions, 2012–2020

津转移的高碳产业,绿色低碳发展绩效提升受阻。粤港澳和长三角的区域内差异均值为0.0258,其中,粤港澳在整个样本期间的区域内差异大幅上升,年均增长19.71%,究其原因,粤港澳内部产业结构、经济基础存在较大差异,广深已初步实现以高端制造业和现代服务业为支柱的高级产业结构,而惠州、江门等城市目前仍依赖化工、石油等碳高排放产业,制约了其绿色低碳发展。相比而言,长三角的区域内差异在整个样本期内变化较为平稳,主要得益于长三角一体化发展战略带来的正向推动作用,沪宁杭合等核心城市对周边地区产生了正向溢出效应,形成绿色低碳发展区域合力。长江中游的区域内差异均值为0.0289,在样本期内呈波动下降趋势,可能是因为长江中游依托武汉、长沙、南昌建设了武汉城市群、环长株潭城市群和环鄱阳湖城市群,优化区域内资源要素配置,最终实现城际资源优势互补、产业协调布局以及环境协同治理,从而缩小了绿色低碳发展区域差异。成渝的区域内差异均值最小,为0.0243,在样本期内波动下降,说明成渝绿色低碳协同发展成效显著。主要原因是重庆和成都两个核心城市的辐射带动作用持续提升,区域内技术溢出效应和知识扩散效应明显增强,各类资源要素高效地跨区域流动,进而形成优势互补的绿

色经济循环体系,助推了中小城市绿色低碳发展绩效提升。

3.2.3 区域间差距

表4报告了重大战略区域之间绿色低碳发展绩效的空间差距。从区域间差异的时变趋势看,粤港澳-长三角、粤港澳-黄河流域、粤港澳-成渝差异的年均增幅位列前3位,分别为9.92%、7.85%、6.53%。京津冀-长江中游、京津冀-成渝、长江中游-成渝差异的年均降幅较大,分别为7.16%、5.12%、5.71%。其他重大战略区域间差异的年均变化率相对较小。从区域间差异的均值看,京津冀与粤港澳、长江中游、成渝等南部战略区域间差异较大,均值分别为0.0319、0.0331、0.0302。黄河流域与粤港澳、长江中游的差异也较为突出,均值分别为0.0311、0.0312。而区域间差异的最小值集中于南部战略区域之间,特别是长江经济带的三大城市群之间,其中,长三角-成渝的差异最小,均值仅为0.0263。由此可见,绿色低碳发展绩效的区域间差异主要表现为南北差异,南部战略区域间绿色低碳发展绩效的差异较小。

3.3 重大战略区域绿色低碳发展绩效的结构差距及其来源

3.3.1 结构差距及来源:基于技术和要素角度

表5报告了技术和要素生产率差距对绿色低碳

表4 重大战略区域之间绿色低碳发展绩效的空间差距

Table 4 Spatial differences in green and low-carbon development performance between the National Major Strategic Regions

区域间	均值	年均增长率/%	区域间	均值	年均增长率/%	区域间	均值	年均增长率/%
京津冀-粤港澳	0.0319	2.48	粤港澳-黄河流域	0.0311	7.85	黄河流域-长江中游	0.0312	-3.94
京津冀-黄河流域	0.0289	-2.37	粤港澳-长三角	0.0277	9.92	黄河流域-成渝	0.0294	0.57
京津冀-长三角	0.0299	-2.90	粤港澳-长江中游	0.0291	2.03	长三角-长江中游	0.0283	-3.91
京津冀-长江中游	0.0331	-7.16	粤港澳-成渝	0.0271	6.53	长三角-成渝	0.0263	0.17
京津冀-成渝	0.0302	-5.12	黄河流域-长三角	0.0295	1.78	长江中游-成渝	0.0279	-5.71

表5 重大战略区域绿色低碳发展绩效差距的结构来源:基于技术和要素角度

Table 5 Structural sources of differences in green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions: Based on technological and factor perspectives

地区	技术角度贡献率/%		要素角度贡献率/%		
	技术效率	技术进步	投入要素	期望产出	非期望产出
京津冀	27.23	72.77	35.64	-1.25	65.61
粤港澳	29.82	70.18	50.56	0.55	48.90
黄河流域	36.34	63.66	48.29	-1.62	53.33
长三角	15.45	84.55	42.79	-0.55	57.77
长江中游	22.93	77.07	52.54	-0.63	48.09
成渝	41.92	58.08	45.04	-0.20	55.16

发展绩效差距的贡献率均值。从技术层面看,技术进步差异是国家重大战略区域绿色低碳发展绩效的主要结构差距来源,但不同区域的作用强度存在异质性。其中,长三角技术进步差异的平均贡献率高达84.55%,这意味着长三角技术进步差异的驱动作用最为显著;长江中游、京津冀、粤港澳、黄河流域、成渝技术进步差异的平均贡献率依次递减,分别为77.07%、72.77%、70.18%、63.66%、58.08%。从要素层面看,投入要素和非期望产出生产率差异是绿色低碳发展绩效差异形成的主要驱动力,期望产出生产率差异对差距形成的作用微弱。其中,非期望产出生产率差异在京津冀、黄河流域、长三角、成渝较为突出,平均贡献率分别为65.61%、53.33%、57.77%、55.16%;对于粤港澳和长江中游,投入要素生产率差异占据主导地位,平均贡献率分别为50.56%和52.54%。

3.3.2 结构差距及来源:基于细分要素角度

图3显示了细分要素生产率差距对绿色低碳发展绩效差距的贡献率均值。总体来看,重大战略区

域绿色低碳发展绩效差距的细分要素结构来源存在一定共性,环境污染治理生产率差异和净碳减排生产率差异是各区域差距形成的主要驱动力。而投入要素生产率差异的贡献存在区域异质性。具体来看,京津冀的节能环保投入生产率差异较大,平均贡献率为10.95%。成渝的劳动投入生产率差异突出,平均贡献率为10.03%。粤港澳的土地投入生产率差异贡献(13.32%)、能源投入生产率差异贡献(11.94%)、用水投入生产率差异贡献(11.71%)较为显著,原因可能是粤港澳的自然资源要素配置不均衡,导致绿色低碳发展绩效的地区差异扩大。劳动、土地、用水、科技等各类细分投入要素生产率差异的平均贡献率在黄河流域近似,说明沿黄河城市的各类要素投入均存在一定差别。

3.4 重大战略区域绿色低碳发展绩效的演进趋势

3.4.1 分布动态演进

由图4可知,从分布位置看,京津冀、粤港澳和成渝核密度曲线主峰位置的演变轨迹均呈现较大幅度变动,表明受到不同时期的区域政策导向、科

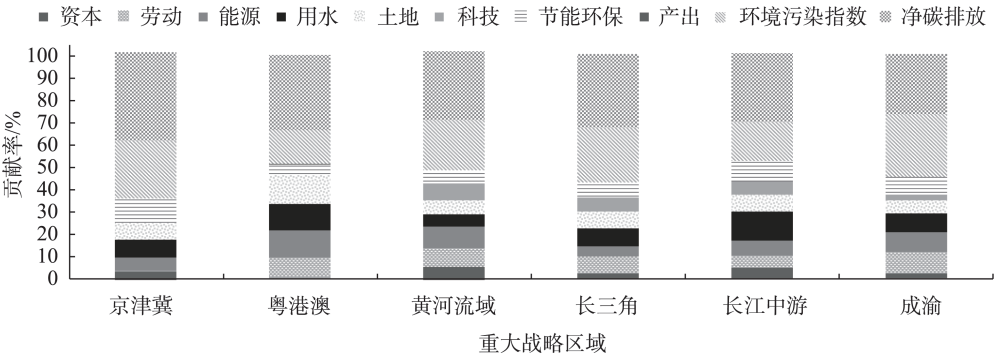


图3 重大战略区域绿色低碳发展绩效差距的结构来源:基于细分要素角度

Figure 3 Structural sources of gaps in green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions: Based on the perspective of individual elements

2024年11月

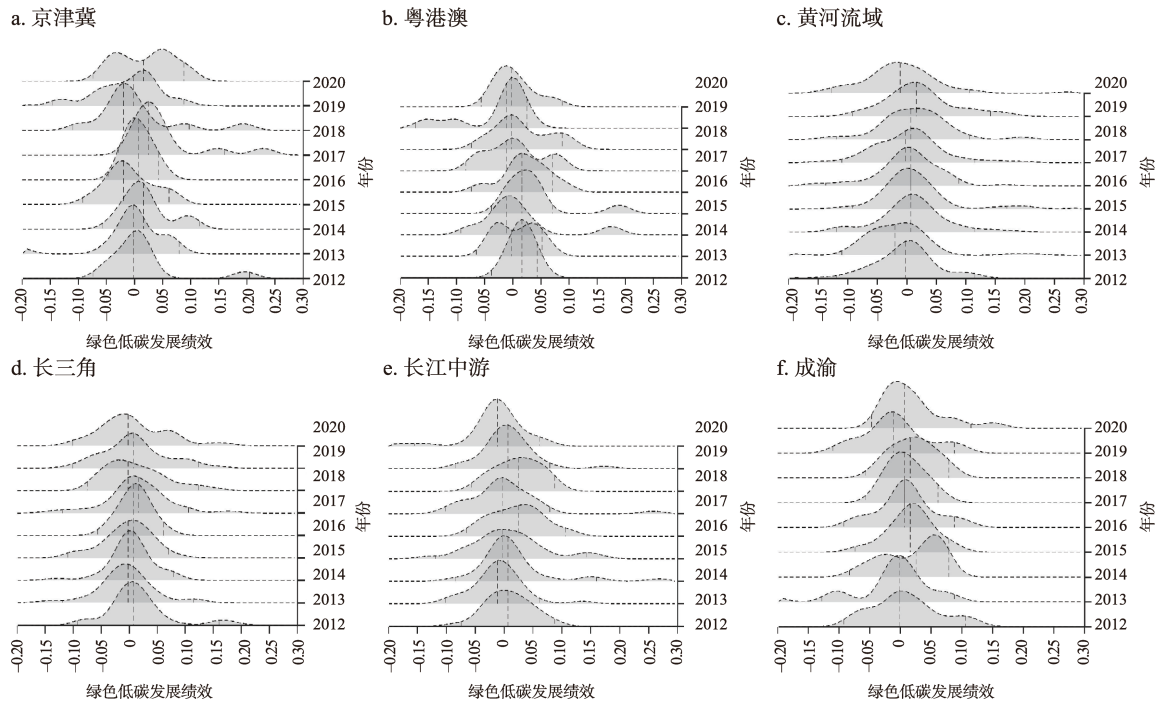


图4 2012—2020年重大战略区域绿色低碳发展绩效的传统 Kernel 密度图

Figure 4 Traditional kernel density map of green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions, 2012–2020

技术进步程度等因素综合作用,样本期间区域绿色低碳发展绩效目前仍不能保持稳定或者呈现递增趋势。与之相反的是,黄河流域、长三角和长江中游核密度曲线的主峰演化脉络相对稳定,说明在区域内部资源要素流动和外部各类环境政策的综合作用下,区域绿色低碳发展绩效变化不大。从分布形态看,整体来说,长江中游和成渝的核密度曲线主峰高度上升且宽度减小,绿色低碳发展绩效的绝对差异缩小。京津冀、粤港澳和长三角的主峰宽度都有不同程度增加,说明区域的绝对差异呈扩大趋势。相比而言,黄河流域核密度曲线的主峰高度与宽度变化相对平缓,绝对差异无明显变化。从分布延展性看,黄河流域和长江中游的核密度曲线拖尾现象不明显。京津冀、粤港澳、长三角和成渝的核密度曲线呈现不同程度的拖尾现象,分布延展性呈拓宽趋势,说明区域存在“优者愈优”现象,高绩效城市进一步提升,与区域平均值的差距拉大。从极化趋势看,黄河流域呈“单一主峰”态势,不存在极化现象。京津冀、粤港澳、长三角、长江中游和成渝均存在双峰或多峰现象,表明绿色低碳发展绩效存在不同程度的空间极化现象。其中,京津冀和粤港澳的侧峰

较明显,说明区域绿色低碳发展绩效的极化现象相对突出。

3.4.2 长期转移趋势

首先采用无条件 Kernel 密度估计考察重大战略区域绿色低碳发展绩效从 t 年到 $t+1$ 年的变动趋势;然后在此基础上考虑空间溢出,揭示相邻城市的绿色低碳发展绩效在时间滞后一期条件下对本城市绿色低碳发展绩效的影响。

图5展示了重大战略区域绿色低碳发展绩效的无条件 Kernel 密度及密度等高线图。若概率主体集中在负 45° 对角线附近,说明从 t 年到 $t+1$ 年绿色低碳发展绩效出现逆转,原本高绩效城市变为低绩效城市,低绩效城市变为高绩效城市。若概率主体集中在 Y 轴某个刻度附近且平行于 X 轴,说明城市绿色低碳发展绩效出现了收敛。等高线密集程度代表绿色低碳发展绩效转移概率,等高线由内向外,代表的概率依次递减。从图5可以发现,各重大战略区域的绿色低碳发展表现为“低绩效城市向上转移、中间绩效城市持续性较强、高绩效城市向下转移”,图形整体倾向于分布在负 45° 对角线附近,总体呈现逆转的分布特征。这在一定程度上说明

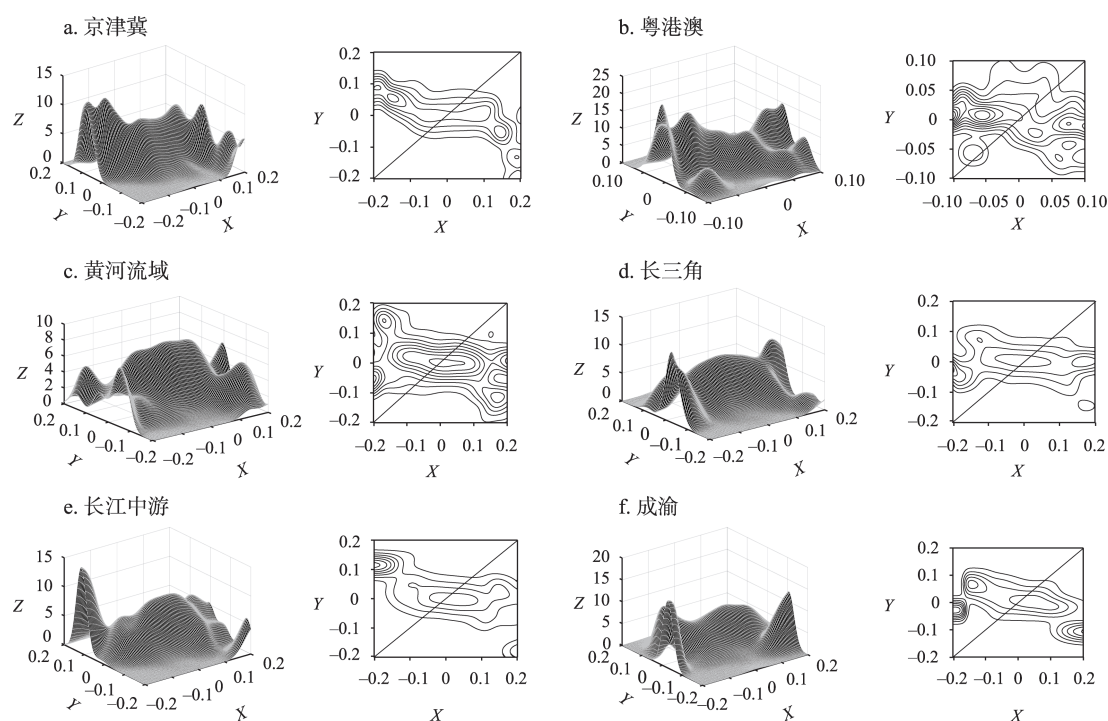


图5 重大战略区域绿色低碳发展绩效的无条件Kernel密度及密度等高线

Figure 5 Unconditional kernel density and density contour of green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions

注:X轴表示 t 年本城市的绿色低碳发展绩效,Y轴表示 $t+1$ 年本城市的绿色低碳发展绩效,Z轴表示空间动态条件核密度值。

重大战略区域维持原有绩效的能力较弱,提升绿色低碳发展绩效的长效机制有待完善。虽然处在中间绩效区间的城市有维持稳定的倾向,但如果超出了中间范围,低绩效城市则可能易于汲取技术、人才等资源实现快速增长,高绩效城市不宜保持现有水平而出现一定程度的滑落。因此,当城市绿色低碳发展绩效达到一定高度后,依靠自身的技术水平和发展模式不易增长,可能需要通过城市间技术交流、产业协同、资源共享等高水平空间关联实现进一步提升。

图6展示了重大战略区域绿色低碳发展绩效的空间动态Kernel密度及其密度等高线图。由图可知,黄河流域、长三角、长江中游的空间动态演进特征基本一致,低绩效和高绩效相邻城市出现虹吸效应,中间绩效相邻城市对本城市的正向溢出效应显著。具体来看,当相邻城市 t 年为低绩效或高绩效城市时,概率主体大致与X轴保持平行,并且呈现出高-低聚集现象。上述情况表明,生态协同发展、知识扩散和技术溢出效应有利于绿色低碳发展的正向空间溢出,但这种溢出也伴随着环境污染扩散和

污染治理费用支出的负向溢出,最终绿色低碳发展的外溢效应小于虹吸效应。当相邻城市 t 年为中等绩效城市时,概率主体向正45°对角线偏移,说明城市间正向空间溢出明显。一方面,可能因为中间绩效城市在产业分工协作、资源要素共享、绿色低碳技术合作等方面联系较为频繁,正向溢出效应显著;另一方面,中间绩效城市充分利用便利的城际交通网络,在统筹承接高绩效城市产业转移的同时,向低绩效城市输送管理、技术、资金等要素,进而强化正向溢出效应。粤港澳和成渝的概率主体均平行于X轴,这表明两区域城市间的空间溢出不明显。出现上述情况的原因主要是粤港澳、成渝内部分城市的经济发展基础、资源环境禀赋、政府宏观调控政策相似程度较高,导致绿色低碳发展模式存在较大的共性,区域内部开展碳减排以及环境污染治理的城际合作收效甚微,难以打破“收敛模式”和实现取长补短。此外,京津冀的概率主体集中分布于负45°对角线附近,说明相邻城市与本城市产生负向空间溢出。北京、天津可能存在以邻为壑的“污染转嫁”行为,通过向周边城市转移高污染产业

2024年11月

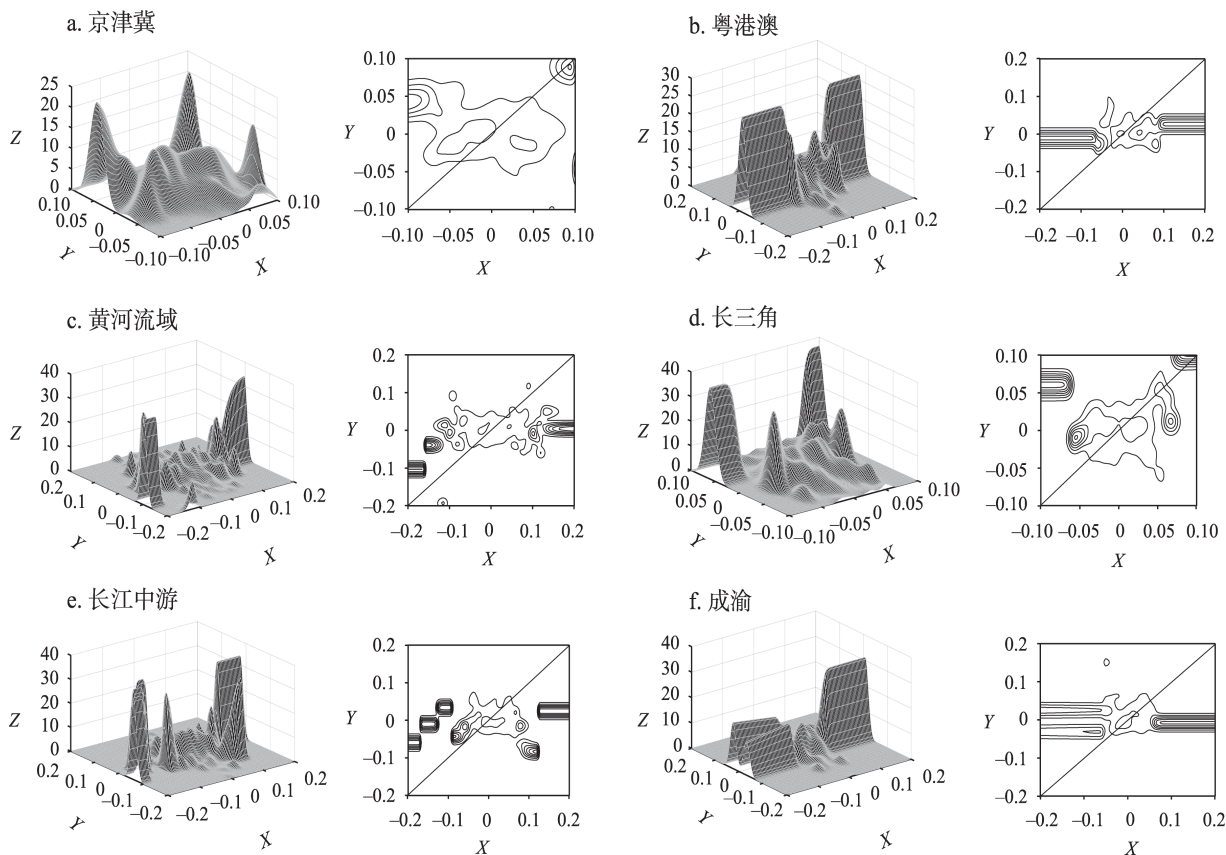


图6 重大战略区域绿色低碳发展绩效的空间动态 Kernel 密度及密度等高线

Figure 6 Spatial dynamic kernel density and density contour of green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions

注: X轴表示 t 年相邻城市的绿色低碳发展绩效, Y轴表示 $t+1$ 年本城市的绿色低碳发展绩效, Z轴表示空间动态条件核密度值。

或转让高耗能基础设施来规避治污责任。因此,中心城市非但没有发挥带动作用,反而产生负向溢出效应。

4 结论与政策启示

4.1 结论

本文以国家重大战略区域为研究切入点,首先运用超效率EBM模型的Global-Luenberger指数对2012—2020年重大战略区域绿色低碳发展绩效进行科学评价;其次,运用Dagum基尼系数和方差分解方法分别从空间和结构双重视角深入剖析绿色低碳发展绩效的区域差距及来源;最后,结合传统和空间Kernel密度估计分析绿色低碳发展绩效的分布动态演进和长期转移趋势。主要结论如下:

(1)样本考察期内,重大战略区域绿色低碳发展绩效均得到提升,但存在显著的空间异质性及阶段性特征。分区域来看,粤港澳的绿色低碳发展绩效均值居于首位,成渝、京津冀、长三角依次递减,

黄河流域和长江中游仍存在较大的提升空间。就阶段性特征而言,2012—2015年,粤港澳的领先地位尤为突出,成渝、京津冀次之,仅长江中游绩效均值为负;2016—2020年,除粤港澳外,其他区域的绿色低碳发展绩效均出现不同程度提升。总的来看,区域绿色低碳发展绩效基本呈现“起点低、进步快”的特征。

(2)重大战略区域绿色低碳发展绩效的空间差异总体较小,先波动下降再小幅上升,最终呈现缩小趋势。其中,超变密度差异是主要差异来源,其动态演变特征与总体差异基本一致;区域内差异次之,在样本期内基本保持稳定;区域间差异相对较小但波动较大。从细分区域内差异看,黄河流域最大,京津冀次之,其他战略区域内差异相对较小。从细分区域间差异看,南北方重大战略区域之间的差异较大,粤港澳、长三角、长江中游等南部战略区域间差异较小。

(3)重大战略区域绿色低碳发展绩效的结构差异总体较大。从技术层面看,技术进步差异是各区域差异形成的主要驱动力。其中,长三角的技术进步差异贡献高达84.55%。从要素层面看,投入要素和非期望产出生产率差异是主要结构差异来源。进一步细分要素来源,环境污染治理生产率差异和净碳减排生产率差异是各区域结构差异的主要成因。此外,细分投入要素生产率差异贡献存在显著的区域异质性。譬如,京津冀的节能环保投入生产率差异贡献较大,成渝的劳动投入生产率差异贡献突出,而粤港澳的各类自然资源要素生产率差异贡献显著。

(4)重大战略区域绿色低碳发展绩效稳中向好但存在空间极化趋势,其中京津冀和粤港澳的极化现象相对突出。各区域绿色低碳发展均表现为“低绩效城市向上转移、中间绩效城市持续性较强、高绩效城市向下转移”,总体呈现逆转的分布特征。考虑空间条件时,黄河流域、长江中游、长三角总体表现为正向空间溢出效应,粤港澳、成渝的空间溢出效应不明显,京津冀呈现一定程度的负向空间溢出。

4.2 政策启示

上述研究结论不仅有助于准确把握重大战略区域绿色低碳发展现状,也为协同提升区域绿色低碳发展绩效提供重要的科学依据和决策参考。基于此,本文得到以下政策启示:

(1)合理优化空间布局,缩小绿色低碳发展绩效区域差异。因地制宜制定差异化的策略。首先,粤港澳应以建设美丽湾区为引领,打造绿色低碳发展先行示范区,推动形成绿色低碳的城市运营模式和生产生活方式。长三角应加强区域生态治理高效协同,筑牢绿色生态屏障,打造生态价值新高地。其次,对于空间差异较大的区域,如黄河流域应充分发挥郑州、西安等核心城市的辐射带动作用,并聚力打造山东绿色低碳高质量发展先行区,形成以点带面的新发展格局。京津冀应以北京、天津为引领,优化城际绿色技术研发协作机制,打造京津冀一体的绿色产业链,带动周边地区的高污染行业绿色转型。最后,积极开展区域间节能减排和环境治理等方面的交流与合作,构建绿色低碳发展的区域合作和协同联动机制。黄河流域、长江中游等低绩

效区域通过市场手段从粤港澳等高绩效区域引进人才、技术等创新资源。

(2)科学把握结构差异,协同提升绿色低碳发展绩效。一方面,针对各区域结构差异的异质性特征,因区制宜、精准施策。例如,粤港澳应畅通投入要素的流通渠道,有序推进劳动、能源、用水等各类要素市场化改革,弥合地区间自然资源配置和利用的差距。京津冀应加大对河北的财政转移支付力度,不断完善财政纵向补偿、地区间横向补偿机制,缩小财政支出地区不均衡对差异造成的影响。成渝应通过建立劳动力市场信息共享平台,促进就业机会匹配和人才流动来缩小劳动力生产率差异的影响。另一方面,缩小环境污染治理生产率差距和净碳减排生产率差距是协同提升各区域绿色低碳发展绩效的关键所在,应强化多污染物协同治理和区域联防联控,谋求碳排放权交易市场和排污权交易市场一体化建设,充分发挥范围经济效应,高效推进大气污染和温室气体协同减排。

(3)充分发挥空间溢出效应,形成绿色低碳发展绩效提升合力。首先,黄河流域、长三角和长中游的空间溢出效应显著,应充分发挥高绩效城市的辐射带动作用,持续增进人才、资金、技术的正向溢出,促进低绩效城市提质增效。其次,粤港澳和成渝空间溢出效应不明显,应打造城市间错位化的绿色低碳发展模式,做到优势互补、差异化竞争。特别地,粤港澳在提升广州核心引擎作用的同时,应支持珠海、东莞、中山等节点城市发挥自身优势,形成功能互补的城市间竞合互动机制。最后,京津冀应畅通区域内部生产要素流动机制,依托便捷高效的交通基础设施打破北京的“虹吸效应”,改善负向空间溢出现象。此外,各城市应明确功能定位及分工,在鼓励产业分散发展的同时,河北应选择性地承接产业转移,坚持走可持续发展之路。

参考文献(References):

- [1] 李福柱,张欣然.中国新能源示范城市的绿色低碳发展效应[J]. 资源科学, 2023, 45(8): 1590-1603. [Li F Z, Zhang X R. The green and low-carbon development effect of China's new energy demonstration cities[J]. Resources Science, 2023, 45(8): 1590-

2024年11月

- 1603.]
- [2] 张卓群, 张涛, 冯冬发. 中国碳排放强度的区域差异、动态演进及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(4): 67–87. [Zhang Z Q, Zhang T, Feng D F. Research on regional differences, dynamic evolution and convergence of carbon emission intensity in China[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2022, 39(4): 67–87.]
- [3] 周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J]. 地理学报, 2019, 74(10): 2027–2044. [Zhou L, Che L, Zhou C H. Spatiotemporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(10): 2027–2044.]
- [4] 田时中, 童梦梦. 长三角绿色低碳循环发展的创新驱动机理及效应识别[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(2): 254–270. [Tian S Z, Tong M M. Innovation driving mechanism and effect identification of green and low-carbon circular development in Yangtze River Delta[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(2): 254–270.]
- [5] 武汉大学国家发展战略研究院课题组. 中国实施绿色低碳转型和实现碳中和目标的路径选择[J]. 中国软科学, 2022, (10): 1–12. [Research Group of the National Development Strategy Research Institute of Wuhan University. Path choice for China to implement green low-carbon transformation and achieve carbon neutrality[J]. China Soft Science, 2022, (10): 1–12.]
- [6] 庄贵阳, 王思博, 陈寅岚. 稳经济目标下的绿色低碳转型逻辑[J]. 改革, 2023, (5): 18–28. [Zhuang G Y, Wang S B, Chen Y L. Logic of green-oriented transition under the goal of economic stability[J]. Reform, 2023, (5): 18–28.]
- [7] Wang M X, Zhao H H, Cui J X, et al. Evaluating green development level of nine cities within the Pearl River Delta[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 174: 315–323.
- [8] Choi Y, Zhang N, Zhou P. Efficiency and abatement costs of energy-related CO₂ emissions in China: A slacks-based efficiency measure[J]. Applied Energy, 2012, 98: 198–208.
- [9] 高赢. “一带一路”沿线国家绿色低碳发展绩效研究[J]. 软科学, 2019, 33(8): 78–84. [Gao Y. Study on low-carbon and green development performance for countries along the Belt and Road [J]. Soft Science, 2019, 33(8): 78–84.]
- [10] 段丁允, 冯宗宪. “一带一路”沿线国家数字化发展水平对绿色低碳绿色绩效的影响研究[J]. 经济问题探索, 2023, (5): 158–176. [Duan D Y, Feng Z X. The impact of digital development on low carbon green performance in countries along the Belt and Road[J]. Inquiry into Economic Issues, 2023, (5): 158–176.]
- [11] 杨斌, 杨俊, 王占岐, 等. 长江经济带耕地绿色低碳利用的时空格局及其成因分析[J]. 中国土地科学, 2022, 36(10): 63–71. [Yang B, Yang J, Wang Z Q, et al. Spatial-temporal pattern and attribution of cultivated land green and low-carbon utilization in the Yangtze River Economic Belt[J]. China Land Science, 2022, 36(10): 63–71.]
- [12] 陈明华, 谢琳霄, 李倩, 等. 黄河流域包容性绿色增长绩效评价及地区差距: 基于减污降碳和共同富裕双重目标的经验考察[J]. 资源科学, 2023, 45(3): 564–578. [Chen M H, Xie L X, Li Q, et al. Performance evaluation and regional disparities of inclusive green growth in the Yellow River Basin: An empirical study based on the dual goals of pollution and carbon reduction and common prosperity[J]. Resources Science, 2023, 45(3): 564–578.]
- [13] 丁涛, 黄宇菲, 冯奎, 等. 中国区域低碳经济发展水平测度、区域差距与空间收敛性研究: 来自八大综合经济区的证据[J]. 经济问题探索, 2023, (2): 28–44. [Ding T, Huang Y F, Feng K, et al. Measurement of regional low carbon economic development level, regional differences and spatial convergence in China: Evidence from the eight comprehensive economic zones[J]. Inquiry into Economic Issues, 2023, (2): 28–44.]
- [14] 王珏, 李琳. 国家重大区域发展战略视角下资源型城市绿色转型绩效的地区差距及其政策启示[J]. 自然资源学报, 2023, 38(12): 3041–3057. [Wang J, Li L. Regional disparity in green transformation performance of resource-based cities and its policy enlightenment[J]. Journal of Natural Resources, 2023, 38(12): 3041–3057.]
- [15] 肖沁霖, 邓宗兵. “双碳”目标下生态文明发展差距测度、来源分解及形成机理: 基于重大国家战略区域视角的考察[J]. 经济问题探索, 2024, (3): 172–190. [Xiao Q L, Deng Z B. Measurement, source decomposition and formation mechanism of eco-civilization development gap under the dual carbon goal: Based on the perspective of major national strategies region[J]. Inquiry into Economic Issues, 2024, (3): 172–190.]
- [16] 史利江, 李永宁, 李前锦, 等. 资源型地区地级市绿色发展水平的时空演变及影响因素: 以山西省为例[J]. 经济地理, 2024, 44(1): 77–87. [Shi L J, Li Y N, Li Q J, et al. Spatiotemporal evolution and influencing factors of green development in resource-intensive areas at the municipal level: A case study of Shanxi Province [J]. Economic Geography, 2024, 44(1): 77–87.]
- [17] 林瑒焱, 徐昔保, 王维. 长江经济带绿色发展水平时空分异特征与影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(9): 1822–1833. [Lin G Y, Xu X B, Wang W. Spatiotemporal variation characteristics and influencing factors of green development level in Yangtze River Economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(9): 1822–1833.]
- [18] 陈明华, 张晓萌, 刘玉鑫, 等. 绿色TFP增长的动态演进及趋势预测: 基于中国五大城市群的实证研究[J]. 南开经济研究, 2020, (1): 20–44. [Chen M H, Zhang X M, Liu Y X, et al. Dynamic evolution and trend prediction of green TFP growth: Empirical research based on five urban agglomerations in China[J]. Nankai Economic Studies, 2020, (1): 20–44.]

- [19] 刘华军, 曲惠敏. 黄河流域绿色全要素生产率增长的空间格局及动态演进[J]. 中国人口科学, 2019, (6): 59–70. [Liu H J, Qu H M. Spatial pattern and distribution trend of green total factor productivity in the Yellow River Basin[J]. Chinese Journal of Population Science, 2019, (6): 59–70.]
- [20] 李旭辉, 王经纬, 吴权, 等. “双碳”目标下中国五大重点区域工业绿色发展水平差异及成因识别[J]. 经济地理, 2023, 43(8): 103–112. [Li X H, Wang J W, Wu Q, et al. Differences and cause identification of industrial green development in China's five key regions under the “dual carbon” goal[J]. Economic Geography, 2023, 43(8): 103–112.]
- [21] Tone K, Tsutsui M. An epsilon-based measure of efficiency in DEA: A third pole of technical efficiency[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207: 1554–1563.
- [22] Andersen P, Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1993, 39 (10): 1261–1264.
- [23] 刘华军, 李超. 中国绿色全要素生产率的地区差距及其结构分解[J]. 上海经济研究, 2018, (6): 35–47. [Liu H J, Li C. Regional difference and structural decomposition of green total factor productivity in China[J]. Shanghai Journal of Economics, 2018, (6): 35–47.]
- [24] 邵帅, 尹俊雅, 范美婷, 等. 僵尸企业与低碳转型发展: 基于碳排放绩效的视角[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(10): 89–108. [Shao S, Yin J Y, Fan M T, et al. Zombie firms and low-carbon transformation development: A perspective on carbon emission performance[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2022, 39(10): 89–108.]
- [25] 陈晓兰, 孟庆港, 史佳凝, 等. 中国八大综合经济区生态效率测度及时空演进分析[J]. 经济与管理评论, 2022, 38(2): 109–121. [Chen X L, Meng Q G, Shi J N, et al. Ecological efficiency measurement and analysis of spatial-temporal evolution in eight comprehensive economic areas of China[J]. Review of Economy and Management, 2022, 38(2): 109–121.]
- [26] 师博, 何璐. 黄河流域城市高质量发展的动态演进与区域分化[J]. 经济与管理评论, 2021, 37(6): 15–25. [Shi B, He L. Dynamic evolution and regional divergence of high-quality urban development in the Yellow River Basin[J]. Review of Economy and Management, 2021, 37(6): 15–25.]
- [27] 高赢. 中国八大综合经济区绿色发展绩效及其影响因素研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(9): 3–23. [Gao Y. Study on green development performance and influencing factors in eight comprehensive economic areas of China[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2019, 36(9): 3–23.]
- [28] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952–2006年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, 25(10): 17–31. [Shan H J. Reestimating the Capital Stock of China: 1952–2006[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2008, 25(10): 17–31.]
- [29] 朱媛媛, 张瑞, 顾江, 等. “双碳”目标下长江中游城市群生态福利绩效演变及驱动机制研究[J]. 地理科学进展, 2022, 41(12): 2231–2243. [Zhu Y Y, Zhang R, Gu J, et al. Spatiotemporal evolution and driving mechanism of ecological well-being performance in the urban agglomeration of the middle reaches of the Yangtze River under the carbon peaking and carbon neutrality goals[J]. Progress in Geography, 2022, 41(12): 2231–2243.]
- [30] 陈帝伯, 魏伟, 周俊菊, 等. 中国省域碳源/碳汇强度及碳盈亏的空间演变[J]. 经济地理, 2023, 43(1): 159–168. [Chen D B, Wei W, Zhou J J, et al. Spatial evolution of China's provincial carbon source/sink intensity and carbon surplus and deficit[J]. Economic Geography, 2023, 43(1): 159–168.]

Spatiotemporal differentiation and evolution trend of green and low-carbon development performance in the National Major Strategic Regions

CHEN Minghua, SHI Nan, ZHANG Bianxiu, XIE Linxiao

(School of Economics, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this study was to evaluate the performance of green and low-carbon development in the Major Strategic Regions of China, analyze its spatiotemporal differentiation characteristics and dynamic change, and provide a scientific basis and decision-making refer-

ence for promoting high-quality regional development in a coordinated manner. **[Methods]** Based on the Global-Luenberger index of the super-efficiency EBM model, this study scientifically evaluated the green and low-carbon development performance of China's Major Strategic Regions from 2012 to 2020. Dagum Gini coefficient, variance decomposition, and traditional and spatial kernel density estimation were used to reveal the spatiotemporal differentiation, dynamic change, and long-term transfer trend. **[Results]** (1) During the sample study period, the performance of green and low-carbon development in the Major Strategic Regions has been improved, showing the regional disequilibrium characteristics of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area > Chengdu-Chongqing > Beijing-Tianjin-Hebei > Yangtze River Delta > Yellow River Basin > the middle reaches of the Yangtze River. (2) The spatial difference of green and low-carbon development performance in the Major Strategic Regions was small, showing a trend of decline and then rising over time. Supervariable density difference was the main source of spatial difference. Structural differences mainly depended on technological progress differences, input factors, and undesired output productivity differences. Further subdividing the factors, environmental pollution control productivity differences and net carbon emission reduction productivity differences were the main driving forces for regional disparities in green and low-carbon development performance. (3) The green and low-carbon development performance of the Major Strategic Regions was generally high, but there was a trend of spatial polarization. The green and low-carbon development of all regions was manifested as low-performing cities moved upward, medium-performing cities showed sustainability, and high-performing cities moved downward, and the overall distribution characteristics were reversed. When considering the spatial conditions, the positive spillover effect of neighboring cities in the Yellow River Basin, the middle reaches of the Yangtze River Delta, and the Yangtze River Economic Belt was significant, but the spatial spillover effect of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and Chengdu-Chongqing was not obvious, and the "beggar-thy-neighbor" phenomenon existed in the Beijing-Tianjin-Hebei. **[Conclusion]** In order to establish a new pattern of green and low-carbon development led by the Major Strategic Regions, it is necessary to rationally optimize the spatial layout and scientifically understand the structural differences to jointly improve green and low-carbon development performance, while giving full play to the spatial spillover effect to form a joint force for improving green and low-carbon development performance.

Key words: green and low-carbon development; Global-Luenberger index; Dagum Gini coefficient; kernel density estimation; Major Strategic Regions