

碳排放约束下中国城市绿色发展及空间分布特征

王 婧¹, 杜广杰²

(1. 上海财经大学 城市与区域科学学院, 上海 200433; 2. 兰州财经大学 金融学院, 甘肃 兰州 730101)

摘要: 以 279 个样本城市为研究对象, 构建包含非期望产出的整体 SBM(slack-based measured) 方向性距离函数模型, 以此测度中国城市绿色发展及其空间分布特征。相比于现有研究, 文中从静态视角和动态视角分别测度绿色发展水平和效率, 其中静态视角关注于城市绿色发展的现状, 动态效率测度则有助于理解绿色发展随时间的变化趋势。利用四象限分析法直观地揭示了不同城市的绿色发展状况及趋势, 并识别出在绿色发展水平和效率上表现出优势和劣势的城市。从城市层面来看, 中国绿色发展状况存在向好趋势, 但呈现出较高的空间差异性特征。少部分城市既具有较高的静态发展水平又同时具有高的动态效率, 中国城市高质量绿色发展将出现两级分化态势。

关键词: 绿色发展水平; 绿色发展效率; 测度评价; 静态与动态视角

中图分类号: X22; F299.2

文献标志码: A

Evaluation of Green Development in Chinese Cities Under Carbon Emission Constraints: A Static and Dynamic Quadrant Analysis

WANG Jing¹, DU Guangjie²

(1. School of Urban and Regional Sciences, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China; 2. School of Finance, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730101, China)

Abstract: This paper, using an overall SBM-DDF (slack-based measured directional distance function) model on 279 sample cities, measures and evaluates green development in Chinese cities from both static and dynamic perspectives. The static analysis focuses on the current state of green development, while dynamic efficiency provides insights into development trends. Quadrant analysis identifies cities with strengths and

weaknesses in green development, offering valuable insights for inter-city learning, competition, and cooperation, and the formulation of targeted strategies. Although green development in China is improving from a city-level perspective, it exhibits significant spatial variability. Only a small number of cities have both high static development levels and high dynamic efficiencies. In the future, China's high-quality green development is likely to experience a two-tier differentiation.

Keywords: green development level; green development efficiency; measurement and evaluation; static and dynamic perspectives

随着工业化和城市化的快速发展, 环境恶化、资源枯竭以及气候变化等问题愈发突出。推动绿色发展, 以实现经济社会进步与环境保护的和谐共生, 是中国城市在追求高质量发展过程中必须面对并解决的重要任务。近年来, 关于城市绿色发展的各类研究已经在学术界引发了广泛的关注。学者们从各种不同的角度探讨了如何在城市发展过程中实现经济、社会 and 环境的可持续发展^[1-11]。部分学者将其研究视角聚焦于城市绿色发展的测度, 设计了一系列的评价指标和方法, 如生态足迹^[3]、绿色 GDP^[12-15] 以及基于数据包络分析的评价指标体系^[16] 等, 用于对城市绿色发展的水平和效率进行定量分析。这些研究为理解城市绿色发展的现状、问题和趋势, 以及制定和调整相关政策提供了重要的工具和方法。然而, 现有研究也存在一些问题, 比如指标选择的主观性和局限性、研究范围的空间局限, 以及对绿色发展动态变化的分析不足等。现有研究的城市绿色发展测度评价分析仅基于静态视角, 难以反映绿色发展的动态变化和趋势。针对上述局限性, 本文将采用

收稿日期: 2023-04-30

基金项目: 国家自然科学基金(42071291)

第一作者: 王 婧, 副教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为城市与农村可持续发展, 区域绿色发展。

E-mail: wang.jing@shufe.edu.cn

通信作者: 杜广杰, 副教授, 经济学博士, 主要研究方向为绿色可持续发展, 环境经济学。E-mail: g.du@qq.com



论文
拓展
介绍

基于整体前沿面的包含非期望产出的SBM-DDF方法(slacks-based measure directional distance function with undesirable outputs)对碳排放约束下中国城市绿色发展进行测度评价研究,从静态视角和动态视角评估城市的绿色发展水平和绿色发展效率,进而提出针对中国城市绿色发展的政策建议,为城市绿色发展提供科学依据和参考。

1 中国城市绿色发展的评价测度框架

本文构建的城市绿色发展测度评价框架大致如下:①基于环境技术概念构建资源环境约束下的整体最优生产前沿。②基于方向性距离函数测度环境技术效率,进而将其转换为绿色发展水平测度指标。③基于Luenberger生产率测度绿色发展动态演变趋势,以此衡量城市绿色发展效率。基于环境技术概念的整体最优生产前沿,可以综合考虑资源、环境和经济效益的多重约束和目标,从而更全面、准确地描述城市的绿色发展可能性和潜力。由此能以一个统一的、可比较的指标来衡量不同城市在同等资源和环境条件下的绿色发展水平,直观、具体地反映城市绿色发展。基于Luenberger生产率指数的绿色发展动态演变趋势测度,可以揭示城市绿色发展的时间变化和趋势,深入、动态地理解城市的绿色发展进程。

1.1 整体最优生产前沿的构建

将样本城市作为决策单元,假定各决策单元在每一时期 t 使用 N 项投入要素,生产得到 M 项期望产出,同时伴随这一生产过程将不可避免地产生 I 项非期望产出。由此可将生产可能性集合定义为

$$\Psi^t = \left\{ (x^t, y^t, b^t) \in \mathbf{R}_+^{N+M+I} : \sum_{j=1}^J \lambda_j x_{nj}^t \leq x_n^t, \forall n \right. \\ \left. \sum_{j=1}^J \lambda_j y_{mj}^t \geq y_m^t, \forall m \quad \sum_{j=1}^J \lambda_j b_{ij}^t = b_i^t, \forall i \right. \\ \left. \sum_{j=1}^J \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, \quad \forall j \right\} \quad (1)$$

式中: Ψ^t 中边界点的集合构成了最优生产前沿,由于这一前沿面是通过当期样本数据测度得到的,因此被称为当期生产前沿; x^t, y^t, b^t 分别为 t 时期投入、期望产出、非期望产出向量; N, M, I 分别为投入要素、期望产出、非期望产出的种类; n, m, i 分别为其中的某一种要素; λ 为与各要素所对应的权重; J 为DEA模型中决策单元DMU(decision making unit)

的数量,索引变量 j 表示其中的某一个DMU。传统DEA模型中所使用的当期生产前沿会导致环境主要要素生产率测度结果不满足传递性,且其计算过程中容易出现不可行解等问题。鉴于上述缺陷,本文将利用一种新的整体生产前沿构造方法,使得构建的最优生产前沿更加符合经验现实(式2)。

$$\Psi^0 = \bigcup_{t=1}^T \Psi^t = \{ (x, y, b) \in \mathbf{R}_+^{N+M+I} : \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^1 x_{nj}^1 \leq x_n, \forall n \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^T x_{nj}^T \leq x_n, \forall n \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^1 y_{mj}^1 \geq y_m, \forall m \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^T y_{mj}^T \geq y_m, \forall m \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^1 b_{ij}^1 = b_i, \forall i \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^T b_{ij}^T = b_i, \forall i \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^1 = 1, \lambda_j^1 \geq 0, \forall j \\ \sum_{j=1}^J \lambda_j^T = 1, \lambda_j^T \geq 0, \forall j \} \quad (2)$$

1.2 绿色发展水平与绿色发展效率的测算

本文将整体最优生产前沿与SBM方向性距离函数相结合,构造非径向的整体SBM方向性距离函数(overall SBM-DDF),具体构造方式如式(3)所示。

$$\bar{D}^0(x_k^t, y_k^t, b_k^t; g^x, g^y, g^b) =$$

$$\left(\max_{\frac{1}{3}} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{s_{nk}^{xt}}{g_n^x} + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_{mk}^{yt}}{g_m^y} + \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \frac{s_{ik}^{bt}}{g_i^b} \right] \right. \\ \left. \text{s.t.} \sum_{j=1}^J \lambda_j^s x_{nj}^s + s_{nk}^{xt} = x_k^t \quad \forall n \right. \\ \left. \sum_{j=1}^J \lambda_j^s y_{mj}^s - s_{mk}^{yt} = y_k^t \quad \forall m \right. \\ \left. \sum_{j=1}^J \lambda_j^s b_{ij}^s + s_{ik}^{bt} = b_k^t \quad \forall i \right. \\ \left. \sum_{j=1}^J \lambda_j^s = 1, \lambda_j^s \geq 0 \quad \forall j \forall s \right. \\ \left. s_{nk}^{xt} \geq 0 \quad \forall n; s_{mk}^{yt} \geq 0 \quad \forall m; s_{ik}^{bt} \geq 0 \quad \forall i \right) \quad (3)$$

式中: $\vec{D}^0(x_k^t, y_k^t, b_k^t; g^x, g^y, g^b)$ 衡量了DMU_k在 t 时期的生产点与整体生产前沿面的距离,表征了资源环境约束下的无效率值。如果DMU_k位于最优生产前沿面上,则 $\vec{D}^0=0$;如果生产是无效率的,则 $\vec{D}^0>0$,其值越大无效率程度越高。其中, s 表示各时期 t 每一个DMU的各项投入要素、期望产出、非期望产出的松弛值,即投入松弛值表示相比前沿面上的理想水平还可减少的投入量,期望产出松弛值表示还可增加的期望产出量,非期望产出松弛值表示还可减少的非期望产出量。 g 则表示对应的方向向量,即投入要素减少、期望产出增加、非期望产出减少的方向。

基于SBM方向性距离函数,式(3)能够测度各城市的环境技术效率,而这一指标是负向指标,即取值越大则城市的环境技术效率越低。本文将进一步利用式(4)将其转换为正向指标,以此衡量各城市的绿色发展水平GDL(green development level)。

$$GDL = \frac{1 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{s_{nk}^{xt}}{g_n^x}}{1 + \frac{1}{M+I} \left(\sum_{m=1}^M \frac{s_{mk}^{yt}}{g_m^y} + \sum_{i=1}^I \frac{s_{ik}^{bt}}{g_i^b} \right)} \quad (4)$$

在SBM方向性距离函数的基础上,可进一步通过Luenberger生产率指标测度绿色发展水平的动态变动效率。Luenberger生产率指标具有基于差分的相加结构,是Malmquist以及Malmquist-Luenberger指数的一般化形式,由此测度得到各城市的绿色发展效率GDE(green development efficiency)。

$$GDE(t, t+1) = \vec{D}^0(t) - \vec{D}^0(t+1) \quad (5)$$

2 中国城市绿色发展的测度结果及时空特征

2.1 数据与变量说明

本文选取中国279个地级及以上城市作为研究对象,样本期跨度为2011—2019年。综合现有研究及数据可得性,选取的投入要素指标包括资本、劳动、能源等。本文将地区生产总值(GRP)作为期望产出,而将工业废水、工业SO₂、工业烟尘、CO₂、PM_{2.5}等作为非期望产出。各类研究指标的数据主要来自《中国城市统计年鉴》以及各省市历年统计公报。各城市PM_{2.5}浓度数据来自美国国家航空航天局(NASA)公布的卫星遥感数据。

2.2 绿色全要素生产率测度结果

基于中国279个地级及以上城市的投入产出数据,本文计算了样本期内中国城市绿色发展水平与绿色发展效率(图1为各年份城市测度结果,表1给出了代表性城市测度均值)。表1中包括各代表性城市绿色发展水平与绿色发展效率年均值,从城市层面来看中国绿色发展具有较高的空间差异性特征,存在两级分化趋势。从静态视角来看,长沙、深圳、巴中、广州、青岛、克拉玛依、鹤岗、哈尔滨等城市具有较高的绿色发展水平,测度结果分别为0.99、0.95、0.95、0.91、0.90、0.83、0.80;而银川、西宁、贵阳、兰州、邯郸、邢台、乌鲁木齐等城市的绿色发展水平较低,分别为0.31、0.32、0.32、0.35、0.37、0.39、0.40。从动态视角来看,广州、昆明、鹤岗、青岛、上海、开封、北京、大连等城市具有较高的绿色发展效率,测度结果分别为0.091、0.082、0.079、0.071、0.068、0.067、0.060、0.058,这些城市的绿色发展具有较高的向上发展趋势;而巴中、苏州、沧州、呼和浩特、西宁、白银、吉林、东营、石家庄、沈阳等城市在样本期内绿色发展效率为负值,出现绿色发展退步现象。

3 基于四象限分析法的中国城市绿色发展评价

本文以绿色发展水平和发展效率两个维度衡量城市的绿色发展程度,基于四象限法将城市分为4类。以绿色发展水平为X轴,绿色发展效率为Y轴,建立城市绿色发展评估直角坐标系,得到4个象限方块:第一象限是高水平高效率模块(H-H),第二象限是低水平高效率模块(L-H),第三象限是低水平低效率模块(L-L),第四象限是高水平低效率模块(H-L)。二维四象限图能直观地表示各城市所处的象限和水平,有利于分析城市发展现状和提出改进路径(图2)。目前279个样本城市主要集中于L-H象限(99个),占样本城市总数的35.5%。L-L象限内的城市数量为82个,占比29.4%,H-L象限内的城市数量为52个,占比18.6%,H-H象限内的城市数量为46个,占比16.5%。从全部样本城市来看,中国城市绿色发展水平与绿色发展效率呈现出一定的负相关关系,主要位于四象限图中的L-H象限,即绿色发展水平较低的城市具有相对较高的绿色发展效率。大部分城市在具有较低的静态绿色发展水平同时又具有相对较高的动态发展效率,构成了中国

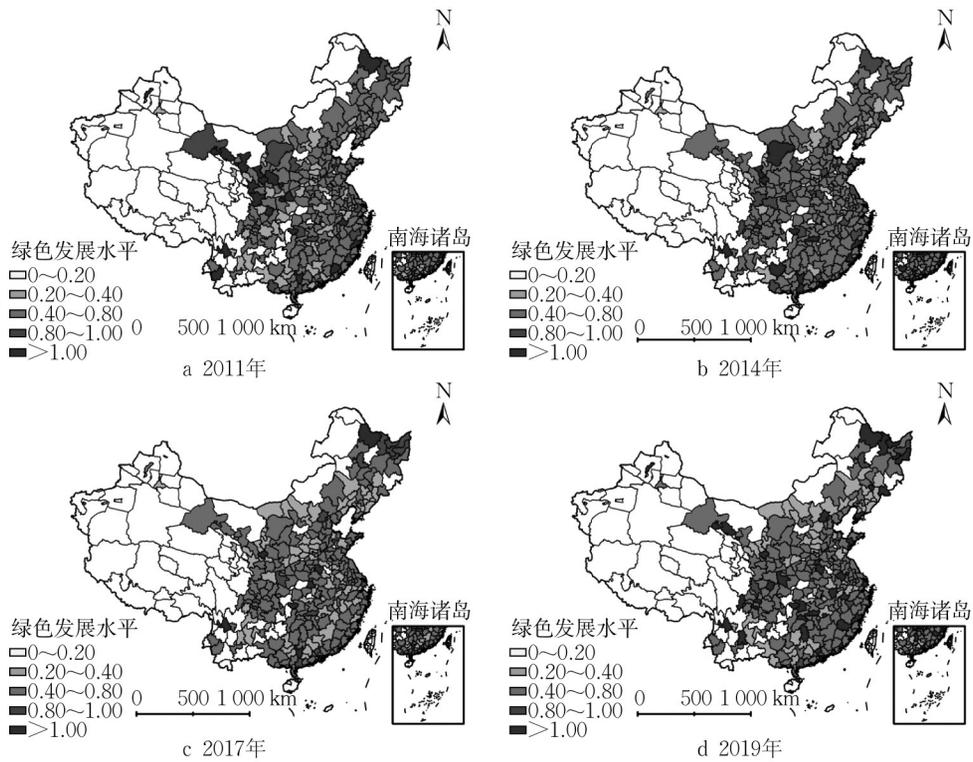


图 1 中国城市绿色发展水平的空间分布(2011—2019年)

Fig. 1 Spatial distribution of green development level of Chinese cities (2011-2019)

表 1 代表性城市绿色发展水平与绿色发展效率测度结果

Tab. 1 Measurement results of green development level and green development efficiency for representative cities

城市	GDL	GDE	城市	GDL	GDE	城市	GDL	GDE
北京	0.732	0.060	大庆	0.778	0.015	长沙	0.999	0.046
天津	0.611	0.005	上海	0.780	0.068	广州	0.910	0.091
沧州	0.640	-0.025	南京	0.517	0.020	深圳	0.953	0.035
廊坊	0.587	0.007	徐州	0.517	0.017	海口	0.789	0.048
长治	0.452	0.002	苏州	0.666	-0.052	重庆	0.455	0.014
石家庄	0.471	-0.010	连云港	0.477	0.041	成都	0.641	0.003
呼和浩特	0.655	-0.020	扬州	0.589	-0.001	攀枝花	0.437	-0.001
唐山	0.551	-0.006	杭州	0.577	0.027	眉山	0.478	0.002
沈阳	0.522	-0.010	合肥	0.557	0.018	巴中	0.945	-0.070
大连	0.654	0.058	景德镇	0.489	0.006	贵阳	0.319	0.021
秦皇岛	0.480	-0.004	济南	0.659	0.024	昆明	0.474	0.082
辽阳	0.470	0.011	青岛	0.898	0.071	兰州	0.352	0.015
吉林	0.405	-0.016	东营	0.704	-0.013	白银	0.456	-0.016
邯郸	0.370	-0.008	郑州	0.524	0.026	西宁	0.318	-0.017
哈尔滨	0.792	0.039	开封	0.599	0.067	银川	0.314	-0.005
鹤岗	0.804	0.079	南阳	0.504	0.005	乌鲁木齐	0.399	0.007
邢台	0.393	-0.005	武汉	0.607	0.024	克拉玛依	0.826	-0.005

城市高质量绿色发展的基本特征。位于H-H象限内的城市处于高绿色发展水平-高绿色发展效率的阶段,这类城市的典型特征是现阶段绿色发展水平较高并且在未来一段时间内绿色发展将继续保持或继续向上提升,城市处于良好的高质量绿色发展状态。这类城市的绿色发展水平值普遍高于样本平均水平,同时具有正向的绿色发展效率,城市高质量绿

色发展呈现向好趋势。这类城市共有46个,包含北京、青岛、大连、自贡、伊春、海口、长沙、资阳、哈尔滨、牡丹江、周口、汕尾、黑河、深圳、常德、丽江、长春、济南等。其中北京、天津是典型的H-H象限城市,绿色发展水平高于样本总体均值,而同时具有相对较高的绿色发展效率。对于这类城市,由于其经济发展状况良好以及较高的环境规制强度,能够在

绿色信贷、绿色技术创新等方面具有相对较大的支持力度,从而使其同时具有较高的绿色发展水平与绿色发展效率。第二类城市处于低绿色发展水平—高绿色发展效率的L-H象限,这类城市的现阶段绿色发展水平较低,社会经济发展过程中对资源环境的利用并不合理,但另一方面这种不合理现象正在逐渐改善,城市绿色发展在未来存在改进的可能。这些城市的当前绿色发展水平低于样本平均水平,但普遍具有正向的绿色发展效率,低水平的绿色发展现状在未来存在正向提升的可能。这类城市共有99个,包含三明、昆明、永州、新余、开封、娄底、绵阳、萍乡、衢州、衡阳、信阳、连云港、珠海、九江等城市。这些城市的现阶段绿色发展存在一定问题,应关注城市产业升级、高新技术与绿色技术等方面的问题,为绿色发展水平的正向提升创造积极条件,从而有可能摆脱绿色发展相对落后的局面。第三类城市处于低绿色发展水平—低绿色发展效率的L-L象限内,这类城市的普遍特征是普遍较低的绿色发展水平,并且在未来存在持续恶化的可能。绿色发展水平低于样本均值,而绿色发展效率普遍低于零值。这类城市共有82个,包括莆田、扬州、平顶山、攀枝花、北海、中山、晋城、云浮、淄博、抚州、阜阳、百色、淮北、黄石、秦皇岛等城市。L-L象限内的城市绿色发展水平低于其他城市,而绿色发展效率则为显著负值。这类城市的社会经济发展过程中造成了较为严重的资源浪费与环境污染等现象,社会经济系统的发展与资源环境系统“格格不入”,无法实现二者的有效统一协调。这类城市的经济发展在较大程度上依赖于高污染、高能耗、高排放产业,绿色技术发展水平较低,进而导致其较低的绿色发展水平。这类城市需要有效规划自身产业经济各部分的发展,重点关注高能耗、高污染行业的现状,在这些领域通过产业转移、引进外部绿色产业等手段取得突破,以此改变自身低水平的绿色发展现状。第四类城市处于高绿色发展水平—低绿色发展效率的H-L象限,这类城市的现阶段绿色发展水平较高,但其较低的绿色发展效率限制了其绿色发展进一步提升的可能,而是存在绿色发展恶化的倾向。这类城市共有52个,包括南通、平凉、威海、随州、丽水、福州、克拉玛依、济宁、茂名、河池、无锡、黄山、东营、内江、揭阳、聊城等城市。对于这类城市需要根据自身的类型因地制宜地制定出与自身特征相符合的改进策略,避免其绿色发展水平的继续下降。

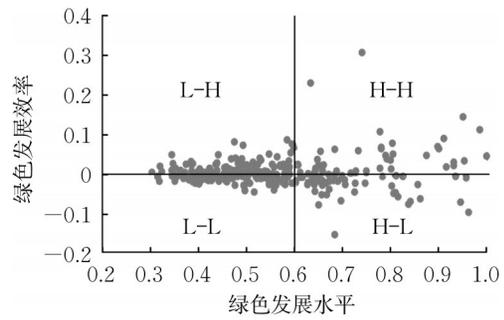


图2 中国城市绿色发展水平与绿色发展效率的四象限分析
Fig. 2 Four-quadrant analysis of green development level and green development efficiency of Chinese cities

4 结论

绿色发展强调经济、社会和环境之间的协调发展,旨在减少对自然资源的消耗和对环境的负面影响。本文从静态和动态的视角测度了城市绿色发展水平和绿色发展效率,全面评估了中国279个地级及以上城市的高质量绿色发展现状。研究表明,虽然中国城市高质量绿色发展有向好的趋势,但存在显著的空间差异性。绿色发展水平的空间分布呈现双峰分布特征,反映出两级分化趋势;绿色发展效率则围绕零值呈现典型的单峰分布态势。少数城市同时具备较高的静态发展水平和高的动态效率,预示着未来中国城市高质量绿色发展可能出现两级分化态势。从高质量绿色发展的四象限分析结果来看,279个样本城市主要集中在H-H象限和L-H象限。H-H象限内的城市处于高绿色发展水平—高绿色发展效率的阶段,这类城市的典型特征是当前绿色发展水平高,且预期在未来一段时间内绿色发展将继续保持或进一步提升,表现出良好的高质量绿色发展态势。相反,L-H象限内的城市绿色发展水平相对较低,社会经济发展过程中对资源环境的利用存在不足,但这种情况正在逐步改善。总的来说,中国城市的高质量绿色发展在未来有进一步提升的潜力。

本文研究揭示了中国城市绿色发展过程中的复杂性与动态性。中国正处于一个复杂的绿色转型阶段,大多数城市的绿色发展具有巨大的提升潜力,但存在二元分化特征,不同城市在绿色发展策略与政策上可能存在差异。对于政策制定者而言,需要认识到中国城市在绿色发展上的二元分化特性,并根据城市的具体情况制定差异化的绿色发展策略。此外,建立一个持续监测和评估城市绿色发展动态变

化的机制至关重要。城市绿色发展是一个长期过程,需要通过建立绿色发展动态评价体系从而及时掌握城市绿色发展的动态变化,发现问题并及时进行调整和改进,以保证绿色发展目标的实现。在推动智慧城市建设与绿色发展的有机融合过程中,建立完善的绿色发展评价体系非常关键。通过建立合理的指标体系和评价方法,可以更全面、准确地反映城市绿色发展的实际情况,为城市绿色转型和智慧城市建设提供科学指导。

作者贡献声明:

王婧:构建研究思路,设计论文框架,撰写并修改论文。

杜广杰:数据收集与整理,实证分析,撰写并修改论文。

参考文献:

- [1] 李仲铭,付伟,罗明灿,等.基于三维生态足迹模型的云南绿色发展评价[J].西南林业大学学报(社会科学版),2022,6(3):19.
LI Zhongming, FU Wei, LUO Mingcan, *et al.* Evaluation of green development in Yunnan province based on three dimensional ecological footprint model [J]. Journal of Southwest Forestry University (Social Sciences), 2022, 6(3): 19.
- [2] 王习丹.基于生态足迹减量的河南省房地产绿色转型研究[D].郑州:郑州大学,2021.
WANG Xidan. Research on green transformation of real estate in Henan province based on ecological footprint reduction [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2021.
- [3] 李姣,周翠烟,张灿明,等.基于生态足迹的湖南省洞庭湖生态经济区全要素生态效率研究[J].经济地理,2019,39(2):199.
LI Jiao, ZHOU Cuiyan, ZHANG Canming, *et al.* Study on total factor ecological efficiency of Dongting lake ecological economic zone in Hunan province based on ecological footprint [J]. Economic Geography, 2019, 39(2): 199.
- [4] 王奥阳.东辽河流域资源环境生态承载力综合评价[D].长春:东北师范大学,2022.
WANG Aoyang. Comprehensive evaluation of resource environment carrying capacity in Dongliao river basin [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2022.
- [5] 李琳,陈波平.中国的生态足迹与绿色发展[J].中国人口·资源与环境,2012,22(5):63.
LI Lin, CHEN Boping. China's ecological footprint and green development [J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(5): 63.
- [6] 诸大建.绿色经济新理念及中国开展绿色经济研究的思考[J].中国人口·资源与环境,2012,22(5):40.
ZHU Dajian. New ideas of green economy and reflections on China's green economy research [J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(5): 40.
- [7] 于丽英,冯之浚.城市循环经济评价指标体系的设计[J].长沙理工大学学报(社会科学版),2005(4):39.
YU Liying, FENG Zhijun. Design of evaluation index system for circular economy of cities [J]. Journal of Changsha University of Science and Technology (Social Sciences), 2005(4): 39.
- [8] 沈晓艳,王广洪,黄贤金.1997—2013年中国绿色GDP核算及时空格局研究[J].自然资源学报,2017,32(10):1639.
SHEN Xiaoyan, WANG Guanghong, HUANG Xianjin. Study on China's green GDP accounting and spatial pattern from 1997 to 2013 [J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(10): 1639.
- [9] 张丽君,秦耀辰,张金萍,等.基于EMA-MFA核算的县域绿色GDP及空间分异——以河南省为例[J].自然资源学报,2013,28(3):504.
ZHANG Lijun, QIN Yaochen, ZHANG Jinping, *et al.* County green GDP accounting and spatial differences based on EMA-MFA: a case study of Henan province [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(3): 504.
- [10] 季铸,白洁,孙瑾,等.中国300个省市绿色经济与绿色GDP指数(CCGEI2011)绿色发展是中国未来的唯一选择[J].中国对外贸易,2012,514(2):24.
JI Zhu, BAI Jie, SUN Jin, *et al.* China's 300 provincial and municipal green economy and green GDP indexes (CCGEI2011) green development is China's only choice for the future [J]. China Foreign Trade, 2012, 514(2): 24.
- [11] 夏泰凤,董瑞芝.可持续发展与绿色发展战略[J].农村经济与科技,2005(5):6.
XIA Taifeng, DONG Ruizhi. Sustainable development and green development strategy [J]. Rural Economy and Science & Technology, 2005(5): 6.
- [12] ZHANG H, WANG Y, LI R, *et al.* Can green finance promote urban green development? Evidence from green finance reform and innovation pilot zone in China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(5): 12041.
- [13] ZHUO C, XIE Y, MAO Y, *et al.* Can cross-regional environmental protection promote urban green development: zero-sum game or win-win choice? [J]. Energy Economics, 2022, 106: 105803.
- [14] ZHOU L, ZHOU C, CHE L, *et al.* Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2020, 30: 724.
- [15] CUI H, LUI Z. Spatial-temporal pattern and influencing factors of the urban green development efficiency in Jing-Jin-Ji region of China [J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2021, 30(2): 1079.
- [16] YANG Q, WAN X, MA H. Assessing green development efficiency of municipalities and provinces in China integrating models of super-efficiency DEA and Malmquist index [J]. Sustainability, 2015, 7(4): 4492.