

中国绿色产业发展综合实力评价及动态比较

吴圆圆, 赵胜利*, 陈思瑞, 蒋秀月, 彭德烺

重庆理工大学理学院, 重庆

收稿日期: 2025年2月26日; 录用日期: 2025年3月21日; 发布日期: 2025年3月31日

摘要

联合国环境规划署的统计分析表明, 20世纪90年代初, 世界各国每年排入大气中的有害气体达10亿吨以上, 有1800万公顷的森林从地球上消失, 600万公顷的土地变成了沙漠。同期, 我国每年废气排放量(不含乡镇企业)超过10万亿立方米, 草原严重退化面积超过9000万公顷。绿色发展成为平衡经济与生态的关键, 绿色产业成为产业结构调整新方向, 对绿色产业实力进行综合评价是发展绿色产业的必要环节。本文以《绿色产业指导目录(2019年版)》为主导, 从绿色生产、绿色消费、绿色环境以及数字经济4个层面选取了17个指标, 使用因子分析法对指标体系进行优化, 最终保留了14个指标。在此基础上使用熵值-TOPSIS法与空间统计方法, 对2012~2021年中国绿色产业实力的空间分布特征进行了系统分析, 并深入探究了各省绿色产业发展综合实力的区域聚集性, 可得到如下结论。2012~2021年我国绿色产业实力, 各省市绿色产业发展水平总体呈东部、南部地区发展水平较高, 西部、北部地区发展水平较低的趋势。2021年, 广东、江苏、浙江、上海、北京绿色产业发展实力位居前五, 除首都北京之外, 其余4个城市均为沿海城市; 西藏、青海、新疆、宁夏、甘肃绿色产业发展水平较差, 这5个城市均位于西北地区, 西北地区生态环境脆弱, 生态承载能力相对较低, 并且交通基础设施薄弱, 导致该地区经济较为落后, 从而致使绿色产业发展水平较差。2012年~2021年中国各省绿色产业实力显著存在正的空间聚集性, 即高-高型聚集和低-低型聚集, 并且空间聚集效应一直处于较强的状态。从2021年局部地区绿色产业实力的空间聚集情况来看, 江苏、浙江、福建呈现出显著的高-高型空间自相关特征, 安徽、江西、海南呈现出显著的低-高型空间自相关特征, 四川呈现出显著的高-低型空间自相关特征, 西藏、新疆、青海、甘肃、内蒙古、宁夏呈现出显著的低-低型空间自相关特征。我国各省市自治区(不含港澳台)绿色产业实力具有显著的空间差异, 高-高型聚集主要在东部沿海地区, 低-低型聚集主要在西部、北部地区。

关键词

绿色产业, 综合评价, 空间统计

Comprehensive Strength Evaluation and Dynamic Comparison of China's Green Industry Development

*通讯作者。

文章引用: 吴圆圆, 赵胜利, 陈思瑞, 蒋秀月, 彭德烺. 中国绿色产业发展综合实力评价及动态比较[J]. 国际会计前沿, 2025, 14(2): 300-315. DOI: 10.12677/fia.2025.142038

Yuanyuan Wu, Shengli Zhao*, Sirui Chen, Xiuyue Jiang, Deyang Peng

College of Science, Chongqing University of Technology, Chongqing

Received: Feb. 26th, 2025; accepted: Mar. 21st, 2025; published: Mar. 31st, 2025

Abstract

According to statistical analysis by the United Nations Environment Programme, in the early 1990s, countries around the world emitted over 1 billion tons of harmful gases into the atmosphere each year, causing 18 million hectares of forests to disappear from the earth and 6 million hectares of land to become deserts. During the same period, China's annual exhaust emissions (excluding township enterprises) exceeded 10 trillion cubic meters, and the severely degraded grassland area exceeded 90 million hectares. Green development has become the key to balancing the economy and ecology, and green industries have become a new direction for industrial restructuring. Comprehensive evaluation of the strength of green industries is a necessary link in developing green industries. This article focuses on the "Green Industry Guidance Catalogue (2019 Edition)" and selects 17 indicators from four levels: green production, green consumption, green environment, and digital economy. Factor analysis is used to optimize the indicator system, and ultimately 14 indicators are retained. On this basis, the entropy TOPSIS method and spatial statistical methods were used to systematically analyze the spatial distribution characteristics of China's green industry strength from 2012 to 2021, and to deeply explore the regional clustering of the comprehensive strength of green industry development in each province. The following conclusions can be drawn. From 2012 to 2021, China's green industry strength showed an overall trend of higher development levels in the eastern and southern regions, and lower development levels in the western and northern regions of various provinces and cities. In 2021, Guangdong, Jiangsu, Zhejiang, Shanghai, and Beijing ranked among the top five in terms of green industry development strength. Except for the capital Beijing, the other four cities are all coastal cities. The green industry in Xizang, Qinghai, Xinjiang, Ningxia, and Gansu is at a poor level of development. These five cities are all located in the northwest region. The ecological environment in the northwest region is fragile, the ecological carrying capacity is relatively low, and the transportation infrastructure is weak, leading to the backwardness of the region's economy, which leads to a poor level of green industry development. From 2012 to 2021, there was a significant positive spatial clustering of green industry strength in various provinces of China, namely high-high clustering and low-low clustering, and the spatial clustering effect has been in a strong state. From the perspective of spatial agglomeration of green industry strength in some regions in 2021, Jiangsu, Zhejiang and Fujian show significant high-high spatial autocorrelation characteristics, Anhui, Jiangxi and Hainan show significant low high spatial autocorrelation characteristics, Sichuan shows significant high low spatial autocorrelation characteristics, and Xizang, Xinjiang, Qinghai, Gansu, Inner Mongolia and Ningxia show significant low-low spatial autocorrelation characteristics. There are significant spatial differences in the strength of green industries among various provinces, municipalities, and autonomous regions in China (excluding Hong Kong, Macao, and Taiwan). High-high clusters are mainly located in the eastern coastal areas, while low-low clusters are mainly located in the western and northern regions.

Keywords

Green Industry, Comprehensive Evaluation, Spatial Statistics

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自工业革命爆发以来,科技的飞速进步为人类带来了前所未有的物质繁荣和享受,但这一进程也伴随着大量资源消耗和环境严重破坏等不可逆的代价[1]。如今,世界各国都面临着资源短缺和环境恶化的严峻挑战,这需要世界各国共同努力,寻求可持续发展的道路。联合国环境规划署的统计分析表明,20世纪90年代初,世界各国每年排入大气中的有害气体达10亿吨以上,有1800万公顷的森林从地球上消失,600万公顷的土地变成了沙漠[2]。同期,我国每年废气排放量(不含乡镇企业)超过10万亿立方米,草原严重退化面积超过9000万公顷。为了促成经济发展与生态环境保护之间的和谐平衡,人类必须从可持续发展角度认真考虑绿色发展问题[3],绿色产业已然成为全球产业结构调整的新方向。

世界各国对绿色产业的发展展现出了坚定的决心,将其视为经济发展的重要引擎,各国政府纷纷出台长期战略和短期行动计划,为实现经济社会与生态环境的和谐共生。2008年10月,联合国环境署第10届特别理事会暨全球环境部长论坛提出了“全球绿色新政”和“发展绿色经济”的倡议,呼吁全球从“褐色经济”向“绿色经济”转变[4]。2015年,联合国大会第七十届会议通过《2030年可持续发展议程》,强调了平衡、包容、绿色发展[5]。欧美发达国家也相继提出了绿色产业发展规划。美国在绿色产业发展领域处于全球领先地位,2005年通过了《美国能源政策法案》,2007年提出了《低碳经济法案》,2009年通过了《美国清洁能源与安全法案》,2015年推出了《清洁能源计划》。日本作为一个资源匮乏的国家,为扭转能源长期对外依赖,1999年出台了《合理用能及再生资源利用法》,2009年提出了《绿色经济与社会变革》,2012年出台了《促进城市低碳化法》,大力发展低碳可循环的绿色产业。德国在发展绿色产业方面出台了一系列政策方针,1996年实施了《循环经济与废弃物管理法》,2000年实施了《可再生能源优先法》,2023年通过了《能源效率法》。2010年,韩国颁布了《低碳绿色增长基本法》,对绿色产业的增长产生了重大影响[6];2021年,通过了《碳中和与绿色增长框架法》。

中国非常重视绿色产业的发展,党的十八大、十九大以及二十大均强调了推进“绿色发展”,促进人与自然和谐共生[7]。同时中国也有一系列法规与政策框架,为绿色产业的发展提供保障,如2009年施行了《循环经济促进法》,2015年印发了《生态文明建设纲要》,2019年国家发展改革委会同有关部门印发了《绿色产业指导目录(2019年版)》,2020年发布了《关于加快建立绿色生产和消费法规政策体系的意见》,2024年国务院常务会议审议通过了《碳排放权交易管理暂行条例(草案)》。在绿色创新发展成为时代主旋律的背景下,我国绿色产业事业正如火如荼地推进。对全国绿色产业的发展状况进行科学评价,对于我国经济的高质量发展和可持续发展具有重要的意义。

评价是发展绿色产业的必要环节,绿色产业发展综合实力评价指标尚未达成共识,学者们通常从不同层面构建评价指标体系,使用不同评价方法对绿色产业发展综合实力进行评价。Weng Q Q等基于“Five-Circle”模型提出了绿色发展评价指标体系,并采用主客观权重相结合的方法对我国核心经济区京津冀的绿色发展情况进行了评价[8]。尹艳冰从经济、生态环境、社会评价3个维度出发,构建了绿色产业发展水平评价指标体系,采用网络层次分析法构建了评价模型[9]。朱斌等从绿色效益、绿色利用、绿色制造、绿色控制、绿色管理5个维度出发,构建了福建省绿色产业发展水平评价指标体系,并使用熵值法改进的灰局势决策模型分析福建省各区域绿色产业发展变化趋势[10]。李琳等从产业绿色增长度、资源环境承载力、政府政策支撑力3个维度出发,构建了绿色产业发展指数评价指标体系[11]。杨丽等从基础竞争力、科技竞争力、环境竞争力3个维度出发,构建了云南省绿色产业发展综合实力评价指标体系[12]。Yuan Q Q采用绿色产业绩效(GIPer)和绿色产业进步(GIPro)两个指标对绿色产业发展水平进行测度[13]。李杰从发展基础、发展质量和发展动力3个维度出发,构建了绿色产业发展综合实力评价指标体系[14]。Chen L L从经济、能源和环境3个维度出发,利用非期望SBM模型和Malmquist指数模型测算和分析了

中国区域绿色环境效率的演化特征和区域差异[15]。段翀、杜永强、毛心怡、张彩霞、邢晓卫等均从绿色生产、绿色消费、绿色环境 3 个维度出发,构建了不同地区的绿色产业发展水平评价指标体系[16]-[21]。有部分学者建立了绿色产业发展综合实力评价指标体系,但未进行实证分析。不同学者在评价绿色产业发展实力时选择的指标不一致,但大部分学者是从绿色生产、绿色消费、绿色环境三个维度选取指标,并且聚焦于某一地区进行研究,对中国整体绿色产业发展综合实力及其空间分布特征的研究较少。

基于上述文献可以看出,国际社会尚未就绿色产业概念、绿色产业发展水平评价指标体系达成共识。近几年对绿色产业发展综合实力评价的研究颇多,学者们从不同维度构建了评价指标体系,使用不同方法计算评价得分。但目前多数学者聚焦于某一地区的研究,对中国整体绿色产业发展综合实力及其空间分布特征的研究较少。本文在学者们的研究成果及其经验的基础上,以《绿色产业指导目录(2019 年版)》为主导,参考了大量文献。以往研究绿色产业综合评价指标体系的学者通常包括了绿色生产、绿色消费、绿色环境三个层面,但部分学者[22][23]发现:数字经济与绿色产业有一定关联性,并且数字经济对绿色产业发展效率有较明显正面影响作用。故在绿色产业综合评价指标体系中加入了数字经济这一层面的相关指标,完善了原有的系统层。在加入了数字经济这一指标后,为处理多个变量之间可能存在高度的相关性、去除冗余的变量,使用因子分析法对指标体系进行优化。使用优化后的指标体系对中国绿色产业实力进行综合评价,对各省市区绿色产业实力进行空间统计分析。

本文研究路线如图 1 所示。

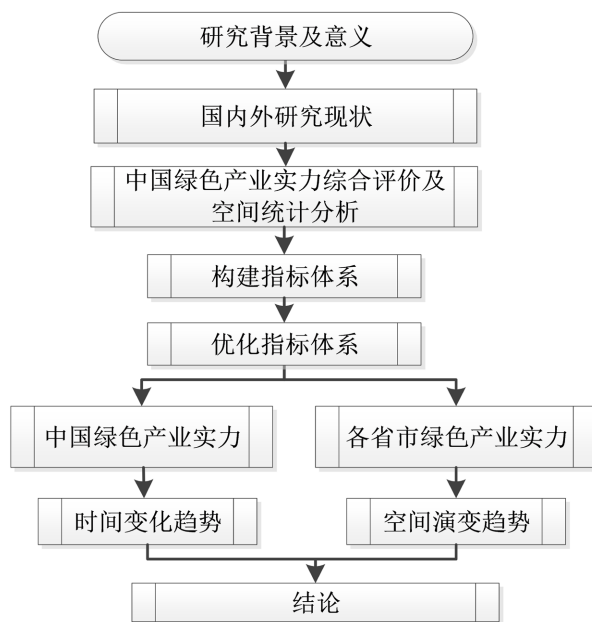


Figure 1. Technology roadmap

图 1. 研究路线

2. 绿色产业发展综合实力评价指标体系的构建

2.1. 指标体系的构建

2019 年,国家发展改革委、工业和信息化部、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、中国人民银行、国家能源局联合印发了《绿色产业指导目录(2019 年版)》,提出了绿色产业发展重点。以《绿色产业指导目录(2019 年版)》为主导,结合大量文献,借鉴杜永强[17]、毛心怡[18]、徐素波[24]、石宝峰

[25][26]、顾在浜[27]、陈洪海[28]、尹彤[22]、姜达洋[23]、周颖[29]等学者构建的绿色产业发展评价指标体系，基于指标体系构建的全面性、科学性、可行性等基本原则，在确保数据真实有效并且可获得的前提下，从绿色生产、绿色环境、绿色消费和数字经济 4 个层面选取了 17 个代表性指标，如表 1 所示。

Table 1. Evaluation index system for comprehensive strength of green industry development
表 1. 绿色产业发展综合实力评价指标体系

目标层	系统层	指标层	单位	指标属性	筛选结果
绿色产业发展 综合实力	绿色生产	第三产业从业人员占比	%	正向	保留
		二氧化硫排放量	万吨	负向	
		废水中氨氮排放量	万吨	负向	
		工业增加值	亿元	正向	
		能源加工转换率	%	正向	
	绿色消费	农药施用量	万吨	负向	保留
		人均煤气生活消费量	立方米	负向	
		*能源消费弹性系数	%	负向	删除
	绿色环境	城市绿化覆盖率	%	正向	保留
		城镇生活污水处理率	%	正向	
		人均二氧化碳排放量	吨	负向	
		*治理噪声项目完成投资	万元	正向	删除
		*人均水资源量	立方米/人	正向	
	数字经济	生产总值	亿元	正向	保留
		社会消费品零售总额	亿元	正向	
		居民人均可支配收入	元	正向	
		城镇登记失业率	%	正向	

注：*代表该指标后续被删除。

根据研究目的及数据的可获得性，在对中国各省市自治区绿色产业发展综合实力进行评价时，选取了全国 31 个省市自治区(不含港澳台)2012 年~2021 年的相关统计数据，数据来源于中国统计年鉴、中华人民共和国农村农业部、中国环境统计年鉴、各省市自治区统计年鉴等数据资料。

2.2. 指标体系的优化

为提高综合评价的准确性、增强综合评价的客观性，需要对评价指标体系进行优化。对上述 17 个代表性指标进行因子分析，按照累计方差贡献率大于 85%、特征值大于 1 的要求筛选出公因子构建因子分析模型，并删除因子载荷小于 0.7 的指标。

第 1 步, 指标数据的适用性检验。在进行因子分析前, 使用 KMO 和 Bartlett 球形检验法检验因子分析方法的可行性与科学性。根据检验结果, Bartlett 球形检验统计量的观测值为 880.0203, 对应 p 值为 3.36×10^{-10} , 小于 0.05, 拒绝零假设, 适合做因子分析。同时, KMO 值为 0.6083, 大于 0.5, 适合做因子分析。

第 2 步, 提取公因子。在对评价指标进行因子分析时, 本文按照累计方差贡献率大于 85%、特征值大于 1 的要求筛选出公因子。输出结果如表 2 所示。

Table 2. Factor analysis results

表 2. 因子分析结果

因子	特征值	方差贡献率(%)	累计方差贡献率(%)
1	10.307	60.62991	60.6299
2	3.002	17.65692	78.2868
3	1.268	7.45678	85.7436
4	0.901	5.29967	91.0433
5	0.65	3.82056	94.8638
6	0.499	2.93771	97.8015
7	0.168	0.98903	98.7906
8	0.13	0.7675	99.5581
9	0.049	0.28916	99.8472
10	0.011	0.06645	99.9137
11	0.006	0.03778	99.9515
12	0.004	0.02093	99.9724
13	0.003	0.01508	99.9875
14	0.002	0.00981	99.9973
15	0.0004	0.0022	99.9995
16	0.00008	0.00046	99.9999
17	0.00001	0.00007	100

由表 2 可知, 第 1 个因子的特征根值为 10.307, 解释原有 17 个变量总方差的 60.6299%; 第 2 个因子的特征根值为 3.002, 解释原有 17 个变量总方差的 17.65692%, 累计方差贡献率为 78.2868%; 第 3 个因子的特征根值为 1.268, 解释原有 17 个变量总方差的 7.45678%, 累计方差贡献率为 85.7436%。故提取 3 个公因子, 这 3 个公因子共解释了原有变量总方差的 85.7436%, 原有变量的信息丢失较少。

第 3 步, 将因子载荷矩阵旋转。为简化因子载荷矩阵的结构, 使每个变量仅在一个公因子上有较大的载荷, 而在其他公因子上的载荷较小, 从而使得公因子的解释性更强, 需要进行因子旋转。旋转后的因子载荷矩阵如表 3 所示。

Table 3. Rotating factor load matrix
表 3. 旋转后因子载荷矩阵

指标	因子 1	因子 2	因子 3
城市绿化覆盖率	0.9752	-0.1222	-0.1211
城镇生活污水处理率	0.9896	-0.0961	-0.0342
人均二氧化碳排放量	-0.9736	0.1721	0.0964
治理噪声项目完成投资	-0.3654	-0.5799	-0.0314
废水中氨氮排放量	0.1423	0.7197	0.0835
第三产业从业人员占比	0.9581	0.2458	0.0476
二氧化硫排放量	0.7	0.6532	0.2481
工业增加值	0.9764	0.1678	0.0467
农药施用量	-0.4224	0.8037	0.1668
人均煤气生活消费量	0.7072	0.5305	0.2613
能源加工转换率	0.9701	-0.0689	-0.0600
人均水资源量	0.0043	0.3580	0.4036
能源消费弹性系数	0.5434	-0.4911	0.5960
生产总值	0.9533	0.2674	0.0778
社会消费品零售总额	0.9497	0.2754	0.1107
居民人均可支配收入	0.9532	0.2743	0.0630
城镇登记失业率	-0.1462	0.2106	0.8926

由表 3 可知，表中的值代表因子在指标上的载荷值，载荷值越大代表指标与因子的相依程度越大。本文选取组合系数的绝对值中至少有一个大于 0.7 的指标[30]，根据表 3 可以剔除治理噪声项目完成投资、人均水资源量和能源消费弹性系数 3 个指标，剩下的 14 个指标更能集中反映绿色产业发展综合实力。

3. 中国绿色产业实力综合评价及空间统计分析

本章主要从中国及省域视角出发，首先对中国绿色产业实力进行综合评价，选取了 2012~2021 年相关指标数据，采用熵值法确定权重，结合 TOPSIS 法计算中国绿色产业实力得分。接着对 31 个省市自治区(不含港澳台)绿色产业实力进行综合评价，选取了 2012~2021 年各省市相关数据，采用熵值法确定权重，结合 TOPSIS 法计算每一年各省市自治区(不含港澳台)绿色产业实力得分，并使用空间自相关分析对各省市自治区绿色产业实力的空间分布特征进行研究。

3.1. 中国绿色产业实力综合评价

将获取到的 2012~2021 年评价指标数据进行预处理后，通过熵值法计算公式计算得到了第 j 项指标的信息熵值 e_j 、差异系数 g_j 、权重 w_j ，如表 4 所示。

Table 4. Weights of various indicators for evaluating the strength of China's green industry
表 4. 中国绿色产业实力评价各指标权重

系统层	指标层	熵值	差异系数	权重	权重之和
绿色环境	城市绿化覆盖率(%)	0.8603	0.1397	0.0732	0.1963
	城镇生活污水处理率	0.9100	0.0900	0.0472	
	人均二氧化碳排放量(吨)	0.8552	0.1448	0.0759	
绿色生产	废水中氨氮排放量(万吨)	0.8346	0.1654	0.0867	0.3692
	第三产业从业人员占比	0.9166	0.0834	0.0437	
	二氧化硫排放量(万吨)	0.8409	0.1591	0.0834	
	工业增加值(亿元)	0.8534	0.1466	0.0768	
	能源加工转换率	0.8502	0.1498	0.0785	
绿色消费	农药施用量(万吨)	0.7325	0.2675	0.1402	0.1767
	人均煤气生活消费量(立方米)	0.9304	0.0696	0.0365	
数字经济	生产总值(亿元)	0.8734	0.1266	0.0664	0.2578
	社会消费品零售总额(亿元)	0.8932	0.1068	0.0560	
	居民人均可支配收入	0.8818	0.1182	0.0619	
	城镇登记失业率	0.8597	0.1403	0.0735	

Table 5. The Euclidean distance between each evaluation object and the positive and negative ideal solutions
表 5. 各评价对象与正负理想解的欧式距离

时间	s_i^+	s_i^-	综合得分	排名
2012 年	0.2685	0.0769	0.2226	8
2013 年	0.2570	0.0360	0.123	10
2014 年	0.2401	0.0628	0.2073	9
2015 年	0.2241	0.0841	0.2729	7
2016 年	0.1777	0.1468	0.4524	6
2017 年	0.1536	0.1604	0.5107	5
2018 年	0.1357	0.1832	0.5745	4
2019 年	0.1020	0.2175	0.6807	2
2020 年	0.1205	0.2166	0.6426	3
2021 年	0.0830	0.2578	0.7565	1

由表 4 可以看出,在 14 个绿色产业发展综合实力评价指标中,农药施用量所占权重最大,为 0.1402;其次是废水中氨氮排放量,为 0.0867。由表 4 所得权重可计算加权矩阵,并使用 TOPSIS 法计算得到各评价对象与正负理想解的欧氏距离 s_i^+ 和 s_i^- 、综合得分及排名,结果如表 5 所示。

根正负理想解的欧氏距离,可计算各评价对象与理想解的相对接近度,即历年中国绿色产业实力评价得分与排名,综合评价结果如图 2 所示。

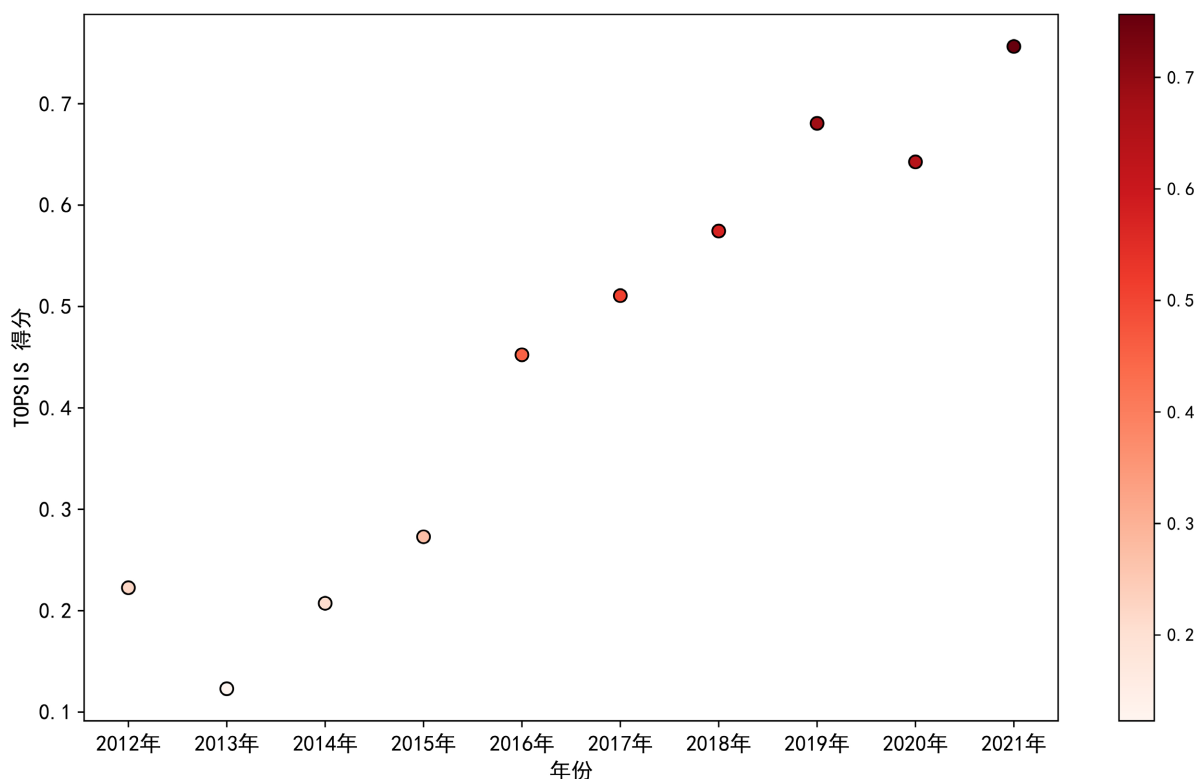


Figure 2. Evaluation results of China's green industry strength over the years

图 2. 历年中国绿色产业实力评价结果

由图 2 可以看出,2012~2021 年我国绿色产业发展综合实力水平总体呈上升趋势。2013 年,由于二氧化碳排放量有小幅度上升,对我国绿色产业发展造成了一定阻碍,故该年绿色产业发展综合实力有所下降。2020 年由于疫情影响,我国经济活动受到了一定影响,这可能间接导致部分绿色投资项目放缓或延迟,对绿色产业的投资和发展产生暂时性抑制作用。并且 2020 年我国城镇登记失业率上升,社会消费品零售总额下降,导致绿色产业发展综合实力有所下降。

3.2. 各省市绿色产业实力空间统计分析

在研究中国各省市绿色产业实力空间特征时,各省地理边界的空间数据来自于高德开放平台,空间统计分析利用 GeoDa 软件进行。在具体计算时,考虑到我国各省份的空间分布情况,采用 Queen 邻接准则构建空间权重矩阵。对于海南省并无地理相邻的情况做特殊处理,规定它与广东连接。自相关统计量的显著性检验采用 Monte Carlo 模拟的方法,模拟次数为 999。

以 2021 年各省市绿色产业实力为例,使用熵值 TOPSIS 法对 2021 年中国各省市自治区(不含港澳台)绿色产业实力进行综合评价,将获取到的 2021 年中国各省市评价指标通过熵值法计算公式计算得到了第

j 项指标的信息熵值 e_j 、差异系数 g_j 、权重 w_j ，如表 6 所示。

Table 6. Weights of various indicators for the evaluation of provincial green industry strength in 2021

表 6. 2021 年省域绿色产业实力评价各指标权重

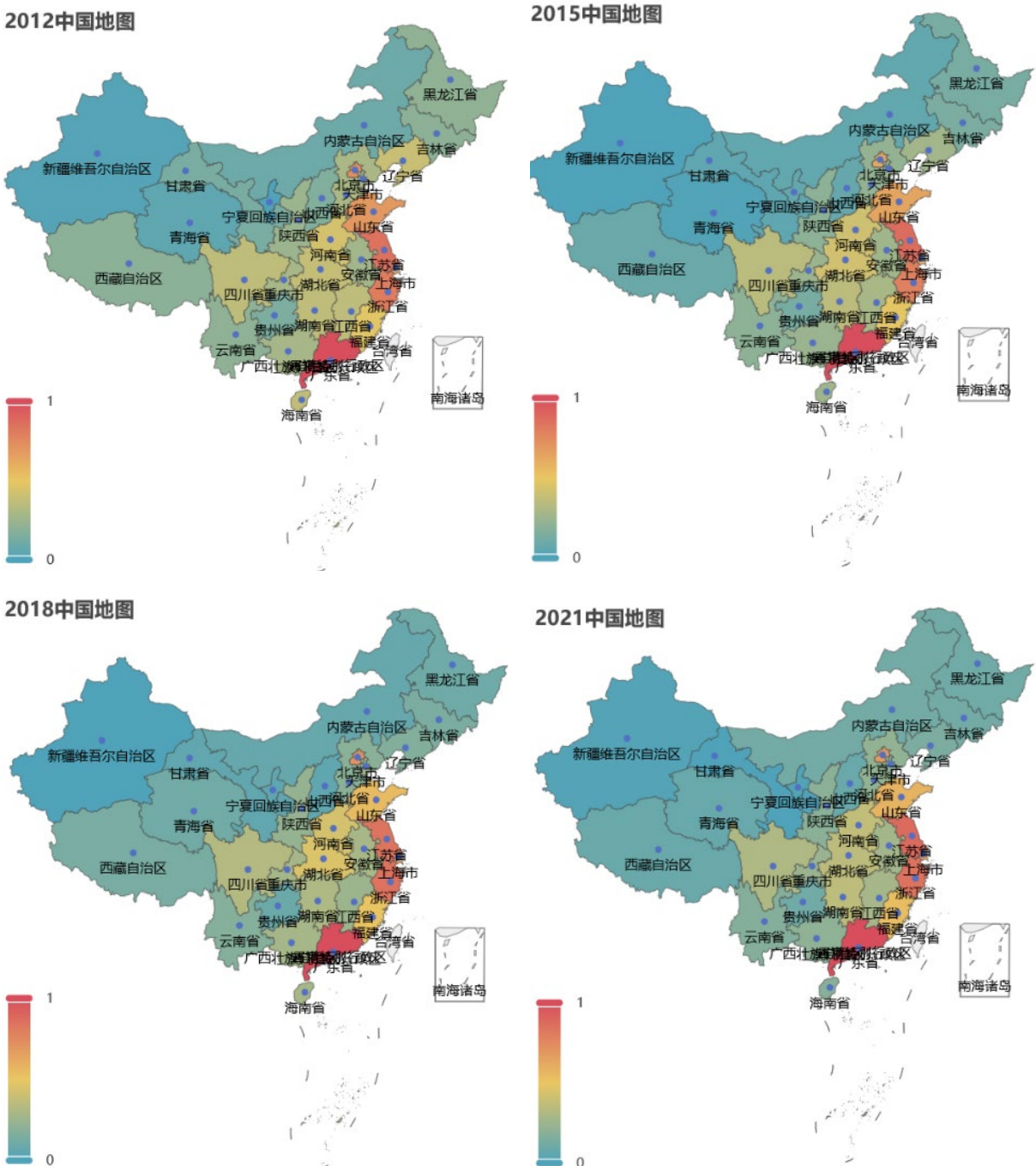
系统层	指标层	熵值	差异系数	权重	权重之和
绿色环境	城市绿化覆盖率(%)	0.9333	0.0667	0.0861	0.1146
	城镇生活污水处理率	0.9898	0.0102	0.0131	
	人均二氧化碳排放量(吨)	0.9880	0.0120	0.0154	
绿色生产	废水中氨氮排放量(万吨)	0.9681	0.0319	0.0412	0.3406
	第三产业从业人员占比	0.9288	0.0712	0.0919	
	二氧化硫排放量(万吨)	0.9694	0.0306	0.0395	
	工业增加值(亿元)	0.8896	0.1104	0.1425	
	能源加工转换率	0.9802	0.0198	0.0256	
绿色消费	农药施用量(万吨)	0.9833	0.0167	0.0215	0.0787
	人均煤气生活消费量(立方米)	0.9557	0.0443	0.0572	
数字经济	生产总值(亿元)	0.9026	0.0974	0.1257	0.4661
	社会消费品零售总额(亿元)	0.8936	0.1064	0.1374	
	居民人均可支配收入	0.8789	0.1211	0.1564	
	城镇登记失业率	0.9639	0.0361	0.0466	

由表 6 可以看出，在对 2021 年中国各省市自治区(不含港澳台)绿色产业实力进行评价时，居民人均可支配收入所占权重最大，为 0.1564；其次是工业增加值(亿元)，为 0.1425。结合表 4 和表 5 中各系统层权重之和可以看出，在对中国绿色产业实力进行综合评价时，绿色生产所占权重最大，在对各省市自治区绿色产业实力进行综合评价时，数字经济所占权重最大。中国历年不断促进产业转型升级、降低生产成本、推动绿色技术创新，绿色产业发展较为快速，而数字经济发展速度相对较为稳定。各省市自治区的经济差距相对较大，仍然存在一些地区经济发展滞后，这就使得各省市自治区数字经济系统层的权重较大。

由表 6 所得权重，可计算加权矩阵，并使用 TOPSIS 法计算得到 2021 年各评价对象与正负理想解的欧氏距离、综合得分及排名。按此思路，可计算 2012~2021 年各省市自治区绿色产业实力评价各指标权重与综合得分。2012、2015、2018 及 2021 年全国各省市自治区(不含港澳台)绿色产业实力评价得分如图 3 所示。

根据图 3 可知，2012~2021 年我国各省市绿色产业发展水平总体呈沿海地区发展水平较高，西北部地区发展水平较低的趋势。将 2021 年 31 个省市自治区绿色产业发展综合实力划分为五类，分类结果如表 7 所示。

由图3和表7可以看出,2021年我国各省市绿色产业发展水平总体呈东部、南部地区发展水平较高,西部、北部地区发展水平较低的趋势。沿海地区有许多新兴产业,资源消耗较少并且科技水平较高,这类产业不仅能带动地区经济的发展,还能减少对环境的污染,所以这部分地区综合实力得分较高。并且沿海地区的绿色产业发展水平提升比内陆地区快,这和各地区科技水平、经济区位有较大关系。



注: 本图数据来源于阿里云平台, 所有省级行政区域名称及边界均经过核实, 确保无地理标识错误。

Figure 3. Spatial characteristics of green industry strength in each province
图 3. 各省绿色产业实力空间特征

Table 7. Classification of comprehensive strength of green industry development in 31 provinces, cities and autonomous regions
表 7. 31 个省市自治区绿色产业发展综合实力分类

综合实力类别	省份数量	省份名称
高	5	北京 上海 广东 江苏 浙江
较高	6	山东 福建 河南 湖南 湖北 四川
中等	8	江西 安徽 重庆 河北 广西 天津 陕西 海南
较低	7	云南 辽宁 吉林 内蒙古 贵州 黑龙江 山西
低	5	西藏 青海 新疆 宁夏 甘肃

3.2.1. 全局空间自相关

为对我国各省绿色产业发展综合实力的空间特征进行度量,对 2012~2021 年中国 31 个省市自治区(不含港澳台)综合评价得分的全局 Moran's I 统计量进行计算及检验,输出结果如表 8 所示。

Table 8. Moran's I statistic for the comprehensive strength of green industries in various provinces and cities in China
表 8. 中国各省市绿色产业综合实力全局 Moran's I 统计量

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Moran's I	0.421	0.409	0.421	0.420	0.367	0.414	0.433	0.438	0.442	0.430
Z 统计量	3.881	3.827	3.915	3.920	3.482	3.819	3.960	4.007	4.037	3.926
p-value	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

由表 8 可知,在显著性水平为 0.01 时,每年的 Moran's I 统计量都通过了显著性检验,绿色产业发展综合实力分布格局主要呈现出“高-高型”聚集和“低-低型”聚集,这表明在全国范围内,绿色产业发展综合实力较强(弱)的省份与同样绿色产业发展综合实力较强(弱)的省份在地理位置上相邻。为深入探究我国各省绿色产业发展综合实力的空间聚集性和时空演变情况,需要进一步对局部地区绿色产业发展综合实力进行空间统计分析。

3.2.2. 局部空间自相关

全局 Moran's I 只能判断整体的空间自相关性,并不能捕捉到各省份与邻接省份绿色产业发展综合实力是否存在空间相关性,要采用局部空间自相关分析指标来分析局部特性。采用局部空间自相关分析 2021 年中国各省绿色产业发展综合实力的局部空间聚集情况,结果如图 4 所示。

由图 4 可以看出,莫兰散点图有四个象限,一到四象限分别代表高高、低高、低低和高低型聚集,回归线的斜率即为 Global Moran's I。根据图 4 散点图各点的象限分布,可以得到各省市自治区属于哪种聚集模式,如表 9 所示。

由表 9 可以看出,高高聚集区域包括 7 个省份:上海、福建、山东、湖南、江苏、浙江、广东,主要分布在东部沿海地区,这部分省份和邻近省份的绿色产业发展综合实力均较高,空间差异程度较小。

由于 Moran 散点图不能判断聚集模式是否显著,故需要采用 LISA 分析方法进行分析,对 2021 年局部空间聚集性进行显著性检验并将结果可视化,结果如图 5 所示。

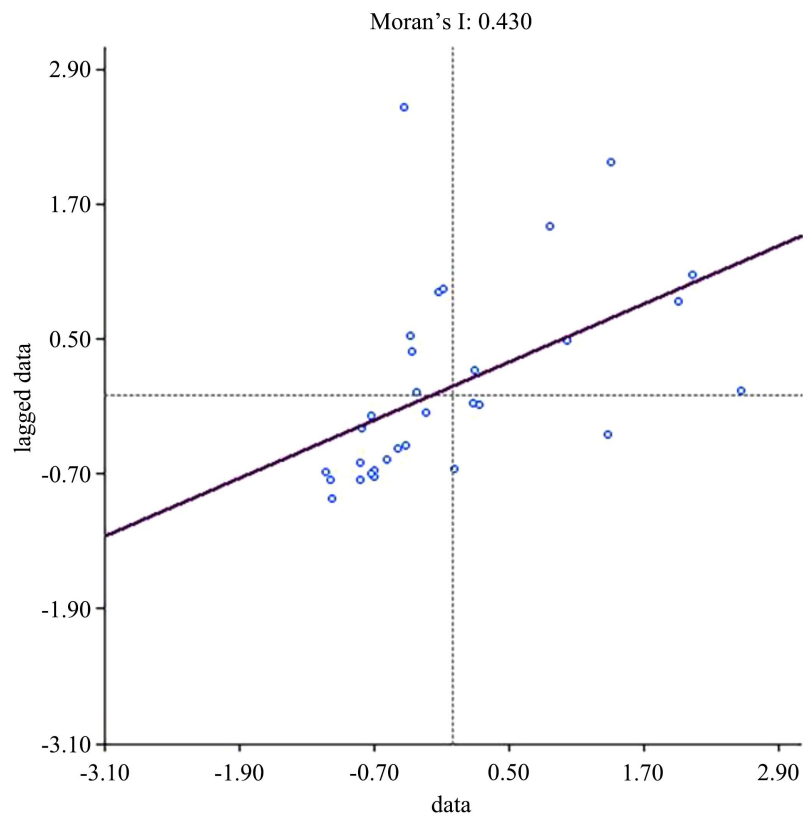


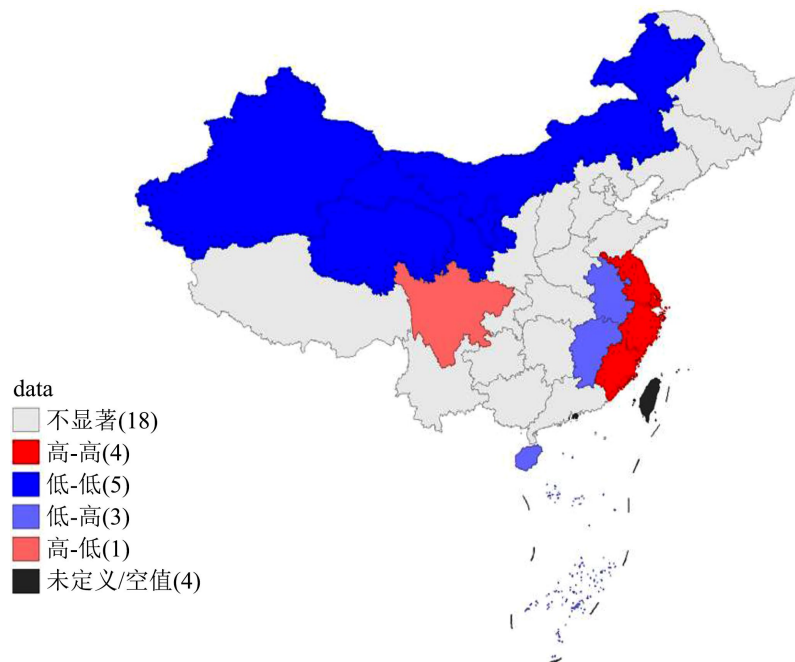
Figure 4. Partial Moran scatter plot of comprehensive strength of green industry development in various provinces in 2021
图 4. 2021 年各省绿色产业发展综合实力局部 Moran 散点图

Table 9. 2021 comprehensive strength agglomeration model of green industries in various provinces and cities in China
表 9. 2021 年中国各省市绿色产业综合实力聚集模式

聚集模式	省份数量	省份名称
高高聚集	7	上海 福建 山东 湖南 江苏 浙江 广东
低高聚集	6	海南 江西 安徽 天津 广西 河北
低低聚集	14	重庆 贵州 山西 陕西 云南 西藏 辽宁 吉林 黑龙江 内蒙古 甘肃 宁夏 青海 新疆
高低聚集	4	湖北 河南 四川 北京

由图 5 可以看出，江苏、浙江、福建呈现出显著的高 - 高型空间自相关特征，这三个省份的绿色产业发展实力较高的区域周围也有其他绿色产业发展实力较高的区域，形成了一个明显的聚集区域。安徽、江西、海南呈现出显著的低 - 高型空间自相关特征，四川呈现出显著的高 - 低型空间自相关特征，新疆、青海、甘肃、内蒙古、宁夏呈现出显著的低 - 低型空间自相关特征。

就整体而言，2021 年我国各省市自治区(不含港澳台)绿色产业发展综合实力具有显著的空间差异，高 - 高型聚集主要在东部沿海地区，低 - 低型聚集主要在西部、北部地区，东部沿海地区的绿色产业发展综合实力比西部、北部地区强。



注：本图数据来源于阿里云平台，所有省级行政区域名称及边界均经过核实，确保无地理标识错误。

Figure 5. LISA agglomeration map of comprehensive strength of green industry development in various provinces in 2021

图 5. 2021 年各省绿色产业发展综合实力 LISA 集聚图

4. 结论

本文以《绿色产业指导目录(2019 年版)》为主导，参考了大量文献，从绿色生产、绿色消费、绿色环境以及数字经济 4 个层面选取了 17 个指标，并使用因子分析法对指标体系进行优化，最终保留了 14 个指标。在此基础上利用空间统计分析方法，对 2012~2021 年中国绿色产业实力的空间分布特征进行了系统分析，深入探究了各省绿色产业发展综合实力的区域聚集性，得到以下 2 点结论。

(1) 在绿色创新发展成为时代主旋律的背景下，2012~2021 年我国绿色产业实力总体呈上升趋势，我国绿色产业实力持续增强，我国绿色产业未来可期。我国各省市绿色产业发展水平总体呈东部、南部地区发展水平较高，西部、北部地区发展水平较低的趋势。2021 年，广东、江苏、浙江、上海、北京绿色产业发展实力位居前五，除首都北京之外，其余 4 个城市均为沿海城市；西藏、青海、新疆、宁夏、甘肃绿色产业发展水平较差，这 5 个城市均位于西北地区，西北地区生态环境脆弱，生态承载能力相对较低，并且交通基础设施薄弱，导致该地区经济较为落后，从而致使绿色产业发展水平较差。

(2) 中国各省绿色产业实力显著存在正的空间聚集性，即高 - 高型聚集和低 - 低型聚集，这也很好地解释了部分相邻省份绿色产业实力表现出来的相似性。在 2012~2021 年间，全国各省市自治区(不含港澳台)绿色产业实力的空间聚集效应一直处于较强的状态。从局部地区绿色产业实力的空间聚集情况来看，江苏、浙江、福建呈现出显著的高 - 高型空间自相关特征，这三个省份的绿色产业发展实力较高的区域周围也有其他绿色产业发展实力较高的区域，形成了一个明显的聚集区域。安徽、江西、海南呈现出显著的低 - 高型空间自相关特征，四川呈现出显著的高 - 低型空间自相关特征，西藏、新疆、青海、甘肃、内蒙古、宁夏呈现出显著的低 - 低型空间自相关特征。就整体而言，2021 年我国各省市自治区(不含港澳台)绿色产业实力具有显著的空间差异，高 - 高型聚集主要在东部沿海地区，低 - 低型聚集主要在西部、

北部地区，东部沿海地区的绿色产业实力比西部、北部地区强。

基金项目

重庆理工大学研究生创新项目(项目编号 No.gzlxc20233318)。

重庆理工大学研究生教育高质量发展项目(项目编号 No.gzljd2024306)。

参考文献

- [1] Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., *et al.* (2009) A Safe Operating Space for Humanity. *Nature*, **461**, 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- [2] 焦必方. 环保型经济增长: 21 世纪中国的必然选择[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2001: 43.
- [3] 张芳, 汤吉军. 美日绿色产业发展经验及其对中国产业政策的启示[J]. 当代经济管理, 2021, 43(5): 57-65.
- [4] 朱留财, 杜譔. 全球绿色发展的现状与展望[J]. 环境保护, 2011, 39(19): 69-70.
- [5] 周太东, 余璐. 落实全球发展倡议, 推动走好可持续发展议程“下半程”[J]. 可持续发展经济导刊, 2023(8): 36-39.
- [6] Park, J. and Lee, S. (2017) Examining the Spatial Patterns of Green Industries and the Role of Government Policies in South Korea: Application of a Panel Regression Model (2006-2012). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **78**, 614-623. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.061>
- [7] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2022(30): 4-27.
- [8] Weng, Q., Qin, Q. and Li, L. (2020) A Comprehensive Evaluation Paradigm for Regional Green Development Based on “Five-Circle Model”: A Case Study from Beijing-Tianjin-Hebei. *Journal of Cleaner Production*, **277**, Article 124076. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124076>
- [9] 尹艳冰. 基于 ANP 的绿色产业发展评价模型[J]. 统计与决策, 2010, 26(23): 65-67.
- [10] 朱斌, 胡志强, 姚琴琴. 基于灰熵决策模型的绿色产业发展评价分析——以福建省为例[J]. 物流工程与管理, 2014, 36(1): 136-138, 157.
- [11] 李琳, 楚紫穗. 我国区域产业绿色发展指数评价及动态比较[J]. 经济问题探索, 2015(1): 68-75.
- [12] 杨丽, 付伟, 凡哲, 等. 云南省绿色产业竞争力评价与空间分布态势研究[J]. 林业经济, 2020, 42(12): 70-82.
- [13] Yuan, Q., Yang, D., Yang, F., Luken, R., Saiced, A. and Wang, K. (2020) Green Industry Development in China: An Index Based Assessment from Perspectives of Both Current Performance and Historical Effort. *Journal of Cleaner Production*, **250**, Article 119457. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119457>
- [14] 李杰. 江西省绿色产业发展综合实力评价及空间分布研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 华东交通大学, 2021.
- [15] Chen, L., Zhang, X., He, F. and Yuan, R. (2019) Regional Green Development Level and Its Spatial Relationship under the Constraints of Haze in China. *Journal of Cleaner Production*, **210**, 376-387. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.037>
- [16] 段翀, 迟国泰. 基于影响因子赋权的绿色产业评价研究[J]. 管理现代化, 2014, 34(2): 63-65.
- [17] 杜永强, 迟国泰. 基于指标甄别的绿色产业评价指标体系构建[J]. 科研管理, 2015, 36(9): 119-127.
- [18] 毛心怡. 丽水绿色产业发展评价与发展策略研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2020.
- [19] 张彩霞, 段佳换, 杨寿信. 区域绿色产业评价指标体系研究[J]. 统计与管理, 2021, 36(2): 111-117.
- [20] 邢晓卫, 叶阿忠, 陆峰. 中国绿色产业发展演进特征及数字普惠金融支持分析[J]. 生态经济, 2022, 38(2): 35-42.
- [21] Zhang, M.M., Feng, J., Wang, Y.R., Wu, Z.Y., Ma, L.N. and Yan, M.W. (2019) Study on Design of Evaluation Index System and Evaluation Method for Green Industries. *Journal of Simulation*, **7**, 11-16.
- [22] 尹彤. 数字经济对高技术产业绿色发展效率的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西财经大学, 2023.
- [23] 姜达洋, 厉倩. 天津市传统制造业、数字经济及绿色产业的耦合测度[J]. 天津商务职业学院学报, 2022, 10(4): 3-12.
- [24] 徐素波, 王耀东. 黑龙江省绿色产业发展评价与路径优化研究[J]. 统计与咨询, 2019(4): 16-19.
- [25] 石宝峰, 修宇鹏, 王静. 基于博弈论组合赋权的地市绿色产业评价[J]. 技术经济, 2017, 36(2): 75-84.
- [26] 石宝峰, 迟国泰. 基于信息含量最大的绿色产业评价指标筛选模型及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(7):

1799-1810.

- [27] 顾在浜, 石宝峰, 迟国泰. 基于聚类-灰色关联分析的绿色产业评价指标体系构建[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(4): 350-354.
- [28] 陈洪海, 迟国泰. 基于信息显著性差异的绿色产业评价指标筛选模型及实证[J]. 运筹与管理, 2014, 23(6): 193-204.
- [29] 周颖, 王洪志, 迟国泰. 基于因子分析的绿色产业评价指标体系构建模型及实证[J]. 系统管理学报, 2016, 25(2): 338-352.
- [30] 胡爱平, 邱世芳, 伍度志. 重庆市城镇化综合评价指标体系应用研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016, 30(3): 140-148.