

长江经济带产业—碳排放—土地协同发展研究

叶芸^{1,2}, 於冉^{1,2}, 万年顺^{1,2}, 程宏晟^{1,2}, 汪沁^{1,2}, 於忠祥^{1,2}

(1.安徽农业大学 经济管理学院, 安徽 合肥 230036; 2.安徽农业大学 国土资源研究所, 安徽 合肥 230036)

摘要: [目的] 研究长江经济带产业发展、土地利用及碳排放指数间的内在响应关系及作用机理,为区域协同发展提供思路。[方法] 基于 GM(1,1) 预测模型对产业发展、土地利用及碳排放指数进行灰色预测后进行耦合协调度分析,并运用 PVAR 模型探讨三者间的响应关系。[结果] ①区域各要素间的耦合度高于协调度,耦合协调状态呈增长趋势,而区域内部则呈现自下游至上游的降低趋势。②土地利用强度对于产业发展于前两期呈正向冲击,产业发展对碳排放为滞后 2 期内的先负而后转正冲击的倒 V 型波动趋势,土地利用对碳排放呈现明显的正相关脉冲响应。③三要素主要依赖于自身的发展路径,但产业发展对碳排放强度的解释力高于土地利用强度对其的解释力,而随着期数的增加,二者对碳排放的影响趋势均呈现增长趋势。[结论] 经济发展过程中产业结构调整及土地利用的配置和保障不可或缺,而碳排放作为未来发展中的重要制约因素也不可忽视,探索三者间的响应关系,能够更好地为区域协调发展提供依据。

关键词: 产业发展; 土地利用; 碳排放; 耦合协调; PVAR 模型; 长江经济带

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)05-0312-09

中图分类号: X24, X321

文献参数: 叶芸, 於冉, 万年顺, 等. 长江经济带产业—碳排放—土地协同发展研究[J]. 水土保持通报, 2022, 42(5): 312-320. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20220919.001; Ye Yun, Yu Ran, Wan Nianshun, et al. Research on coordinated development of production development, carbon emission and land use in Yangtze River economic belt [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(5): 312-320.

Research on Coordinated Development of Production Development, Carbon Emission and Land Use in Yangtze River Economic Belt

Ye Yun^{1,2}, Yu Ran^{1,2}, Wan Nianshun^{1,2}, Cheng Hongsheng^{1,2}, Wang Qin, Yu Zhongxiang^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui

230036, China; 2. Institute of Land and Resources, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

Abstract: [Objective] The internal response relationship and mechanism of action among industrial development, carbon emission and land use in the Yangtze River economic belt were studied in order to provide ideas for regional coordinated development. [Methods] Based on the GM(1,1) prediction model, the grey prediction of industrial development, land use, and carbon emission index were determined. A coupling coordination analysis was carried out, and the panel vector autoregression (PVAR) model was applied to determine the response relationship among the three factors. [Results] ① The coupling degree among the regional factors was greater than the coordination degree, and the coupling coordination state showed an increasing trend. The trend within the region decreased from downstream to upstream. ② Land use intensity had a positive impact on industrial development in the first two periods, and industrial development had an inverted V-shaped fluctuation trend in which the impact on carbon emissions was first negative and then positive in the last two periods. Land use had an obvious positive impulse impact on carbon emissions. ③ The three factors mainly depended on their own development paths. However, the explanatory power of industrial development on carbon emission intensity was greater than that of land use intensity, and with the increase of the number of periods, the influence of both on carbon emissions tended to increase. [Conclusion] While

收稿日期: 2022-05-25

修回日期: 2022-06-28

资助项目: 国家自然科学基金项目“面向多重不确定性的森林生态系统服务价值评估模型构建与优化研究”(71873003); 安徽省教育厅人文社科重点项目(SK2019A0130); 安徽省自然科学基金项目(1908085QG310)

第一作者: 叶芸(1998—), 女(汉族), 安徽省铜陵市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用与规划。Email: 2954411490@qq.com。

通信作者: 於冉(1984—), 男(汉族), 安徽省巢湖人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土地利用碳排放研究。Email: yuran@ahau.edu.cn。

industrial restructuring and land use allocation and protection are indispensable in the process of economic development, carbon emissions (as an important constraint in future development) can not be neglected. Determining the response relationships between the three factors can better provide a basis for coordinated regional development.

Keywords: industrial development; land use; low carbon; coupling coordination; panel vector autoregression (PVAR) model; Yangtze River economic belt

工业革命以来,生产力革新、经济社会迅猛发展的同时也带来了严峻的气候变化问题。IPCC 第六次评估报告(AR6)指出,21 世纪前 20 a 的全球表面温度比 1850—1900 年高出 0.99 °C,2011—2020 年全球地表温度比 1850—1900 年高 1.09 °C^[1]。面对严峻的气候变化形势,中国领导人在第七十五届联合国大会表态“中国二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和”,同年 12 月的气候雄心峰会上对“双碳”愿景提出了具体落实目标,表明了中国在减少碳排放和改善全球气候变化中的坚定立场。

近年来,中国依托《“十二五”控制温室气体工作方案》《“十三五”控制温室气体排放工作方案》等政策文件明确提出打造低碳产业体系、加快区域协调及低碳发展的战略目标。目前基于区域经济、产业发展的研究主要集中在区域产业结构调整的尺寸测算^[2]、产业结构优化升级的比较分析^[3]、不同行业视角下产业升级的区域异质性分析等^[4-6]。现阶段产业结构调整是中国实现经济增长的重要方式^[7],而产业结构调整优化与全社会资源利用协调度提升需要土地资源这一基本要素作为配置和支撑^[8-11]。在当前快速城镇化、工业化持续推进的背景下,土地利用如何兼顾经济社会发展是当前研究热点,众多学者从区域产业发展与用地空间集聚^[12]、产业提升的土地利用结构优化等^[13]角度展开研究。与此同时,不合理的城市规划和土地利用带来了资源浪费、生态绿地收缩、环境污染和大量的碳排放等不良后果^[14]。在“双碳”发展战略的背景下,土地利用的高效、绿色、低碳协同推进具有现势意义。因而众多学者从建设用地扩展边界^[15]、碳排放核算^[16]、碳平衡适宜性^[17]、碳蓄积最大^[18]、碳排放量最小^[19]、碳汇最大化等^[20]角度展开土地利用结构优化和集约利用与效率提升研究。

纵观当前研究,鲜少有文献将产业发展、土地利用与低碳发展三者相结合,但本研究认为区域发展大势下,产业发展与土地利用配置、土地结构变化与产业结构转变与碳排放之间均存在关联性,因此提出产业—碳排放—土地协同发展的研究思路和理论逻辑。众多学者多运用耦合关系解释多要素关系,有对乡村

发展^[21]、资源型城市转型^[22]、城镇化新阶段^[23]土地和产业的研究,有县域^[24]、城市圈^[25]、市级尺度^[26]的土地集约利用与碳减排研究,也有从产业创新^[27]、产业时空布局^[28]、产业结构优化等^[29]众多视角探讨产业发展新阶段下的低碳路径探究。在要素响应关系研究中,早期利用向量自回归(VAR)模型^[30-31]进行时序角度的探索,而后发展为板面向量自回归(PVAR)模型^[32-33]的区域时空间要素关系的现期及预期要素关系探索。而由于不同的资源禀赋、发展水平和城市规模的不同,必然会出现不同的区域特征,其空间分布和集聚格局具有自己的内在逻辑^[34]。基于此,本研究将区域东西跨度较大且发展具有显著差异的长江经济带作为研究对象,从区域产业、土地利用与碳排放的时空分异现状出发,探索产业—碳排放—土地三者间的要素耦合关系,并进一步探索产业—土地、土地—碳排放和产业—碳排放两两之间的要素响应关系并进行未来趋势分析,以期推进区域产业—碳排放—土地协同发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

2016 年 3 月 25 日,中国审议通过《长江经济带发展规划纲要》。推动长江经济带发展是关系国家发展全局的重大战略,其中包括九省二市:上海市、浙江省、江苏省、安徽省、江西省、湖北省、湖南省、重庆市、四川省、云南省、贵州省,总面积约为 $2.05 \times 10^6 \text{ km}^2$,集聚全国 43% 的人口,贡献超 46% 的 GDP,是中国最具发展潜力的地区。为实现国家战略背景下形成长江经济带上一中一下游优势互补,推动经济要素自由流动、各类资源高效配置、区域经济协同发展、产业发展绿色循环低碳等发展目标,本研究就产业发展、土地利用配置与“双碳”目标的区域互动响应关系作为切入点,探析长江经济带产业—碳排放—土地要素关系,为长江经济带低碳发展提供参考。

1.2 研究方法

1.2.1 指数构建 本研究通过构建产业发展指数、土地利用强度指数和碳排放指数作为产业—土地—碳排放的表征要素。

(1) 产业发展指数 E_{ij} 用产业发展合理化程度表征^[35], 公式如下:

$$E_{ij} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_{ij}}{Y} \ln \left(\frac{Y_{ij}}{L_{ij}} / \frac{Y}{L} \right) \quad (1)$$

式中: Y 为生产总值; Y_{ij} 为 i 年份 j 城市各产业增加值; L 为总就业人数; L_{ij} 为各产业就业人数; n 为生产部门数; i 为年份; j 为省市。

(2) 土地利用强度指数 T_{ij} 用建设用地占比和人口密度表征^[36-38], 即为:

$$T_{ij} = \sqrt{T_{ij}^{\text{建}} \times T_{ij}^{\text{人口密度}}} \quad (2)$$

式中: $T_{ij}^{\text{建}}$ 为建设用地比例; $T_{ij}^{\text{人口密度}}$ 为人口密度。

(3) 碳排放指数 S_{ij} 用碳排放量和变动率表征^[39-40], 即为:

$$S_{ij} = S_{ij}^{\text{量标}} \times S_{ij}^{\text{变*}} \quad (3)$$

式中: $S_{ij}^{\text{量标}}$ 为碳排放排放量标准化值; $S_{ij}^{\text{变*}}$ 为碳排放量变动率。其中, 若 $S_{ij}^{\text{变*}} > 0$, $S_{ij}^{\text{变*}} = S_{ij}^{\text{变}}$, 若 $S_{ij}^{\text{变*}} < -1$, $S_{ij}^{\text{变*}} = \frac{1}{|S_{ij}^{\text{变}}|}$, 若 $-1 < S_{ij}^{\text{变*}} < 0$, $S_{ij}^{\text{变*}} = |S_{ij}^{\text{变}}|$ 。碳排放

量测算方式多样, 本研究考虑到耦合协调度测算中对数据异质性的要求, 故用能源碳排放量用来表征本研究的碳排放量。

1.2.2 耦合协调模型 耦合是指两个(及以上)要素或系统之间的相互作用而产生的互动影响关系^[41], 耦合度表示各要素或系统之间彼此影响的程度, 协调度则体现其发展过程中的协同关系, 而耦合协调度则为二者的综合影响, 计算方法如下。

$$C_n = \left[\frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{\left(\frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n} \right)^n} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

$$X = \alpha U_1 + \beta U_2 + \dots + \epsilon U_n \quad (5)$$

$$D = \sqrt{C \times X} \quad (6)$$

式中: C_n 表示 n 个要素间的耦合度, 若测算产业—碳排放—土地的单要素耦合度, 将 n 设置为 3, X 为协调度; D 为耦合协调度; U_1, U_2 至 U_n 则为要素或者系统个数, α, β, ϵ 等则为系数, 且系数之和为 1。

本文根据相关研究^[42-43], 将各要素的耦合度共划分为 5 级, 耦合协调度共划分为 10 级, 分级具体结果见表 1。

1.2.3 PVAR 模型 PVAR(面板向量自回归)模型是 VAR(向量自回归)模型的延伸, 将外生变量作为内生变量的滞后函数构建, 在考虑区域固定效应下, 分析变量间的动态交互响应关系, 本研究预探索长江经济带 11 个省市的产业、用地、碳排放 3 要素间的动态关系, 构建模型如下:

$$Y_{it} = \alpha_i + A_1 Y_{it-1} + A_2 Y_{it-2} + \dots +$$

$$A_k Y_{it-k} + B X_{it} + \epsilon_{it} \quad (7)$$

式中: Y_{it} 为内生变量; X_{it} 为外生变量; i 表示城市; t 表示年份; k 为滞后阶数, A 和 B 为带估向量; ϵ_{it} 为随机误差项。

表 1 长江经济带耦合协调模型等级划分

C 值范围	耦合类型	D 值范围	耦合协调度等级
[0, 0.2]	分离阶段	[0, 0.1]	极度失调
		(0.1, 0.2]	严重失调
(0.2, 0.4]	低耦合阶段	(0.2, 0.3]	中度失调
		(0.3, 0.4]	轻度失调
(0.4, 0.6]	拮抗阶段	(0.4, 0.5]	濒临失调
		(0.5, 0.6]	勉强协调
(0.6, 0.8]	磨合阶段	(0.6, 0.7]	初级协调
		(0.7, 0.8]	中级协调
(0.8, 1]	耦合阶段	(0.8, 0.9]	良好协调
		(0.9, 1]	优质协调

1.3 数据来源

本文获取 2001—2020 年长江经济带的 11 个省市的指标数据, 建设用地面积、人口密度、各产业产值、各产业就业人员、能源消耗量等均来自于《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》及各省、市统计年鉴, 其中能源碳排放折算指标来源于《IPCC 国家温室气体清单指南》(表 2), 对于个别缺失数据应用插值、平均增长等方法进行补齐。研究区边界数据利用中国科学院地理科学与资源研究所 (<https://www.resdc.cn/Default.aspx>) 的矢量数据进行裁剪处理获得。

表 2 研究数据折算系数

碳源	折算标准煤系数	碳排放系数(以 C 计)
原煤	20 934/(kJ · kg ⁻¹)	0.755 9/(t · t ⁻¹)
焦炭	28 470/(kJ · kg ⁻¹)	0.855 0/(t · t ⁻¹)
天然气	38 979/(kJ · m ⁻¹)	0.448 3/(t · t ⁻¹)
汽油	43 124/(kJ · kg ⁻¹)	0.553 8/(t · t ⁻¹)
煤油	43 124/(kJ · kg ⁻¹)	0.571 4/(t · t ⁻¹)
柴油	42 705/(kJ · kg ⁻¹)	0.592 1/(t · t ⁻¹)
燃料油	41 868/(kJ · kg ⁻¹)	0.618 5/(t · t ⁻¹)
热力	0.034 12/(t · 10 ⁶ J)	0.733 0/(t · t ⁻¹)
电力	1.229 0/(t · kW · h)	0.733 0/(t · t ⁻¹)

2 结果与分析

2.1 单要素分析

根据公式(1)—(3)对长江经济带 11 个省市 2001—2020 年产业发展指数、土地利用强度指数和碳排放指数进行测算, 再根据 GM(1, 1) 预测模型, 对

其进行期数为 10,残差重复建模次数为 5 的灰色预测,本研究检验结果满足,故认为该预测结果科学、真实。

产业发展指数整体呈 2001—2010 年先增而后至 2015 年间小幅回落再上升的波状上升趋势,区域间除上海于 3 倍之数领先以外,江苏省、湖南省和云南省指数集中在 1.5 左右,产业发展更为符合现势。上海市作为国家经济发展的核心带动城市,其发展历史和基础设施等条件均更为丰富,因此产业发展指数明显优于其他省市;除此之外,长江经济带经济发展也以上一中一下游的小区域划分拥有其各自产业发展的重点省市,例如重庆市、湖南省长沙市、江苏省苏州市等。土地利用强度指数呈大幅增长小幅波动趋势,上海市指数值受自然条件约束及经济发展优势影响,指数值远高于其他省市,而江苏、浙江、安徽、湖北、重庆这几个省市相对来说较高。区域土地利用受建设用地和人口集聚度影响较大,而区域经济发展程度又是其重要的前决条件,区域的产业经济等发展体系越完善,劳动力、资本、交通、物流等基础设施建设也会

呈聚集之势,因此除上海市之外,江浙皖几省作为其副中心,湖北省作为中游重点发展区,其土地利用强度均较高。碳排放指数则呈现长期增长于但近年来减速甚至降低的倒“V”型趋势,其中江苏和浙江两省的指数值相对高于其他省市,但云南省的土地利用和碳排放表现均相对较低。影响碳排放的要素颇多,但重点则是集中在能源消耗、产业发展与人类活动,因此与前二者的发展态势关系密切。云南省作为长江经济带上游省份,受其地形地貌影响深远,难以进行大规模的建设用地开发,旅游业的发展带动当地人员就业的同时吸引投资,促进当地基础设施建设与工程建设,对于碳排放总量控制具有重要作用。

2.2 产业—碳排放—土地耦合协调度分析

根据耦合协调模型及 GM(1,1)预测模型计算得出长江经济带 2001—2030 年产业—碳排放—土地单要素耦合协调度,受篇幅限制选择代表年份进行罗列(表 3),再依据耦合协调分类原则(表 1),划分耦合协调类型,将耦合协调分类结果进行空间制图(图 1)并进行时空分析。

表 3 长江经济带产业—碳排放—土地耦合协调度

区域	2001 年		2005 年		2010 年	
	耦合度 C	协调度 X	耦合度 C	协调度 X	耦合度 C	协调度 X
上海市	0.268	0.222	0.285	0.372	0.814	0.552
江苏省	0.401	0.167	0.419	0.201	0.496	0.137
浙江省	0.197	0.193	0.724	0.271	0.841	0.416
安徽省	0.478	0.197	0.505	0.153	0.663	0.274
江西省	0.721	0.155	0.572	0.121	0.985	0.315
湖北省	0.675	0.065	0.817	0.219	0.731	0.462
湖南省	0.421	0.214	0.521	0.152	0.965	0.486
重庆市	0.431	0.233	0.473	0.335	0.942	0.392
四川省	0.528	0.081	0.741	0.127	0.716	0.455
贵州省	0.302	0.336	0.311	0.266	0.839	0.322
云南省	0.536	0.041	0.719	0.257	0.718	0.204
区域	2015 年		2020 年		2030 年	
	耦合度 C	协调度 X	耦合度 C	协调度 X	耦合度 C	协调度 X
上海市	0.888	0.479	0.937	0.664	0.911	0.783
江苏省	0.978	0.433	0.957	0.425	0.603	0.683
浙江省	0.868	0.328	0.981	0.561	0.942	0.813
安徽省	0.521	0.619	0.889	0.527	0.634	0.577
江西省	0.974	0.627	0.998	0.619	0.998	0.948
湖北省	0.431	0.261	0.641	0.461	0.504	0.673
湖南省	0.813	0.256	0.611	0.469	0.907	0.602
重庆市	0.887	0.535	0.991	0.728	0.773	0.718
四川省	0.993	0.317	0.859	0.466	0.878	0.762
贵州省	0.997	0.369	0.994	0.649	0.818	0.733
云南省	0.937	0.322	0.881	0.459	0.701	0.701

2.2.1 耦合协调度时序分异 时间维度上,基期的耦合协调水平总体可分为 3 个阶段。“十五”期间,11

个省市整体水平偏低,大多处于失调状态,区域内下游省市上海市和浙江省以及四川省于 2004 年达到勉

强协调状态。表明各省市 21 世纪初期经济发展水平相对较低,且土地利用形式较为粗放,产业结构配比不尽合理,还以污染环境作为发展代价。“十一五”至“十二五”时期,耦合协调水平逐步提升,耦合协调类型由失调向中初级协调转变。表明这 10 a 间各省市注重提升土地节约集约利用水平,同时提升技术水平,落实污染防治措施。在“十三五”发展时期,经济带全域呈现跨越式跃进,耦合协调度基本呈现良好和优质协调状态。耦合协调灰色预测结果显示,2030 年多数省市呈现中级协调至优质协调状态。表明各省市积极推进提质增速发展,优化产业结构、推动产业集聚、发展并壮大战略性新兴产业,并为实现国家“双碳”目标,推进环境治理和保护,使其产业发展指数、绿色低碳指数均有所提升。与此同时,经济社会发展初期对建设用地的大量需求,导致大量土地资源

的粗放占用和无序利用,新阶段应严格保障各类用地数量,划定好用地边界,针对现阶段城市建设发展需要,朝纵深处、集约化、精明式发展。

2.2.2 耦合协调度空间分异 如图 1 所示,空间维度上,基期“产业—碳排放—土地”耦合协调度总体呈自上游向下游递增的趋势,可以将其划分为 3 个梯队。第一梯队为长江经济带下游区域:江—浙—沪地区。上海市和浙江省耦合协调度一直处于相对较高水平,江苏省近十年提质明显。第二梯队为长江经济带中游区域:皖—赣—鄂—湘地区。湖北省较之其他三省水平相对较高而湖南省则表现不佳,安徽和江西两省自 2015 年以来耦合协调水平得到明显提升。第三梯队为长江经济带上游区域:渝—川—黔—滇地区。四川、云南两省稳步提升,贵州、重庆两省近五年发展迅猛。

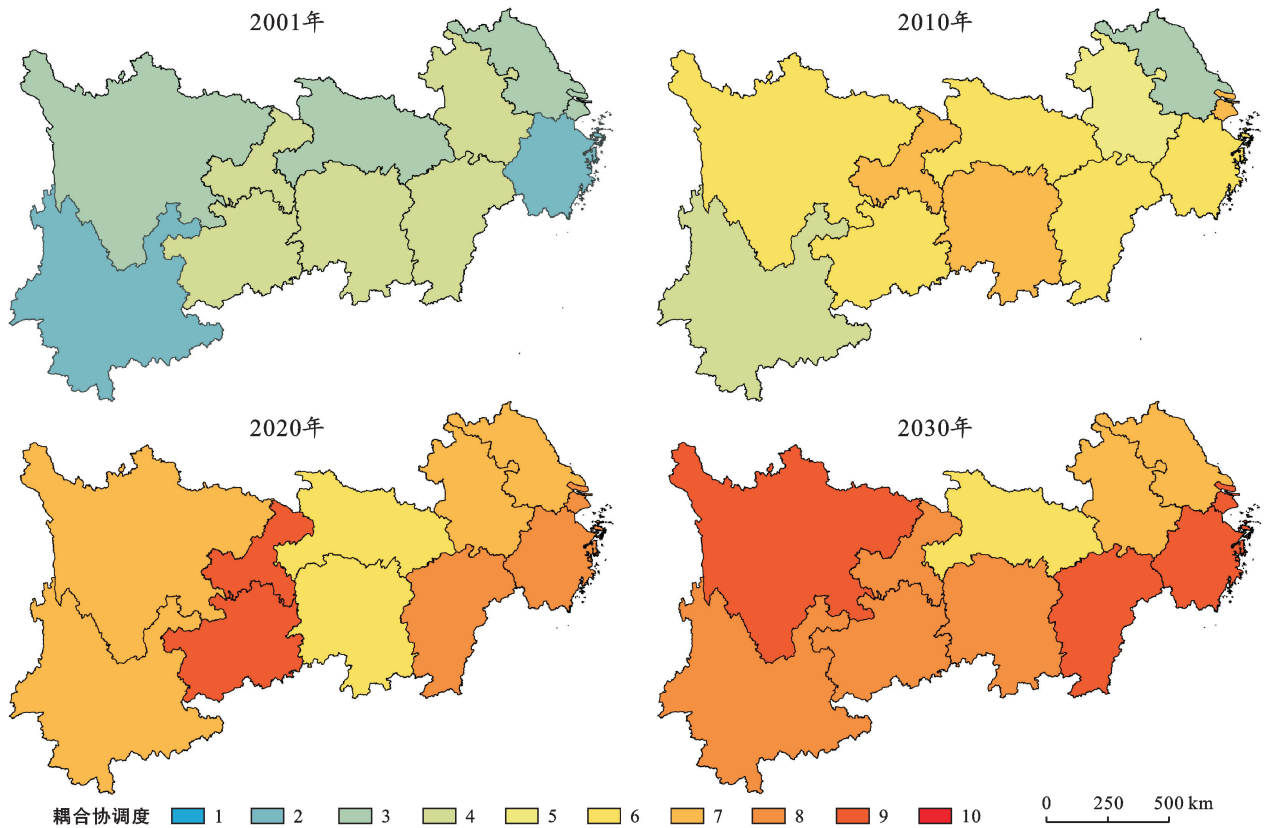


图 1 长江经济带产业—碳排放—土地耦合协调度状态时空分布

据耦合协调灰色预测结果显示,长江经济带众多省市的产业—碳排放—土地要素耦合水平不断提升并以协调状态呈现,其中上游区域的四川省、上游区域的江西省以及下游区域的浙江省逼近良好协调。上海市、江苏浙江三省耦合协调水平保持在较高水平,三省以服务经济为主的产业结构率先形成,高新技术产业增加值,核心产业增加值增速较快,产业发展动力进一步增强,上海市低效建设用地减量 7 km^2 ,浙江省森林覆盖率上升至 61.2%,土地利用结构调整

较为完善。湖北省依托发展历史,其产业发展和结构转变相对较好,在降碳减排的基础上推进矿山修复,改善土地利用结构。安徽和江西两省毗邻长江下游发达地区,近年来承接其产业转移以推进“产业—碳排放—土地”要素协调。长江经济带上游地区受区位和地形影响,其产业发展动力不足,但以重庆市、成都市、昆明市为首的区域核心城市依托自然风貌和历史文化积淀优势,积极探索特色发展之路,提升要素耦合协调度,预期内有望提升至中级协调状态。

2.3 产业—碳排放—土地要素交互影响分析

通过前文分析可知,长江经济带产业—碳排放—土地单要素的耦合协调度存在时空差异性,为了更好地探究产业发展、土地利用强度和碳排放对于区域发展的要素作用,运用 PVAR 模型对三者间的互动关系进行探究。

2.3.1 单位根检验和滞后阶数选择 首先需要对数据进行平稳性检验,常用的单位根检验方法有 6 种,本研究采用最常用的单位根(ADF)检验法,结果见表 4。

表 4 产业—碳排放—土地主要交互影响单位根检验结果

序列	ADF 检验值	10%显著水平	5%显著水平	p 值
dE	-0.863 90	-9.442	-4.159 29	0.000 0
dT	-0.775 93	-8.135	-3.510 09	0.000 2
dS	-1.929 90	-16.184	-9.053 41	0.000 0

注:dE,dT,dS 分别表示产业发展、土地利用、碳排放的脉冲响应。

本研究使用 AIC,BIC,HQIC 准则,根据统计量最小原则,进行 PVAR 模型的滞后阶选择(表 5),其最优滞后阶数为一阶,故基于此进行接下来的运算和分析。

表 5 产业—碳排放—土地滞后阶数统计

滞后阶数(lag.)	准则		
	AIC	BIC	HQIC
1	-10.165*	-9.439*	-9.871*
2	-9.944	-9.025	-9.571
3	-9.763	-8.633	-9.304
4	-9.509	-8.148	-8.956

2.3.2 脉冲响应分析 基于以上结果,通过脉冲响应函数进一步观察各要素间的长期交互响应关系,并对其进行动态关系分析。脉冲响应分析方法是指用一个变量的标准差冲击对于其他要素当下及未来进行扰动冲击而产生的动态冲击影响轨迹,并根据冲击趋势的方向、大小等特征进行响应分析。本研究进行 500 次蒙特卡罗模拟,并设置 95%的置信区间,得到产业发展指数、土地利用强度指数和碳排放指数的脉冲响应图,其中横轴表示响应期数,本研究将其滞后定为 10,纵轴表示内生变量对于冲击影响的响应程度。由图 2 可以看出,本研究长江经济带产业—碳排放—土地变量间的脉冲响应基本呈收敛趋势,效果较好,可以进行脉冲响应分析。

受限于篇幅,本研究仅对显著性较强的变量进行进一步描述。图 2b,2d 表示产业发展(E)与土地利用(T)之间的脉冲响应,产业发展对于土地利用强度的响应冲击呈大于 0 的状态,但影响程度较小,而土地利用强度对于产业发展的响应冲击前两个滞后期

处于下降状态后一直趋近于平稳。原因在于长江经济带多数省份的产业结构已于近年来呈现出二三产业占主导的格局,而本研究的土地利用强度中建设用地占比就区域土地利用变化而言相对较小,因此二者之间的变动冲击响应符合区域整体发展脉络。图 2c,2j 为产业发展与碳排放(S)之间的脉冲响应。二者间于滞后 2 期内呈倒“V”型波动,产业发展伴随的产业结构调整 and 就业人员变动对于能源消耗及碳排放存在内生响应关系但冲击状态缩减。产业发展具有主导产业异质性的阶段性特征^[44],而不同行业间的能源消费结构各异带来的碳排放差异性显著。近年来长江经济带内部各省市均在进行不同程度的产业升级和能源结构升级,并会不断提升能源利用效率和产业发展水平,碳排放绝对量及增速均呈减少状态,因而二者间的冲击性呈逐渐减弱趋势。图 2f,2h 为土地利用与碳排放之间的脉冲响应。在碳排放对土地利用的滞后短期出现小幅度负值之外,二者之间也呈现明显的正相关状态,本文的土地利用强度指数由建设用地占比和人口密度来共同表征,这与经济社会发展中生产生活的发展强度密不可分,在此过程中产生的大规模能源消耗带来了不可忽视的能源碳排放。

2.3.3 方差分解分析 为探索产业—碳排放—土地各要素间冲击变化的贡献程度及变化趋势,选择 2,5,8,10 这 4 个预测期进行方差分解分析(表 6)。由方差分解的结果来看,产业发展、土地利用和碳排放 3 要素主要依赖于自身的发展路径,但 3 者之间互有一定的解释力,主要有以下特征。

土地利用与产业发展之间的解释力较弱,但土地利用对产业发展的影响呈预期增长趋势而产业发展对土地利用呈下降趋势,这表明就当前阶段的区域发展和未来趋势而言,经济发展和产业调整都需要土地利用的配置和保障。产业发展对碳排放强度的解释力高于土地利用强度对其的解释力,而二者对碳排放的影响趋势均呈现增长趋势。发展早期的产业结构以二产为主,多数城市以资源型和工业化初级部门为发展动力推进经济增长,粗放的产业发展方式对一次能源的大量消耗使生态环境遭受破坏,同时产生了大量的碳排放。与此同时,为满足发展初期对建设用地的井喷式需求,其规模迅速扩张,碳源用地大幅度增加,而集约化土地利用意识薄弱导致的用地无序占用使得碳汇用地大幅度减少,因而对土地利用系统中的净碳排放量的负向影响也逐渐增强。尽管未来产业发展大势是进行内部的结构调整和质量提升,对建设用地的需求从数量拓展转向质量提升,但产业部门仍会保持一段时间的缓速提升,使得产业发展基数仍呈

增大趋势,各行业所需用地供给在短时间内并不会直接减少。与此同时,虽当前减少能源碳排放、调整能源结构是发展大势,但也有研究表明,中国目前的能源消费结构仍以煤炭、石油等化石能源为主导^[45],且未来 10 a 内非化石能源占比增长幅度较低,因此产业发展与土地利用对碳排放影响仍会保持一定时期

的关联趋势,其脱钩目标的完全实现仍需进一步努力。但“十四五”发展规划中提出将非化石能源占能源消费总量比重提高到 20% 左右,推进能源革命,建设清洁低碳、安全高效的能源体系,提高能源供给保障能力,大力提升风电、光伏发电规模,为新时期产业—碳排放—土地协同发展提供政策引导。

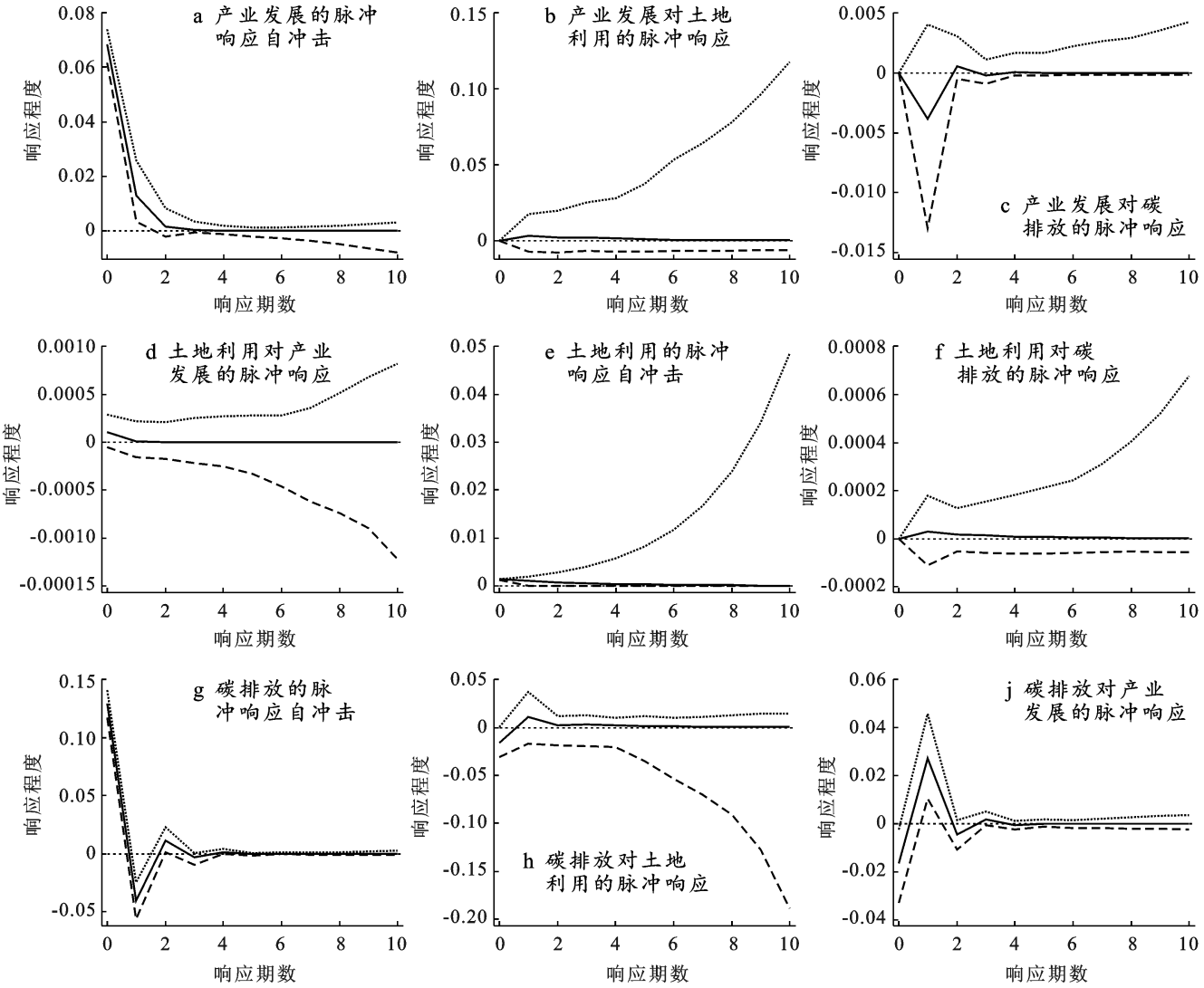


图 2 产业—碳排放—土地要素交互影响脉冲响应

表 6 产业—碳排放—土地要素交互影响方差分解

被解释变量	S=2			S=5		
	E	T	S	E	T	S
E	0.994 8	0.171 4	0.340 6	0.999 4	0.143 7	0.444 3
T	0.048 8	0.948 3	0.279 3	0.051 5	0.945 4	0.286 9
S	0.102 2	0.224 8	0.895 5	0.105 9	0.234 9	0.891 6
被解释变量	S=8			S=10		
	E	T	S	E	T	S
E	0.994 2	0.133 7	0.444 4	0.994 3	0.120 9	0.444 4
T	0.051 7	0.945 3	0.289 8	0.051 9	0.945 3	0.290 2
S	0.106 1	0.234 9	0.891 6	0.106 1	0.234 9	0.891 6

3 结论

(1) 长江经济带单要素发展趋势整体水平均有所上升但各要素间的增长趋势各不相同且区际间存在差异,其中上海市的产业发展和土地利用均呈倍数式大于其他省市,而云南省的土地利用强度和碳排放强度在区域中保持在较低水平。

(2) 长江经济带 11 个省市的产业—碳排放—土地耦合协调度在时间尺度上,主要呈现由 2001—2005 年的普遍失调状态,向 2006—2015 年的初中级协调状态转变,转向 2016—2020 年的中高级协调状态迈进的趋势,同时 2021—2030 年的预期状态较佳。其空间差异状态总体呈现为下游高水平提升地区、中游持续增速地区以及上游潜力亟需挖掘地区。

(3) 要素间的脉冲响应关系分析结果表明,产业发展对于碳排放存在内生响应关系但冲击状态缩减,碳排放与土地利用之间的响应冲击也呈现明显的正相关状态。方差分解预测结果表明,3 要素主要依赖于自身的发展路径,但经济发展过程中产业结构调整及土地利用的配置和保障不可或缺,而在未来发展趋势中碳排放量却很难短时间内缩减。

4 讨论

“双碳”目标的提出与实施,给经济社会发展提出挑战的同时也带来了重大的转型契机,产业发展与土地资源配置是经济社会发展的重要动能,三者之间存在彼此制约、互促互进的状态,因此,研究它们之间的交互影响对于指引区域发展路径具有重要意义。本文在产、碳、土单要素分析的基础上,探索性地研究了它们之间的交互影响机理,研究过程中发现有进一步细化深入和拓展研究的空间。①考虑人的要素,科技创新、技术进步、生产建设均依赖于人力资源,新型城镇化、乡村振兴均依托于引才引智,因此后续研究可尝试构建产业—碳排放—土地—人口的理论框架,亦可尝试构建以人为核,产业—碳排放—土地为翼的一心三翼理论框架。②细化研究区域,长江经济带是国家重点战略区,因此本文研究偏向于宏观,但各省(市)以及省辖各市(县)之间存在差异,使得部分指标未能细化,且有部分指标无法纳入,特别是对于乡村发展、城乡融合方面的关注程度不够细致,后续可以某省或某市为研究区深入探讨产业—碳排放—土地在微观层面的关联性。③拓宽研究框架,本文的研究重点在于长江经济带国家战略区的经济社会发展,而长江水系作为该区域的自然纽带,除了土地资源,还包括水资源、生物资源、气候资源等诸多生态环境要

素,后续研究可在土地资源要素的基础上进一步拓展到更广阔的生态环境层面。

[参 考 文 献]

- [1] IPCC. Climate Change 2021: Summary for Policymakers [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.
- [2] 黄亮雄,安苑,刘淑琳.中国的产业结构调整:基于三个维度的测算[J].中国工业经济,2013(10):70-82.
- [3] 李博,胡进.中国产业结构优化升级的测度和比较分析[J].管理科学,2008,21(2):86-93.
- [4] 李建新,杨永春,蒋小荣,等.中国制造业产业结构高级度的时空格局与影响因素[J].地理研究,2018,37(8):1558-1574.
- [5] 项姬秀.跨境电商与物流链的融合发展:基于产业结构优化视角[J].商业经济研究,2021(24):108-110.
- [6] 陈兵,王伟龙.互联网、产业结构升级与绿色全要素生产率[J].生态经济,2021,37(12):43-53.
- [7] 黄贤金,彭补拙,张建新,等.区域产业结构调整与土地可持续利用关系研究[J].经济地理,2002,22(4):425-429.
- [8] 范树平,刘友兆,程久苗,等.转型期土地利用效益对产业结构升级的响应程度及其影响机理[J].土壤通报,2021,52(5):1034-1041.
- [9] Long Hualou, Heilig G K, Li Xiubin, et al. Socio-economic development and land-use change: Analysis of rural housing land transition in the Transect of the Yangtse River, China [J]. Land Use Policy, 2007, 24(1):141-153.
- [10] Chen Yi, Chen Zhigang, Xu Guoliang, et al. Built-up land efficiency in urban China: Insights from the General Land Use Plan (2006—2020) [J]. Habitat International, 2016, 51:31-38.
- [11] 李培祥.城市产业结构转换与土地利用结构演变互动机制分析[J].安徽农业科学,2007,35(31):10069-10070.
- [12] 曹志宏,郝晋珉,郭力娜,等.黄淮海地区产业与用地空间集聚发展战略模式探讨[J].资源科学,2010,32(11):2145-2151.
- [13] 但承龙,熊华.海南土地利用结构与产业发展关系研究[J].资源科学,2010,32(4):718-723.
- [14] Wu Hui, Fang Shiming, Zhang Can, et al. Exploring the impact of urban form on urban land use efficiency under low-carbon emission constraints: A case study in China's Yellow River basin [J]. Journal of Environmental Management, 2022, 311:114866.
- [15] 於冉,黄贤金.碳排放峰值控制下的建设用地扩展规模研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(7):66-72.
- [16] 周勇,赵伟.西安市土地利用结构碳排放核算及低碳优化研究[J].生态经济,2018,34(5):21-25.
- [17] 余光英,员开奇.基于碳平衡适宜性评价的城市圈土地利用结构优化[J].水土保持研究,2014,21(5):179-184.

- [18] 曾永年,王慧敏.以低碳为目标的海东市土地利用结构优化方案[J].资源科学,2015,37(10):2010-2017.
- [19] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋,等.区域土地利用结构的碳效应评估及低碳优化[J].农业工程学报,2013,29(17):220-229.
- [20] 劳燕玲,李江凤.低碳经济下区域土地利用结构优化分析[J].商业时代,2012(34):135-136.
- [21] 汪勇政,唐婷,余浩然.安徽省乡村人口—土地—产业耦合协调性发展研究[J].合肥工业大学学报(社会科学版),2021,35(3):40-48.
- [22] 宋姝妍,蒋冬梅,李效顺,等.煤炭资源枯竭城市“人口—土地—产业”耦合测度研究[J].中国矿业,2021,30(10):57-65.
- [23] 纪明,钟敏.中国南部陆地民族边境县域人口、产业与土地城镇化的耦合与协调:基于新发展理念考察[J].广西民族研究,2019(5):123-133.
- [24] 王刚,张华兵,薛菲,等.成都市县域土地利用碳收支与经济发展关系研究[J].自然资源学报,2017,32(7):1170-1182.
- [25] 董捷,吕思陶,张安录.武汉城市圈土地低碳—高效利用耦合特征及时空分析[J].华中农业大学学报(社会科学版),2016(5):106-115.
- [26] 顾颖敏,周浩,黄朝禧.武汉市低碳经济发展和土地集约利用的耦合关系研究[J].国土资源科技管理,2013,30(2):35-39.
- [27] 田泽,景晓栋,肖钦文.长江经济带碳排放—产业结构—区域创新耦合度及时空演化[J].华东经济管理,2020,34(2):10-17.
- [28] 周霞,杜卓群.京津冀建筑产业时空布局演化及效果研究:基于非首都功能疏解视角[J].建筑经济,2020,41(1):116-120.
- [29] 张翱翔,邓荣荣.中部六省碳排放效率与产业结构优化的耦合协调度及影响因素分析[J].生态经济,2021,37(3):31-37.
- [30] 张凤霞.资源型地区能源消费、人力资本积累与经济增长[J].统计学报,2021,2(5):35-48.
- [31] 张樨樨,曹正旭,董会忠.京津冀地区产业结构、城镇化与生态环境耦合关联与动态响应研究[J].西南民族大学学报(人文社会科学版),2021,42(12):121-128.
- [32] 曾苑.居民消费、产业结构升级与经济增长的关系研究:基于 PVAR 模型对广东省的实证分析[J].内蒙古科技与经济,2021(20):47-49.
- [33] 张洪,陶柳延,方文杰.长江经济带旅游技术创新、产业升级与绿色全要素生产率关系研究:基于 GML 指数与 PVAR 模型分析[J].河北科技大学学报(社会科学版),2021,21(2):1-10.
- [34] Peng Chong, Song Malin, Han Feng. Urban economic structure, technological externalities, and intensive land use in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2017,152:47-62.
- [35] 符海月,王昭雅.区域产业结构调整与土地利用效率关系:基于城镇化水平视阈的考察[J].中国土地科学,2020,34(10):69-78.
- [36] Heisey P. The conditions of agricultural growth: The economics of agrarian change under population pressure [J]. Agricultural Systems,1996,50(3):329-332.
- [37] Fischer-Kowalski M, Singh S J, Lauk C, et al. Socio-metabolic transitions in subsistence communities: Boserup revisited in four comparative case studies [J]. Human Ecology Review, 2011,18(2):147-158.
- [38] Aldwaik S Z, Pontius R G Jr. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition [J]. Landscape and Urban Planning, 2012,106(1):103-114.
- [39] Shi Rui, Cui Yu, Zhao Minjuan. Role of low-carbon technology innovation in environmental performance of manufacturing: Evidence from OECD countries [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021,28(48):68572-68584.
- [40] Chen Jingquan, Lian Xinyan, Su Hanning, et al. Analysis of China's carbon emission driving factors based on the perspective of eight major economic regions [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021,28(7):8181-8204.
- [41] 闵义岚,陈艳,李录堂.陕西省 10 市“土地—经济—环境”耦合协调关系[J].水土保持研究,2021,28(6):420-428.
- [42] 韩兆安,吴海珍,赵景峰.数字经济与高质量发展的耦合协调测度与评价研究[J].统计与信息论坛,2022,37(6):22-34.
- [43] 孙斌,徐渭,薛建春,等.黄河流域城市群城镇化与生态保护耦合协调研究[J].人民黄河,2022,44(6):16-21.
- [44] Dong Biying, Ma Xiaojun, Zhang Zhuolin, et al. Carbon emissions, the industrial structure and economic growth: Evidence from heterogeneous industries in China [J]. Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987), 2020,262:114-322.
- [45] Wang Zhiqiang, Jia Xiaowei. Analysis of energy consumption structure on CO₂ [J]. Energy Reports, 2022,8:1667-1679.