

长江经济带绿色化测度及其 技术驱动效应检验

田时中 周晓星¹

(安徽大学 经济学院, 安徽 合肥 230601)

【摘要】: 贯彻创新驱动发展战略进程中, 探究技术进步对区域绿色化发展的作用机理, 对实现区域更高质量发展具有重要的参考价值。通过构建四维评价指标体系, 以长江经济带沿线 36 个城市面板数据为样本, 运用主成分分析方法(PCA)测度绿色化指数, 构建空间杜宾模型(SDM), 实证检验技术进步对长江经济带沿线城市绿色化的影响, 研究发现: 整体上, 样本考察期内, 长江经济带沿线城市绿色化水平呈波动上升的时序特征, 下游城市绿色化指数排名靠前, 绿色化水平较高, 中、上游城市绿色化指数排名靠后, 绿色化水平偏低, 且中、上游城市绿色化水平差距较小。准则层上, 绿色增长、绿色福利与绿色治理水平均呈现上升的时序特征, 按提升幅度大小排列依次为: 绿色治理>绿色增长>绿色福利, 而绿色财富水平呈下降趋势; 省级层面上, 绿色化水平高低排序为: 上海>江苏=浙江>安徽。实证检验看, 技术进步显著促进长江经济带沿线城市绿色化发展, 且技术进步还通过技术溢出效应对邻近城市绿色化发展产生正向影响; 环境污染治理投资、人力资本水平、技术进步与产业升级的交互显著促进城市自身绿色化发展, 而 R&D 内部支出、技术进步与环境污染治理投资的交互作用相反。溢出效应上, 环境污染治理投资、市场化水平、城市化水平、技术进步与 R&D 内部支出占比的交互作用显著促进邻近城市绿色化发展, 而 R&D 内部支出、产业升级、市场开放度、人力资本水平、技术进步与环境污染治理投资的交互溢出效应相反。基于上述结论, 长江经济带沿线城市需强化绿色技术驱动机制、加大绿色技术创新投入、推动产业绿色升级、因地制宜推进绿色化发展。

【关键词】: 技术进步 更高质量发展 主成分分析 空间杜宾模型

【中图分类号】: F129.9 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1007-3116(2020)12-0039-11

一、引言

2019 年, 长江经济带地区生产总值达到 457805 亿元, 占全国生产总值的 46.2%。作为重大国家战略发展区域, 长江经济带区域健康协调发展, 关系国家发展全局。党中央、国务院科学布局区域协调发展蓝图: “建立以中心城市引领城市群发展、城市群带动区域发展新模式”、“以共抓大保护、不搞大开发为导向, 以生态优先、绿色发展为引领, 依托长江黄金水道, 推动长江上中下游地区协调发展和沿江地区高质量发展”。在创新驱动发展战略指引下, 如何有效发挥技术进步的驱动效应, 实现长江经济带生态绿色发展? 这是一个正在探讨的理论命题, 更是迫切需要解决的现实问题。基于上述背景, 研究长江经济带技术进步对绿色化发展的影响机理及其效应, 对于推动长江经济带更高质量发展, 具有重要的理论及实践价值。现有研究综述如下:

从概念来看, 胡鞍钢等指出绿色发展是经济、社会和自然三个系统之间的整体性和协调性的统一^[1]; 涂正革等探讨了绿色发展

¹作者简介: 田时中, 男, 安徽岳西人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 绿色发展与科技评价;

周晓星, 女, 安徽潜山人, 研究方向: 绿色发展与科技评价。

基金项目: 安徽省自然科学基金面上项目“大气污染治理的财税政策演化特征、传导机制及效果评估研究”(2008085MG231)。

的具体实现方式,重点关注如何发展环境友好型产业,降低能物耗,保护和修复生态,发展循环经济和低碳技术^[2];任耀等界定了绿色创新效率的内涵^[3];史丹则对中国工业绿色发展阶段进行了划分^[4]。

从测度方法来看,Chung 等同时考虑期望产出和非期望产出,用 DDF 方法测度了绿色发展效率^[5-6];张江雪、林伯强等在期望产出和非期望产出基础上进一步考虑了要素投入情况,使用 DEA 模型测度了绿色增长指数和生态效率^[7-8];黄磊等使用 SBM 方法测度工业绿色发展效率^[9-10];田时中等使用熵值法和层次分析法评价绿色化和绿色产品认证^[11-12]。

从评价指标上看,胡鞍钢、苏利阳等从绿色增长、绿色财富和绿色福利三个角度构建指标体系研究绿色化水平^[1,13];孙才志等基于支持型输入、压力型输出、氧化型代谢和还原型代谢维度探讨绿色化状况^[14];侯纯光等引入了绿色治理指标,综合评价绿色发展^[15]。

技术进步与绿色发展的关系研究。第一种观点认为技术进步有利于提升绿色发展水平。Acemoglu 等指出环保税和研发补贴对技术进步存在激励作用^[16];Rick 等的研究亦佐证了上述观点^[17]。第二种观点认为技术进步不利于绿色发展。修静认为技术进步有碍于环境保护,源自当前的技术进步更多偏向于资本等非绿色方向^[18]。第三种观点认为技术进步与绿色发展之间的关系不明确。杨福霞等发现能源价格诱导性技术进步对绿色发展的作用也不明显^[19]。

综上所述,已有研究成果为本研究提供了重要启发,既有研究尚存在如下问题待拓展:第一,“绿色化”的内涵及外延需要系统总结,测度指标及方法的可操作性与适用性有待深入探讨;第二,技术进步对绿色化发展的影响机制尚需系统揭示;第三,长江经济带绿色化实施方案需要进一步研究。鉴此,基于“机理分析+测度+实证解释+对策”框架,以长江经济带沿线 36 个城市面板数据,分别从技术研发、产业结构升级和污染治理等路径分析技术进步对绿色化的影响,进一步明晰相关机理;运用主成分分析法测度长江经济带沿线城市绿色化指数,为同类研究提供研究范式参考;构建空间杜宾模型,揭示技术创新对绿色化的驱动效应,为长江经济带更高质量协调发展提供经验参考,为政府决策提供参考依据。

二、技术进步驱动绿色化的机理分析

(一)绿色化的内涵

不同时代背景下,人们对绿色化的理解有所侧重,新中国成立之初,就从“植树造林、绿化”角度介绍了苏联的“绿色化”,随后“绿色化”进入生态、环保及生产领域。国际上,1989 年戴维·皮尔斯首次提出“绿色经济”理念, Jacobs 与 Postel 等人对其内涵做了延伸研究。2015 年,中央政治局会议再提绿色化概念,并在《关于加快推进生态文明建设的意见》中强调,协同推进新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化以及绿色化,将传统的“四化”同步发展,上升为“五化”协同推进,绿色化成为一种发展战略和一种新的发展理念,开始在经济社会发展中得以贯彻。绿色化强调在经济社会发展的同时,重视生态环境保护,是一种发展方式的变革。同时,绿色化与绿色经济、绿色转型以及绿色发展的侧重点有所不同,绿色经济是在经济发展的同时注重对环境的保护,是环境友好的、生态的、公平的发展范式;绿色转型存在广义和狭义之分,狭义绿色转型是经济发展过程的绿色化,与绿色经济概念相近,广义的绿色转型是发展方式的调整,由传统非绿色向绿色改进,与绿色化理念比较接近;绿色发展被界定为经济发展与环境保护之间的协调统一,并未对社会发展予以强调。因此,本研究聚焦的绿色化是低能耗低污染、产业结构绿色的经济发展模式,是生活、消费、教育、医疗等方面绿色的社会模式,是环境质量优、污染排放低、环保投入高的可持续的生态模式,是一种绿色治理模式,是一种全新的发展理念。

(二)技术进步驱动绿色化的机理

1. 对城市绿色化发展的直接作用机理

技术进步源于技术引进和技术研发, R&D 内部支出占 GDP 比重直接作用于技术研发而推动技术进步。R&D 内部支出推动的技术进步可以促进绿色生产技术进步, 增加绿色产出, 提高能源利用率, 降低污染排放。在绿色福利上, R&D 内部支出带来的技术进步一方面可以转化为知识进行传递和溢出; 另一方面, 可以提升教育医疗水平, 增加居民可享受的社会福利。在绿色财富上, R&D 内部支出部分会被用于生态环境建设, 改善空气及绿色化水平。在绿色治理上, R&D 内部支出将引发污染治理技术及方法的变革, 提升污染治理资金的利用效率, 带来绿色治理水平的进步。因而 R&D 内部支出对城市绿色化发展是一种全方位的影响, 能从绿色化的各个维度提升绿色化水平。

2. 对城市绿色化发展的市场作用机理

技术进步必然推动产业结构转型升级, 助力产业结构由原来的第二产业为主体向第三产业为主体转变, 由高污染、高能耗、低附加值的产业模式向低污染、低能耗、高附加值的产业模式转变。经济增长理论指出: “科技进步直接影响经济发展”。改革开放以来中国产业发展经历了由劳动密集型的工业、农业发展模式逐步向资本密集型和知识密集型的产业发展模式转变, 绿色技术的广泛应用, 推动了利润率和期望产出水平的提升, 进一步降低了非期望产出水平, 提升了绿色经济水平。因而, 技术进步引发的产业结构升级提升了绿色增长水平, 进而推动绿色化发展。

3. 影响城市绿色化发展的路径依赖

优质的生态环境具有典型公共产品属性, 其非竞争性和非排他性决定了政府是生态保护和环境治理的第一责任人。因此, 政府主导环境污染治理, 已演变成当前流行的“政府引导、社会协同、公众参与”的环境污染治理模式。不断强化的政府环境职能, 要求政府提高环境污染治理投资规模, 重视环境治理新技术的研发, 进而促进治污技术升级, 提升污染物的治理能力, 确保环境污染治理投资效率和绿色治理水平得以提升。因而, 技术进步会提升生态保护和环境治理等公共产品的供给效率, 促进绿色治理技术升级, 推动绿色化发展。

三、绿色化测度指标、方法与结果

(一) 指标体系、方法及数据说明

1. 绿色化测度指标

依据绿色化内涵等理论分析, 借鉴田时中等指标设置方式, 综合考虑经济、社会、生态和环境之间的和谐共生^[11]。

首先, 经济方面注重经济发展过程和结果的绿色化, 在绿色生产、清洁生产模式下实现经济增长; 其次, 社会方面重点关注发展过程中给人民的生活、卫生以及教育方面带来的绿色化社会福利; 再次, 生态环境方面关注大气污染、水污染、森林及绿化情况, 以期给城市发展积累更多绿色财富; 最后, 治理方面强调污染治理资金投入及污染治理效果。基于此, 从绿色增长、绿色福利、绿色财富和绿色治理四个维度选取了 22 个指标构成绿色化测度指标体系, 如表 1 所示。

表 1 绿色化测度指标体系

目标层	准则层	具体指标及代码	单位	属性	指标含义
绿色化测度	绿色增长 B_1	人均 $GDPx_1$	元	正	GDP/城市总人口
指标体系 Y_{it}		第三产业占比 x_2	%	正	第三产业产值/GDP

		化石能源利用 x_3	吨标煤/万元	负	能源消耗量/GDP
		单位 GDP 二氧化硫排放量 x_4	t/万元	负	工业二氧化硫排放量/GDP
		单位 GDP 废水排放量 x_5	t/万元	负	工业废水排放量/GDP
		三废综合利用产品产值占比 x_6	%	正	三废综合利用产品产值/GDP
	绿色福利 B_2	人均社会消费品零售额 x_7	元	正	社会消费品零售总额/城市总人口
		城镇居民人均可支配收入 x_8	元	正	城镇家庭可支配收入/家庭人口
		科技支出占比 x_9	%	正	科技支出/GDP
		每万人在校大学生数 x_{10}	人	正	在校大学生数/城市总人口
		每百人公共图书馆藏书 x_{11}	册	正	公共图书馆藏书/城市总人口
		每万人拥有医生数 x_{12}	人	正	医生数/城市总人口
	绿色财富 B_3	城市空气质量优良率 x_{13}	%	正	空气质量二级以上的天数/一年总天数
		城市绿化覆盖率 x_{14}	%	正	绿化面积/城市总面积
		人均公园绿地面积 x_{15}	m^2	正	公园绿地面积/城市总人口
		人均废水排放量 x_{16}	t	负	工业废水排放量/城市总人口
		人均二氧化硫排放量 x_{17}	t	负	工业二氧化硫排放量/城市总人口
	绿色治理 B_4	环境污染治理投资额 x_{18}	万元	正	投入环境污染治理的资金
		人均城市维护建设资金 x_{19}	元	正	城市维护建设资金/城市总人口
		污水处理率 x_{20}	%	正	处理的污水量/污水排放总量
		生活垃圾无害化处理率 x_{21}	%	正	垃圾无害化处理量/垃圾总量
		万人拥有公共汽车 x_{22}	辆	正	公共汽车数量/城市总人口

2. 方法及数据说明

本研究选用主成分分析方法 (PCA) 测度绿色化指数。主成分分析是利用降维思想将多个指标转化成少数几个主成分, 通过简化数据结构, 利用主成分上的指标载荷和方差贡献率计算指标权重, 从而实现综合评价, 适用于多层次多目标分析, 该方法比较成熟, 基本原理和操作步骤参考田时中等的研究^[20]。以长江经济带沿线 36 个城市面板数据为样本进行实证分析, 数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》以及各地国民经济与社会发展公报和环境公报等, 部分缺失数据采用插值法处理。

(二) 结果分析

1. 整体分析

运用 SPSS、MATLAB 等软件,按照主成分分析方法基本步骤和线性加权公式,即可拟合长江经济带沿线城市绿色化指数(2007—2017),结果如表 2 所示。

一方面,从 2007—2017 年长江经济带 36 个城市绿色化指数均值来看,整体上样本城市绿色化水平呈现一种波动上升的变动趋势。绿色化最低值出现在 2008 年,其值为 0.354,最高值出现在 2017 年,达到 0.463。2015 年以后,绿色化水平稳步提升,年均增长 4.55 个百分点,与生态文明理念以及“生态优先、绿色发展”战略密切相关。长江经济带沿线城市在贯彻绿色发展战略过程中,逐步增加绿色研发投入,优化产业结构,调整环境污染治理投资比例,提升了绿色化水平。

表 2 长江经济带沿线城市绿色化指数及排名

类别	2007		2009		2011		2013		2015		2017	
	指数	排名										
上海	0.7028	1	0.7314	1	0.7119	1	0.7119	1	0.6887	1	0.7245	2
南京	0.6365	2	0.5844	3	0.6196	2	0.6196	2	0.6217	2	0.7511	1
无锡	0.5557	3	0.5319	4	0.5380	5	0.5380	5	0.4972	7	0.6042	6
常州	0.4434	13	0.4502	9	0.4758	8	0.4758	8	0.5109	6	0.5697	7
苏州	0.5482	4	0.6107	2	0.5711	3	0.5711	3	0.5922	4	0.6468	4
南通	0.4522	10	0.3967	15	0.4385	12	0.4385	12	0.4115	14	0.5242	12
扬州	0.3698	21	0.3283	21	0.3735	20	0.3735	20	0.3253	21	0.5146	15
镇江	0.4467	12	0.4564	8	0.4609	9	0.4609	9	0.4937	8	0.5243	11
泰州	0.3449	23	0.3051	25	0.3408	24	0.3408	24	0.3221	22	0.4278	21
杭州	0.5186	6	0.5083	6	0.5536	4	0.5536	4	0.5982	3	0.7060	3
宁波	0.5217	5	0.5131	5	0.5182	6	0.5182	6	0.5237	5	0.6057	5
嘉兴	0.4509	11	0.4303	11	0.4278	16	0.4278	16	0.4307	12	0.5225	13
湖州	0.4289	14	0.4202	12	0.4322	14	0.4322	14	0.4083	15	0.5206	14
绍兴	0.4242	15	0.4197	13	0.4302	15	0.4302	15	0.4324	11	0.5045	17
舟山	0.4944	7	0.4616	7	0.5023	7	0.5023	7	0.4784	10	0.5688	8
合肥	0.4742	8	0.4445	10	0.4570	10	0.4570	10	0.4887	9	0.5512	9
芜湖	0.4558	9	0.4181	14	0.4410	11	0.4410	11	0.3924	17	0.4711	19
马鞍山	0.3875	18	0.3726	18	0.4348	13	0.4348	13	0.3425	20	0.3867	22
铜陵	0.3828	19	0.3956	16	0.4005	18	0.4005	18	0.4021	16	0.4359	20
安庆	0.3021	26	0.2574	29	0.2266	32	0.2266	32	0.2645	26	0.3635	26

池州	0.3529	22	0.3241	22	0.3340	26	0.3340	26	0.3113	23	0.3820	24
南昌	0.4164	16	0.3573	19	0.3645	22	0.3645	22	0.3788	19	0.4907	18
九江	0.3231	24	0.3099	24	0.3359	25	0.3359	25	0.2591	28	0.3607	27
武汉	0.3966	17	0.3876	17	0.3779	19	0.3779	19	0.4156	13	0.5254	10
黄石	0.2665	29	0.2925	27	0.2438	31	0.2438	31	0.2423	30	0.3216	30
宜昌	0.3150	25	0.3214	23	0.2848	28	0.2848	28	0.2641	27	0.3863	23
鄂州	0.2889	28	0.2975	26	0.2438	31	0.2438	31	0.2423	30	0.3216	30
荆州	0.2097	33	0.2328	31	0.1623	36	0.1623	36	0.1521	36	0.3058	34
黄冈	0.2228	32	0.2026	35	0.2174	33	0.2174	33	0.1763	34	0.2376	35
咸宁	0.2239	31	0.2123	34	0.2160	34	0.2160	34	0.2078	31	0.3184	31
岳阳	0.2042	35	0.2151	33	0.2580	30	0.2580	30	0.1981	32	0.3262	29
重庆	0.2636	30	0.2482	30	0.3680	21	0.3680	21	0.2841	24	0.3783	25
成都	0.3809	20	0.3528	20	0.4029	17	0.4029	17	0.3854	18	0.5075	16
攀枝花	0.3009	27	0.2822	28	0.3048	27	0.3048	27	0.2715	25	0.2239	36
泸州	0.1611	36	0.1408	36	0.2103	35	0.2103	35	0.1822	33	0.3125	32
宜宾	0.2067	34	0.2163	32	0.2643	29	0.2643	29	0.1603	35	0.3089	33
均值	0.3854	-	0.3731	-	0.3873	-	0.3873	-	0.3710	-	0.4630	

另一方面,从总体排名来看,上海、南京、苏州、无锡、杭州和宁波等城市绿色化水平排名靠前,其中上海和南京两市位居前两名(表 2)。从城市排名的波动情况来看,常州、扬州和武汉等城市排名上升较快,可能与上述城市积极响应国家政策,调整产业结构,倡导绿色生产和清洁生产有关。此外,芜湖市绿色化排名下滑严重,该市绿色化之路需要新契机实现新突破。

2. 准则层分析

(1) 绿色增长

样本考察期内,绿色增长维度呈现逐年上升的时序特征(图 1~2)。从各城市绿色增长指数均值来看(表 2),上海和苏州的绿色增长水平最高,荆州、黄冈、泸州和宜宾的绿色增长水平较低,样本城市间绿色增长指数的极差较大;从高水平城市的周边区域来看,上海、苏州周边城市的绿色增长水平相对较高,其指数达到了 0.08,通过高水平城市的辐射作用,带动了周边城市绿色生产,促进了绿色增长;从低水平城市的周边区域来看,低水平城市周边区域绿色发展水平相对较低,只有攀枝花、鄂州和武汉的绿色增长水平稍高,无法形成区域间良性互动,难以带动绿色增长。

(2) 绿色福利

样本考察期内,绿色福利维度呈现缓慢的上升态势(图 1~2)。从各城市绿色福利指数均值来看,上海、南京、苏州和杭州的绿色福利水平相对较高,其指数大于 0.13,可能的原因是这些城市经济实力较强,有足够的经济实力推动教育医疗事业发展,安庆、池州和宜宾的绿色福利水平比较低,其指数低于 0.02,这些城市经济实力较弱,往往更注重经济发展而忽视社会福利的提升。

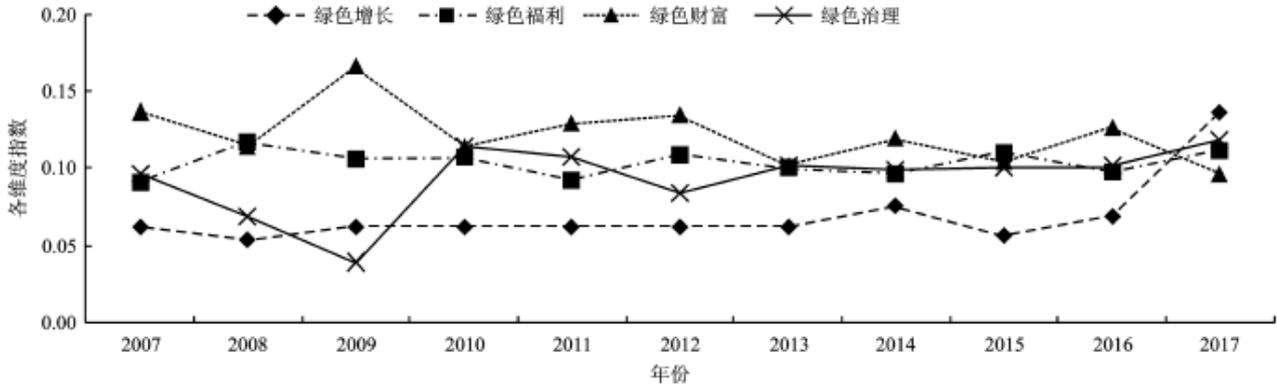


图 1 准则层绿色化水平时序比较

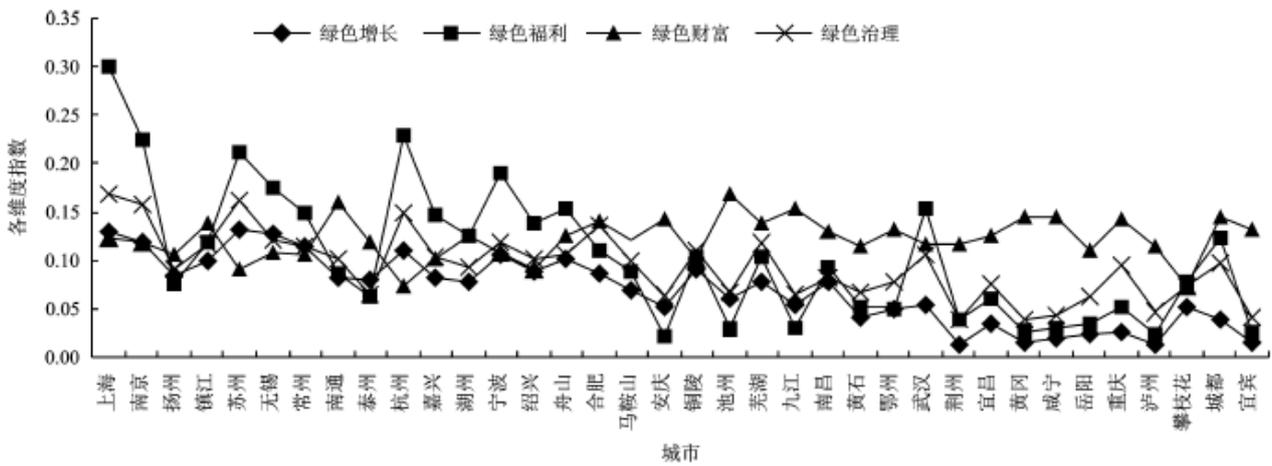


图 2 准则层绿色化水平截面比较

(3) 绿色财富

样本考察期内,绿色财富维度呈现下降的时序特征,极大值出现在 2009 年,而 2017 年为极小年(图 1~2),可能的原因是绿色化战略实施前,长江经济带沿线城市主要以粗放型经济发展模式为主,导致废水废气排放增加,资源环境承载力下降,绿色财富水平下滑。从样本考察期内各城市绿色财富指数均值来看,南通、池州和九江的绿色财富水平在长江经济带沿线城市中处于领先水平,这是由于上述城市生态环境相对较好,但其绿色增长以及绿色福利水平不高;苏州、杭州、绍兴和攀枝花的绿色财富水平较低,城市生态环境相对较差,其中苏州、杭州的绿色增长以及绿色福利水平较高,绍兴和攀枝花则处于中间水平,一定程度上佐证了这些城市“重经济轻环保”的粗放型发展模式。

(4) 绿色治理

样本考察期内,绿色治理维度呈现波动上升的态势(图 1~2)。2008 年“次贷危机”以后,城市基础设施投入增加,绿色治理投资规模提升幅度较小,随着生态文明和绿色化战略的实施,推动了绿色治理水平提升。从样本考察期内各城市绿色治理指数均值来看,绿色治理水平较高的城市包括上海、南京、苏州和杭州,上述城市绿色治理投入较高,有利于进一步提升绿色治理水平。此外,南京、杭州、合肥、南昌、武汉和成都等省会城市的绿色治理水平排名靠前,进一步说明省会城市具备引领辐射的功能。

3. 分地区分析

长江经济带下游城市的绿色化水平远高于中上游城市,这与不同城市的发展模式密切相关,下游城市经济实力较强,追求低污染、低排放、低能耗的发展模式,而中上游地区,为加快追赶下游经济发达城市,更多按照粗放型经济发展模式,推动经济快速发展,但也对生态环境带来一定破坏,拉低了绿色化水平。

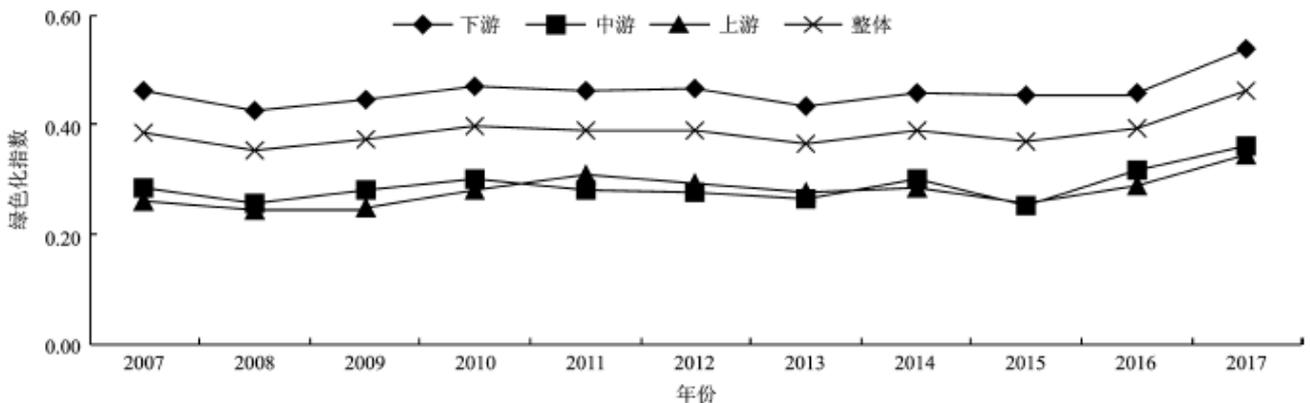


图 3 上中下游绿色化指数比较

分省份看(表 2),下游的上海、江苏、浙江和安徽 4 省份绿色化水平平均高于中上游省份,其绿色化指数高低排序为:上海>江苏=浙江>安徽。其中安徽绿色化水平略低于整体均值,说明上海、浙江、江苏等省份知识技术外溢效应不明显,中心城市的辐射作用未显现,今后各城市需更加关注区域之间的联动,协同推进绿色化水平提升。

四、实证解释

(一)模型设定及检验

依据理论及机理分析,引入空间计量模型,揭示技术进步对长江经济带绿色化发展的驱动作用,常见的空间计量模型包括空间滞后模型(SLM)、空间误差模型(SEM)等,SLM 模型关注被解释变量自相关性的影响,SEM 模型则关注误差项的存在所导致的空间依赖性。随着计量经济学研究领域的拓展,研究空间效应问题衍生出了一种新的计量模型:空间杜宾模型(SDM),该模型兼顾研究对象的解释变量和被解释变量的空间滞后项,并考虑到来自控制变量的空间溢出效应,鉴此,本研究采用空间杜宾模型^[7,15],实证检验技术进步驱动长江经济带绿色化的机理及其效应,模型设定如下:

$$\begin{aligned}
 gre_x = & \beta_0 + \rho Wgre_x + \beta_1 tech_x + \beta_2 rd_x + \beta_3 indu_x + \\
 & \beta_4 envi_x + \beta_5 tech_x \cdot rd_x + \beta_6 tech_x \cdot indu_x + \beta_7 tech_x \cdot \\
 & envi_x + \beta_8 X_x + \varphi_1 Wtech_x + \varphi_2 Wrd_x + \varphi_3 Windu_x + \\
 & \varphi_4 Wenvi_x + \varphi_5 Wtech_x \cdot rd_x + \varphi_6 Wtech_x \cdot indu_x + \\
 & \varphi_7 Wtech_x \cdot envi_x + \varphi_8 WX_x + \varepsilon_x \quad (1)
 \end{aligned}$$

其中, gre 为绿色化指数, W 为地理距离空间权重矩阵, tech 为技术进步, rd 为 R&D 内部支出, indu 为产业结构升级, envi 为政府环境污染治理投资, 此外, tech · rd, tech · indu, tech · envi 为交互项, X 为控制变量, 包括市场开放度(open)、市场化水平(market)、城市化水平(city)和人力资本水平(wage), ρ 、 β 和 ϕ 为待估参数, ε 为扰动项。

地理距离空间权重矩阵下长江经济带沿线城市绿色化水平的全局 Moran's 指数显示(表 3), 2007—2017 年绿色化水平的全局莫兰指数均为负数, 且在 1%置信水平下显著, 说明绿色化水平在地理距离上存在显著的空间负相关关系, 即呈现空间负集聚效应, 因此, 我们认为选用空间计量模型估计参数是可行的。

表 3 莫兰指数

统计量	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
I	-0.279***	-0.234***	-0.26***	-0.248***	-0.248***	-0.258***	-0.218***	-0.235***	-0.261***	-0.199***	-0.248***
Z	-12.301	-10.111	-11.393	-10.783	-10.742	-11.234	-9.298	-10.138	-11.378	-8.362	-10.758

首先, hausman 统计量显著为负, 接受原假设, 选用随机效应模型进行估计。其次, 模型(a)~(d)的 LR 检验和 Wald 检验结果显示, 两类检验结果均在 1%置信水平下显著, 空间杜宾模型显著不可退化为空间滞后模型和空间误差模型, 因而选取带随机效应的空间杜宾模型进行实证检验。

(二) 变量含义

1. 核心解释变量

技术进步。现有研究中, 主要采用全要素生产率、R&D 经费投入以及专利授权量等衡量技术进步。技术进步主要来源于技术的革新, 而技术革新伴随着专利的产生, 综合考虑, 本文采用专利授权数量来衡量技术进步。

2. 关键解释变量

(1) R&D 支出占比。

技术进步的直接来源是技术研发和技术购买, 技术研发支出规模是决定技术进步水平的关键因素, 而 R&D 内部支出在技术研发支出中占比较高, 故选取 R&D 内部支出占 GDP 的比重作为技术进步影响绿色化的路径之一。

(2) 产业结构升级。

从绿色增长维度来看, 产业发展是经济增长的主要依赖, 而产业升级是经济增长质量提升的关键。中国自 2000 年以来, 不断推动产业升级, 第三产业占比逐步增加, 第二产业占比大幅下降, 高新技术产业占比大幅提升, 推动中国经济持续、快速、健康发展。因此, 使用第三产业产值占 GDP 比重来衡量产业结构升级, 作为技术进步影响绿色化的路径之二。

(3) 环境污染治理投资。

从绿色治理维度来看, 中国环境污染治理最大特色是政府引导、社会协同、公众参与, 污染处理技术进步使得环境污染治理

投资效率提高,进而促进绿色化水平提升。因此选取环境污染治理投资作为技术进步影响绿色化的路径之三。

3. 控制变量

(1) 市场开放度(open)。

市场开放一方面为经济发展提供资本和技术,另一方面也为外商将低附加值、高污染的产业转移到中国提供了便利,研究中采用外商直接投资占固定资产投资总额的比重予以衡量。

(2) 市场化水平(market)。

一般而言,市场化水平越高,相应的交易制度、环境政策和技术设施等将更为完善,在降低污染,提升绿色化水平方面更具优势,因此以私营及个体就业人员占城市总就业人口比重予以衡量。

(3) 城市化水平(city)。

一方面,城市化伴随着人口集聚,并带来知识和技术的溢出效应,为节能减排提供新思路;另一方面,城市化也带来人口过度拥挤等负面影响,给当地环境承载力带来压力,研究中采用城市人口占总人口比重予以衡量。

(4) 人力资本水平(wage)。

随着技术进步加快,劳动力市场对技术人员的需求不断增加,技术人员的议价能力相应提高。城市的技术水平越高,则工人中技术人员的比例越高,城市的工资水平越高,因而使用城市人均工资水平来衡量人力资本水平。

(三) 实证结果分析

1. 基准回归

从技术进步的溢出效应来看,实证检验显示(表 4),技术进步显著提升长江经济带沿线城市自身的绿色化水平,且对相邻城市绿色化发展存在正向溢出效应,当模型中存在 R&D 内部支出以及环境污染治理投资变量时,技术进步的正向作用不明显。技术进步是区域高质量发展的驱动力,也是提升环境污染治理效率的重要抓手,在绿色化发展上,体现为技术进步通过知识溢出效应将知识、技术、信息传递到周边城市,推动周边城市绿色发展。不过,余东华等的研究显示,当前研发资金配比不合理,技术进步要素偏向弱化了技术进步对绿色化发展的正向影响^[21]。从治理投资来看,党的十九届四中全会上再次强调,要重视污染源头治理,力求改变污染末端治理模式,扭转“治标不治本”的现状,这就需要持续加大节能减排等技术研发投入,通过研发投入的刺激,实现新的技术革新,发挥技术进步对绿色化发展的正向促进作用。

从 R&D 内部支出溢出效应来看,R&D 内部支出的直接效应以及空间溢出效应在模型(1)中显著为负,说明 R&D 内部支出并未提升长江经济带沿线城市自身及周边城市绿色化水平,反而存在一定的抑制作用。经验研究显示,技术进步与 R&D 内部支出之间直接相关且同步发展,但 R&D 内部支出往往偏向于资本等非绿色方向,从而出现经济有效但绿色发展无效的技术进步局面,显著促进城市的经济发展,而抑制绿色化发展^[13]。此外,低效率的技术进步会通过知识外溢效应以及城市间经济发展“标杆”效应传递给邻近城市,导致负向空间溢出效应。

从产业升级的溢出效应来看,产业升级对绿色化水平提升的直接效应不显著,但间接效应显著,进而表明,产业升级对长江经

经济带沿线城市自身绿色化水平提升呈有限的正向影响,却显著抑制周边城市绿色化发展。相当长一段时期内,长江经济带沿线城市的产业升级表现为筛选具有经济利益优势的产业,而淘汰经济效益落后的产业,这导致城市经济绿色增长提速,而绿色福利减少,绿色化四维度出现“此消彼长”的发展态势;同时,经过产业升级的洗礼,一些被“剔除”的高污染、高能耗、低经济效益的产业进入周边城市,对周边城市绿色化发展产生负向影响,即呈现显著的负向溢出效应。

表 4SDM 回归

变量	直接效应				间接效应				总效应			
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
h	3.00e ⁻⁷	8.14e ^{-7***}	2.50e ⁻⁷	6.90e ^{-7***}	5.83e ⁻⁷	0.00001***	4.11e ⁻⁷	0.00001**	8.93e ⁻⁷	4.65e ^{-6***}	6.61e ⁻⁷	0.00001
	(1.22)	(2.64)	(0.95)	(2.49)	(1.12)	(3.01)	(0.91)	(2.00)	(1.16)	(3.06)	(0.93)	(2.00)
D	-0.1604***			-0.0065	-0.3747***			-0.0170	-0.3907***			-0.0065
	(-3.20)			(-1.39)	(-4.14)			(-1.33)	(-4.18)			(-1.39)
lu		-0.0008		-0.0005		-0.0305***		-0.0249**		-0.0314***		-0.0005
		(-1.32)		(-0.81)		(-4.10)		(-3.10)		(-3.96)		(-2.96)
i			1.22e ^{-7***}	1.41e ^{-8***}			2.04e ^{-8***}	3.75e ^{-8**}			3.25e ^{-8***}	5.16e ^{-8***}
			(2.99)	(3.05)			(2.72)	(2.42)			(2.93)	(2.64)
n	-0.0048	0.0119	-0.0062	0.0013	-0.5571***	0.0317	-0.5395***	-0.1769	-0.5619***	-0.0437	-0.5457***	-0.1769
	(-0.62)	(1.48)	(-0.64)	(0.14)	(5.32)	(1.34)	(-4.99)	(-1.29)	(-5.17)	(1.4)	(-4.85)	(-1.29)
et	0.0001	0.0002*	3.07e ⁻⁵	0.0002*	0.0085***	0.0109***	0.0065***	0.0113***	0.0086***	0.0112***	0.0066***	0.0113***
	(1.19)	(1.84)	(0.3)	(1.74)	(3.19)	(3.25)	(2.64)	(3.30)	(3.16)	(3.24)	(2.59)	(3.24)
y	0.0009	0.0001	1.39e ⁻⁵	0.0001	0.0027***	0.0032***	0.00002	0.0028***	0.0029***	0.0034***	0.00003	0.0029***
	(0.81)	(1.13)	(0.13)	(1.01)	(3.10)	(3.02)	(0.10)	(2.47)	(3.13)	(2.97)	(0.11)	(2.47)
re	2.33e ^{-6***}	2.03e ^{-6***}	2.36e ^{-7***}	2.05e ^{-6***}	-7.7e ^{-6***}	-0.00001***	-0.00001***	-0.00001***	-5.3e ^{-6***}	-0.00001***	-8.0e ^{-6***}	-0.00001***
	(6.06)	(4.70)	(4.74)	(4.71)	(-3.94)	(-4.58)	(-4.64)	(-4.68)	(-2.95)	(-3.85)	(-3.61)	(-4.68)

从环境污染治理投资的溢出效应来看,环境污染治理投资的直接效应和间接效应均显著,表明加大环境污染治理投资力度,能提升长江经济带沿线城市及相邻城市的绿色化水平。当前环境污染治理策略更多瞄准终端污染物,这种治理模式具有针对性强的优势,辅之以多项配套治理措施,能极大地改善城市环境,提升城市绿色化水平。进一步研究显示,污染治理投资规模的扩大,可以降低城市自身的大气污染和水污染,由于大气和水的流动性特征,环境污染治理投资的降污效应可进一步通过空间外溢扩散到周边城市,显著降低邻近城市的环境污染,进而提升周边城市的绿色化水平^[6]。

从相关控制变量来看,市场开放度的直接效应不显著,间接效应显著,说明长江经济带沿线城市的市场开放度可能会给周边

城市的绿色化发展带来不利影响。市场化水平的直接效应和间接效应系数均为正,说明长江经济带沿线城市的市场化水平越高,周边城市的绿色化水平越高,这与市场制度等跨区域流动,带动相邻城市改善环境有关,进一步表明随着市场化程度提高,绿色化水平得到显著提升。城市化的直接效应不显著,间接效应显著为正,说明城市化进程对周边城市绿色化发展具有促进作用,城市化过程中,邻近城市的人口向本地区流动,缓解了周边城市的资源环境压力,推动城市绿色化发展。人力资本水平的直接效应显著为正,间接效应显著为负,说明长江经济带沿线城市的人力资本水平越高,越有利于绿色化发展,对周边城市绿色化发展越不利,高工资水平能留住本地人才,也吸引周边城市人才加入,进而推动绿色发展。

2. 交互项回归

首先,从技术进步和 R&D 内部支出占比的交互作用看,其直接效应和间接效应均显著,说明技术进步与 R&D 内部支出的结合对长江经济带沿线城市及周边城市的绿色化水平提升均存在显著的促进作用。技术进步与 R&D 内部支出的有效结合,意味着 R&D 内部支出使用效率较高,使得经济发展和环境治理领域的技术革新效率得以提升。技术进步是经济增长的直接源动力,而节能环保技术的革新,显著提升了资源利用效率和环境治理效果,推动长江经济带沿线城市绿色化发展;同时,技术通过知识外溢途径传递给周边城市,带动邻近城市的绿色化发展。

其次,从技术进步和产业升级交互作用看,其直接效应和间接效应均不显著,说明技术进步与产业升级结合的正向影响有限。一般情况下,第三产业因其低能耗、低污染而具备绿色产业特征,绿色化发展倡导的产业升级,意味着第三产业比重上升,第二产业比重下降;从长江经济带沿线城市产业发展轨迹来看,改革开放初期,该区域主要依托第二产业快速发展,以提升长江经济带沿线城市经济总量。近年来,受经济下行压力影响和绿色化发展战略的贯彻,率先实现产业绿色升级的主要是上海、南京、杭州等城市,但大部分城市的产业结构仍以第二产业为主,技术进步与产业升级互动有限,对绿色化水平的提升作用不明显,更无法对邻近城市产生带动作用,因而技术进步和产业升级互动的间接效应也不明显。

表 5 交互项 SDM 回归

	直接效应				间接效应				总效应			
	模型(5)	模型(6)	模型(7)	模型(8)	模型(5)	模型(6)	模型(7)	模型(8)	模型(5)	模型(6)	模型(7)	模型(8)
h	-2.38e ⁻⁷	1.01e ⁻⁶	7.83e ^{-6*}	-8.02e ⁻⁷	-0.00003 ^{***}	2.86e ⁻⁶	1.24e ^{-6*}	-0.00003	-0.00003 ^{***}	3.87e ⁻⁶	2.02e ^{-6*}	-0.00003
	(-0.36)	(1.54)	(1.86)	(-0.11)	(-3.31)	(1.32)	(1.76)	(-2.66)	(-3.26)	(1.39)	(1.84)	(-0.36)
o	-0.1398 ^{**}			-0.0097	-0.3479 ^{***}			-0.1491 ^{**}	-0.3619 ^{***}			-0.1398 ^{**}
	(-2.43)			(-1.60)	(-4.70)			(-2.19)	(-4.69)			(-2.43)
u		-0.0001		0.00006		-0.0239 ^{***}		-0.0102		-0.0237 ^{***}		-0.0239 ^{***}
		(0.14)		(0.10)		(-2.35)		(-1.50)		(-2.20)		(-2.35)
i			3.65e ^{-8***}	4.48e ^{-8***}			5.88e ^{-8***}	8.04e ^{-8***}			9.54e ^{-8***}	1.24e ^{-7***}
			(3.43)	(4.37)			(3.01)	(2.97)			(3.36)	(3.43)
n	-0.0043	0.0085	-0.0049	-0.0056	-0.3933 ^{***}	0.02319	-0.5315 ^{***}	-0.2370 ^{**}	-0.3976 ^{***}	-0.0317	-0.5364 ^{***}	-0.3976 ^{***}
	(-0.64)	(1.02)	(-0.64)	(-0.88)	(-4.27)	(0.94)	(-4.85)	(-2.03)	(-4.14)	(0.97)	(-4.72)	(-4.27)

et	0.0002	-9.3e ⁻⁵	2.37e ⁻⁵	0.0001	0.0095 ^{***}	-0.0003	0.0068 ^{**}	0.0086 ^{**}	0.0097 ^{**}	-0.0004	0.0068 ^{**}	0.
	(1.51)	(0.88)	(0.21)	(0.78)	(4.49)	(-0.83)	(2.73)	(2.86)	(4.45)	(-0.85)	(2.66)	(2.
y	0.00008	2.78e ⁻⁵	3.85e ⁻⁵	0.0001	0.0021 ^{**}	0.00006	0.0001	0.0002	0.0022 ^{**}	0.0001	0.00001	0.
	(0.76)	(0.26)	(0.33)	(1.01)	(2.00)	(0.18)	(0.28)	(0.93)	(2.01)	(0.20)	(0.30)	(0.
e	2.57e ^{-6***}	2.01e ^{-6***}	2.33e ^{-6***}	2.17e ^{-6***}	-9.4e ^{-6***}	-3.7e ^{-6***}	-0.00001 ^{***}	-0.00001 ^{***}	-6.8e ^{-6***}	-1.69e ⁻⁶	-8.0e ^{-6***}	-8.
	(6.17)	(4.82)	(5.34)	(4.65)	(-4.86)	(-3.00)	(-4.70)	(-3.78)	(-3.85)	(-1.36)	(-3.67)	(-)
R&D	3.76e ⁻⁷			6.54e ^{-7***}	0.00002 ^{**}			0.00002 ^{**}	0.00001 ^{***}			0.0
	(1.52)			(3.08)	(3.67)			(2.98)	(3.67)			(3.
indu		-2.57e ⁻⁸		-3.01e ⁻⁹		-4.03e ⁻⁸		-4.69e ⁻⁹		-5.46e ⁻⁸		-7.
		(-1.24)		(-0.30)		(-1.12)		(-0.25)		(-1.17)		(-)
envi			-4.0e ^{-13**}	-5e ^{-13***}			-6.5e ^{-13**}	-9e ^{-13**}			-1.05e ^{-8**}	-1e
			(-2.25)	(-2.98)			(-2.11)	(-2.37)			(-2.23)	(-)

最后,从技术进步与环境污染治理投资交互作用看,其直接效应和间接效应显著为负,说明技术进步与环境污染治理投资之间的互动,对长江经济带沿线城市及邻近城市绿色化发展均具有显著的抑制作用。究其原因,可能是长江经济带沿线城市在经济发展和环境污染治理过程中,重视投资周期短,见效快的经济建设投资,而忽视投资周期长,见效慢的技术研发投入,导致经济快速发展,而环境污染形势愈发严峻。因而,当前期绿色技术研发投入少,节能环保技术革新慢,对新的环境污染及其治理准备不足,不利于长江经济带沿线城市绿色化水平的提升。此外,由于大气等污染物的空间溢出效应,长江经济带沿线城市污染有向邻近城市扩散的可能,一定程度上加大了“公地悲剧”发生概率,因此本研究认为技术进步与环境污染治理投资的交互作用显著降低了邻近地区的绿色化水平。

控制变量上,市场开放度提升了长江经济带沿线城市自身绿色化水平,但其正向溢出效应有限;市场化水平对长江经济带沿线城市周边区域的绿色化发展存在显著正向效应;加入交互项后,城市化对长江经济带沿线城市绿色化发展的直接效应和间接效应有所减弱;人力资本水平上升有利于带动长江经济带沿线城市绿色化发展,但溢出效应相反。

五、结论及建议

依据理论分析、测度和实证检验,得出以下结论:(1)整体上看,样本考察期内,长江经济带沿线城市绿色化水平呈现一种波动上升的时序特征;从绿色化综合指数大小看,排名靠前的主要是长江经济带下游城市,中上游城市绿色化指数排名靠后。(2)从准则层看,绿色增长水平、绿色福利水平与绿色治理水平均呈现上升的时序特征,按提升幅度大小排列为:绿色治理>绿色增长>绿色福利,而绿色财富水平呈下降趋势;分地区看,下游城市绿色化水平优于中上游城市,中上游城市的绿色化水平差距较小;省级层面上,绿色化水平高低排序为:上海>江苏-浙江>安徽。(3)从各因素空间区域关联性看,直接效应上,长江经济带沿线城市技术进步、环境污染治理投资、人力资本水平、技术进步与产业升级的交互,显著提升城市自身绿色化水平,而长江经济带沿线城市R&D内部支出、技术进步与环境污染治理投资的交互,显著抑制城市自身的绿色化发展;溢出效应上,技术进步、环境污染治理投资、市场化水平、城市化水平、技术进步与R&D内部支出占比的交互,对邻近城市绿色化水平具有显著正向溢出效应,而R&D内部支出、产业升级、市场开放度、人力资本水平、技术进步与环境污染治理投资的交互,对周边城市的绿色化发展具有抑制作用。

上述结论意味着技术进步显著影响长江经济带沿线城市绿色化发展,为提升该区域绿色化水平,提出如下政策建议:

一是强化绿色技术驱动机制。党的十九大报告强调要加快生态文明体制改革,实施创新驱动战略,构建市场导向的绿色技术创新体系。这是因为绿色技术创新是解决目前资源环境问题、实现绿色发展的重要助推剂,要实现长江经济带沿线城市绿色高质量发展,就需要强化绿色技术驱动机制,通过节能环保等绿色技术成果的高效转化,提高绿色技术应用效率,驱动长江经济带沿线城市绿色化发展,提升绿色化水平。

二是加大绿色技术创新投入。实证检验显示,技术进步对长江经济带沿线城市绿色化发展具有显著促进作用,而地区技术进步带有投资周期长、见效慢的特点,其水平高低受研发经费投入强度的影响较大,因此要不断扩大绿色技术创新投入比例、提升技术革新效率,从而实现绿色技术创新投入产出的帕累托最优。具体说,一方面,政府可在绿色技术创新方面给予预算倾斜,进一步提高绿色技术创新投入比例;另一方面,企业应严格执行绿色生产标准,持续加大绿色技术创新研发投入,夯实企业绿色技术创新能力提升的基础。

三是推动产业绿色升级。研究显示,产业升级对长江经济带绿色化发展不具有直接效应,但具有负向间接效应,且与技术进步的交互作用不显著,要扭转这种局面,就需要实施产业绿色升级,进一步提升绿色技术创新成果的利用率,为绿色化“加分”。一方面,地方政府要不断壮大具有节能环保和能源清洁利用特征的新兴产业规模,为基础产业绿色化“加码”;另一方面,注重绿色技术创新成果的转化和利用,作为产业绿色升级的“催化剂”。

四是因地制宜推进绿色化发展。研究显示,长江经济带沿线城市绿色化水平具有异质性特征,新时期,为协调推进该区域绿色化发展,也应树立大局意识和全局观念,综合考虑各个城市绿色发展现状,因地制宜推进绿色化战略。下游城市绿色化发展水平较高,应发挥该区域城市辐射带动作用,将绿色发展过程中先进的经验和方法传递给中上游城市;中游城市在承接产业转移过程中,注重绿色技术的应用,摒弃污染“末端治理”模式,提高资源利用效率;上游城市利用国家政策和新的发展契机,借鉴下游城市发展的经验,壮大经济总量的同时,进一步探索和创新绿色发展模式,推动地区绿色发展。

参考文献:

- [1]胡鞍钢,周绍杰.绿色发展:功能界定、机制分析与发展战略[J].中国人口·资源与环境,2014,24(1):14-20.
- [2]涂正革,王秋皓.中国工业绿色的评价及动力研究——基于地级以上城市数据门槛回归的证据[J].中国地质大学学报(社会科学版),2018,18(1):47-56.
- [3]任耀,牛冲槐,牛彤,等.绿色创新效率的理论模型与实证研究[J].管理世界,2014(7):176-177.
- [4]史丹.绿色发展与全球工业化的新阶段:中国的进展与比较[J].中国工业经济,2018(10):5-18.
- [5]Chung Y H, Fare R, Grosskopf S. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229-240.
- [6]Fare R, Grosskopf S, Noh D W, et al. Characteristics of a Polluting Technology: Theory and Practice[J]. Journal of Econometrics, 2005, 126(2): 469-492.
- [7]张江雪,王溪薇.中国区域工业绿色增长指数及其影响因素研究[J].软科学,2013,27(10):92-96.

-
- [8]林伯强,谭睿鹏.中国经济集聚与绿色经济效率[J].经济研究,2019,54(2):119-132.
- [9]黄磊,吴传清.长江经济带城市工业绿色发展效率及其空间驱动机制研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(8):40-49.
- [10]郝国彩,徐银良,张晓萌,等.长江经济带城市绿色经济绩效的溢出效应及其分解[J].中国人口·资源与环境,2018,28(5):75-83.
- [11]田时中,丁雨洁.长三角城市群绿色化测量及影响因素分析——基于26城市面板数据熵值—Tobit模型实证[J].经济地理,2019,39(9):94-103.
- [12]张长鲁,张健,田晓飞,等.基于组合赋权的绿色产品认证关键风险点识别及评价[J].统计与信息论坛,2019,34(6):82-89.
- [13]苏利阳,郑红霞,王毅.中国省际工业绿色发展评估[J].中国人口·资源与环境,2013,23(8):116-122.
- [14]孙才志,童艳丽,刘文新.中国绿色化发展水平测度及动态演化规律[J].经济地理,2017,37(2):15-22.
- [15]侯纯光,任建兰,程钰,等.中国绿色化进程空间格局动态演变及其驱动机制[J].地理科学,2018,38(10):1589-1596.
- [16]Daron Acemoglu, Philippe Aghion, Leonardo Bursztyn, et al. The Environment and Directed Technical Change[J]. Social Science Electronic Publishing, 2012, 102(1):131-166.
- [17]Rick V D P, Withagen C. Green Growth, Green Paradox and the Global Economic Crisis[J]. Environmental Innovation and Societal Transitions, 2013(6):116-119.
- [18]修静. 工业技术进步的绿色偏向性测度:资本与劳动[J]. 改革, 2016(9):68-78.
- [19]杨福霞,徐江川,杨冕,等.能源价格波动、诱导性技术进步与中国环境全要素生产率[J].中国管理科学,2018,26(11):31-41.
- [20]田时中,孙阳贯南,占沁嫣.基于主成分分析的基础设施发展水平评价实证——来自30个省份2007—2016年面板数据[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2017,34(4):41-49.
- [21]余东华,张鑫宇,孙婷.资本深化、有偏技术进步与全要素生产率增长[J].世界经济,2019,42(8):50-71.