

【区域高质量发展】

# 数字经济赋能长江经济带绿色发展： 机制、异质性及策略\*

庄贇 吴自炜

**摘要:**数字经济作为加快发展新质生产力的重要措施,对于促进产业绿色化转型、提升绿色全要素生产率发挥着重要作用。以2011—2022年长江经济带108个地级市的面板数据为研究对象,深入探讨数字经济对长江经济带绿色全要素生产率的提升路径,结果表明:第一,数字经济能显著促进绿色全要素生产率的提升;第二,产业结构升级、人力资本以及绿色技术创新在两者关系中起到了重要的机制传导作用;第三,异质性检验结果显示,数字经济对提升长江经济带下游地区绿色全要素生产率的促进作用更加明显。面对长江经济带在利用数字经济推动绿色发展时仍面临的区域发展不平衡、产业结构调整难度大和绿色技术创新转化效率低等问题,建议通过加强区域协调发展、优化数字基础设施、激励企业创新及培养高端人才等策略,实现长江经济带绿色全要素生产率的全面提升。

**关键词:**数字经济;绿色全要素生产率;长江经济带;作用机制

中图分类号:F124.6 文献标识码:A 文章编号:2095-5766(2024)04-0085-09 收稿日期:2024-05-11

\*基金项目:国家社会科学基金一般项目“高质量公共服务空间极化破解及均等化路径”(22BJL084);福建省哲学社会科学规划重点项目“新时代福建省共同富裕发展水平测度与提升路径研究”(FJ2024A003)。

作者简介:庄贇,女,集美大学财经学院教授,集美大学财经学院经济系主任,中国区域科学协会理事(厦门 361021)。

吴自炜,男,集美大学财经学院硕士生(厦门 361021)。

## 一、引言

2023年10月12日,习近平总书记在江西南昌主持召开进一步推动长江经济带高质量发展座谈会时强调,要坚持生态优先、绿色发展,统筹推进生态环境保护和经济社会发展。这表明,党和国家积极提倡保护长江经济带的生态环境,要避免以往利用环境和资源换取一时的经济发展的模式,将保护和经济发展做到有机结合,提高资源利用率,进而实现经济绿色化、可持续化的发展目标。

当前,数字经济已成为推动中国经济高质量发展的重要力量。据中国信息通信研究院发布的《中

国数字经济发展与就业白皮书(2023)》显示,中国数字经济发展规模已达到50万亿元左右,占GDP比重超过四成。数字经济的蓬勃发展从根本上改变了传统经济的生产方式和商业模式。数字经济作为新兴的经济形态,通过数据资源的深度开发和广泛应用,有效提升了生产效率和经济活力,为产生具有高科技、高效能的新型生产力提供了技术支持和创新动力,能有效促进绿色全要素生产率的提升。

本文在验证数字经济是否促进长江经济带绿色全要素生产率提升的基础上,探究数字经济对绿色全要素生产率的影响机制,有助于为长江经济带的绿色发展提供具体的路径指导和政策建议。

## 二、文献综述和理论分析

本部分着重对数字经济作用于绿色全要素生产率的影响机制进行理论分析。

### (一)文献综述与可能的边际贡献

关于数字经济对绿色全要素生产率的影响,众多学者进行了深入研究。李金林等(2021)证实了互联网发展能够显著提升绿色经济效率,有助于实现经济绿色发展。程文先等(2021)指出数字经济对工业可持续发展有重要推动作用。张帆等(2022)认为数字经济促进技术创新和生产效率提升,进而提升绿色全要素生产率,但环境规制有负向影响。诸多专家学者对数字经济与绿色全要素生产率已进行了深入的分析和研究,与既有文献相比,本文可能的边际贡献在于:

一是响应党的二十大报告提出的要保护好长江经济带的生态环境,实现高质量发展的精神,从地理区位上聚焦长江经济带108个地级市,研究结论以期为长江经济带城市层面政策制定和行动实施提升绿色全要素生产率提供参考。

二是研究思路创新,首先,从政府政策、企业行为以及社会生活等三个层面进行探讨数字经济对绿色全要素生产率的直接影响机制;其次,从产业结构升级、绿色技术创新以及人力资本水平三个维度,深入研究它们在两者关系中起到的间接传导机制。这一系列研究结果能够为建设数字强国和绿色低碳可持续化发展提供一定的经验启示。

### (二)理论分析与研究假设

本节从理论层面探讨数字经济与绿色全要素生产率之间的关系。

#### 1.数字经济对绿色全要素生产率的直接作用机制

数字经济对绿色全要素生产率的提升具体表现在以下几个方面:企业层面,它促进了绿色生产模式的形成;政府层面,它优化了环境监管体系;社会层面,它增强了公众的监督能力。这些因素共同推动了经济向更加绿色协调的方向发展。首先,数字技术助力企业资源整合与转型升级,提升生产效率与资源利用率,促进绿色发展。其次,政府利用数字技术革新环境监管模式,实现环境数据的动态管理与高效决策,提升环境质量,进而推动绿色全要素生产率提升。最后,数字技术搭建公众监督平

台,强化社会监督参与,形成政府与公众互动模式,促进环境状况实时监督与污染行为反馈,推动企业减排,提升绿色全要素生产率。

根据以上分析,我们提出第一个研究假设H1:数字经济对绿色全要素生产率具有正向促进影响。

#### 2.数字经济对绿色全要素生产率影响效应的异质性分析

长江经济带下游地区凭借东部沿海的优越地理位置和成熟的基础设施,吸引了大量人才,推动了高新技术产业的蓬勃发展。AI、数字技术和互联网的高效应用进一步加速了信息交流与共享,为数字经济发展提供了有利条件,使得下游地区的数字经济具有巨大的潜力和坚实基础。相对而言,中上游地区在交通、通信等基础设施方面仍有不足,对外开放程度较低,人才吸引力较弱,无法发挥出人才集聚优势,因此,中上游地区数字经济发展对绿色全要素生产率的提升效果相对缓慢。

根据以上分析,我们提出第二个研究假设H2:数字经济对长江经济带绿色全要素生产率的影响存在区位异质性特征。

#### 3.数字经济对绿色全要素生产率的间接传导机制

首先,数字经济通过驱动产业结构升级,助力绿色全要素生产率提升。随着数字经济的不断发展,生产技术与生产方式不断更新迭代,物联网、云计算、AI等新技术的广泛应用,不仅促进了传统产业的效率提升,而且催生了众多新兴产业的崛起,从而推动了产业结构的全面升级。这一升级过程,使得经济系统内的各类生产要素得以更有效地转化和协调利用,提高了生产要素的附加值和整体生产效率,并显著减少资源的损耗和浪费。这种优化不仅体现在经济效益上,还体现在环境效益上。新兴产业的崛起带来了众多绿色技术和绿色产品的涌现,这些创新推动了经济的绿色化转型。因此,数字经济通过驱动产业结构升级,实现了生产要素的高效利用和资源节约,有利于优化资源配置,提升绿色全要素生产率。

其次,数字经济通过驱动绿色技术创新,提升绿色全要素生产率。随着数字经济的蓬勃发展,信息不对称问题在金融机构和企业间得到有效解决,这使得银行等金融机构能够快速且准确地为企业绿色创新发展提供必要的信贷资金支持。这一变革极大地激励了企业将更多资金投入绿色创新

研发中,从而推动了绿色技术创新水平的显著提升。企业积极推动绿色技术创新,借助先进的绿色技术,能够拥有深入挖掘现有资源和能源的潜力,实现更高效的利用,减少资源的过度开发和浪费。这种转变不仅有助于节能环保,实现节能减排的目标,而且通过技术升级和改造,进一步提升了企业的生产效率,有利于提升绿色全要素生产率。因此,数字经济通过促进绿色技术创新,形成了一个有效的传导机制,有利于推动绿色全要素生产率的增长。

最后,数字经济通过提升人力资本水平推动绿色全要素生产率增长。在数字经济中,数字技术扮演着举足轻重的角色。借助这些先进的技术,我们可以搭建起数字网络共享平台,从而实现技术知识的高效、广泛传播。这样的平台将知识资源迅速、便捷地共享到各个网络终端,打破了时间和空间的限制,使得知识的获取与分享变得前所未有的便捷。这种变革不仅提高了人与人之间合作交流的频率,更推动了当地人力资本的显著提升。人力资本的提升,不仅直接增强了劳动生产率,还通过优化其他投入要素的生产率,有效减少了物质资源的投入,提升了资源的整体利用效率,进而可以显著推动绿色全要素生产率的增长。因此,数字经济通过其强大的技术支撑和知识共享机制,不仅促进了人力资本的积累与提升,更间接推动了绿色全要素生产率的增长,为经济的可持续发展注入了新的活力。

根据以上分析,我们提出第三个研究假设H3:数字经济通过推动产业结构升级、提升绿色技术创新能力以及增强人力资本水平,形成了一套综合作用机制,间接推动了绿色全要素生产率的增长。

### 三、研究设计

本节在对核心解释变量数字经济综合发展水平(*DE*)、被解释变量绿色全要素生产率(*GTFP*)以及其余变量进行测度说明的基础上,构建基准回归模型和机制模型以实证检验理论分析部分提出的研究假设。

#### (一)变量测度与样本说明

##### 1.被解释变量:绿色全要素生产率(*GTFP*)

本文借鉴杨翔等(2015)、刘钻扩等(2018)等多位学者的做法采用基于SBM方向距离函数的GML指数来对绿色全要素生产率(*GTFP*)进行测算。选取资本存量作为资本投入衡量指标,将城镇单位从业人员年末数作为劳动力投入衡量指标,将全社会用电量作为能源投入衡量指标,将各城市实际GDP作为期望产出衡量指标,将工业“三废”作为非期望产出指标的组成部分。采用Matlab软件进行绿色全要素生产率测算,由于测算的GML指数以及分解指数是基于相对效率的结果,衡量的是第*t*期到第*t+1*期绿色全要素生产率的变动情况,故本文参考聂长飞等(2021)的方法,将2011年的绿色全要素生产率设为1,乘以2012年对比2011的GML指数,得到2012年的绿色全要素生产率,以此类推,计算得到各年的绿色全要素生产率。根据数据的可得性,本文测算了2011—2022年长江经济带108个地级市绿色全要素生产率,测算中所使用的投入产出变量以及最后测算得到的绿色全要素生产率(*GTFP*)的描述性统计分析见表1。

表1 2011—2022年长江经济带108个地级市投入产出变量及绿色全要素生产率的描述性统计

| 变量名                     | 单位   | 样本数  | 平均值       | 标准差       | 最小值      | 最大值        |
|-------------------------|------|------|-----------|-----------|----------|------------|
| 资本存量                    | 亿元   | 1296 | 15049     | 15725     | 1435.8   | 140000     |
| 城镇单位从业人员期末人数            | 万人   | 1296 | 68.9099   | 108.8557  | 2.1400   | 986.8700   |
| 全社会用电量                  | 亿千瓦时 | 1296 | 163.7887  | 234.8532  | 3.3083   | 1574.3     |
| 实际地区生产总值                | 亿元   | 1296 | 3163.7622 | 4245.5486 | 178.5010 | 38471.3789 |
| 工业废水排放量                 | 万吨   | 1296 | 6667.0633 | 8388.2351 | 113      | 71307      |
| 工业二氧化硫排放量               | 万吨   | 1296 | 38.1423   | 1263.8    | 0.0124   | 45500      |
| 工业烟粉尘排放量                | 万吨   | 1296 | 2.3424    | 5.6094    | 0.0229   | 134.7367   |
| 绿色全要素生产率( <i>GTFP</i> ) |      | 1296 | 1.1596    | 0.4887    | 0.1912   | 5.4398     |

数据来源:作者根据各年公开统计资料计算。最新一期的数据来源于《2023年中国城市统计年鉴》以及各地级市2023年统计年鉴和统计公报,其中“城镇单位从业人员期末人数”和“工业废水排放量”两个指标自2019年后不再公布,观察这两个指标的变动趋势符合线性时间序列趋势,运用Stata软件的线性插值公式补全。绿色全要素生产率(*GTFP*)基于SBM方向距离函数测算得到。

2.核心解释变量:数字经济综合发展水平(DE)

根据前文的理论分析,在深入探究数字经济对绿色全要素生产率的作用机制时,互联网发展水平和数字金融发展水平应当成为我们重点关注的方面。互联网作为数字经济的基础设施,拥有极快的信息传输能力,使得知识溢出效应不再受限于空间距离,同时还促进了企业间、政府与公众间的互动交流,为绿色技术创新提供了良好的环境基础,进而有利于促进绿色全要素生产率的提升。数字金融通过创新金融产品和服务,为企业绿色创新发展提供了必要的信贷资金支持,降低了绿色金融投资的风险和成本,从而激发了企业绿色创新的积极性。因此,在构建数字经济发展水平指标体系时,

借鉴刘军等(2020)和赵涛等(2020)的做法,将互联网发展水平和数字金融发展水平作为指标构建的基础。对于互联网发展水平,以每百人互联网用户数、计算机服务和软件从业人员占比、人均电信业务总量、每百人移动电话用户数四个指标进行衡量。关于数字金融发展水平,使用郭峰等(2020)测算的数字普惠金融指数(含3个细分指标)来衡量。采用功效系数法对上述细分指标进行无量纲化处理,通过熵值法对其进行赋权,再加权综合得到数字经济综合发展水平(DE)作为本文的核心解释变量。2011—2022年长江经济带108个地级市数字经济评价指标及测算得到的数字经济综合发展水平的描述性统计分析见表2。

表2 2011—2022年长江经济带108个地级市数字经济评价指标及综合发展水平的描述性统计

| 指标名称           | 单位   | 样本数  | 平均值      | 标准差      | 最小值     | 最大值        |
|----------------|------|------|----------|----------|---------|------------|
| 每百人互联网用户数      | 户/百人 | 1296 | 26.0923  | 17.2970  | 2.6687  | 181.8552   |
| 计算机服务和软件从业人员占比 | %    | 1296 | 1.3257   | 1.0516   | 0.0127  | 8.6979     |
| 人均电信业务总量       | 元/每人 | 1296 | 869.9559 | 948.9477 | 45.0653 | 16809.3613 |
| 每百人移动电话用户数     | 户/百人 | 1296 | 96.6856  | 32.5574  | 24.5530 | 245.8800   |
| 数字普惠金融覆盖广度     | -    | 1296 | 185.1004 | 77.3287  | 5.1000  | 378.9101   |
| 数字普惠金融使用深度     | -    | 1296 | 197.0276 | 72.7802  | 13.2800 | 377.8900   |
| 数字普惠金融数字化程度    | -    | 1296 | 226.0428 | 87.3819  | 7.9000  | 437.9100   |
| 数字经济综合发展水平(DE) |      | 1296 | 0.1112   | 0.0848   | 0.0166  | 1.5741     |

数据来源:作者根据各年公开统计资料计算。数字普惠金融数据来源于北京大学数字金融研究中心编制的2011—2022年“北京大学数字普惠金融指数(PKU-DFIC)”,其他指标来源于2012—2023年的《中国城市统计年鉴》,数字经济综合发展水平通过熵值法加权测算得到。

3.控制变量(X)

为了尽可能减少遗漏变量导致的内生性问题,本文参考主流学者的做法,选取了经济发展水平(PGDP)、外商直接投资(FDI)、科研投入水平(RD)、人口密度(POP)、基础设施水平(POAD)五个控制变量。

4.机制变量(Media)

(1)产业结构升级水平(IS)

产业结构升级应该涵盖三次产业在国民经济中比重的变化,因此本文借鉴徐敏等(2015)的做法,引入产业结构层次系数来衡量长江经济带各城市的产业结构升级水平,其计算公式为:

$$IS_{it} = \sum_{n=1}^3 q_{nit} \times n$$

其中:IS<sub>it</sub>表示第i个城市第t年的产业结构升级水平,q<sub>nit</sub>表示第i个城市第t年的产业n增加值占总

产值的比重。

(2)绿色技术创新水平(GTE)

大多数学者认为专利的创新性水平从高到低依次为发明专利、实用新型专利以及外观设计专利,故本文选取当年各城市授权的绿色发明专利数量和绿色实用新型专利数量之和占年末专利总授权数量来衡量。

(3)人力资本水平(HUM)

人力资本的衡量学界尚未达成共识,基于城市层面数据的可得性,本文参考袁航等(2018)的做法,采用各地区普通高等学校在校学生人数与该地区总人口的比重来衡量。

根据上述变量测度方法计算得到的2011—2022年长江经济带108个地级市控制变量和机制变量的描述性统计分析见表3。

表3 2011—2022年长江经济带108个地级市控制变量和机制变量的描述性统计

| 变量名称        | 变量说明(单位)                              | 样本量  | 均值      | 标准差    | 最小值    | 最大值     |
|-------------|---------------------------------------|------|---------|--------|--------|---------|
| <i>PGDP</i> | 人均实际GDP的对数                            | 1296 | 10.8263 | 0.6225 | 9.0912 | 12.5739 |
| <i>FDI</i>  | 外商直接投资占GDP的比重(%)                      | 1296 | 2.0477  | 1.7976 | 0.0002 | 9.3172  |
| <i>RD</i>   | 地区科学技术支出占GDP的比重(%)                    | 1296 | 0.3976  | 0.3229 | 0.0014 | 2.4508  |
| <i>POPU</i> | 年末总人口与行政面积的比值                         | 1296 | 4.9201  | 3.0159 | 0.5508 | 23.4979 |
| <i>POAD</i> | 城市人均道路面积(平方米)                         | 1296 | 19.3981 | 8.0206 | 1.6200 | 69.5600 |
| <i>IS</i>   | 产业结构升级水平                              | 1296 | 2.3301  | 0.1550 | 1.9512 | 2.9575  |
| <i>GTE</i>  | 绿色发明专利数量和绿色实用新型专利数量之和占年末专利总授权数量的比重(%) | 1296 | 0.7357  | 0.1668 | 0.1911 | 1.3838  |
| <i>HUM</i>  | 普通高等学校在校学生数占地区年末人口总数的比重(%)            | 1296 | 1.9640  | 2.4819 | 0.0044 | 18.1793 |

数据来源:作者根据各年公开统计资料计算。其中,绿色技术创新水平(*GTE*)测算的相关数据来源于中国研究数据服务平台2011—2022年的绿色专利研究数据库。外商直接投资(*FDI*)利用《2023中国统计年鉴》公布的历年人民币对美元的中间汇率将美元换算为人民币,再求占GDP比重。其余变量测算的原始指标来源于2012—2023年《中国城市统计年鉴》以及各城市统计年鉴和统计公报。

## (二)实证模型

### 1.基准回归模型的构建

基于上文的相关理论分析和研究假设,构建以下基准回归模型:

$$GTFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DE_{it} + \alpha X + x_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $i$ 指的是观测城市, $t$ 指的是观测年份; $GTFP_{it}$ 是被解释变量绿色全要素生产率, $DE_{it}$ 是核心解释变量数字经济, $X$ 是控制变量矩阵。 $x_i$ 代表城市固定效应, $\delta_t$ 代表时间固定效应; $\varepsilon_{it}$ 代表随机扰动项。

### 2.间接传导机制模型的构建

本文主要从产业结构升级、绿色技术创新、人力资本三条路径分析数字经济对绿色全要素生产率的间接影响机制,采用江艇(2022)对于因果关系作用渠道检验方法的建议,构建如下机制检验模型:

$$Media_{it} = \beta_0 + \beta_1 DE_{it} + \beta X + x_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $Media_{it}$ 是机制变量,其余变量的含义同基准回归模型。

## 四、实证结果分析

本文将在对基准回归模型进行稳健性检验和内生性检验的基础上,验证产业结构优化、人力资本提升和绿色技术创新三者能否成为数字经济推动绿色全要素生产率提升的关键传导机制,并进一步探讨数字经济对长江经济带绿色全要素生产率区位异质性特征。

### (一)基准回归结果与稳健性检验

从表4第(1)列基准回归结果,我们可以发现数

字经济对被解释变量*GTFP*的回归系数在1%的显著性水平上呈现显著的正相关关系,这说明数字经济能够显著促进*GTFP*的提升。

为了确保回归结果的稳健性与可靠性,本文采用如下几种方式进行稳健性检验:一是替换核心解释变量,利用主成分法计算数字经济综合发展水平的综合得分替换熵值法综合得分重新进行回归,结果对应表4第(2)列;二是考虑到各省会城市以及直辖市的经济水平、政策优势以及基础设施水平等都明显优于其他城市,可能造成结果的误差,因此剔除了样本中11个省会城市与直辖市后重新回归,结果对应表4第(3)列;三是为了克服异常值的影响对被解释变量分别进行1%和5%缩尾处理,结果对应表4第(4)与第(5)列。

表4 基准回归、稳健性检验回归结果

|                       | (1)                   | (2)                   | (3)                   | (4)                   | (5)                  |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|                       | <i>GTFP</i>           | <i>GTFP</i>           | <i>GTFP</i>           | <i>GTFP</i>           | <i>GTFP</i>          |
| <i>DE</i>             | 1.9988***<br>(0.3772) | 0.0569***<br>(0.0167) | 1.9115***<br>(0.6738) | 1.6983***<br>(0.3733) | 0.8789**<br>(0.3798) |
| 控制变量                  | YES                   | YES                   | YES                   | YES                   | YES                  |
| <i>N</i>              | 1296                  | 1296                  | 1164                  | 1296                  | 1296                 |
| <i>R</i> <sup>2</sup> | 0.6020                | 0.5720                | 0.5672                | 0.6252                | 0.6355               |

数据来源:作者整理。

注:\*,\*\*和\*\*\*分别表示在10%、5%和1%水平上显著,括号内为城市聚类稳健标准误,下同。

根据表4稳健性检验回归结果第(2)—(5)列,我们可以发现,通过替换核心解释变量的测度方法、剔除了各个省会城市及直辖市样本数据以及处

理了异常值影响后,数字经济综合发展水平(*DE*)的回归系数值仍然在1%和5%的水平上显著为正,验证了本文基准回归结果的稳健性。

### (二)内生性检验

为了克服模型可能存在的内生性导致估计结果不一致的问题,本文参考黄群慧等(2019)构造工具变量的方法,选取长江经济带108个地级市在1984年的邮电历史数据作为工具变量。同时,因为1984年的邮电历史数据是截面数据,为了和本文12年的面板数据样本相匹配,借鉴Nunn N, et al.(2014)的研究方法,引入一个随时间变化的互联网用户数量这一变量与历史邮电数据相乘来构造面板工具变量。运用工具变量法进行回归的结果如表5所示。

表5 工具变量法回归结果

|                                     | (1)                   | (2)                   |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                     | <i>GTFP</i>           | <i>GTFP</i>           |
| <i>DE</i>                           | 3.3884***<br>(0.7371) | 2.6825***<br>(0.8710) |
| 控制变量                                | NO                    | YES                   |
| Kleibergen-Paap rk LM statistic     | 35.7070<br>[0.0000]   | 39.0070<br>[0.0000]   |
| Kleibergen-Paap rk Wald F statistic | 31.9970<br>{16.38}    | 32.8660<br>{16.38}    |
| <i>N</i>                            | 1032                  | 1032                  |
| <i>R</i> <sup>2</sup>               | 0.0760                | 0.1431                |

数据来源:作者整理。

表5工具变量检验结果中,通过K-P rk LM统计检验和K-P rk Wald F统计检验,本文有效排除了识别不足和弱工具变量的可能性,从而确认了选定工具变量的适当性。表5第(1)列和第(3)列表明,无论是否加入控制变量,工具变量的回归系数均在1%的显著性水平上呈现显著的正相关关系,工具变量法的回归结果支持了基准回归模型的稳健性检验,验证了本文第一个研究假设H1。

### (三)异质性检验

本文按照城市所在的区位进行异质性分析,将长江经济带下游25个城市区位虚拟变量赋值为1,上中游其他城市赋值为0,在此基础上,在基准模型中加入城市区位虚拟变量(*Group*)与数字经济综合发展水平(*DE*)的交互项,来探讨数字经济发展是否因城市所在区位不同而存在明显的异质性。表6报告了城市区位异质性检验的回归结果,交互项(*DE*×*Group*)系数为正,且在10%显著性水平上显

著,可以看出相较于中上游地区,数字经济对下游地区的绿色全要素生产率(*GTFP*)的提升效果会更加明显,从而证实了本文的研究假设H2。造成这一差异的主要原因是长江经济带下游地区有诸多优势条件:国家政策倾斜程度较高,产业结构不断优化升级,高新技术产业也得到了长足的发展,吸引大量的人才并能充分发挥好人才集聚效应,加之其位于中国东部沿海地区,国际贸易发展时间长,速度快,质量优,同国际贸易不断加深合作,为数字经济的良性发展提供了坚实的基础,故能够更好地促进绿色全要素生产率水平的提升。

表6 区位的异质性检验的回归结果

|                          | <i>GTFP</i>          |
|--------------------------|----------------------|
| <i>DE</i>                | 1.1606**<br>(0.5692) |
| <i>DE</i> × <i>Group</i> | 0.8249*<br>(0.4462)  |
| 控制变量                     | YES                  |
| <i>N</i>                 | 1296                 |
| <i>R</i> <sup>2</sup>    | 0.6046               |

数据来源:作者整理。

### (四)机制检验

根据上文的理论分析,数字经济通过产业结构升级水平(*IS*)、绿色技术创新水平(*GTE*)和人力资本水平(*HUM*)提升三种途径对长江经济带绿色全要素生产率产生影响,表7为上文构建的间接传导机制模型式(2)中三个机制变量的回归结果。

表7 机制检验的回归结果

|                       | (1)                   | (2)                   | (3)                   |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                       | <i>IS</i>             | <i>GTE</i>            | <i>HUM</i>            |
| <i>DE</i>             | 0.2199***<br>(0.0789) | 0.6583***<br>(0.2420) | 1.8702***<br>(0.5543) |
| 控制变量                  | YES                   | YES                   | YES                   |
| <i>N</i>              | 1296                  | 1296                  | 1296                  |
| <i>R</i> <sup>2</sup> | 0.2339                | 0.2393                | 0.2453                |

数据来源:作者整理。

表7第(1)—(3)列的回归结果表明,数字经济(*DE*)对*IS*、*GTE*和*HUM*的回归系数均在1%的水平上显著为正,即数字经济发展有助于产业结构升级优化、利于绿色技术创新水平的提升、有利于提升当地的人力资本水平。而产业结构升级、绿色技术创新水平和人力资本水平对绿色全要素生产率的促进作用也得到了学者们的实证检验(逯进等,2021;范丹等,2020;苏科等,2021)。因此,实证结

果支持了本文研究假设H3中的三条机制传导路径。

## 五、结论与政策建议

经过上文的实证分析,我们得以更为精准地洞察数字经济在推动长江经济带绿色发展中的关键作用,产业结构优化、人力资本提升和绿色技术创新是数字经济推动绿色全要素生产率提升的关键传导机制,这些机制的发挥对于实现绿色发展至关重要。但同时数字经济对长江经济带绿色全要素生产率的影响存在区位异质性,其中下游地区的促进作用更为显著,这可能与下游地区较好的基础设施、更多的人才集聚和更高的对外开放程度有关。可见,在当前中国数字经济蓬勃发展的背景下,要全面利用数字经济促进绿色全要素生产率提升仍面临诸多挑战和问题,本文将进一步探讨长江经济带在深化数字经济与绿色发展过程中面临的制约因素,并针对存在的问题和制约因素提出政策建议,旨在为长江经济带的高质量发展提供持续动力。

### (一) 制约因素分析

#### 1. 区域发展不平衡

长江经济带内部存在显著的区域发展差异,特别是中上游地区与下游地区相比,在基础设施、人才吸引力等方面存在不足,这限制了数字经济在提升绿色全要素生产率方面的潜力,主要表现在以下几方面:首先,中上游地区经济发展水平和数字基础设施建设相对滞后,影响了数字技术的广泛应用,导致产业结构调整 and 新兴技术产业的发展速度受限,制约了数字经济在提升绿色全要素生产率方面的作用;其次,高素质人才的缺乏和人才流失问题在长江经济带中上游地区尤为突出,无法像下游地区那样充分发挥人才集聚效应,这不仅制约了当地绿色全要素生产率的提升,也影响了数字经济发展的质量和效益;最后,国际贸易合作水平有限,中上游地区地处内陆,国际贸易发展相对滞后,与国际市场的合作深度和广度都有限,这也限制了数字经济在促进绿色全要素生产率提升方面的作用。

#### 2. 产业结构调整难度大

长江经济带内部产业结构的多样性和复杂性使得产业结构调整面临诸多挑战。首先,长江经济带部分地区传统产业比重较大,这些产业往往资源消耗高、环境污染严重,转型难度大,企业在技术、

资金、人才等方面可能面临瓶颈,导致传统产业结构调整步伐缓慢;其次,新兴产业虽然具有低能耗、低污染的特点,但在长江经济带的发展并不均衡,一些地区由于缺乏必要的创新能力和产业基础,新兴产业难以快速成长。因此,尽管产业结构升级是提升绿色全要素生产率的重要途径,但产业结构调整难度大导致资源无法有效配置到更具绿色发展潜力的产业,限制了新技术在清洁生产、节能减排等领域的推广和应用,这直接影响了生产要素的使用效率和整体经济的绿色转型,制约了绿色经济的健康发展。

#### 3. 绿色技术创新转化效率低

长江经济带作为中国重要的经济发展区域,其企业在绿色技术创新方面取得了一定的进展,但这些创新成果在转化为实际生产力和经济效益的过程中,仍面临着多重制约因素。首先,技术市场不完善,部分地区可能存在市场信息不对称的问题,导致绿色技术创新难以找到合适的买家或投资者,影响了技术的市场化进程;其次,创新激励机制不健全,尽管政府已经出台了一系列鼓励绿色技术创新的政策,但在具体实施过程中可能存在支持力度不足、政策覆盖面不广等问题,导致企业在技术创新上的投入和积极性受到影响;最后,融资渠道有限,绿色技术创新往往需要较大的资金投入,而长江经济带部分地区的融资渠道相对有限,尤其是对于中小企业而言,融资难、融资贵的问题尤为突出,制约了绿色技术创新的深入发展。

### (二) 政策建议

针对上文提到的制约因素,我们需要采取切实有效的措施,以充分发挥数字经济在促进绿色发展方面的潜力,为此提出以下几条建议供参考。

#### 1. 推动区域协调发展,缩小长江经济带内部差距

为了促进长江经济带内部的均衡发展并缩小区域间的差距,政府应发挥关键的引领作用。政府需要深入研究各地区的数字经济现状和发展潜力,制定并实施有针对性的发展策略,确保资源能够在区域内得到合理分配和有效利用。针对长江经济带上中下游地区的独特条件和发展需求,应采取差异化的发展策略,推动资源共享,实现优势互补。此外,政府应优化数字经济的资源配置,特别关注中上游地区的基础设施建设,加大投资力度,提升交通、通信和能源等关键基础设施的水平,为产业

的转型升级和技术创新奠定坚实的基础。同时,建立区域间数字经济的协同发展机制,根据各地区的特色和优势,加强信息技术的合作与共享,以缓解数字经济发展的不平衡现象。通过政策引导和市场机制的作用,长江经济带应推动产业链的上下游优化整合,实现数字经济与绿色经济的深度融合。这不仅能够促进绿色全要素生产率的提升,还能够发挥数字经济的辐射作用,带动区域内各地区的协同发展。特别是对于下游地区,应重点强化数字产业的创新能力,发挥大型企业的示范作用,构建具有国际竞争力的数字产业集群,从而带动周边地区的协调发展,并引领整个经济带的数字经济前进方向。对于中上游地区,政策应聚焦于加快信息基础设施建设,并普及数字经济应用,这样才能最大限度地发挥数字经济在推动绿色全要素生产率增长方面的潜力。通过这些措施,可以确保长江经济带不同地区都能分享数字经济发展的成果,不仅能有效缩小区域发展差距,还能为实现共同富裕提供坚实基础。

#### 2. 强化数字基础设施,促进产业绿色升级

为了有效提升长江经济带的绿色全要素生产率,产业结构的转型升级是重要途径,而利用数字技术为传统产业提供改造和创新升级的支持,如智能制造、循环经济、提高资源利用效率和环境友好性,关键在于完善数字经济的基础设施,因此,我们需要优先加快5G网络、云计算中心和大数据平台等关键数字基础设施的建设和升级,确保数字经济拥有强大的技术支撑。同时,必须构建一个全面的政策框架,以促进数字经济与传统产业的深度融合。这包括提供税收优惠、资金支持和人才培养等综合措施,确保企业在数字化转型过程中得到充分的政策激励和支持。通过智能化改造和数字化转型,不仅可以提高传统产业的生产效率和产品质量,还能增强整个经济体的活力和可持续性,从而有效促进绿色全要素生产率的全面提升。

#### 3. 激发企业创新活力,提升绿色技术创新能力

为了赋予绿色经济发展新的动力,需要激发企业的创新活力,并提升其在绿色技术领域的创新能力。第一,建立完善的激励机制,提供税收减免、知识产权保护等措施以降低企业的研发成本和风险。例如,云南税务部门为了更好地服务绿色经济发展,帮助企业向绿色发展过渡、转型,聚焦税费政策落实,让绿色创新企业享受增值税留抵退税、所

得税优惠政策,缓解了企业流动资金压力,为企业注入了绿色创新发展动力。第二,强化环境保护的监管和考核体系。参考深圳出台生态环境监督执法正面清单管理制度的做法,大力推行非现场执法,广泛实行“探头站岗、鼠标巡逻”,通过环境法规执行和对违法行为的处罚,有效引导企业自觉遵守环保法规,促进企业的绿色转型和技术创新,同时建立健全环境信用评价制度,探索推行“承诺+修订、一次办完”信用修复机制,推行企业自证履行生态环境法律义务模式。第三,加大金融支持的力度。通过实施科技与金融融合发展计划加强对绿色技术创新领域的股权投资,鼓励天使投资、风险投资以及私募股权等多种资本形式参与企业绿色研发生产,解决他们绿色技术及绿色产品的研发资金需求。此外,可以充分利用绿色信贷、绿色债券、绿色基金和绿色保险等多元化金融工具来支持这一领域的创新活动。同时,鼓励地方政府财政性担保机构对那些致力于绿色技术成果转化及其示范应用的企业,提供额外的融资担保和信用增强支持,进而鼓励企业在绿色技术领域进行更深入的探索和创新。

#### 4. 培养高端人才,支撑绿色经济发展

人力资本是长江经济带绿色经济发展的关键。第一,建立绿色经济人才培养基地。选择若干具有示范效应的高校和研究机构,建立绿色经济人才培养基地,如参考清华大学绿色经济与可持续发展研究中心的MBA项目,专注于绿色技术、环境科学、能源管理等领域的人才培养。第二,加强产学研合作,促进科技成果转化和人才培养。构建集研发载体、产业需求和创新资源于一体、产学研用深度融合的产业技术创新体系,如江苏产业技术研究院与国内知名高校联合培养近1500名集萃研究生,与企业建立紧密的合作关系,研究课题全部来自企业真实的技术需求和技术难题,通过项目合作、工作坊等方式,让学生参与到真实的绿色经济项目中,提升解决实际问题的能力。第三,充分利用在线教育平台,提升绿色经济从业人员水平。利用中国大规模在线教育的实践经验,提供灵活多样的绿色技术和数字经济相关课程,让在职人员也能提升绿色经济方面的知识和技能,同时可以开发绿色经济领域的专业认证体系,如生态环境部推出的“环境影响评价工程师”认证,提升从业人员的专业水

平。第四,制定高端人才引进计划。开展行业调研,进行需求分析与人才定位,明确绿色经济领域的关键岗位和紧缺技能,从而确定目标人才的资质要求,如具有绿色技术创新、能源管理、环境科学等背景。通过税收优惠、住房补贴、子女教育支持等激励政策,吸引高端人才,并提供科研启动经费、实验室建设支持等,以吸引领军人才。开展项目驱动的人才引进办法,参考北京中关村科技园区的做法,通过绿色经济相关的重大项目和研发计划,吸引高端人才加入,为参与项目的人才提供项目津贴、成果转化收益分享等激励。第五,鼓励国际合作与交流。与国际组织、海外研究机构建立合作关系,共同培养和引进国际人才,鼓励海外人才参与国内绿色经济项目,提供签证便利、文化交流等支持。

#### 参考文献

- [1]李金林,陈立泰,刘梅.互联网发展对中国区域绿色经济效率的影响[J].中国人口·资源与环境,2021(10).
- [2]程文先,钱学锋.数字经济与中国工业绿色全要素生产率增长[J].经济问题探索,2021(8).
- [3]张帆,施震凯,武戈.数字经济与环境规制对绿色全要素生产率的影响[J].南京社会科学,2022(6).
- [4]杨翔,李小平,周大川.中国制造业碳生产率的差异与收敛性研究[J].数量经济技术经济研究,2015(12).
- [5]刘钻扩,辛丽.“一带一路”建设对沿线中国重点省域绿色全要素生产率的影响[J].中国人口·资源与环境,2018(12).
- [6]聂长飞,卢建新,冯苑,等.创新型城市建设对绿色全要素生产率的影响[J].中国人口·资源与环境,2021(3).
- [7]刘军,杨渊崑,张三峰.中国数字经济测度与驱动因素研究[J].上海经济研究,2020(6).
- [8]赵涛,张智,梁上坤.数字经济、创业活跃度与高质量发展:来自中国城市的经验证据[J].管理世界,2020(10).
- [9]郭峰,王靖一,王芳,等.测度中国数字普惠金融发展:指数编制与空间特征[J].经济学(季刊),2020(4).
- [10]徐敏,姜勇.中国产业结构升级能缩小城乡消费差距吗?[J].数量经济技术经济研究,2015(3).
- [11]袁航,朱承亮.国家高新区推动了中国产业结构转型升级吗[J].中国工业经济,2018(8).
- [12]江艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J].中国工业经济,2022(5).
- [13]黄群慧,余泳泽,张松林.互联网发展与制造业生产率提升:内在机制与中国经验[J].中国工业经济,2019(8).
- [14]NUNN N, QIAN N. US food aid and civil conflict[J]. American economic review, 2014, 104(6): 1630-1666.
- [15]逯进,李婷婷.产业结构升级、技术创新与绿色全要素生产率:基于异质性视角的研究[J].中国人口科学,2021(4).
- [16]范丹,孙晓婷.环境规制、绿色技术创新与绿色经济增长[J].中国人口·资源与环境,2020(6).
- [17]苏科,周超.人力资本、科技创新与绿色全要素生产率:基于长江经济带城市数据分析[J].经济问题,2021(5).

## Empowering Green Development in the Yangtze River Economic Belt with Digital Economy: Mechanisms, Heterogeneity and Strategies

Zhuang Yun Wu Ziwei

**Abstract:** The digital economy plays a crucial role in accelerating the development of new quality and vitality, promoting the green transformation of industries, and enhancing gtfp. This study focuses on the panel data of 108 prefecture-level cities in the Yangtze River Economic Belt from 2011 to 2022 to explore how the digital economy enhances gtfp. The findings indicate that: first, the digital economy significantly contributes to improving gtfp; second, upgrading industrial structure, investing in human capital, and innovating green technology are key mechanisms in this relationship; third, heterogeneity testing reveals that the digital economy has a more pronounced impact on promoting gtfp in the lower reaches of the Yangtze River Economic Belt. Facing the problems of unbalanced regional development, difficult industrial structure adjustment and low efficiency of green technology innovation transformation, the Yangtze River Economic Belt still faces in promoting green development through digital economy, it is suggested to strengthen regional coordination development, optimize digital infrastructure, encourage enterprise innovation and cultivate high-end talents, so as to realize the comprehensive improvement of gtfp of the Yangtze River Economic Belt.

**Key Words:** Digital Economy; Green Total Factor Productivity; Yangtze River Economic Belt; Influence Mechanism

(责任编辑:张子)