

数字经济如何赋能城市绿色全要素生产率?

——基于数字技术创新与产业结构升级视角

郭丰 任毅*

摘要:数字经济依托人工智能、大数据和区块链等数字技术与绿色发展深度融合,逐渐成为推动我国绿色高质量发展的重要动能,也是实现“双碳”目标的重要途径。在此背景下,基于2011—2019年中国271个城市的面板数据,考察了数字经济对城市绿色全要素生产率的影响及其作用机制。研究结果表明:数字经济发展能够显著提升城市绿色全要素生产率。机制检验发现,数字经济发展提升了数字技术创新水平、优化了城市产业结构,进而提升城市绿色全要素生产率。异质性分析表明,数字经济显著提升了高行政等级城市、非资源型城市和公众环境关注度较高城市的绿色全要素生产率,未能显著提升一般行政等级城市、资源型城市和公众环境关注度较低城市的绿色全要素生产率。以上研究结论为数字经济与城市绿色全要素生产率之间的关系提供了经验证据,进而为充分发挥数字经济的绿色经济效应和促进城市绿色高质量发展提供政策启示。

关键词:数字经济;绿色全要素生产率;数字技术创新;产业结构升级

一、引言

改革开放四十多年来,中国经济通过快速发展取得了一系列重要成就,创造了举世瞩目的“奇迹式”增长,但是依靠粗放式的发展模式也导致环境问题突出,生态环境不断恶化,比如水土流失严重、洪涝灾害众多、极端天气和气候事件频发。中国经济发展正在由高速增长阶

*郭丰(通讯作者),重庆工商大学成渝地区双城经济圈建设研究院,邮政编码:400067,电子邮箱:guofeng093@163.com;任毅,重庆工商大学成渝地区双城经济圈建设研究院,邮政编码:400067,电子邮箱:reny-ictbu023@163.com。

本文系国家自然科学基金一般项目“双循环格局下高技术产业链空间布局优化与韧性提升的实现路径研究”(23BJY057)、重庆市社会科学规划英才计划项目“成渝地区双城经济圈融入双循环价值链的机制与路径研究”(2022YC016)、重庆市教委科学技术研究计划重点项目“‘双碳’战略下长江经济带城市群产业基础能力评价与产业链空间布局优化研究”(KJZD-K202200801)、重庆工商大学“学习贯彻党的二十大精神”专项研究课题“长江经济带城市群现代化产业体系空间架构与关联度研究”(ctbuesd32)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家的修改建议,文责自负。

段转向高质量发展阶段,在高质量发展阶段,如何提高经济增长的质量才是经济发展的重中之重。中国提出了在2030年前实现碳达峰和2060年前实现碳中和的目标。那么,在高质量发展和绿色发展背景下,如何实现经济效益、社会效益和环境效益的统一是绿色高质量发展面临的难题。绿色全要素生产率衡量的就是绿色高质量发展(刘维林、王艺斌,2022),能够兼顾经济发展和绿色低碳发展,其本质就是以最小的人力、资本和能源投入实现经济增长的最大化。如何赋能并提升城市绿色全要素生产率成为推动经济绿色高质量发展的重要手段。加快经济发展向绿色高质量发展转型,成为目前亟待解决的问题。

数字经济蓬勃发展,作为继农业经济和工业经济后的一种新型经济形态,数字经济正全面融入经济社会发展的各个方面,对传统产业进行全方位、全链条赋能,依托数字技术催生出新产业和经济发展新模式,是实现当前中国新旧动能转换的关键驱动力(赵涛等,2020)。2011年,我国数字经济规模总额为9.49万亿元,占GDP的比重为20.30%。根据中国信通院发布的《中国数字经济发展报告(2023年)》可知,2022年中国数字经济规模总量为50.2万亿元,占我国GDP总量的比重为41.5%,对当前中国经济增长的贡献越来越大。从2011年到2022年,我国数字经济规模的年均增长率为16.35%,高于同期GDP的名义增长率。数字经济成为推动经济高质量发展的重要动能,也深刻改变甚至重塑着经济发展方式,在推动城市绿色全要素生产率方面也发挥着重要作用。在经济高质量发展时代背景和“双碳”目标下,政策制定者和学术界普遍关心的是,数字经济对城市绿色全要素生产率的激励效应是否存在?如果数字经济能促进城市绿色全要素生产率水平的提升,其依靠怎样的内在机制赋能城市绿色全要素生产率?回答上述问题,对推动经济绿色高质量发展具有重要的理论价值与现实意义,有助于为政府制定政策推动经济绿色低碳发展提供相应的政策启示。

数字经济发展经历了信息经济、互联网经济和数字经济三个阶段,其主要内容包括互联网、数字金融、基础设施等。数字经济发展已经引起了学者的广泛关注,现有文献利用实证方法对绿色全要素生产率的影响因素进行了多维度和多角度的讨论。这些研究考察了互联网发展(李琳、刘琛,2018;刘运材、罗能生,2022)、大数据技术(李言、朱棋娜,2023)、数字基础设施(刘备、黄卫东,2023)、数字普惠金融(田杰等,2021;朱悦、张军涛,2022;江红莉、蒋鹏程,2022)对绿色全要素生产率的影响。互联网发展(李琳、刘琛,2018;刘运材、罗能生,2022)、大数据技术(李言、朱棋娜,2023)有利于促进绿色全要素生产率水平的提升。数字普惠金融发展有助于降低劳动和资本要素扭曲,从而促进城市绿色全要素生产率发展(田杰等,2021),还通过技术效应和规模效应提升城市绿色全要素生产率(朱悦、张军涛,2022)。但江红莉和蒋鹏程(2022)的研究发现,数字金融会先抑制城市绿色全要素生产率,然后才会促进城市绿色全要素生产率,两者的关系呈现正“U”型。

就数字经济与城市绿色全要素生产率关系的研究而言,不同学者从不同维度对数字经济

与城市绿色全要素生产率的关系进行了考察。首先,从省份层面来看,一些学者以省级数据为研究样本,考察了数字经济对绿色全要素生产率的影响(朱喜安、马樱格,2022;张建、王博,2023)。数字经济不仅可以通过缓解要素错配渠道提升绿色全要素生产率(朱喜安、马樱格,2022),还通过促进产业结构升级和激励研发投入助力绿色全要素生产率发展(张建、王博,2023)。其次,从行业层面来看,程文先和钱学锋(2021)研究发现,当制度环境低于门槛值时,数字经济抑制了中国工业绿色全要素生产率。惠宁和杨昕(2022)研究发现创业活力和人力资本结构是数字经济赋能制造业绿色全要素生产率的作用渠道。最后,从城市层面来看,一些学者研究了数字经济发展对城市绿色全要素生产率的影响(张英浩等,2022;刘维林、王艺斌,2022;张东玲等,2023;文丰安,2023),但并未讨论数字经济赋能城市绿色全要素生产率的作用机制。后来的学者从公众认知能力(刘维林、王艺斌,2022)、绿色技术创新(文丰安,2023)和产业结构高级化(张东玲等,2023)等视角分析了数字经济对城市绿色全要素生产率的影响,有关数字经济影响城市绿色全要素生产率的作用机制还有待进一步深入挖掘。张英浩等(2022)、刘维林和王艺斌(2022)、文丰安(2023)等文献在构建城市数字经济指标体系时,选择的数字经济指标完全是借鉴赵涛等(2020)的做法,这一指标并不能很好地对城市数字经济进行衡量,或者说包含的信息有限。新基建作为数字经济的重要组成部分,现有研究并未考虑将其纳入到数字经济指标体系中。因此,有必要将新基建的内容纳入到城市数字经济指标体系,进一步验证数字经济发展能否赋能城市绿色全要素生产率。

本文可能的边际贡献体现在以下三个方面:(1)数字经济指标构建方面,与以往文献不同,本文将数字化渗透水平以及数字经济各个产业上市公司数量纳入到数字经济测度指标体系,尤其是将新基建内容纳入到数字经济指标体系中,这拓展和深化了城市层面数字经济指标体系测度的研究。(2)在机制研究方面,与现有文献不同,本文识别了城市层面的数字经济专利数据,考察了数字经济影响城市绿色全要素生产率的数字技术创新作用机制,将数字经济、数字技术创新、产业结构升级和绿色全要素生产率纳入到同一分析框架,揭示了数字经济赋能城市绿色全要素生产率的机制“黑箱”,丰富和拓展了数字经济赋能城市绿色全要素生产率的作用机制研究。(3)在异质性分析方面,不仅从城市行政等级和城市类型方面进行了讨论,还基于公众环境关注度方面进行了探讨,拓展了数字经济影响城市绿色全要素生产率的异质性效应。

二、理论分析与研究假说

(一)数字经济对城市绿色全要素生产率的影响

数字经济作为一种新型经济形态,以数据为新的关键生产要素,拓展和延伸了生产可能性边界。数字经济发展有利于推动绿色全要素生产率发展,具体而言,第一,大数据、人工智

能、物联网等数字技术本身就是一种技术创新,具有天然的绿色属性,数据要素与传统的生产要素相融合,在降低能源消耗、提升经济效率和减少污染排放中发挥着重要作用,可以优化要素配置效率、有效降低非期望产出,是赋能城市绿色全要素生产率发展的核心驱动力(韩晶、陈曦,2022)。第二,数字经济的加速发展,依托人工智能、区块链和大数据等数字技术与居民生活、城市管理和企业生产等领域深度融合,促进了数字产业化和产业数字化发展,这有利于减少生产、消费和交易的中间环节,提高企业的生产效率,从而助力城市绿色全要素生产率发展(刘维林、王艺斌,2022)。第三,数字技术在生产、生活和城市治理中得到了广泛应用,不仅能够降低市场搜寻和交易成本(Goldfarb & Tucker, 2019),还有助于减少信息不对称问题,进而提高市场效率。第四,利用数字技术不仅能够对污染排放和空气质量等环境数据进行实时监测和溯源(Shin & Choi, 2015; 郭丰等, 2022b),还可以拓宽环境监督渠道和提高监督力度,形成政府、群众和社会多维度的监督,倒逼企业朝着绿色低碳方向发展(魏丽莉、侯宇琦, 2022),从而提升绿色全要素生产率。据此,本文提出假说1:

假说1:数字经济发展有助于正向激励城市绿色全要素生产率。

(二)数字经济影响城市绿色全要素生产率的作用机制

1. 数字技术创新

数字技术创新是加快数字经济与实体经济融合的技术基础,在赋能绿色全要素生产率发展方面发挥着重要作用。首先,数字经济发展能够助力数字技术创新发展。第一,数字经济发展能够推动数字研发创新活动由封闭式创新转向开放式网络创新,将数字技术创新产业链上下游的企业整合到数字生态网络中,还有助于改善营商环境,各类数字创新要素充分流动和开放共享,创新主体通过区块链、大数据平台等途径迅速寻找数字创新合作伙伴(郑冰等, 2023),这有利于提升城市数字技术创新水平。第二,数字经济以数字信息、数字技术等形式渗透到数字专利研发活动的各个环节,打破获取数字知识、技术的时空限制,不仅减少了信息摩擦和沟通交流的成本,也使得人才、资金和数据等要素的流动更加便捷,加速了知识扩散和创新溢出,有利于提高数字技术创新的效率(豆建民等, 2023),进而提升数字技术创新水平。其次,数字技术创新水平的提升能够赋能绿色全要素生产率发展,一方面,数字技术创新与交通、能源、工业等行业不断融合发展,有利于促进行业的数智化发展。数字技术创新可以推动传统经济实现数字化转型升级,改进企业生产工业和流程并降低能源消耗,提高能源效率和生产效率,加快清洁生产,减少污染物排放。另一方面,数字技术创新在生产生活、环境治理中的广泛应用,有助于提高环境治理的数字化水平,在末端治理中有效减少污染物排放(董康银等, 2023),进而提升城市绿色全要素生产率。据此,本文提出假说2:

假说2:数字经济发展有助于提升城市数字技术创新水平,从而赋能城市绿色全要素生产率发展。

2. 产业结构升级

随着人工智能、物联网、5G、大数据等数字技术在价值链和产业链各个环节的使用,数字经济对产业结构升级的赋能作用越来越明显。首先,数字经济发展可以促进产业结构升级。第一,数字经济依托数字技术与传统产业、工业智能制造深度融合发展,助推产业发展的数字化和智能化,赋能生产关系变革,使得第一、第二产业向第三产业演进,推动产业结构优化升级(马晓君等,2022)。第二,数字技术的广泛应用能够赋能数字产业化发展,依靠信息技术创新驱动,形成众多新兴数字产业。例如,信息技术制造业、云计算产业、大数据产业、人工智能产业和软件与信息技术服务业等产业迅速发展壮大,数字产业比重上升。同时也催生出新业态、新产业和新商业模式,比如,以人工智能、区块链、5G和大数据为代表的新服务、新产品和新技术,这可以提升第三产业增加值占比(刘翠花,2022)。第三,数字技术能够推动产业数字化发展,加快产业链上下游产业的融合速度和提升信息传递效率。数字技术助力传统产业变革,改变传统产业的发展模式并扩大产业外延,产业数字化转型发展不仅塑造了可视化的产业组织模式(陈晓东、杨晓霞,2021),还可以促进产业发展的提质增效,进一步加速城市产业结构的优化升级(刘洋、陈晓东,2021)。其次,产业结构升级有助于赋能城市绿色全要素生产率。一方面,产业结构升级可以改善产业间资源的配置效率,提高经济运行效率,经济发展向集约式发展方向转变。同时,产业结构优化升级也有助于节能提效,有效助推降碳、减污,对于提升绿色全要素生产率具有重要的推动作用。另一方面,产业结构升级可以淘汰落后产能,降低高能耗、高污染和高排放行业的比重,加快战略性新兴产业、高端制造业和现代服务业的发展(刘维林、王艺斌,2022),提高低碳产业与清洁产业的占比,从而提升城市绿色全要素生产率。据此,本文提出假说3:

假说3:数字经济发展有利于促进城市产业结构升级,从而提升城市绿色全要素生产率。

三、研究设计

(一) 计量模型设定

为了检验数字经济发展对城市绿色全要素生产率的影响效应,借鉴赵涛等(2020)、刘维林和王艺斌(2022)、郭丰等(2022b)的研究,采用双向固定效应模型对此进行检验,构建的实证模型如下所示:

$$Grinpe_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Intdig_{it} + \theta Control_{it} + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标*i*表示城市,*t*表示年份。*Grinpe_{it}*为被解释变量,表示城市*i*在*t*年的绿色全要素生产率水平; α_0 为常数项;*Intdig_{it}*是本文的核心解释变量,表示城市数字经济指数;*Control_{it}*表示影响城市绿色全要素生产率的相关控制变量; λ_i 为城市固定效应; η_t 为年份固定效应; ε_{it} 为随机

误差项。

(二)变量选取

1. 被解释变量

本文采用非期望产出的SBM模型和GML指数测算被解释变量城市绿色全要素生产率(*Grinpe*)。借鉴周力和沈坤荣(2020)、张凡等(2021)的研究,投入指标包括劳动投入、资本投入和能源投入,产出指标包括期望产出和非期望产出,期望产出为城市实际GDP,非期望产出包括各个城市的工业二氧化硫排放量、工业烟尘排放量、工业废水排放量。基于上述所有投入数据、期望产出数据和非期望产出数据,利用MAXDEA Pro软件对271个城市的SBM-GML指数进行计算,得到271个城市的绿色全要素生产率。指标的选取(见表1)和计算具体如下:

表1 城市绿色全要素生产率水平测度体系指标选取

一级指标	二级指标	三级指标
投入指标	劳动资本投入	城市年末从业人员数
	物质资本投入	城市固定资本存量
期望产出指标	能源投入	城市电力消费量
	经济发展	城市实际国内生产总值
非期望产出指标	污染物排放	工业二氧化硫排放量
		工业烟尘排放量
		工业废水排放量

(1)投入指标。本文选取的投入指标包括劳动投入、资本投入和能源投入。第一,劳动投入,选取每个城市历年年末从业人员数(万人)来作为劳动投入的代理变量。第二,资本投入,采用每个城市实际固定资本存量来作为资本投入的代理变量。实际固定资本存量的具体计算过程如下:利用永续盘存法对实际固定资本存量进行估算。借鉴张军等(2004)的研究,其具体的公式为: $K_{it}=I_{it}/P_{it}+(1-\delta)K_{it-1}$ 。在公式中, i 表示城市, t 表示年份。 K_{it} 表示当期资本投入, I_{it} 表示固定资产投资, P_{it} 表示固定资产投资价格指数,采用的是居民消费价格指数, δ 表示固定资产折旧率,折旧率的取值为9.6%。以2004年的数据为基期数据,根据上述公式计算出城市*i*在*t*年的实际资本存量数据。第三,能源投入,借鉴周力和沈坤荣(2020)、张凡等(2021)的研究,选取城市的电力消费量(万KW·h)来作为能源投入的代理变量。

(2)期望产出指标。本文以各个城市的实际GDP来衡量。各个城市的实际GDP以2000年为基期,对各个城市的名义GDP进行平减,从而消除价格因素的影响,最终计算得到271个城市历年的实际GDP。

(3)非期望产出指标。本文选取的非期望产出指标包括各个城市的工业二氧化硫排放量(万t)、工业烟尘排放量(万t)、工业废水排放量(万t)。基于工业二氧化硫排放量、工业烟尘排放量、工业废水排放量这三个变量,借助客观赋权的熵值法计算得到城市层面的非期望产

出综合指标。

2. 核心解释变量

根据数字经济的内涵、定义和包含的主要内容,同时基于城市层面相关指标数据的可获得性,本文借鉴赵涛等(2020)、陈贵富等(2022)、魏丽莉和侯宇琦(2022)、徐维祥等(2022)、孔芳霞等(2022)、孙文远和周浩平(2022)的研究,从数字产业化、产业数字化和数字基础设施三个维度对地级市层面的数字经济发展水平进行测度。本文采用客观赋权的熵值法对城市数字经济发展三个维度的指标进行计算,从而得到各个城市的数字经济发展水平(*Intdig*)。

第一,数字产业化方面。根据国家统计局颁布的《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》,本文主要从电信业、数字产业从业人员、电子信息制造业、软件业和广播电视业方面来综合测算数字产业化水平。基于相关数据的可获得性,同时参考魏丽莉和侯宇琦(2022)的做法,对于数字产业化中电子信息制造业、软件业和广播电视行业的业务量而言,使用城市该产业上市公司的数量来代理。第二,产业数字化方面。主要选取数字化渗透水平和数字普惠金融指数来测算产业数字化水平。借鉴徐维祥等(2022)的研究,数字化渗透水平主要通过计算该城市上市公司的平均数字化转型水平来衡量,使用上市公司年报中数字技术应用、云计算技术、人工智能技术、大数据和区块链技术相关关键词出现的频次,再平均汇总到城市层面,得到城市层面的数字化渗透水平。关于数字普惠金融,选择郭峰等(2020)编制的数字普惠金融指数来代理。第三,数字基础设施方面。借鉴赵涛等(2020)、郭丰等(2022b)、孔芳霞等(2022)、孙文远和周浩平(2022)、孔芳霞等(2023)的研究,选取城市移动互联网用户数、城市互联网普及率、信息基础设施、创新基础设施、融合基础设施之和来测算数字基础设施发展水平,其中,信息基础设施、创新基础设施和融合基础设施衡量的是新基建水平,新基建水平的具体计算过程可以参考孔芳霞等(2022)的研究,通过熵值法与耦合度模型对新基建水平进行计算,本文新基建的计算过程与其保持一致。数字经济指标体系构建与选取的说明具体见表2。

3. 控制变量

借鉴江红莉和蒋鹏程(2022)、刘维林和王艺斌(2022)、魏丽莉和侯宇琦(2022)的研究,本文还控制了一些可能影响城市绿色全要素生产率的指标。经济发展水平(*lnPgdp*),以城市人均GDP的对数值来刻画。工业化程度(*lnIndus*),使用第二产业增加值的对数值来衡量。科技财政支出(*Tech*),计算科学技术预算支出占地方财政预算支出的比重,以此来衡量科技财政支出水平。金融发展水平(*Finance*),以城市金融机构年末各项贷款余额与城市GDP的比值来表示。环境规制(*Enregu*),计算地级市政府工作报告中环境保护词汇占政府工作报告总词汇的比重,用环保词频占比来刻画环境规制力度。外商直接投资(*lnFdi*),用城市实际利用外商投资额的对数值来表示。

表2 城市数字经济发展水平测度指标体系

一级指标	二级指标	指标说明	指标方向
数字产业化	电信业	人均电信业务总量	正向
	数字产业从业人员	信息传输、计算机服务和软件业从业人员占比	正向
	电子信息制造业	计算机、通信和其他电子设备制造业上市公司数量	正向
	软件业	软件和信息技术服务业上市公司数量	正向
产业数字化	广播电视业	广播、电视、电影和影视录音制作业上市公司数量	正向
	数字化渗透水平	上市公司中数字化应用渗透程度	正向
数字基础设施	数字普惠金融	数字普惠金融使用深度、覆盖广度和数字化程度	正向
	移动互联网用户数	每百人移动电话用户数	正向
	互联网普及率	每百人互联网宽带接入用户数	正向
	信息基础设施	信息传输、软件和信息技术服务业固定资产投资	正向
	创新基础设施	卫生和社会工作固定资产投资、科学研究和技术服务业固定资产投资	正向
	融合基础设施	交通运输、仓储和邮政业固定资产投资,电力、热力、燃气及水的生产和供应业固定资产投资,水利、环境和公共设施管理业固定资产投资	正向

4. 作用机制变量

本文以城市数字经济发明专利申请数(*Diecin*)来作为数字技术创新机制的代理变量。借鉴陶锋等(2023)、黄勃等(2023)关于度量数字技术创新水平的做法,选择各个城市数字经济发明专利申请数来刻画数字技术创新水平。数字技术创新能够较好地衡量数字技术创新水平,结合《国际专利分类与国民经济行业分类参照关系表(2018)》和国家统计局2021年发布的《数字经济及其核心产业统计分类》,识别城市层面的数字经济专利数,以此作为城市数字技术创新的代理变量。另外,借鉴郭丰等(2023a)、别奥等(2023)关于城市产业结构升级的度量方式,以城市第三产业增加值与第二产业增加值的比值作为城市产业结构升级的代理变量。

(三)数据来源与说明

本文选择的是2011—2019年中国271个城市的面板数据,最终整理得到2439个样本。用于计算城市绿色全要素生产率、新基建数据以及数字经济中的部分数据来源于历年《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国区域统计年鉴》以及各个城市的《国民经济与社会发展统计公报》与《统计年鉴》。数字经济指标中城市上市公司数量数据来源于CSMAR数据库;上市公司数字化转型指标来源于上市公司历年的年报,通过python软件爬取得到;数字普惠金融指数来源于郭峰等(2020)编制的数据库。关于环境规制指标的说明,借鉴陈诗一和陈登科(2018)的做法,以环境相关词汇数占政府报告全文词频总数的比重来作为环境规制的代理变量。环境规制数据来源于各城市政府工作报告,其余控制变量数据和产业结构升级数据来源于2012—2020年的《中国城市统计年鉴》,数字经济专利数据来源于国家知识产权局。部分

缺失的数据通过插值法予以补齐。各个变量的描述性统计见表3。

表3 变量的描述性统计

变量名称	变量符号	样本数	最小值	最大值	均值	标准差
绿色全要素生产率	<i>Grinpe</i>	2439	0.3294	1.8143	0.9803	0.2354
数字经济	<i>Intdig</i>	2439	0.0035	0.8032	0.0325	0.0514
经济发展水平	<i>lnPgdp</i>	2435	8.8416	12.2807	10.7136	0.5428
工业化程度	<i>lnIndus</i>	2436	17.6515	23.0743	20.4496	0.9449
科技财政支出	<i>Tech</i>	2438	0.0666	20.6835	1.6891	1.6645
金融发展水平	<i>Finance</i>	2437	0.1181	7.4502	0.9826	0.5942
环境规制	<i>Enregu</i>	2435	0.0000	1.2389	0.3501	0.1444
外商直接投资	<i>lnFdi</i>	2347	2.3026	14.9413	10.1769	1.8070
数字经济专利	<i>Diecin</i>	2439	0.0000	11.2122	4.6492	2.0121
产业结构升级	<i>Upinst</i>	2434	0.1750	5.1683	0.9751	0.5346

四、实证结果与分析

(一) 基准回归结果

根据实证计量模型的设定,对数字经济与城市绿色全要素生产率的关系进行全面考察。

表4 数字经济对城市绿色全要素生产率的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>
<i>Intdig</i>	0.2728** (0.1161)	0.5109*** (0.1500)	1.1238*** (0.2816)	1.6575*** (0.3550)
<i>lnPgdp</i>	0.0706*** (0.0135)	0.1322*** (0.0268)	-0.5525*** (0.0599)	-0.3758*** (0.1210)
<i>lnIndus</i>	-0.0267*** (0.0091)	-0.0305* (0.0157)	0.2222*** (0.0547)	0.1249* (0.0723)
<i>Tech</i>	-0.0143*** (0.0038)	-0.0156*** (0.0055)	-0.0051 (0.0051)	-0.0016 (0.0045)
<i>Finance</i>	-0.0212** (0.0090)	-0.0025 (0.0156)	0.0280 (0.0212)	0.0396** (0.0155)
<i>Enregu</i>	-0.0443 (0.0337)	-0.0477 (0.0528)	-0.0134 (0.0356)	-0.0513 (0.0342)
<i>lnFdi</i>	0.0092** (0.0039)	-0.0056 (0.0074)	0.0094 (0.0062)	0.0015 (0.0059)
常数项	0.7297*** (0.1539)	0.2742 (0.3119)	2.2042*** (0.6908)	2.3627*** (0.6954)
年份固定效应	否	是	否	是
地区固定效应	否	否	是	是
样本量	2339	2339	2339	2339
调整的R ²	0.0156	0.1905	0.4991	0.5930

注: *、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平上显著,括号内是聚类到城市层面的稳健标准误。下各表同。

表4汇报了数字经济对城市绿色全要素生产率影响的实证估计结果。第(1)列仅加入数字经济变量和控制变量,第(4)列加入了所有的变量和固定效应。具体而言,在加入时间固定效应、城市固定效应和所有变量后,由第(4)列的结果可知,变量 $Intdig$ 的回归系数为1.6575,通过了1%显著性水平检验,表明数字经济发展对城市绿色全要素生产率具有显著的正向提升效应。由表4其他列的结果可知, $Intdig$ 变量的回归系数均显著为正,说明核心结论具有较强的稳健性。随着城市数字经济发展水平的不断提升,城市绿色全要素生产率水平逐步提升。由上述实证结果可知,数字经济发展有助于提升城市绿色全要素生产率,假说1得到验证。

(二)稳健性检验

1. 替换核心解释变量

借鉴赵涛等(2020)的研究,本文进一步使用主成分分析方法来计算城市数字经济发展水平,以此来验证基准回归结果的稳健性。表5第(1)列汇报了主成分方法测度数字经济发展水平的回归结果。可以看出, $Plntdig$ 的回归系数显著为正,表明数字经济有助于提升城市绿色全要素生产率。在更换数字经济发展水平的度量方法后,本文的核心结论稳健。

2. 控制省份-年份联合固定效应

在模型中加入省份与年份交乘的虚拟变量,以控制随省份和年份变化的不可观测因素对实证结果的影响,缓解遗漏变量带来的内生性问题。控制省份-年份联合固定效应的结果见表5第(2)列所示。可以发现, $Intdig$ 变量的回归系数仍然显著为正,与基准回归结果保持一致。

3. 缩短时间窗口

在2015年及之后,我国数字经济迅速发展,将本文的样本时间调整为2015—2019年,并重新进行回归估计。缩短时间窗口的估计结果见表5第(3)列所示。结果显示, $Intdig$ 变量的回归系数显著为正,核心解释变量数字经济变量的符号和显著性未发生明显变化,在缩短样本的时间窗口后,数字经济对城市绿色技术创新仍然具有显著的正向影响。

4. 外生政策冲击

推动数字经济与实体经济相融合,须依赖于数字基础设施建设,所有数字经济活动的开展均需使用互联网业务,依托于数字网络基础设施建设,数字经济发展以互联网、大数据等数字基础设施建设为基础。张东玲等(2023)将“宽带中国”试点这一外生政策冲击作为数字经济发展的代理变量,鉴于此,本文将这一数字经济发展的政策冲击作为一项准自然实验,以此来检验赋能数字经济发展的试点政策能否提升城市绿色全要素生产率。表5第(4)列汇报了“宽带中国”试点政策对城市绿色全要素生产率的影响,由结果可知, $Intdig$ 的回归系数仍然显著为正,表明“宽带中国”试点政策能够显著提升城市绿色全要素生产率。

表 5 稳健性检验结果 I

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>
<i>Plntdig</i>	0.8021*** (0.1963)			
<i>Intdig</i>		1.4750*** (0.4527)	2.2730*** (0.4717)	0.0535*** (0.0186)
常数项	2.1864*** (0.7024)	2.9902** (1.2017)	1.7553* (0.9302)	2.2573*** (0.6915)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
省份-年份固定效应	否	是	否	否
样本量	2339	2281	1286	2339
调整的 R ²	0.5899	0.6213	0.7078	0.5861

5. 滞后效应检验

数字经济与绿色低碳经济的融合发展存在一个过程,可能并非立即对绿色全要素生产率产生影响,本文将数字经济变量滞后一期、滞后二期和滞后三期,判断当年的数字经济发展是否会对未来1~3年的城市绿色全要素生产率产生影响。表6第(1)、(2)、(3)列分别是数字经济滞后一期、滞后二期和滞后三期的估计结果。可以看出,*L.Intdig*、*L2.Intdig*和*L3.Intdig*的回归系数均显著为正,无论数字经济变量滞后几期,这三个变量的符号方向、显著性水平与基准回归结果无明显差异,说明基准回归结果稳健。

6. 控制变量缩尾

控制变量中也可能存在部分极端异常值,对所有的控制变量进行1%和99%分位上的缩尾处理,减轻可能存在的极端异常值对实证回归结果的影响。表6第(4)列汇报了控制变量

表 6 稳健性检验结果 II

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>
<i>Intdig</i>				1.6822*** (0.3652)
<i>L.Intdig</i>	1.8298*** (0.3756)			
<i>L2.Intdig</i>		1.9166*** (0.3683)		
<i>L3.Intdig</i>			2.1617*** (0.4164)	
常数项	2.0902*** (0.6899)	1.9031** (0.7557)	1.6877** (0.7842)	2.5813*** (0.8121)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
样本量	2076	1812	1548	2339
调整的 R ²	0.6305	0.6517	0.6705	0.5915

在1%和99%分位上缩尾后的回归结果。*Intdig* 回归系数的符号方向、显著性水平与前文一致,未发生实质性变化,这进一步印证了本文的逻辑,数字经济发展对城市绿色全要素生产率具有显著的正向促进作用。

7. 内生性处理

从数字经济的概念和内涵上来看,数字经济的发展依赖于大数据、区块链和人工智能等数字技术的使用,而数字技术的使用则需要以互联网和信息通讯技术为主要载体。首先,早期人们信息的传输与沟通方式主要包括移动电话和邮局,数字基础设施的发展是传统通信技术的延续,早期移动电话数量和邮局数量较多的城市,数字经济越容易在这些城市兴起和不断发展,这些城市的数字经济发展也相对更好,满足工具变量的相关性要求。其次,历史上的固定电话数量和邮局数量不会直接对城市绿色全要素生产率产生影响,且这种影响随着固定电话和邮局使用频率的下降微乎其微,满足工具变量的外生性要求。因此,借鉴赵涛等(2020)和郭丰等(2022a)的做法,选择每个城市1984年的固定电话数与邮局数作为城市数字经济发展的工具变量。1984年的固定电话数和邮局数是截面数据,这是一个不随年份变化的固定变量,借鉴Nunn和Qian(2014)的研究,添加一个随时间变化的变量与固定电话数量交乘,使用全国互联网用户数占总人口的比重分别与1984年固定电话数和邮局数交乘,从而构造出城市层面的面板工具变量。

表7中第(1)列和第(3)列分别汇报了工具变量为固定电话数和邮局数第一阶段的估计结果。可以看出,工具变量与城市数字经济发展具有正相关关系,通过了1%显著性水平检验。第(2)、(4)列分别汇报了工具变量为固定电话数和邮局数第二阶段的估计结果。可以看出,Kleibergen-Paap rk LM和Kleibergen-Paap rk Wald F统计量均显著,拒绝了弱工具变量和

表7 内生性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
	<i>Intdig</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Intdig</i>	<i>Grinpe</i>
<i>Intdig</i>		4.0036*** (0.5578)		5.5416*** (0.7169)
IV	0.0434*** (0.0049)		0.0318*** (0.0035)	
Kleibergen-Paap Wald rk F 统计量		77.6520***		83.0230***
Kleibergen-Paap rk LM 统计量		49.8370***		72.6170***
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
样本量	1904	1904	1932	1932
调整的R ²	0.9469	0.5674	0.9365	0.5178

工具变量识别不足的原假设,说明本文选取固定电话数量和邮局数量作为数字经济发展水平的工具变量是有效的。*Intdig*的回归系数显著为正,缓解内生性问题后,数字经济发展依然显著提升了城市绿色全要素生产率。

五、作用机制检验

深入讨论数字经济影响城市绿色全要素生产率的作用机制。本文借鉴权小锋和李闯(2022)的研究,主要分两步进行验证:第一,检验数字经济对城市数字技术创新和产业结构升级的影响,如果数字经济发展可以提升数字技术创新水平和优化产业结构升级,则初步支持理论机制与研究假说2和3的逻辑。第二,使用城市数字技术创新和产业结构升级进行分组检验,进一步明晰数字经济如何影响城市绿色全要素生产率。

(一)数字技术创新机制

表8第(1)—(3)列汇报了数字技术创新(*Diecin*)作用渠道的估计结果。由第(1)列的结果可知,*Intdig*变量的估计系数显著为正,表明数字经济发展可以赋能城市数字技术创新发展,本文的基本判断得到验证。同时,本文以数字经济发明专利申请数的中位数将样本划分为数字技术创新水平高低两组,检验不同数字技术创新水平下数字经济对城市绿色全要素生产率的影响。第(2)列是高数字技术创新水平组的估计结果,第(3)列是低数字技术创新水平组的估计结果。在数字技术创新水平较高的组别中,*Intdig*的估计系数为正,通过了1%显著性水平检验,数字经济显著提升了城市绿色全要素生产率。而在数字技术创新水平较低的组别中,*Intdig*变量的估计系数不显著。上述检验结果表明数字技术创新是数字经济赋能城市绿色全要素生产率的作用机制。随着数字技术创新水平的提升,数字技术创新可以推动传统经济实现数字化转型升级,改进企业生产工业和流程并降低能源消耗,提高能源效率和生产效率,加快清洁生产,减少污染物排放。同时,数字技术创新在生产生活、环境治理中的广泛应用,有助于提高环境治理的数字化水平,在末端治理中有效减少污染物排放(董康银等,2023)。假说2得到验证。

(二)产业结构机制

表8第(4)—(6)列汇报了产业结构升级(*Upinst*)作用渠道的检验结果。由第(4)列的结果可知,*Intdig*变量的估计系数为正,说明数字经济发展有助于促进城市产业结构优化升级,初步验证了本文的基本判断。同时,本文以产业结构升级变量的中位数将样本划分为产业结构水平较高和产业结构水平较低两组,分别检验在不同产业结构水平下数字经济对城市绿色全要素生产率的影响。第(5)列是高产业结构水平组的估计结果,第(6)列是低产业结构水平组的估计结果。在产业结构水平较高的组别中,*Intdig*变量的估计系数显著为正,表明数字经济发展显著提升了城市绿色全要素生产率。而在产业结构水平较低的组别中,*Intdig*变量的

估计系数不显著。上述检验结果表明产业结构升级是数字经济影响城市绿色全要素生产率的作用机制。随着产业结构优化升级,经济发展模式会由粗放式发展向集约式发展方向转变,这不仅可以淘汰落后产能,降低高能耗、高污染和高排放行业的比重,还有助于推动低碳行业和清洁行业的发展,提高清洁行业占比,进而提高城市绿色全要素生产率。假说3得到验证。

表8 作用机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Diecin</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Upinst</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>
<i>Indig</i>	9.9838*** (1.3410)	1.3861*** (0.3351)	-2.9477 (1.8805)	1.7746*** (0.3334)	1.6307*** (0.3849)	-0.6376 (1.6149)
常数项	-0.6935 (0.4324)	3.9924*** (1.1767)	1.0320*** (0.0335)	16.1415*** (0.6602)	1.3364 (0.9731)	6.1169*** (1.2303)
控制变量	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	2339	1194	1197	2337	1143	1150
调整的R ²	0.9463	0.6088	0.6071	0.9658	0.5888	0.6454

六、异质性分析

(一)行政等级异质性

与其他类型城市相比,直辖市、省会城市和副省级城市的行政级别高于一般地级市,在政府财政资金投入、管理权限、资源集聚与配置、政策倾斜等方面与其他城市存在差异,这些差异可能会对实证结果产生影响。根据城市行政等级将城市划分为高行政等级城市和一般等级城市,表9第(1)列和第(2)列汇报了行政等级异质性的估计结果。数字经济发展促进了高行政等级城市绿色全要素生产率水平的提升,未能显著提升一般行政等级城市绿色全要素生产率。可能的原因是:一方面,高行政等级城市行政级别较高,具有高级别的管理权限,在实施管理时的执行过程更加便利,这些城市的优质要素资源集聚水平和资源配置效率更高(江艇等,2018),资本和人才等各类要素资源能够得到更好的优化配置和充分使用。同时,高行政等级城市数字技术创新水平相对较高,数字基础设施发展较好,数字经济与实体经济融合程度较深,可以更好地将数字技术应用于城市发展和环境治理。另一方面,与高行政等级城市相比,一般行政等级城市的资源配置效率相对较低,市场机制不够完善,对数字经济和绿色全要素生产率发展的重视程度也还不够(魏丽莉、侯宇琦,2022),这些城市可能面临着环境治理技术落后,绿色金融信贷补贴较少等障碍,导致数字经济未能显著提升一般等级城市的绿色全要素生产率。

(二)城市类型异质性

资源型城市生态环境不断恶化,诸多因素的差异可能导致数字经济发展对不同城市类型绿色全要素生产率的作用效果存在差异。按照城市类型将样本划分为资源型城市和非资源型城市两类,表9第(3)列和第(4)列汇报了城市类型异质性的回归结果。数字经济发展促进了非资源型城市绿色全要素生产率发展,未能显著促进资源型城市绿色全要素生产率发展。一方面,非资源型城市数字经济发展有利于各类要素资源的集聚,尤其是创新要素资源的集聚,非资源型城市拥有的人才、资金等要素也十分富裕,能够加快城市绿色技术创新发展。同时,非资源型城市产业发展以制造业和服务业为主,数字经济与制造业和服务业的融合程度较高,进而加快促进非资源型城市产业结构优化升级。另一方面,资源型城市主要靠资源优势发展能源化工产业,抑制了其他产业发展。其产业多以劳动密集型和矿产资源产业为主,这些产业具有高污染、高排放和高能耗的特征,清洁产业占比较低,产业结构单一,产业转型仍然困难重重(郭丰等,2023b)。资源型城市数字经济和数字人才相对匮乏,高技术人才储备不足,数字经济与产业的融合程度较低,导致其对产业结构转型的影响较小,产业结构优化升级仍然是资源型城市向绿色低碳发展转型的关键一环。

表9 行政等级和城市类型异质性估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	高行政等级城市	一般行政等级城市	非资源型城市	资源型城市
	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>
<i>Intdig</i>	0.7378*** (0.2540)	0.7479 (0.8675)	1.6478*** (0.3737)	2.5212 (2.2544)
常数项	1.2324 (2.0936)	2.5876*** (0.7241)	2.2742** (1.0633)	2.0407** (0.9242)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
样本量	311	2028	1450	889
调整的R ²	0.6246	0.5976	0.6247	0.5448

(三)公众环境关注度异质性

人们对雾霾、碳排放、水污染等环境问题的关注度越高,表明公众对绿色产品的需求会增加,可能会倒逼企业开展清洁生产,促使政府强化环境治理,进而促进绿色全要素生产率水平提升。公众环境关注度(*Concer*),借鉴刘维林和王艺斌(2022)的研究,以每个城市居民使用百度搜索引擎检索“环境污染”词汇检索次数的日均指数来作为公众环境关注度的代理变量。根据公众环境关注度指数的中位数将样本划分为公众环境关注度较高和公众环境关注度较低两组,表10汇报了公众环境关注度异质性的回归结果。数字经济发展显著提升了公众环

境关注度较高城市的绿色全要素生产率,未能显著激励公众环境关注度较低城市的绿色全要素生产率。一方面,数字经济和数字技术的发展有利于政府系统内部建立起集视频图像解析、自然语言处理和数据分析等于一体的环境管理系统,一个城市公众的环境关注度越高,地方政府越有可能利用数字化技术和手段来改进政府治理的服务流程、管理方式和环境治理模式,推动数字治理发展,这有助于提升政府环境治理能力和提高政府环境治理效率(吕德胜等,2023),进而推动城市绿色全要素生产率发展。另一方面,随着公众环境关注度的逐步提升,地方政府对环境问题的关注愈发增多,直至出台相关法律法规并完善政策体系,加强对PM₁₀等环境污染治理的干预(郑思齐等,2013),政府对环境污染治理的干预和公众监督有助于促进经济绿色低碳发展(Acemoglu et al., 2012; Klemetsen et al., 2018),从而提升城市绿色全要素生产率。

表 10 公众环境关注度异质性估计结果

变量	(1)	(2)
	高环境关注度	低环境关注度
	<i>Grinpe</i>	<i>Grinpe</i>
<i>Indig</i>	1.7755*** (0.4364)	-2.8678 (2.1876)
常数项	2.0952* (1.1864)	4.1518** (1.6660)
控制变量	是	是
年份固定效应	是	是
地区固定效应	是	是
样本量	1194	1087
调整的 R ²	0.6152	0.6123

七、结论与政策启示

数字经济成为推动经济高质量发展的重要动能,也深刻改变甚至重塑着经济发展方式,生态文明建设是高质量发展的内在必然要求。如何实现经济发展的绿色低碳转型,成为目前亟待解决的问题。本文实证考察了数字经济对城市绿色全要素生产率的影响。研究结论如下:

首先,数字经济发展能够显著提升城市绿色全要素生产率,促进城市向绿色高质量发展转型。在既有的研究基础上,本文在城市数字经济指标体系上加入了新基建等指标体系,研究结论进一步验证了数字经济发展能够赋能城市绿色全要素生产率,数字经济与实体经济的深度融合发展,有助于提升城市绿色全要素生产率。其次,数字经济发展有助于促进城市数字技术创新发展,也有利于赋能城市产业结构优化升级,通过数字技术创新和产业结构升级渠道促进城市绿色全要素生产率水平提升。最后,数字经济显著提升了高行政等级城市、非

资源型城市和公众环境关注度较高城市的绿色全要素生产率,未能显著提升一般行政等级城市、资源型城市和公众环境关注度较低城市的绿色全要素生产率。基于上述分析,提出以下政策建议:

第一,加快数字经济发展,实现数字经济与绿色发展的深度融合,推动数字经济成为城市绿色全要素生产率提升的持续动力。本文研究发现,数字经济发展有助于提升城市绿色全要素生产率。数据作为新的生产要素,能够改变传统生产要素边际报酬递减的规律。加快数字经济发展,首先,应完善数字基础设施建设,科学布局赋能数字经济发展的网络体系,提升新基建水平,比如重点推进千兆网络、5G基站、工业互联网和大数据中心等新型基础设施建设。其次,加快推进产业数字化,利用大数据、区块链、人工智能等数字技术全方位和全链条赋能传统产业,加快城市数字化转型发展。强化数字技术在生产、交通、建筑和能源等领域的广泛使用,推动城市数字化治理,提高资源使用效率、降低能源消耗,从而提升城市绿色全要素生产率。最后,提高数字产业化和产业数字化的融合力度,拓宽数字技术在实体经济发展和环境治理领域中的应用范围,将数字技术嵌入到城市生产、运营和治理等各个环节,发挥数字技术的“赋能”和“渗透”作用,从而提升绿色全要素生产率。

第二,加快数字技术创新发展,不断促进城市产业转型升级。首先,要不断提高数字经济专利产出水平,一方面,积极推进教育数字化,培养数字技术创新人才,加大对数字经济研发人才的引进力度,尤其是引进那些掌握关键核心数字技术的人才和团队。同时,通过贴息贷款、设立专项财政资金、股权投资等多种方式对数字经济科研投入和产品研发给予资金支持,积极引导金融资源向数字技术创新领域倾斜。另一方面,应借助数字经济完善数字技术创新发展的模式与业态,将数字技术嵌入到城市数字创新设计、研发、专利产出等各个环节,提升数字创新发展全过程的数字化和智能化水平,强化数字经济专利研发数字化的广度和深度,持续释放数字经济赋能数字技术创新发展的红利效应。其次,推动数字产业化和产业数字化的协同发展。一方面,推动数字技术与产业融合发展,培育和壮大信息技术制造业、大数据产业等,打造数字产业集群。另一方面,将数字技术嵌入产业链上游、中游和下游,提升产业效率,加快传统产业数字化改造,进而促进产业结构升级。

第三,强化公众环境关注度,重视一般行政等级城市和资源型城市的数字经济发展。首先,进一步提升公众环境监督意识,完善公众、社会监督和举报反馈机制,进而倒逼企业开展绿色创新和绿色生产。建立和完善环境信息披露和监督体系,扩大监察、舆论和举报的途径,引导公众和社会组织积极参与环境治理,进而推动地方政府出台更多环境治理政策。其次,资源型城市数字基础设施建设水平落后,产业数字化和数字产业化发展缓慢。在税收和财政政策等方面,应给予资源型城市更多的优惠和政策倾斜,制定一系列减税降费、税收补贴、担保信贷等助企纾困政策,助力资源型城市数字基础设施发展和数字化建设。资源型城市和一

般等级城市应重视数字中国发展战略,深入贯彻推进“数字中国”等政策,遏制“数字鸿沟”的进一步扩大,应结合本地区资源状况、要素禀赋以及产业发展优势,因地因时制定相适宜的数字经济发展政策,寻找数字经济与数字技术创新和产业优化升级发展的平衡点,充分发挥各地区的比较优势,积极推进产业数字化转型和数字产业化的新业态、新模式。同时,资源型城市还应该积极发展高技术、新能源和战略性新兴产业,防止产业过度单一化,从而提升数字经济与这些产业的融合程度,帮助城市产业提质增效,激励城市绿色全要素生产率的发展。

在未来的研究中,首先,可以丰富城市数字经济指标体系的构建,进一步完善城市数字经济发展水平的测度。其次,还可以深入挖掘数字经济赋能绿色全要素生产率发展的作用机制,以期探索数字经济赋能城市绿色全要素生产率发展的其他动因。最后,还可以将研究从宏观层面转向微观层面,考察数字经济对企业 ESG 表现、绿色低碳转型的影响。

参考文献:

- [1] 别奥,杨上广,束云霞.城市电商化转型能否促进碳减排?——来自国家电子商务示范城市试点的经验证据[J].产业经济研究,2023,(4):1-14.
- [2] 陈贵富,韩静,韩恺明.城市数字经济发展、技能偏向型技术进步与劳动力不充分就业[J].中国工业经济,2022,(8):118-136.
- [3] 陈诗一,陈登科.雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J].经济研究,2018,53(2):20-34.
- [4] 陈晓东,杨晓霞.数字经济发展对产业结构升级的影响——基于灰关联熵与耗散结构理论的研究[J].改革,2021,(3):26-39.
- [5] 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):124-140.
- [6] 董康银,王建达,蒋庆哲.数字技术创新对碳排放强度的影响——基于数字技术专利检索的分析[J].环境经济研究,2023,8(2):1-20.
- [7] 豆建民,王光丽,马融.数字经济发展对城市合作创新的影响——基于空间溢出效应的视角[J].经济管理,2023,45(7):56-75.
- [8] 郭丰,任毅,柴泽阳.“双碳”目标下数字基础设施建设与城市碳排放——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J].中国经济问题,2023a,(5):164-180.
- [9] 郭丰,杨上广,柴泽阳,储勇.低碳城市建设能够提升城市绿色技术创新吗?——来自准自然实验的证据[J].软科学,2023b,37(1):40-49.
- [10] 郭丰,杨上广,金环.数字经济对企业全要素生产率的影响及其作用机制[J].现代财经(天津财经大学学报),2022a,42(9):20-36.
- [11] 郭丰,杨上广,任毅.数字经济、绿色技术创新与碳排放——来自中国城市层面的经验证据[J].陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2022b,51(3):45-60.
- [12] 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),2020,19(4):1401-1418.
- [13] 韩晶,陈曦.数字经济赋能绿色发展:内在机制与经验证据[J].经济社会体制比较,2022,(2):73-84.
- [14] 黄勃,李海彤,刘俊岐,雷敬华.数字技术创新与中国企业高质量发展——来自企业数字专利的证据[J].经济研究,2023,58(3):97-115.
- [15] 惠宁,杨昕.数字经济驱动与中国制造业高质量发展[J].陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2022,

51(1):133-147.

- [16] 江红莉,蒋鹏程. 数字金融对城市绿色经济效率的影响研究[J]. 软科学,2022,36(4):37-43.
- [17] 江艇,孙鲲鹏,聂辉华. 城市级别、全要素生产率和资源错配[J]. 管理世界,2018,34(3):38-50+77+183.
- [18] 孔芳霞,刘新智,周韩梅,何强. 新型基础设施建设与城市绿色发展耦合协调的时空演变特征与影响因素[J]. 经济地理,2022,42(9):22-32.
- [19] 孔芳霞,刘新智,周韩梅,何强. 中国新型基础设施建设的绿色发展效应及其收敛性[J]. 中国人口·资源与环境,2023,33(5):160-171.
- [20] 李琳,刘琛. 互联网、禀赋结构与长江经济带工业绿色全要素生产率——基于三大城市群108个城市的实证分析[J]. 华东经济管理,2018,32(7):5-11.
- [21] 李言,朱棋娜. 大数据技术如何影响绿色全要素生产率? ——来自国家大数据综合试验区试点的经验分析[J]. 环境经济研究,2023,8(3):27-45.
- [22] 刘备,黄卫东. 新型数字基础设施的绿色全要素生产率提升效应研究[J]. 求是学刊,2023,50(1):96-106.
- [23] 刘翠花. 数字经济对产业结构升级和创业增长的影响[J]. 中国人口科学,2022,(2):112-125+128.
- [24] 刘维林,王艺斌. 数字经济赋能城市绿色高质量发展的效应与机制研究[J]. 南方经济,2022,(8):73-91.
- [25] 刘运材,罗能生. 互联网发展对城市绿色全要素生产率的影响——基于全要素生产率分解视角[J]. 软科学,2022,36(7):46-52+61.
- [26] 刘洋,陈晓东. 中国数字经济发展对产业结构升级的影响[J]. 经济与管理研究,2021,42(8):15-29.
- [27] 吕德胜,王珏,唐青青. 数字经济实现了绿色创新“增量提质”吗——基于异质环境关注视角[J]. 山西财经大学学报,2023,45(5):55-68.
- [28] 马晓君,李艺婵,傅治,刘淑敏. 空间效应视角下数字经济对产业结构升级的影响[J]. 统计与信息论坛,2022,37(11):14-25.
- [29] 权小锋,李闯. 智能制造与成本粘性——来自中国智能制造示范项目的准自然实验[J]. 经济研究,2022,57(4):68-84.
- [30] 孙文远,周浩平. 数字经济对中国城市碳排放的影响效应及其作用机制[J]. 环境经济研究,2022,7(03):25-42.
- [31] 陶锋,朱盼,邱楚芝,王欣然. 数字技术创新对企业市场价值的影响研究[J]. 数量经济技术经济研究,2023,40(5):68-91.
- [32] 田杰,谭秋云,陈一明. 数字普惠金融、要素扭曲与绿色全要素生产率[J]. 西部论坛,2021,31(4):82-96.
- [33] 魏丽莉,侯宇琦. 数字经济对中国城市绿色发展的影响作用研究[J]. 数量经济技术经济研究,2022,39(8):60-79.
- [34] 文丰安. 数字经济发展、要素配置效率与城市绿色生产效率[J]. 产业经济研究,2023,(3):57-71+86.
- [35] 徐维祥,周建平,刘程军. 数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应[J]. 地理研究,2022,41(1):111-129.
- [36] 张东玲,焦宇新,刘敏. 数字经济推动了城市绿色全要素生产率提升吗?——基于“宽带中国”试点的证据[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2023,43(7):38-56.
- [37] 张凡,邵俊杰,周力. 环境分权的城市绿色创新效应[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(12):83-92.
- [38] 张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J]. 经济研究,2004,(10):35-44.
- [39] 张建,王博. 数字经济发展与绿色全要素生产率提升[J]. 审计与经济研究,2023,38(2):107-115.

- [40] 张英浩,汪明峰,崔璐明,匡爱平. 数字经济水平对中国市域绿色全要素生产率的影响[J]. 经济地理, 2022, 42(9): 33-42.
- [41] 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, 36(10): 65-76.
- [42] 郑冰,赵彦云,吕凯波. 数字经济驱动城市创新水平提升的效应与机制——基于“宽带中国”和“智慧城市”两项试点改革的实证分析[J]. 经济问题探索, 2023, (11): 20-36.
- [43] 郑思齐,万广华,孙伟增,罗党论. 公众诉求与城市环境治理[J]. 管理世界, 2013, (6): 72-84.
- [44] 周力,沈坤荣. 国家级城市群建设对绿色创新的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(8): 92-99.
- [45] 朱喜安,马樱格. 数字经济对绿色全要素生产率变动的的影响研究[J]. 经济问题, 2022, (11): 1-11.
- [46] 朱悦,张军涛. 数字金融发展对城市经济绿色低碳转型的影响研究[J]. 城市问题, 2022, (10): 64-71+81.
- [47] Acemoglu, D. , P. Aghion, and L. Bursztyn, et al. The Environment and Directed Technical Change[J]. American Economic Review, 2012, 102(1): 131-66.
- [48] Goldfarb, A. and C. Tucker. Digital Economics[J]. Journal of Economic Literature, 2019, 57(1): 3-43.
- [49] Klemetsen, M. E. , B. Bye, and A. Raknerud. Can Direct Regulations Spur Innovations in Environmental Technologies? A Study on Firm-Level Patenting[J]. The Scandinavian Journal of Economics, 2018, 120(2): 338-371.
- [50] Nunn, N. and N. Qian. US Food Aid and Civil Conflict[J]. American Economic Review, 2014, 104(6): 1630-1666.
- [51] Shin, D. H. and M. J. Choi. Ecological Views of Big Data: Perspectives and Issues[J]. Telematics and Informatics, 2015, 32(2): 311-320.

How Can the Digital Economy Empower Urban Green Total Factor Productivity? Based on the Perspective of Digital Technology Innovation and Industrial Structure Upgrading

Guo Feng, Ren Yi

(Institute of Chengdu-Chongqing Economic Zone Development, Chongqing Technology and Business University)

Abstract: Relying on the deep integration of digital technologies such as artificial intelligence, big data and block-chain with green development, the digital economy has gradually become an important driving force to promote China's green high-quality development, and is also an important way to achieve the goal of "carbon peaking and carbon neutrality". In this background, based on the panel data of 271 cities in China from 2011 to 2019, this paper examines the impact and mechanism of digital economy on urban green total factor productivity. The results showed that the development of digital economy can significantly improve urban green total factor productivity. The mechanism test found that the development of digital economy improved the level of urban digital technology innovation, optimized

the urban industrial structure, and then improved the urban green total factor productivity. The heterogeneity analysis showed that digital economy significantly improves the green total factor productivity of cities with high administrative level, non-resource cities and cities with high public environmental attention, but fails to significantly improve the green total factor productivity of cities with general administrative level, resource-based cities and cities with low public environmental attention. The above research conclusions provide empirical evidence for the relationship between digital economy and urban green total factor productivity, and then provide policy enlightenment for giving full play to the green economic effect of digital economy and promoting urban green high-quality development.

Keywords: Digital Economy; Green Total Factor Productivity; Digital Technology Innovation; Upgrading of Industrial Structure

JEL Classification: O18, Q51, Q56

(责任编辑:朱静静)