

引用格式:宋成镇,刘庆芳,马伟,等.技术创新对黄河流域地区和长江经济带碳生产率影响路径比较:基于数字金融的中介效应[J].资源科学,2024,46(3):450–461.[Song C Z, Liu Q F, Ma W, et al. Comparison of the impact paths of technological innovation on carbon productivity in the Yellow River Basin and the Yangtze River Economic Belt: Mediation effect based on digital finance[J]. Resources Science, 2024, 46(3): 450–461.] DOI: 10.18402/resci.2024.03.02

技术创新对黄河流域地区和长江经济带 碳生产率影响路径比较 ——基于数字金融的中介效应

宋成镇,刘庆芳,马伟,杨定,宋金平,李柄泓

(北京师范大学地理科学学部,北京 100875)

摘要:【目的】本文旨在探讨技术创新对碳生产率的影响路径,充分发挥技术创新的减碳增效能力,为推动区域高质量发展和双碳目标实现提供参考。【方法】本文以黄河流域地区和长江经济带为研究区域,运用STIRPAT模型探讨技术创新对碳生产率的影响路径,并构建中介效应模型检验数字金融的中介作用。【结果】①技术创新能够促进碳生产率水平提升,且影响效果存在区域异质性。技术创新对碳生产率的提升效果表现为长江经济带强于黄河流域地区。②数字金融在技术创新与碳生产率之间存在部分中介效应,技术创新能够通过促进数字金融发展提升区域碳生产率水平。数字金融的中介效果也表现为长江经济带强于黄河流域地区。③提高城镇化率 and 经济发展水平能够提升黄河流域地区碳生产率水平。提高城镇化率 and 经济发展水平,加快产业结构升级,能够提升长江经济带碳生产率水平。【结论】本文建议提升城市技术创新能力,推动数字金融与传统产业深度融合,强化区域产业技术交流与合作,促进黄河流域地区和长江经济带产业绿色化转型,进而实现区域低碳可持续发展。

关键词:技术创新;数字金融;碳生产率;STIRPAT模型;中介效应;黄河流域地区;长江经济带

DOI: 10.18402/resci.2024.03.02

1 引言

2020年9月,习近平总书记在第七十五届联合国大会上明确提出了“双碳”目标,即在2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和^[1]。与此同时,受新冠疫情的影响,中国经济社会发展受到严重冲击^[2]。当前中国经济社会全面恢复常态化运行,但经济复苏过程中仍面临着诸多困难和挑战。因此,中国承受着降低碳排放与稳定经济增长的双重压力,亟需协调好碳排放与经济增长的关系,促进区域低碳经济高质量发展。

20世纪90年代,Kaya等^[3]提出了碳生产率的概念,将碳生产率定义为GDP与CO₂排放的比率,成

为评估低碳经济发展的核心指标。碳生产率在计算过程中不仅考虑了经济发展也考虑了碳排放,因而能够很好地平衡经济增长与碳排放的关系。随着“低碳经济”发展理念和“双碳”目标政策的提出,越来越多的学者开始关注碳生产率的影响因素与驱动机制。目前,已有不少学者从环境规制^[4]、城市化^[5]、外商投资^[6]、产业集聚^[7]等方面探究了碳生产率的影响因素。其中,学者们针对技术创新对碳生产率的影响也开展了较多研究,但研究结论尚未达成一致。大多数学者认为技术创新能够促进碳生产率提升。例如,程钰等^[8]、裴海峰等^[9]、梁圣蓉等^[10]分别从全球和全国视角出发,探究了技术创新对碳生

收稿日期:2023-08-27 修订日期:2024-02-20

基金项目:国家自然科学基金项目(42171170);国家重点研发计划项目(2023YFC3205600)。

作者简介:宋成镇,男,山东聊城人,博士研究生,研究方向为城市与区域发展。E-mail: 202231051026@mail.bnu.edu.cn

通讯作者:宋金平,男,山东平邑人,教授,博士生导师,研究方向为经济地理与区域发展。E-mail: jinpingsong@163.com

2024年3月

产率的影响,得出的研究结论均表明技术创新能够促进碳生产率提升。还有部分学者认为技术创新会阻碍碳生产率提升。例如,Acemoglu等^[11]、张文彬等^[12]通过实证研究得出技术创新在促进经济增长的同时导致碳排放增加,进而对碳生产率产生抑制作用。此外,随着数字技术与金融行业的融合不断加深,数字金融应运而生。作为技术创新在金融领域的重要创新产物,数字金融已成为促进数字经济发展的主要驱动力,并在推动低碳经济发展的过程中扮演越来越重要的角色。当前,已有部分学者探究了数字金融与碳排放的关系,主要观点为:一部分学者认为数字金融发展有助于降低区域碳排放。例如,邓荣荣等^[13]、姚凤阁等^[14]分别基于中国地市级和省域数据,探究了数字金融对碳排放效率的影响,发现数字金融能够促进区域碳排放效率提升。另一部分学者认为数字金融发展会导致区域碳排放增加。例如,Sadorsky等^[15]、Zhao等^[16]通过探究数字金融对碳排放的影响,得出数字金融可能会引发能源回弹效应,导致区域能源消耗和碳排放增加。另外,还有部分学者认为数字金融与碳排放之间存在非线性关系。例如,廖珍珍等^[17]、范庆倩等^[18]分别以中国258个城市和30个省份为研究样本,实证检验了数字金融与碳排放的关系,得出数字金融与碳排放存在倒U型非线性关系。

综上所述,学术界针对碳生产率的影响因素以及技术创新对碳生产率的影响已开展了较为广泛的研究,但技术创新对碳生产率的影响效果仍有待进一步检验。此外,部分学者探究了数字金融发展与碳排放的关系,但数字金融能否在技术创新与碳生产率之间发挥中介作用有待进一步验证。

黄河流域地区和长江经济带是重大国家战略实施区域,也是重要经济地带和生态屏障^[19,20]。针对黄河流域地区和长江经济带开展碳生产率比较研究,能够促进黄河流域地区和长江经济带在低碳经济发展过程中互相借鉴、取长补短,有助于推动重大国家战略区域实现低碳经济高质量发展。基于此,本文以黄河流域地区和长江经济带为研究区域,通过构建可拓展的随机性的环境影响评估模型(Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology, STIRPAT)探究技术创新对

碳生产率的驱动机制;并通过构建中介效应模型实证检验数字金融能否发挥中介作用。本文旨在为充分发挥技术创新的减碳增效作用,促进黄河流域地区和长江经济带低碳经济可持续发展,推动中国双碳目标实现提供参考。

2 研究假设

技术创新作为推动区域产业结构优化与调整的核心驱动力^[21],通过增加区域经济产值和减少区域污染排放影响区域碳生产率水平^[22]。一方面,技术创新有利于提升区域碳生产率水平。首先技术创新能够改善企业生产技术和污染处理技术,有助于提升企业的经济效益和碳排放处理能力,促进区域经济增长和碳排放降低,进而提升区域碳生产率水平^[23]。此外,技术创新有助于优化企业能源消费结构,增加绿色清洁能源使用比重,减少企业污染排放规模,进而促进区域碳生产率提升。另一方面,技术创新也可能会阻碍区域碳生产率提升。技术创新初期,企业需要投入大量资金和高技术人力资本,且新产品和新技术在创新研发过程中可能存在创新成果转化率低或转化失败等问题,引起企业经济效益下降,进而阻碍区域碳生产率提升^[24]。此外,企业产品经过创新升级后,可能引起新产品市场销售份额激增,引发能源“回弹效应”,若产品升级所带来的减碳效应不能完全抵消经济增长所引发的碳增长效应^[25],可能阻碍区域碳生产率水平提升。基于此,本文提出假设1。

假设1:技术创新能够影响黄河流域地区和长江经济带碳生产率水平,影响方向存在不确定性。

技术创新能够推动数字金融发展。随着大数据、云计算、人工智能和5G等数字技术创新手段不断向传统金融领域渗透,数字金融应运而生,这种以数字化为核心的金融发展模式,能够提升传统金融服务实体经济的能力,是对传统金融服务的优化升级^[26]。“十四五”规划中明确提出,加快数字技术创新发展,促进金融机构数字化转型。技术创新能够促进数字金融不断创新个性化、定制化和智能化的多元化金融服务,使数字金融服务更多样、更高效、更安全^[27]。技术创新能够赋能数字金融发展,促使数字金融不断创新升级普惠金融产品,更好地满足中小企业多元化的融资服务需求。此外,技术创新

能够促进金融科技创新体系更健全、更安全、更高效,有助于推动数字金融服务智慧再造,为人们提供更普惠、更绿色、更人性化的数字金融服务。

数字金融能够影响区域碳生产率。一方面,数字金融能够提升区域碳生产率水平。数字金融凭借服务效率高、交易成本低和安全性高等优势,能够减少中小企业的融资成本和交易风险,提高企业融资效率,刺激中小微企业的形成和发展,有助于促进区域经济增长,改善区域碳生产率水平^[28]。此外,随着数字金融在现代各行业的普及应用,人们可以通过支付宝、云闪付、微信等移动支付平台直接参与到网上购物缴费、网络挂号缴费和购票缴费等支付活动,极大地减少了人们日常出行活动所产生的碳排放量,进而有助于改善区域碳生产率水平。另一方面,数字金融也有可能阻碍区域碳生产率提升。数字金融能够凭借其高效的融资效率,促进中小微企业数量增加和原有企业生产规模扩张,形成规模效应,这些增加的中小型企业中可能存在一些高污染企业,它们在促进经济增长的同时,也引起区域能源消耗和污染排放增加,进而可能阻碍区域碳生产率提升。基于此,本研究提出假设2。

假设2:数字金融在技术创新与碳生产率之间存在中介效应。

根据上述理论分析,建立技术创新、数字金融与碳生产率的理论关系框架,如图1所示。

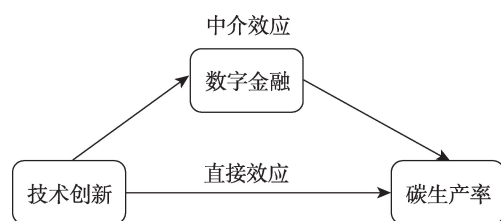


图1 技术创新、数字金融与碳生产率的理论关系

Figure 1 Theoretical relationship between technological innovation, digital finance, and carbon productivity

3 研究区域、变量选择、研究方法与数据来源

3.1 研究区域

本文基于自然黄河流域,综合考虑行政单元的完整性以及各省(区)社会经济发展与黄河流域的紧密联系性,并参考相关研究^[29-31],最终选择黄河流

经的青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南和山东8个省级行政单元作为研究区(简称黄河流域地区),根据《东北振兴“十三五”规划纲要》,内蒙古东部的呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市、赤峰市被划入东北地区,故将其剔除。黄河流域地区经济基础薄弱,重化工业分布广泛,产业结构偏重,现代服务业和高新技术产业发展缓慢。为便于开展研究,并综合黄河流域地区各省(区)发展现状,本文将青海、甘肃、内蒙古和宁夏确定为上游地区,陕西和山西确定为中游地区,河南和山东确定为下游地区。

根据《长江经济带发展规划纲要》,长江经济带是一个明确的经济区域,包括长江流经的上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南和贵州11个完整省级行政单元。长江经济带经济和产业基础雄厚,现代服务业和高新技术产业发达,产业结构趋于合理。参考相关研究^[32]并综合长江经济带各省(市)发展现状,本文将重庆、四川、贵州和云南确定为上游地区,江西、湖北和湖南确定为中游地区,上海、江苏、浙江和安徽确定为下游地区。

3.2 变量选择与计算

3.2.1 因变量

碳生产率(CP)反映了一个地区的GDP增量占同期二氧化碳排放量的比重,能够直接表征单位碳排放量所获得的经济效益,是衡量低碳经济发展的核心指标^[4]。参考Kaya等^[3]对碳生产率的定义,本文使用*i*地市*j*年份的GDP总量与碳排放量的比值表征*i*地市*j*年份的碳生产率,具体公式如下:

$$CP_{ij} = G_{ij} / CE_{ij} \quad (1)$$

式中: CP_{ij} 表示*i*城市*j*年份的碳生产率; G_{ij} 表示*i*城市*j*年份的GDP总量; CE_{ij} 表示*i*城市*j*年份的CO₂排放量。

3.2.2 解释变量与中介变量

技术创新(TEI):专利授权量包括发明、实用新型和外观设计,它是城市技术创新成果的直接体现,能够充分反映城市的创新活力和能力水平^[33,34],因此,本文选择专利授权量表征城市技术创新水平(解释变量)。

数字金融(DIF):北京大学数字金融研究中心和蚂蚁金服集团编制的数字普惠金融指数能够充

2024年3月

分反映数字金融发展程度,该数据包含覆盖广度、使用深度和数字化程度3个维度,覆盖范围较广,具有较高的可靠性^[18]。因此,本文选择数字普惠金融指数表征城市数字金融发展程度(中介变量)。

3.2.3 控制变量

由于碳生产率可能还会受到其他因素的影响,参考相关研究^[8,10,35],本文选择如下指标作为控制变量。城镇化水平(*URB*):选择城镇人口占城市总人口的比重表征城镇化水平。产业升级(*INU*):选择第三产业增加值与第二产业增加值的比值表征产业结构升级。经济发展水平(*EDI*):选择城市人均GDP表征城市经济发展水平。对外开放程度(*FDI*):选择实际利用外商直接投资额表征城市对外开放程度。变量及其指标解释如表1所示。

表1 变量及指标解释

Table 1 Variables and indicators

| 变量 | 指标名称 | 指标解释 |
|--------|----------------------|-----------------------------------|
| 被解释变量 | 碳生产率(<i>CP</i>) | 城市GDP/城市CO ₂ 排放量/(元/t) |
| 核心解释变量 | 技术创新(<i>TEI</i>) | 城市专利授权量/件 |
| 中介变量 | 数字金融(<i>DIF</i>) | 数字普惠金融指数 |
| 控制变量 | 城镇化率(<i>URB</i>) | (城镇人口/城市总人口)×100% |
| | 产业结构(<i>INU</i>) | (第三产业增加值/第二产业增加值)×100% |
| | 经济发展水平(<i>EDI</i>) | 城市人均GDP/(元/人) |
| | 外商直接投资(<i>FDI</i>) | 城市实际利用外商直接投资额/万元 |

3.3 研究方法

3.3.1 STIRPAT 模型

本文基于STIRPAT模型^[36],在选择技术创新、经济发展、城镇人口比重指标的基础上,又将可能对碳生产率产生影响的其他社会经济指标(如数字金融、产业结构升级和对外开放程度等)纳入到模型中,构建扩展的STIRPAT模型。模型如下:

$$\ln CP_{ij} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln DIF_{ij} + \alpha_2 \ln TEI_{ij} + \alpha_3 \ln URB_{ij} + \alpha_4 \ln INU_{ij} + \alpha_5 \ln EDI_{ij} + \alpha_6 \ln FDI_{ij} + \beta_{ij} \quad (2)$$

式中: α_0 为常数项; $\alpha_1 - \alpha_6$ 均为弹性系数; β_{ij} 为随机误差。

3.3.2 中介效应模型

为检验数字金融在技术创新影响碳生产率的过程中是否存在中介效应,参考温忠麟等^[37]提出的

中介效应检验方式,采用逐步回归法分别构建解释变量对因变量、中介变量对因变量、解释变量和中介变量对因变量的方程如下:

$$CP = cTEI + \beta_1 \quad (3)$$

$$DIF = aTEI + \beta_2 \quad (4)$$

$$CP = c'TEI + bDIF + \beta_3 \quad (5)$$

式中: a 、 b 、 c 、 c' 表示回归系数; β_1 、 β_2 、 β_3 表示随机误差项。采用公式(3)检验技术创新对碳生产率的直接影响;采用公式(4)和公式(5)检验数字金融在技术创新影响碳生产率的过程中能否发挥中介作用。

3.4 数据来源

本文中所用到的2011—2019年的碳排放数据来源于中国碳核算数据库,2011—2019年的数字普惠金融指数数据来源于北京大学数字金融中心服务平台,其他变量数据主要来源于中国城市统计年鉴(2012—2020年)和研究区域内各省份统计年鉴(2012—2020年),少量缺失数据采用插值法进行补齐。本文以2011年的GDP价格为基期数值,将各年份的相关经济指标均进行了平减,以消除价格变动的影响。受限于数字普惠金融指数数据最早统计到2011年,因此,本文选取的研究时段为2011—2019年。

4 结果与分析

4.1 面板数据平稳性检验

为避免变量回归过程中出现多重共线性,在模型回归前对所有变量进行取对数处理,回归结果显示所有变量的VIF均小于7.5,表明经处理后的变量间不存在严重的多重共线性,可以进行回归分析。此外,为避免变量回归过程中出现“伪回归”现象,确保模型估计结果的有效性,本文同时采用LLC、IPS、Fisher-ADF和Fisher-PP检验,如果检验结果均拒绝存在单位根的原假设,则说明此序列是平稳的,反之则不平稳。黄河流域地区(表2)与长江经济带(表3)面板数据单位根检验结果显示,所有变量数据序列均是平稳的,可以进行变量回归分析。

4.2 技术创新对黄河流域地区和长江经济带碳生产率的影响

本文借助Stata软件对黄河流域地区与长江经济带变量面板数据分别进行随机效应和固定效应模型回归。根据豪斯曼检验结果,选择固定效应模

表2 黄河流域地区面板数据平稳性检验

Table 2 Stability test results of panel data of the Yellow River Basin

| 变量 | ADF | LLC | IPS | PP |
|-------|------------|------------|------------|-----------|
| lnCP | 4.3614*** | -3.1200*** | -4.2651*** | 6.1471*** |
| lnDIF | 6.7206*** | -4.6256*** | -5.3211*** | 3.6510*** |
| lnTEI | 5.1492*** | -2.3611*** | -4.3206*** | 5.5146*** |
| lnURB | 10.1059*** | -5.0294*** | -4.7981*** | 4.0621*** |
| lnINU | 5.9573*** | -2.2216*** | -3.2812*** | 4.6302*** |
| lnEDI | 3.6525*** | -1.0362*** | -2.1848*** | 3.5413*** |
| lnFDI | 1.8920*** | -1.1135*** | -3.2175*** | 2.6982*** |

注:***,**和*分别代表在1%,5%和10%的水平下通过显著性检验。下同。

表3 长江经济带面板数据平稳性检验

Table 3 Stability test results of panel data of the Yangtze River Economic Belt

| 变量 | ADF | LLC | IPS | PP |
|-------|-----------|------------|------------|-----------|
| lnCP | 5.2360*** | -4.5620*** | -3.2569*** | 4.9832*** |
| lnDIF | 7.2361*** | -6.2354*** | -5.3541*** | 6.5651*** |
| lnTEI | 9.6988*** | -5.4453*** | -8.6658*** | 5.6420*** |
| lnURB | 6.2547*** | -3.2413*** | -5.6325*** | 4.4432*** |
| lnINU | 5.4821*** | -2.2284*** | -4.3581*** | 5.3287*** |
| lnEDI | 6.9541*** | -5.6398*** | -7.6547*** | 6.3245*** |
| lnFDI | 4.5487*** | -2.3470*** | -3.6280*** | 4.2133*** |

型进行碳生产率影响因素分析。

(1)技术创新对黄河流域地区碳生产率具有正向作用,但影响效果存在区域异质性,其中技术创新对碳生产率的影响在中下游地区表现为正向作用,在上游地区表现为负向作用(表4)。具体来看,技术创新对黄河流域地区碳生产率的影响系数为

0.0791,且在5%的水平下通过显著性检验,表明技术创新能够促进黄河流域地区整体的碳生产率提升。一方面,技术创新有利于促进黄河流域地区传统企业(如制造业、加工业等)改良生产技术和管理经验,加快产品改造升级,增加市场销售份额,提高企业经济效益,推动区域经济增长。另一方面,技

表4 技术创新对黄河流域地区碳生产率的影响

Table 4 The impact of technological innovation on carbon productivity in the Yellow River Basin

| 变量 | 黄河流域地区 | | 上游地区 | | 中游地区 | | 下游地区 | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | 固定效应 | 随机效应 | 固定效应 | 随机效应 | 固定效应 | 随机效应 | 固定效应 | 随机效应 |
| lnTEI | 0.0791** (2.67) | 0.1352* (1.66) | -0.0338* (-1.95) | 0.0440 (1.37) | 0.0881* (1.65) | 0.0222* (1.59) | 0.4017** (3.04) | 0.3533** (2.67) |
| lnURB | 0.3224* (1.67) | -0.2716*** (-3.56) | 0.1667* (1.99) | -0.4942 (-1.27) | 0.2136 (0.28) | -0.2080 (-0.32) | 0.4714* (1.95) | 0.3468** (2.93) |
| lnINU | -0.1251* (-1.79) | -0.1128** (-2.17) | -0.0129 (-0.27) | -0.1280** (-2.33) | -0.1784 (-0.64) | -0.0601 (-0.25) | 0.2523* (1.74) | 0.2354 (0.96) |
| lnEDI | 0.1160*** (7.53) | 0.3555*** (5.39) | 0.1738*** (4.17) | 0.1691 (0.75) | 0.1529*** (3.22) | 0.2567** (2.86) | 0.3941*** (3.96) | 0.3716*** (3.30) |
| lnFDI | -0.0081 (-0.43) | 0.0220 (1.17) | -0.0117 (-0.48) | 0.0149 (0.51) | -0.0471 (-1.57) | -0.0465 (-1.58) | 0.1254* (1.68) | 0.2847*** (4.57) |
| Cons | -7.8881*** (-6.84) | -5.7422*** (-3.61) | -6.9439*** (-5.02) | -1.5322 (-0.67) | -9.4275** (-2.39) | -6.3437** (-2.01) | -12.4220** (-2.75) | -6.7551** (-2.09) |
| R ² | 0.6439 | 0.6338 | 0.7062 | 0.4982 | 0.6073 | 0.5981 | 0.6768 | 0.6365 |
| F | 29.49 | — | 33.17 | — | 51.56 | — | 19.96 | — |

2024年3月

术创新有利于推动黄河流域地区传统重化工企业调整能源消费方式,提高天然气和电力等清洁能源使用比重,减少碳排放规模,进而促进区域碳生产率水平提升。技术创新对中游地区和下游地区碳生产率的影响系数分别为0.0881和0.4017,且均通过了显著性检验,表明技术创新能够促进黄河流域中下游地区碳生产率提升。地处中下游地区的陕西、山西、河南和山东等省份资源型产业比重较高,重化工业、加工业和制造业等传统产业分布广泛,技术创新能够推动地方企业改良生产工艺技术、优化能源消费结构,提高经济产出和能源利用效率,进而促进区域碳生产率提升。技术创新对上游地区碳生产率的影响系数为-0.0338,且通过了显著性检验,表明技术创新对上游地区碳生产率具有负向作用。黄河流域上游地区经济发展相对缓慢,科技创新投入不够,地方企业创新能力不足,技术创新成果转化率较低,容易出现投入大于产出的倒挂现象,进而可能导致区域碳生产率降低。

此外,城镇化率对黄河流域地区、上游地区和下游地区碳生产率均表现为正向作用。产业升级对下游地区碳生产率具有正向作用,对黄河流域地区碳生产率具有负向作用。经济发展水平对黄河流域地区、上游地区、中游地区和下游地区碳生产率均表现为正向作用。外商直接投资对下游地区碳生产率具有正向作用。

(2)技术创新对长江经济带碳生产率具有正向作用,但影响效果存在区域异质性,其中技术创新对碳生产率的影响在中游地区和下游地区表现为显著正向作用,而在上游地区的影响不显著(表5)。具体来看,技术创新对整个长江经济带碳生产率的影响系数为0.6772,且通过了显著性检验,表明技术创新能够促进长江经济带碳生产率提升。长江经济带经济基础雄厚(上海、重庆、苏州、杭州、武汉、南京等中国经济强市均位于长江经济带),整体产业结构趋于合理,高技术人才储备充足,企业创新环境优良,研发投入较高,技术创新能够促进创新研发成果就地转化,大大提高企业的生产和减排效率,进而促进区域碳生产率提升。技术创新对中游地区和下游地区碳生产率的影响系数分别为0.3292和0.7029,且均通过了显著性检验,表明技术创新能够促进中游地区和下游地区碳生产率提升。地处中下游地区的长三角城市群和长江中游城市群,综合实力较强,经济、产业和技术等高度发达,第三产业发展势头强劲,技术创新能够更好地服务于高新技术产业,推动区域低碳经济发展。技术创新对上游地区碳生产率的影响系数为正但未通过显著性检验,表明技术创新对上游地区碳生产率的影响不显著。上游地区的云南和贵州等地,经济和产业发展相对滞后,创新能力不足,而成渝城市群的发展规模和综合实力明显弱于长三角城市

表5 技术创新对长江经济带碳生产率的影响

Table 5 The impact of technological innovation on carbon productivity in the Yangtze River Economic Belt

| 变量 | 长江经济带 | | 上游地区 | | 中游地区 | | 下游地区 | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| | 固定效应 | 随机效应 | 固定效应 | 随机效应 | 固定效应 | 随机效应 | 固定效应 | 随机效应 |
| lnTEI | 0.6772** (2.58) | 0.4411** (2.39) | 0.2439 (1.06) | 0.0680** (2.01) | 0.3292* (1.81) | 0.2319 (1.04) | 0.7029*** (3.72) | 0.4168*** (4.35) |
| lnURB | 0.2741** (2.84) | -0.2124 (-1.05) | -0.1318** (-2.14) | -0.1438* (-1.78) | 0.2161 (0.80) | -0.0613 (-0.24) | 0.4058*** (3.29) | 0.5257*** (4.11) |
| lnINU | 0.0523* (1.97) | 0.0734* (1.37) | 0.1739*** (3.26) | 0.1320** (2.10) | 0.0918* (1.22) | 0.0797* (1.25) | -0.3123 (-0.13) | 0.2144 (0.16) |
| lnEDI | 0.5018*** (3.80) | 0.2608** (2.22) | 0.4635** (2.07) | 0.2781 (1.30) | 0.5614* (1.58) | -0.1014 (-0.39) | 0.4603*** (3.40) | 0.4186*** (3.41) |
| lnFDI | 0.0158 (0.74) | -0.0910 (-0.48) | -0.0214 (-0.88) | -0.0131 (-0.57) | -0.1301* (-1.94) | -0.1084** (-2.32) | 0.3093** (2.20) | 0.2132* (1.32) |
| Cons | -6.4792*** (-4.92) | -3.5483*** (-3.16) | -2.7441*** (-3.12) | -1.9967** (-2.66) | -9.1366** (-2.55) | -5.8726* (-1.91) | -8.9917** (-2.88) | 7.2876*** (4.46) |
| R ² | 0.6743 | 0.5549 | 0.8668 | 0.8632 | 0.6721 | 0.6410 | 0.7257 | 0.7229 |
| F | 22.61 | — | 28.01 | — | 16.57 | — | 34.20 | — |

群,且对上游其他落后区域的辐射带动作用不强,进而可能导致技术创新对整个上游地区碳生产率的影响不显著。

此外,城镇化率对碳生产率的影响在长江经济带和下游地区具有正向作用,而在上游地区具有负向作用。产业结构升级对碳生产率的影响在长江经济带、上游地区和中游地区均表现为正向作用,而在下游地区表现为不显著。经济发展水平对长江经济带、上游地区、中游地区和下游地区碳生产率均具有正向作用。外商直接投资对下游地区碳生产率具有正向作用,而对中游地区碳生产率具有负向作用。

(3)值得注意的是,黄河流域地区和长江经济带碳生产率的影响因素存在显著差异。其中,技术创新和经济发展水平对碳生产率的正向促进效果均表现为长江经济带强于黄河流域地区;产业结构升级对碳生产率的影响在黄河流域地区表现为抑制作用,而在长江经济带表现为正向促进作用。这归因于长江经济带高技术人力资源丰富,地方企业的自主研发创新能力较强,技术创新能够有效驱动企业生产和减排技术升级,促进区域碳生产率提升。成渝城市群、长江中游城市群和长三角城市群分别位于长江经济带上、中、下游地区,三大城市群经济基础雄厚,第三产业发达,使得经济发展水平和产业结构对碳生产率的提升作用更加明显。相比于长江经济带,黄河流域地区经济发展相对缓慢,城市技术创新能力偏弱,企业创新活力不足,技术创新对区域碳生产率的提升作用不明显。黄河流域中上游地区缺乏像长江经济带那样的大规模城市群,且地处下游地区的中原城市群和山东半岛城市群,整体经济发展水平又明显落后于长三角城市群,使得经济发展水平对黄河流域地区碳生产率的促进作用弱于长江经济带。此外,地处黄河流域下游地区的河南省和山东省均是工业大省,产业结构偏重,第二产业对区域经济发展的贡献较大,产业结构升级可能导致区域经济增长减缓,进而阻碍碳生产率提升。

4.3 中介效应检验

通过构建中介效应模型实证检验数字金融在技术创新影响黄河流域地区碳生产率的过程中能

否发挥中介效应(表6)。技术创新对数字金融具有显著正向促进作用,且数字金融对碳生产率也具有显著的正向促进作用。当不引入数字金融时,技术创新对黄河流域地区碳生产率的总效应为0.0791。当引入数字金融后,技术创新对黄河流域地区碳生产率的影响系数为0.0754,且通过了显著性检验,表明数字金融对黄河流域地区碳生产率的直接效应为0.0754。因此,可以判断数字金融在技术创新影响黄河流域地区碳生产率的过程中能够发挥部分正向中介效应,中介效应值为0.0037。

表6 数字金融在黄河流域地区的中介效应检验

Table 6 Mediation effect of digital finance in the Yellow River Basin

| 变量 | 碳生产率 | 数字金融 | 碳生产率 |
|-------------|----------|-----------|-----------|
| $\ln TEI$ | 0.0791** | 0.0560* | 0.0754*** |
| $\ln DIF$ | | | 0.0653* |
| <i>Cons</i> | -6.3251* | -5.3347** | -7.5286* |
| 控制变量 | YES | YES | YES |
| R^2 | 0.5633 | 0.4782 | 0.6635 |

通过构建中介效应模型实证检验数字金融在技术创新影响长江经济带碳生产率过程中能否发挥中介作用(表7)。技术创新对数字金融具有显著正向促进作用,且数字金融也对碳生产率具有显著正向促进作用。当不引入数字金融时,技术创新对碳生产率的总效应为0.6772。当引入数字金融后,技术创新对长江经济带碳生产率的影响系数为0.6459,且通过了显著性检验,表明技术创新对碳生产率的直接效应为0.6459。因此,数字金融在技术创新影响长江经济带碳生产率的过程中也能够发挥部分正向中介效应,中介效应值为0.0313。

表7 数字金融在长江经济带的中介效应检验

Table 7 Mediation effect of digital finance in the Yangtze River Economic Belt

| 变量 | 碳生产率 | 数字金融 | 碳生产率 |
|-------------|-----------|----------|-----------|
| $\ln TEI$ | 0.6772** | 0.1369** | 0.6459** |
| $\ln DIF$ | | | 0.2287* |
| <i>Cons</i> | -6.0214** | -3.5273* | -1.5568** |
| 控制变量 | YES | YES | YES |
| R^2 | 0.5412 | 0.6007 | 0.4539 |

数字金融在技术创新影响黄河流域地区和长江经济带碳生产率的过程中发挥中介效应的机制路线如图2所示。综上分析,技术创新对碳生产率

2024年3月

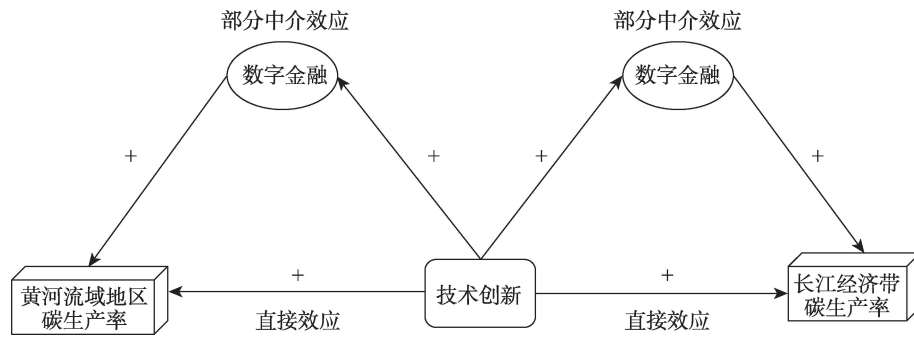


图2 数字金融在技术创新影响碳生产率过程中的中介效应

Figure 2 Mediation effect of digital finance on the impact of technological innovation on carbon productivity

的影响在黄河流域地区和长江经济带具有正向作用,而在黄河上游地区具有负向作用,验证了研究假设1。数字金融在技术创新影响黄河流域地区和长江经济带碳生产率的过程中能够发挥显著部分中介效应,验证了研究假设2。

值得注意的是,数字金融在长江经济带(0.0313)发挥的中介作用强于黄河流域地区(0.0037)。相比于黄河流域地区,长江经济带现代信息技术产业发展迅速,高技术人力资源丰富,区域创新环境更加优越,技术创新能够驱动数字技术与传统金融有效融合,促进数字金融优质、高效发展。此外,长江经济带中小企业发展势头强劲,金融服务业发展活力旺盛,数字金融能够凭借其高效、灵活的优势更好地服务于中小企业发展,充分发挥减碳增效作用,促进地区经济增长和碳排放降低,因而数字金融在长江经济带发挥的中介作用更加明显。

4.4 内生性与稳健性检验

为检验模型回归结果的内生性,参考王培鑫等^[38]

的做法,本文选择城市书院数量作为工具变量,运用两阶段最小二乘法对黄河流域地区与长江经济带分别进行内生性检验(表8)。检验结果显示不存在弱工具变量,且技术创新工具变量的影响系数均通过了显著性检验,表明模型不存在严重的内生性问题。此外,本文通过更换模型方法(采用面板Tobit模型)、改变控制变量个数(剔除外商直接投资)、改变样本数量(剔除省会城市和直辖市)等方式分别进行模型稳健性检验,模型检验结果显示(表9),技术创新对碳生产率的影响性质与初始模型基本

表8 内生性检验结果

Table 8 Endogeneity test results

| 变量 | 一阶(黄河流域地区) | 二阶(黄河流域地区) | 一阶(长江经济带) | 二阶(长江经济带) |
|----------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 技术创新 | — | 0.5160*** | — | 0.6281** |
| 书院数量 | 0.0096*** | — | 0.0051*** | — |
| 控制变量 | YES | YES | YES | YES |
| Cons | -2.6351*** | -2.5502*** | -3.6540*** | -4.1020*** |
| F test | 157.3650*** | — | 184.6580*** | — |
| R ² | 0.5036 | 0.5450 | 0.4900 | 0.4642 |

表9 稳健性检验结果

Table 9 Robustness test results

| 变量 | 黄河流域地区 | | | 长江经济带 | | |
|----------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| | Tobit回归 | 剔除FDI | 剔除省会城市和直辖市 | Tobit回归 | 剔除FDI | 剔除省会城市和直辖市 |
| lnTEI | 0.0626*** | 0.0532** | 0.0390** | 0.6801*** | 0.7149* | 0.5291** |
| lnURB | 0.0859*** | 0.0662* | 0.0923* | 0.5246** | 0.0076 | 0.1838** |
| lnINU | -0.0508* | 0.0053 | 0.0092 | 0.1357* | 0.0864* | 0.0327*** |
| lnEDI | 0.5725*** | 0.8855*** | 0.7278*** | 0.4362*** | 0.7048*** | 0.5500*** |
| lnFDI | -0.0159 | — | -0.0126 | 0.0157 | — | 0.0015 |
| Cons | -1.7886** | -6.5923*** | -6.6556*** | -1.9299* | -6.6584*** | -5.8185 |
| R ² | — | 0.4802 | 0.4792 | — | 0.4849 | 0.4733 |

一致,表明初始模型回归结果稳健可靠。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文以黄河流域地区和长江经济带为研究区域,通过构建STIRPAT模型和中介效应模型探讨了技术创新对碳生产率的影响以及数字金融的中介效应。主要结论如下:

(1)技术创新能够提升黄河流域地区和长江经济带碳生产率水平,但在长江经济带(0.6772)的提升效果强于黄河流域地区(0.0791)。此外,技术创新对碳生产率的影响效果存在区域异质性。其中,技术创新对黄河流域中下游地区碳生产率具有正向促进作用,而对上游地区具有负向作用。技术创新对长江经济带中下游地区碳生产率具有正向促进作用,而对上游地区的影响不显著。

(2)数字金融在技术创新与碳生产率之间存在部分中介效应,技术创新能够通过促进数字金融发展改善区域碳生产率水平。数字金融在技术创新与碳生产率之间发挥的中介作用存在区域差异,数字金融的中介效果在长江经济带(0.0313)强于黄河流域地区(0.0037)。因此,黄河流域地区与长江经济带可以通过促进技术创新与数字金融深度融合提升区域碳生产率。

(3)控制变量对碳生产率的影响也存在区域差异。其中,城镇化率对黄河流域地区和长江经济带碳生产率均具有正向促进作用,但在黄河流域地区(0.3224)的影响效果强于长江经济带(0.2741)。产业结构升级对碳生产率的影响在长江经济带具有正向作用,而在黄河流域地区具有负向作用;经济发展水平对黄河流域地区和长江经济带碳生产率均具有正向促进作用,但在长江经济带(0.5018)的影响效果强于黄河流域地区(0.1160)。

5.2 政策建议

根据技术创新对黄河流域地区与长江经济带碳生产率的影响路径,本文提出以下政策建议:

(1)以技术创新驱动区域低碳经济发展。黄河流域地区应加强区域科技创新平台建设,加大科技、工程类技能人才培养和引进力度,提升区域技术创新能力,并结合地方资源型产业发展特点,推

动煤炭等资源型产业绿色化、智能化发展。长江经济带应打造科技创新示范高地,强化创新基础平台建设,整合区域优势创新资源,不断优化劳动密集型产业、技术密集型产业和现代信息技术产业的布局结构,推动全域低碳经济可持续发展。

(2)通过数字金融加速区域产业数字化、绿色化转型。黄河流域地区应加快数字基础设施建设,推进数字金融与制造业等传统产业深度融合,加速传统产业数字化转型,并充分发挥数字金融的数据赋能优势,通过数字技术手段限制高污染企业融资,引导资金精准流向绿色低碳产业,进而推动黄河流域产业绿色化发展。长江经济带应不断完善数字基础设施建设,整合上中下游地区的数字资源优势,构建长江经济带数字化产业体系,优化提升数字金融对实体经济的服务能力,加速劳动密集型和技术密集型产业数字化转型。

(3)强化区域间、区域内产业技术交流与合作,协同推动区域低碳经济协调发展。黄河流域地区应加强与长江经济带在产业技术创新和数字金融发展等方面的合作交流,不断提升区域自主创新研发能力,摆脱对传统资源型产业的过度依赖,积极培育和发展高新技术产业,促进产业数字化、绿色化转型。此外,黄河流域地区与长江经济带应强化上中下游地区之间的产业技术联系,例如,地处下游地区的长三角城市群和山东半岛城市群应加强与中上游地区之间的产业技术联系,充分发挥辐射带动作用,促进中上游地区产业转型升级,形成上中下游产业链、创新链,协同推动全域低碳经济协调发展。

参考文献(References):

- [1] 国务院. “十三五”控制温室气体排放工作方案[EB/OL]. (2016-10-27) [2024-04-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-11/04/content_5128619.htm. [The State Council. The 13th Five Year Plan for Controlling Greenhouse Gas Emissions[EB/OL]. (2016-10-27) [2024-04-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-11/04/content_5128619.htm.]
- [2] 刘帅. 新冠肺炎疫情对中国区域经济的影响[J]. 地理研究, 2021, 40(2): 310-325. [Liu S. The impact of COVID-19 on China's regional economy[J]. Geographical Research, 2021, 40(2): 310-

2024年3月

- 325.]
- [3] Kaya Y, Yokobori K. *Environment, Energy and Economy: Strategies for Sustainability*[M]. Tokyo: United Nations University Press, 1997.
- [4] Hu W, Wang D. How does environmental regulation influence China's carbon productivity? An empirical analysis based on the spatial spillover effect[J]. *Journal of Cleaner Production*. 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120484.
- [5] 唐志鹏, 刘卫东, 宋涛. 基于混合地理加权回归的中国省域碳生产率影响因素分析[J]. *资源科学*, 2017, 39(12): 2223–2232. [Tang Z P, Liu W D, Song T. Factors affecting China's provincial carbon productivity based on mixed geographically weighted regression modeling[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2223–2232.]
- [6] Jahanger A, Usman M, Ahmad P. A step towards sustainable path: The effect of globalization on China's CP from panel threshold approach[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, DOI: 10.1007/s11356-021-16317-9.
- [7] 孟凡生, 赵艳. 工业智能化、产业集聚与碳生产率[J]. *科学学研究*, 2023, 41(10): 1789–1799. [Meng F S, Zhao Y. Industrial intelligence, industrial agglomeration, and carbon productivity[J]. *Studies in Science of Science*, 2023, 41(10): 1789–1799.]
- [8] 程钰, 孙艺璇, 王鑫静, 等. 全球科技创新对碳生产率的影响与对策研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(9): 30–40. [Cheng Y, Sun Y X, Wang X J, et al. Research on the impact of global scientific and technological innovation on carbon productivity and countermeasures[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(9): 30–40.]
- [9] 裴海峰, 陈镜如. 基于省级面板数据的技术创新与碳生产率的关系研究[J]. *经济与管理评论*, 2023, 39(4): 109–119. [Pei H F, Chen J R. Research on the relationship between technological innovation and carbon productivity based on provincial panel data [J]. *Review of Economy and Management*, 2023, 39(4): 109–119.]
- [10] 梁圣蓉, 罗良文. 技术创新对碳生产率影响的空间效应: 基于产业结构和对外开放视角[J]. *广西社会科学*, 2022, (4): 16–27. [Liang S R, Luo L W. The spatial effect of technological innovation on carbon productivity: Based on the perspective of industrial structure and opening up to the outside world[J]. *Social Sciences in Guangxi*, 2022, (4): 16–27.]
- [11] Acemoglu D, Aghion P, Hemous D. The environment and directed technical change[J]. *American Economic Review*, 2012, 102(1): 131–166.
- [12] 张文彬, 李国平. 中国区域经济增长及可持续性研究: 基于脱钩指数分析[J]. *经济地理*, 2015, 35(11): 8–14. [Zhang W B, Li G P. Study on the regional economic growth and its sustainability in China: Analyses based on the decoupling index[J]. *Economic Geography*, 2015, 35(11): 8–14.]
- [13] 邓荣荣, 张翔祥. 中国城市数字金融发展对碳排放绩效的影响及机理[J]. *资源科学*, 2021, 43(11): 2316–2330. [Deng R R, Zhang A X. The impact of urban digital finance development on carbon emission performance in China and mechanism[J]. *Resources Science*, 2021, 43(11): 2316–2330.]
- [14] 姚凤阁, 王天航, 谈丽萍. 数字普惠金融对碳排放效率的影响: 空间视角下的实证分析[J]. *金融经济研究*, 2021, 36(6): 142–158. [Yao F G, Wang T H, Tan L P. The impact of digital financial inclusion on carbon efficiency: Empirical analysis based on a spatial perspective[J]. *Financial Economics Research*, 2021, 36(6): 142–158.]
- [15] Sadorsky P. The impact of financial development on energy consumption in emerging economies[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(5): 2528–2535.
- [16] Zhao H, Yang Y R, Li N, et al. How does digital finance affect carbon emissions? Evidence from an emerging market[J]. *Sustainability*, 2021, DOI: 10.3390/su132112303.
- [17] 廖珍珍, 茹少峰. 数字金融发展对二氧化碳排放增减叠加效应的理论分析与实证检验[J]. *经济问题探索*, 2022, (9): 117–132. [Liao Z Z, Ru S F. Theoretical analysis and empirical test of the superposition effect of digital finance development on the increase and decrease of carbon dioxide emissions[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2022, (9): 117–132.]
- [18] 范庆倩, 封思贤. 数字金融影响碳排放的作用机理及效果[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(11): 70–82. [Fan Q Q, Feng S X. Mechanism and effects of digital finance on carbon emissions[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(11): 70–82.]
- [19] 赵金丽, 王成新, 曹莎. 基于多元要素流的长江流域与黄河流域城市网络结构研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(10): 59–68. [Zhao J L, Wang C X, Cao S. Urban network structures of the Yangtze River Basin and the Yellow River Basin based on multi-element factor flows[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(10): 59–68.]
- [20] 樊杰, 王亚飞, 王怡轩. 基于地理单元的区域高质量发展研究: 兼论黄河流域同长江流域发展的条件差异及重点[J]. *经济地理*, 2020, 40(1): 1–11. [Fan J, Wang Y F, Wang Y X. High quality regional development research based on geographical units: Discuss on the difference in development conditions and priorities of the Yellow River Basin compared to the Yangtze River Basin[J]. *Economic Geography*, 2020, 40(1): 1–11.]
- [21] 程丹亚, 曾刚. 长三角区域绿色技术创新对工业二氧化碳排放影响的空间效应研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(6): 1152–1164. [Cheng D Y, Zeng G. Impact on spatial effect of green technology innovation on industrial carbon dioxide emissions in Yangtze River Delta[J]. *Resources and Environment in the Yang-*

- tze Basin, 2023, 32(6): 1152–1164.]
- [22] 李娜. 绿色创新、财政分权与碳生产率[J]. 统计与决策, 2023, 39(1): 148–152. [Li N. Green innovation, fiscal decentralization and carbon productivity[J]. Statistics & Decision, 2023, 39(1): 148–152.]
- [23] 蒋长流, 江成涛. 数字普惠金融能否促进地区经济高质量发展? 基于258个城市的经验证据[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2020, 23(3): 75–84. [Jiang C L, Jiang C T. Can digital inclusive finance promote high-quality development of regional economy? Based on empirical evidence of 258 cities[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Social Science Edition), 2020, 23(3): 75–84.]
- [24] 钱娟. 能源节约偏向型技术进步对工业节能减排的门槛效应研究[J]. 科研管理, 2020, 41(1): 223–233. [Qian J. The threshold effect of energy-saving bias-oriented technological progress on industrial energy saving and emission reduction[J]. Science Research Management, 2020, 41(1): 223–233.]
- [25] 张悦, 王晶晶, 程钰. 中国工业碳排放绩效时空特征及技术创新影响机制[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1435–1448. [Zhang Y, Wang J J, Cheng Y. Spatiotemporal characteristics of China's industrial carbon emission performance and influence mechanism of technological innovation[J]. Resources Science, 2022, 44(7): 1435–1448.]
- [26] 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. [Zhu Y, Zhang J T. The impact of digital finance development on green and low-carbon transformation of urban economy[J]. Urban Problems, 2022, (10): 64–71.]
- [27] 朱东波, 张相伟. 数字金融通过技术创新促进产业结构升级了吗?[J]. 科研管理, 2023, 44(7): 73–82. [Zhu D B, Zhang X W. Has digital finance promoted the upgrading of industrial structure through technological innovation?[J]. Science Research Management, 2023, 44(7): 73–82.]
- [28] 吴传清, 邓明亮. 信息化水平促进中国全要素碳生产率增长的路径研究[J]. 中国软科学, 2023, (4): 177–188. [Wu C Q, Deng M L. Study on the path of informationization level promoting the growth of total factor carbon productivity in China[J]. China Soft Science, 2023, (4): 177–188.]
- [29] 苗长虹, 张佰发. 黄河流域高质量发展分区分级分类调控策略研究[J]. 经济地理, 2021, 41(10): 143–153. [Miao C H, Zhang B F. Regulation strategy of zoning-gradation-classification for high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Economic Geography, 2021, 41(10): 143–153.]
- [30] 赵宏波, 谷天顺, 孙东琪, 等. “三生”功能视角下黄河流域城市人居环境动态演变与机制[J]. 地理学报, 2023, 78(12): 2973–2999. [Zhao H B, Gu T S, Sun D Q, et al. Dynamic evolution and influencing mechanism of urban human settlements in the Yellow River Basin from the perspective of “production-living-ecological” function[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(12): 2973–2999.]
- [31] 刘岩, 程钰, 王亚平. 黄河流域生产性服务业集聚对城市绿色全要素生产率的影响效应与空间溢出[J]. 地理研究, 2023, 42(4): 917–935. [Liu Y, Cheng Y, Wang Y P. Spatial spillover and effect of producer service agglomeration on urban green total factor productivity in the Yellow River Basin[J]. Geographical Research, 2023, 42(4): 917–935.]
- [32] 油建盛, 董会忠, 蒋兵, 等. 长江经济带能源生态效率及驱动因子时空非平稳性[J]. 资源科学, 2022, 44(11): 2207–2221. [You J S, Dong H Z, Jiang B, et al. Spatiotemporal non-stationarity of energy ecological efficiency and its driving factors in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources Science, 2022, 44(11): 2207–2221.]
- [33] 程钰, 张悦, 王晶晶. 中国省域碳排放绩效时空演变与技术创新驱动研究[J]. 地理科学, 2023, 43(2): 313–323. [Cheng Y, Zhang Y, Wang J J. Spatial-temporal evolution of provincial carbon emission performance and driving force of technological innovation in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2023, 43(2): 313–323.]
- [34] 朱于珂, 高红贵, 肖甜. 工业企业绿色技术创新、产业结构优化与经济高质量发展[J]. 统计与决策, 2021, 37(19): 111–115. [Zhu Y K, Gao H G, Xiao T. Green technology innovation, industrial structure optimization, and high quality economic development in industrial enterprises[J]. Statistics & Decision, 2021, 37(19): 111–115.]
- [35] 罗良文, 雷朱家华. 中国碳市场政策的减污降碳协同效应[J]. 资源科学, 2024, 46(1): 53–68. [Luo L W, Leizhu J H. Synergetic effect of China's carbon market policies on pollution reduction and carbon reduction[J]. Resources Science, 2024, 46(1): 53–68.]
- [36] Dietz T, Rosa E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology[J]. Human Ecology Review, 1994, 1(2): 277–300.
- [37] 温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 等. 中介效应检验程序及其应用[J]. 心理学报, 2004, (5): 614–620. [Wen Z L, Zhang L, Hou J T, et al. Testing and application of the mediating effects[J]. Acta Psychologica Sinica, 2004, (5): 614–620.]
- [38] 王培鑫, 吕长江. 环境保护与经济发展能否和谐共进: 来自创新的经验证据[J]. 南开管理评论, 2023, 26(1): 67–83. [Wang P X, Lyv C J. Can environment and economics develop together in Harmony: Evidence from innovation[J]. Nankai Business Review, 2023, 26(1): 67–83.]

Comparison of the impact paths of technological innovation on carbon productivity in the Yellow River Basin and the Yangtze River Economic Belt: Mediation effect based on digital finance

SONG Chengzhen, LIU Qingfang, MA Wei, YANG Ding, SONG Jinping, LI Binghong

(Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this paper is to explore the impact path of technological innovation on carbon productivity, give full play to the carbon reduction and efficiency enhancement capabilities of technological innovation, and provide a reference for promoting regional high-quality development and the realization of the dual carbon goals. [Methods] Taking the Yellow River Basin and the Yangtze River Economic Belt as research regions, this study examined the influence path of technological innovation on carbon productivity and the mediation effect of digital finance by constructing a stochastic impacts by regression on population, affluence, and technology (STIRPAT) model and a mediation effect model respectively. [Results] The results show that: (1) Technological innovation of cities can improve regional carbon productivity levels, and the impact of technological innovation on carbon productivity exhibits regional heterogeneity. The impact of technological innovation on carbon productivity is stronger in the Yangtze River Economic Belt than in the Yellow River Basin. (2) Digital finance can partially mediate the impact of technological innovation on carbon productivity. Technological innovation can improve regional carbon productivity through digital finance. The mediation effect of digital finance is stronger in the Yangtze River Economic Belt than in the Yellow River Basin. (3) Improving the level of urbanization and economic development can promote the improvement of carbon productivity in the Yellow River Basin, and improving the level of urbanization and economic development and accelerating the upgrading of industrial structure can promote the improvement of carbon productivity in the Yangtze River Economic Belt. [Conclusion] This study suggests that local governments should enhance the technological innovation capabilities of cities, promote the deep integration of digital finance and traditional industries, strengthen regional industrial technology exchange and cooperation, promote the green transformation of industries in the Yellow River Basin and the Yangtze River Economic Belt, and ultimately achieve regional low-carbon and sustainable development.

Key words: technological innovation; digital finance; carbon productivity; STIRPAT model; mediation effect; Yellow River Basin; Yangtze River Economic Belt