



韩先锋,李佳佳. 数智化赋能城市包容性绿色增长:来自双重机器学习的因果推断[J]. 中国人口·资源与环境,2025,35(6):177-189. [HAN X F, LI J J. Digital intelligence enabling urban inclusive green growth: causal inference from double machine learning[J]. China population, resources and environment, 2025, 35(6): 177-189.]

数智化赋能城市包容性绿色增长: 来自双重机器学习的因果推断

韩先锋, 李佳佳

(昆明理工大学管理与经济学院, 云南 昆明 650093)

摘要 作为一种充分体现数改智转、数智融合等新技术理念的新质生产力,数智化真正意义上实现了新一代信息技术从小数据到大数据,再到智慧数据的本质飞跃,是共同富裕背景下地方践行包容性绿色增长理念的强劲动能。该研究基于数智化内涵构建城市层面的数智化指标体系及指数,并运用双重机器学习算法、两种“黑盒”模型解释工具等前沿技术及中国279个地级及以上城市面板数据,考察了数智化对城市包容性绿色增长的内在机制及激励效应。研究发现:①数智化能有效激发城市包容性绿色增长活力,且这一积极赋能效果明显强于数字化和智能化分别产生的潜在冲击。②在非资源型城市、“胡焕庸线”以西经济区、内陆地区和外围城市中,数智化更有利于城市包容性绿色增长;在市场一体化和非正式制度较弱、数字经济水平较低、金融支持力度较大的城市,数智化驱动更具后发优势。③数智化主要通过诱发政府干预、优化要素配置和提高从业质量,助力城市包容性绿色增长。④数智化赋能的包容性绿色增长效应遵循“梅特卡夫法则”,呈现出明显的正向边际效率递增态势,且这种积极作用随着时间的推移逐渐增强,贡献也越来越大。据此,应加快制定和完善相关政策法规,积极推动数智化发展与城市包容性绿色增长的深度融合,从而有效实现经济、社会与生态和谐共生。该研究不仅为促进城市包容性绿色增长提供了数智驱动的新视角,也为新发展格局下国家统筹实现数字中国战略和共同富裕目标的“双赢”提供了政策启示。

关键词 数智化;包容性绿色增长;双重机器学习;非线性效应

中图分类号 F124.5 **文献标志码** A **文章编号** 1002-2104(2025)06-0177-13 **DOI**:10.12062/cpre.20241134

中国GDP从2013年的59.3万亿元跃升至2022年的121万亿元^[1],经济整体实现了从“追赶”到“引领”的历史性跨越。然而,“包容性”不强与“绿色化”缺失等问题仍是制约经济高质量发展的关键“堵点”和“短板”,这与国家实现共同富裕、高质量发展等一系列战略需求极不相称,加快城市包容性绿色增长迫在眉睫。与此同时,伴随着第四次工业革命的到来,作为以大数据、互联网、云计算和人工智能等颠覆性技术为底座的新型战略性组织形态,数智化以其高创新性、广覆盖性和强协同性深刻地影响着社会发展方式和治理模式^[2],加速推动质量变革、效率变革、动力变革,并成为引领城市包容性绿色增长的核心驱动力。国家层面也高度重视数字智能与社会经济各领域的深度融合。党的二十届三中全会明确强调了数字化与智能化融合的重要性,首次在政策文件中提出“数智”一词,标志着数智化已成为引领传统产业优化升级以及推动新

质生产力发展的重要引擎。这为依托数智化助力经济增长、社会公平、生态友好等社会经济领域协调发展提出了重要命题。然而,关于数智化赋能的相关研究才刚刚起步。已有文献虽割裂式探究了数字化或智能化在推动经济提质换挡、新旧动能转换^[3],以及促进全要素生产率提升、社会治理结构优化、生态环境质量改善^[4]等领域中发挥的重要作用,却普遍忽略了代表“数智融合”的数智化在驱动城市包容性绿色增长中究竟扮演着何种角色。那么,数智化能否引领经济包容化、绿色化协同发展?具体效果如何?其又如何赋能包容性绿色增长?赋能的基本规律又是什么?客观回答上述问题对国家大力推动共同富裕和加快数字中国建设具有重要的理论与现实意义。

1 文献综述

数智化首次由2015年北京大学“知本财团”课题组提

收稿日期:2024-05-11 修回日期:2024-12-15

作者简介:韩先锋,博士,特聘教授,主要研究方向为创新与经济增长。E-mail:hanxianfeng2008@163.com。

基金项目:国家自然科学基金面上项目“‘两高’制造业数智化转型赋能绿色创新:机制探索、经验辨识与政策启示”(批准号:72473059);教育部人文社科规划基金项目“数智化赋能制造业绿色转型的机理与政策研究”(批准号:23YJA790026)。

出,并定义为“数字智慧化与智慧数字化的合成”。相关研究主要聚焦于3个方面。一是集中剖析数智化内涵。张云等^[2]认为,数智化是数字化与智能化的融合升级与再配置;陈剑等^[5]、单宇等^[6]则从数字能力与智能技术融合应用角度来探讨数智化。二是采用案例研究方法解析数智化赋能。陈剑等^[5]探究数智技术对供应链供需两侧的积极作用;单宇等^[6]基于林清轩转危为机的案例,强调数智化在危机中增强组织韧性的重要作用;潘越等^[7]首次将数智赋能法治化营商环境建设的创新实践纳入了经济学研究;李晓娣等^[8]基于区域创新生态系统案例,揭示数智赋能创新生态系统的新路径。三是实证探究数智化对经济社会的潜在冲击。张云等^[2]以主成分分析法构建行业-省份数智化指数,发现数智化不仅能推动国内大循环与国内国际双循环,还有助于缩小地区收入差距。还有学者研究表明,数智化可有效提高企业韧性^[9]和新质生产力^[10]。上述研究成果为深入理解数智化本质属性奠定了一定的理论基础,然而关于数智化赋能的经验分析还较为少见。

与本研究直接相关的一支文献从单一视角考察数字化或智能化对包容性增长的影响。Kouladoum等^[11]发现数字基础设施有助于实现更为包容、更加平等的经济增长;Leng^[12]强调数字革命有助于降低信息成本进而拓宽包容性增长渠道;陈东等^[13]认为人工智能总体上促进了包容性增长和共同富裕的实现。另一支文献则重点研究了数字化或智能化与绿色增长的关系,认为数字化已成为城市绿色经济转型的强大驱动力,并表现出空间维度上的“同时共振”特征^[14];智能化释放的技术红利效应不仅能积极赋能绿色增长^[15],还具有辐射带动空间关联地区绿色发展的作用。由此可见,以上研究尚未系统探究数智融合为何以及如何赋能城市包容性绿色增长这一重大现实问题。

鉴于此,本研究采用双重机器学习模型、两种“黑盒”模型解释工具——置换特征重要性及偏依赖图,实证考察数智化对城市包容性绿色增长的作用效果、异质性表现与传导机制,并刻画了数智化赋能的非线性演变规律。可能的创新之处在于:第一,借鉴国家统计局《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》及数智化的内涵界定,利用企研·社科大数据平台尝试构造出更加细分的城市层面数智化发展指数,为宏观层面更为深入地探究数智化赋能问题提供理论参考。第二,客观刻画出数智化赋能的事实特征及异质性,构建“政府-市场-公众”三维机制框架验证数智化驱动城市包容性绿色增长的可行路径,为政府统筹实现数智化转型与包容性绿色增长的协调发展提供实践启示。第三,将双重机器学习算

法运用于数智赋能效果评估中,既避免了传统计量模型所面临的“维度诅咒”与模型设定偏误问题,又模拟出数智化对城市包容性绿色增长的非线性趋势,在一定程度上有助于提高数智化赋能的靶向性和精确性。

2 理论分析与研究假设

2.1 数智化赋能城市包容性绿色增长的直接机制

数智化具有高创新、广覆盖、强协同等典型特征,能够通过加强数据和知识要素在区域间的传播与合作,突破资源壁垒,以有效整合内部资源、链接互补外部资源等方式优化资源利用效率^[16],实现经济体系良性循环,创造更高质量的经济增长、更包容的社会公平以及更绿色的生态友好,为城市包容性绿色增长谋求更广阔的发展空间。

数智化为经济高质量发展提供新引擎。内生经济增长理论认为,技术进步是长效驱动经济增长的根源^[17]。作为前沿技术创新,数智化利用其数改智转、跨界融合、群智开放等新优势充分渗透到生产流程各环节、经济系统各领域,持续提升经济社会运转所依赖的技术水平,形成创新驱动的经济增长模式。相较于数字化和智能化,数智化真正意义上实现了新一代信息技术从小数据到大数据,再到智慧数据的本质飞跃,能够在更大技术辐射范围内实现智慧化生产管理、网络化协同,强化城市间知识溢出与数据信息合作,推动资源配置效率和生产能力提升,从而为经济高质量发展提供有效的新质生产力引擎。

数智化为实现包容性社会公平创造新范式。罗尔斯福利经济学强调,社会福利最大化的标准是使境况最糟的社会成员的效用最大化,以实现最大程度的社会公平^[18]。作为一种新型技术创新范式,数智化一方面能够通过系统化的数据挖掘和场景应用,保证惠民政策实施的精准度和时效性,有效避免各环节的人为干扰并减少下放权力的寻租空间,从而不断提高社会保障水平及福利分配的透明度和公平性;另一方面,数智化赋能保障了公民的社会福利权,通过快速改变民众“被沟通”的固有模式,持续拓宽政府与社会的良性互动的渠道,有利于提升弱势群体的参与度与获得感,实现数智成果为全体社会成员共享的包容性社会发展。

数智化为推进生态友好建设积蓄新动能。科斯定理表明,在某些条件下,经济的外部性或非效率能通过谈判达到最佳状态^[19]。数智化为实现环境物品和服务帕累托最优供给提供外部驱动力,成为助力绿色发展的关键因素。一方面,数智化为产业链各环节构建更高级的数据、算法和技术网络平台,使外部信息能够快速进入市场主体

的战略规划与行为决策中,有利于以低成本方式实现绿色生产、绿色研发;另一方面,数智化发展通过构建创新要素流动和产业链协同分工的新型生态,为各类经营主体参与生态领域的协作创新提供技术支撑,并通过释放结构性制度红利和强化市场竞争效应,促进了创新效率提升和绿色绩效增长,为生态环境友好建设提供动力支撑。基于此,提出研究假设H1。

H1:数智化有助于实现经济增长、社会公平以及生态友好的高度统一,从而能显著地促进城市包容性绿色增长。

2.2 数智化赋能城市包容性绿色增长的传导机制

构建“政府-市场-公众”三位一体的传导逻辑,认为数智化主要通过诱发政府干预、优化要素配置与改善从业质量3个渠道来释放城市包容性绿色增长红利。

2.2.1 政府干预诱发机制

数智化能通过引导财政资金流向和甄别财政透明度来驱动城市包容性绿色增长。一方面,数智化发展的强外溢性将诱发政府对其“正外部性”行为产生的溢出后果进行成本补贴,同时向外界释放出“被政府认可”的明确信号,从而在地方政府间自发形成一种增进社会福祉、绿色发展的“逐顶竞争”局面,这有利于促使企业、行业实现精准生产,持续提高资金结构及利用效率,不断追求资源最优配置,最终达成社会绩效、生态绩效和经济绩效共生的增长价值;另一方面,数智化形成的大数据技术平台可充分发挥智慧数据作为关键生产要素的基础资源和创新引擎作用,有助于营造透明的信息环境,减少官员腐败概率,增加寻租实施成本^[20],由此为精准合理地配置财政资金和信贷资金,发挥“有为政府”作用奠定良好的基础,进而助力城市包容性绿色发展。

2.2.2 要素配置优化机制

数智化应用通过释放数据要素的非竞争、零边际成本效能,推动新型数据要素与传统生产要素配置优化,进而推动城市包容性绿色增长。一方面,数智化能不断优化要素供给结构和重新整合数据资源,搭建资本、劳动等要素跨时空的智能化流通渠道,通过破除行政分割的桎梏,缓解产业链、供应链和价值链全链条出现的要素错配问题^[21],提高劳动和资本配置效率,要素配置效率的提升则为进一步推动经济包容化、绿色化发展提供可靠动力;另一方面,数智化范式转变带来的资本要素替代效应和增强效应,在一定程度上能优化资本有机结构、资本创新要素密度,带来更多边际产出和创新贡献。同时,数智化借助新兴技术加快了“人机协同”“机器换人”的步伐,强化资本对劳动的替代,也能不断优化要素配置结构,有助于实现精益生产、节能减排、避免资源浪费和识别冗余资

源,最终实现经济增长、社会包容和生态保护的共赢,推动城市包容性绿色增长。

2.2.3 从业质量改善机制

数字智能协同打破了从业供需和传统中心化的信息壁垒,有效提升公众从业质量,进而实现城市包容性绿色增长^[22]。一方面,数智化发展衍生出一批新业态、新模式、新部门,能快速推动产业结构向纵深发展,形成新的虚实结合的社会空间和更精细化的社会分工,可切实刺激绿色领域的社会有效总需求,带动绿色企业生产规模扩张并创造出更多新型的高质量就业岗位,有助于实现就业机会均等和绿色发展;另一方面,数智化在供需对接、资源匹配等方面能够有效弥补“数字鸿沟”的缺陷,大幅降低公众择业成本,提高就业匹配质量和社会平均福利效应水平,实现工资与劳动生产率的同步增长。同时,数智平台还利用数智技术进行智慧管理,带动传统就业模式和就业组织的变革,就业市场因突破了原有的时空边界和固有的雇佣关系,使劳动主体的工作方式、工作环境更加灵活化、多元化,带动劳动报酬的快速增长和工作满意度的普遍提升,最终推动城市包容性绿色增长。基于此,提出研究假设H2。

H2:数智化主要通过诱发政府干预、优化要素配置与改善从业质量来赋能城市包容性绿色增长。

2.3 数智化赋能城市包容性绿色增长的非线性调节机制

作为一种更为高级的数字生产力,数智化对城市包容性绿色增长的影响也可能遵循“梅特卡夫法则”,呈现出边际效应递增的动态演化特征。在数智化发展初期,数智化发挥“数据同质性”和“可重复编程性”功能与传统生产要素融合发展,一定程度上压缩了地区间经济、社会和生态联系的时空距离,推动资源从低效部门向高效部门进行流动与再分配,为城市包容性绿色增长提供了较为良好的外部市场环境。然而,此时数智化对城市包容性绿色增长的溢出红利尚未能充分释放。一方面,数智化在起步期具有见效慢、周期长、成本高和不确定性强等特征,其价值易受到管理层的质疑,导致短期内企业开展数智投资的动力相对不足,存在数智化部署“失灵”等问题;另一方面,社会经济系统对原技术存在路径依赖,固有技术在惯性作用下往往会不断积累和自我提高,容易陷入低效率的系统“锁定状态”,导致数智技术难以充分嵌入到创新链、产业链、人才链、政策链和资金链中。因此,在弱数智时期,数智化对推动经济发展、塑造公民福祉、促进生态平衡等方面的融合渗透尚不够充分,导致该情景下数智化赋能城市包容性绿色增长的积极作用还相对有限。

随着数智融合递进式发展,数智化与社会经济各领域融合的广度、深度和强度都在不断增强。此时,数智化既可有效强化虚拟要素对传统要素的替代,持续改善传统产业的主导技术和生产方式,不断优化原有的生产效率和结构配置,还能通过提高传统产业附加值,缩小行业技术差距,增强资源要素的流动,为经济、社会、环境的协调发展提供新的动力源泉和增长空间,从而为实现城市包容性绿色增长奠定坚实基础。一方面,数智化新业态搭建能够实现由点成线、由面成网,纵深推进地区间信息知识溢出、跨界活动协同,乃至全域全链业务贯通^[23],有效提升社会生产生活方式的便利化水平,使更多人群能公平享受到新技术、新模式带来的溢出红利;另一方面,大数据、云计算与人工智能等融合衍生的数智技术持续嵌入应用,既有利于通过促进传统劳动力的技能升级以及培养新兴产业技术人才来优化劳动力结构,也能吸引并有效配置金融资本等生产要素流向新兴产业,推动技术、绿色密集型产业在产业结构中的比重显著增加,进而促进经济发展的绿色化和高级化。另外,高度发展的数智化还可全面实现数字空间与现实空间全景融合,创造出新的数实孪生叠加效率,能够最大化释放数智化赋能的双重价值,为推动经济增长、社会公平和生态优化提供全方位支持,从而产生更为明显的城市包容性绿色增长红利。基于此,提出研究假设H3。

H3:数智化赋能城市包容性绿色增长符合边际效率递增规律,证实了“梅特卡夫法则”在数智融合发展的高级阶段依然适用。

3 研究设计

3.1 双重机器学习模型构建

借鉴已有研究的设计^[24],采用双重机器学习部分线性模型检验数智化赋能城市包容性绿色增长效应,构建如下模型:

$$\begin{aligned} G_{i,t} &= \theta_0 I_{i,t} + \hat{X}_{i,t} + U_{i,t}, \\ E(U_{i,t} | I_{i,t}, X_{i,t}) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中:下标*i,t*表示城市和年份; $G_{i,t}$ 为被解释变量,表示城市包容性绿色增长水平; $I_{i,t}$ 为核心解释变量,表示数智化水平; θ_0 是本研究重点关注的效应系数; $X_{i,t}$ 为一系列控制变量及其各类函数转换形式的集合; $U_{i,t}$ 代表误差项,条件均值为0; $\hat{X}_{i,t}$ 为一系列控制变量 $X_{i,t}$ 及其各类函数转换形式的集合的预测或估计值。

根据式(1),可得处置效应系数 $\hat{\theta}$ 为:

$$\hat{\theta}_0 = \left(\frac{1}{n} \sum I_{i,t}^2 \right)^{-1} \frac{1}{n} \sum I_{i,t} (G_{i,t} - \hat{X}_{i,t}) \quad (2)$$

式中: n 为样本总量; $\hat{X}_{i,t}$ 表示为 $X_{i,t}$ 的似然函数值。

其他变量含义同上。

为使系数估计量在小样本下满足无偏性,构建辅助模型如下:

$$\begin{aligned} I_{i,t} &= \bar{X}_{i,t} + V_{i,t}, \\ E(V_{i,t} | X_{i,t}) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $\bar{X}_{i,t}$ 为 $I_{i,t}$ 对高维控制变量的效应函数; $V_{i,t}$ 表示误差项,条件均值为0。其他变量含义同上。

此时将 $\hat{V}_{i,t}$ 看作 $I_{i,t}$ 的工具变量, $\bar{X}_{i,t}$ 可通过 $X_{i,t}$ 对 $I_{i,t}$ 回归得到,获得新的无偏估计量:

$$\check{\theta}_0 = \left(\frac{1}{n} \sum \hat{V}_{i,t} I_{i,t} \right)^{-1} \frac{1}{n} \sum \hat{V}_{i,t} (G_{i,t} - \hat{X}_{i,t}) \quad (4)$$

3.2 非线性模型

参考王元彬等^[25]的做法,运用双重机器学习-随机森林模型研究数智化赋能城市包容性绿色增长的非线性效应,构建如下模型:

$$G_{i,t} = \varphi(I_{i,t}, X_{i,t}, \mu_i, \nu_t, U_{i,t}) \quad (5)$$

$$\varphi(G_{i,t}) = \frac{1}{n} \sum (G_1, G_2, \dots, G_n) \quad (6)$$

式中: μ_i 和 ν_t 分别表示地区效应和时间固定效应, $\varphi(*)$ 为随机森林方法构建的非线性模型。其他变量含义同上。

3.3 变量设置和说明

3.3.1 被解释变量:城市包容性绿色增长(G)

参考张涛等^[22]等相关研究的共同性与差异性,本研究认为,城市包容性绿色增长涵盖“包容性”和“绿色化”双重复杂内涵,是一种强调经济增长、生态绿色、社会包容协调的新发展理念,充分体现了包容性增长与绿色增长的有机融合。具体而言,为更全面客观地揭示中国经济发展的“包容性”和“绿色化”事实,拟从经济增长(Q)、社会公平(S)和生态友好(F)3个维度构建综合评价指标体系,以测算城市层面的包容性绿色增长指数。在指标权重的设定上采用熵权法进行测度,根据各指标的权重进行加权,最终得到各城市包容性绿色增长的量化指数,具体细分指标设计见表1。

3.3.2 核心解释变量:数智化(I)

数智化反映“数字化发展+智能化升级”两个层面的联动效应,是数字化同智能化深度融合的系统性过程。为了凸显数字化与智能化结合所附着的新产业组织形态,尽可能剥离“数字化”与“智能化”的重叠或替代关系,借鉴国家统计局《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》、陈剑等^[5]、单宇等^[6]对数智化的界定,参考张云等^[2]的做法,选用“城市-年份”层面的数字化与智能化交乘,构造出“城市-年份”的数智化指数。具体测度指标体系见表2。

3.3.3 机制变量

①政府干预。从财政补贴以及财政透明度两个维度



表1 城市包容性绿色增长指标测度体系

一级指标	二级指标	性质	单位
经济增长	地区生产总值增长率	+	%
	人均生产总值	+	元/人
	第二产业比重	-	%
	第三产业比重	+	%
社会公平	城镇居民人均可支配收入	+	元/人
	农村居民人均纯收入	+	元/人
	城乡居民人均收入比	-	%
	第二产业从业人员比重	+	%
	第三产业从业人员比重	+	%
	每百人公共图书馆藏书	+	件
	当地博物馆数	+	个
	当地体育场馆数	+	个
	医院、卫生院床位数	+	张
	城镇职工基本养老保险参保人数	+	人
	城镇基本医疗保险参保人数	+	人
	失业保险参保人数	+	人
	生态友好	工业废水排放量	-
工业废水排放达标量		+	t
工业二氧化硫去除量		+	t
工业二氧化硫排放量		-	t
生活垃圾无害化处理率		+	%
工业固体废物综合利用率		+	%
污水处理厂集中处理率		+	%

来衡量政府干预程度。借鉴田高良等^[26]的设计,政府补贴(U)采用地方政府科技支出占一般财政预算支出来刻画;财政透明度(R)采用清华大学公共管理学院发布的《中国市级政府财政透明度研究报告》中披露的财政透明度指数来衡量,为方便估计,财政透明度进行除以100的线性变换处理。②要素配置。参考白俊红等^[27]的做法,采用超越对数生产函数测度“价格扭曲”指数以刻画劳动和资本的配置效率扭曲程度。劳动配置效率(A)和资本配置效率(K)分别表示为劳动力、资本的边际产出与其价

格之比。③从业质量。参考张涛等^[22]的设计,从居民就业和居民收入两个维度来刻画从业质量。就业情况(M)和收入水平(N)分别采用城镇单位年末从业人员数与城镇职工平均工资来表征。

3.3.4 控制变量

①基础设施水平(B),采用人均道路面积来表示;②城市绿化水平(W),采用建成区绿化覆盖率来衡量;③经济发展(C),以夜间灯光均值数据来刻画地区经济发展情况;④教育发展水平(D),选择地方政府教育支出与地区生产总值之比来表征;⑤城镇化水平(J),选取城镇常住人口与地区常住人口的比值来表示;⑥交通运输水平(T),采用铁路货物运输量取自然对数来刻画;⑦外商投资水平(H),选取当年实际利用外商直接投资额与地区生产总值的比值来衡量;⑧居民消费水平(P),采用社会消费品零售总额与地区生产总值的比值来衡量;⑨研发投入(O),选择R&D内部经费支出取自然对数来衡量;⑩人力资本(Y),采用每万人在校大学生数取自然对数来衡量。

3.4 数据说明及描述性统计

限于数据可得性,本研究未涉及西藏、香港、澳门和台湾等地区的城市,最终选取了中国30个省份的279个地级及以上城市的面板数据作为研究样本。其他如三沙、临沧、儋州、克拉玛依、吐鲁番、哈密、毕节、海东、淮安、荆州、襄阳、铜仁等城市,因管辖范围变更、设立时间较短或数据缺失严重,暂不予研究。目前数智化相关指标仅更新至2020年,依据数据可获得性和连贯性,最终构建2010—2020年的面板数据集来探究数智化对城市包容性绿色增长的影响,其中政府财政透明度数据仅从2013年开始更新。数智化原始数据来自国研网内部数据库、企研·社科大数据平台,其他变量均来自《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国固定资产投资统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国市级政府财政透明度研究报告》,以及各地级及以上城市政府工作报告。对于缺失数据采

表2 数智化指标测度体系及描述性统计

变量	性质	均值	标准差	最小值	最大值	
数字基础设施	信息传输,计算机服务和软件业就业人数占比	+	0.013	0.010	0.002	0.115
	城市企业软件业务总收入	+	13.144	1.384	9.339	18.087
数字用户	每百人互联网用户数	+	25.731	8.661	4.982	61.845
	每百人移动电话用户数	+	30.399	10.201	6.080	75.480
	每百人电信业务总量	+	11.554	3.950	2.024	29.836
数字技术	数字技术发明专利授权量	+	3.036	2.083	0	10.456
	数字技术实用新型专利授权量	+	4.999	1.811	0	10.797
人工智能	人工智能产业发明专利授权量	+	1.150	1.894	0	9.715
	5G产业发明专利授权数量	+	2.488	2.133	0	9.679
区块链	区块链产业发明专利授权量	+	0.842	1.792	0	9.774

用插值法补齐处理,且经济指标均采用GDP平减指数将其核算成2006年不变价。

4 实证结果分析

4.1 效应检验

4.1.1 因果效应识别及分析

借助随机森林算法分析数智化与城市包容性绿色增长之间的因果关系。在加入控制变量、时间和城市固定效应后得到的基准回归结果见表3。表3列(1)—列(4)列出了样本分割比分别为1:2、1:4、1:6、1:8的估计结果。不难发现,当K折交叉验证(Kfolds)为5时,预测效果最好,因此选择1:4为后续研究的最佳样本切割比。在表3列(2)中,数智化对城市包容性绿色增长的弹性系数为0.072,且通过了1%的显著性水平检验,即数智化程度每增加1个百分点,城市包容性绿色增长水平将增加0.072个百分点,这相对于其样本期间的均值水平0.044而言提升了164%左右(即 $0.072 / 0.044 \times 100\%$),充分表明数智化能够显著地促进地区包容性绿色增长,初步验证了研究假设H1。

为探究数智化究竟对城市包容性绿色增长哪个维度产生了更为深刻的冲击,进一步讨论数智化对城市包容性绿色增长各分维度指标的具体影响,基于经济增长、社会公平以及生态友好的回归结果依次见表3列(5)—列(7)。据此可知,经济增长和社会公平的估计系数均在1%水平上显著为正,且对社会公平的估计系数(0.174)大于对经济增长的估计系数(0.161);同时,数智化对生态友好的回归系数为0.005,但并未通过显著性检验,这意味着数智化对生态优化具有一定的积极作用,但这种正向冲击还较为有限。产生该现象的原因可能在于:一

方面,数智化不断外延拓展组织边界,有助于降低绿色活动的模糊性,引导全域全链充分释放数据要素、智能技术的潜在价值,为经济增长、社会公平、节能减排带来质量变革、动力变革;另一方面,数智化发展初期需要大量能源消耗与原材料开采,这不仅会无形中增加企业环境成本,又受制于短期内的红利优势难以快速形成,可能在一定程度上反而不利于减污降碳。由于数智化对生态环境的正负效应相互抵消,短期内其对绿色低碳发展的积极作用尚未充分显现。上述结果表明,数智化与城市包容性绿色增长的正向关联显著存在,再次验证了研究假设H1。

为明晰数智化两个分维度的赋能差异,表3列(8)—列(9)分别列示了数字化、智能化对包容性绿色增长的估计系数,数字化、智能化对城市包容性绿色增长的回归系数分别为0.046、0.035,且均在1%水平上显著。对比表3列(2)的回归系数0.072可知,数智化对城市包容性绿色增长的促进作用最大,数字化次之,智能化作用效果相对最小;与单要素驱动相比,数字化与智能化协同对城市包容性绿色发展的推动作用最为明显,发挥出显著的“1+1>2”的协同效应。其可能的原因在于:区别于数字化、智能化,数智融合衍生的数智化具有更为明显的高创新、深渗透、广覆盖和强协同特征,其不仅驱动企业的数据业务创新、加快场景应用,还有助于全产业链达到开源节流、降本增效,有效实现经济结构优化、能源利用效率提高,并从源头上实现协同减排,从而促进城市包容性绿色增长向更高更深层次跃迁。

4.1.2 稳健性检验及内生性处理

(1)改变研究模型。①选取双向固定效应模型作为双重机器学习估计结果的重要补充;②加入省份-时间交

表3 双重机器学习的基准回归结果

变量	城市包容性绿色增长				Kfolds = 5				
	(1) Kfolds = 3	(2) Kfolds = 5	(3) Kfolds = 7	(4) Kfolds = 9	(5) 经济增长	(6) 社会公平	(7) 生态友好	(8) 城市包容性 绿色增长	(9) 城市包容性 绿色增长
数智化	0.064*** (0.011)	0.072*** (0.010)	0.062*** (0.011)	0.061*** (0.011)	0.161*** (0.020)	0.174*** (0.022)	0.005 (0.006)		
数字化								0.046*** (0.006)	
智能化									0.035*** (0.007)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是	是	是	是
样本量	3 069	3 069	3 069	3 069	3 069	3 069	3 069	3 069	3 069

注:*** $P < 0.01$;括号内数值为稳健标准误。



互固定效应重新进行双重机器学习再估计。结果见表4列(1),研究发现,数智化赋能的积极作用依然明显,印证了基准回归结论的可靠性。

(2)调整研究样本。①由于包容性绿色增长源于2012年“里约+20”峰会,故将样本时间调整为2012—2020年;②剔除经济发展较好的4个直辖市及基础较薄弱的5个自治区将剩余样本再回归。结果见表4列(2),发现改变样本容量后,基准回归结论依旧稳健。

(3)剔除异常值。异常值的存在会使回归分析产生偏差,特别是对于组合赋权法合成的指标。对此,将所有连续变量均分别进行1%、5%分位数极端值处理。具体估计结果见表4列(3),数智化的估计系数符号与基准回归在方向上保持一致,原结论成立。

(4)替换变量。选择“大数据综合试验区”试点与“智慧城市”试点的交乘项作为数智化的替代变量。结果见表5列(1),数智化政策交乘项系数显著为正,表明实证结果保持了较好的稳健性。

(5)重设机器学习算法。为避免双重机器学习算法设定偏误,进一步应用套索回归、梯度提升及神经网络3种不同机器学习算法。结果见表5列(2),可以发现,更换机器学习不同算法后,基准回归结论依然具有稳健性。

(6)工具变量法。应用双重机器学习模型进行工具变量检验,模型如下:

$$G_{i,t} = \theta_0 I_{i,t} + \hat{X}_{i,t} + U_{i,t}, \tag{7}$$

$$Z_{i,t} = \tilde{X}_{i,t} + V_{i,t}$$

式中: $Z_{i,t}$ 为本研究的工具变量,将明朝驿站数量、河流密度与时间序列的交乘项作为双重机器学习算法的工具变量; $\tilde{X}_{i,t}$ 为 $Z_{i,t}$ 对高维控制变量的效应函数。其他变量含义同上。

选择明朝驿站数量、河流密度与时间序列的交乘项作为双重机器学习算法的工具变量的原因如下:一方面,驿站主要用于军事,且距今时间超过400年,对现代经济包容化、绿色化影响微乎其微,但与现代网络、通信和交通设施相关^[28],具有较好的外生性。另一方面,一般河流密度越高的城市,其辖地内的国家环境监测控制点越多,数智化发展受到上级的监管力度越大,故满足相关性;且城市河流密度无法直接影响到城市包容性绿色发展,故又满足外生性前提。结果见表5列(3),显然可见,即使充分考虑内生性干扰后,基准结论也没有实质性改变。

4.1.3 异质性检验

(1)基于自然地理环境特征反映资源禀赋、发展规模、地理位置、行政等级等的异质性影响,结果见表6。①资源禀赋。根据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》的标准,将样本划分为资源型城市和非资源型城市以考察数智化赋能的资源禀赋异质性特征,具体结果见列(1)。结果表明,数智化对非资源型城市包

表4 稳健性检验结果 I

变量	(1)改变研究模型		(2)调整研究样本		(3)剔除异常值	
	双向固定	省份-时间交互	调整时限	调整城市	1%、99%	5%、95%
数智化	0.072*** (0.007)	0.717*** (0.012)	0.079*** (0.017)	0.067*** (0.011)	0.064*** (0.010)	0.056*** (0.006)
控制变量	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是
省份-时间固定	否	是	否	否	否	否
样本量	3 069	3 069	2 232	2 706	3 069	3 069

注:*** $P < 0.01$;括号内数值为稳健标准误。

表5 稳健性检验结果 II

变量	(1)替换变量	(2)重设双重机器学习算法			(3)工具变量法	
	改变核心解释变量	套索回归	梯度提升	神经网络	驿站数量	河流密度
数智化	0.006** (0.002)	0.068*** (0.005)	0.090*** (0.009)	0.337* (0.068)	0.280*** (0.074)	0.173*** (0.030)
控制变量	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是
样本量	3 069	3 069	3 069	3 069	3 069	3 069

注:* $P < 0.10$, ** $P < 0.05$, *** $P < 0.01$;括号内数值为稳健标准误。

表6 自然地理环境异质性检验结果

变量	(1)城市资源禀赋		(2)城市发展规模		(3)城市沿海与内陆		(4)城市行政等级	
	资源型	非资源型	“胡焕庸线”以东	“胡焕庸线”以西	沿海	内陆	中心	外围
数智化	0.052*** (0.014)	0.073*** (0.017)	0.057*** (0.008)	0.150*** (0.027)	0.054*** (0.009)	0.059*** (0.019)	0.030** (0.012)	0.069*** (0.021)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是	是	是
样本量	1 232	1 837	2 816	253	583	2 486	308	2 761

注:** $P < 0.05$, *** $P < 0.01$; 括号内数值为稳健标准误。

容性绿色增长的回归系数为0.073,明显大于资源型城市数智化的赋能效果,且二者均通过了1%的显著性水平检验,说明相较于资源型城市,数智化对非资源型城市包容性绿色增长的积极作用更明显。可能的原因在于,非资源型城市本身在数智化水平、经济发展基础以及政策制度倾斜等方面具备优势,且其制造业与服务业发展的生态基础较高,能以优良的生态环境吸引社会资本,为辖区内城乡居民创造出更多的社会福利,从而为该类城市包容性绿色增长奠定良好的物质基础。②发展规模。以自然地理和人文发展的分界线为依据,划分出“胡焕庸线”东侧城市和“胡焕庸线”西侧城市,具体结果见列(2)。不难发现,与“胡焕庸线”东侧城市相比,数智化对“胡焕庸线”西侧城市包容性绿色发展的促进作用表现得更为显著。可能的原因在于,随着数智化技术的深度渗透与融合,数智化不仅能够有效激发“胡焕庸线”西侧城市的内生发展动力,有效对接国家重大战略需求,还能发挥“胡焕庸线”西侧城市的比较优势,从而显著提升“胡焕庸线”西侧城市的包容性绿色增长水平。③地理位置。从样本中筛选出53个沿海城市进行分样本回归,结果见列(3)。结果表明,不论是沿海城市还是内陆城市,数智化发展对包容性绿色增长的效果均显著为正,但内陆城市赋能效果略胜一筹。可能的原因在于,内陆地区虽然在人才、技术、资本和管理等方面与作为经济“领头羊”的沿海城市存在一定差距,但其通常具有后发优势,能通过“小步快跑”、扬长避短的方式实现城市包容性绿色增长的“弯道超车”。④行政等级。将样本分为中心城市(直辖市和副省级城市)和外围城市(一般地级市),结果见列(4)。不难发现,数智化对两种类型城市包容性绿色增长均具有显著的积极作用,且对中心城市的赋能效果小于外围城市。可能的原因在于,作为国内大循环战略实施的重要空间载体,外围城市在畅通国内大循环的过程中,通过承接中心城市基于比较优势溢出的生产要素,有效释放了外围城市经济增长潜力,促进了城市的包容性绿色增长水平。

(2)基于社会经济环境特征反映来自市场一体化、金融发展、宗族文化、数字经济等方面异质性的影响,结果见表7。①市场一体化。参考张柳钦等^[29]的设定方式,采用各省份市场分割指数衡量市场一体化水平,并对各省份2010—2020年市场分割指数的倒数进行均值化处理,依据中位数将样本分为市场一体化水平高、低两组进行回归检验,估计结果见列(1)。可以发现,市场一体化水平低、高两组城市的数智化估计系数分别为0.120和0.060,在5%和1%水平上显著,表明在市场一体化水平低的情形下数智化的赋能效果更好。这可能是因为,市场一体化水平高的城市在推动新旧动能转换和经济结构转型升级过程中,通常需要更高标准的招才引智配套,客观上提升了数智化赋能城市包容性绿色增长的标准和要求。②金融发展。借鉴孙少岩等^[30]的做法,选取年末金融机构存贷比作为金融发展的代理变量,来体现城市金融要素配置程度和金融竞争力,并依据中位数将样本分为高水平和低水平金融发展组,回归结果见列(2)。可以发现,金融发展高水平组城市的数智化估计系数为0.109,远大于低水平组的估计系数0.066,表明金融发展水平高的城市能够有效满足数智化发展的资本需求,并为推动城市包容性绿色增长提供持续性的资金支持。具体而言,企业在进行数智化转型过程中普遍面临融资约束,而良好的融资环境不仅有助于缓解企业资金压力、拓宽融资渠道,更能为数智化转型创造有利条件,进而对城市包容性绿色发展产生显著的促进作用。③宗族文化。借鉴张柳钦等^[29]的方法,基于城市每百万人族谱数量来衡量宗族文化强度,并对其进行均值化处理,根据中位数将样本分为宗族文化强、弱两个组,结果见列(3)。结果表明,数智化对宗族文化较弱城市包容性绿色增长的积极作用更为显著。这可能是因为,在宗族文化影响较弱的城市,个人、家庭和企业间建立的信任关系有助于降低民间融资风险,进而稳定金融市场秩序并增进社会福祉。④数字经济。参考《中国数字经济发展白皮书(2021)》,以1万亿元为临界

值将样本分为数字经济发展高水平组和低水平组。列(4)结果表明,数智化对城市包容性绿色增长的赋能效果均显著为正,但低水平组的回归系数远高于高水平组的回归系数,表明数智化更能提升数字经济发展水平低城市的包容性绿色增长,这也意味着数智化可以激发低水平组城市的后发优势,通过消除区域间的“数字鸿沟”现象,显著促进城市经济包容化、绿色化发展。

4.2 传导机制检验

参考江艇^[31]的做法,基于“政府-市场-公众”理论框架,从政府干预、要素配置、从业质量3个方面检验数智化对城市包容性绿色增长的传导机制,回归结果见表8,研究假设H2成立。

(1)政府干预诱发机制。据表8列(1)可知,数智化对政府财政补贴、城市财政透明度的估计系数分别为0.037、0.564,且均在1%水平上显著,表明数智化发展能显著激励政府干预。这是因为,数智化发展改变了生产管理模式,催生了新产业并扩大市场规模,不仅能够倒逼政府持续进行正外部性补贴,还能够突破信息交流的时空限制并强化社会媒体对政府行为的监督,显著提升政府财政透明度^[32]。进一步分析,地方政府更了解地方信息和公众偏好,可以通过财政投入和补贴等手段来引导资源分配,从而提升公共资源配置效率并促进经济高质量发展。与此同时,财政透明度的持续提升也会促

进政府间良性竞争,如地方政府通过提高环境监管标准来提升竞争力,最终形成地方政府间环境规制的“逐顶竞争”现象,有利于经济的绿色转型升级。因此,数智化能通过吸引政府补贴、增加财政透明度来促进城市包容性绿色增长。

(2)要素配置优化机制。根据表8列(2)可知,数智化对资本配置效率、劳动配置效率的估计系数分别为0.130、0.746,且均在1%的水平上显著,表明数智化发展能改善地区要素配置效率。这是因为,数智化发展能充分发挥数据要素跨时空优势,实现信息的共享与传播,降低资本市场、劳动力市场信息不对称成本,从而提升资本配置效率和劳动配置效率,实现区域利益帕累托改进。进一步分析,要素配置效率的提升一方面能够优化资本市场供需结构,显著提高资本投资回报率及全要素生产率,推动地区实现集约型经济高质量发展;另一方面还可促进高技能、高素质劳动力的高效流动,激活市场各类生产要素潜能,显著提升整体社会经济福利,从而促进包容性绿色增长。因此,数智化能通过提升资本、劳动要素配置效率来促进城市包容性绿色增长。

(3)从业质量改善机制。根据表8列(3)可知,数智化的估计系数均在1%水平上显著为正,表明数智化可积极改善居民从业质量。这是因为,一方面,数智化发展能有效降低商品与服务价格并通过“收入效应”刺激消费者的

表7 社会经济环境异质性检验结果

变量	(1)市场一体化		(2)金融发展		(3)宗族文化		(4)数字经济	
	低水平	高水平	低水平	高水平	较弱	较强	低水平	高水平
数智化	0.120** (0.062)	0.060*** (0.007)	0.066*** (0.017)	0.109*** (0.014)	0.084*** (0.019)	0.049*** (0.007)	0.130*** (0.041)	0.052*** (0.007)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是	是	是
样本量	836	2 233	1 529	1 540	1 254	1 815	1 353	1 716

注:** $P < 0.05$, *** $P < 0.01$;括号内数值为稳健标准误。

表8 机制检验结果

变量	(1)诱发政府干预		(2)优化要素配置		(3)改善从业质量	
	财政补贴	财政透明度	资本配置效率	劳动配置效率	居民就业	居民收入
数智化	0.037** (0.008)	0.564*** (0.121)	0.130** (0.032)	0.746*** (0.217)	1.660*** (0.325)	6.054*** (0.911)
控制变量	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是
样本量	3 069	2 230	3 069	3 069	3 069	3 069

注:*** $P < 0.01$;括号内数值为稳健标准误。

消费需求,激发企业扩大生产经营规模,由此增加就业需求;另一方面,数智化发展也有助于企业降低生产成本、提高生产效率,带来劳动生产率的普遍提高,从而持续增加居民收入。进一步地分析,一方面,居民工资收入和就业机会的改善能引导劳动关系的良性调整,激发员工积极性和创造力,从而创造更多的经济产出;另一方面,收入薪酬和就业机会的增加能增进民生福祉,不仅促使更多居民共享经济发展成果,还能显著增强居民的环保生态意识和绿色低碳消费观念,从而有利于推动包容性绿色增长^[12]。因此,数智化能通过从业水平的量质齐升来推动城市包容性绿色增长。

4.3 非线性效应检验

构建随机森林模型分析数智化对包容性绿色增长的影响,将数智化、数字化、智能化和所有控制变量视为自变量,城市包容性绿色增长作为因变量,采用回归树作为基本学习器并依据最小均方误差(minimum mean square error, MMSE)准则选择分裂节点,通过观察分裂变量使得残差平方和(residual sum of squares, RSS)的下降程度来衡量各投入要素的相对重要性。假设某一变量导致RSS下降幅度较小,其值越接近0,说明该变量的贡献度或重要性相对较低。图1为影响城市包容性绿色增长的13种投入要素的重要性排序图。不难发现,数智化、数字化与智能化排名位于13种投入要素的前4名,仅次于研发投入的作用。这表明,与传统影响城市包容性绿色增长的因素相比,三者的相对效应达到了相同数量级,而绝对效应尤为显著,且其重要性表现为“数智化>数字化>智能化”。因此,数智化是推动城市包容性绿色发展的重要投入要素,且数智化赋能城市包容性绿色增长的积极效果显著大于数字化或智能化,在一定程度上再次验证了基

准回归结果的可靠性。

进一步分析数智化对城市包容性绿色增长的边际贡献。基于模型(5)和模型(6)检验数智化对城市包容性绿色增长的偏依赖关系,结果如图2(a)所示,反映了在其他投入要素不变的情况下,数智化投入对城市包容性绿色增长的非线性效应。图中斜率表示数智化发展对城市包容性绿色增长的边际贡献。可以发现,随着数智化水平的提高,数智化赋能的城市包容性绿色增长呈现正向且边际效率递增的非线性演化特征,且当数智化到达0.1与0.2之间的某一临界点时,其边际贡献的积极作用进一步加强。这说明,数智化助推城市包容性绿色增长的积极效应在某一临界点可能会遇到瓶颈,进一步发展数智化则更有利于释放其赋能城市包容性绿色增长的红利,假设H3得证。进一步地,图2(b)、图2(c)分别列示了数字化、智能化对城市包容性绿色增长的偏依赖图。通过对比可知,数字化、智能化赋能效果明显弱于数智化。因此,在新一代信息技术迅猛发展的现实背景下,全方位加快数智化发展将是有效促进城市包容性绿色增长的重要举措。

5 结论与政策建议

通过匹配“城市-年份”的数智化指数,结合双重机器学习模型考察数智化对城市包容性绿色增长的因果效应、传导机制及非线性规律。研究结果表明:①数智化对经济发展、社会福祉及生态绩效均具有一定的积极影响,能显著地推进城市包容性绿色增长,且呈现出“数智化>数字化>智能化”的阶梯形赋能效果。②异质性分析发现,数智化的作用效果受自然地理环境和社会经济条件的影响,其积极作用在非资源型城市、“胡焕庸线”

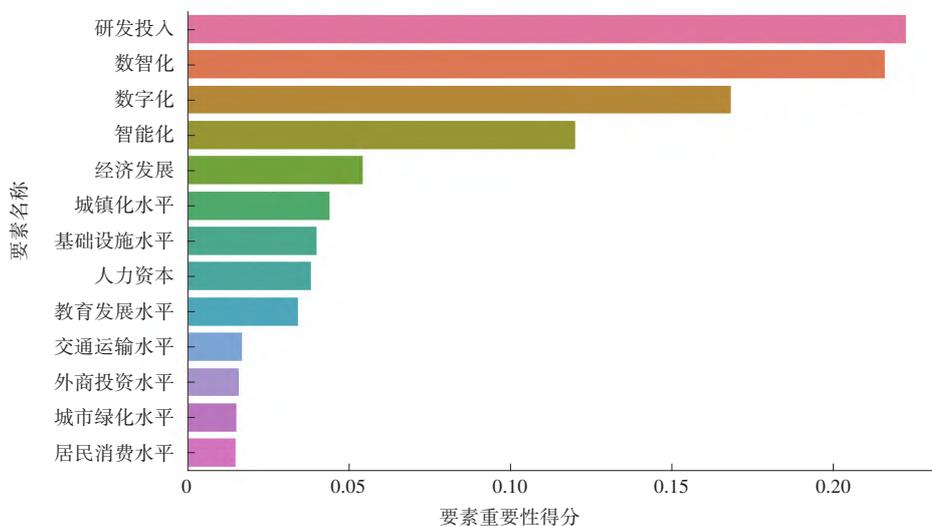


图1 各投入要素重要性排序

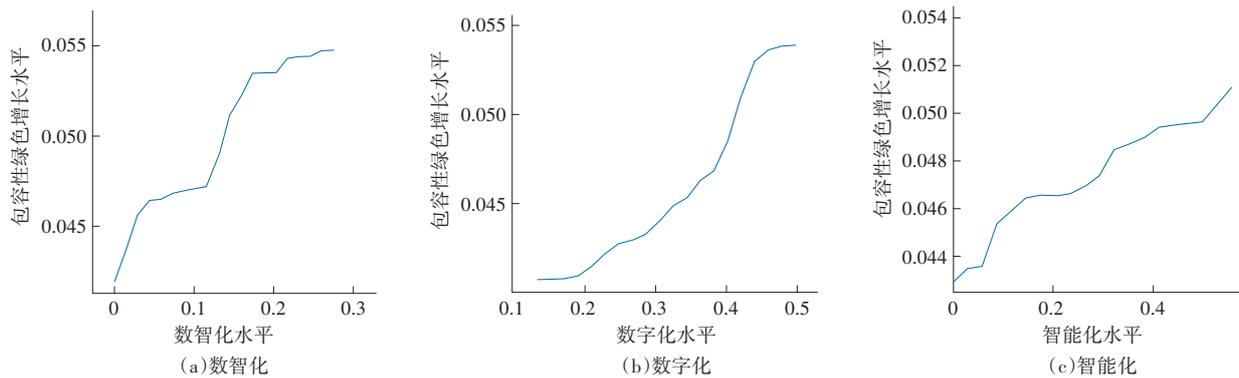


图2 要素投入对城市包容性绿色增长的偏依赖图

西侧城市、内陆城市和外围城市更显著;另外,数智化在一定程度上弥补了市场一体化、非正式制度与数字经济发展的不足,而金融发展水平则强化了数智化的促进作用。③机制分析表明,数智化可通过激发政府财政补贴、提升财政透明度、优化资本和劳动要素配置、增加居民就业和提高从业薪酬等渠道驱动城市包容性绿色增长。④进一步分析表明,数智化赋能的包容性绿色增长效应遵循“网络效应”和“梅特卡夫法则”共存现象,呈现出正向且边际效率递增的非线性演化特征,即只有不断提升数智化水平,才能最大化释放数智化对城市包容性绿色增长的赋能红利。以上结论蕴含的政策含义如下。

第一,聚焦关键核心技术领域,积极引导数智化形成头雁效应,以驱动城市包容性绿色增长。首先,把握数智变革趋势,加快培养大量创新型、复合型和技术型高端数智研发队伍,充分保障数智发展与人力资本结构要求相匹配,实现人才红利助力经济增长;其次,夯实数智新基建底座,加大互联网、云计算、区块链与人工智能等数智基础设施的投资力度,创新服务场景,丰富交互方式,借助数智设施实现便民助民惠民;最后,通过搭建可视化平台,整合多个管理模块,系统解决经济生产中的照明控制、安防治理、交通监控、排污检测等一揽子问题,同时还需推动以共性计算、存储、超算算力为特征的数智化与产业深度融合,实现制造业企业生产方式、生产效率绿色化变革,最终推动实现城市包容性绿色增长。

第二,探索符合各城市包容性绿色增长的实际路径,不断优化数智化发展的实施策略。各地区需依据自身数智化基础及包容性绿色增长现状,充分利用已有技术和市场优势,合理分工、优化布局、因需而变,避免盲目模仿。一方面,从自然地理环境特征看,应积极挖掘非资源型城市、“胡焕庸线”以西城市、内陆城市和外围城市的数智化红利,通过设立专项数智化引导基金、实

施关键数智技术补贴、加快数智基础设施建设及培育新型数智融合产业,持续释放数智赋能的包容性绿色增长红利;另一方面,从社会经济环境特征看,市场一体化与非正式制度较弱、数字经济水平较低、金融支持力度较大的城市要集中优势资源实现5G网络、数据中心等关键数字基建,为数智化赋能提供强有力的物理和网络支撑。

第三,推动有为政府、有效市场与有机社会的协同发力与良性互动,为数智化发展与城市包容性绿色增长创造良好的外在条件。首先,政府可通过实施更积极的产业政策和财政政策纠正数智赋能过程中存在的使命偏移、效率不足等问题,提高政府治理能力与财政透明度,引导企业加快数智化转型,着力促进全产业链条的高端化、数字化、智能化和绿色化发展;其次,要基于数智化手段不断优化要素配置方式及扩展使用边界,产业内的存量要素可以依托数据要素的共享性特征,延伸其使用边界,增加资本、劳动要素供给,在推进存量要素效用最大化的同时,实现要素资源的帕累托改进,进而为城市包容性绿色增长提供坚实的要素支撑;最后,应充分利用大数据、智能化技术实现就业领域的供需精准对接,为劳动力高效匹配就业、创新、培训等资源,助推从业优先工作,提高劳动者报酬,不断增进民生福祉,进而最终实现城市经济包容化、绿色化发展。

第四,制定长期发展规划与阶段性目标,深刻把握“网络效应”和“梅特卡夫法则”在数智化赋能城市包容性绿色增长中的规律。首先,政府应优先投资于高速网络、智能感知系统及数据中心等关键数智化基础设施,构建高效安全的信息平台,加速“网络效应”的形成;其次,采取政策激励与资金支持双轮驱动策略,激励企业、高校及科研机构在数智化关键技术、绿色生产技术及智能化管理领域持续创新,确保技术进步的边际效益递增,并精准配置资源,重点扶持旨在提升数智化水平、促

进绿色转型及增强社会包容性的项目;最后,强化政策协同,创新监管模式,确保各项政策措施形成有效合力,既推动数智化赋能城市包容性绿色增长,又建立健全数据安全与隐私保护体系,以科技向善的理念增强公众信任,共同创造有利于数智化可持续发展的社会环境,最终实现经济增长、社会包容和生态保护的共赢,推动城市包容性绿色增长。

参考文献

- [1] 新华社.十组数据见证新时代伟大成就[EB/OL].(2023-12-12)[2024-04-15].https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202312/content_6919636.htm.
- [2] 张云,柏培文.数智化如何影响双循环参与度与收入差距:基于省级-行业层面数据[J].管理世界,2023,39(10):58-83.
- [3] 谭玉松,任保平,师博.人工智能影响产业协同集聚的效应研究[J].经济学家,2023(6):66-77.
- [4] 蔡跃洲,陈楠.新技术革命下人工智能与高质量增长、高质量就业[J].数量经济技术经济研究,2019,36(5):3-22.
- [5] 陈剑,刘运辉.数智化使能运营管理变革:从供应链到供应链生态系统[J].管理世界,2021,37(11):227-240.
- [6] 单宇,许晖,周连喜,等.数智赋能:危机情境下组织韧性如何形成:基于林清轩转危为机的探索性案例研究[J].管理世界,2021,37(3):84-104.
- [7] 潘越,谢玉湘,宁博,等.数智赋能、法治化营商环境建设与商业信用融资:来自“智慧法院”视角的经验证据[J].管理世界,2022,38(9):194-208.
- [8] 李晓娣,饶美仙,原媛.数智情境下如何提升区域创新生态系统能级?[J].科学学研究,2024,42(9):1988-1999.
- [9] 张秀娥,王卫,于泳波.数智化转型对企业新质生产力的影响研究[J].科学学研究,2025,43(5):943-954.
- [10] 沈馨怡,吴松强.数智化发展、双重网络嵌入与新创企业韧性:长三角中小集成电路企业的实证研究[J].科学学研究,2024,42(4):797-804.
- [11] KOULADOUM J C, CHANDRAKANTH M G, RAJASEKHAR D, et al. Digital infrastructural development and inclusive growth in Sub-Saharan Africa [J]. Journal of social and economic development, 2023, 25(2): 21-25.
- [12] LENG X. Digital revolution and rural family income: evidence from China [J]. Journal of rural studies, 2022, 94(8): 336-343.
- [13] 陈东,秦子洋.人工智能与包容性增长:来自全球工业机器人使用的证据[J].经济研究,2022,57(4):85-102.
- [14] 马茜,廖蕊,张红兵.网络基础设施建设、知识流动与城市包容性绿色增长:基于调节中介与链式中介的综合分析框架[J].统计研究,2024,41(8):98-111.
- [15] 周锐波,吴云峰,宋佳晞.共生共荣:工业智能化发展与包容性绿色增长[J].中国人口·资源与环境,2024,34(5):162-174.
- [16] 李金昌,连港慧,徐蔼婷.“双碳”愿景下企业绿色转型的破局之道:数字化驱动绿色化的实证研究[J].数量经济技术经济研究,2023,40(9):27-49.
- [17] 李勃昕,董雨,朱承亮,等.双向跨境投资、技术创新与生产效率[J].管理科学,2023,36(2):35-52.
- [18] 陈素梅,何凌云.相对贫困减缓、环境保护与健康保障的协同推进研究[J].中国工业经济,2020(10):62-80.
- [19] 赵雪雁,李巍,王学良.生态补偿研究中的几个关键问题[J].中国人口·资源与环境,2012,22(2):1-7.
- [20] 王晓晓,黄海刚,夏友富.数字化政府建设与企业创新[J].财经科学,2021(11):118-132.
- [21] 陈彦龙,谌仁俊,李明轲.环保考核对各类主体绿色创新活力的影响[J].数量经济技术经济研究,2023,40(12):194-214.
- [22] 张涛,李均超.网络基础设施、包容性绿色增长与地区差距:基于双重机器学习的因果推断[J].数量经济技术经济研究,2023,40(4):113-135.
- [23] 江小涓,靳景.数字技术提升经济效率:服务分工、产业协同和数实孪生[J].管理世界,2022,38(12):9-26.
- [24] CHERNOZHUKOV V, CHETVERIKOV D, DEMIRER M, et al. Double/debiased machine learning for treatment and structural parameters [J]. Econometrics journal, 2018, 21(1): 1-68.
- [25] 王元彬,张尧,李计广.数字金融与碳排放:基于微观数据和机器学习模型的研究[J].中国人口·资源与环境,2022,32(6):1-11.
- [26] 田高良,刘晓丰,司毅.财政透明度与企业避税行为[J].管理工程学报,2024,38(3):58-75.
- [27] 白俊红,卞元超.要素市场扭曲与中国创新生产的效率损失[J].中国工业经济,2016(11):39-55.
- [28] 欧阳艳艳,张光南.基础设施供给与效率对“中国制造”的影响研究[J].管理世界,2016(8):97-109.
- [29] 张柳钦,李建生,孙伟增.制度创新、营商环境与城市创业活力:来自中国自由贸易试验区的证据[J].数量经济技术经济研究,2023,40(10):93-114.
- [30] 孙少岩,王笑音,高翠云.绿色信贷能发挥碳减排效应吗?[J].中国人口·资源与环境,2023,33(8):37-47.
- [31] 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):100-120.
- [32] WANG L H, SHAO J. Digital economy, entrepreneurship and energy efficiency [J]. Energy, 2023, 269(4): 126801.



Digital intelligence enabling urban inclusive green growth: causal inference from double machine learning

HAN Xianfeng, LI Jijia

(School of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650093, China)

Abstract As a form of new quality productive forces fully embodying new technological concepts such as digital transformation, intelligent transformation, and digital and intelligent integration, digital intelligence has truly realized the essential leap of a new generation of information technology from small data to big data and then to intelligent data. It is a strong driving force for local governments to practice the concept of inclusive green growth in the context of common prosperity. Based on the implications of digital intelligence, this study attempted to construct a digital intelligence index system and index at the city level, and used cutting-edge technologies such as double machine learning algorithms and two “black box” model interpretation tools, as well as panel data from 279 prefecture-level and above cities in China, to examine the internal mechanism and incentive effect of digital intelligence on urban inclusive green growth. The study found that: ① Digital intelligence could effectively stimulate the vitality of urban inclusive green growth, and this positive empowerment effect was significantly stronger than the potential impact produced by digitization and intellectualization. ② In non-resource-based cities, economic zones west of the Heihe-Tengchong Line, inland areas, and peripheral cities, digital intelligence was more conducive to urban inclusive green growth; in cities with weaker market integration and informal institutions, low levels of digital economy, and greater financial support, the digital intelligence drive had more “late-mover advantages.” ③ Digital intelligence mainly contributed to urban inclusive green growth by inducing government intervention, optimizing factor allocation, and improving the quality of employment. ④ The inclusive green growth effect of digital intelligence empowerment followed Metcalfe’s Law, showing a clear trend of increasing positive marginal efficiency, and this positive effect gradually increased over time, with an increasing contribution. Accordingly, it is necessary to accelerate the formulation and improvement of relevant policies and regulations and actively promote the deep integration of digital intelligence development and urban inclusive green growth, so as to effectively achieve the harmonious coexistence of economy, society, and ecology. This study not only provides a new, digitally driven perspective for promoting urban inclusive green growth but also provides policy implications for the “win-win” situation of achieving the Digital China initiative and the goal of common prosperity under the new development pattern.

Key words digital intelligence; inclusive green growth; double machine learning; nonlinear effect

(责任编辑:王爱萍)