

数字产业与制造业协同集聚对企业绿色创新的影响研究

阳立高^{1,2}, 邬佩云¹, 韩峰³

(1. 长沙理工大学 经济与管理学院, 湖南 长沙 410076; 2. 长沙理工大学 产业高质量发展研究院, 湖南 长沙 410076;
3. 南京审计大学 经济学院, 江苏 南京 211815)*

摘要: 基于马歇尔集聚经济理论, 依据中国工业企业数据和城市面板数据, 运用固定效应模型, 考量数字产业与制造业协同集聚对企业绿色创新的影响。结果显示, 数字产业与制造业协同集聚通过人力资本外部性、知识溢出效应机制促进企业绿色创新, 但规模经济效应机制不成立, 且该结果在更换核心变量指标、考虑极端值、替换固定效应及内生性问题后依然稳健。鉴于此, 应因地制宜施策, 加快推动区域内数字产业与制造业协同集聚, 提升软环境建设水平, 促进企业绿色化发展。

关键词: 数字产业; 制造业; 协同集聚; 绿色创新

中图分类号: F49; F273.1; F425

文献标识码: A

文章编号: 1003-7217(2024)03-0131-08

一、引言

党的二十大报告提出, 要“加快建设制造强国、数字中国”“加快发展方式绿色转型, 实施全面节约战略, 发展绿色低碳产业”。发展数字经济已成为推进中国式现代化的重要驱动力量。企业作为新发展格局下的创新主体, 是实现创新驱动和科技立国的重要推手, 具体表现在提升经营绩效、促进产业转型升级、形成聚集经济等各个方面。以清洁能源、环境技术和低碳技术为代表的绿色技术创新已成为经济与环境可持续发展的新引擎^[1], 在减少企业的环境污染、提升环境绩效环节中起着关键作用。此外, 绿色创新还能使企业生产绿色差异化产品, 激发新的市场需求。而数字产业的发展能充分满足新型数字生活的需求, 其与制造业的协同发展能发挥信息共享效应和知识整合效应等, 从而切实提升企业绿色竞争力, 实现真正意义上的经济效益与环境保护“双赢”^[2]。在此背景下, 依托数字产业与制造业协同集聚以促进企业绿色创新是高质量发展中实现经济与环境双重效益的新动能。

数字产业属于人才、技术密集型产业, 具有低污染和低能耗等特点, 可为制造业的数字化转型提供AI、区块链等技术保障, 打破不同行业的数据壁垒, 极大程度地解决企业生产过程中的不确定性、复杂

性问题^[3]。加强数字产业与制造业的协同集聚程度, 能够深化劳动分工、延伸产业价值链, 是推动技术创新水平提升、强化区域绿色创新能力的关键助力。目前关于产业协同集聚的相关研究大多集中于制造业和生产性服务业协同集聚领域, 围绕二者协同集聚的定义^[4,5]、测度方法^[5-8]以及影响因素^[4,9]等方面展开, 但关于数字产业与制造业的协同集聚鲜有涉及。绿色创新能有效减少环境污染并为企业带来增值的新产品或工艺^[10], 但学术界对于产业协同集聚对企业绿色创新的影响方向并未达成共识, 一种观点认为产业协同集聚能显著促进区域绿色创新^[11,12], 另一种观点则强调产业集聚与绿色创新绩效之间的非线性关系^[13,14]。因此, 本文基于2003—2015年数字产业和制造业协同集聚度与上市企业的匹配数据, 运用固定效应模型, 探讨数字产业和制造业协同集聚对企业绿色创新的影响机制及作用效果。

二、理论分析与研究假设

数字产业作为技术密集型与人才密集型产业, 其面临的首要问题在于技术创新和进步, 而互联网、大数据、人工智能、云计算等新一代信息技术具有渗透性和倍增性, 其与制造业的协同集聚有利于从多角度、全链条、全方位改造提升制造业, 推动其智能

* 收稿日期: 2023-11-26; 修回日期: 2024-02-20

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(23AJL012)

作者简介: 阳立高(1978—), 男, 湖南隆回人, 博士, 长沙理工大学经济与管理学院教授, 博士生导师, 研究方向: 计量经济学与产业发展。

化、网络化、数字化转型^[15]。数字产业和制造业在空间上的协同集聚可对要素资源进行重新配置,突破产业发展壁垒,科学配置绿色创新要素,最大限度推动企业的绿色技术进步。

基于马歇尔的产业集聚外部经济理论,数字产业与制造业协同集聚通过外部性机制带动人才、资本、信息、技术等创新要素集聚,为企业提供丰富的外部资源,推动企业进行数字化改造,实现智能化、服务化升级,进而产生劳动力蓄水池效应、规模经济效应、知识溢出效应等,有助于降低企业的边际产出能耗及碳排放成本,提升企业绿色创新水平^[16]。协同集聚度越高,意味着其初始资源禀赋与企业的资源需求具有更强的匹配度,为制造业的数字化转型提供要素交换和协调的条件,有利于企业便捷地获取外部资源,加快绿色创新研发知识的传播速度,改善区域内企业对资源的使用效率,进而降低企业的生产成本。而将更多优质资源导入创新活动中,能降低企业对绿色创新知识和信息的搜索成本。企业间的绿色创新技术溢出和规模经济效应能够降低企业绿色技术创新活动中的非期望产出,提升绿色创新技术水平^[17]。基于此,提出:

假设1 数字产业与制造业的协同集聚有助于推动企业绿色创新。

(一)数字产业与制造业协同集聚通过影响人力资本积累作用于企业绿色创新

人力资本对技术进步具有溢出效应,有效劳动即人力资本的增加,通过优化企业激励机制提高人力资本的利用率,可以有效促进企业绿色创新。制造业的数字化转型将赋能传统劳动力市场,衍生出各类线上就业信息平台,为吸纳高水平创新型人才提供更完善的就业信息渠道,降低由信息不对称可能导致的市场失灵;提高人力资源配置效率,从而为上下游产业提供更多优质人才,实现绿色创新成果扩散,有助于绿色创新资源整合,进而强化区域绿色创新能力。通常而言,劳动力高级化程度随地区集聚度的增加而提高,可以对绿色经济效率产生正向推动作用^[18]。

数字产业对传统产业如农业、工业等产生巨大的溢出效应,催生出工业互联网、智能制造、物联网、平台经济、互联网金融等融合型的新业态、新产业、新模式^[15]。其与制造业的协同集聚可为上下游产业所需的人才营造良好的外部环境,带动相关产业产出增长、效率提升,促进经济增长和全要素生产率提升,为提升企业的研发生产效率提供源源不断的创新活力,从而全面提升城市整体的劳动者素质,储备、培养创新型人才。一方面,数字产业与制造业

集聚通过发挥合作网络效应实现人力资本的优化配置。信息技术与制造业的渗透融合需要拥有知识和技术信息的高级人力资本。空间内资源的跨区域流动将加快科技成果和节能环保技术的共享与扩散,有利于整合区域内闲置、分散的创新资源,提高资源配置效率,在绿色创新活动中实现增加产能和减少污染排放的目标^[19],带动区域内企业绿色创新水平提升。另一方面,数字技术能有效提高制造业的生产效率,成为传统制造业改造的新引擎,加速新旧动能接续转换。基于内生增长理论,数字产业与制造业协同集聚形成的诸如智能制造、共享经济等能提高区域内不同专业领域人才间的交流沟通效率。通过数字技术引导劳动力资源的合理流动和有效配置,有助于绿色创新知识的获取和革新,帮助企业在节能减排、产品创新以及模式创新等方面达成共识,推动企业不断进行突破式创新、优化生产流程,对企业绿色创新产生正向激励。基于此,提出:

假设2 数字产业与制造业协同集聚可通过强化人力资本积累推动企业绿色创新。

(二)数字产业和制造业协同集聚通过知识溢出效应作用于企业绿色创新

数字产业以数据和互联网为原动力,能为制造业的数字化转型提供互联网、大数据和区块链等数字技术衍生出来的数字化产品和平台。数字产业与制造业在同一区域内的协同集聚能促进知识与技术跨界融合,打破绿色技术交易与共享的时空局限,提升绿色技术创新主体间信息与知识传播速率,有效引导要素生产模式和配置方式向集约化和绿色化方向发展。一方面,为适应数字时代的发展变化,需要通过知识的扩散和新技术的形成加速创新转型。数字产业与制造业的协同集聚能将信息技术赋能于产业多样化发展、提升知识价值创造能力和社会资源的综合利用水平等。集聚度高的地方不同企业之间可以相互学习,有能力进行绿色研发投入的企业可以通过溢出效应扩散到绿色创新动力不足的企业,带动整个区域内企业的绿色创新水平提升^[18]。另一方面,知识是企业进行绿色创新的核心。这种集聚推动制造业运用数字新技术进行转型升级,形成互联互通的网络经济以增强企业对新知识的吸收能力,降低绿色创新失败风险。而且数字产业与制造业的协同集聚度越高,该区域的产业多样性越强,无直接关联的企业也能在集聚范围内衍生新事物,促进企业绿色低碳技术的研发和扩散,也有利于企业开发绿色产品,提高企业绿色创新效率。

企业内部学习和吸收新知识需要员工之间频繁地面对面接触与沟通。这种知识传播方式容易造成

知识和技术在空间的传播时滞以及它们在传播过程中的衰减和扭曲。而数字产业与制造业协同集聚可以打破知识溢出的空间局限性,通过数字平台高效将不同产业间的高技术水平人才汇聚到同一地理空间内,利用数据要素打造线上知识交流平台,营造知识在人与人之间迅速传递的良好创新环境^[20],从而促进当地企业绿色创新。在数字产业与制造业集聚协同度较高的地区,企业之间形成的紧密联系表现在能互相影响彼此的研发创新策略,同时也能享有由高校及其他科研机构所带来的知识溢出。而相似的技术范式和组织结构能大幅降低企业之间的沟通成本,提高对新知识和新技术的吸收和消化能力^[19]。这种有机的互动学习过程,不仅有助于企业更深入地分工合作,还有助于打破绿色技术创新的壁垒,正向激励企业提高绿色创新效率。基于此,提出:

假设3 数字产业和制造业协同集聚通过知识溢出效应提高企业绿色创新水平。

(三)数字产业和制造业协同集聚通过规模经济效应对企业绿色创新产生影响

数字产业与制造业的协同集聚发展体现为数字产业为制造业提供先进的信息技术支持,如智能制造、数字化生产管理、物联网等,以此提高制造业的生产效率、产品质量和创新能力,而制造业为数字产业提供实际的应用场景,通过数字技术为传统制造业注入新动力。二者的协同集聚呈现为集聚经济的高级形态,具有促进行业内部与行业间交流的独特优势,实现“降本增效”。数字产业可助力创新主体及时获取研发与产出环节的数据反馈,有效降低试错成本,驱动绿色技术创新效率攀升。这种协同效应带来的正外部性有助于降低企业的平均创新成本,包括经济活动集中后单位距离的运输成本以及信息流通需要的交易成本。企业可以将节约下来的成本更多地用于核心绿色技术的研发,有效规避因绿色创新可能带来的不确定性和潜在风险,缓解收益与投资不平衡的问题,增强企业绿色创新内在动力。

数字技术与制造业的深度融合能推动制造业的分工细化,引发共享经济等新业态的不断涌现。企业市场范围和生产规模因此得以扩大,避免受融资约束而难以支付创新成本。且数字化改革能有效消除行业准入和退出壁垒,加剧要素市场的竞争,从而降低企业使用服务等生产要素的成本,提高企业绿色创新技术投入的激励水平^[20]。当数字产业与制造业在同一地理空间集聚时,日益健全的数字基础设施、大数据平台有助于增强制造业产业链各环节产业间的投入与产出,通过绿色技术创新网络示范

效应降低交通运输成本和交易成本,正向激励企业提升绿色创新水平。数字时代的到来实现了信息、技术等生产要素在不同企业、产业和区域中的自由流动,激励市场生产更加智能化、绿色化、高端化的产品以满足消费者不断提升的消费需求和潜力。数字产业能够利用信息技术迅速将市场绿色需求信息反馈给制造部门,节约制造业企业的搜寻成本和交易成本,使企业充分利用协同效应的正外部性,从而更有条件从事绿色技术创新活动,更积极地进行长期可持续发展的绿色创新,促进绿色发展。基于此,提出:

假设4 数字产业和制造业协同集聚通过规模经济效益提高企业绿色创新水平。

三、计量模型设定、变量测度与数据说明

为检验数字产业与制造业协同集聚对企业绿色创新的作用效果,构建如下基本模型:

$$Patent_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 EG_{jt} + \sum_m \beta_m x_{it}^m + \sum_n \gamma_n X_{jt}^n + \mu_i + \mu_t + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

其中,下标*i*、*j*、*t*分别表示企业、省份和年份;*Patent_{it}*表示*i*企业在*t*年的绿色创新;*EG_{jt}*表示*j*省份在*t*年的数字产业与制造业协同集聚度;*x*为企业层面控制变量, β 为相应企业变量的参数估计;*X*为省份层面控制变量, γ 为相应省份变量的参数估计;*m*和*n*分别为企业控制变量和城市控制变量的个数; μ_i 、 μ_t 分别为企业和年份固定效应; ε_{ijt} 为随机干扰项。

(一)变量测度

1.解释变量:数字产业与制造业协同集聚度。数字产业与制造业协同集聚指相关的上下游产业在同一区域内集聚的现象。关于产业协同集聚水平量化测度指标的选取和构建,在国外常见的有E-G指数^[5]、D-O指数^[6]和投入产出分析法^[7]等。在国内,有以陈建军等为代表构建的 Θ 指数^[8]等。本文以E-G指数测算的数字产业和制造业协同集聚度作为解释变量,其包含了产业、企业两个维度,因此,能够避免计算出来的产业协同集聚水平即使在同一空间的不同产业(行业)之间进行对比也存在偏差的缺陷。具体的数据来源及测算方法如下:

基于《国民经济行业分类(GB/T 4754—2017)》和《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》划分出属于数字制造业和数字服务业的行业,通过工业企业数据库筛选并计算出2003—2015年的数字制造业从业人数,其与数字服务业从业人数加总求和得到数字产业从业人数^①。制造业从业人数及城市层

面总就业人数来自《中国城市统计年鉴》，运用插补法和平滑法对缺失值和异常值进行了处理。参考Howard等的做法使用E-G指数计算产业协同集聚度^[21]，测算出2003—2015年27个省份的数字产业与制造业产业协同集聚度，公式如下：

$$EG_{AB} = \frac{\sum_{m=1}^M (s_{mA} - x_m)(s_{mB} - x_m)}{1 - \sum_{m=1}^M x_m^2} \quad (2)$$

式中， m 表示行政区域， s_{mA} 和 s_{mB} 分别表示A、B两个行业在 m 地区的就业份额； x_m 是 m 地区所有行业的平均就业份额，采用每个城市在省份人口或总就业中所占的份额衡量地区规模。由于E-G指数计算的是区域内若干城市的产业集聚度，去除北京、天津、重庆、上海四个直辖市和香港、澳门两个特别行政区及台湾地区后，最终测算出27个省份的E-G指数。全国及各区域每年平均值的趋势如图1所示。

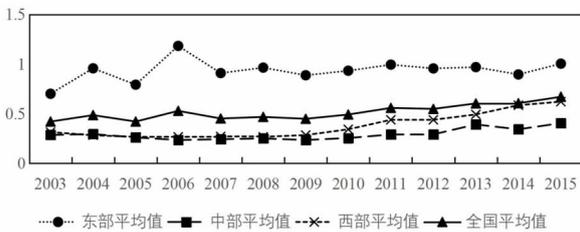


图1 全国及各区域的产业协同集聚指数各年平均值趋势图

2. 被解释变量：企业绿色创新。选取绿色专利数据库中上市公司申请的绿色专利数量(Patent)衡量企业绿色创新，绿色专利包含绿色发明专利和

绿色实用新型专利两类。采用专利申请数量而不是专利授权数量来衡量，是因为专利申请数量相对而言更能反映出企业创新的真实水平，尽管授权专利拥有比未授权专利更高的质量水平，但是专利授权数滞后期较长，对数据时间跨度要求较高，总体上专利申请数会比授权数更稳定、可靠和及时。

3. 控制变量。参考已有相关研究^[18,22,23]，从企业层面和省份层面选取7个控制变量加入基准回归模型：①企业规模(Size)，以对企业总资产求对数来衡量；②企业年龄(Age)，用上市公司的企业年龄取对数表示；③资产结构(Tang)，用固定资产净额和存货净额与总资产的比值来衡量；④资产负债率(Lev)，用总负债与总资产的比值表示；⑤经济发展水平(Agdp)，采用人均GDP取对数衡量；⑥政府干预程度(Gov)，用财政支出占GDP的比重来衡量；⑦环境规制(Reg)，用工业污染治理投资额占GDP比重表示。

(二)数据来源及处理

原始数据主要来源于地方统计局、《中国工业企业数据库》、《中国城市统计年鉴》、各省统计年鉴和《绿色专利数据库》。将企业层面数据和省级层面面板数据按省份名称和年份进行匹配，省级样本为2003—2015年中国除港澳台地区和北京、上海、重庆、天津的其余27个省份，并剔除金融行业、ST类企业，形成新面板数据，采用stata16.0进行数据处理及回归分析，主要变量的描述性统计结果见表1。

表1 主要变量描述性统计结果

变量	样本量	平均值	中位数	标准差	最大值	最小值
Patent	16793	2.986	0	19.20	1627	0
EG	16793	0.878	0.706	0.701	3.740	0.027
Size	16793	21.65	21.53	1.196	27.140	12.310
Age	16793	1.943	2.079	0.820	3.219	0
Tang	16793	0.429	0.424	0.182	0.975	0
Lev	16793	0.466	0.465	0.225	1.172	0.050
Agdp	16793	10.35	10.45	0.628	11.36	8.218
Gov	16793	0.174	0.137	0.102	1.325	0.084
Reg	16793	0.004	0.003	0.003	0.031	0.001

四、实证结果与分析

(一)基准回归结果

同时控制年份、个体效应，采用双向固定效应模型对计量模型进行估计，结果如表2所示。其中列(1)报告的是未加控制变量组的回归的结果，数字产业与制造业协同集聚能在5%的水平上显著提高企业绿色创新水平。列(2)和列(3)分别为仅加入企

业、省份层面控制变量的回归结果，在5%和1%的水平上显著为正。列(4)报告的是加了省份层面和企业层面控制变量的回归结果，在1%的水平上显著为正。以上验证了假设1，即数字产业与制造业协同集聚能有效促进我国企业绿色创新。

(二)稳健性检验

1. 更换被解释变量。将绿色专利分为绿色发明专利和绿色实用新型专利，分别用绿色发明专利申

请数 (*Patent1*)、绿色实用新型专利申请数 (*Patent2*) 以及绿色专利授权数 (*Patent3*) 作为被解释变量进行基准回归。考虑到专利由申请到授权的时间差, 对基准回归方程中的解释变量采取滞后两期处理, 将被解释变量替换为当期的绿色专利授权数, 回归结果如表 3 所示。可以看出, 无论是更换绿色专利类型还是更换企业绿色创新的衡量方式, 数字产业与制造业协同集聚估计系数均显著为正, 估计结果仍具有较高的稳健性。

表 2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>EG</i>	1.045** (0.412)	0.968** (0.417)	1.406*** (0.471)	1.361*** (0.476)
<i>Size</i>		2.045*** (0.266)		2.094*** (0.269)
<i>Age</i>		0.237 (0.503)		0.113 (0.519)
<i>Tang</i>		-2.502*** (0.824)		-2.388*** (0.828)
<i>Lev</i>		-0.854 (0.768)		-0.942 (0.768)
<i>Agdp</i>			-2.993** (1.309)	-3.158** (1.355)
<i>Gov</i>			-11.689*** (2.595)	-12.895*** (2.852)
<i>Reg</i>			-61.585** (28.896)	-71.929** (28.522)
常数项	2.069*** (0.353)	-41.136*** (5.629)	34.977*** (13.423)	-7.125 (15.499)
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
<i>N</i>	16793	16793	16793	16793
<i>R</i> ²	0.552	0.554	0.552	0.555

注: 括号中是稳健标准误。*、** 和 *** 分别表示 10%、5% 和 1% 显著性水平, 下表同。

表 3 更换被解释变量的估计结果

变量	(1) <i>Patent1</i>	(2) <i>Patent2</i>	(3) <i>Patent3</i>
<i>EG</i>	0.705** (0.283)	0.683** (0.274)	1.015** (0.483)
常数项	-4.723 (8.281)	-0.803 (10.557)	3.318 (16.794)
企业固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
<i>N</i>	16702	16702	13040
<i>R</i> ²	0.510	0.546	0.476

2. 更换固定效应。基准回归模型选用个体和年份固定效应进行基准回归, 在稳健性检验中, 分别加入及同时加入省份、行业固定效应进行基准回归, 回归结果见表 4。如表 4 所示, 在加入新的固定效应以后, 数字产业与制造业协同集聚对企业绿色创新的正向促进作用仍然在 1% 的水平上显著。

3. 处理极端值。为了消除极端值对回归结果的

影响, 对数字产业与制造业协同集聚度和企业绿色创新指标进行双边截尾与双边缩尾处理。表 5 列(1)、列(2)分别显示了 *Patent* 和 *EG* 双边截尾、双边缩尾 1% 后的回归结果。数字产业与制造业协同集聚度的回归系数在 1% 的显著水平上仍然为正, 这表明消除极端值影响后, 数字产业与制造业协同集聚仍能显著提高企业绿色创新水平。

表 4 更换固定效应的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)
<i>EG</i>	1.876*** (0.524)	1.593*** (0.511)	1.990*** (0.552)
常数项	-17.572 (17.643)	-7.037 (16.120)	-14.401 (18.229)
企业固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
省份固定效应	是	否	是
行业固定效应	否	是	是
<i>N</i>	16793	16793	16793
<i>R</i> ²	0.555	0.558	0.558

表 5 极端值处理和内生性检验的估计结果

变量	(1) 双边截尾	(2) 双边缩尾	(3) IV1	(4) IV2
<i>EG</i>	0.762*** (0.231)	0.725*** (0.272)	32.939*** (9.276)	40.130*** (11.164)
常数项	-14.629*** (4.461)	-19.134*** (6.761)		
控制变量	是	是	是	是
<i>Kleibergen</i> - <i>Paap rk LM</i> 统计量			26.174 (0.000)	47.326 (0.000)
<i>Kleibergen</i> - <i>Paap rk Wald F</i> 统计量			26.062 (16.38)	50.387 (16.38)
<i>Endogeneity</i> <i>test</i>			21.160 (0.000)	15.996 (0.000)
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
<i>N</i>	16380	16793	16652	16518
<i>R</i> ²	0.548	0.613	0.089	0.147

4. 内生性检验。经济变量中的内生性问题可能由两方面引起: 一是潜在的遗漏变量导致了内生性问题的产生。因此, 在基本回归中控制了各类非观测的固定效应, 且尽可能多地控制了企业和省份层面的控制变量。二是数字产业与制造业协同集聚与企业绿色创新之间可能存在双向因果关系。产业协同集聚能通过推动绿色技术创新, 优化产业结构等方式发展环境友好型经济, 促进企业绿色创新效率的提升, 而低质量的经济会阻碍科技和产业的发展, 恶化产业发展的环境, 存在反向因果关系。这一内生性问题使用工具变量来解决。

在工具变量选择方面, 考虑到地形起伏度和地

面平均坡度是影响中国人口分布和劳动力密集程度的重要因素,与人口密度密切相关,满足工具变量的相关性原则,且其是天然形成的地理上客观存在的因素,不直接影响企业绿色创新,具有外生性特征^[18]。但地形起伏度和地面平均坡度对产业协同集聚的影响可能因年份不同而存在差异,故分别把省级层面地形起伏度均值、地面平均坡度均值与年份的交互项(IV1、IV2)作为产业协同集聚的两个工具变量,以此克服工具变量为截面数据的限制,同时充分体现工具变量在不同时间维度所产生的影响,运用2SLS方法回归。

回归结果如表5列(3)、列(4)所示,其中内生性检验P值均为0.000,强烈拒绝所有解释变量均为外生变量的原假设,因而使用工具变量法估计是合理的。数字产业与制造业协同集聚对企业绿色创新的影响系数仍然在1%水平上显著为正,表明数字产业与制造业协同集聚促进企业绿色创新的结论在考虑内生性问题后依然成立。

五、机制检验

(一)机制检验模型设定

计量模型估计的结果表明数字产业与制造业协同集聚能显著促进企业绿色创新。根据理论机制分析,数字产业与制造业协同集聚主要通过人力资本、知识溢出效应、规模经济效应三个机制影响企业绿色创新。接下来,通过构建计量模型对数字产业与制造业协同集聚度与上述三个机制变量分别回归,以检验数字产业与制造业协同集聚对推动企业绿色创新的影响机制。将机制变量($M_{i,jt}$)以及其与解释变量的交互项加入基准模型中得到以下机制检验模型:

$$Patent_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 EG_{jt} + \alpha_2 M_{i,jt} + \alpha_3 EG_{jt} \times M_{i,jt} + \sum_m \beta_m x_{it}^m + \sum_n \gamma_n X_{jt}^n + \mu_i + \mu_t + \epsilon_{ijt} \quad (3)$$

(二)机制分析

1. 人力资本。用各省份普通高等学校在校学生数取对数作为人力资本的代理变量,在基准回归中加入人力资本、解释变量与人力资本的交互项进行回归。回归结果显示^②,交互项系数在1%的水平上显著为正,表明数字产业与制造业协同集聚可以通过提高人力资本水平促进企业绿色创新,验证假设2。

2. 知识溢出效应。数字产业作为知识密集型产业,其与制造业协同集聚的知识溢出效应更为明显。而知识传递不仅来源于企业间的交流合作,创新要素流动带来的技术扩散也是知识溢出的重要渠道。拥有知识和技术信息的高级人力资本跨区域流动将

加快科技成果和节能环保技术的共享与扩散,提高资源配置效率和区域内企业研发创新效率和能源利用率,实现绿色创新活动中创新产出的增加、污染排放的减少,并在产业关联带动和技术波及下,带动整个工业行业绿色创新水平提升。因此,考虑到数据可得性,采用R&D经费支出与国内生产总值之比衡量研发强度(RD),以此作为知识溢出效应的代理变量,将研发强度、研发强度与解释变量的交互项加入基准回归模型中,结果显示^②:交互项系数在1%的水平上显著为正,假设3得证。

3. 规模经济效应。关于规模经济效应,选用营业总成本与营业总收入的比重作为代理变量(Cost),估计结果显示^②,交互项系数在1%水平上显著为正,表明数字产业与制造业协同集聚未能有效节约企业生产、经营、管理等各方面的成本,对企业绿色创新产生规模非经济效应。然而数字产业与制造业协同集聚总体上能显著促进企业绿色创新,表明数字产业和制造业的协同融合主要通过人力资本外部性和知识溢出效应这两个机制促进企业绿色创新,但在企业绿色创新过程中规模经济效应机制不成立。

六、进一步分析

(一)基于不同协同集聚方式的分析

数字核心产业包含数字产品制造业与数字产品服务业,参考Howard等的做法采用E-G指数^[21],分别测算出2003—2015年数字制造业与制造业协同集聚度和2003—2019年数字服务业与制造业协同集聚度分析不同的协同集聚方式对企业绿色创新的影响。结果显示^②,数字制造业与制造业协同集聚对企业绿色创新的促进作用不明显,而数字服务业与制造业协同集聚在1%的水平上对企业绿色创新影响为正向显著。二者的融合能创新绿色生产方式,丰富绿色产品供给,提高资源使用效率,形成绿色制造体系,实现企业绿色发展。

(二)企业异质性

由于国有企业和非国有企业在资源基础、经营目标、外资吸引能力等方面存在差异,将研究样本按照企业股权性质将企业划分为民营、外资和国有企业三个子样本,采用分组回归的方式探究数字产业与制造业协同集聚对企业绿色创新的影响在不同所有制企业间的异质性。异质性分析结果显示^②,数字产业与制造业协同集聚对国有企业和外资企业有显著的促进作用,而对民营企业无明显正向影响。这可能是因为绿色技术创新具有投入大、周期长、风险大等特点,而国有企业资金雄厚,并且具有独特的

政治优势, 外资企业市场竞争压力大, 科技创新开放度高, 需要主动进行绿色转型以提高自身竞争力。

(三) 行业异质性

参考国家统计局发布的《高技术产业(制造业)分类》文件, 将属于 C27(医药制造业)、C35(专用设备制造业)、C36(汽车制造业)、C37(铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业)、C38(电气机械及器材制造业)、C39(计算机、通信和其他电子设备制造业)和 C40(仪器仪表制造业)的企业划分为高技术产业子样本, 其余企业为非高技术产业子样本。回归结果显示^①, 数字产业与制造业协同集聚对属于高技术产业的企业的促进作用在 1% 的水平上显著, 而对属于非高技术产业的企业的正向作用不明显。

(四) 地区异质性

受地理条件、基础设施、要素禀赋等各因素的影响, 不同地区的产业协同集聚对企业绿色创新强度的影响存在异质性。结果显示^②, 数字产业与制造业协同集聚对东部地区、中西部地区的企业绿色创新均有显著的促进作用。究其原因可能是: 改革开放初期实行沿海率先发展战略, 使东部地区拥有交通便捷、经济环境较为开放的优势, 即使面临企业创新约束, 也更易利用技术和资源的正外部性进行协同创新, 打破绿色创新壁垒; 而中西部地区凭借政治和政策上的优势能够激发企业内部的创新活力, 朝可持续绿色低碳化方向发展, 提升企业的绿色创新水平。

七、结论与建议

以上研究结果显示: (1) 数字产业与制造业协同集聚显著促进企业绿色创新, 在更换被解释变量、更换固定效应、处理极端值、进行内生性检验后, 结果依然稳健; (2) 数字产业与制造业协同集聚通过改善人力资本结构、发挥知识溢出效应显著推动企业绿色创新, 但规模经济效应机制不成立; (3) 数字产业与制造业协同集聚对企业绿色创新的提升效应在中西部地区、高技术产业、外资企业和国有企业中更显著。

基于以上研究结论, 提出如下政策建议: 首先, 加快推动区域内数字产业与制造业协同集聚。注重制造业的数字化发展, 积极引入大数据、数字平台和工业互联网等先进数字技术, 充分发挥产业协同集聚的知识溢出和节能减排效应, 引导高级生产要素流入企业, 提升基础设施网络化、智能化、服务化、协同化水平。其次, 提升软环境建设水平。企业应调整投资策略, 侧重研发与技术引进方面的支出, 着重培

养高水平、多样化人才, 吸纳知识型、创新型人才, 充分发挥产业协同集聚的人力资本效应, 在集聚区域内全面构建协同创新平台。最后, 因地制宜, 因地制宜。对于经济较为先进的东部地区, 要进一步巩固数字产业的领先地位, 推动其与制造业的深度整合; 引进国外尖端技术, 助力制造业的快速转型升级, 为企业数字化进程打下坚实的基础。同时重点促进新能源的使用, 通过辐射效应带动中西部地区的企业绿色创新。与此同时, 中西部地区需汲取东部地区产业调整的经验, 积极引入数字产业, 优化本地制造业链条, 实现两大产业的共同提升。

注释:

- ① 数字制造业包括: 印刷和记录媒介复制业(C23)、文教、工美、体育和娱乐用品制造业(C24)、化学原料和化学制品制造业(C26)、通用设备制造业(C34)、专用设备制造业(C35)、电气机械和器材制造业(C38)、计算机、通信和其他电子设备制造业(C39)以及仪器仪表制造业(C40)。数字服务业包括: 金融业、批发零售贸易业、信息传输计算机服务和软件业、交通仓储邮电业、住宿餐饮业、科研技术服务和地质勘查业、文化体育和娱乐业以及租赁和商业服务业。
- ② 限于篇幅, 具体结果未作呈现, 备索。

参考文献:

- [1] Chen Z, Zhang Y, Wang H, et al. Can green credit policy promote low-carbon technology innovation? [J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 359: 132061.
- [2] 李青原, 肖泽华. 异质性环境规制工具与企业绿色创新激励——来自上市企业绿色专利的证据[J]. 经济研究, 2020, 55(9): 192-208.
- [3] Livio C, Serena S. The economic aspect of digital sustainability: A systematic review [J]. Sustainability, 2021, 13(15): 8241.
- [4] 孙正, 岳文浩, 霍富迎. 我国生产性服务业与制造业协同集聚程度测算研究——基于产业与城市群的视角[J]. 统计研究, 2022, 39(3): 21-33.
- [5] Ellison G, Glaeser E L, Kerr W R. What causes industry agglomeration? Evidence from coagglomeration patterns [J]. American Economic Review, 2010, 100(3): 1195-1213.
- [6] Duranton G, Overman H G. Exploring the detailed location patterns of UK manufacturing industries using microgeographic data [J]. Journal of Regional Science, 2008, 48(1): 213-243.
- [7] Xi Q, Sun R, Mei L. The impact of special economic zones on producer services productivity: Evidence from China [J]. China Economic Review, 2021, 65(1): 35-49.
- [8] 陈建军, 刘月, 邹苗苗. 产业协同集聚下的城市生产效率增进——基于融合创新与发展动力转换背景[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2016, 46(3): 150-163.
- [9] Zwick E, Mahon J. Tax policy and heterogeneous investment behavior [J]. American Economic Review, 2017, 107(1): 217-248.

- [10] James P. The sustainability circle: A new tool for product development and design[J]. *The Journal of Sustainable Product Design*, 1997, 2(2): 52-57.
- [11] 刘军,曹雅茹,吴昊天. 产业协同集聚对区域绿色创新的影响[J]. *中国科技论坛*, 2020(4): 42-50.
- [12] 李福柱,李倩. 知识密集型服务业集聚、高技术制造业集聚及二者协同集聚的创新驱动效应[J]. *科技进步与对策*, 2019, 36(17): 57-65.
- [13] 王燕,孙超. 产业协同集聚对绿色全要素生产率的影响研究——基于高新技术产业与生产性服务业协同的视角[J]. *经济纵横*, 2020(3): 67-77.
- [14] 宋晓玲,李金叶. 产业协同集聚、制度环境与工业绿色创新效率[J]. *科技进步与对策*, 2023, 40(4): 56-65.
- [15] 王俊豪,周晟佳. 中国数字产业发展的现状、特征及其溢出效应[J]. *数量经济技术经济研究*, 2021, 38(3): 103-119.
- [16] 肖仁桥,马伯凡,钱丽,等. 低碳城市试点政策对企业绿色创新的影响及其作用机制[J]. *中国人口·资源与环境*, 2023, 33(5): 125-137.
- [17] 王洪庆,郝雯雯. 高新技术产业集聚对我国绿色创新效率的影响研究[J]. *中国软科学*, 2022(8): 172-183.
- [18] 林伯强,谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率[J]. *经济研究*, 2019, 54(2): 119-132.
- [19] 李培鑫,张学良. 城市群集聚空间外部性与劳动力工资溢价[J]. *管理世界*, 2021, 37(11): 121-136, 183, 9.
- [20] Bas M. The effect of communication and energy services reform on manufacturing firms' innovation[J]. *Journal of Comparative Economics*, 2020, 48(2): 339-362.
- [21] Howard E, Newman C, Tarp F. Measuring industry agglomeration and identifying the driving forces[J]. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(5): 1055-1078.
- [22] 齐绍洲,林岫,崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新? ——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. *经济研究*, 2018, 53(12): 129-143.
- [23] 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): 5-23.

(责任编辑:钟瑶,邹彬)

Research on the Impact of Collaborative Agglomeration of Digital Industry and Manufacturing Industry on Green Innovation of Enterprises

YANG Ligao^{1,2}, WU Peiyun¹, HAN Feng³

(1. *School of Economics and Management, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410076, China*; 2. *Research Institute of High-Quality Industrial Development, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410076, China*;
3. *School of Economics, Nanjing Audit University, Nanjing, Jiangsu 211815, China*)

Abstract: Based on Marshall's theory of agglomeration economy, combining the E-G index method and China's industrial enterprise data and urban panel data to measure the indicators of collaborative agglomeration of digital industry and manufacturing industry, and using the number of green patents of enterprises to characterize the level of green innovation of enterprises, and applying the fixed effect model to consider the impact of collaborative agglomeration of digital industry and manufacturing industry on the green innovation of enterprises, we find that collaborative agglomeration of digital industry and manufacturing industry can promote the green innovation of enterprises through the mechanisms of human capital externalities, knowledge spillover effect mechanism to promote enterprise green innovation, but the mechanism of economies of scale effect does not hold, and the result is still robust after replacing the core variable indicators, considering the extreme values, replacing the fixed effects and endogeneity issues. In view of this, policy measures to promote the greening of enterprises are proposed.

Key words: digital industry; manufacturing industry; cooperative agglomeration; green innovation