

数字物流赋能制造业绿色发展路径

叶婷婷, 林 翊

(福建师范大学经济学院, 福州 350108)

摘要: 双碳目标背景下,数字物流对制造业绿色发展提供了新契机。基于2013—2021年省级面板数据,测算了数字物流水平,同时利用EBM-GML估计法测度了制造业绿色全要素生产率,并采用固定效应模型和中介效应模型探究数字物流与制造业绿色发展水平之间的直接和间接关系。研究表明,数字物流通过数字技术赋能物流业促进资源合理配置、结构优化和绿色生产;数字物流的应用对制造业全要素生产率的提升具有显著影响;数字物流可以通过效率变革、优化能源消费结构和提升技术创新能力三个途径提高制造业绿色发展水平。

关键词: 数字物流; 制造业绿色发展; 技术创新; 能源消费结构; 效率变革

中图分类号: F259.2; F124.5; F49 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)24-0030-08

党的十八届五中全会首次提出绿色发展理念,旨在通过转变经济增长方式,加强绿色技术创新和生态治理能力,实现经济增长和可持续发展。但现阶段,中国超大制造业生产规模和高投入高消耗的生产方式对能源产生了巨大需求。尤其是贯穿生产制造与个人消费整个产业链的物流业,其能源燃料消耗和污染排放量均居前列,亟须探寻新路径推动制造业绿色升级。《“十四五”现代物流发展规划》提出要推动物流与供应链数字化转型,强化物流基础设施数字化改造,实现企业数字化升级。物流凭借数字技术赋能,能够对物流系统中的数字流进行识别、选择、过滤、存储和转换,引导企业与区域物流资源快速整合和优化配置。理论上,区域间资源错配和市场扭曲的改善能提高全要素生产率水平。那么,这是否说明数字物流的发展提升了制造业绿色全要素生产率? 回答这一问题,不仅有助于评估目前我国数字物流具体发展效果,还能为制造业绿色升级转型提供重要启示。

1 文献综述

制造业绿色发展是指在新发展理念指导下,新一代信息技术和绿色制造融合,使得产品在整个生命周期内综合考虑环境因素和生产效率协调的绿色制造模式。学者研究制造业绿色发展主要集中在两方面:一是测算方法。绿色全要素生产率不仅

能反映制造业企业价值创造效率,还可以表示发展过程中资源投入产出效率以及对环境的影响,是能够客观衡量制造业绿色发展水平的指标^[1]。目前测度全要素生产率的方法主要是投入产出法,如数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)、基于松弛变量的测度(slacks-based measure, SBM)模型等,但传统的DEA模型没有考虑到投入或产出的松弛问题,而超效率SBM模型还不能很好地处理同时具有径向和非径向的情况,容易影响研究结果^[2]。为应对这一缺陷, Tone 和 Tsutsui 等^[3]构建了一个结合径向和非径向特点的混合距离模型(Epsilon-based measure, EBM模型);同时, Pastor 和 Lovell^[4]在前人研究的基础上,率先提出全局 Malmquist 指数法(global Malmquist-luenberger, GML),使得估算结果更加准确可靠。二是影响因素。环节规制^[5]、高技术水平、产权结构^[6]、数字经济^[7]等都是影响绿色化发展的重要因素。

结合经济社会数字化转型的时代背景,数字技术如何赋能绿色发展成为新近研究热点。数字物流是在数字技术、机器学习的基础上产生的,主要通过物流系统中各环节进行数字化改造,引导企业与区域间的物流要素与资源协同共生^[8],即数字技术融入物流生产全过程而形成的新物流形态^[9]。数字物流影响制造业转型升级逐渐受到关注,总体归纳为两个部分。从研究机理看,数字物流以推动

收稿日期: 2024-07-26

基金项目: 福建省高校人文社科研究基地互联网创新研究中心基金资助(IIRC20190101);致公党福州市委会有关问题调研课题(B20ESH20136A06)

作者简介: 叶婷婷(2000—),女,福建莆田人,硕士研究生,研究方向为产业经济学;通信作者林翊(1973—),男,福建福州人,博士,副教授,硕士研究生导师,研究方向为产业经济学。

产业集聚、完善要素配置、增强创新与数字治理能力推动制造业绿色发展。在宏观角度上,数字物流可以对生产全过程、全要素进行整合优化,带动产业集聚,进一步促进资源要素的流动^[10],提升服务效率,降低经济全要素流通成本;在微观角度上,数字物流依靠数字技术的分析和决策能力,对生产、制造、管理、服务等各环节进行精细化管理^[11],降低单位物流费用,促进经济高质量发展。从研究方法上看,当前较多学者采用耦合协调度、空间溢出或 Topic 等模型来探讨数字物流与制造业绿色发展之间的影响关系及影响因素,并利用空间杜宾、中介效应等模型进一步探究数字物流对制造业绿色发展的空间溢出效应和中介途径^[12-14]。

综上,随着全球环境问题的日益严峻,绿色发展成为各国关注的重点。数字物流作为降低能耗、提升效率的重要手段,其研究和推广对于应对环境挑战具有重要意义。本文以数字物流为切入点,采用 SBM-GML 法测算制造业绿色全要素生产率,以技术创新、能源消费结构和生产效率为中介变量,从实证的角度揭示数字物流与制造业绿色全要素生产率之间内在机理。区别于已有文献,本文的扩展之处在于:第一,在研究视角上,目前关于数字物流与制造业绿色发展的实证论文不多,多数文献聚焦在理论层面上探讨物流业数字化与经济增长、生态环境之间的关系。而数字物流集成了人工智能、大数据、物联网等前沿技术,研究前沿技术融合传统物流业如何影响制造业绿色发展,可以揭示技术融合在推动可持续发展中的新路径和新模式。第二,研究指标上,本文采取 EBM-GML 法对制造业绿色全要素生产率进行测算,摆脱了过往一些测算模型的局限性,使得结果更具科学性。

2 研究假设和机理分析

制造业绿色发展,是指在制造业发展过程中,通过产品设计绿色化、产品生产清洁化、产业链条数字化、回收利用循环化解决可持续发展问题^[15]。数字物流则可以通过新一代数字技术破除制造业绿色发展中存在的一些主要问题,包括科技创新能力不足、资源利用效率低、绿色转型缺乏动能等。通过打破生产流通过程中的时空限制,推动上述环节技术创新、要素流动、资源合理匹配,促进制造业绿色发展。如图 1 所示。

2.1 动力转换:以技术创新为核心驱动力

数字物流是贯穿生产与消费的重要一环,可以通过知识溢出效应和知识整合效应促进制造业企业优化创新技术资源,提升技术创新水平。具体来说:①知识溢出效应:由于技术存在知识溢出效应,后发制造业企业可以通过观察和模仿学习先发优势企业的先进绿色物流技术知识。这些新知识可以通过学习效应、示范效应和积累效应增加制造业知识存量,并强化已有知识、衍生出新技术和新工艺^[16-17]。②知识整合效应:创新不仅需要整合资源消耗和制造系统信息,而且还涉及企业生产、污染减排等不同领域的知识在组织内创造、整合和扩散^[18-19]。数字物流促进了制造业内部及其供应链的信息交流和协同工作,对各方信息进行收集、加工、处理和应用,深度协同物流、信息流、资金流,有助于不同领域间各类知识元素的整合和重构。与此同时,技术创新又能发挥技术效应、集聚效应和倒逼效应^[20],共同作用促进制造业绿色转型。

尽管数字物流带来的技术创新在整体上对制造业绿色发展有推动作用,但也不能忽视其潜在的负面影响。一是新技术的引入、更新和应用需要大

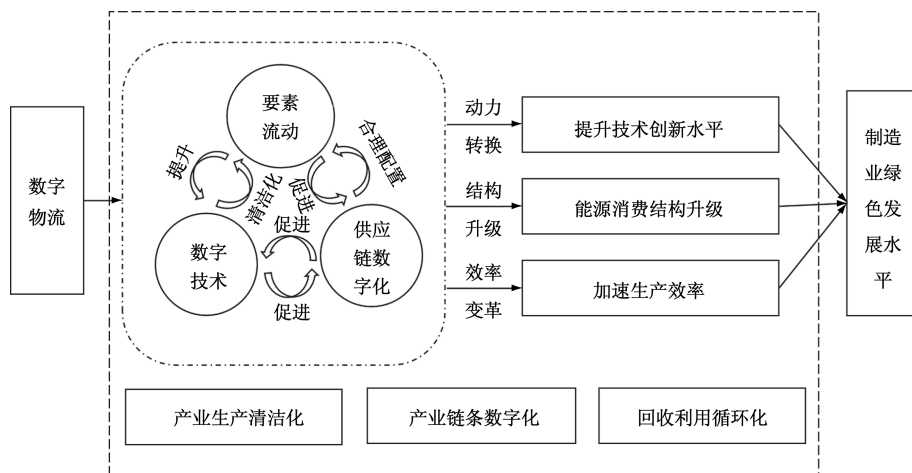


图1 数字物流驱动制造业绿色发展内在机理

量的资金和技术资源投入,这对制造业中小型企业构成负担,进而影响其绿色发展的进度和效果。二是数字物流带来的数字技术应用可能产生新的不平等和“数字鸿沟”现象。相较于中心城市,周边城市的数字基础、制度环境、数字化意识相对落后,数字资源更倾向于流入中心城市,形成“马太效应”,进一步扭曲地区之间的资源配置,阻碍了周边城市制造业绿色发展^[21]。基于此,提出如下假设。

H1a:数字物流能够提高技术创新水平,进而提升制造业绿色发展;

H1b:数字物流提高技术创新水平会对制造业绿色发展存在负向影响。

2.2 结构升级:能源消费结构升级

传统物流业是一个产业关联面非常广的行业,也是能源消耗的主要行业之一,对物流进行能源结构改造能显著促进制造业绿色转型。第一,数据要素的运用推动能源消费结构升级。由于数字技术相比实物要素更具“清洁性”,加大数字技术投入,将替代部分劳动、资本等传统实物要素,减少实物资源消耗和污染排放^[22]。开放的数字网络环境使得物流活动节点能够分享到多种低成本的生产要素和资源^[23],提升物流业生产资料共建共享水平,实现物流业低耗高效。第二,实现资源合理配置,推动生产全环节节能减排。具体来说,在生产环节,数字物流通过提高生产计划和生产调度的精确度,减少生产过程中的能源浪费和损耗;在运输环节,可以深度分析行业数据流,摒弃冗余物流环节,优化物流运作流程,这不仅可以节约物流成本,同时还可以节约不可再生能源的使用,实现制造业的绿色发展;在全流程上,数字物流通过运用数字化技术赋予企业重新塑造生产制造、运维服务和组织管理过程的能力,从而强化其数据洞察和数据决策力,实现对生产、制造、管理、服务等各环节的精细化管理,提升端到端的生产管理效率,以达到全链节能减排的目标。由此,提出如下假设。

H2:数字物流可以升级能源消费结构,通过实现资源合理配置提升制造业绿色水平。

2.3 效率变革:加速制造业生产效率

数字技术赋能传统生产要素,能提升企业对现有生产要素的利用效率,可改进企业生产效率。数字物流对效率的影响主要体现在以下三方面:一是信息透明化。数字技术能够将消费者偏好及企业产品信息转化为数据,生产企业通过分析这些数据,能够预测市场潜在需求并据此确定生产规模,实现“以销定产”的生产模式,有效减少供需不匹配

带来的资源错配^[24]。二是构建数字化供应链,提升协作效率。数字物流会通过数字技术建立一个立体、折叠和交互的架构,这中间点和点、端对端的交互将更加直接与便捷。三是促进形成生产的加速效应。物流业技术创新与推广应用可带来物流业产出水平的增加,进而带动社会其他环节加速循环,导致整个社会的产出率不断加速^[14]。

生产的加速作用会扩大制造业生产规模,然而制造业规模增大可能对制造业绿色发展带来反作用。由于中国制造业仍处于全球价值链中低端,制造业规模增大,意味着高投入、高消耗和高排放的环节增加,会带来污染等非期望产出的增加。此外,过快的数字化进程需要更好的资源条件和组织管理能力,过度依赖数字化可能会抑制制造业生产效率的提高^[25]。基于此,提出如下假设。

H3a:数字物流通过加速生产效率,对制造业绿色发展有正向促进作用;

H3b:数字物流通过加速生产效率,带来规模不经济,对制造业绿色发展有负向抑制作用。

3 模型构建与变量选取

3.1 模型构建

3.1.1 基准模型

为研究数字物流与制造业绿色发展水平之间的关系,首先构建基准面板回归模型:

$$\ln gtfp_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln dt_{it} + \beta_2 \text{control}_{it} + \theta_i + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式中:gtfp、dt和control分别为制造业绿色发展水平、数字物流发展水平和一系列控制变量; β_0 、 β_1 、 β_2 分别为常数项、核心解释变量系数和控制变量系数; ϵ 为随机扰动项; θ 为个体固定效应; i 为省份; t 为时间。

3.1.2 中介效应模型

数字物流可能通过技术创新、能源消费结构和效率变革3个中介变量间接影响制造业全要素生产率。借鉴温忠麟和叶宝娟^[26]的做法,建立中介效应模型(2)和模型(3)。

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln dt_{it} + \beta_2 \text{control}_{it} + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln gtfp_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln dt_{it} + \gamma_2 \text{control}_{it} + \epsilon_{it} \quad (3)$$

式中: M 为中介变量,分别为生产效率(pl)、能源消费结构(str)、技术创新水平(sci); γ_0 为常数项; γ_1 、 γ_2 为相关系数。

3.2 变量选取与说明

3.2.1 制造业绿色全要素生产率测算

本文采用Tone和Tsutsui^[3]提出的EBM模型并结合GML生产率指数,来测算我国省级层面的制造业绿色全要素生产率。根据EBM-GML法,构

建包含资本、劳动力和能源投入以及制造业合意产出与非合意产出的指标体系。参考雷玉桃等^[27]、籍艳丽等^[28]的做法,所选用具体指标数据如下所示。

(1)投入指标。劳动投入选取各省规模以上制造业平均用工人数量衡量;使用制造业全社会固定资产投资来衡量资本投入;由于制造业能源投入省级面板数据缺失,能源投入使用各省综合能源平衡表中的工业终端消费量衡量。

(2)产出指标有期望产出与非期望产出。期望产出选取制造业主营业务收入衡量;非期望产出选取工业三废来衡量,具体指工业废水、废气和固体废弃物排放量。

3.2.2 数字物流水平测算

本文基于数字物流的概念,充分参考李晓梅和崔靛^[12]、周泰^[29]、范合君和吴婷^[30]、崔靛等^[31]的做法,在确立数字物流指标的选取范围时,综合考虑3个核心二级指标:物流业投入、物流业运输能力以及数字化发展水平。首先,物流业投入作为提升数字物流水平的基础性物质保障,其规模和质量直接影响到数字物流体系的建设与运行;其次,物流业运输能力是衡量物流业取得成果的重要标尺,反映了物流系统整体运行效率和质量水平;最后,数字化程度是衡量数字技术成熟度和供给完善性的关键指标,不仅可以反映数字技术在物流领域的应用深度和广度,更对数字物流的持续发展起到强有力的推动作用。因此,在选取数字物流指标时,全面考虑这3个方面,以确保指标体系的科学性、系统性和实用性。具体指标选取如表1所示,并运用熵值

法确定不同维度指标权重。

3.2.3 中介变量选取

制造业生产效率(pl)。采用制造业劳动生产率来反映制造业的生产效率,即各省份制造业产值占制造业从业人数的比例^[32]。①能源消耗结构(str)。选取各省份能源消耗总量占GDP的比例来表示能源消耗结构,该比例越小越能反映能源消费结构的改善。②技术创新(sci)。选取各省份有效发明专利数和新产品的销售收入的交互项来衡量技术创新水平。

3.2.4 控制变量选取

制造业全要素增长率与经济水平、对外开放水平、人力资本、科技水平等因素有关^[33-34],因此,选取如下控制变量:①经济发展水平(gdp),采用人均地区生产总值来衡量;②外贸依存度(fid),采用进出口贸易总和与GDP的比值衡量;③人力资本水平(hum),采用地区总人口来测量;④环境规制强度(envir),采用环境污染治理投资总额与GDP的比值衡量环境规制强度;⑤科技创新强度(tech),采用研究与试验开发(R&D)经费与GDP的比值来衡量。

3.2.5 数据来源与描述性统计

本文研究2013—2021年各省份数字物流水平以及全要素生产率水平。根据数据可得性及完善性,共选取30个省份的数据进行测度(未包含港、澳、台地区及西藏地区)。主要数据来源于《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》及各省的统计年鉴,对于部分数据缺失,采用插值法进行填补,异常值采用均值或临近值补齐。表2为详细数据的描述性统计结果。

表1 绿色全要素生产率及数字物流指标

一级指标	二级指标	评价指标	单位	指标属性
绿色全要素生产率	投入变量	劳动:规模以上制造业平均用工量	万人	+
		资本:制造业全社会固定资产投资	亿元	+
		能源:能源消费终端中用于工业部分	万t	+
	期望产出	制造业主营业务收入	亿元	+
	非期望产出	二氧化硫排放量	万t	—
		工业废水排放量	万t	—
		工业废弃物排放量	万t	—
数字物流	物流业投入	物流业固定资产投资	亿元	+
		物流业从业人员数量	万人	+
	物流业运输能力	货运量	万t	+
		货运周转量	亿t/km	+
		快递业务量	万件	+
	数字化水平发展	移动电话普及率	部/百人	+
		互联网普及率	%	+
		有电子商务交易活动的企业数/企业数	%	+
		电子商务销售额	亿元	+
		电子商务采购额	亿元	+

4 实证分析

4.1 基准回归分析

4.1.1 基准回归结果

首先对基本模型进行回归,通过 Hausman 检验结果说明采取固定效应更合适,因此选择采用固定效应模型进行回归。结果如表 3 所示,其中数字物流的系数为 0.162 且在 5%的水平上显著,说明数字物流制造业全要素生产率存在正向影响。在控制变量的分析中,经济发展和环境规制均在 1%

的显著性水平上发挥作用。其中,经济发展与绿色全要素生产率之间呈现显著的正相关关系,这表明经济的增长对制造业绿色生产具有积极的促进作用。然而,环境规制的系数符号为负,这意味着当前政府实施的环境规制措施可能在一定程度上对制造业绿色全要素生产率的提升产生了抑制作用。这种抑制可能源于环境规制对企业投资规模的挤占效应,进而限制了制造业绿色发展的水平。此外,人口数量在 5%的显著性水平上展现对绿色全

表 2 描述性统计结果

变量	变量符号	观测值	均值	标准误	最小值	中间值	最大值
绿色全要素生产率	gtfp	270	1.251 8	0.268 6	0.805 3	1.199 4	2.276 1
数字物流	dt	270	0.160 0	0.130 1	0.011 3	0.124 7	0.886 6
经济发展水平	gdp	270	6.223 1	2.943 4	2.315 1	5.398 1	18.398 0
人力资本水平	hum	270	0.463 3	0.287 8	0.057 1	0.395 0	1.268 4
外贸依存度	fid	270	0.253 1	0.265 0	0.007 7	0.140 1	1.365 6
科技创新强度	tech	270	0.010 8	0.005 7	0.001 7	0.009 8	0.023 3
环境规制强度	envir	270	0.011 1	0.007 4	0.002 1	0.008 8	0.042 3
能源消费结构	eg	270	0.695 2	0.472 5	0.138 7	0.526 1	2.228 3
技术创新水平	sci	270	0.105 8	0.157 8	0.000 1	0.060 1	1.000 0
生产效率	pl	270	143.980 0	39.352 0	69.121 9	138.280 0	306.650 0

表 3 基准回归结果及内生性检验结果

变量	内生性检验		稳健性检验		
	FE	2SLS	替换被解释变量	缩短样本期	Tobit
lndt	0.162** (2.49)	0.242*** (5.21)	0.046* (1.97)	0.199*** (3.70)	0.289*** (5.05)
lngdp	0.464*** (3.78)	0.095 (1.60)	0.107*** (3.44)	0.414*** (5.58)	0.294*** (4.08)
lnh	-0.955** (-2.28)	-0.199*** (-4.65)	-0.368** (-2.42)	-0.952*** (-2.76)	-0.254*** (-4.06)
lnfid	-0.017 (-0.28)	-0.059*** (-4.10)	-0.032** (-2.37)	-0.020 (-0.61)	-0.107*** (-4.22)
tech	7.028 (0.77)	-16.183*** (-5.43)	-1.371** (-2.21)	-8.357*** (-5.82)	-11.184*** (-6.85)
envir	-8.574*** (-4.24)	-10.000*** (-6.85)	-10.712*** (-4.29)	5.997 (1.01)	-8.853 (-1.58)
常数项	3.297 (0.86)	1.501 (1.45)	2.063* (1.66)	3.903 (1.38)	-0.315 (-0.25)
观测值	270	240	270	240	270
R ²	0.690	0.435	0.353	0.708	
调整后 R ²	0.68	0.42	0.26	0.66	
Durbin P		5.072 (0.024 3)			
Wu-Hausman P		6.864 (0.009 5)			
sigma_u					0.141*** (4.79)
sigma_e					0.111*** (18.07)
diparm1:rho					0.616** (2.66)

注:***、**、* 分别表示 1%、5%、10%的显著性水平;括号内为 t 值。

要素生产率的负向影响。这一结果暗示,当前城市人口数量可能已经超出了其承载能力,从而对制造业的绿色发展造成不利影响。至于财政支出和科技创新,它们对绿色全要素生产率的影响结果并不显著。这可能表明,在当前阶段,财政支出和科技创新对制造业全要素生产率的提升作用并不明显。

4.1.2 内生性检验

若模型中存在遗漏变量、变量互为因果以及选择性偏差都可能导致内生问题。本模型在逐步加入控制变量过程中,数字物流对制造业全要素生产率的系数符号始终为正,且都通过了5%的显著性水平检验,这在一定程度上弱化了内生性问题。但不能就此保证参数估计的一致性,因而使用数字物流滞后一期做两阶段最小二乘法进行回归,结果数字物流对制造业绿色全要素生产率的结果通过了1%的显著性水平检验,且系数始终为正,进行相关性检验, F 为841.889, F 大于10说明是强工具变量。进而进行外生性检验,报告的Durbin和Wu-Hausman的 P 均小于0.025,说明工具变量是外生,具有良好的检验性质。模型通过内生性检验。

4.1.3 稳健性检验

采用缩短样本期、替换被解释变量和更改模型这3种方式对模型进行稳健性检验。第一种是缩短样本期。我国数字经济发展以2015年《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》为重要开端,国家在政策层面出台了许多“互联网+”政策,2015年以后我国数字经济呈井喷式发展,数字物流也得到了很大提升,因而,选取2015—2021年作为样本期,重新对结果进行回归。第二种是替换被解释变量,选用SBM-GML模型重新测算省级层面全

要素生产率,进而对原测算的全要素生产率进行替换回归。第三种是更改测算模型,由于被解释变量是介于0~1的速率,属于受限因变量,因而采用Tobit重新进行回归。通过表3检验结果可以看出,核心解释变量在3种稳健性检验回归中除系数的大小有所差异,符号以及显著性等均未发生明显变化,仍然说明提升数字物流发展水平能提高绿色全要素生产率,结果说明本文所使用的方法是可信的,通过稳健性分析。

4.2 中介机制检验

采用三步回归法和Bootstrap方法(500次抽样)检验中介效应的显著性。表4列(1)汇报了数字经济对绿色全要素生产率的总效应。进一步地,3个中介模型中的列(2)、列(4)、列(6)分别汇报了中介效应检验第一步的回归结果,结果表明数字物流不仅提升了制造业生产效率、技术创新水平,还有效地降低了能源消费结构,且都在1%的水平上显著。在生产效率中介模型中,生产效率的提升可以显著促进制造业绿色发展,并且数字物流的系数在控制生产效率后仍然显著为正,这说明数字物流发展对制造业绿色全要素生产率依然存在促进作用。在能源消费结构中介模型中,列(5)报告了能源消费结构对制造业绿色全要素生产率的影响,其系数在1%的水平上显著为负,说明数字物流发展通过降低能源消费比重、优化能源消费结构,带动了制造业绿色发展。同理,由技术创新中介模型结果可得,技术创新水平在1%的水平上显著提高了制造业绿色全要素生产率。综上,生产效率、能源消费结构和技术创新水平是数字物流驱动制造业绿色发展的中介变量,H1a、H2、H3a得证。此外,通过

表4 中介效应回归结果

变量	(1)	生产效率中介模型		能源消费结构中介模型		技术创新中介模型	
	lngtfp	(2) lnpl	(3) lngtfp	(4) lneg	(5) lngtfp	(6) lnsci	(7) lngtfp
lndt	0.162** (2.49)	0.2426*** (0.0502)	0.0563*** (0.0141)	-0.2650*** (0.0387)	0.1179** (0.0559)	0.5056*** (0.0887)	0.1362** (0.0547)
lnpl			0.9994*** (0.0175)				
lneg					-0.2579*** (0.0175)		
lnsci							0.0989*** (0.0377)
常数项	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后 R^2	0.6800	0.6740	0.9748	0.7494	0.6357	0.8019	0.6325
观测值	270	270	270	270	270	270	270
Bootstrap 95%的置信区间		[0.052,0.113]		[0.013,0.093]		[0.019,0.095]	

注:***、**、* 分别表示1%、5%、10%的显著性水平;括号内为标准误。

对这三者进行 Bootstrap 检验,95%的置信区间均不包含0,进一步证明了 H1a、H2、H3a 成立。

5 结论与建议

近年来,数字物流迅猛发展助力制造业转型。本文基于省级面板数据采用固定效应模型实证研究数字物流与制造业绿色发展之间的关系,进一步聚焦于生产效率、能源消费结构和技术创新这3个中介变量的作用。研究结论表明,①数字物流能显著促进制造业绿色发展,并通过了内生性检验及稳健性检验;②数字物流能通过提升制造业生产效率进而促进制造业绿色发展;③数字物流通过优化配送路线和提高物流效率,有助于优化能源消耗结构,从而提升制造业绿色全要素生产率;④数字物流促进了制造业内部及其供应链的信息交流和协同工作,加速了技术创新和新产品开发过程,对制造业绿色发展产生正面影响。

基于以上实证研究结果,本文提出如下建议:第一,加强数字物流技术的研发与应用。制造业企业应积极引入先进的数字物流技术,提升物流运作的智能化和自动化水平,优化生产流程与管理模式,实现生产过程的可视化和可控化,提升生产效率和管理精细化水平。第二,建立数字物流与能源消费的协同机制。鼓励制造业企业通过数据和信息共享,实现数字物流技术与能源消费结构的优化匹配。响应国家能源政策,减少对传统高污染能源的依赖,增加清洁和可再生能源的使用。第三,推动技术创新与产业升级。加大对制造业技术创新的支持力度,鼓励企业加强技术研发,推动产业升级和转型发展,提高制造业的技术水平和附加值,增强核心竞争力。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 胡日东, 汤锦锋, 宋红艳. 环境规制、绿色技术创新与制造业绿色全要素生产率[J]. 工业技术经济, 2023, 42(7): 113-122.
- [3] TONE K, TSUTSUI M. An epsilon-based measure of efficiency in DEA: a third pole of technical efficiency[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(3): 1554-1563.
- [4] PASTOR J T, LOVELL C A K. A global Malmquist productivity index[J]. Economics Letters, 2005, 88(2): 266-271.
- [5] 张宁, 张维洁. 中国用能权交易可以获得经济红利与节能减排的双赢吗? [J]. 经济研究, 2019, 54(1): 165-181.
- [6] 庄芹芹. 全要素生产率研究前沿综述——基于外文文献的研究[J]. 科技和产业, 2021, 21(5): 160-165.
- [7] 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.
- [8] 王术峰. 数字物流理论刍议[J]. 供应链管理, 2023, 4(1): 51-65.
- [9] 罗瑞, 王琴梅. 数字物流高质量发展水平区域差异及空间收敛性研究[J]. 统计与决策, 2022, 38(17): 109-113.
- [10] 杨守德, 李佳. 数字物流、产业集聚与城乡融合发展[J]. 统计与决策, 2023(14): 104-108.
- [11] 肖瑶. “双碳”目标背景下数字物流对流通业碳减排的影响研究[J]. 商业经济研究, 2023(4): 85-88.
- [12] 李晓梅, 崔靓. 数字物流、区域经济与碳环境治理耦合及影响因素——基于我国30个省级面板数据的实证检验[J]. 中国流通经济, 2022, 36(2): 11-22.
- [13] 马晓君, 聂昀秋, 肖潇. 数字物流赋能可持续发展的机制与效应——基于物流碳生产率视角[J]. 中国流通经济, 2024, 38(4): 68-79.
- [14] 王琴梅, 罗瑞. 物流业高质量发展对区域全要素生产率的影响研究——来自中国264个城市的证据[J]. 软科学, 2023, 37(1): 58-68.
- [15] 乔岳. 碳中和目标下中国制造业绿色发展之路[J]. 人民论坛·学术前沿, 2023(5): 59-70.
- [16] 田潇潇, 郭克莎. 绿色制造技术创新对制造业绿色发展的影响[J]. 经济理论与经济管理, 2023, 43(8): 4-17.
- [17] 罗瑞, 王琴梅. 中国城市数字经济对物流业高质量发展的影响[J]. 城市问题, 2022(6): 35-46.
- [18] 宋德勇, 朱文博, 丁海. 企业数字化能否促进绿色技术创新? ——基于重污染行业上市公司的考察[J]. 财经研究, 2022, 48(4): 34-48.
- [19] 于飞, 刘明霞, 王凌峰, 等. 知识耦合对制造企业绿色创新的影响机理——冗余资源的调节作用[J]. 南开管理评论, 2019, 22(3): 54-65.
- [20] 聂长飞, 卢建新, 冯苑, 等. 创新型城市建设对绿色全要素生产率的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(3): 117-127.
- [21] 吴传清, 孟晓倩. 长江经济带数字化转型对制造业绿色发展影响研究[J]. 南通大学学报(社会科学版), 2022, 38(6): 37-47.
- [22] 罗军. 数字化如何赋能制造业绿色发展[J]. 当代财经, 2023(7): 108-120.
- [23] METCALFE B. Metcalfe's law after 40 years of ethernet[J]. Computer, 2013, 46(12): 26-31.
- [24] 温涛, 陈一明. 数字经济与农业农村经济融合发展: 实践模式、现实障碍与突破路径[J]. 农业经济问题, 2020(7): 118-129.
- [25] GEBAUER H, FLEISCH E, LAMPRECHT C, et al. Growth paths for overcoming the digitalization paradox [J]. Business Horizons, 2020, 63(3): 313-323.
- [26] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.
- [27] 雷玉桃, 张淑雯, 孙菁靖. 环境规制对制造业绿色转型

- 的影响机制及实证研究[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(23): 63-70.
- [28] 籍艳丽, 辜子寅, 薛洁. 环境规制对工业绿色全要素生产率的波特效应[J]. 统计与决策, 2022, 38(7): 82-86.
- [29] 周泰. 低碳视角下区域物流与生态环境协调发展研究[J]. 统计与信息论坛, 2021, 36(6): 62-72.
- [30] 范合君, 吴婷. 中国数字化程度测度与指标体系构建[J]. 首都经济贸易大学学报, 2020, 22(4): 3-12.
- [31] 崔靓, 李晓梅, 姚若羲. 数字物流、生态环境治理与区域经济增长的耦合协调度分析[J]. 统计与决策, 2023, 39(1): 29-33.
- [32] 王立勇, 吕政. 制造业集聚与生产效率: 新证据与新机制[J]. 经济科学, 2021(2): 59-71.
- [33] 卢福财, 刘林英, 徐远彬. 互联网发展对工业绿色全要素生产率的影响研究[J]. 江西社会科学, 2021, 41(1): 39-50.
- [34] 张帆, 施震凯, 武戈. 数字经济与环境规制对绿色全要素生产率的影响[J]. 南京社会科学, 2022(6): 12-20.

Green Development Path of Manufacturing Enabled by Digital Logistics

YE Tingting, LIN Yi

(School of Economics, Fujian Normal University, Fuzhou 350000, China)

Abstract: Under the dual carbon goals, digital logistics offers a new green development path for the manufacturing industry. Using the provincial panel data from 2013 to 2021, digital logistics levels was measured and manufacturing's green total factor productivity (GTFP) via EBM-GML was assessed. Furthermore, fixed effects models and mediation effect models were employed to explore the direct and indirect relationships between digital logistics and the green development of the manufacturing industry. The research indicates that digital logistics enhances resource allocation, structural optimization, and green production. Moreover, the application of digital logistics has a significant impact on enhancing the total factor productivity of the manufacturing industry. Digital logistics can elevate the level of green development in the manufacturing industry through three avenues, such as efficiency transformation, optimization of energy consumption structure, and enhancement of technological innovation capabilities.

Keywords: digital logistics; green development of the manufacturing industry; technological innovation; energy consumption structure; efficiency transformation