

欢迎按以下格式引用:汪发元,张东晴.数字经济、科技创新对生态保护的影响——基于长江经济带2011~2020年数据的实证分析[J].长江大学学报(社会科学版),2023,46(1):58-67.

# 数字经济、科技创新对生态保护的影响

## ——基于长江经济带2011~2020年数据的实证分析

汪发元 张东晴

(长江大学 经济与管理学院,湖北 荆州 434023)

**摘要:**基于长江经济带2011~2020年数据,应用空间杜宾模型和中介效应模型,实证分析数字经济、科技创新对生态保护的影响。结果显示:数字经济、科技创新总体上对生态保护有显著促进作用,并且在滞后一期及交互项条件下,也表现出显著的正向空间溢出效应;数字经济和科技创新的交互融合能有效降低环境污染、资源消耗,并表现出显著的空间溢出效应;数字经济在影响生态保护的过程中,科技创新起到了部分中介作用。因此,应当提高对数字经济和科技创新的认识,抓好重点产业和重点领域的应用;强化数字经济与科技创新交叉融合,做好统筹推进和全面谋划并落实;紧紧围绕“卡脖子”技术抓好科技创新,充分发挥多种生产要素协同作用。

**关键词:**数字经济;科技创新;生态保护;空间效应;中介效应

**分类号:**X324 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-1395(2023)01-0058-10

### 一、引言

习近平总书记在中国共产党二十大报告中明确指出,要“推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”。落实党的二十大精神,必须结合我国十四五规划纲要,“加快数字化发展,建设数字中国”“坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位,把科技自立自强作为国家发展的战略支撑”。在十四五期间,我国确立了以数字经济和科技创新为根本手段、以生态文明高水平 and 高质量发展为目标的生态保护方略。这充分彰显了数字经济、科技创新与生态保护之间密切的内在逻辑联系。但是,要提升生态保护的效果,必须洞悉数字经济、科技创新与生态保护之间的内在机理,为精准地制定政策提供科学依据。特别是长江经济带在我国经济发展中具有特殊的地位,

是一个必须高度重视的区域。因此,研究长江经济带数字经济、科技创新对生态保护的影响效果,具有重要的现实意义。

### 二、文献综述

早在2021年,习近平总书记在中共中央政治局第三十四次集体学习时就强调“把握数字经济发展趋势和规律推动我国数字经济健康发展”<sup>[1]</sup>。数字经济已经渗透到国际国内社会和经济发展的诸多方面,我国经济和社会发展已经深度嵌入全球价值链,在构建国际国内双循环新格局中,数字经济在嵌入全球价值链与产业结构升级中发挥着巨大的调节作用<sup>[2]</sup>。数字技术引领中国经济和社会向数字产业化和产业数字化转型,推动产业结构向高科技、数字化和绿色化方向升级。科技创新助力数字经济发展,

收稿日期:2022-09-28

基金项目:国家社会科学基金一般项目“‘双碳’目标下政府环境治理与民营企业绿色发展协同机制与路径研究”(22BGL082)

第一作者简介:汪发元(1961-),男,湖北天门人,教授,主要从事区域经济和农业经济研究。

通信作者:张东晴(1997-),女,新疆塔城人,主要从事区域经济和农业经济研究,E-mail:1563550832@qq.com。

数字经济推动产业结构升级,并与产业结构升级形成双绿色驱动,显著提升生态环境质量<sup>[3]</sup>。数字经济发展通过优化资本配置,对不同的产业产生或助力发展或抑制发展的不同作用,进而提升绿色全要素生产率<sup>[4]</sup>,改善生态环境质量。绿色科技创新能力和水平的提升,为长江经济带绿色低碳发展提供了重要动力,表现出显著的正向驱动效应,发挥了重要的支撑作用<sup>[5]</sup>。虽然已有研究明确了数字经济、绿色科技创新对产业结构升级的作用,但在长江经济带区域,数字经济、科技创新对生态保护到底发挥了怎样的效应?其中的机理是什么?三者之间存在什么样的内在逻辑关系?已有研究并没有回答这些问题。为了准确回答这些问题,为国家完善长江经济带生态保护政策提供科学依据,本研究将数字经济、科技创新与生态保护纳入同一框架,用于考察其在长江经济带区域的具体效应和机理。为此,本研究有三个独特的贡献:一是定量测定长江经济带区域数字经济、科技创新对生态保护的空间效应;二是考察数字经济、科技创新交叉融合条件下,对环境污染、资源消耗和环境保护的不同影响及空间效应;三是揭示数字经济推动生态保护的过程中,科技创新的作用机理。从而为国家制定和完善长江经济带生态保护政策提供科学依据。

数字经济因其强力的突破性、深度的渗透性、覆盖的广泛性,而深度嵌入经济、管理、生产、生活等各个领域的实践之中,也因其对社会、经济和管理的深刻影响而受到学术界的关注与研究。特别是数字经济与科技创新的结合,深刻地影响着中国城乡居民的观念,影响着产业结构、生产和生活方式的变革,进而影响到经济发展的质量及生态环境的治理和效果。综观近年来学术界的研究,可以归纳为五个方面:

(1)数字经济对产业结构的影响。数字经济是产业结构优化升级的重要推动力,其作用的内在机理表现在多个方面。数字经济作用于具体的产业,起到了优化产业间协调程度、增加产业间聚合质量和效果的作用,从而促进产业结构整体素质和效率的提升<sup>[6]</sup>。数字经济促进市场的消费需求,潜移默化地影响中国经济制度变革<sup>[7]</sup>,同时,数字经济在多种生产要素与产业结构中还发挥着部分中介作用,推动着技术创新和金融发展<sup>[8]</sup>。在共抓大保护的背景下,绿色技术创新是助力产业结构升级的关键因

素,而数字经济可以直接促进绿色技术创新,发挥着间接推动产业结构升级的重要作用<sup>[9]</sup>。当然数字经济与产业结构升级之间也并不是单向关系,数字经济与制造业结构合理化和高级化均存在显著的双向互动效应,而且人力资本的数字素养也会在制造业结构高级化的过程中得到显著提升<sup>[10]</sup>。

(2)数字经济对区域和产业创新的影响。区域创新和产业创新是推动社会和经济发展的内在动力,数字经济发挥了显著的促进作用,并在要素市场化配置中显示出空间溢出效应<sup>[11]</sup>。数字技术作用的发挥以实体经济为核心载体,规模以上工业企业大量应用数字技术,对传统企业形成巨大冲击,能够显著促进宏观经济长期增长<sup>[12]</sup>。政府仍然在区域创新和产业创新中发挥着决定性作用,政府通过数字化转型高效服务区域创新发展,能够有效地激发企业家精神,显著提升高技术产业创新效率<sup>[13]</sup>。数字经济以其高创新性、强渗透性、广覆盖性,深刻影响着社会管理、经济发展的各个方面,并作为一种载体在数字政府与绿色技术创新中有效地发挥着促进作用<sup>[14]</sup>。

(3)数字经济对高质量发展的影响。数字经济既是高质量发展的重要支撑,也是高质量发展的表现形式之一。数字经济既可以直接促进经济高质量发展,又可以通过提高区域创新水平与加快产业结构升级,间接影响经济高质量发展,其效应逐渐向周边区域溢出<sup>[15]</sup>。数字技术渗透于生产活动的全过程,既促进各类生产要素的协同,又提升资源配置效率,从而引发产业模式的组织变革,推动产业跨界融合,驱动产业效率提升<sup>[16]</sup>。绿色环保发展能促进经济高质量发展<sup>[17]</sup>,而且是高质量发展的重要内容,一方面数字经济能够有效地促进技术进步和效率改进,并在政府环境规制中发挥重要的调节作用,促进绿色全要素生产率增长<sup>[18]</sup>;另一方面数字经济从提升城市产业结构、提高城乡居民生活追求上推动城市绿色转型发展,丰富了高质量发展的内涵<sup>[19]</sup>。

(4)数字经济对生态环境的影响。数字经济对环境治理的作用主要表现为能显著降低区域碳排放强度,其实质性贡献主要在于“数字产业化”<sup>[20]</sup>。数字经济通过其高强度的渗透性,与产业和行业充分融合,能有效地促进资源配置效率提高及产业水平的提升,从而减少污染物排放<sup>[21]</sup>。数字经济的发展有其固有的格局,由初期的“多点式”零星分布向成长期的“组团式”聚集形态转变,并表现出明显的区域异质性和显著的空间溢出效应<sup>[22]</sup>。

(5)其他关于生态环境的研究。生态环境是经济社会发展水平和发展能力的综合反映,反过来经济社会的发展模式又是影响生态环境质量的主要驱动力。“两山”理论立足经济—环境系统的协调性,既促进经济高质量发展,又有力地保证了高质量的生态环境<sup>[23]</sup>。深入考察生态环境的形成,可以从多种因素综合影响的层面进行解析。城市土地价格的扭曲会引起土地资源与产业的错配,阻碍传统工业的技术创新和生态环境质量的改善<sup>[24]</sup>。有学者以长三角为例,研究城镇化与生态环境的关系,结果显示,在长三角区域,城镇化对本城市生态环境质量有明显的改善作用,对相邻城市有较小的负向影响<sup>[25]</sup>。随着产业结构升级和经济发展方式的改变,我国经济发展与生态环境之间的协同性不断增强,而且数字金融通过促进技术创新、产业结构优化、带动投资调整等途径,有效地促进了经济发展与生态环境的协同性提升<sup>[26]</sup>。

上述研究比较全面地剖析了数字经济对产业结构、产业创新、区域创新、经济高质量发展以及生态环境的影响效果和影响机理,为进一步研究数字经济的效应奠定了良好的基础。但由于研究的宗旨不同,研究的视角各异,少有学者将数字经济、科技创新与生态环境纳入同一框架进行研究。特别是长江经济带区域是需要举国家之力、全国上下共抓大保护的重点区域,其生态环境的整治已经取得了巨大的成就,而且还将长期持续地做好生态整治和修复工作。如何充分利用数字技术的成就,充分依靠科学技术的进步,发挥数字经济在新时代的作用,共同抓好生态保护工作是十四五时期及未来若干年的一项长期任务。为此,探讨长江经济带区域数字经济、科技创新对生态保护的影响效果,解析其中的机理具有重要的现实意义。

### 三、理论基础与研究假设

基于数字经济的特点、科技创新的作用,以及数字经济与生态保护之间的内在逻辑关系,进行理论分析并提出假设。

假设 1:数字经济、科技创新分别对生态环境具有显著的影响,对不同维度的影响具有异质性。数字经济以其覆盖的广泛性深入地促进产业结构高级化,同时,影响到人们消费结构的升级与发展。而这些必然影响到生态保护的各个方面,生态保护本身具有复杂性,又可以分为环境污染、资源消耗和环境保护三个维度,由于数字经济、科技创新又深刻地嵌

入到经济、社会和生态保护的各个方面,必然对不同的方面产生不同的影响效果。

假设 2:数字经济、科技创新交叉融合对生态保护产生促进作用,并具有空间溢出效应。生态保护本身具有复杂性、多维度性,同时,受多种要素的综合影响。数字经济可以促进产业结构的升级,而数字经济本身就是科技创新的产物,同时,在产业结构升级中,除了数字经济本身外,还需要科技创新的全方位支持。因此,只有数字经济、科技创新交叉融合,才能对生态保护产生促进作用。长江经济带区域一体化正在加速形成,而区域一体化的显著特征是产业布局一体化、生态保护政策一体化,因此,数字经济、科技创新交叉融合对生态保护具有空间溢出效应。

假设 3:科技创新在数字经济对生态环境的影响中发挥着部分中介作用。数字经济因为对产业结构升级的作用而影响到生态保护,同时,数字经济通过影响人们的消费理念、消费行为而作用于生态保护。但这种作用仅仅依靠数字经济的作用,仍然还是非常有限,因为生态保护是个系统工程,需要多种要素的综合作用。科技创新以其作用的深刻性而存在,而数字经济作用于生态保护时,可能需要以科技创新为中介,至少部分依赖科技创新,才能发挥出应有的作用。

## 四、变量说明与模型设定

### (一)变量选取

#### 1.被解释变量

被解释变量为生态保护( $EP$ )。借鉴孙继琼<sup>[27]</sup>的研究,构建由环境污染、资源消耗和环境保护 3 个二级维度,包含 9 个具体指标的生态保护( $EP$ )综合评价体系(如表 1 所示)。其中:环境污染、资源消耗的绝对值越低则表明生态保护效果越好,环境保护的绝对值越高则表明生态保护效果越好。选择运用熵值法对所属指标进行客观赋权,以客观科学评价长江经济带生态保护的水平。

#### 2.解释变量

解释变量包括数字经济( $DE$ )和科技创新( $TI$ )。关于数字经济的衡量指标参考李宗显等(2021)的研究<sup>[28]</sup>,选择互联网、金融发展等能够显示数字经济发展水平的 5 个指标,构建数字经济指标体系,以全面衡量数字经济发展情况。通过采用熵值法对各指标进行客观赋权,以获得数字经济综合评价指数(见表 2)。关于科技创新水平的衡量指标,按照学术界



最常用的办法,选择专利授权数量来衡量科技创新。专利授权数越多,说明该地区科技创新水平越高。

表 1 生态保护评价指标体系及权重

维度层(权重)	指标层	单位	属性	权重
环境污染(0.3161)	单位 GDP 固体废弃物产生量	吨/万元	—	0.0755
	单位 GDP 废水排放量		—	0.1116
	单位 GDP SO <sub>2</sub> 排放量		—	0.1289
资源消耗(0.1819)	单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	—	0.1356
	单位 GDP 电耗	千瓦时/元	+	0.0463
环境保护(0.5020)	建成区绿化覆盖率	%	+	0.0471
	生活垃圾无害化处理率	%	+	0.2376
	环境空气质量优良率	%	+	0.1773
	工业治污费用占 GDP 比重	%	+	0.0401

注: +、- 分别表示该指标为正向、负向指标,下同。

表 2 数字经济综合评价指标体系

维度层	指标层	计算方法	属性	权重
数字经济	数字金融发展	中国数字普惠金融指数	+	0.1459
	互联网普及率	互联网用户数占常住人口比重	+	0.2128
	移动电话普及率	移动电话用户数占常住人口比重	+	0.2100
	互联网相关产出	人均电信业务量	+	0.2093
	互联网相关从业人员	信息传输、软件和信息技术服务业从业人员	+	0.2221

3.控制变量

由于生态保护受到多方面因素的综合作用,本研究选取环境保护投资(*EPI*)、民用汽车量(*PCAR*)、教育水平(*EL*)、金融结构(*FS*)和产业结构升级(*IUP*)作为控制变量。环境保护投资(*EPI*)用国家在环境保护上的支出表示,较高的环境保护投资能够为生态保护发展提供充足的资金支持。民用汽车量(*PCAR*)由民用汽车拥有量进行衡量,居民汽车数量的增长会造成大气环境污染,进而影响生态保护发展。教育水平(*EL*)由高等学校在校学生数与地区总人口的比值表示,人才作为社会发展的根本动力,能够为生态保护发展贡献源源不断的动力。金融结构(*FS*)由金融机构存款与贷款的比

值表示,良好的金融结构可以引导资源要素合理流动,从而影响生态保护发展。产业结构升级(*IUP*)表示的是产业结构的比重关系,以第二、三产业值总和占 GDP 的比重进行衡量。随着产业结构的升级,土地的利用方式得到改变,有利于改善生态环境。

(二)数据说明

本研究数据主要来源于国家统计局网站和相关省(市)公报,个别缺失值应用线性插值法补全。为了消除可能存在的“异方差”问题,先将科技创新、环境保护投资和民用汽车量等变量取自然对数,然后再引入计量模型,运用 Stata15.0 软件进行处理,得到各变量的基本特征值。具体见表 3。

表 3 变量基本特征值

变量	符号	观察值	均值	标准差	最小值	最大值
生态保护	<i>EP</i>	110	0.3373	0.1842	0.0830	0.7621
数字经济	<i>DE</i>	110	0.3363	0.2718	0.0268	0.8721
科技创新	<i>LNTI</i>	110	10.4824	1.0004	8.1274	13.1204
环境保护投资	<i>LNEPI</i>	110	4.9591	0.5035	3.7787	6.0580
民用汽车量	<i>LNPCAR</i>	110	6.2580	0.6408	4.8651	7.6732
教育水平	<i>EL</i>	110	1.8947	0.4406	0.9748	2.8568
金融结构	<i>FS</i>	110	1.3298	0.1930	0.8772	1.9435
产业结构升级	<i>IUP</i>	110	0.9127	0.0414	0.8421	0.9973

表 3 显示了各变量的基本特征。其中生态保护的均值为 0.3373,标准差为 0.1842;数字经济的均值为 0.3363,标准差为 0.2718;科技创新的均值为 10.4824,标准差为 1.0004。比较三个核心变量的特点,科技创新的标准差最大,数字经济的标准差其次,生态保护的标准差最小。说明长江经济带不同省市之间科技创新能力差异最大,数字经济发展水平其次,生态保护水平最为接近。总体上反映了长江经济带区域不同省市之间发展不平衡,在一些反映区域发展的核心指标上客观上存在差异性。

(三)模型设计

1.空间杜宾模型

基于研究区域的特点,构建空间杜宾模型(SDM 模型),为了检验模型的稳健性,在模型中引入生态保护的一阶滞后项  $EP_{it-1}$  和一阶滞后项的空间滞后项  $W_{ij} * EP_{it-1}$ ,模型的具体表达如下:

$$EP_{it} = \delta EP_{it-1} + \tau W_{ij} * EP_{it-1} + \rho W_{ij} * EP_{it} + \beta_0 + \beta_1 DE_{it} + \beta_2 LNTI_{it} + \beta_3 Col_{it} + \beta_4 W_{ij} DE_{it} + \beta_5 W_{ij} * LNTI_{it} + \beta_6 W_{ij} * Col_{it} + \mu_i + \theta_t + \epsilon_{it} \tag{1}$$

为了分析数字经济和科技创新两者交互项对生态保护的影响,在式(1)中引入数字经济和科技创新的交互项  $DE\_LNTI$ ,构建以下动态空间杜宾模型:

$$EP_{it} = \delta EP_{it-1} + \tau W_{ij} * EP_{it-1} + \rho W_{ij} * EP_{it} + \beta_0 + \beta_1 DE_{it} + \beta_2 LNTI_{it} + \beta_3 DE\_LNTI_{it} + \beta_4 Col_{it} + \beta_5 W_{ij} * DE_{it} + \beta_6 W_{ij} * LNTI_{it} + \beta_7 W_{ij} * DE\_LNTI_{it} + \beta_8 W_{ij} * Col_{it} + \mu_i + \theta_t + \epsilon_{it} \tag{2}$$

式(1)和(2)中  $W_{ij}$  为空间权重矩阵; $\beta_i$  为待估系数; $Col$  为控制变量列向量,包括  $LNEPI$ 、 $LNPCAR$ 、 $EL$ 、 $FS$  和  $IUP$ ; $\mu_i$  代表空间固定效应; $\theta_t$  代表时间固定效应; $\epsilon_{it}$  为随机误差项。为了研究长江经济带区域的空间效应,本研究在模型中引入地理距离权重矩阵,矩阵的数学表达式如下:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1/d_{ij} & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases} \tag{3}$$

上式中, $d_{ij}$  为省(市) $i$  和省(市) $j$  省会所在城市之间的欧式距离。

2.中介效应模型

中介效应的检测方法越来越多,鉴于本文数据为长江经济带 2011 ~ 2020 年的连续数据,且进行了标准化处理,因此,借鉴温忠麟<sup>[29]</sup>的研究方法,采

用简单中介效应模型进行线性回归分析。模型构成如下:

$$Y = (c' + ab)X + \epsilon_1 b + \epsilon_2 \tag{4}$$

上式中  $c'$  是  $X$  对  $Y$  的直接效应, $ab$  是解释变量  $X$  对被解释变量  $Y$  的中介效应, $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$  为残差。

为进一步探究数字经济、科技创新与生态保护的关系,选择中介效应模型验证科技创新在数字经济影响生态保护过程中发挥的作用,是否承担了中介效应,以及承担的是完全中介效应还是部分中介效应。基于本文的变量和数据特点,构建以下中介效应模型:

$$EP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DE_{it} + \alpha_2 Col + \epsilon_{it} \tag{5}$$

$$LNTI_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 DE_{it} + \varphi_2 Col + \epsilon_{it} \tag{6}$$

$$EP_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 DE_{it} + \gamma_2 LNTI_{it} + \gamma_3 Col + \epsilon_{it} \tag{7}$$

在模型(5)~(7)中, $EP_{it}$  表示  $i$  省(市)在  $t$  年份的生态保护发展, $DE_{it}$  表示  $i$  省(市)在  $t$  年份的数字经济水平, $LNTI_{it}$  表示  $i$  省(市)在  $t$  年份的科技创新水平, $Col$  代表控制变量, $\alpha_i$ 、 $\varphi_i$ 、 $\gamma_i$  为待估的变量系数, $\epsilon_{it}$  为随机扰动项。

五、实证检验与分析

(一)相关检验

在空间计量模型中,空间相关性反映的是不同地区的空间位置越相近,属性就越相同,进而呈现出相似的空间现象。按照计量经济学的办法,测算变量的全域莫兰指数( $I$ ) 确定是否具有空间相关性。全局莫兰指数( $Moran'I$ ) 的计算表达式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \tag{8}$$

上式中, $w_{ij}$  为空间权重矩阵, $n$  代表样本地区数量, $Y_i$  和  $Y_j$  分别表示地区  $i$  和地区  $j$  的具体指标值。 $I$  的取值范围为 $[-1,1]$ ,如果  $I > 0$  或  $I < 0$ ,则表示研究对象存在空间相关性。如果  $I = 0$ ,则变量之间不存在空间相关性。本文生态保护( $EP$ ) 的全域莫兰指数结果见表 4。

如表 4 所示,长江经济带 2011~2020 年生态保护的莫兰指数均在 1%或 5%的显著水平上为正值。说明长江经济带各省(市)之间生态保护存在显著的空间正相关性。因此,应用空间计量模型进行研究具有可行性。

首先,经过 LM 检验,确定选择使用 SDM 模型;

其次,通过 Hausman 检验,确定构建固定效应模型;再次,经过 Wald 检验和 LR 检验,进一步确定选择 SDM 模型;最后,通过 LR 检验,确定选择空间时间双固定效应的空间杜宾模型。检验结果见表 5。

表 4 生态保护的全局莫兰指数

年份	<i>I</i>	<i>Z</i>	年份	<i>I</i>	<i>Z</i>
2011	0.144 **	2.277	2016	0.203 ***	3.179
2012	0.108 **	2.188	2017	0.228 ***	3.543
2013	0.212 ***	3.339	2018	0.234 ***	3.897
2014	0.198 ***	3.146	2019	0.188 ***	3.497
2015	0.185 ***	2.971	2020	0.183 ***	3.365

注: \*\*、\*\*\* 分别表示在 5%、1% 概率水平下显著,下同。

表 5 模型选择相关检验结果

检验类型	原假设	显著度	结果
LM 检验	SEM 模型	12.448 ***	SDM 模型
	SEM 模型(稳健)	42.829 ***	
	SLM 模型	5.017 **	
	SLM 模型(稳健)	35.390 ***	
Hausman 检验	随机效应	22.650 ***	固定效应
Wald 检验	SEM 或 SLM 模型能简化为 SDM 模型	114.220 ***	
LR 检验	SDM 模型能简化为 SEM 模型	29.780 ***	拒绝
	SDM 模型能简化为 SLM 模型	30.330 ***	
	空间固定效应模型优于双固定效应模型	16.780 *	SDM 模型
	时间固定效应模型优于双固定效应模型	37.080 ***	

(二)模型分析

1.空间模型结果分析

为更深入探究数字经济与科技创新对生态保护的空间影响效应,运用 Stata15.0 软件,使用极大似然估计法对模型(1)、(2)进行估计分析,结果如表 6 所示。

表 6 动态空间杜宾模型估计结果

变量	模型(1)	模型(2)	变量	模型(1)	模型(2)
<i>DE</i>	6.8063 *** (24.68)	17.5074 *** (30.03)	<i>W * EP(-1)</i>	19.4318 *** (29.95)	123.8682 *** (188.79)
<i>LNTI</i>	0.0319 *** (3.43)	-0.1605 *** (-8.95)	<i>W * DE</i>	23.6901 *** (24.10)	30.9382 *** (14.90)
<i>DE_LNTI</i>	—	1.4051 *** (30.24)	<i>W * LNTI</i>	0.1253 *** (3.07)	-2.1550 *** (-32.45)
<i>LNEPI</i>	0.7196 *** (15.85)	4.1733 *** (93.70)	<i>W * DE_LNTI</i>	—	7.6670 *** (47.79)
<i>LNPCAR</i>	-1.4370 *** (-9.82)	6.3385 *** (30.06)	<i>W * LNEPI</i>	3.9650 *** (19.55)	23.8917 *** (117.75)
<i>EL</i>	-1.0656 *** (-12.40)	-9.6133 *** (-109.15)	<i>W * LNPCAR</i>	-7.0404 *** (-10.64)	4.3572 *** (4.36)
<i>FS</i>	-1.2863 *** (-11.01)	-7.3605 *** (-60.10)	<i>W * EL</i>	-2.2059 *** (-6.30)	-33.0230 *** (-87.49)
<i>IUP</i>	20.2202 *** (20.79)	23.1788 *** (22.30)	<i>W * FS</i>	0.6350 (1.47)	-1.4030 *** (-3.24)
<i>EP(-1)</i>	3.3033 *** (29.78)	18.0579 *** (154.68)	<i>W * IUP</i>	140.0470 *** (29.85)	64.7871 *** (11.84)

注:括号内的值为 *Z* 统计量,下同。

由表 6 可知,在引入地理距离权重矩阵进入模型时,两个模型中  $EP(-1)$  和  $W * EP(-1)$  的系数分别为 3.3033 和 19.4318、18.0579 和 123.8682,均在 1% 检验水平上显著,说明本省(市)滞后一期的生态保护能够显著促进本省(市)和相邻省(市)的生态保护。

模型(1)结果显示,数字经济和科技创新的影响系数分别为 6.8063 和 0.0319,均在 1% 的检验水平上显著。据此说明长江经济带各省(市)数字经济发展和科技创新水平都显著地推动了生态保护水平的提升。 $W * DE$  和  $W * LNTI$  的系数为 23.6901 和 0.1253,均在 1% 的检验水平上显著。这进一步说明长江经济带各省(市)数字经济发展和科技创新水平都显著推动了相邻省(市)生态保护水平的提升。

模型(2)结果显示,数字经济的系数为 17.5074,在 1% 的检验水平上显著,且  $W * DE$  的系数为 30.9382,也在 1% 的检验水平上显著。说明数字经济对本地区及相邻地区生态保护产生了显著的正向影响。科技创新的系数为-0.1605, $W * LNTI$  的系数为-2.1550,均在 1% 的检验水平上显著。说明科技创新对本地区及

相邻地区生态保护产生了显著的负向影响。数字经济和科技创新交互项的系数为 1.4051,在 1% 的检验水平上显著。说明各省(市)的数字经济和科技创新融合能够显著地推动生态保护发展。且  $W * DE\_LNTI$  系数为 7.6670,也在 1% 的检验水平上显著,说明长江经济带各省(市)数字经济和科技创新的融合,对相邻省(市)生态保护发展产生显著的促进作用。

从整体而言,无论是数字经济还是科技创新都对生态保护产生了显著正向影响。由于生态保护中既包含了希望降低的环境污染、资源消耗,也包含了希望提升的环境保护指标,其具体影响尚难以作出科学评价,还需要进行不同维度的检验,再根据检验结果做出更加精准的分析。其余各控制变量对生态保护均具有不同程度的影响,但并非本文研究重点,在此不作详细分析。

2.直接效应和间接效应

为更好地描述解释变量对被解释变量的影响,将各变量对生态保护影响的总效应通过偏微分法分解为直接效应和间接效应,分解结果如表 7 所示。

表 7 空间效应分解结果						
变量	直接效应		间接效应		总效应	
	短期	长期	短期	长期	短期	长期
$DE$	5.2608 ***	-0.8480 ***	21.8633	-0.4508 ***	27.1242	-1.2988 ***
	(2.89)	(-20.94)	(1.26)	(-12.46)	(1.42)	(-25.68)
$LNTI$	0.0249	-0.0047 **	0.1712	-0.0019 **	0.1961	-0.0066 ***
	(1.38)	(-2.45)	(1.14)	(-2.18)	(1.48)	(-3.64)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制

从表 7 可以看出,在研究时段,长江经济带解释变量对被解释变量的短期效应中,数字经济对生态保护的影响在 1% 的水平上显著为正,其他均不显著。从长期效应来看,无论是数字经济还是科技创新均显著且为负。这表明数字经济、科技创新对长江经济带生态保护的作用在短期内基本不显著,但从长期效应来看,经过时间的推移对生态保护产生显著的抑制作用。由于生态保护指标中,既包含了环境污染中“三废”排放水平,也包含了能源消耗水平,这种抑制作用验证了理论假设,符合长江经济带的客观实际。这里的正负影响到底是作用于哪个维度?需要经过维度检验后结合检验结果具体分析。

3.维度异质性检验

为更详细分析数字经济和科技创新在生态保护

不同维度上的影响差异,本研究继续构建动态空间杜宾模型,分别检验数字经济和科技创新对生态保护中环境污染、资源消耗和环境保护的具体影响效应,结果见表 8。

如表 8 所示,数字经济对环境污染和资源消耗具有显著的正向促进作用,说明在 GDP 增长的过程中,仅仅发展数字经济的条件下,并不能有效地降低废弃物、废水和 SO<sub>2</sub> 的排放,以及降低能耗。因为数字经济的发展仅仅表现为经济形态的提升和变化,是否能够直接达到节能减排降耗的效果,尚需综合分析。同时,数字经济对环境保护有一定作用但并不显著。因为环境保护主要体现的是城市生态环境建设,关键在于政府的重视和投入,因此,与数字经济发展的关系并不紧密,影响也就不显著。



表 8 生态保护维度异质性检验结果

解释变量	环境污染	资源消耗	环境保护
<i>DE</i>	2.0878*** (2.76)	3.8177*** (12.70)	−1.2292 (−1.25)
<i>LNTI</i>	0.0048 (0.21)	0.0724*** (7.79)	−0.0301 (−1.00)
<i>DE_LNTI</i>	−0.1230** (−2.10)	−0.2340*** (−9.57)	0.0940 (1.20)
<i>W * DE</i>	6.3235** (2.27)	25.7193*** (22.47)	−12.8054*** (−3.49)
<i>W * LNTI</i>	0.0161 (0.19)	0.6826*** (18.26)	−0.3496*** (−2.94)
<i>W * DE_LNTI</i>	−0.4236** (−2.11)	−1.9303*** (−21.62)	1.0896*** (3.84)

科技创新对环境污染的效应不显著,对资源消耗的影响显著为正。这表明单一的科技创新可能并不能有效地降低废弃物、废水和 SO<sub>2</sub> 等“三废”的排放,因为科技创新成果需要应用于生产、生活之中,才能有效地发挥作用。科技创新对资源消耗的影响也是相同的道理。只有进一步分析数字经济与科技创新交互项对生态保护各个维度的影响,才可能精准地剖析其中的机理。

数字经济与科技创新交互项(*DE\_LNTI*)对环境污染的影响系数为−0.1230,并在 5%的水平上显著。说明数字经济与科技创新紧密结合,能够有效地降低环境污染。数字经济与科技创新交互项(*DE\_LNTI*)对资源消耗的影响系数为−0.2340,并在 1%的水平上显著。说明数字经济与科技创新紧密结合,能够有效地降低资源消耗。分析其中的机理,因为数字经济与科技创新紧密结合能够提升产业结构水平,改善企业生产的工艺流程,改变城市居民的生活习惯,从而有效地减少了“三废”的排放,降低资源的消耗。数字经济与科技创新交互项(*DE\_LNTI*)对环境保护的影响系数为 0.0940,但并没有达到计量经济学上的显著程度。因为环境保护主要依赖于政府环保意识的强弱,以及环保政策的有效性。

在空间效应中,本文重点分析数字经济与科技创新交互项(*W \* DE\_LNTI*)的效应。数字经济与科技创新交互项(*W \* DE\_LNTI*)对环境污染的影响系数为−0.4236,并在 5%的水平上显著。数字经济与科技创新交互项(*W \* DE\_LNTI*)对资源消耗

的影响系数为−1.9303,且在 1%的水平上显著。说明在数字经济与科技创新交互项共同作用下,产生了有效的空间溢出效应,也就是说数字经济与科技创新交互项共同作用不仅能降低本省(市)资源消耗和环境污染,而且还能带动周边省(市)降低资源消耗和环境污染。这是因为长江经济带区域一体化逐年加深,产业链的完善和发展不断加强,从而形成了相互促进、整体提升的效果;数字经济与科技创新交互项(*W \* DE\_LNTI*)对环境保护的影响系数为 1.0896,且在 1%的水平上显著。说明长江经济带区域各级政府高度重视环境保护,形成了相互学习、相互促进的良性动态互动关系。在数字经济与科技创新的共同作用下,环境保护的力度日益增强,环境保护的成效日益显著。

4. 中介效应与稳健性检验

(1) 中介效应检验

按照中介效应模型检验的一般步骤,采用混合回归方法对模型(5)~(7)进行实证分析,结果如表 9 所示。

表 9 中介效应模型估计结果

变量	<i>EP</i>	<i>LNTI</i>	<i>EP</i>
	(模型 5)	(模型 6)	(模型 7)
<i>DE</i>	0.0466*** (3.49)	0.8446*** (5.04)	0.0340** (2.11)
<i>LNTI</i>	—	—	0.0117*** (10.34)
控制变量	控制	控制	控制
常数项	1.4680 (4.47)	8.1390 (8.91)	1.3952 (9.65)

从表 9 结果可知,在模型(5)中,数字经济对生态保护的影响系数(*c*)为 0.0466,在模型(6)中,数字经济通过科技创新对生态保护的影响系数(*a*)为 0.8446,均在 1%的检验水平下显著,说明数字经济、科技创新都对生态保护具有显著的正向影响;在模型(7)中,数字经济对生态保护的影响系数(*c'*)为 0.0340,通过了 5%的显著水平检验,科技创新对生态保护的影响系数(*b*)为 0.0117,通过了 1%的显著水平检验,说明数字经济和科技创新对生态保护具有显著的影响。这一结果与双固定效应的空间杜宾模型检验一致,证明了结果的稳健性和可靠性。综合上述检验结果,表明在数字经济促进生态保护发展进程中,科技创新存在着部分中介效应。中介效应在



总效用中的占比为  $0.8446 \times 0.0117 / 0.0466 = 21.21\%$ 。本文重点在于数字经济和科技创新对生态保护的影响,故不具体分析各控制变量的影响效果。

(2)稳健性检验

为验证空间模型结果的可靠性,本文采用变量替代法对模型(2)进行稳健性检验。将科技创新的衡量指标由专利授权数替换为发明专利和实用新型专利授权数之和进行衡量,结果如表 10 所示。

表 10 动态空间杜宾模型估计结果

变量	模型(2)	变量	模型(2)
DE	0.8592*** (4.64)	W * EP(-1)	3.1889*** (11.09)
LNTI	-0.5870*** (-8.85)	W * DE	0.9739*** (2.50)
DE_LNTI	0.2037* (1.81)	W * LNTI	-1.2631*** (-7.89)
LNEPI	0.2825*** (6.91)	W * DE_LNTI	0.2024 (0.79)
LNPCAR	0.2404 (1.59)	W * LNEPI	0.4355*** (4.63)
EL	0.2037*** (2.09)	W * LNPCAR	2.7281*** (6.66)
FS	0.0181 (0.18)	W * EL	-0.4884*** (-3.01)
IUP	0.9517 (1.05)	W * FS	0.7056*** (3.09)
EP(-1)	1.5190*** (14.03)	W * IUP	11.6826*** (6.25)

稳健性检验结果显示,从数字经济和科技创新对生态保护的直接效应和空间溢出效应来看,替换后的结果与替换前的结果在方向和显著程度上并无实质性差别,且  $W * DE\_LNTI$  系数为 0.2024,显著程度略有下降。表明模型基本稳定。

六、结论与建议

(一)研究结论

通过上述系列实证检验和分析,就数字经济、科技创新和生态保护三者之间的关系,得出以下结论:

第一,数字经济、科技创新总体上对生态保护有显著促进作用,并且在滞后一期及交互项条件下,也表现出显著的正向空间溢出效应。双固定效应动态

空间杜宾模型检验结果显示,数字经济、科技创新对生态保护有显著促进作用,在滞后一期时也表现出同样的结果。分析其中的原因,生态保护是一个综合因素,其中:环境保护权重占比很大,而环境保护在各级政府的重视下,在数字经济、科技创新的共同作用下,得到了显著改善。因此,数字经济、科技创新无论是对本地生态保护的效应还是对周边省市生态保护的效应都表现出显著的促进作用。

第二,数字经济和科技创新的交互融合能有效降低环境污染、资源消耗,并表现出显著的空间溢出效应。生态保护本身是一个复合因素,也是综合因素影响的结果,将生态保护分为环境污染、资源消耗和环境保护三个维度,并分别进行检验。结果显示,数字经济和科技创新交互融合对环境污染、资源消耗有显著负向影响,也就是能显著降低环境污染、资源消耗,显著水平分别为 5% 和 1%;数字经济和科技创新交互融合对环境保护也表现出正向影响,但不具备统计意义上的显著性,可能因为环境保护更多受当地政府环境保护意识和具体措施的影响。数字经济和科技创新交互融合的空间溢出效应更加明显,数字经济和科技创新交互融合对环境污染和资源消耗有抑制作用,且在 5% 和 1% 的水平下显著,同时,还在 1% 的显著水平下,对环境保护有显著正向促进作用。

第三,数字经济在影响生态保护的过程中,科技创新起到了部分中介作用。数字经济、科技创新和生态保护三者之间具有复杂的作用机理,中介效应检验结果显示,在数字经济促进生态保护发展进程中,科技创新存在着部分中介效应。中介效应在总效用中的占比为 21.21%。因为数字经济只是一种新的经济形态,需要与科技创新紧密结合,才能共同促进产业结构升级,并对生态保护产生显著效果。

(二)政策建议

根据上述研究结论,就数字经济发展、科技创新和生态保护提出以下建议:

第一,提高对数字经济和科技创新的认识,抓好重点产业和重点领域的应用。数字经济和科技创新是影响经济、社会发展的核心要素,是促进产业结构升级的关键所在。但数字经济和科技创新都需要强大的财力支撑,为此,应当集中有限的财力,争取在国民经济发展的重点行业和重点领域率先推广应用和提升,保证经济、社会和生态保护的共同发展和进步。

第二,强化数字经济与科技创新交叉融合,做好

统筹推进和全面谋划并落实。数字经济在经济发展、社会进步和生态保护中的作用已经全面显现,并成为党和政府及全社会的共识。但在具体实施的过程中,需要强化数字经济与科技创新交叉融合的观点,防止出现指导思想和具体措施的偏颇。要围绕经济发展、社会进步和生态保护,做好统筹推进和全面谋划,并扎实深入地落实到各项具体工作之中,从而确保数字经济与科技创新交叉融合的效果。

第三,紧紧围绕“卡脖子”技术抓好科技创新,充分发挥多种生产要素协同作用。我国虽然在很多领域都已经跃入世界先进行列,但仍然存在不少“卡脖子”技术。要想使我国的科技创新更有成效,就决不能平均使力,需要集中人力、物力和财力,紧紧围绕“卡脖子”技术抓好科技创新。在科技创新中,要充分发挥多种生产要素的协同作用,争取实现更多从“一”到“零”的突破,使我国产业结构得到更高层次的提升,从而推进经济发展、社会进步和生态保护的更大进步。

参考文献:

[1]习近平.把握数字经济发展趋势和规律推动我国数字经济健康发展[EB/OL].中国政府网 <http://www.gov.cn/xinwen/2021-10-19>.

[2]蒋瑛,汪琼,杨骁.全球价值链嵌入、数字经济与产业升级——基于中国城市面板数据的研究[J].兰州大学学报(社会科学版),2021(6).

[3]孙耀武,胡智慧.数字经济、产业升级与城市环境质量提升[J].统计与决策,2021(23).

[4]周晓辉,刘莹莹,彭留英.数字经济发展与绿色全要素生产率提高[J].上海经济研究,2021(12).

[5]何伟军,李闻钦,邓明亮.人力资本、绿色科技创新与长江经济带全要素碳排放效率[J].科技进步与对策,2022(9).

[6]刘翠花.数字经济对产业结构升级和创业增长的影响[J].中国人口科学,2022(2).

[7]戚韦东,褚席.数字经济发展促进产业结构升级机理的实证研究[J].学习与探索,2022(4).

[8]秦建群,赵晶晶,王薇.数字经济对产业结构升级影响的中介效应与经验证据[J].统计与决策,2022(11).

[9]郭炳南,王宇,张浩.数字经济、绿色技术创新与产业结构升级——来自中国 282 个城市的经验证据[J].兰州学刊,2022(2).

[10]陈怀超,田晓煜,范建红.数字经济、人才数字素养与制造业结构升级的互动关系——基于省级面板数据的 PVAR 分析[J].科技

进步与对策,2022(19).

[11]张慧,易金彪,徐建新.数字经济对区域创新效率的空间溢出效应研究——基于要素市场化配置视角[J].证券市场导报,2022(7).

[12]田秀娟,李睿.数字技术赋能实体经济转型发展——基于熊彼特内生增长理论的分析框架[J].管理世界,2022(5).

[13]袁微文,高波.数字经济发展与高新技术产业创新效率提升——基于中国省级面板数据的实证检验[J].科技进步与对策,2022(10).

[14]伦晓波,刘颜.数字政府、数字经济与绿色技术创新[J].山西财经大学学报,2022(4).

[15]陈昭,陈钊泳,谭伟杰.数字经济促进经济高质量发展的机制分析及其效应[J].广东财经大学学报,2022(3).

[16]任保平,何厚聪.数字经济赋能高质量发展:理论逻辑、路径选择与政策取向[J].财经科学,2022(4).

[17]汪发元,何智励,张东晴.环境保护、绿色技术创新与经济高质量发展——基于长江经济带 2005—2019 年数据的实证分析[J].长江流域经济研究,2022(1).

[18]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).

[19]蔡玲,汪洋.数字经济与城市绿色全要素生产率:影响机制与经验证据[J].统计与决策,2022(9).

[20]徐维祥,周建平,刘程军.数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应[J].地理研究,2022(1).

[21]何维达,温家隆,张满银.数字经济发展对中国绿色生态效率的影响研究——基于双向固定效应模型[J].经济问题,2022(1).

[22]谢云飞.数字经济对区域碳排放强度的影响效应及作用机制[J].当代经济管理,2022(2).

[23]于忠华,孙瑞玲,秦海旭,等.长江经济带生态环境高质量实现路径研究——以南京为例[J].长江流域资源与环境,2022(2).

[24]徐升艳,鄢径纬.城市地价扭曲、产业结构与生态环境质量[J].管理现代化,2019(4).

[25]黄莘绒,管卫华,陈明星,等.长三角城市群城镇化与生态环境质量优化研究[J].地理科学,2021(1).

[26]刘潭,徐璋勇,张凯莉.数字金融对经济发展与生态环境协同性的影响[J].现代财经(天津财经大学学报),2022(2).

[27]孙继琼.黄河流域生态保护与高质量发展的耦合协调:评价与趋势[J].财经科学,2021(3).

[28]李宗显,杨千帆.数字经济如何影响中国经济高质量发展? [J].现代经济探讨,2021(7).

[29]温忠麟,方杰,谢晋艳,欧阳劲樱.国内中介效应的方法学研究[J].心理科学进展,2022(8).

特约编辑 吴爱军

责任编辑 刘玉成 E-mail:770533213@qq.com