

林业数智化对林业高质量发展的促进作用 及其空间溢出效应

霍然¹ 龚直文^{1*}

(1. 西北农林科技大学经济管理学院 杨凌 712100)

摘 要:【目的】林业数智化是林业未来发展的必然趋势。本文通过构建林业数智化和林业高质量发展的评价指标体系,为丰富林业产业发展水平评价方案提供新的探索。同时,探讨了林业数智化促进林业高质量发展的促进效应及其空间溢出效应,推动了林业数智化赋能林业高质量发展的效应、地区差异的理解,以期为林业政策的制定和未来发展方向提供参考。【方法】通过构建评价指标体系,利用变异系数法及与层次分析法相结合的方式分别测度了 2010~2022 年我国 31 个省市的林业高质量和林业数智化发展综合水平,分析其时间和空间分布规律。并在此基础上,通过 Hausman 检验、门槛检验、LM 检验、SDM 检验等多项必要检验,选择双向固定效应模型、双重门槛模型和空间杜宾模型等实证模型对林业数智化促进林业高质量发展的作用进行了分析,分别论证其存在的促进作用、门槛效应和空间溢出效应。【结果】林业数智化显著促进了林业高质量发展水平的提升。同时,在数智化发展的不同阶段,该促进作用的边际效果呈现出先高后低又高的特点,但作用方向始终为正。最后,验证了林业数智对周边区域林业高质量产生的正向溢出效应,这一结论在利用滞后一期数据和 1%缩尾进行稳健性检验时仍然稳健,而在以沿海地区、内陆地区分类进行异质性分析时结果有所不同,但该结论仍然成立。

关键词: 数智化; 高质量发展; 门槛模型; 空间杜宾模型

The role of forestry digital intelligence in promoting the high-quality development of forestry

Huo Ran¹, Gong Zhiwen¹

(College of Economics and Management, Research Center of Resource Economics and Environment Management, Northwest A&F University, 3 Taicheng Road, Yangling Shaanxi 712100)

Abstract: 【Objective】Intelligent forestry is the inevitable trend of forestry development in the future. This paper provides a new exploration for enriching the evaluation scheme of forestry industry development level by constructing the evaluation index system of forestry digital intelligence and high-quality development. At the same time, the promotion effect and spatial spillover effect of forestry digital intelligence in promoting forestry high-quality development were discussed, which promoted the effect of forestry digital intelligence in empowering forestry high-quality development and the understanding of regional differences, with a view to providing reference for forestry policy formulation and future development direction. 【Method】By constructing the evaluation index system, the comprehensive level of forestry high quality and forestry intellectualization development in 31 provinces and cities in China from 2010 to 2022 was measured by using the method of coefficient of variation and the method of combining with analytic hierarchy process, and its temporal and spatial distribution laws were analyzed. On this basis, through Hausman test, threshold test, LM test, SDM test and other necessary tests, empirical models such as two-way fixed effect model, double threshold model and spatial Dobbins model are selected to analyze the role of forestry digital intelligence in promoting the high-quality development of forestry, and

demonstrate its promotion, threshold effect and spatial spillover effect respectively. 【Result】 The intellectualization of forestry has significantly promoted the high-quality development level of forestry. At the same time, in different stages of the development of digital intelligence, the marginal effect of this promotion shows the characteristics of high first, then low and high, but the direction of action is always positive. Finally, the positive spillover effect of forestry mathematical intelligence on the high quality of forestry in surrounding areas is verified. This conclusion is still robust when using the lagging first-period data and 1% tail reduction for robustness test, but the results are different when analyzing the heterogeneity by coastal areas and inland areas, but the conclusion is still valid.

随着全球数智化革命的不断推进,数据成为新兴的第五大生产要素,数字化和智能化通过提升资源利用效率、缩小信息差等方式推动产业的生产变革,是国家产业优化升级中推动需求侧和供给侧改革的动力之一(任保平,2023),同时也为我国林业高质量发展提供了新的方向和更加广阔的前景。2019年,国家林业和草原局发布了《关于促进林草产业高质量发展的指导意见》,其中明确提到:“加强大数据应用,建设林业技术数据库”;“促进生产智能化,推动林区网络和信息基础设施基本全覆盖,加快促进智慧林业发展”。数智化作为数字化和智能化的交融,将数字化能力与人工智能技术相结合(陈剑等,2021),既代表了两者的未来融合趋势,也能反映数据智能化应用的前沿创新方向(陈国青等,2022)。数智化在林业高质量发展的转型升级关键期,将数智化手段贯穿于林业生产全过程,扩展信息化管理手段的应用范围,将有效提高林业产业质量和整体生产效率(宁攸凉等,2021b; Liu J 等, 2024)。

我国林业资源总量较为丰富,中国林业产业总产值从2001年的4090亿元增加到2024年的9.2万亿元,对7亿多农村人口脱贫致富做出了重要贡献。但在林业资源增长同时,林业总产值年均增长率自2011之后开始有所下降,产值增速逐年放缓。从林业生产的现状来看,高新技术推广难、产业链间协同度较低、对资源和人口要素高依赖及生态安全问题等是阻碍林业发展的主要问题(宁攸凉等,2021a)。随着中国步入经济高速增长向高质量发展的新阶段,林业产业发展也必然需要向高质量发展转型。国家林业和草原局2021年发布的《“十四五”林业草原保护发展规划纲要》中指出,要通过建设林草产业数字化、提高机械制造智能化的途径推动林草产业高质量发展。那么,数智化是否促进林业的高质量发展?如果该效应得到证实,又是否带来了“数字鸿沟”效应?林业数智化对高质量发展的作用在本身特征以及空间规律上又具有何种差异?

已有文献从不同角度研究了数字化、智能化对林业高质量带来的影响,如5G变革联络和巡检模式(侯方淼等,2023)、数字化增强农林企业韧性(王钢等,2023)、智能化新生产方式提供市场预测(殷浩栋等,2020)、数字化赋能林业供应链(范小源等,2023; Barua S K 等,2018)、智能控制改善产业升级(陈思晗等,2023; Qiu H 等,2023)等,为数智化推动林业产业发展提供了多角度探索。但是,伴随着数智化对林业产业的全方位渗透,林业数智化水平如何推动林业高质量发展的理论逻辑和实现方式还不够明晰,对林业全产业链的空间促进作用和溢出效应尚不明确。鉴于此,本文以全国31个省市为研究对象,以林业数智化为起点,深入探讨林业数智化发展对其高质量的影响及其空间效应,以期为全国探索数智化促进林业高质量发展提供科学依据。

本文可能的边际贡献在于2个方面:第一,本文借鉴现有文献,对林业数智化和林业高质量进行了省级层面的测度,为地区林业发展评价提供了参考。第二,本文探讨了林业数智化对林业高质量发展影响产生促进作用的作用路径、边际效应及其空间效应,深化了已有文献。

1 理论分析

林业高质量发展的核心是“数量”与“质量”并重。数智化林业生产模式带来的跨时空信息传播、数据创造和共享等先天优势和显著特征能够有效提高林业生产效率，打破林业生产受到的空间限制、供需矛盾等。同时，考虑到互联网的“梅特卡夫法则”，网络溢出的边际效应呈现递增特征，因此林业数智化对林业的高质量发展可能也存在非线性和空间溢出的特点。本研究从作用机制、非线性和空间溢出效应 3 各方面研究并论证了林业数智化对林业高质量发展的影响，并提出本文的研究假设。

2.1 林业数智化影响林业高质量发展的影响机制

林业高质量发展不仅涉及到资源数量的增长，更重要的是资源质量的提高。林业数智化突破活动地区的地理局限，有效减少林业发展过程中由于信息传递时间长、空间限制、信息不对称等造成的低效率问题，实现为林业高质量发展赋能。林业数智化凭借林业资源监测、林业行政能力提升和林业管理系统智慧化等诸多方面针对性提高林业的发展质量，此外地区的数智化基础建设也直接影响到林业和林业从业人员的方方面面，也在对林业的高质量发展产生影响。

林业行政能力是林业体系建设、组织调和智慧决策的基础。一方面，林业行政能力的数智化提高了地区林业行政审批效率。数智化建设的过程中各级林业部门相继建成机关局域网平台和部门门户网站，直接推进了林业传统行政模式和数智化管理方式的融合。另一方面，各地建设的林业大数据平台满足从业者的信息获取需求，同时避免了信息冗余的问题。林业资源存量和现状的共享关系到林业决策、产业发展和林业教育等诸多方面，林业信息的统一和获取的便捷就显得尤为重要。林业大数据平台等信息综合系统为林业活动中的规模问题提供了优化路径，也为进一步加强林业生产、监测手段的高质量发展提供了坚实的支撑。

通过林业资源监测提高生产效率、确保林产品质量是林业高质量发展的重要一环。林业数智化监测利用数字化监测手段和智能化分析模型搭建数字平台，同时还衍生出一系列智能化防灾减灾系统等，已经成为林业高质量发展的未来发展方向。林业特有的区域大、培育周期长等特点使得树木生长情况难以依靠人工长期、准确获取。数智化监测设备的应用打通了林业资源获取的技术壁垒，依托数字化监测信息平台，智慧化决策系统通过处理已有信息，提前预警火灾、虫灾或提出管理建议，已经成为辅助林业生产、提高林业质量的新型手段。

林业智慧管理模式为林业高质量发展提供动能。林业政策对林业管理模式的实施具有实际的指导作用，在政府决策和管理实践中，两者关系极为紧密。多年来，我国政府通过出台天然林保护、集体林权制度改革、森林公园管理办法、林长制等林业政策，不断将管理和决策模式向标准化、智慧化推进。智慧化的管理模式通过明确责任主体、影响市场规模、要素组合等方式，激发林业产业内生动力，形成产权明晰、责任落实、收益明确的林业高质量发展模式。“分级负责”、垂直体系等智慧化管理原则的提出也有效解决了林业资源内部的统筹协调问题，压实责任主体，全面落实林业质量保护政策。

地区的数智化基础建设是实现林业高质量发展的重要基石。数智化基础设施建设通过整体提升地区信息化水平，实现数字化和智能化的全面革新、渗透和应用，一方面有利于优化林业生产分工和布局，形成林业发展的新业态；另一方面能够带动林业高新技术产业的壮大，加速新一代数智技术的普及和发展。基础设施建设关系到人民生活的方方面面，也不可避免的渗透到林业从业人员的生产过程中，潜移默化的改变着林业生产和监测的细微方面，更影响着地区林业的高质量发展。因此，本文提出研究如下研究假设。

研究假设 1：林业数智化对林业高质量发展产生积极作用。

2.2 林业数智化对林业高质量发展的非线性溢出效应

数智化时代，各部门间的政治、经济活动边界被弱化，互联网带给大众的改变也更加密切和深远。对于林业高质量发展而言，林业数智化发展带来的“数字红利”和“数字鸿沟”展现在不同的发展阶段，使数智化的作用效果呈现出非线性的特点(邱泽奇 等, 2016)。从生产要素视角来看，经济发展较为落后地区的林业数智化发展效率较低，此时进行数智化建设带来的边际效益较高，“数字红利”能够大大简化林业数据、林业信息的获取途径，颠覆原有的产业运行模式形成新业态(连俊华, 2022; Li E 等, 2024)。但根据边际效益递减的规律，随着林业数智化水平的提升，其对林业生产所带来的效率提升和技术提升可能受到经济发展水平的制约(徐章星, 2021)，进一步趋于缓和，在不产生颠覆性技术创新的情况下保持原有的生产模式，也形成了对林业高质量发展的瓶颈期，表现为“规模门槛效应”(刘达禹 等, 2021)。当林业数智化水平发展到更高阶段时，林业生产中数智化手段使用的广度、深度不断增加，社会资本成为技术创新的新动能，有效提升基层从业人员的生产效率(许竹青等, 2013; 徐章星, 2021)，弥补“数字鸿沟”带来的生产割裂，实现对林业高质量发展带来的边际效益提升。由此，本文提出假设 2。

假设 2：林业数智化对林业高质量发展的促进作用具有门槛效应。

3.2 林业数智化对林业高质量发展的空间溢出效应

数智化的一大特征是通过高效的信息传递压缩时空距离，从而加强区域间生产活动关联的广度和深度，地理距离越近的地区之间要素流动的效率往往越高。数据作为新兴的第五种要素，与其息息相关的互联网(韩长根等, 2019)、数字经济(张英浩等, 2022)、数字金融(黎翠梅等, 2021)等均存在空间效应，以林业数据为依托的林业数智化水平也应在空间上存在溢出效应，也即区域林业数智化水平的提升不仅会影响该地区自身的林业高质量发展，同时会对周边地区的林业高质量产生作用，可能带来“虹吸效应”、“辐射效应”甚至资源错配(赵涛等, 2020; 韩长根等, 2019)等。而林业高质量发展由于林业发展的特性，本身也具有一定的空间溢出效应。林业数智化发展初期，基础条件较好的地区更容易获得竞争优势，也有利于聚集更多资源。当本地区实现数智化的提升时，由此而来的林业质量提升、技术提升、执政者考核压力等会影响到周边地区，带动周边林业的高质量发展。因此，本文提出如下假设。

假设 3：林业数智化促进林业高质量发展存在空间溢出效应。

2 研究设计

2.1 模型构建

为验证上述研究假设，首先这对直接传导机制构建如下基本模型

$$Fdq_{it} = \beta_0 + \beta_i Fdi_{it} + \vartheta_k X_{it} + \partial_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， Fdq_{it} 表示 i 省第 t 年的林业高质量发展水平， Fdi_{it} 表示 i 省第 t 年的林业数智化水平， β_0 为常数项； β_i 为估计系数； X_{it} 表示各项控制变量； ϑ_k 是控制变量的估计系数， k 是控制变量的个数； ∂_i 是个体固定效应； φ 是时间固定效应； ε_{it} 是随机扰动项。

除了式(1)所体现的直接效应，为讨论林业数智化存在的“梅特卡夫法则”，考虑林业数智化会对林业高质量发展产生非线性的溢出效应。因此设定如下面板门槛模型：

$$Fdq_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Fdi_{it} I(Fdi_{it} \leq \tau_1) + \alpha_2 Fdi_{it} I(\tau_1 < Fdi_{it} \leq \tau_2) + \alpha_3 Fdi_{it} I(\tau_2 < Fdi_{it}) + \vartheta_k X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, I 表示示性函数,若示性函数的括号内的表达式为真取值为 1,反之为 0。 ε_{it} 是随机扰动项; α_1 代表门槛变量在小于第一个门槛值时,解释变量对被解释变量影响的估计系数; α_2 代表门槛变量在第一和第二个门槛值之间时,解释变量对被解释变量影响的估计系数; α_3 代表门槛变量在大于第三个门槛值之间时,解释变量对被解释变量影响的估计系数。

最后,为进一步讨论林业数智化对林业高质量发展的空间溢出效应,本研究选定空间杜宾模型进行空间效应分析。据此,设定如下空间计量模型:

$$Fdq_{it} = \rho \sum_{i=1}^n W Fd_{it} + \gamma_1 Fdi_{it} + \sum_{n=2}^k \gamma_n X_{it} + \gamma_2 X_{it} + \theta_1 \sum_{i=1}^n W Fdi_{it} + \sum_{n=2}^k W \theta_n X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, ρ 为空间自回归系数; W 是空间权重矩阵; γ_1 是林业数智化对林业高质量产生影响的影响程度系数; γ_n 是控制变量的影响程度系数; θ_1 是邻近城市的林业数智化的影响程度系数, θ_n 是临近城市控制变量的影响程度系数; ε_{it} 是随机误差向量。

2.2 变量测度与说明

2.2.1 林业高质量发展水平的测度 对于林业高质量评价指标体系,学界尚未达成统一的标准。一些研究分别关注到林业总产值和森林质量,但缺乏对森林数量的观测。因此,参考相关文献的基础上,本文设定由林地数量、森林质量、林业产值 3 个二级指标构成的评价体系,通过变异系数法测算得到林业高质量发展水平,记为 Fdq 。

林地数量:林地是森林存在的基础,林业用地面积决定了林业发展的未来潜力,一旦林地改作他用,会对林业资源管理造成深远影响(刘琳等,2016)。因此,本研究将各省林地面积作为林业数量的表征值参与林业高质量发展水平评价。

森林质量:林区植被质量与森林质量息息相关,能够指示该地区森林生长活力和生态潜力。植被归一化指数(NDVI)是反映区域植被生产力的应用最多的数据(金凯等,2020),为避免非林地区域对林地植被质量的干扰,本研究通过 Arcgis10.6 分离各省市用地类型,利用各省林地的年植被归一化指数表征各省林地质量。

林业产值:林业高质量发展不仅要追求生态效益和社会效益的发展,更要追求经济效益的发展。林业经济系统不仅包含林产品生产带来的经济,更包含林下经济、林副产品经济等,林业总产值能够表现林业系统的价值总量。因此本研究利用贴现后各省林业总产值表征各省林业产值。

2.2.2 林业数智化发展水平测度 目前涉及林业数智化具体测度和路径探讨的相关文献较少,仅有的研究聚焦于数字化和智能化。结合以往研究(陈国青等,2022;吴建梅等,2024)和相关数据的可获得性,本文构建包含林业行政能力、林业管理模式、林业资源监测、地区基础建设四个方面的测度体系,利用变异系数法与层次分析法组合赋权(张鸿等,2021)的方法对林业数智化进行测度,记为 Fdi 。

林业行政数智化:现行体制下,行政能力主要由各级政府部门主导。为推进林业行政的信息化和智慧化,国家林业和草原局针对各级林业部门开展了信息化发展水平评测,结合网站建设、办公自动化、大

数据平台建设和科技合作等多方面得出信息化建设、信息化应用、信息化保障三个指标。本研究利用变异系数法，结合该三项指标，计算得出林业行政能力数据。

林业管理数智化：林业管理体系从决策、执行、监督等多方面对林业资源产生制约(娄树旺, 2016)，林长制作为一种智慧化的管理模式，通过属地党政领导负责、分级管理、部门协同的责任制体系推进了林业管理责任落实的智能化。因此本研究建立林长制实施的虚拟变量作为林业管理模式的表征，林长制实施前变量为 0，实施后为 1。

资源监测数智化：森林资源监测是林业资源管理和生产经营中的重要环节，更关系到林业灾害的防治。“空、天、地、人”的森林监测网络体系通过护林员手持 APP 等感知设备，能够实现实时数据传输(袁传武等, 2021)。气象观测站为森林防灾减灾智能系统提供气温、降水等关键数据，能够有效进行森林火点、雷电预警(袁嘉栗等, 2023)。本研究通过变异系数法综合利用省级气象监测站数据和乡村护林员人数计算得出林业资源监测数据。

地区数智化基础：数智化基础建设通过向农业农村的全面渗透，不仅促进了农业数字化转型(殷浩栋等, 2020)，更为林业的数智化转型提供了条件和动能。本研究选择移动电话普及率和互联网接入端口密度两方面作为地区基础建设的表征，利用变异系数法计算出综合地区基础建设数据。

2.2.3 控制变量 为了更加全面的分析林业高质量发展过程中林业数智化溢出效应，还需要设定对林业高质量发展可能产生影响的控制变量。结合现有文献，本研究选择控制变量具体如下：人口压力，利用人口密度（ Pd ）和文盲率（ Ir ）来表示；经济活动，用人均 GDP（ GDP ）、第一产业产值占比（ Ppi ）和夜间灯光数据（ Nld ）表示；气候变化，用年均气温（ Tem ）和年均降水数据（ Pre ）来表示。

表 1 是林业高质量和林业数智化的构建指标、指标属性。

表 1 林业高质量和林业数智化指标体系

Table 1 Index System of Forestry High Quality and Forestry Digital Intelligence

一级维度 First-order dimension	二级维度 Secondary dimension	具体指标 Specific indicators	指标属性 Indicator attribute
林业高质量 Forestry high quality	林地数量 Forest land quantity	林地面积 Woodland area	+
	森林质量 Quantity of forest land and forest quality	林地 NDVI Woodland NDVI	+
	林业产值 Forestry output value	林业总产值 Gross forestry output value	+
林业数智化 Forestry digitalization	林业行政数智化 Intellectualization of forestry administration number	林业信息化建设 Forestry informatization construction	+
		林业信息化应用 Application of forestry informatization	+
		林业信息化保障 Forestry informatization guarantee	+
	林业管理数智化 Intelligent forestry management	林长制 forest chief system	+
	资源监测数智化 Intelligent resource monitoring	省级气象观测站数量 Number of provincial meteorological observation stations	+
		乡村护林员人数 Number of rural rangers	+
	地区数智化基础 Foundation of regional digital intelligence	移动电话普及率 Mobile phone penetration rate	+
		互联网接入端口密度 Internet access port density	+

2.2.4 数据来源和描述性统计 本文选取 2010-2022 年中国 31 个省（直辖市）的面板数据，考虑到数据的可能性和完整性，剔除香港、澳门、台湾四个地区。

本研究所使用的土地利用覆被数据来自武汉大学杨杰和黄昕教授在 GEE 平台上开发的中国长时间序列土地覆盖数据集（CLCD）。植被归一化指数（NDVI）数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所土地利用与全球变化遥感团队基于 GEE 平台开发的年最大 NDVI 数据。夜间灯光数据来源于 Wu Yizhen 等学者在期刊 IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 上发表的经矫正的夜间灯光数据集。气温数据来源于欧盟及欧洲中期天气预报中心等组织发布的 ERA5-Land 数据集。降水数据来源于彭守璋学者在国家青藏高原科学数据中心平台上分享的数据。

人口密度、国民生产总值、文盲率、第一产业生产总值、国民生产总值平减指数、移动电话普及率、互联网接入端口密度来源于《中国统计年鉴》。林业生产总值、护林员人数来源于《国家林业与草原统计年鉴》。林业信息化建设、信息化应用、信息化保障数据来源于《智慧林业评测考核》、《中国林业信息化绩效评估》、《中国林业信息化发展报告》和国家林业与草原局依申请公开数据。省级气象观测站数据来源于《中国气象年鉴》。林长制数据来自国家林业和草原局网站（<https://www.forestry.gov.cn/>）中公布的各省开始实施林长制改革（试点）时间。社会经济数据可能因为年鉴数据缺失等原因导致部分研究数据的缺失，缺失数据通过插值补全。

数据的描述性统计见表 2。根据研究时段内各省市历年平均林业高质量数据绘制折线图（图），反映研究区域内 31 个省市的林业高质量总体变化情况。总体上看，林业高质量呈现上升趋势，且变化幅度是从 2010 年的 0.1293 到 2022 年的 0.6207，13 年间增长率达到原有水平近 4 倍，证明林业质量在研究时段内经历了较大的提升。根据数据拟合出符合林业高质量发展规律的多项式，其中，多项式中二次形式的系数为正，说明林业高质量发展的曲线呈现“U”型，未来林业高质量水平可能仍然会持续增长。

根据各省林业高质量总体情况绘制分级图，结果如图所示。我国东部沿海地区林业发展质量较高，山东、江苏、浙江、广东、广西、安徽、江西等省份林业质量走在全国前列。华北和东北的几个省份属于林业高质量建设较先进地区，与此同时西北地区几省则发展水平较为落后。尤其是新疆和西藏地区，由于地广人稀、经济发展受限等客观条件，对林业质量的建设仍然有待加强。

表 2 数据的描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of data

数据 Data name	单位 unit	标准差 standard deviation	平均数 average	最大值 maximum	最小值 minimum
林业高质量 Forestry high quality	-	0.17	0.30	0.72	0.03
林业数智化 Forestry digitalization	-	0.20	0.29	0.76	0.04
林业信息化建设水平 Forestry informatization construction	-	18.04	76.37	177.35	22.57
林业信息化应用水平 Application of forestry informatization	-	23.83	74.43	142	9.43
林业信息化保障水平 Forestry informatization guarantee	-	20.61	77	143.74	20
林长制 forest chief system	-	0.38	-	1	0
省级气象观测站	个	1068.05	1656.07	6381	15

Number of provincial meteorological observation stations					
乡村护林员人数	人	43659.91	32599.46	478264	311
Number of rural rangers					
移动电话普及率					
Mobile phone penetration rate	%	26.32	99.62	189.46	40.87
互联网接入端口密度					
Internet access port density	万个	1855.59	2082	9892.20	17.80
林地 NDVI	-	0.04	0.82	0.90	0.61
Woodland NDVI					
林地面积	平方千米	11674170	77630.88	274399.70	8.28
Woodland area					
林业总产值	万元	70955.27	12483620	53338050	124369
Gross forestry output value					
人口密度	人/平方千米	688.95	451.60	3926	2.50
population density					
文盲率	%	5.97	5.61	41.18	0.79
Illiteracy rate					
人均 GDP	元/人	2.72	5.37	14.37	1.31
Per capita GDP					
第一产业产值占比	%	0.05	9.74	26.10	0.22
Proportion of output value of primary industry					
夜间灯光数据	-	9.56	7.60	46.80	0.02
Night lighting data					
年均气温	摄氏度	6.52	11.99	25.08	-4.02
Average annual temperature					
年均降水	毫米	41.27	75.80	180.10	7.94
Average annual precipitation					

3 林业数智化对林业高质量发展影响的实证分析

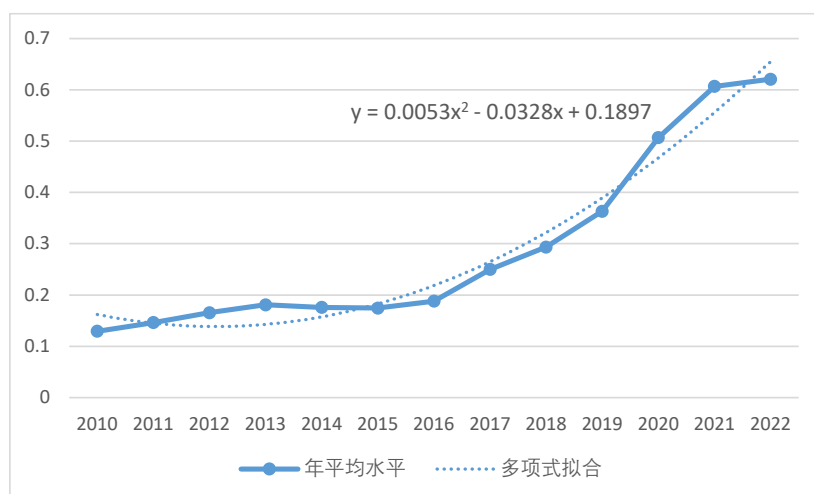


图 1 林业高质量年平均水平

Figure 1 Annual average level of forestry high quality

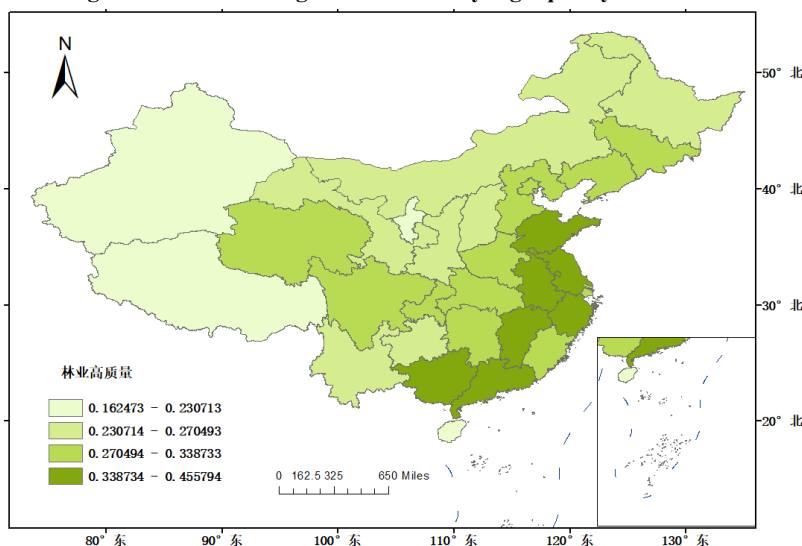


图 2 林业高质量发展分级图

Figure 2 Classification map of forestry high-quality development

3.1 双向固定效应结果

双向固定效应考虑个体效应和时间效应对结果的影响，能够更显著提高模型的解释力。表 3 报告了双向固定效应的估计结果。在模型（1）（2）的结果中，核心解释变量林业数智化（ Fdi ）的估计系数均为正，说明林业数智化促进了林业的高质量发展。当引入控制变量时，回归系数有所变化，但始终正向且显著，证明林业数智化对林业高质量发展存在的正向影响是稳健的，此结果支持了假设 1。此外，模型（2）中，各地区人口密度（ Pd ）对林业高质量发展之间形成了不显著的正向关系，说明人口的增加并未同时提升林业质量；文盲率（ Ir ）的系数为正，但不显著，说明人口是否受教育的情况对于林业高质量发展没有明显的影响，这有可能是因为我国农村教育目前存在“离农”和“务农”的矛盾，一方面倡导农村孩子学成后留在乡村，一方面培养离开农村、农业的高级技术人才，反而难以为农业留住人才(栾江等, 2014, 2014; 邬志辉等, 2008)。人均 GDP（ GDP ）对林业高质量发展产生了显著正向影响，意

味着地区经济发展水平的提高将会带动林业质量提升。第一产业产值占比（*Ppi*）逐渐降低的过程中指示着地区经济结构的正向调整，会对林业质量产生正向影响。地区经济活动的活跃程度（*Nld*）及年均降水（*Pre*）均为通过 10%水平的显著性检验，证明对林业高质量没有明显影响。但气温（*Tem*）与林业高质量呈显著正相关关系，说明温度升高更有利于林业的发展。

表 3 林业数智化促进林业高质量发展双向固定效应结果

Table 3 Two-way fixed effect of forestry digital intelligence promoting high-quality development of forestry		
变量 variable	(1)	(2)
<i>Fdi</i>	0.093*** (0.00455)	0.0511*** (0.00636)
<i>Pd</i>		-0.0000112 (0.0000336)
<i>Ir</i>		0.001 (0.000612)
<i>GDP</i>		0.004*** (0.00129)
<i>Ppi</i>		-0.276*** (0.0574)
<i>Nld</i>		0.001 (0.000536)
<i>Tem</i>		0.007*** (0.00198)
<i>Pre</i>		0.000119 (0.0000716)
常数项 constant term	0.276*** (0.00158)	0.190*** (0.0274)
N	403	403
R2	0.531	0.672
调整 R2 adjust R2	0.492	0.638

3.2 非线性效应分析

考虑到网络带来的边际效应可能存在变化，本文对林业数智化促进林业高质量发展的非线性效应，采用门槛模型进行检验。在进行门槛模型估计之前，首先通过 Hansen 检验等方式对面板门槛在性进行检验。根据重复抽样 1000 次的检验结果，门槛变量的显著通过了单一门槛和双重门槛检验，过三重门槛检验，因此本研究选择双重门槛效应进行实证分析，回归结果如表 4 所示。从整体上看，数智化始终对林业高质量发展产生显著的促进作用，但具体作用效果受到林业数智化水平变化的影也即随着林业数智化水平的提高，其对林业高质量产生的效果是先较强、后较弱、再变强的过程。当数智化水平小于第一门槛值时估计值为 0.136，此时数智化水平处于较低水平，对林业高质量发展产正向影响。当林业数智化水平高于第一个门槛值又小于第二个门槛值时，系数估计值为 0.0672，林业化对林业高质量仍然产生正向影响，但估计值的降低表示林业高质量对林业数智化水平提升的响应度降低，促进作用有所减弱。这可能是因为数智化带来的运用差异使林业从业者虽然享受到了硬件质提升但从信息获取和技术应用等方面仍然难以跟上数智化的脚步(许竹青等, 2013)，林业的数智化发平不够均衡导致对林业高质量的促进作用有所减弱。当林业数智化水平高于 0.6219 时，已经跨过了个门槛,此时林业数智化水平已经处在较高水平,其对林业高质量的促进作用增强,回归系数为 0.106。: 2 得到验证。

表 4 林业数智化促进林业高质量发展非线性溢出效应结果

Nonlinear Spillover Effect Result of Forestry Intelligentization Promoting Forestry High-quality Development		
变量 variable	区间 interval	效应值 estimated value
Fdi	$Fdi \leq 0.3703$	0.136*** (0.0255)
	$0.3703 < Fdi \leq 0.6219$	0.067*** (0.0100)
	$0.6219 < Fdi$	0.106*** (0.0114)
常数项 constant term	—	0.173*** (0.0261)
Pd	—	-0.0000159 (0.0000320)
Ir	—	0.001** (0.000573)
GDP	—	0.004*** (0.00129)
Ppi	—	-0.233*** (0.0552)
Nld	—	0.0002 (0.000527)
Tem	—	0.008*** (0.00186)
Pre	—	0.000111* (0.0000670)
N		403
R2		0.715

3.3 空间溢出效应分析

互联网和数智化的发展在对区域经济活动等、资源错配、城市高质量发展等方面具有明显的空间溢出效应(赵涛等, 2020)那么包含互联网的林业数智化对林业高质量发展可能也存在空间溢出效应, 因此选择空间杜宾模型进行实证检验。

在进行空间计量分析前首先要判断空间效应存在与否。莫兰指数计算了各年度林业高质量的空间相关性, 能够衡量变量在同一区域内的观测值之间潜在的相互依赖性。本文计算了林业高质量的全局莫兰指数, 结果如表所示。根据莫兰指数的结果, 林业高质量在 2010~2022 年之间均存在显著的空间自相关性, 即二者在空间分布上出现聚集现象。基于此结果, 本文依照 Elhorst(2014)的检验思路从 LM 检验、Hausman 检验以及 SDM 模型简化检验的思路确定了时空双重固定效应 SDM 模型进行实证分析。为了更好的解释空间效应, 同时进行了空间效应的分解。得到结果如表。

从结果来看, 林业高质量发展的空间自回归系数显著为正, 二林业数智化的空间交互系数为正, 表明样本省市在空间上不仅存在外生的林业数智化交互效应, 还存在林业高质量发展的内生交互效应。由于空间杜宾模型解释了各省份之间的空间经济相关性, 其参数估计结果并不能直接反映直接作用和空间溢出效应真实作用效果, 参考 Pace 和 Le Sage (2008)等提出的偏微分方法, 将林业数智化对林业高质量的影响系数分解为直接效应、间接效应以及总效应。根据分解效应结果, 林业数智化对林业高质量的空间溢出效应显著存在, 也即林业数智化对林业高质量发展存在明显的正向空间效应。由此, 假设 3 成立。

表 5 林业高质量发展全局莫兰指数

Table 5 Global Moran Index of High-quality Forestry Development

年份	莫兰指数	P 值	年份	莫兰指数	P 值
age	Moran'I	P-value	age	Moran'I	P-value
2010	0.038	0.018	2017	0.067	0.002
2011	0.033	0.025	2018	0.073	0.001
2012	0.033	0.027	2019	0.076	0.001
2013	0.030	0.031	2020	0.085	0.000
2014	0.040	0.016	2021	0.085	0.000
2015	0.045	0.011	2022	0.082	0.000
2016	0.056	0.005			

表 6 林业数智化促进林业高质量发展空间杜宾模型结果

Table 6 Results of Spatial Dobbin Model of Forestry Digital Intelligence Promoting Forestry High-quality Development

变量 variable	主效应 Main effect	空间交互项 Spatial interaction term	直接效应 Direct effect	间接效应 Indirect effect	总效应 Total effect
<i>Fdi</i>	0.015* (0.00813)	0.034** (0.0133)	0.017* (0.00832)	0.043** (0.0146)	0.060*** (0.0165)
<i>Pd</i>	-0.0000328 (0.0000309)	-0.0000189 (0.0000384)	-0.0000353 (0.0000298)	-0.0000275 (0.0000444)	-0.0000629 (0.0000535)
<i>Ir</i>	0.001** (0.000576)	-0.002** (0.00113)	0.001* (0.000554)	-0.003* (0.00123)	-0.002 (0.00139)
<i>GDP</i>	0.004** (0.00196)	-0.019*** (0.00335)	0.003 (0.00185)	-0.021*** (0.00387)	-0.018*** (0.00394)
<i>Ppi</i>	0.066 (0.0579)	-0.374*** (0.107)	0.049 (0.0548)	-0.427*** (0.116)	-0.378** (0.127)
<i>Nld</i>	0.002*** (0.000664)	0.002** (0.00108)	0.002** (0.000643)	0.003* (0.00125)	0.005*** (0.00120)
<i>Tem</i>	0.004 (0.00299)	0.001 (0.00432)	0.004 (0.00300)	0.001 (0.00452)	0.005 (0.00342)
<i>Pre</i>	0.0000921 (0.0000838)	0.00000841 (0.000124)	0.0000908 (0.0000826)	0.0000296 (0.000140)	0.000120 (0.000118)
Rho			0.167** (0.0592)		
时间固定效应 Time-fixed effect			已控制 Controlled		
地区固定效应 Regional fixation effect			已控制 Controlled		
N			403		

3.4 空间异质性分析

由于林业资源禀赋和发展阶段的不同，无论是林业数智化水平还是林业高质量水平，在区域分布上都有明显的异质性特点。因此，林业数智化对林业高质量的空间溢出效应也可能存在地区层面的异质性。本研究参考以往文献和本文对林业高质量的评价结果，根据《中国海洋统计年鉴》的分类标准，将沿海地区和内陆地区分别进行空间杜宾模型回归，结果如表 7 所示。结合交互项结果和间接效应分析结果，不管是在沿海地区还是内陆地区，林业数智化对林业高质量发展都具有显著的正向作用。沿海地区林业数智化

对本地区的林业高质量发展促进作用明显，内陆地区林业数智化对本地区的促进作用不明显但具有较高的空间溢出效应。

表 7 林业数智化促进林业高质量发展的空间溢出效应异质性分析

Table 7 Heterogeneity analysis of spatial spillover effect of forestry digital intelligence promoting high-quality development of forestry

变量 variable	沿海地区 coastal areas	内陆地区 inland area
<i>Fdi</i>	0.017* (0.00934)	-0.0007 (0.00813)
交互项 Interactive item	0.021** (0.00986)	0.114 (0.01528)
直接效应 Direct effect	0.018* (0.00966)	-0.002 (0.00634)
间接效应 Indirect effect	0.023 (0.01924)	0.029** (0.0129)
总效应 Total effect	0.041* (0.0224)	0.031** (0.0150)
控制变量 Control variable	已控制 Controlled	已控制 Controlled
时间固定效应 Time-fixed effect	已控制 Controlled	已控制 Controlled
地区固定效应 Regional fixation effect	已控制 Controlled	已控制 Controlled
Rho	0.292*** (0.060)	0.298*** (0.070)
N	143	260

3.5 稳健性检验

林业发展质量较高的地区的林业资源基础和发展前景较好，有可能会逆向推动林业数智化的发展，从而导致存在内生性问题。为保证空间回归效应结果的稳健性，本文分别采用对核心解释变量滞后一期作为工具变量、对核心解释变量进行 1%缩尾进行空间回归的检验(余渭恒, 2024)，结果如表所示。工具变量检验是避免内生性的传统方法，滞后一期解释变量作为工具变量引入能够消除一部分内生性对模型结果带来的偏误；核心解释变量的缩尾能够去除极端异常值对回归结果的影响，使回归结果更稳健。稳健性检验的结果表明，核心解释变量林业数智化的回归估计系数方向和显著性与基准回归一致，证明基准回归的结果没有因为受到内生性和异常值影响而产生伪回归等。

表 8 林业数智化促进林业高质量发展的空间溢出效应稳健性检验

Table 8 Robustness test of spatial spillover effect of forestry digital intelligence promoting high-quality development of forestry

变量 variable	工具变量 instrumental variable	缩尾检验 Tail reduction test
<i>Fdi</i>	0.025** (0.00813)	0.014* (0.00813)
交互项 Interactive item	0.032** (0.01382)	0.034** (0.01323)
直接效应 Direct effect	0.027*** (0.00834)	0.016** (0.00831)
间接效应 Indirect effect	0.043*** (0.01484)	0.043*** (0.01449)

总效应	0.070***	0.059***
Total effect	(0.01700)	(0.01637)
控制变量	已控制	已控制
Control variable	Controlled	Controlled
时间固定效应	已控制	已控制
Time-fixed effect	Controlled	Controlled
地区固定效应	已控制	已控制
Regional fixation effect	Controlled	Controlled
Rho	0.157***	0.016***
	(0.060)	(0.008)
N	403	403

4 结论

本文立足于数字化和智能化已经广泛渗透入我国农、林、牧、渔业这一事实，基于 31 个省市 2010~2022 年数据，在构建林业数智化和林业高质量发展指数的基础上，运用面板固定效应模型、门槛模型和空间杜宾模型，多角度验证了林业数智化对林业高质量发展的影响和内在机制。主要结论如下：第一，林业数智化明显促进了林业质量的提升；

第二，林业数智化对林业高质量发展的促进作用具有边际效应变化的特点，在林业数智化发展过程中，其对林业高质量的促进作用大小经历先升后降，但始终显著；

第三，林业高质量发展过程在林业数智化的空间溢出效应也得到了证实，说明林业数智化有助于地区间林业产业的协调发展。

参 考 文 献

- 陈国青, 任明, 卫强, 等, 2022. 数智赋能: 信息系统研究的新跃迁[J]. 管理世界, 38(1): 180-196.
- (Chen Guoqing, Ren Ming, Wei Qiang, et al. 2022. Empowering Digital Intelligence: A New Leap in Information System Research [J]. Managing the World, 38(1): 180-196.)
- 陈剑, 刘运辉, 2021. 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, 37(11): 227-240+14.
- (Jian Chen, Liu Yunhui, 2021. Digital Intelligentization Enables Operation Management Reform: From Supply Chain to Supply Chain Ecosystem [J]. Management World, 37(11): 227-240+14.)
- 陈思晗, 张长青, 2023. 智能控制在木材加工和林业机器人中的应用研究进展[J]. 世界林业研究, 36(3): 45-50.
- (Chen sihan, Zhang Changqing, 2023. research progress of intelligent control in wood processing and forestry robots [J]. world forestry research, 36(3): 45-50.)
- 范小源, 任月, 2023. 数字化赋能林业产业高质量发展研究现状及未来趋势[J]. 林草政策研究, 3(3): 25-30.
- (Fan Xiaoyuan, Ren Yue, 2023. Research status and future trend of high-quality development of digital empowerment forestry industry [J]. Forestry and Grass Policy Research, 3(3): 25-30.)
- 韩长根, 张力, 2019. 互联网是否改善了中国的资源错配——基于动态空间杜宾模型与门槛模型的检验[J]. 经济问题探索 (12): 43-55.
- (Han Changgen, Zhang Li, 2019. Does the Internet Improve the Mismatch of Resources in China —— A Test Based on Dynamic Space Dobbin Model and Threshold Model [J]. Exploration of Economic Problems (12): 43-55.)
- 侯方淼, 李晓怡, 肖慧, 等, 2023. 数字经济赋能中国乡村林业发展: 理论机制、成效分析及政策启示[J]. 世界林业研究, 36(2): 1-6.
- (Hou Fangmiao, Li Xiaoyi, Xiao Hui, et al. 2023. Digital Economy Empowers Rural Forestry Development in China: Theoretical Mechanism, Effectiveness Analysis and Policy Implications [J]. World Forestry Research, 36(2): 1-6.)
- 金凯, 王飞, 韩剑桥, 等, 2020. 1982—2015 年中国气候变化和人类活动对植被 ndvi 变化的影响[J]. 地理学报, 75(5): 961-974.
- (Jin Kai, Wang Fei, Han Jianqiao, et al. Effects of climate change and human activities on vegetation ndvi changes

in China from 1982 to 2015 [J]. *Acta Geographica*, 75(5): 961-974.)

黎翠梅, 周莹, 2021. 数字普惠金融对农村消费的影响研究——基于空间计量模型[J]. *经济地理*, 41(12): 177-186.

(Li Cuimei, Zhou Ying, 2021. Study on the Impact of Digital inclusive finance on Rural Consumption —— Based on Spatial Econometric Model [J]. *Economic Geography*, 41(12): 177-186.)

连俊华, 2022. 数字金融发展、农村普惠金融与农业经济增长——来自中国县域数据的经验证据[J]. *中国软科学*(5): 134-146.

(Lian Junhua, 2022. Digital Finance Development, Rural inclusive finance and Agricultural Economic Growth —— Empirical Evidence from County Data of China [J]. *China Soft Science* (5): 134-146.)

刘达禹, 徐斌, 刘金全, 2021. 数字经济发展与区域经济增长——增长门槛还是增长瓶颈?[J]. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 41(6): 16-25.

(Liu Dayu, Xu Bin, Liu Jinqian, 2021. Digital economy development and regional economic growth-growth threshold or growth bottleneck? [J]. *Journal of Xi 'an Jiaotong University (Social Science Edition)*, 41(6): 16-25.)

刘琳, 刘铁男, 刘美爽, 等, 2016. 黑龙江省森工林区林业用地面积变化及驱动因素分析[J]. *林业科学*, 52(5): 160-169.

(Liu Lin, Liu Tienan, Liu Meishuang, et al, 2016. Analysis on the change of forest land area and its driving factors in Heilongjiang forest industry region [J]. *Forestry Science*, 52(5): 160-169.)

娄树旺, 2016. 环境治理:政府责任履行与制约因素[J]. *中国行政管理*(3): 48-53.

(Lou Shuwang, 2016. Environmental Governance: Government Responsibility Fulfillment and Constraints [J]. *China Administration* (3): 48-53.)

栾江, 陈建成, 李强, 等, 2014. 高中教育还是中等职业教育更有利于增加西部地区农村劳动力非农收入?——基于异质性的处理效应估计[J]. *中国农村经济*(9): 32-45.

(Luan Jiang, Chen Jiancheng, Li Qiang, et al., 2014. Is high school education or secondary vocational education more conducive to increasing the non-agricultural income of rural labor force in the western region? -Estimation of treatment effect based on heterogeneity [J]. *China Rural Economy* (9): 32-45.)

宁攸凉, 李岩, 马一博, 等, 2021a. 我国林业产业发展面临的挑战与对策[J]. *世界林业研究*, 34(4): 67-71.

(Ning Youliang, Yan Li, Ma Yibo, et al. 2021a. Challenges and Countermeasures for the Development of China's Forestry Industry [J]. *World Forestry Research*, 34(4): 67-71. ...)

宁攸凉, 沈伟航, 宋超, 等, 2021b. 林业产业高质量发展推进策略研究[J]. *农业经济问题*(2): 117-122.

(Ning Youliang, Shen Weihang, Song Chao, et al., 2021b. Study on Promoting Strategies for High-quality Development of Forestry Industry [J]. *Agricultural Economic Issues* (2): 117-122.)

邱泽奇, 张树沁, 刘世定, 等, 2016. 从数字鸿沟到红利差异——互联网资本的视角[J]. *中国社会科学*(10): 93-115+203-204.

(Qiu Zeqi, Zhang Shuqin, Liu Shiding, et al., 2016. From the Digital Divide to the Divide-From the Perspective of Internet Capital [J]. *China Social Sciences* (10): 93-115+203-204.)

任保平, 2023. 以产业数字化和数字产业化协同发展推进新型工业化[J]. *改革*(11): 28-37.

(Ren Baoping, 2023. Promoting new industrialization with the coordinated development of industrial digitalization and digital industrialization [J]. *Reform* (11): 28-37.)

王钢, 赵霞, 2023. 数字化能否提升危机期间农林企业的韧性? ——来自 174 家上市公司数据的证据[J]. *林业经济*, 45(8): 72-96.

(Walter WANG, Zhao Xia, 2023. Can digitalization improve the resilience of agricultural and forestry enterprises during the crisis? -Evidence from the data of 174 listed companies [J]. *Forestry Economy*, 45(8): 72-96.)

郭志辉, 杨卫安, 2008. “离农”抑或“为农”——农村教育价值选择的悖论及消解[J]. *教育发展研究*(Z1): 52-57.

(Wu Zhihui, Yang Wei 'an, 2008. "Leaving Agriculture" or "Being Agriculture" —— Paradox and Resolution of the Value Choice of Rural Education [J]. *Research on Education Development* (Z1): 52-57.)

吴建梅, 李翊, 2024. 数字赋能林业产业发展的理论机理与路径探索[J/OL]. *农业科技与信息*(3): 137-140. DOI:10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2024.03.024.

(Wu jianmei, Yi Li, 2024. theoretical mechanism and path exploration of digital empowerment forestry industry development [J/OL]. *agricultural science and technology and information* (3): 137-140. doi: 10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2024.03.

024.)

徐章星, 2021. 数字普惠金融发展促进了城市创新吗?——基于空间溢出和门槛特征的实证分析[J]. 南方金融(2): 53-66.

(Xu Zhangxing, 2021. Does the development of digital inclusive finance promote urban innovation? -Empirical Analysis Based on Spatial Spillover and Threshold Characteristics [J]. Southern Finance (2): 53-66.)

许竹青, 郑风田, 陈洁, 2013. “数字鸿沟”还是“信息红利”?信息的有效供给与农民的销售价格——一个微观角度的实证研究[J]. 经济学(季刊), 12(4): 1513-1536.

(Xu Zhuqing, Zheng Fengtian, Jie Chen, 2013. Digital Divide or Information Divide? Effective supply of information and farmers' selling price-an empirical study from a micro perspective [J]. Economics (Quarterly), 12(4): 1513-1536.)

殷浩栋, 霍鹏, 汪三贵, 2020. 农业农村数字化转型: 现实表征、影响机理与推进策略[J]. 改革(12): 48-56.

(Yin Haodong, Peter Huo, Wang Sangui, 2020. Digital transformation of agriculture and rural areas: realistic representation, influencing mechanism and promotion strategy [J]. Reform (12): 48-56.)

余渭恒, 2024. 数字经济对区域碳减排绩效的空间溢出效应及异质性分析[J]. 工业技术经济, 43(6): 82-91.

(Yu Weiheng, 2024. Spatial Spillover Effect and Heterogeneity Analysis of Digital Economy on Regional Carbon Emission Reduction Performance [J]. Industrial Technology Economy, 43(6): 82-91.)

袁传武, 张维, 王崇顺, 等, 2021. 空天地一体化森林防火监测关键技术及实现[J]. 湖北林业科技, 50(2): 66-70.

(Yuan Chuanwu, Zhang Wei, Wang Chongshun, et al., 2021. Key technologies and realization of forest fire prevention monitoring with integration of air and space [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 50(2): 66-70.)

袁嘉栗, 曹家宝, 何胜文, 等, 2023. 天空地一体化林火监控预警系统设计与研究[J]. 中国应急救援(6): 32-35+53.

(Yuan Jiali, Cao Jiabao, He Shengwen, et al. 2023. Design and research of forest fire monitoring and early warning system integrating sky and ground [J]. Emergency rescue in China (6): 32-35+53.)

张鸿, 王浩然, 李哲, 2021. 乡村振兴背景下中国数字农业高质量发展水平测度——基于 2015—2019 年全国 31 个省市数据的分析[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 50(3): 141-154.

(Zhang Hong, Wang Haoran, Li Zhe, 2021. Measurement of the high-quality development level of digital agriculture in China under the background of rural revitalization —— Analysis based on the data of 31 provinces and cities in China from 2015 to 2019 [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 50(3): 141-154.)

张英浩, 汪明峰, 刘婷婷, 2022. 数字经济对中国经济高质量发展的空间效应与影响路径[J]. 地理研究, 41(7): 1826-1844.

(Zhang Yinghao, Wang Mingfeng, Liu Tingting, 2022. Spatial Effect and Path of Digital Economy on High-quality Economic Development in China [J]. Geographical Research, 41(7): 1826-1844.)

赵涛, 张智, 梁上坤, 2020. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 36(10): 65-76.

(Zhao Tao, Zhang Zhi, Liang Shangkun, 2020. Digital Economy, Entrepreneurial Activity and High-quality Development-Empirical Evidence from China [J]. Managing the World, 36(10): 65-76.)

BARUA S K, ABIR U H, BOSCOLO M, 2018. Improving forest land governance: The case of developing a digital archiving system for forest land records in bangladesh[J]. INTERNATIONAL FORESTRY REVIEW, 20(1): 18-30.

ELHORST J P, ZIGOVA K, 2014. Competition in research activity among economic departments: Evidence by negative spatial autocorrelation[J]. GEOGRAPHICAL ANALYSIS, 46(2): 104-125.

LI E, TANG Y, ZHANG Y, et al, 2024. Mechanism research on digital inclusive finance promoting high-quality economic development: Evidence from China[J/OL]. HELIYON, 10(3): e25671. DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e25671.

LIU J, CHEN J, CHEN S, et al, 2024. Forest management type identification based on stacking ensemble learning[J/OL]. FORESTS, 15(5): 887. DOI:10.3390/f15050887.

PACE R K, LESAGE J P, 2008. A spatial hausman test[J]. ECONOMICS LETTERS, 101(3): 282-284.

QIU H, ZHANG H, LEI K, et al, 2023. Forest digital twin: A new tool for forest management practices based on spatio-temporal data, 3D simulation engine, and intelligent interactive environment[J]. COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE, 215: 108416.