

# 数字经济发展能否提高森林生态产品 价值转化效率\*

## ——基于浙江省丽水市的实证分析

孔凡斌<sup>1,2,3</sup> 程文杰<sup>3</sup> 徐彩瑶<sup>2,3</sup>

**摘要：**本文基于2011—2019年县级面板数据，采用面板向量自回归模型、面板门槛效应模型和空间误差模型等方法，分析了浙江省丽水市数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率之间的因果关系及其作用机制。研究发现：首先，从数字经济发展水平和森林生态产品价值转化效率的测算结果来看，丽水市各县域单元森林生态产品价值转化效率和数字经济发展水平整体向好，数字经济发展水平结构指标和森林生态产品价值转化效率之间的关联度均较强；其次，从面板向量自回归模型估计结果来看，森林生态产品价值转化效率对数字经济发展水平的冲击反应迅速，且受影响时间较长。再次，从面板门槛效应模型估计结果来看，数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率的影响存在双重门槛效应，数字经济发展水平大于第一门槛值且小于第二门槛值时，会对森林生态产品价值转化效率产生显著影响；最后，从空间误差模型估计结果来看，数字经济发展可通过空间溢出效应对邻近地区森林生态产品价值转化效率产生显著负向影响。

**关键词：**数字经济 森林生态产品 价值转化效率 因果关系

**中图分类号：**F062.2 **文献标识码：**A

### 一、引言

党的二十大报告将“建立生态产品价值实现机制”以及“加快发展数字经济，促进数字经济和实

---

\*本文研究得到国家自然科学基金面上项目“集中连片特困地区退耕还林生态系统服务与退耕农户福祉过程耦合机理及生态补偿关键机制研究”（编号：42071283）、浙江省软科学研究计划项目“浙江生态产品价值实现的测度方法与效果评价”（编号：2022C35104）和国家社会科学基金重点项目“建立我国生态扶贫共建共享机制研究”（编号：18AJY006）的支持。感谢匿名审稿专家提出的宝贵意见，但文责自负。本文通讯作者：徐彩瑶。

体经济深度融合”作为新征程构建现代产业体系和生态文明建设的重要使命任务<sup>①</sup>。2021年中共中央办公厅和国务院办公厅印发了《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》，明确了生态产品价值实现是贯彻落实生态文明建设的重要举措<sup>②</sup>。生态产品是联结自然和社会的桥梁和纽带，生态产品价值实现是生态资本促进经济增长和增进人类福祉的关键路径（孔凡斌等，2022）。绿水青山是最重要的自然资源，决定绿水青山面貌的森林生态资源是中国分布最广、存量最为丰富的自然生态资产，也是生态产品价值实现的重点领域。森林生态系统为区域经济发展提供除直接林木产品之外的支撑、调节和文化等具有重要使用价值的功能和服务，其中的固碳释氧、水源涵养、减少泥沙淤积和气候调节等功能，直接关联人类福祉。具体而言，固碳服务与气候变化以及农业生产高度关联，水源涵养与水资源安全和粮食安全紧密相关，泥沙淤积影响土壤长期生产力和农产品产出潜能，气候调节关乎人类生产生活的各个方面（孔凡斌等，2022）。森林生态产品作为一类重要的生态产品，其价值实现效率的高低能够影响城乡发展差距进而影响社会公平（孔凡斌等，2023a），但森林生态产品价值实现效率的影响因素和作用机制比较复杂，厘清其中的关键因素及其作用机制可以为评价生态产品价值实现政策的实践成效和优化生态产品价值实现路径提供科学依据（孔凡斌等，2022；Elisabeth et al., 2022；Emin, 2023）。

国家《“十四五”数字经济发展规划》提出要拓展经济发展新空间<sup>③</sup>。中国数字经济开始转向深化应用、规范发展、普惠共享的新阶段。数字经济发展正推动农业生产方式变革和生产效率提升，关于数字经济发展与农业生产效率关系的理论研究也随之展开，例如数字普惠金融与农业全要素生产率的关系（唐建军等，2022）、数字经济与绿色全要素生产率的关系（Lyu et al., 2023）、数字经济与绿色发展效率的关系（Luo et al., 2022；朱喜安和马樱格，2022；何维达等，2022）等，这些研究为深入探索数字经济发展提升农业生产效率的机制提供了理论和方法借鉴。然而，在数字经济发展对农业生产效率影响的研究中，还缺乏数字经济发展对森林生态产品价值转化效率影响的量化探索。

数字经济发展提升森林生态产品价值转化效率的机制在于，数字经济作为重要的影响因素能够渗透到森林生态产品价值转化的整个过程，即利用数字经济的强渗透性和融合性特征，打破产业组织边界，缓解信息不对称，重塑林业生产要素配置和产业分工方式，促进森林生态产品的产业链节点突破、向价值链两端攀升，不断拓宽和提升森林生态产品价值的转化路径和转化效率，进而促进森林生态产品的培育、保护、利用以及生态产业化。当前，推动数字经济发展与生态产品价值实现的深度融合是拓展数字经济发展新空间以及协同推进人与自然和谐共生的中国式现代化的战略选择，研究数字经济

<sup>①</sup>参见《习近平：高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告》，[http://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content\\_5721685.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm)。

<sup>②</sup>参见《中共中央办公厅 国务院办公厅印发〈关于建立健全生态产品价值实现机制的意见〉》，[http://www.gov.cn/zhengce/2021-04/26/content\\_5602763.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2021-04/26/content_5602763.htm)。

<sup>③</sup>参见《国务院关于印发“十四五”数字经济发展规划的通知》，[http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/12/content\\_5667817.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/12/content_5667817.htm)。

发展与森林生态产品价值实现之间的内在关系及其作用机制，据此提出通过发展数字经济促进森林生态产品价值实现的政策建议，意义重大。

## 二、相关概念、理论分析与研究假说

### （一）相关概念

生态产品与生态系统服务具有同源性（靳诚和陆玉麒，2021）。生态产品是指由自然生态系统提供的产品和服务，可分为物质供给类、调节服务类和文化服务类。生态产品能够以生产要素的形式直接进入社会经济生产系统，其循环过程是通过生态技术进行形态和价值的转换，从而进入生态市场，通过交易成为生态商品及物质财富，进而促进经济增长和增进人类福祉。森林生态产品是以森林资源为载体，提供各类满足人类需要的产品和服务的总称（窦亚权等，2022）。具体而言，森林生态产品价值包含经济价值、生态价值和社会价值，其中的生态价值是指森林生态产品作为森林生态系统的构成要素，提供水源涵养、固碳释氧、气候调节和减少泥沙淤积等维持人类生存所必需的价值（秦国伟等，2022）。森林生态产品的生态价值是生态产品价值实现的重点对象。森林生态产品价值实现机制包括生态补偿机制和生态产品价值转化机制。其中，森林生态产品价值转化机制是市场经济条件下推动森林生态产品价值实现的关键机制，具体包括价值实现路径和价值转化效率两个方面。森林生态产品价值实现路径通常包括明晰生态产权、推动生态技术应用、政府调节与市场运作相互协同等（高晓龙等，2022）；价值转化效率指将森林生态产品价值作为生态资本投入要素纳入拓展的生产函数，从而得到的要素产出效率（孔凡斌等，2022；程文杰等，2022），是衡量森林生态产品价值实现程度和生态资本配置效能的重要指标。

数字经济相关理论由 Tapscott（1996）最先提出，后经不断完善，概念逐渐成熟。2016年，G20杭州峰会通过的《二十国集团数字经济发展与合作倡议》将数字经济定义为“以使用数字化的知识和信息作为关键生产要素、以现代信息网络作为重要载体、以信息通信技术的有效使用作为效率提升和经济结构优化的重要推动力的一系列经济活动”<sup>①</sup>。数字经济发展速度之快、辐射范围之广、影响程度之深前所未有，数字经济已经成为重组生产要素资源、重塑经济结构以及协调人与自然关系的关键力量。

### （二）理论分析与研究假说

1.理论分析。在技术和制度确定的条件下，定量分析资源配置的经济增长效率需引入转化效率这一概念。转化效率反映了最大产出度、预期目标和最佳的运营状态，即固定投入条件下，实际产出与最大产出之间的比率。理论上，技术进步效率、规模效率和配置效率共同影响转化效率（Chavas and Cox，1999）。同时，经济学理论认为资源配置效率、资本效率和技术效率将在不同程度和方向上影响生态产品价值转化效率。在经济发展过程中，森林生态产品价值的投入会对森林生态资源富集地区的经济增长产生重要影响。

<sup>①</sup>资料来源：《二十国集团数字经济发展与合作倡议》，[http://www.g20chn.org/hywj/dncgwj/201609/t20160920\\_3474.html](http://www.g20chn.org/hywj/dncgwj/201609/t20160920_3474.html)。

柯布-道格拉斯函数是最常用于研究投入产出效率的模型。土地、物质资本和劳动力是传统投入要素，森林生态产品价值作为现代生态经济增长理论的重要概念，也将被列入经济增长的要素体系。生产函数模型转变为（孔凡斌等，2023b）：

$$Y_{i,t} = A_{i,t}^{\mu} N_{i,t}^{\alpha} K_{i,t}^{\beta} R_{i,t}^{\gamma} E_{i,t}^{\delta} \lambda_{i,t} \quad (1)$$

对（1）式取对数可得：

$$\ln Y_{i,t} = \mu \ln A_{i,t} + \alpha \ln N_{i,t} + \beta \ln K_{i,t} + \gamma \ln R_{i,t} + \delta \ln E_{i,t} + \ln \lambda_{i,t} \quad (2)$$

（1）式和（2）式中： $Y_{i,t}$ 、 $N_{i,t}$ 、 $K_{i,t}$ 、 $R_{i,t}$ 、 $E_{i,t}$ 和 $A_{i,t}$ 分别代表第*i*个县域单元第*t*年的林业产业增加值、林地投入、物质资本投入、劳动力投入、森林生态产品价值和其他投入； $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 和 $\mu$ 分别表示林地投入、物质资本投入、劳动力投入、森林生态产品价值和其他投入的产出弹性； $\lambda_{i,t}$ 表示常数项。

数字经济通过作用于林业生产要素、互联网平台、产业转型和数字林场等路径影响森林生态产品价值实现程度和实现方式，进而影响森林生态产品价值转化效率。

首先，数据作为一种投入要素，与林业劳动力、林业投资、林地资源、生态技术、森林生态产品等要素结合，形成要素配置的规模优势，推动森林生态产品要素向林业产品转化，进而影响森林生态产品价值转化效率（孔凡斌等，2023b）。

其次，数字经济与森林生态产业融合发展能够降低高污染行业特别是传统的木材加工、林产化工和木浆造纸等行业带来的环境破坏程度，有效缓解林业产业发展带来的环境压力（许宪春等，2021），为林业产业绿色转型带来空间，有利于森林生态产品价值的产业转化。

再次，互联网平台是数字经济的典型商业模式，互联网平台的出现减少了包括森林生态产品价值评估、林地产权界定、林地规模化流转、劳动力供给、生态技术采纳、资金投入、林产品销售、森林资产管理等环节信息获取和交易的“摩擦力”，降低了林业生产要素和产品的市场交易成本（赵涛等，2020；朱喜安和马樱格，2022；何维达等，2022），提升了森林生态产品的价值转化效率。同时，互联网成本可加性和交叉网络外部性的存在，导致行业垄断（郭家堂和骆品亮，2016），使得森林生态产品投入产出的技术效率受到影响，可能会抑制森林生态产品价值转化效率。

最后，数字基础设施完善及其深度嵌入森林培育、森林保护和森林生态产品产业化的过程，将会加速数字林场和林业数字化建设进程，推动数字化赋能林业机关信息化、林业社会服务数字化和林业管理智能化（唐代生和吴云华，2009），进而为森林生态产品价值实现提供政策、技术和管理保障，有利于提升森林生态产品价值转化效率。本文理论机制如图1所示。

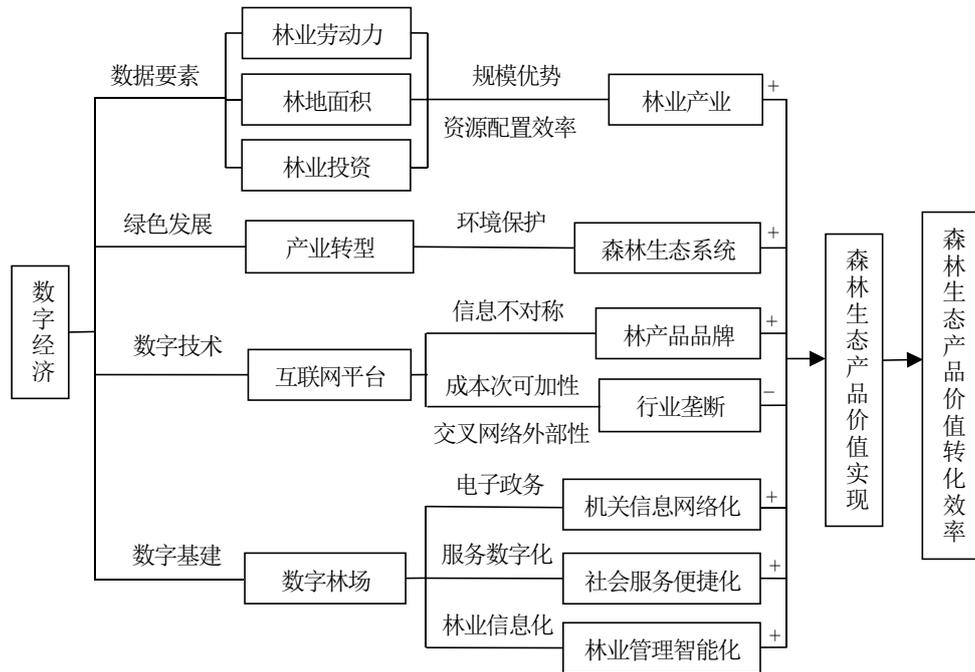


图1 数字经济发展影响森林生态产品价值转化效率的理论机制

2.研究假说。由以上理论分析可知，数字经济发展与森林生态产品价值转化效率之间存在内在联系，据此本文提出研究假说H1。

H1：数字经济发展对森林生态产品价值转化效率具有冲击作用。

数字经济发展提供了更为优质的网络产品服务，使得社会运行效率得到提升（赵涛等，2020）。在此背景下，林业各部门借助数字经济不断优化内部结构，提高自身运行效率，进而促进森林生态产品价值转化。随着互联网规模的不断扩大，网络效应日益凸显，数字经济发展不可避免地受到“梅特卡夫法则”的限制，将会面临临界规模（Rohlfis, 1974）。这也意味着数字经济发展对森林生态产品价值转化效率的作用是非线性的，两者之间存在门槛效应（郭家堂和骆品亮，2016）。基于上述分析，本文提出研究假说H2。

H2：数字经济发展对森林生态产品价值转化效率的影响具有门槛效应。

新经济地理理论明确提出，信息技术的扩散和溢出会导致经济体之间的空间依赖性增强。信息化具有空间溢出效应（Yilmaz et al., 2002），这一点在以往的研究中已经得到证实（赵涛等，2020）。从数字经济发展与森林生态产品价值转化效率的关系来看：一方面，数据要素突破了地理条件、信息传递和时间成本等传统因素的制约（安同良和杨晨，2020），打破了林业生产活动的时空壁垒，有利于森林生态产品价值转化效率的提高；另一方面，随着数字技术的不断应用，各林业部门更易相互学习和借鉴，有利于形成开放的发展环境，从而辐射周边地区林业生态经济发展，加深各地区的关联，为森林生态产品价值转化提供新途径。但是，由于数字经济发展水平存在空间异质性，各地区数字基

基础设施、数字人才、产业数字化发展水平并不均衡,在这种情况下,根据累计因果理论,数字经济发展的回流效应普遍大于扩散效应。也就是说,数字经济发展水平较高地区的数字经济发展会促进森林生态产品价值的转化,而与它们密切相关的邻近地区由于缺乏先进的数字基础设施、数字技术和数字人才,资本和劳动力等要素容易流出到数字经济发展水平较高地区而成为生产要素流出地,即数字经济发展水平高的地区会对邻近地区森林生态产品价值转化造成回流效应,从而对邻近地区森林生态产品价值转化效率产生负向影响,不利于区域内森林生态产品价值的协同转化。基于上述分析,本文提出研究假说H3。

H3: 数字经济发展通过空间溢出效应对邻近地区森林生态产品价值转化效率产生负向影响。

### 三、研究设计

#### (一) 研究区域概况

丽水市位于浙江省西南部,市境介于北纬 $27^{\circ}25'$ ~ $28^{\circ}57'$ 和东经 $118^{\circ}41'$ ~ $120^{\circ}26'$ 之间<sup>①</sup>。2021年实现地区生产总值1710.03亿元,比2020年增长8.3%;全市户籍人口269.97万人,其中,城镇人口89.92万人,乡村人口180.05万人,城镇居民人均可支配收入为4.20万元,农村人均可支配收入为2.64万元<sup>②</sup>。2020年,丽水市森林面积为142.14万公顷,森林覆盖率达81.70%,活立木总蓄积量9885.83万立方米,均居全省前列<sup>③</sup>。2019年3月,浙江省政府办公厅印发《浙江(丽水)生态产品价值实现机制试点方案》,提出要重点探索建立生态产品价值核算评估应用机制、健全生态产品市场交易体系和创新生态价值产业实现路径,致力于将丽水市打造成全国生态产品价值实现机制示范区<sup>④</sup>。丽水市处于数字经济发达的浙江省,2018年丽水市发布《丽水市数字经济发展五年行动计划》推动实施数字经济“一号工程”,以“数字产业化、产业数字化”为主线,加速数字生态经济发展,使数字生态经济成为生态产品价值转换的重要通道,将丽水市打造成数字生态经济先行区、示范区和数字大花园<sup>⑤</sup>。因此,研究丽水市数字经济发展和森林生态产品价值转化效率的关系,对于全国探索森林资源富集区域数字经济与森林生态产业深度融合发展的理论机制和实践路径,具有典型示范意义。

#### (二) 数据来源

本文参考孔凡斌等(2023a, 2023b)和张亚立等(2023)的森林生态产品价值核算方法以及使用的基础数据精度,进行森林生态产品价值测算,具体如表1所示。

<sup>①</sup>资料来源:《丽水概览——自然气候》, [http://lssz.lishui.gov.cn/art/2022/5/16/art\\_1229634360\\_7027.html](http://lssz.lishui.gov.cn/art/2022/5/16/art_1229634360_7027.html)。

<sup>②</sup>资料来源:《2022年丽水统计年鉴》, [http://tjj.lishui.gov.cn/art/2022/11/11/art\\_1229215928\\_58836404.html](http://tjj.lishui.gov.cn/art/2022/11/11/art_1229215928_58836404.html)。

<sup>③</sup>参见《浙江省人民政府办公厅关于印发浙江(丽水)生态产品价值实现机制试点方案的通知》, [https://www.zj.gov.cn/art/2019/3/28/art\\_1229019365\\_61763.html](https://www.zj.gov.cn/art/2019/3/28/art_1229019365_61763.html)。

<sup>④</sup>参见《丽水市人民政府办公室关于印发丽水市数字经济发展五年行动计划的通知》, [http://www.lishui.gov.cn/art/2018/12/21/art\\_1229283446\\_2146448.html](http://www.lishui.gov.cn/art/2018/12/21/art_1229283446_2146448.html)。

表 1 森林生态产品价值核算方法以及数据来源

核算项目	功能量核算方法	价值量核算方法	数据来源
固碳释氧	根据净初级生产力数据以及 NEP/NPP 转换系数计算森林生态系统固碳量, 进而根据净初级生产力计算释氧量	基于碳市场交易价格和医疗制氧价格计算固碳释氧价值	数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (www.resdc.cn), 土地利用数据空间分辨率为 1 千米×1 千米, 数字高程数据来源于地理空间数据云 (www.gscloud.cn) 中 SRTM 90 米空间分辨率高程数据
水源涵养	本地森林生态系统降雨量减去径流量, 再减去蒸散发量	基于水库和蓄水池工程造价成本和管理费用计算	数据来源于国家气象科学数据中心 (data.cma.cn)、国家青藏高原科学数据中心 (data.tpdc.ac.cn), 土地利用数据空间分辨率为 1 千米×1 千米, 数字高程数据来源于地理空间数据云 (www.gscloud.cn) 中 SRTM 90 米空间分辨率高程数据
减少泥沙淤积	由通用土壤流失方程计算森林生态系统的土壤保持量, 再乘以泥沙形成系数	基于土方清运成本计算	数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (www.resdc.cn), 土地利用数据空间分辨率为 1 千米×1 千米, 数字高程数据来源于地理空间数据云 (www.gscloud.cn) 中 SRTM 90 米空间分辨率高程数据
气候调节	在高于适宜温度时期, 森林生态系统单位面积蒸散发消耗热量乘以面积	基于普通居民用电成本计算	数据来源于国家青藏高原科学数据中心 (data.tpdc.ac.cn)。土地利用数据空间分辨率为 1 千米×1 千米, 数字高程数据来源于地理空间数据云 (www.gscloud.cn) 中 SRTM 90 米空间分辨率高程数据

由于统计口径原因, 本文仅能得到 2010—2019 年林业三次产业增加值统计数据。考虑到在计算森林生态产品价值转化效率时以 2010 年为基期, 测算的效率值的年限范围为 2011—2019 年。为保持数据的一致性, 本文将来源于《丽水统计年鉴》的数字经济发展水平和投入产出指标体系数据的时间范围也确定为 2011—2019 年。控制变量相关数据为实地调研以及参考《丽水统计年鉴》所得, 时间范围为 2011—2019 年。

### (三) 变量说明

1. 被解释变量: 森林生态产品价值转化效率。本文从投入和产出两个方面构建如表 2 所示的指标体系, 然后利用超效率 SBM-Malmquist 指数模型 (徐伟, 2021) 计算得到森林生态产品价值转化效率。

投入指标: ①森林生态产品价值。森林生态产品价值用固碳释氧价值、水源涵养价值、减少泥沙淤积价值和气候调节价值表示。使用 InVEST 模型 (杨文仙等, 2021) 和中国科学院开发的 IUEMS 系统 (韩宝龙和欧阳志云, 2021) 测算固碳释氧、水源涵养、减少泥沙淤积和气候调节的功能量, 并结合影子价值法进行价值量核算。②物质资本投入。物质资本投入用林业固定资产投资表示 (孔凡斌等, 2023b)。林业固定资产投资水平会影响林业基础设施建设水平, 从而对森林生态产品价值实现产生影响。③劳动力投入。劳动力投入用林业有效劳动力表示。林业有效劳动力会对林业资源培育、林

农就业收入、林业技术效率和技术进步产生影响，进而影响森林生态产品价值实现，具体由林业劳动力乘以人均受教育水平得到（张兵等，2013）。④林地投入。林地投入用林地面积表示。林地面积作为反映森林资源和森林经营状况的重要指标，影响森林生态系统的结构和质量，进而影响森林生态系统服务功能及其产品价值实现，是林业生态研究常用指标（孔凡斌等，2023b）。

林业产业增加值可以直观反映地方森林生态产品价值实现形态和实现程度，因此产出指标用林业产业增加值表示，包括林业第一、第二、第三产业的增加值。林业第一产业包括木质和非木质林产品生产，林业第二产业包括木质和非木质林产品加工业，林业第三产业包括森林休憩与旅游、林业生产服务等。

表2 森林生态产品价值转化效率的投入产出指标体系

	一级指标	二级指标
投入指标	森林生态产品价值	固碳释氧价值（亿元）
		水源涵养价值（亿元）
		减少泥沙淤积价值（亿元）
气候调节价值（亿元）		
	物质资本投入	林业固定资产投资（亿元）
	劳动力投入	林业有效劳动力（万人）
	林地投入	林地面积（公顷）
产出指标	林业产业增加值	林业第一产业增加值（亿元）
		林业第二产业增加值（亿元）
		林业第三产业增加值（亿元）

2.核心解释变量：数字经济发展水平。鉴于对数字经济发展水平的测量尚处于探索阶段，借鉴已有研究成果（赵涛等，2020；何维达等，2022），结合“宽带中国”和“数字中国”政策要求，本文从数字基础设施、数字业务规模和数字技术创新三个维度衡量数字经济发展水平，具体见表3。数字基础设施不仅可以促进传统行业智能升级，还能改善经济发展结构，是数字经济发展的基础；数字业务规模体现了数字经济的市场规模和发展格局；数字技术创新是促进技术进步、改善产业结构、推动经济绿色发展的重要着力点。因此，从数字基础设施、数字业务规模和数字技术创新三个维度出发，能够较为准确地衡量数字经济发展水平。由于数据单位不一，本文采用极差法对数据进行标准化处理，运用熵值法确定指标权重<sup>①</sup>。

表3 数字经济发展水平指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	属性	权重
数字经济发展水平	数字基础设施	每万人互联网宽带接入用户数（户）	+	0.0873
		每万人移动电话用户数（户）	+	0.0760
	数字业务规模	邮电业务总量（万元）	+	0.2291
		信息传输、软件和技术服务业人员占私营和非私营单位总就业人员的比例（%）	+	0.2232

<sup>①</sup>限于篇幅，本文未展示计算过程。

表3 (续)

	数字技术创新	地方财政科学技术支出占财政预算的比例 (%)	+	0.1999
		科学研究和技术服务业人员占私营和非私营单位总就业人员的比例 (%)	+	0.1845

3.控制变量。本文模型的控制变量包括：①经济发展水平。经济发展水平会影响区域投资、生态理念等方面，对森林生态产品价值转化效率有一定影响。本文以人均地区生产总值表示经济发展水平。②林业产业发展水平。林业产业发展会促进森林生态产品价值提升，进而提高价值转化效率。本文以林业产业增加值占地区生产总值的比重表示林业产业发展水平。③产业结构。生态环境保护、资源配置方式和技术发展水平等均受到产业结构的影响，本文以第三产业增加值占地区生产总值的比重表示产业结构。④环境污染。受到污染的环境会阻碍森林生态产品价值转化效率的提高。本文选用工业废水排放量、工业废气排放量和工业固体废弃物排放量作为基础指标（陈慧霖等，2022），测算出环境污染程度。⑤地区开放度。开放度高的地区对人才和科技都有着更强的吸引力，这有利于生态经济发展。本文以贸易进出口总额与地区生产总值的比值表示地区开放度。变量定义与描述性统计结果如表4所示。

表4 变量定义与描述性统计结果

变量类型	变量名称	变量说明	均值	标准差	样本量
被解释变量	森林生态产品价值转化效率	由超效率 SBM-Malmquist 指数模型计算得到	1.561	1.752	81
核心解释变量	数字经济发展水平	熵值法计算得到	0.281	0.215	81
控制变量	经济发展水平	人均地区生产总值 (元)	49550.840	12201.560	81
	林业产业发展水平	林业产业增加值占地区生产总值的比重	0.097	0.720	81
	产业结构	第三产业增加值占地区生产总值的比重	0.440	0.042	81
	环境污染	工业废水、工业废气和工业固体废弃物 (万吨)	1467.019	1239.739	81
	地区开放度	贸易进出口总额与地区生产总值的比值	0.151	0.061	81

#### (四) 模型设定

1.面板向量自回归模型。面板向量自回归模型能够揭示数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率之间的因果关系，模型具体设定如下：

$$Y_{i,t} = \gamma_0 + \sum_{j=1}^n \gamma_j Y_{i,t-j} + \alpha_i + \beta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

(3) 式中： $i$  和  $t$  分别表示地区和时间； $Y_{i,t}$  作为系统变量矩阵，是一个包含数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率的二维列向量； $\gamma_0$  表示截距项向量； $j$  和  $\gamma_j$  分别表示滞后阶数以及滞后第  $j$  阶的参数矩阵； $\alpha_i$  和  $\beta_t$  分别表示个体固定效应和时间固定效应； $\varepsilon_{i,t}$  表示随机扰动项，且服从标准正态分布的基本假定。

2.面板门槛效应模型。参考 Hansen (1999) 的做法, 本文以数字经济发展水平为门槛变量, 运用面板门槛效应模型进行实证分析, 模型设定如下:

$$TE_{i,t} = u_i + \alpha_1 DE_{i,t} \times I(DE_{i,t} \leq \gamma_1) + \alpha_2 DE_{i,t} \times I(\gamma_1 < DE_{i,t} \leq \gamma_2) + \alpha_3 DE_{i,t} \times I(\gamma_2 < DE_{i,t}) + \beta C_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

(4) 式中:  $i$  和  $t$  分别表示地区和时间;  $TE_{i,t}$  和  $DE_{i,t}$  分别表示森林生态产品价值转化效率和数字经济发展水平, 同时,  $DE_{i,t}$  也是门槛变量;  $\gamma_1$  和  $\gamma_2$  表示待估计的门槛值;  $I(\cdot)$  为指示函数, 当括号中表达式为假时,  $I(\cdot)$  取 0, 反之,  $I(\cdot)$  取 1;  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 、 $\beta$  表示待估计系数;  $C_{i,t}$  表示控制变量;  $\mu_i$  为个体固定效应;  $\varepsilon_{i,t}$  为随机扰动项, 且服从标准正态分布的基本假定。

3.空间自相关模型。在利用空间误差模型分析之前, 需要先做空间自相关检验。本文的空间自相关模型设定如下:

$$Moran'I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

(5) 式中:  $Moran'I$  表示全局空间自相关;  $i$  和  $j$  表示不同的县域单元;  $n$  为县域单元总数;  $y_i$  和  $y_j$  分别表示第  $i$  个和第  $j$  个县域单元的森林生态产品价值转化效率,  $\bar{y}$  表示森林生态产品价值转化效率的平均值;  $w_{i,j}$  为空间权重矩阵。

4.空间误差模型。为考察数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率之间的空间关系, 本文将空间权重矩阵与相关变量结合, 构建空间计量模型, 具体设定如下:

$$\begin{cases} TE_{i,t} = X_{i,t} \beta + \mu_{i,t} \\ \mu_{i,t} = \lambda W \mu_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \end{cases} \quad (6)$$

(6) 式中:  $i$  和  $t$  分别表示地区和时间;  $TE_{i,t}$  表示森林生态产品价值转化效率;  $X_{i,t}$  为自变量向量;  $W$  表示空间权重矩阵;  $\beta$  表示待估参数向量;  $\lambda$  为空间自相关系数;  $\mu_{i,t}$  和  $\varepsilon_{i,t}$  表示随机误差项向量。

## 四、实证结果与分析

### (一) 丽水市数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率变化特征

本文运用超效率 SBM-Malmquist 指数模型计算得到丽水市森林生态产品价值转化效率, 并使用熵值法计算得到数字经济发展水平, 具体结果如表 5 所示。

数字经济发展能否提高森林生态产品价值转化效率

表5 丽水市森林生态产品价值转化效率与数字经济发展水平

	指数	年份								
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
莲都区	TE	0.480	0.626	0.788	0.524	0.606	0.506	0.726	0.387	0.953
	Pech	1.023	1.424	1.038	0.471	0.967	0.920	1.035	0.703	1.128
	Sech	0.989	0.620	1.002	2.514	1.008	1.005	1.063	1.701	1.064
	Tech	0.474	0.709	0.758	0.442	0.622	0.547	0.66	0.324	0.794
	DE	0.788	0.714	0.814	0.877	0.549	0.908	0.916	0.945	0.921
青田县	TE	1.543	0.959	1.057	0.712	1.548	0.827	0.615	0.446	0.738
	Pech	1.013	0.62	0.985	0.718	1.084	0.829	0.887	0.552	0.978
	Sech	1.002	1.69	0.991	1.115	0.984	0.965	0.538	1.163	0.853
	Tech	1.520	0.914	1.082	0.889	1.451	1.034	1.286	0.695	0.884
	DE	0.352	0.32	0.367	0.321	0.51	0.318	0.369	0.409	0.401
缙云县	TE	0.943	0.894	0.977	1.009	0.917	1.008	1.387	2.878	0.813
	Pech	1.137	0.899	0.994	1.160	0.971	1.014	1.068	3.125	1.022
	Sech	0.963	0.993	1.002	0.935	1.004	1.052	1.830	0.970	0.680
	Tech	0.862	1.002	0.981	0.931	0.941	0.945	0.710	0.949	1.169
	DE	0.248	0.232	0.281	0.261	0.419	0.285	0.296	0.272	0.34
遂昌县	TE	1.123	3.507	2.137	1.681	1.322	5.787	2.577	1.523	2.708
	Pech	0.559	0.758	1.002	0.953	0.943	1.703	1.131	0.293	0.916
	Sech	0.919	1.105	1.044	0.614	1.010	1.072	0.978	0.699	1.576
	Tech	2.183	4.188	2.043	2.875	1.389	3.169	2.330	7.437	1.877
	DE	0.188	0.161	0.219	0.189	0.363	0.222	0.219	0.215	0.217
松阳县	TE	2.588	0.488	0.953	1.194	1.052	0.604	1.012	0.504	1.011
	Pech	1.550	1.249	1.055	1.045	1.003	0.721	0.962	1.528	0.990
	Sech	1.136	0.999	0.970	0.980	1.011	0.988	1.029	1.065	1.021
	Tech	1.469	0.391	0.931	1.166	1.037	0.849	1.022	0.310	1.000
	DE	0.128	0.126	0.218	0.147	0.231	0.157	0.166	0.164	0.171
云和县	TE	0.173	1.270	1.549	6.027	1.589	1.560	1.744	3.345	2.114
	Pech	0.249	0.815	0.917	1.223	1.074	1.015	0.986	0.648	1.206
	Sech	0.754	0.989	1.043	2.015	1.001	0.966	1.030	1.390	1.123
	Tech	0.922	1.575	1.620	2.445	1.477	1.592	1.717	3.715	1.561
	DE	0.103	0.118	0.134	0.144	0.186	0.15	0.143	0.156	0.143
庆元县	TE	0.859	0.977	0.707	0.106	0.715	0.809	0.646	0.194	0.664
	Pech	0.929	1.294	0.978	0.716	0.956	1.104	0.923	0.687	0.857
	Sech	0.931	1.024	0.994	0.233	1.000	0.904	0.967	0.739	0.999
	Tech	0.993	0.737	0.726	0.638	0.748	0.810	0.723	0.382	0.776
	DE	0.108	0.127	0.139	0.137	0.217	0.16	0.157	0.15	0.165

表 5 (续)

景宁畲族自治县	TE	1.069	1.013	1.189	1.086	1.059	0.894	1.077	1.083	1.620
	Pech	0.847	1.107	1.068	2.817	1.043	0.997	1.586	1.339	1.330
	Sech	1.189	0.885	0.939	0.801	0.990	1.006	0.744	1.298	0.931
	Tech	1.061	1.034	1.186	0.481	1.026	0.891	0.914	0.623	1.308
	DE	0.092	0.097	0.114	0.128	0.196	0.129	0.133	0.079	0.144
龙泉市	TE	4.052	2.643	1.872	2.422	1.720	2.628	3.731	13.718	1.896
	Pech	1.196	0.915	0.911	1.028	1.145	1.058	0.602	4.908	0.828
	Sech	0.512	1.130	1.056	0.198	0.953	1.108	1.388	1.041	0.345
	Tech	6.618	2.558	1.947	11.917	1.576	2.241	4.466	2.685	6.627
	DE	0.229	0.208	0.185	0.237	0.34	0.232	0.229	0.192	0.236

注：TE 表示森林生态产品价值转化效率，DE 表示数字经济发展水平，Pech、Sech、Tech 分别表示纯技术效率、规模效率和技术进步效率。

2011—2019 年，丽水市各县域单元森林生态产品价值转化效率波动上升，整体发展水平有所提高。其中，遂昌县、松阳县、云和县、景宁畲族自治县和龙泉市森林生态产品价值转化效率超过 1 的年份较多，转化效率较高。从分解结果来看，纯技术效率变化较小，规模效率值趋近 1，而技术进步效率波动幅度较大。由于森林生态产品价值转化效率为纯技术效率、规模效率和技术进步效率三者的乘积，因此，技术进步效率对森林生态产品价值转化效率的影响最大，对森林生态产品价值转化效率的解释能力最强。

丽水市各个县域单元数字经济发展水平呈现稳中有升的态势，这与浙江省高度重视数字技术发展紧密相关。数字经济发展水平在不同县域单元间差异较大，莲都区数字经济发展水平远高于其他县域单元，各县域单元之间本身也存在较大差异，这可能与各县域单元的数字经济基础设施、人力资本以及科技资金投入水平密切相关。

## (二) 数字经济发展水平结构指标与森林生态产品价值转化效率的关系

定量分析数字经济发展水平各结构指标与森林生态产品价值转化效率之间相互作用的关系，需要量化评估各个结构指标对森林生态产品价值转化效率影响的重要程度。为此，本文参考王淑贺和王利军（2022）的方法，建立灰色关联度模型，对两者之间的关系进行模拟分析，结果如表 6 所示。整体上看，数字经济发展水平各结构指标和森林生态产品价值转化效率之间的关联度均较强。具体而言，对于莲都区、松阳县和庆元县，每万人互联网宽带接入用户数和每万人移动电话用户数和森林生态产品价值转化效率之间的关联度最强；对于青田县、遂昌县、云和县、景宁畲族自治县和龙泉市，每万人互联网宽带接入用户数和邮电业务总量和森林生态产品价值转化效率之间的关联度最强；对于缙云县，邮电业务总量和地方财政科学技术支出占比和森林生态产品价值转化效率之间的关联度最强。

表 6 数字经济发展水平结构指标与森林生态产品价值转化效率的灰色关联度分析结果

	每万人互联网 宽带接入用户数	每万人移动 电话用户数	邮电业 务总量	信息传输、软件和技 术服务业人员占比	地方财政科学 技术支出占比	科学研究和技术 服务业人员占比
莲都区	0.696	0.698	0.692	0.649	0.695	0.583
青田县	0.760	0.661	0.716	0.699	0.712	0.715
缙云县	0.737	0.630	0.752	0.700	0.782	0.679
遂昌县	0.772	0.668	0.732	0.707	0.716	0.713
松阳县	0.681	0.694	0.670	0.567	0.677	0.559
云和县	0.748	0.699	0.724	0.697	0.673	0.722
庆元县	0.707	0.687	0.681	0.641	0.669	0.685
景宁畲族 自治县	0.779	0.767	0.768	0.749	0.765	0.766
龙泉市	0.713	0.607	0.701	0.608	0.682	0.654

(三) 数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率的因果关系

为厘清数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率之间的因果关系，本文采用面板向量自回归模型做进一步分析。

1. 平稳性检验。为避免变量间的“伪回归”现象，需要对面板数据进行平稳性检验。本文对数字经济发展水平和森林生态产品价值转化效率进行一阶差分处理后，两者均在 1%的水平上通过了 LLC 和 IPS 检验<sup>①</sup>，拒绝了存在单位根的原假设，说明两个变量均为平稳变量。

2. 面板向量自回归模型回归结果。使用前向均值差分法对各个变量进行处理可以有效避免个体效应造成的回归偏误 (Arellano and Bover, 1995)。本文根据面板向量自回归模型系统 GMM 估计结果，将变量最优滞后阶数选取为 1 阶。面板向量自回归模型系统 GMM 估计结果如表 7 所示。可以发现，当以数字经济发展水平为被解释变量时，滞后一期的数字经济发展水平对当期的数字经济发展水平产生显著正向影响，但滞后一期的森林生态产品价值转化效率对本期的数字经济发展水平的影响并不显著；当以森林生态产品价值转化效率为被解释变量时，滞后一期的数字经济发展水平对本期的森林生态产品价值转化效率产生显著负向影响，但滞后一期的森林生态产品价值转化效率对本期的森林生态产品价值转化效率的影响并不显著。假说 H1 得证。

表 7 面板向量自回归模型系统 GMM 估计结果

	DE 前向差分	TE 前向差分
DE 一阶滞后	0.009* (0.086)	-0.439*** (0.009)
TE 一阶滞后	-0.309 (0.288)	5.913 (0.117)

注：①\*\*\*和\*分别表示 1%和 10%的显著性水平。②括号中的数值为标准误。③TE 表示森林生态产品价值转化效率，DE 表示数字经济发展水平。

<sup>①</sup>限于篇幅，本文未展示检验结果。

3.脉冲响应和方差分解。面板向量自回归模型系统 GMM 只能从宏观层面反映变量间的动态关系，而脉冲响应函数能够更全面地反映数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率之间的动态传导机制和影响路径。数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率脉冲响应的分析结果如图 2 所示。第一，数字经济发展水平和森林生态产品价值转化效率在自身的冲击下，会在当期达到正向最大值，表明数字经济发展水平和森林生态产品价值转化效率均有相对的经济惯性。然而，响应在较短时间内减弱，直至消失。这说明数字经济发展水平和森林生态产品价值转化效率的内向动力在前期影响较为明显，但持续时间较短。从长期来看，数字经济发展水平和森林生态产品价值转化效率对自身影响较小。第二，由数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率的冲击结果可以看出，森林生态产品价值转化效率在受到数字经济发展水平的冲击时立即做出响应，随后多期均波动幅度较大，且经过较长时间才趋于稳定。这表明数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率影响较大且持续时间较长。第三，森林生态产品价值转化效率对数字经济发展水平冲击持续时间较长，但总体影响较为微弱。这表明，从长期来看，森林生态产品价值转化效率对数字经济发展水平影响较小。

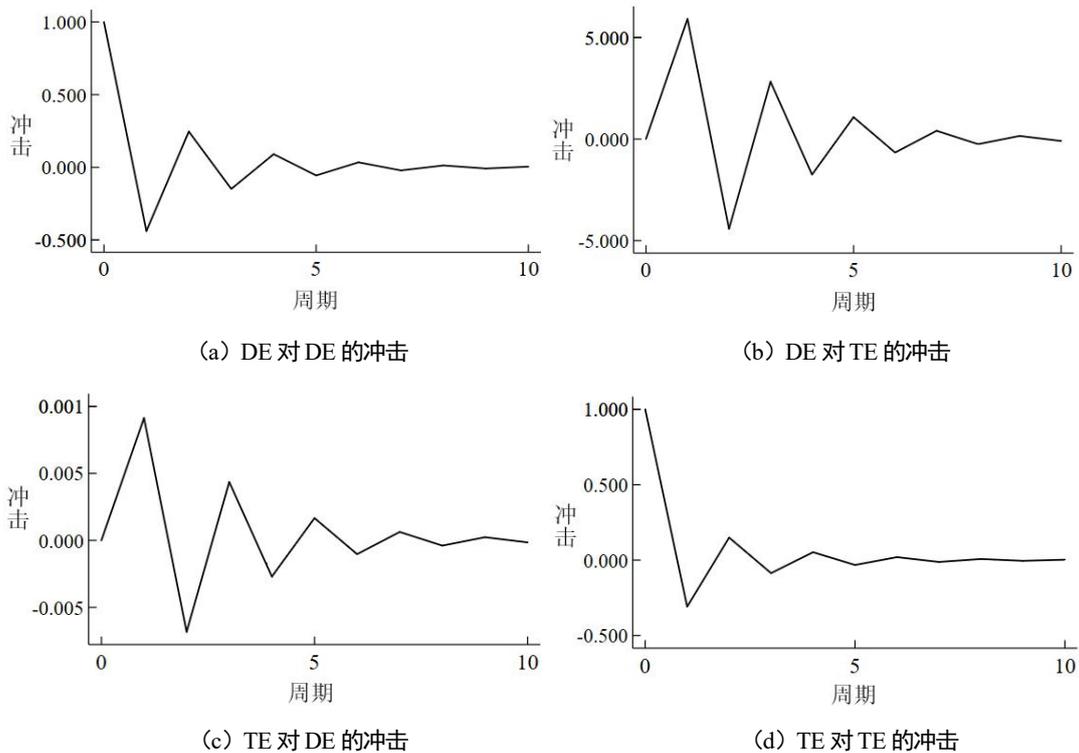


图2 数字经济发展水平 (DE) 与森林生态产品价值转化效率 (TE) 之间的脉冲响应图

脉冲响应函数可以很好地反映两个变量之间的动态影响路径，方差分解可以评估各变量在变化过程中对不同结构冲击的贡献力度，故本文采用方差分解方法来进一步分析数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率之间相互影响的贡献程度，结果如表 8 所示。在 7 个预测期之后，系统基本达到稳定状态。数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率的影响程度由第 1 阶段的 0.032 上升到第 7 阶段的 0.102，表明森林生态产品价值转化效率对数字经济的发展具有一定的依赖性。

表 8 方差分解结果

	阶段	TE 一阶差分	DE 一阶差分		阶段	TE 一阶差分	DE 一阶差分
TE 一阶差分	1	1.000	0.000	TE 一阶差分	6	0.865	0.135
DE 一阶差分	1	0.032	0.968	DE 一阶差分	6	0.102	0.898
TE 一阶差分	2	0.921	0.079	TE 一阶差分	7	0.864	0.136
DE 一阶差分	2	0.075	0.925	DE 一阶差分	7	0.102	0.898
TE 一阶差分	3	0.885	0.114	TE 一阶差分	8	0.864	0.136
DE 一阶差分	3	0.092	0.908	DE 一阶差分	8	0.102	0.898
TE 一阶差分	4	0.871	0.128	TE 一阶差分	9	0.864	0.136
DE 一阶差分	4	0.098	0.902	DE 一阶差分	9	0.102	0.898
TE 一阶差分	5	0.867	0.133	TE 一阶差分	10	0.864	0.136
DE 一阶差分	5	0.101	0.899	DE 一阶差分	10	0.102	0.898

(四) 数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率影响的进一步分析

1. 面板门槛效应模型估计结果。本文将核心解释变量数字经济发展水平设置为门槛变量，森林生态产品价值转化效率设置为被解释变量，使用面板门槛效应模型进行回归分析，结果如表 9 所示。结果显示，模型存在显著的双重门槛效应，门槛值分别为 0.143 和 0.147<sup>①</sup>。这也验证了假说 H2。

表 9 面板门槛效应模型回归结果

	被解释变量：森林生态产品价值转化效率	
	系数	标准误
数字经济发展水平（数字经济发展水平≤0.143）	-0.241	0.699
数字经济发展水平（0.143<数字经济发展水平≤0.147）	31.683***	0.000
数字经济发展水平（数字经济发展水平>0.147）	2.180	0.462
经济发展水平	0.000	0.814
林业产业发展水平	-0.306	0.605
产业结构	-19.496*	0.053
环境污染	0.000	0.745
地区开放度	6.930*	0.100
常数项	2.761	0.142
R <sup>2</sup>	0.457	
F 值	6.730	

注：\*\*\*和\*分别表示 1%和 10%的显著性水平。

当数字经济发展水平大于第一门槛值（0.143）但小于第二门槛值（0.147）时，数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率具有显著正向影响，即数字经济发展水平提升能够促进森林生态产品价值转化效率提高。当数字经济发展水平未进入第一门槛值或超越第二门槛值时，数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率并没有统计学意义上的显著影响。这表明，数字经济发展水平并不能一直

<sup>①</sup>限于篇幅，本文未展示门槛值的测算过程。

促进森林生态产品价值转化效率的提高。究其原因：当数字经济发展水平低于第一门槛值时，数字网络规模较小，数字基础设施建设不完善，数字经济发展对森林生态产品价值实现的影响较小；当数字经济发展水平高于第一门槛值而低于第二门槛值时，数字经济发展的规模效应、技术溢出效应开始显现，使得资源配置效率提升、信息交易成本下降，区域之间关联度不断增强，数字经济发展对森林生态产品价值转化效率提高起到推动作用；当数字经济发展水平大于第二门槛值时，数字经济发展促进林业资源优化配置的边际效应递减到一定水平之后，对森林生态产品价值转化效率不再产生显著影响。

2.空间误差模型估计结果。本文基于经济地理权重矩阵，使用 Moran'I 指数测算数字经济发展水平和森林生态产品价值转化效率的空间自相关性，发现数字经济发展水平和森林生态产品价值转化效率的空间自相关性均达到 10% 以上的显著性水平。随后，本文参考张园园等（2019）的做法，进行了 LM 检验，发现 LM-error 检验结果、Robust LM-error 检验结果和 LM-lag 检验结果均显著，而 Robust LM-lag 检验结果不显著<sup>①</sup>，因此，本文选择空间误差模型进行估计，估计结果如表 10 所示。

表 10 空间误差模型估计结果

	被解释变量：森林生态产品价值转化效率					
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
数字经济发展水平	-1.745*	0.061	-2.980***	0.007	-3.519***	0.001
经济发展水平	0.000	0.232	0.000	0.727	0.000	0.110
林业产业发展水平	-0.236	0.250	0.279	0.283	0.083	0.673
产业结构	0.614	0.856	-14.208	0.167	-14.086	0.163
环境污染	-0.000	0.129	0.000	0.382	0.000	0.414
地区开放度	4.373	0.204	12.579**	0.030	11.703***	0.007
年份固定效应	已控制		未控制		已控制	
地区固定效应	未控制		已控制		已控制	
回归系数 $\lambda$	-0.359	0.102	0.416***	0.000	-0.342***	0.018
对数似然值 LogL	-138.833		-143.202		-130.776	
R <sup>2</sup>	0.116		0.210		0.210	

注：\*\*\*、\*\*和\*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平。

从对数似然值和 R<sup>2</sup> 的估计结果来看，控制年份和地区固定效应的空间误差模型的估计结果更可靠，因此本文以这一结果为例进行分析。结果显示，回归系数  $\lambda$  显著，符号为负，表明样本间存在显著的负向空间溢出效应，即某一地区数字经济发展水平对邻近地区森林生态产品价值转化效率具有显著负向影响。这与赵爽等（2022）的研究结果相符，同时也验证了假说 H3。这也说明，在当前情况下，蓬勃发展的数字经济并没有促进区域间森林生态产品价值转化效率协同提高，反而对邻近地区产生了一定的抑制作用。其原因在于：第一，丽水市各县域单元数字经济发展水平不均衡，数字经济发展影响森林生态产品价值转化效率的程度也就不相同。由于生产要素存在回流效应，数字经济发展水平高

<sup>①</sup>限于篇幅，本文未展示相关检验过程。

的县域单元对数字经济发展水平低的邻近县域单元的森林生态产品价值转化效率产生负向的空间溢出效应，导致数字经济发展对丽水市全域森林生态经济发展的促进作用有限。第二，数字经济发展与森林生态产品价值实现的融合不足，数字基础设施、数字业务和数字技术创新在提升森林生态产业数字化水平方面的作用还十分有限，难以赋能全面提升森林生态产品价值转化效率。

(五) 稳健性检验与内生性检验

1. 稳健性检验。为检验数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率存在双重门槛效应的结论是否稳健，本文参考刘耀彬等（2017）的做法，通过依次加入各个控制变量的方式，估计数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率的影响。结果显示，依次加入各个控制变量后，数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率的影响仍具有双重门槛效应，具体结果如表 11 所示。表 11 结果显示，不同变量组合对门槛值影响较小，并且当数字经济发展水平大于第一门槛值但小于第二门槛值时，数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率均具有显著正向影响。这表明，控制变量对估计结果扰动性不大，本文的估计结果具有稳健性。

表 11 面板门槛效应模型稳健性检验结果

情形	第一门槛值	第二门槛值	核心解释变量	系数	标准误
仅考虑数字经济发展水平	0.133	0.144	数字经济发展水平 $\leq 0.133$	2.301	4.619
			$0.133 < \text{数字经济发展水平} \leq 0.144$	87.544***	9.160
			数字经济发展水平 $> 0.144$	-0.922	2.320
加入经济发展水平	0.139	0.144	数字经济发展水平 $\leq 0.139$	-2.633	6.172
			$0.139 < \text{数字经济发展水平} \leq 0.144$	32.457***	7.345
			数字经济发展水平 $> 0.144$	-2.330	3.018
加入林业产业发展水平	0.134	0.144	数字经济发展水平 $\leq 0.134$	2.712	4.659
			$0.134 < \text{数字经济发展水平} \leq 0.144$	85.381***	9.486
			数字经济发展水平 $> 0.144$	-0.924	2.324
加入产业结构	0.134	0.144	数字经济发展水平 $\leq 0.134$	3.232	4.612
			$0.134 < \text{数字经济发展水平} \leq 0.144$	88.547***	0.092
			数字经济发展水平 $> 0.144$	-1.111	2.301
加入环境污染	0.134	0.144	数字经济发展水平 $\leq 0.134$	2.427	4.661
			$0.134 < \text{数字经济发展水平} \leq 0.144$	87.513***	9.218
			数字经济发展水平 $> 0.144$	-0.922	2.335
加入地区开放度	0.139	0.144	数字经济发展水平 $\leq 0.139$	-2.150	6.029
			$0.139 < \text{数字经济发展水平} \leq 0.144$	30.791***	7.224
			数字经济发展水平 $> 0.144$	-2.131	2.884

注：\*\*\*表示 1% 的显著性水平。

为检验空间误差模型估计结果的稳健性，本文参考唐健雄等（2023）的做法，以邻接权重矩阵为基础重新构建空间计量模型。首先，本文采用 Moran I 指数测算数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率的空间自相关性，测算结果显示，数字经济发展水平和森林生态产品价值转化效率的空间

自相关性均达到 10% 的显著性水平。随后，本文进行了 LM 检验，发现 LM-error 检验结果、Robust LM-error 检验结果和 LM-lag 检验结果均显著<sup>①</sup>，因此使用空间误差模型重复回归过程，结果如表 12 所示。结果显示，控制年份和地区固定效应的空间误差模型的回归系数  $\lambda$  仍显著，符号为负，且数字经济发展水平的系数符号及显著性均未发生改变，说明本文的空间误差模型估计结果具有稳健性。

表 12 空间误差模型稳健性检验结果

	被解释变量：森林生态产品价值转化效率	
	系数	标准误
数字经济发展水平	-3.283***	0.005
控制变量	已控制	
年份和地区固定效应	已控制	
回归系数 $\lambda$	-0.407***	0.014
对数似然值 LogL	-128.581	
R <sup>2</sup>	0.204	

注：\*\*\*表示 1% 的显著性水平。

2. 内生性检验。前文面板向量自回归模型部分的讨论已经表明，数字经济发展水平能够对森林生态产品价值转化效率产生显著负向影响，但从数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率的脉冲响应分析结果来看，二者之间也可能存在反向因果关系。鉴于此，本文参考郭家堂和骆品亮（2016）的思路，采用滞后一期的数字经济发展水平作为当期的工具变量，并使用 2SLS 进行回归。其中的逻辑在于：当期的森林生态产品价值转化效率对滞后期的数字经济发展水平的影响几乎不存在，若滞后期的数字经济发展水平对当期的森林生态产品价值转化效率依然存在前文所分析的影响，则可以说明在二者的双向因果关系中，主因是数字经济发展水平。具体回归结果如表 13 所示。对假设“工具变量识别不足”的检验中，LM 统计量的 p 值为 0.000，拒绝原假设；对工具变量弱识别的检验中，Wald F 统计量大于 10% 水平上的临界值。以上检验结果证明了选取该工具变量的合理性。表 13 结果表明，数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率存在显著负向影响，即本文面板向量自回归模型的估计结果是稳健的。

表 13 内生性检验结果

	被解释变量：森林生态产品价值转化效率	
	系数	标准误
数字经济发展水平	-0.081*	0.049
控制变量	已控制	
识别不足检验 Kleibergen-Paaprk	11.838	
LM 统计量	[0.000]	
弱工具变量检验 Kleibergen-Paaprk	72.744	
Wald F 统计量	{16.380}	

注：①\*表示 10% 的显著性水平。②[ ] 中的数值为 p 值，{ } 中的数值为 Stock-Yogo 弱识别检验 10% 水平上的临界值。

<sup>①</sup>限于篇幅，本文未展示相关检验过程。

## 五、研究结论与启示

本文借助面板向量自回归模型、面板门槛效应模型和空间误差模型,实证分析了2011—2019年浙江省丽水市数字经济发展水平与森林生态产品价值转化效率的因果关系,得出以下结论:第一,森林生态产品价值转化效率处于上升趋势,数字经济发展水平稳中有升,在数字经济发展水平结构指标中,每万人互联网宽带接入用户数和森林生态产品价值转化效率之间的关联度最高;第二,数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率的冲击较为明显,且影响时间较长;第三,从门槛效应模型的分析结果来看,数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率的影响存在显著的双重门槛效应,在不同门槛阈值内,影响的显著性不同,数字经济发展水平并不能一直对森林生态产品价值转化效率产生显著影响;第四,从空间计量模型的分析结果来看,数字经济发展水平对森林生态产品价值转化效率存在空间溢出效应,并且数字经济发展水平可通过空间溢出效应对邻近地区森林生态产品价值转化效率产生显著负向影响。

基于上述研究结论,本文得出以下政策启示:首先,数字经济发展对森林生态产品价值转化效率具有较大影响,数字要素的环境友好性特征符合现阶段“绿色发展”理念和森林生态产品价值高效转化的战略要求,具备巨大的发展潜力。因此,要加快森林生态产业发展的数字化转型,推动互联网、大数据、人工智能等数字技术嵌入森林生态产业链和价值链的各个环节,加快数字林场、林业物联网应用、林产品电子化交易、智慧乡村等林业应用场景建设,运用互联网整合网商、电商、微商等新业态,加快“三商融合”营销和宣传体系的形成与发展,推动森林生态产品品牌建设。其次,要加快推动数字要素渗透到林产品和服务的生产、流通、交换、消费等全部环节,扩展增长新空间,激活森林生态资源增值潜力,加速森林生态产品培育、开发利用、产品销售全产业链条的优化整合,提升森林生态产业数字赋能的整体效率。再次,要不断完善区域网络空间,提高数字技术高水平区域对周边地区森林生态产品价值转化效率的辐射带动作用,实现区域协同发展。最后,要加快数字经济助推森林生态产品价值实现的体制机制创新,利用数据资源的整合与共享功能,解决森林生态产品价值实现过程中的体制机制问题,最大限度地降低森林生态产品价值实现的制度成本,实现数字经济赋能森林生态产品价值转化效率。

### 参考文献

- 1.安同良、杨晨,2020:《互联网重塑中国经济地理格局:微观机制与宏观效应》,《经济研究》第2期,第4-19页。
- 2.陈慧霖、李加林、田鹏、王中义、杨凯杰、辛欣、王彩依,2022:《浙江省沿海县域生态效率评价》,《生态学杂志》第4期,第760-768页。
- 3.程文杰、孔凡斌、徐彩瑶,2022:《国家试点区森林调节类生态产品价值转化效率初探》,《林业经济问题》第4期,第354-362页。
- 4.窦亚权、杨琛、赵晓迪、王怀毅、李娅、何友均,2022:《森林生态产品价值实现的理论与路径选择》,《林业科学》第7期,第1-11页。

- 5.高晓龙、张英魁、马东春、徐卫华、郑华、欧阳志云, 2022: 《生态产品价值实现关键问题解决路径》, 《生态学报》第 20 期, 第 8184-8192 页。
- 6.郭家堂、骆品亮, 2016: 《互联网对中国全要素生产率有促进作用吗? 》, 《管理世界》第 10 期, 第 34-49 页。
- 7.韩宝龙、欧阳志云, 2021: 《城市生态智慧管理系统的生态系统服务评估功能与应用》, 《生态学报》第 22 期, 第 8697-8708 页。
- 8.何维达、温家隆、张满银, 2022: 《数字经济发展水平对中国绿色生态效率的影响研究——基于双向固定效应模型》, 《经济问题》第 1 期, 第 1-8 页、第 30 页。
- 9.靳诚、陆玉麒, 2021: 《我国生态产品价值实现研究的回顾与展望》, 《经济地理》第 10 期, 第 207-213 页。
- 10.孔凡斌、崔铭烨、徐彩瑶、陆雨、沈月琴, 2023a: 《浙江省森林生态产品价值实现对城乡差距的影响》, 《林业科学》第 1 期, 第 31-43 页。
- 11.孔凡斌、程文杰、徐彩瑶、陆雨、沈月琴, 2023b: 《国家试点区森林生态资本经济转换效率及其影响因素》, 《林业科学》第 1 期, 第 1-11 页。
- 12.孔凡斌、王宁、徐彩瑶, 2022: 《“两山”理念发源地森林生态产品价值实现效率》, 《林业科学》第 7 期, 第 12-22 页。
- 13.刘耀彬、胡凯川、喻群, 2017: 《金融深化对绿色发展的门槛效应分析》, 《中国人口·资源与环境》第 9 期, 第 205-211 页。
- 14.秦国伟、董玮、宋马林, 2022: 《生态产品价值实现的理论意蕴、机制构成与路径选择》, 《中国环境管理》第 2 期, 第 70-75 页、第 69 页。
- 15.唐代生、吴云华, 2009: 《论我国数字林场的体系结构及应用前景》, 《中南林业科技大学学报》第 5 期, 第 179-183 页。
- 16.唐建军、龚教伟、宋清华, 2022: 《数字普惠金融与农业全要素生产率——基于要素流动与技术扩散的视角》, 《中国农村经济》第 7 期, 第 81-102 页。
- 17.唐健雄、蔡超岳、刘雨婧, 2023: 《旅游发展对城市生态文明建设的影响及空间溢出效应——基于我国 284 个地级及以上城市的实证研究》, 《生态学报》第 7 期, 第 1-18 页。
- 18.王淑贺、王利军, 2022: 《黄河流域水贫困与经济高质量发展的耦合协调关系》, 《水土保持通报》第 3 期, 第 199-207 页。
- 19.徐伟、李直儒、施慧斌、张媛媛, 2021: 《基于 Super-SBM 模型和 Malmquist 指数的中国工业创新效率评价》, 《宏观经济研究》第 5 期, 第 55-68 页。
- 20.许宪春、张美慧、张钟文, 2021: 《数字化转型与经济社会统计的挑战和创新》, 《统计研究》第 1 期, 第 15-26 页。
- 21.杨文仙、李石华、彭双云、李应鑫、赵寿露、邱利丹, 2021: 《顾及地形起伏的 InVEST 模型生物多样性重要区识别——以云南省为例》, 《应用生态学报》第 12 期, 第 4339-4348 页。
- 22.张兵、刘丹、郑斌, 2013: 《农村金融发展缓解了农村居民内部收入差距吗? ——基于中国省级数据的面板门槛回归模型分析》, 《中国农村观察》第 3 期, 第 19-29 页、第 90-91 页。

- 23.张亚立、韩宝龙、孙芳芳, 2023: 《生态系统生产总值(GEP)核算制度及管理应用研究——以深圳为例》, 《生态学报》第17期, 第1-12页。
- 24.张园园、吴强、孙世民, 2019: 《生猪养殖规模化程度的影响因素及其空间效应——基于13个生猪养殖优势省份的研究》, 《中国农村经济》第1期, 第62-78页。
- 25.赵爽、米国芳、张晶珏, 2022: 《数字经济、环境规制与绿色全要素生产率》, 《统计学报》第6期, 第46-59页。
- 26.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》, 《管理世界》第10期, 第65-76页。
- 27.朱喜安、马樱格, 2022: 《数字经济对绿色全要素生产率变动的影响研究》, 《经济问题》第11期, 第1-11页。
- 28.Arellano, M., and O. Bover, 1995, "Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error-components Models", *Journal of Econometrics*, 68(1): 29-51.
- 29.Chavas, J. P., and T. L. A. Cox, 1999, "Generalized Distance Function and the Analysis of Production efficiency", *South Economic Journal*, 66(2): 294-318.
- 30.Elisabeth, V. H., P. Vedeld, E. Framstad, and E. G. Baggethun, 2022, "Forest Ecosystem Services in Norway: Trends, Condition, and Drivers of Change (1950-2020)", *Ecosystem Services*, 58(2), 101491.
- 31.Emin, Z. B., 2023, "Characterizing and Assessing Key Ecosystem Services in a Representative Forest Ecosystem in Turkey", *Ecological Informatics*, 74(1), 101993.
- 32.Hansen, B. E., 1999, "Threshold Effects in Non-dynamic Panels: Estimation, Testing, and Inference", *Journal of Econometrics*, 93(2): 345-368.
- 33.Luo, K., Y. Liu, P. Chen, and M. Zeng, 2022, "Assessing the Impact of Digital Economy on Green Development Efficiency in the Yangtze River Economic Belt", *Energy Economics*, 112(1), 106127.
- 34.Lyu, Y., W. Wang, Y. Wu, and J. Zhang, 2023, "How Does Digital Economy Affect Green Total Factor Productivity? Evidence from China", *Science of The Total Environment*, 857(2): 2-16.
- 35.Rohlf, J., 1974, "A Theory of Interdependent Demand for a Communications Service", *Bell Journal of Economics & Management Science*, 5(1): 16-37.
- 36.Tapscott, D., 1996, *The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*, New York: McGraw Hill, 13-42.
- 37.Yilmaz, S., K. E. Haynes, and M. Dinc, 2002, "Geographic and Network Neighbors: Spillover Effects of Telecommunications Infrastructure", *Journal of Regional Science*, 42(2): 339-360.

(作者单位: <sup>1</sup>南京林业大学经济管理学院;  
<sup>2</sup>浙江农林大学生态文明研究院;  
<sup>3</sup>浙江农林大学经济管理学院)  
(责任编辑: 胡 祎)

## **Does the Development of Digital Economy Improve the Value Transformation Efficiency of Forest Ecological Products: An Empirical Analysis in Lishui, Zhejiang Province**

KONG Fanbin CHENG Wenjie XU Caiyao

**Abstract:** Based on the county-level panel data in 2011-2019, this paper analyzes the relationship between the level of digital economy development and the value transformation efficiency of forest ecological products in Lishui, Zhejiang Province using the panel vector autoregressive model, panel threshold effect model, and spatial error model. Our study finds that, first, based on the resulting estimates of the development level of digital economy and the value transformation efficiency of forest ecological products, the two measures in the counties within Lishui are generally good and the correlation between the structural index of the development level of digital economy and the value transformation efficiency of forest ecological products is strong. Second, from the results of the panel vector autoregressive model, the value transformation efficiency of forest ecological products responds quickly to the impact of the development of digital economy and the effect lasts for a long time. Third, from the results of the threshold effect model, there is a double threshold effect on the impact of digital economy development on the value transformation efficiency of forest ecological products. When the level of digital economy development is greater than the first threshold value and less than the second, it will affect the value conversion efficiency of forest ecological products. Finally, from the results of the spatial error model, the development of digital economy has a significant and negative impact on the value conversion efficiency of forest ecological products in neighboring areas through spatial spillover effects.

**Keywords:** Digital Economy; Forest Ecological Products; Value Transformation Efficiency; Causal Relationship