

中国数字经济核心产业协同演化效应研究

——基于改进的CRITIC和灰色关联分析

祝境巍

贵州大学公共大数据国家重点实验室, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年12月11日; 录用日期: 2024年12月27日; 发布日期: 2025年2月13日

摘 要

近年来, 随着中国数字经济在技术、市场、运营等方面融合创新不断加强, 准确评估数字经济核心产业协同演化效应变化规律, 对制定和实施数字经济相关政策至关重要。本文基于2012至2021年中国30个省份的13,200条权威部门统计数据, 利用灰色关联分析、熵值赋权法、改进的CRITIC等方法, 构建了量化评估模型, 发现了数字经济核心产业协同演化效应自2012年的0.8512波动下降至2021年的0.4590。结果表明, 推动产业发展的核心驱动力已经从产业内部向产业外部进行了转移。基于此, 本文提出了一系列发展建议, 以期为推动中国数字经济核心产业高质量发展提供有益借鉴。

关键词

数字经济核心产业, 协同演化效应, 灰色关联分析, 客观赋权法

A Study on the Synergistic Evolution Effects of Core Industries in China's Digital Economy

—Based on an Improved CRITIC and Grey Relational Analysis

Jingwei Zhu

State Key Laboratory of Public Big Data, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Dec. 11th, 2024; accepted: Dec. 27th, 2024; published: Feb. 13th, 2025

Abstract

In recent years, as the integration and innovation of China's digital economy in technology, market,

and operations have strengthened, accurately assessing the synergistic evolution of core industries in the digital economy has become crucial for the formulation and implementation of related policies. Based on 13,200 authoritative statistical data points from 30 provinces in China between 2012 and 2021, this paper constructs a quantitative evaluation model using grey relational analysis, the entropy weighting method, and the improved CRITIC method. The analysis reveals that the synergistic evolution effect of core industries in the digital economy fluctuated downward from 0.8512 in 2012 to 0.4590 in 2021. The results indicate that the key driving forces for industrial development have shifted from internal to external industrial factors. Based on these findings, this paper proposes a series of development recommendations, aiming to offer valuable insights for promoting the high-quality development of China's core digital economy industries.

Keywords

Core Industries in Digital Economy, Synergistic Evolution Effects, Grey Relational Analysis, Objective Weighting Method

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

数字经济是新时代下世界经济发展的重要方向。据中国信息通信研究院(CAICT)《2022 年全球数字经济白皮书》显示,中国数字经济实现跨越式发展,规模仅此于美国[1]。在中国经济增速换挡、结构调整阵痛和前期刺激政策消化“三期叠加”背景下,以数字经济为代表的新模式新业态将成为推动中国经济高质量发展的关键动力之一[2]。同时,据世界经济论坛研究结果显示,数字化程度每提高 10%,人均 GDP 增长 0.5%~0.62% [3]。因此,数字经济核心产业的协同发展,有望实现中国经济增长的新旧动能转换,对现代化产业体系建设、实现高质量发展、形成新发展格局至关重要。作为中国经济发展的重要支柱,近年来,中国的数字经济核心产业快速发展,其产业内部的协同演化效应与产业的发展之间存在怎样的关系,成为本文的关注点。基于上述背景,本文提出以下科学问题:(1) 中国数字经济核心产业的协同演化效应如何演化?(2) 其与产业的发展存在怎样的关系?回答该问题,有助于厘清中国数字经济核心产业的协同演化效应在推动产业高质量发展的新旧动能转换过程中扮演怎样的角色。

本文共分为五个章节,第一章为引言,介绍了本文的研究背景以及基于研究背景提出的科学问题;第二章为文献综述,从数字经济核心产业方面介绍了国内外在本研究领域内的进展情况;第三章为研究流程、指标体系及模型构建,详细阐述了本文的研究流程,对数字经济核心产业进行了 4 个维度 13 个指标的指标体系构建,并对产业协同演化效应进行了模型构建;第四章为数据指标、实证分析及结果讨论,本文的数据来源于中国 30 个省份 2011~2021 年的省际面板数据,并依据中国最新的行业分类权威文件《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017)进行了指标选取,在实证分析章节部分,本文依据前述的模型构建板块,本文对产业协同演化效应进行了实证分析,并在结果讨论章节部分对实证分析结果进行了系统性的归纳和总结;第五章为政策建议及研究展望,本文从数字经济核心产业方面进行了政策建议,并对未来可能的研究方向进行了展望。

2. 文献综述

权威机构及学者对数字经济核心产业相关领域开展了大量研究。国际电信联盟(ITU)从 ICT 接入情

况、ICT 使用情况和 ICT 技能水平共三个方面构建 ICT 发展指数(IDI) [4]。美国经济分析局(BEA)从供给侧视角出发,结合 ICT 技术特征将数字经济分为数字基础设施、电子商务和数字媒体共 3 个类别[5]。欧盟从连通性、数字技能、互联网应用、数字技术整合、数字公共服务共 5 个维度构建数字经济与社会指数(DESI) [6]。中国信息通信研究院从先行、一致和滞后三个维度构建数字经济指数,考虑了数字产业化、产业数字化、数字化治理以及数字经济对宏观经济带来的影响[7]。Bruno, G 等将数字经济和社会指数(DESI)作为研究重点,采用相关性和主成分分析的方法,对欧盟 29 个国家 2020 年的数据进行研究,评估国家之间以及国家内部的数字鸿沟问题[8]。Imran, M 等通过面板回归模型研究了 DESI 维度对 SGDI 的直接影响,发现连通性、人力资本和互联网服务的使用比数字技术和数字公共服务对 SGDI 的负面影响更大[9]。DU, M 等运用 D-G 系数分解法和面板空间计量经济模型,分析中国数字经济与乡村振兴的耦合协调发展水平,发现两者之间的耦合和协调性逐渐提高[10]。Wang, L 等基于 OECD 数据、KPWW 方法和多面板回归,探讨了数字技术创新和技术溢出对国内碳排放强度的影响及其机制[11]。Zhou, FX 等量化评估了宽带基础设施发展对中国城市出口贸易的影响,发现宽带基础设施可以显著促进城市出口贸易的增长[12]。Ma, D 等衡量了中国城市数字经济和高质量绿色发展的水平,发现数字经济对高质量绿色发展具有非线性正向效应[13]。Wang, LN 等运用机器学习算法,在建立陕西省数字经济发展质量评价模型基础上,利用权威数据准确测度了陕西数字经济发展水平[14]。协同理论由德国物理学 Haken 首次提出,主要研究复杂开放系统中不同子系统通过相互作用,自发形成时间、空间和功能上的有序结构,协同演化不仅是个体行为的结果,更体现了多维系统互动的复杂性与动态演变过程[15]。协同效应强调系统内各要素通过非线性互动产生整体性的功能提升或效率优化,在经济、社会和管理领域,协同效应已成为研究产业、区域及创新系统演化的重要工具[16]-[18]。数字经济作为一种典型的复杂系统,其核心产业的发展依赖于技术创新、市场扩展以及制度环境的动态协同。因此,全面理解数字经济核心产业的协同演化效应,需要深入探讨经济效益、行业发展、社会效益、成长潜力等多维因素在其中的动态交互作用。

综上所述,已有研究对数字经济的测算主要采取“分层分类”思路,各指标体系存在一定差异。本文将结合中国国民经济行业分类方法,将电信设备与服务、计算机软件、计算机硬件等产业纳入数字经济核心产业范围。在此基础上,将协同演化效应应用于数字经济核心产业的发展分析,旨在揭示中国数字经济核心产业协同演化效应的演化规律,从而为政策制定提供参考依据。

3. 研究流程、指标体系及模型构建

3.1. 研究流程

本文基于中国 30 个省份 2011~2021 年的省际面板数据,通过建立科学合理的产业发展指标体系,采用以灰色关联分析为主的协同分析模型,结合使用熵值赋权法、改进的 CRITIC 法两类客观赋权方法,得到数字经济核心产业协同演化水平指标。具体流程如图 1 所示。

3.2. 指标体系

数字经济核心产业的发展涉及多个维度,常见的评价维度包括经济效益、行业发展、社会效益和成长潜力等。本文结合已有文献中的指标选取思路,并参照中国《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017),基于科学性、系统性和可得性原则,构建了涵盖 13 项指标的数字经济核心产业发展评价体系。具体指标如表 1 所示。

对上述部分指标的选取思路进行说明。经济效益维度中的“数字经济规模”反映了产业整体的市场规模和经济贡献,能够有效捕捉产业的综合经济效益。“主营业务利润率”强调企业盈利能力,是衡量企业运营效率的关键指标,能够补充规模指标的不足。行业发展维度中的“市场主体数量”与“从业人



Figure 1. Research model flowchart for the synergistic evolution effects of China’s core digital economy industries
图 1. 中国数字经济核心产业协同演化效应研究模型流程图

Table 1. Development indicator system for core industries of the digital economy
表 1. 数字经济核心产业发展指标体系

维度	指标名称	指标释义	单位	正负
经济效益	数字经济规模	电商销售额 + 电商采购额 + 数字经济核心产业营业收入	亿元	正向
	主营业务利润率	数字经济核心产业利润总额/数字经济核心产业营业收入	亿元	正向
	固定资产投资	数字经济核心产业固定资产投资总额	万元	正向
	快递业务收入在社会消费品零售总额占比	快递业务收入/社会消费品零售总额	%	正向
行业发展	市场主体数量	数字经济核心产业企业数	家	正向
	从业人员数量	数字经济核心产业城镇单位就业人员	万人	正向
	行业人均工资	数字经济核心产业城镇单位就业人员平均工资	元	正向
社会效益	长途光缆线路长度	长途光缆线路长度	万公里	正向
	互联网用户户均端口数	互联网宽带接入端口/互联网宽带接入用户	个/户	正向
	电子商务交易企业占比	有电子商务交易活动的企业数比重	%	正向
成长潜力	技术市场成交额	技术市场成交额	亿元	正向
	新产品项目开发经费	规模以上工业企业开发新产品经费/规模以上工业企业新产品项目数	万元/项	正向
	地方财政科学技术支出	地方财政科学技术支出	亿元	正向

员数量”体现了数字经济核心产业的规模扩展情况，能直接反映产业结构的增长与就业吸纳能力。而“行业人均工资”作为劳动力市场的反映指标，展示了该行业的劳动报酬水平和吸引力，对理解产业吸引力和员工福利状况至关重要。社会效益维度中的“长途光缆线路长度”是数字基础设施的重要代表，相较于光纤入户率，光缆线路长度在广泛连接性方面更加能反映跨区域层面的信息流动能力。此外，“互联网用户户均端口数”作为反映居民互联网接入水平的关键指标，能间接展示数字经济发展对普通用户的影响，反映产业在社会中的渗透度。在成长潜力维度，本文采用“技术市场成交额”和“地方财政科学

技术支出”两项指标，前者能展示创新成果的市场转化能力，后者则代表政府对科技创新的支持力度。这两项指标分别从市场和政府角度体现产业成长的潜在动力，具有较强的互补性，能有效衡量产业的成长潜力。

3.3. 模型构建

3.3.1. 构建系统评价维度综合序列——基于改进的 CRITIC 法

本文针对传统 CRITIC 法存在的问题，采用改进 CRITIC 法，对各项产业发展指标，在评价维度上构建综合序列。

首先，假设数字经济核心产业为协同发展的系统 i ，由 k 年省级面板原始数据，构建 i 系统在 q 维度中 j 项产业发展指标的原始指标时间序列 x_{iqj} 表示如下。其中 $k=1,2,\dots,t$ ； $q=1,2,\dots,m$ ； $j=1,2,\dots,n$ ；则 i 系统在 k 年的 q 维度下 j 项指标为 $x_{iqj}(k)$ 。

$$X_{iqj} = (X_{iqj}(1), X_{iqj}(2), \dots, X_{iqj}(t))^T \quad (1)$$

其次，分别对原始数据进行 max-min 标准化处理，消除量纲影响，则标准化后指标序列为 x'_{iqj} 。

$$X'_{iqj} = (X'_{iqj}(1), X'_{iqj}(2), \dots, X'_{iqj}(t))^T \quad (2)$$

其中考虑到指标标准化后数值 0 的存在，从研究完整性、可信度及科学性的角度出发，本文对 0 值赋予一个正的微小量，将整体指标数值向右平移 0.01，具体如下：

$$\text{正向: } X'_{iqj}(k) = 0.001 + \frac{X_{iqj}(k) - \min\{X_{iqj}(k)\}}{\max\{X_{iqj}(k)\} - \min\{X_{iqj}(k)\}} \quad (3)$$

$$\text{负向: } X'_{iqj}(k) = 0.001 + \frac{\max\{X_{iqj}(k)\} - X_{iqj}(k)}{\max\{X_{iqj}(k)\} - \min\{X_{iqj}(k)\}} \quad (4)$$

随后，在传统 CRITIC 法中对于相关系数 r_{qj} 来衡量指标间的相关性，通常采用 $(1-r_{qj})$ 计算信息量，然而，当 r_{qj} 为负值时则会使负相关的指标信息量计算出现偏差，未能准确反映指标之间的反向关系。基于此，本文对 r_{qj} 取绝对值的做法可以保留所有相关性的信息量，同时避免负相关性对信息计算的负面影响。其中 C_{iqj} 为 q 维度下指标 j 所含的信息量， r_{qj} 为 q 维度下各指标间相关系数。

$$C_{iqj} = \frac{\sigma_{iqj}}{\bar{X}_{iqj}} \sum_{k=1}^t (1 - |r_{qj}|) \quad (5)$$

采用改进的 CRITIC 法计算 q 评价维度下各指标权重 ω_{iqj} ，进一步得到 i 系统 q 评价维度综合序列 X_{iq} 。其中 σ_{iqj} 和 $\bar{X}_{iqj}$ 分别为 q 维度下指标 j 的标准差和均值。

$$\omega_{iqj} = \frac{C_{iqj}}{\sum_{j=1}^n C_{iqj}} \quad (6)$$

$$X_{iq} = \sum_{j=1}^n \omega_{iqj} \times x_{iqj}(t)' \quad (7)$$

3.3.2. 构建产业协同度序列——基于熵值赋权 & 灰色关联分析

首先，假设 i 系统内任意 2 个评价维度间距离为 $d_{iuv}(k)$ ，其中 $u=1,2,\dots,m$ ； $v=1,2,\dots,m$ ； $q \neq v$ ，则各评价维度间距离序列 d_{iuv} 为：

$$d_{iuv} = (d_{iuv}(1), d_{iuv}(2), \dots, d_{iuv}(t))^T \quad (8)$$

其次, 假设 i 系统内任意 2 个评价维度间关联系数为 $r_{iuv}(k)$, 其中 ρ 参考一般处理方式取为 0.5, 则各评价维度间关联系数计算方式变为:

$$r_{iuv}(k) = \frac{\min_m \min_t |d_{iuv}(k)| + \rho \max_m \max_t |d_{iuv}(k)|}{|d_{iuv}(k)| + \rho \max_m \max_t |d_{iuv}(k)|} \quad (9)$$

随后, 运用熵值赋权法计算各评价维度间距离权重 ω_{iuv} , 则 i 系统指标的综合协同度序列 $b_i(k)$ 表示如下。其中 e_{iuv} 和 f_{iuv} 分别为 i 系统内任意 2 个评价维度间关联系数的熵值和特征比重。

$$\omega_{iuv} = \frac{1 - e_{iuv}}{m - \sum_{u,v=1}^m e_{iuv}} \quad (10)$$

$$b_i(k) = \sum_{u,v=1}^m \omega_{iuv} \times r_{iuv}(t) \quad (11)$$

4. 数据指标、实证分析及结果讨论

4.1. 数据指标

本文数据为中国 30 个省份 2012~2021 年的省际面板数据, 来源于《中国统计年鉴》《中国信息产业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》及各省、直辖市、自治区的年度统计年鉴或统计局官网数据。对缺失数据, 依据相近年份数据进行线性插值法予以补全, 线性插值法是指使用连接两个已知量的直线来确定在这两个已知量之间的一个未知量的值的方法, 该方法的运用在学术界已经非常成熟, 本文在此不再赘述。

论本文研究对象为中国数字经济核心产业协同演化效应。对于指标的选取, 在参照已有研究成果的基础上, 结合中国最新的《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017), 按照科学性、系统性、可得性原则, 构建产业发展指标体系。对于数字经济核心产业, 本文将其定义为: C(制造业: C39(计算机、通信和其他电子设备制造业))、I(信息传输、软件和信息技术服务业: I63(电信、广播电视和卫星传输服务)、I64(互联网和相关服务)、I65(软件和信息技术服务业)), 并建立经济效益、行业发展、社会效益和成长潜力四个评价维度, 共计 13 项产业发展指标。其中, 考虑中国国家统计局自 2012 年不再公布细分产业部门的增加值, 因此本文以年度电商销售额、年度电商采购额和产业年度营业收入作为数字经济规模指标; 将快递业务收入在社会消费品零售总额占比指标纳入考量, 能较好反映数字经济水平; 以市场主体数量、从业人员数量和行业人均工资三项与行业密切相关的指标来描述发展现状; 从基础设施会影响行业发展的角度, 将互联网用户户均端口数纳入指标体系; 并采用地方财政科学技术支出这一指标来反映政府的支持程度。

4.2. 实证分析

基于数字经济核心产业协同演化效应研究模型, 2012 年至 2021 年期间中国数字经济核心产业协同演化效应结果如图 2 所示。

由图 2 演变过程可知: 第一, 2012~2021 年数字经济核心产业的协同演化效应总体上呈下降趋势: 其协同度序列自 2012 年的 0.8512 波动下降至 2021 年的 0.4590; 第二, 数字经济核心产业协同演化效应在 2013~2014 年曾出现过短时间的上升趋势, 表明此阶段产业协同演化效应仍作为影响产业发展的主要驱动力发挥作用; 第三, 尽管数字经济核心产业协同演化效应在作为推动产业发展的主要驱动力发挥作用, 但从整体上看, 其协同演化效应仍表现出明显的下降势头, 这表明影响产业发展的主要驱动力逐渐由产业内部向产业外部进行了转移。

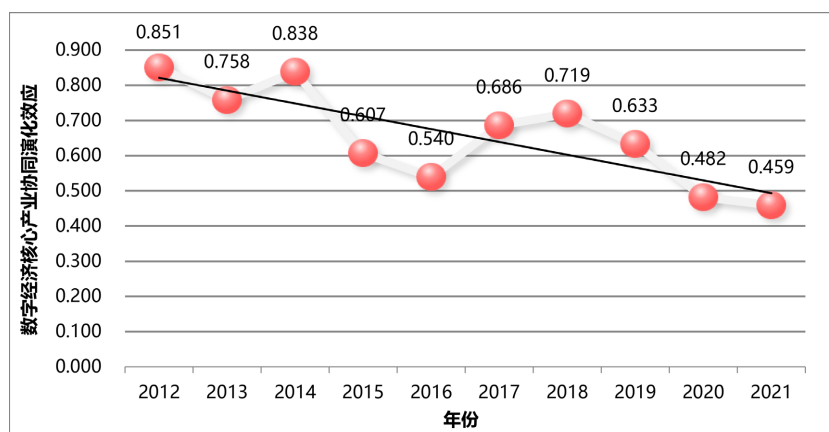


Figure 2. Trend of synergistic evolution effects of China's core digital economy industries from 2012 to 2021

图 2. 2012~2021 年中国数字经济核心产业协同演化效应变化趋势图

从整体上看, 2012 年至 2021 年期间, 数字经济核心产业协同演化效应变化趋势在大约每 5 年时间周期性波动, 可大致划分为两个波动段(2012~2016 年; 2017~2021 年), 对此可解释为中国“五年计划”宏观政策对产业发展的潜在影响。

4.3. 结果讨论

在数字经济核心产业协同演化效应研究中, 本文实证结果探讨如下:

(1) 数字经济核心产业协同演化效应自 2012 年的 0.8512 波动下降至 2021 年的 0.4590, 表现出“两波段波动下降”的特点, 这在一定程度上意味着影响产业发展的内部协同在近 10 年内呈现出显著的波段式下降趋势。(2) 数字经济核心产业协同演化效应表现出大约以 5 年为周期的两波段波动的特点(2012~2016 年; 2017~2021 年), 与中国“五年规划”宏观政策周期显著正相关。(3) 在研究年限内, 数字经济核心产业协同演化效应表现出显著的波动下降趋势, 影响产业发展的主要驱动力已经从产业内部进行了转移。

综上所述, 推动中国数字经济核心产业发展的动能已经由产业内部向产业外部进行了转移, 原本基于产业内部协同演化效应带动产业发展的传统方式已显现疲态, 而产业外部的协同演化效应有望在未来成为推动产业发展的新动力, 该现象的产生既受到中国“五年计划”如“产业结构调整”等宏观政策影响, 也与产业自身的原因有关。

5. 政策建议

基于前述结果讨论, 本文对数字经济核心产业发展提出以下建议:

(1) 推动公共资源开放共享和网络基础设施建设: 政府应建立跨部门、跨区域的数据开放共享平台, 鼓励地方政府出台激励政策, 支持企业、高校与科研机构的数据资源共享, 推动跨领域合作。进一步加强网络基础设施建设, 通过政策引导和资金支持, 提升全国各地特别是欠发达地区的数字网络覆盖率和服务质量, 为数字经济发展打下坚实基础。

(2) 实施区域差异化数字经济产业政策: 针对我国不同地区的数字经济发展水平, 建议实施差异化政策。在东部沿海经济发达地区, 应着重支持高新技术和创新型数字企业的快速发展, 提供研发补贴和市场准入优惠政策; 在中西部经济欠发达地区, 优先推动数字基础设施建设, 并通过政府扶持和跨区域合作, 解决“数字鸿沟”问题。特别是在欠发达地区, 通过外资引入和数字技术推广, 带动地方经济增长。

(3) 加强市场监管,促进公平竞争:完善相关法律法规,加强市场监管,打击垄断行为,维护公平的市场竞争环境,特别是为中小企业提供更多的市场准入机会。同时,建议通过税收减免、融资补贴等政策措施,帮助中小企业提升竞争力,使其更好地参与数字经济的建设与发展。

(4) 推动区域经济圈协同发展,增强重要节点辐射效应:依托长三角、京津冀、粤港澳大湾区等经济圈,加强数字基础设施的互联互通。鼓励经济圈内龙头企业通过数字化转型、数据要素驱动等方式,提升产业链协同效应,增强其对周边地区的辐射带动作用,推动区域内的数字经济高质量发展。

(5) 打造数字经济产学研用共享平台:政府应鼓励高校将数字经济相关的专利技术和人才向企业转移,建立产学研用紧密结合的合作机制,打造数字经济领域的知识共享和技术转移平台。同时,推动数字企业与高校、科研院所形成长期的合作关系,支持共同攻关关键技术,形成多样繁荣、互惠共生的产业生态。

参考文献

- [1] CAICT (2022) Global Digital Economy White Paper.
- [2] Ding, Z.F. (2020) Research on the Mechanism of Digital Economy Driving High Quality Economic Development: A Theoretical Analysis Framework. *Modern Economic Research*, 1, 85-92.
- [3] Liu, S.C. (2019) Targeting Path and Policy Supply for the High Quality Development of China's Digital Economy. *Economist*, 6, 52-61.
- [4] ITU (2017) ITU Measuring the Information Society Reports 2017. International Telecommunication Union.
- [5] Barefoot, K.D.C. and Jolliff, W. (2018) Defining and Measuring the Digital Economy. US Department of Commerce Bureau of Economic Analysis, Washington DC.
- [6] EC. Digital Economy and Society Index 2017. http://ec.europa.eu/newsroom/document.cfm?doc_id=43049
- [7] CAICT (2022) Report on the Development of China's Digital Economy.
- [8] Bruno, G., Diglio, A., Piccolo, C. and Picicelli, E. (2023) A Reduced Composite Indicator for Digital Divide Measurement at the Regional Level: An Application to the Digital Economy and Society Index (DESI). *Technological Forecasting and Social Change*, 190, Article 122461. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122461>
- [9] Imran, M., Liu, X., Wang, R., Saud, S., Zhao, Y. and Khan, M.J. (2022) The Influence of Digital Economy and Society Index on Sustainable Development Indicators: The Case of European Union. *Sustainability*, 14, Article 11130. <https://doi.org/10.3390/su141811130>
- [10] Du, M., Huang, Y., Dong, H., Zhou, X. and Wang, Y. (2022) The Measurement, Sources of Variation, and Factors Influencing the Coupled and Coordinated Development of Rural Revitalization and Digital Economy in China. *PLOS ONE*, 17, e0277910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277910>
- [11] Wang, L., Chen, Y., Ramsey, T.S. and Hewings, G.J.D. (2021) Will Researching Digital Technology Really Empower Green Development? *Technology in Society*, 66, Article 101638. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101638>
- [12] Zhou, F., Wen, H. and Lee, C. (2022) Broadband Infrastructure and Export Growth. *Telecommunications Policy*, 46, Article 102347. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102347>
- [13] Ma, D. and Zhu, Q. (2022) Innovation in Emerging Economies: Research on the Digital Economy Driving High-Quality Green Development. *Journal of Business Research*, 145, 801-813. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.03.041>
- [14] Wang, L. (2022) Evaluation of High-Quality Development of Shaanxi's Economy Based on Digital Economy Based on Machine Learning Algorithm. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2022, Article ID: 6327347. <https://doi.org/10.1155/2022/6327347>
- [15] 白列湖. 协同论与管理协同理论[J]. 甘肃社会科学, 2007(5): 228-230.
- [16] 韩峰, 李玉双. 产业集聚、公共服务供给与城市规模扩张[J]. 经济研究, 2019(11): 149-164.
- [17] 詹姝珂, 王仁曾, 刘耀彬. 金融科技与绿色金融协同对产业结构升级的影响——基于异质性环境规制视角[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(11): 152-162.
- [18] 孙燕, 吴莉莉, 金晓斌, 等. 长三角区域一体化对城市群土地利用效率的空间协同效应[J]. 地理研究, 2024, 43(8): 2104-2120.