哈梅芳,隋明强.数智融合对黄河流域城市生态韧性的影响研究 [J]. 中国环境科学, 2025,45(8):4715-4726.
Ha M F, Sui M Q. The impact of digital-intelligence integration on urban ecological resilience in the Yellow River Basin [J]. China Environment Science, 2025,45(8):4715-4726.

数智融合对黄河流域城市生态韧性的影响研究

哈梅芳*,隋明强 (宁夏大学经济管理学院,宁夏 银川 750021)

摘要：通过熵权 Topsis、耦合协调模型测算了 2011~2022 年黄河流域城市的数智融合和生态韧性水平,并分析了数智融合的时空演进.在此基础上利用似不相关回归以及有调节的中介模型等,探究了数智融合影响黄河流域城市生态韧性的效应、机制及机制调节因素.结果表明:研究期内黄河流域数智融合的整体水平由 0.144 逐渐上升到 0.353,截至 2022 年各城市已基本摆脱极度和严重失调.数智融合存在明显的空间聚集现象,聚集中心主要分布在山东半岛及各省省会,且聚集中心和非中心的差距逐渐增大.数智融合对黄河流域城市生态韧性的总体影响在 1%的统计水平显著为正,回归系数为 0.197,但对生态韧性抵抗力层面的影响在 1%的统计水平显著为负,系数为-0.011,存在一定削弱作用.绿色创新和公众环境关注发挥了机制作用,数智融合对绿色创新和公众环境关注的回归系数分别为 0.744、0.345,分别在 1%、5%统计水平下显著.金融发展水平能正向调节绿色创新和公众环境关注的机制作用,金融发展水平和数智融合的交互项对绿色创新和公众环境关注的回归系数分别为 0.122、0.146,均在 1%统计水平下显著.异质性分析表明,仅下游地区的数智融合显著提升了城市生态韧性,系数为 0.302,在 1%统计水平下显著,上、中游并不明显,非资源型、大数据综合试点城市较其他城市效果更优,系数分别为 0.235、0.285,均在 1%统计水平下显著.研究结果为黄河流域城市生态韧性在数智时代下的优化提供了科学依据和政策参考.

关键词：数智融合；生态韧性；流域治理；时空分异
中图分类号：X321,F424 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6923(2025)08-4715-12

The impact of digital-intelligence integration on urban ecological resilience in the Yellow River Basin.

HA Mei-fang*, SUI Ming-qiang (School of Economics and Management, Ningxia University 750021, China).

China Environment Science, 2025,45(8)：4715~4726

Abstract: This study measured the levels of Digital-Intelligence Integration (DII) and ecological resilience in cities within the Yellow River Basin from 2011 to 2022 using the entropy weight TOPSIS method and a coupling coordination model. The spatio-temporal evolution of DII was further analyzed. Building on these measurements, seemingly unrelated regression (SUR) and moderated mediation models were employed to investigate the effects, underlying mechanisms, and moderating factors influencing the relationship between DII and urban ecological resilience in the region. The results showed that the overall level of DII in the Yellow River Basin increased from 0.144 to 0.353 during the study period. By 2022, most cities had transitioned out of states of extreme and severe imbalance. A distinct spatial clustering pattern was observed for DII, with cluster centers predominantly located in the Shandong Peninsula and provincial capitals. The gap between these cluster centers and non-central cities was found to be widening. DII exerted a significantly positive overall effect on urban ecological resilience (regression coefficient = 0.197, $p<0.01$). However, its effect on the resistance dimension of ecological resilience was significantly negative (coefficient = −0.011, $p<0.01$), suggesting a potential weakening effect. Green innovation and public environmental concern acted as significant mediators. The regression coefficients of DII on green innovation and public environmental concern were 0.744 ($p<0.01$) and 0.345 ($p<0.05$), respectively. Financial development positively moderated these mediating roles, as the interaction terms between financial development and DII yielded significant coefficients of 0.122 and 0.146 (both $p<0.01$) for green innovation and public environmental concern, respectively. Heterogeneity analysis indicated that DII significantly enhanced urban ecological resilience only in downstream regions (coefficient =0.302, $p<0.01$), with no significant effects observed in upstream or midstream regions. Moreover, non-resource-based cities and those designated as big data comprehensive pilot zones exhibited stronger effects (coefficients = 0.235 and 0.285, respectively, both $p<0.01$) compared to other cities. These findings provide scientific support and policy references for optimizing urban ecological resilience in the Yellow River Basin in the era of digital intelligence.

Key words: digital-intelligence integration; ecological resilience; basin governance; spatiotemporal differentiation

随着数智时代的到来,数字化与智能化的深度融合正成为提升城市治理和增强生态韧性的关键驱动力[1].近年来,黄河流域城市不断加大对数字设施和人工智能的投入,但相较其它流域,黄河流域的技术和经济基础较为薄弱,数智技术流域内发展极

收稿日期：2025-01-13
基金项目：国家自然科学基金项目(72364029)
* 责任作者, 教授, 17811276657@163.com

不平衡,地区间生态效应差异明显[2].因此,分析黄河流域数智融合的时空演进,探究数智融合对生态韧性的作用效果及调节因素,探索其发挥作用的机制渠道,对促进黄河流域生态保护和高质量发展意义重大.

在数智融合的评价体系方面,研究早期多集中于企业层面,主要从数智产业组织、基础设施、科技人才及企业发展等维度进行测度,方法多采用综合指标法[3-4].随着研究的深入,学者们开始将视角拓展至城市层面,从数字化与智能化两个维度,构建了适用于地级市的数智融合评价体系[5],并进一步引入耦合协调模型,测算数智融合的耦合协调度,以更精准地反映区域数智融合水平[6].

生态韧性的评价与影响机制同样受到广泛关注.现有研究普遍采用多维度指标体系结合定量模型的方式进行测度,指标设计多聚焦于损失—收益、抵抗—响应—恢复、规模—密度—形态等维度[7],测算方法包括熵权法[8]、熵权 Topsis[9]及生态足迹模型等[10].经济发展水平、对外开放程度、产业结构、人口密度、科技水平、数字化水平、环境规制、科技金融以及市政设施等因素,被认为是影响生态韧性的关键变量[11-12].

从数智化与生态韧性的关联性研究来看,单一政策工具难以应对复杂多元的生态治理需求,数智技术在提升生态韧性方面的作用日益凸显[8].数智技术可以赋能政府公共服务,推动“互联网+政务服务”模式,从而增强城市的整体韧性[13];在基础设施领域,数智化提升了设施应对极端气候事件的适应能力[14];在金融领域,数智技术尤其在绿色金融支持绿色项目及低碳技术发展方面发挥了重要作用,进一步增强了城市对生态压力的应对能力[15].从机制上看,数字经济能够通过促进技术创新与优化产业结构提升城市生态韧性[16],智慧城市及大数据综合试点政策的实践也表明,数智技术不仅提升了试点城市的生态韧性[17],更通过空间溢出效应增强了周边地区的生态韧性,这种影响呈现出明显的区域异质性和长期稳定性[18].

综上所述,当前研究数智融合以及生态韧性的文献已经相当丰富,但鲜有学者对两者的关系进行实证研究,虽然有相关文献研究了数字经济对生态韧性的影响,但数字经济多以数字基础设施来衡量,缺少了数字化和智能化的结合.只有以数字化为基础并配以智能化的手段,才能实现对数据的深度挖掘和分析,最终实现数据驱动的智能决策.此外,现有研究多集中在长江流域,黄河流域的相关研究还有待完善.基于此,本文在数字化的基础上引入智能化,并利用熵权 Topsis 模型和耦合协调模型对黄河流域的数智融合水平进行测度并分析其时空演进,补充了黄河流域数智化的相关内容.将数智融合与黄河流域生态韧性置于统一框架下,运用似不相关回归,横向比较了数智融合对黄河生态韧性 3 个维度作用效果的差异性,细化了研究层次.运用带调节的中介模型,在探究数智融合影响黄河流域生态韧性中介机制的基础上,进一步分析影响中介机制的调节因素,丰富了数智化与生态韧性提升的情景讨论.

1 理论分析与研究假说

1.1 数智融合对黄河流域城市生态韧性的直接传导机制

城市生态韧性是指城市生态环境在遭受外力干扰后能维持自身稳定并回归初始状态的能力,包括抵抗力、响应力和恢复力[11].其中,抵抗力为城市生态环境抵抗干扰的能力,响应力为保持稳定的能力,恢复力为恢复到受干扰前状态的能力.数智融合指的是以移动互联网、大数据等为核心的数字化技术与以工业机器人、人工智能等为代表的智能化手段协同发展,并在实际应用中实现两者的正向互动.从数智融合与抵抗力来看,一方面,数智融合依赖大量的数据中心,而数据中心需要持续的电力供应,这会导致资源消耗和污染排放的加剧[19].另一方面,黄河流域许多城市的发展依赖污染企业,数智技术虽然会提升生产效率,但也可能造成更严重的污染问题[20].从数智融合与响应力来看,数智融合能实现黄河流域污染物的实时监测与污染数据的精细化分析,从而提高污染治理效率[21].此外,数智融合还能加速市政设施升级,显著增强城市应对气候风险和突发事件的能力[22].从数智融合与恢复力来看,数智技术的发展为黄河流域生态资源的智能监测与科学管理提供了有力支撑.通过遥感技术和物联网设备,可以实时监测植被覆盖的动态变化[23].与此同时,智能灌溉和无人机播种等技术的应用,能够有效提升黄河流域生态资源的质量与恢复能力.综上所述,提

出以下假设:

假设 1:数智融合能促进黄河流域城市的生态韧性.

假设 2a:数智融合对黄河流域城市生态韧性的抵抗力有抑制作用.

假设 2b:数智融合对黄河流域城市生态韧性的响应力有促进作用.

假设 2c:数智融合对黄河流域城市生态韧性的恢复力有促进作用.

1.2　数智融合影响黄河流域城市生态韧性的中介传导机制

数智融合提升生态韧性的中介传导机制主要包括提升地区绿色创新水平和增强公众对环境的关注两个方面.在绿色创新方面.数智技术的应用增强了人才集聚效应,能够吸引更多高端人才投身于绿色技术开发.同时,数字平台的普及大幅提升了区域内创新资源的整合效率,为绿色技术创新提供了更有利的环境[24].绿色创新的提升则能显著增强黄河流域的生态韧性.绿色技术能推动黄河流域的传统产业向低碳转型,促进企业节能提效[25].同时,绿色回收处理和资源循环利用等绿色技术能有效减少环境污染与资源消耗,增强黄河流域生态系统的恢复力与稳定性[26].在公众环境关注度方面.数智融合可以提升环境信息透明度和传播效率,让公众更加直观地了解黄河流域的生态问题[27].同时,社交媒体的广泛应用也增进了公众对环境问题的讨论.公众环境关注度的提升则能显著增强黄河流域的生态韧性[28].首先,公众对环境问题的高度关注能够形成强大的社会监督力量,促使政府和企业加大生态治理投入,提高治理效率.其次,随着公众环保意识的增强,绿色消费、低碳生活等倡导普遍传播,从需求端减少了黄河流域生态系统的压力[29].此外,公众通过参与信息反馈和环保行动,例如举报污染源或参与植被恢复,直接为生态系统的响应力和恢复力提供支持[30].综上所述,提出以下假设:

假设 3:数智融合通过促进绿色创新进而提升黄河流域城市的生态韧性.

假设 4:数智融合通过促进公众环境关注度进而提升黄河流域城市的生态韧性.

1.3　金融发展水平对中介传导机制的调节效应

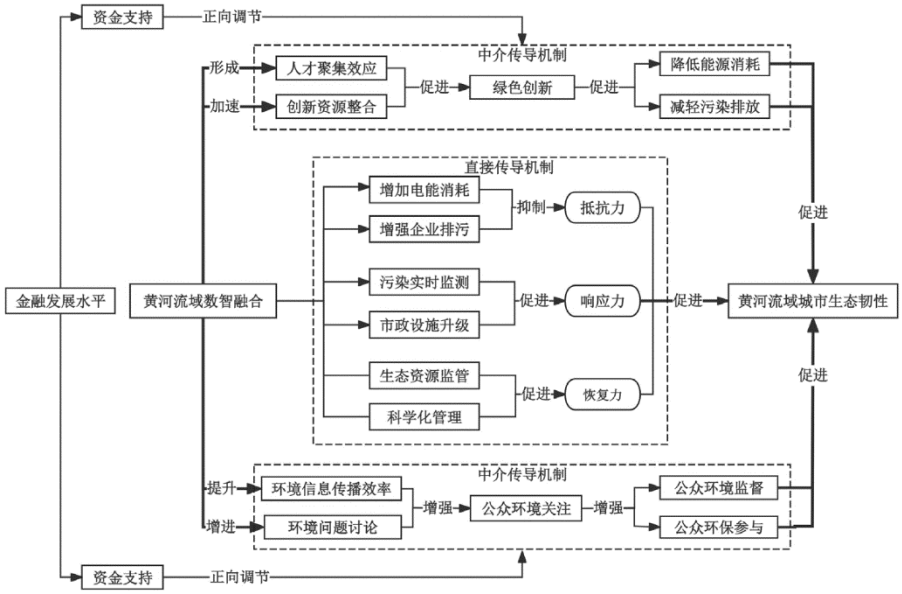


图 1　黄河流域数智融合影响城市生态韧性的作用机理图

Fig.1　Mechanism diagram of the impact of digital and intelligent integration on urban ecological resilience in the Yellow River Basin

金融发展水平作为衡量地区资金流动规模和配置效率的指标,直接反映了区域内资金的可获得性和资源的优化配置能力.在黄河流域,较高的金融发展水平能提升数智融合的绿色创新带动效应.具体而言,完善的金融体系能提供必要的资金支持,增强对周围地区高端人才的虹吸效应,为绿色技术的

突破与应用注入了更强劲的人力资本[31].同时,金融发展水平的提升可以为数智融合赋能区域绿色创新资源整合提供更多资金支持,加速绿色技术的创新与深化,进而增强绿色创新对黄河流域生态韧性的提升效果[32].此外,金融发展水平的提高还有利于数智基础设施的建设,进而增强收集和分析环境数据的能力,让公众能更便捷地获取黄河流域的生态环境信息,增强公众对环境变化的感知.并且,较高的金融发展水平还能加速数字平台的互动建设,公众可以通过平台参与环境监测、数据反馈等互动环节,进一步激发黄河流域公众的环境保护兴趣和行动意愿[30],增强公众环境关注对黄河流域城市生态韧性的提升效果.综上所述,提出以下假设:

假设 5a:金融发展水平正向调节了绿色创新发挥的中介机制作用.

假设 5b:金融发展水平正向调节了公众环境关注度发挥的中介机制作用.

结合以上分析,黄河流域数智融合影响城市生态韧性的机理图如图 1 所示.

2 模型方法与数据

2.1 计量模型设定

为分析数智融合对黄河流域城市生态韧性的影响,本文构建基准回归模型如下:

$$\mathrm{CER}_{it}=\alpha_0+\alpha_1\mathrm{IDIT}_{it}+\alpha_2\mathrm{Con}_{it}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中:t 表示年份;i 表示第 i 个地级市;CER_{it} 表示地级市 i 在年份 t 的生态韧性水平;IDIT_{it} 表示地级市 i 在年份 t 的数智融合水平;系数 α_1 反映了数智融合与生态韧性的关系,若 α_1 大于零,则证明了数智融合对生态韧性有促进作用;Con_{it} 是控制变量;μ_i 和 σ_t 分别表示个体效应和时间效应;ε_{it} 表示随机扰动项.

同时,为了分析数智融合对生态韧性中的抵抗力、响应力和恢复力的影响并直接比较,进一步使用似不相关回归(SUR)进行分析.似不相关回归可通过对回归方程的联合估计,解决不同回归方程扰动项可能相关的问题,联合估计的方程组如下:

$$\begin{cases}\mathrm{RESI}_{it}=\beta_0+\beta_1\mathrm{IDIT}_{it}+\beta_2\mathrm{Con}_{it}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{it}\\ \mathrm{RESP}_{it}=\gamma_0+\gamma_1\mathrm{IDIT}_{it}+\gamma_2\mathrm{Con}_{it}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{it}\\ \mathrm{RECO}_{it}=\delta_0+\delta_1\mathrm{IDIT}_{it}+\delta_2\mathrm{Con}_{it}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{it}\end{cases} \quad (2)$$

式中:RESI_{it}、RESP_{it}、RECO_{it} 分别表示地级市 i 在年份 t 生态韧性的抵抗力、响应力和恢复力水平,β_1、γ_1、δ_1 则分别反映了数智融合与抵抗力、响应力和恢复力的关系,若都大于零则表示数智融合对这 3 个方面均有促进作用,其余指标同式(1),下同.

进一步,采用中介效应模型对数智融合影响生态韧性的中介机制进行验证.借鉴江艇[33]的做法,此处重点关注核心解释变量对机制变量的影响,具体模型如下:

$$\mathrm{MI}_{it}=f_0+f_1\mathrm{IDIT}_{it}+f_2\mathrm{Con}_{it}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\mathrm{CER}_{it}=\theta_0+\theta_1\mathrm{MI}_{it}+\theta_2\mathrm{Con}_{it}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中:MI_{it} 表示地级市 i 在年份 t 的机制变量,f_1 反映了数智融合对机制变量的影响,θ_1 反映了机制变量对生态韧性的影响,当 f_1、θ_1 都大于零时,证明 MI_{it} 发挥了中介机制作用.

为考察中介效应中存在的调节效应,在式(3)、(4)的基础上,引入数智融合与调节变量、中介变量与调节变量的交互项,此处重点关注交互项的系数,具体模型如下:

$$\mathrm{MI}_{it}=\varphi_0+\varphi_1\mathrm{IDIT}_{it}*\mathrm{MOD}_{it}+\varphi_2\mathrm{IDIT}_{it}+\varphi_3\mathrm{MOD}_{it}+\varphi_4\mathrm{Con}_{it}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$\mathrm{CER}_{it}=\pi_0+\pi_1\mathrm{MI}_{it}*\mathrm{MOD}_{it}+\pi_2\mathrm{MI}_{it}+\pi_2\mathrm{MOD}_{it}+\pi_2\mathrm{Con}_{it}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中:MOD_{it} 表示地级市 i 在年份 t 的调节变量;$\mathrm{IDIT}_{it}\cdot\mathrm{MOD}_{it}$、$\mathrm{MI}_{it}\cdot\mathrm{MOD}_{it}$ 分别表示数智融合与调节变量、中介变量与调节变量的交互项;φ_1 大于零表示调节变量促进了数智融合对中介变量的正向作用,π_1 大于零表示调节变量促进了中介变量对生态韧性的正向作用.

2.2 指标选取与说明

2.2.1 被解释变量:城市生态韧性(CER) 城市生态韧性主要衡量城市生态系统在遭受外来冲击时维持自身稳定并恢复到初始状态的能力,参考彭文斌,曹笑天[34]的研究,将生态韧性分解为抵抗力、响应力和恢复力 3 个维度,共 12 个三级指标(表 1).考虑到熵权法可能产生的权重失真问题,故采用熵权 Topsis 模型测算黄河流域各城市的生态韧性水平.

2.2.2 核心解释变量:数智融合(IDIT) 数智融合主要衡量数字化和智能化的融合发展水平,参考刘亮等[9]的研究,将数智化构建为数字化和智能化两个维度(表 2),利用熵权 Topsis 模型分别测算黄河流域各城市的数字化和智能化水平,并进一步利用耦合协调模型对黄河流域各城市数字化和智能化的

耦合协调水平进行测算,作为数智融合的衡量指标.同时,借鉴王淑佳等[35]的研究,将数智融合水平按不同的标准划分为 10 种类型.

表 1　黄河流域城市生态韧性评价指标体系

Table 1　Evaluation index system for urban ecological resilience in the Yellow River Basin

一级指标	二级指标	三级指标	单位	方向
生态韧性	抵抗力	人均工业二氧化硫排放量	t/人	负
		人均城市污水排放量	m^3/人	负
		人均生活垃圾清运量	t/人	负
		人均能源消费量	百吨标准煤/人	负
	响应力	污水处理率	%	正
		生活垃圾无害化处理率	%	正
		节能环保支出占一般预算支出比重	%	正
		公用设施建设投资完成额占 GDP 比重	%	正
	恢复力	植被归一化	%	正
		人均公园面积	m^2/人	正
		人均建成区绿化覆盖面积	m^2/人	正
		人均水域面积	m^2/人	正

表 2　黄河流域数智融合评价指标体系

Table 2　Evaluation index system for digital and intelligent integration in the Yellow River Basin

一级指标	二级指标	三级指标	单位	方向
数智化	数字化	人均移动电话年末数	部/人	正
		人均电信业务收入	元/人	正
		万人国际互联网用户数	户/万人	正
		信息传输、计算机服务和软件业从业人员占比	%	正
		人均邮政业务收入	元/人	正
		数字普惠金融指数	无	正
	智能化	人均人工智能企业数量	个/人	正
		万人人工智能专利授权数	个/万人	正
		工业机器人存量密度	台/万人	正

2.2.3　中介传导机制变量　绿色创新(GI)、公众环境关注度(PEC)基于前文理论分析,数智融合影响黄河流域城市生态韧性的中介机制变量主要包括绿色创新水平和公众环境关注度.绿色创新水平采用万人拥有绿色创新专利授权数衡量[6].区别于申请量,绿色专利授权数量更可以反映一个地区的绿色创新能力.公众环境关注度借鉴吴力波等[29]的研究,以“雾霾”、“环境污染”的百度搜索指数来衡量.

2.2.4　中介传导机制的调节变量　金融发展水平(FIR)　金融发展水平借鉴郭蔚等[36]的研究,以黄河流域各城市金融机构年末贷款余额来衡量.

2.2.5　控制变量　参考已有研究[2,16,18],本文选取了 6 个控制变量,具体包括:①人口规模(PS):以地区人口密度衡量.②科技投入(STI):以科技支出占财政支出的比重来衡量.③环境规制强度(ER):以 python 提取的政府工作报告中与环境规制相关的词汇的词频数比上总词频数衡量.④经济增长目标(GG):以 python 提取的政府工作报告中的 GDP 增长目标取对数衡量.⑤教育投入(EDU):以教育支出占财政支出的比重来衡量.⑥工业发展状况(IND):以地区工业企业数量取对数衡量.

2.2.6　数据来源　鉴于数据可得性,本文以 2011~2022 年黄河流域九省的全部地级市作为研究对象,但由于许多自治州、盟及部分地级市的数据缺失严重,故将其剔除,最终得到 99 个地级市的面板数据.数据来自《中国城市统计年鉴》、各地级市统计年鉴、地级市政府工作报告、中经网统计数据库、《中国建设统计年鉴》、国家知识产权局等.变量描述性统计如表 3 所示.

表 3　变量描述性统计

Table 3　Descriptive statistics of variables

变量名称	变量符号	均值	标准差	最小值	最大值
生态韧性	CER	0.097	0.063	0.030	0.512
数智融合	IDIT	0.210	0.086	0.070	0.629
绿色创新	GI	0.481	0.651	0.000	5.407
公众环境关注度	PEC	19.920	22.258	0.156	140.134
金融发展水平	FIR	16.370	1.036	13.723	20.066
人口规模	PS	0.414	0.227	0.031	1.506
科技投入	STI	0.012	0.011	0.001	0.166
环境规制强度	ER	0.008	0.003	0.002	0.022
经济增长目标	GG	2.139	0.353	0	2.319
教育投入	EDU	0.179	0.037	0.036	0.289
工业发展状况	IND	6.306	1.016	2.996	8.500

3　实证结果与分析

3.1　黄河流域数智融合水平的时空分异

鉴于此前已有学者分析了黄河流域生态韧性的时空演变,因此本文只分析黄河流域数智融合水平的时空分异.从黄河流域数智融合的空间相关性来看(表 4),在地理权重矩阵和经济权重矩阵下,全局

莫兰指数均显著为正,表明黄河流域的数智融合发展存在显著的正空间相关性,即高-高聚集、低-低聚集的分布状况.

为更直观地研究黄河流域数智融合的空间分布状况,本文利用 ArcGIS10.8 软件,对黄河流域不同地区的数智融合水平进行划分,同时为更好地反映黄河流域数智融合空间分异的时序变化,选择对 2011 年、2015 年、2018 年、2022 年的数智融合进行空间分析(图 2).

表 4 黄河流域数智融合水平的莫兰指数估计结果

Table 4 Estimation results of Moran's I for the level of digital and intelligent integration in the Yellow River Basin

年份	地理权重矩阵		经济权重矩阵	
	I(IDIT)	Z(I)	I(IDIT)	Z(I)
2012	0.053***	4.839	0.214***	4.300
2014	0.049***	4.541	0.290***	5.787
2016	0.055***	4.992	0.274***	5.451
2018	0.036***	3.562	0.288***	5.738
2020	0.045***	4.214	0.232***	4.674
2022	0.031***	3.170	0.331***	6.590

*、**、***分别代表在10%、5%和1%显著性水平下显著.下同.

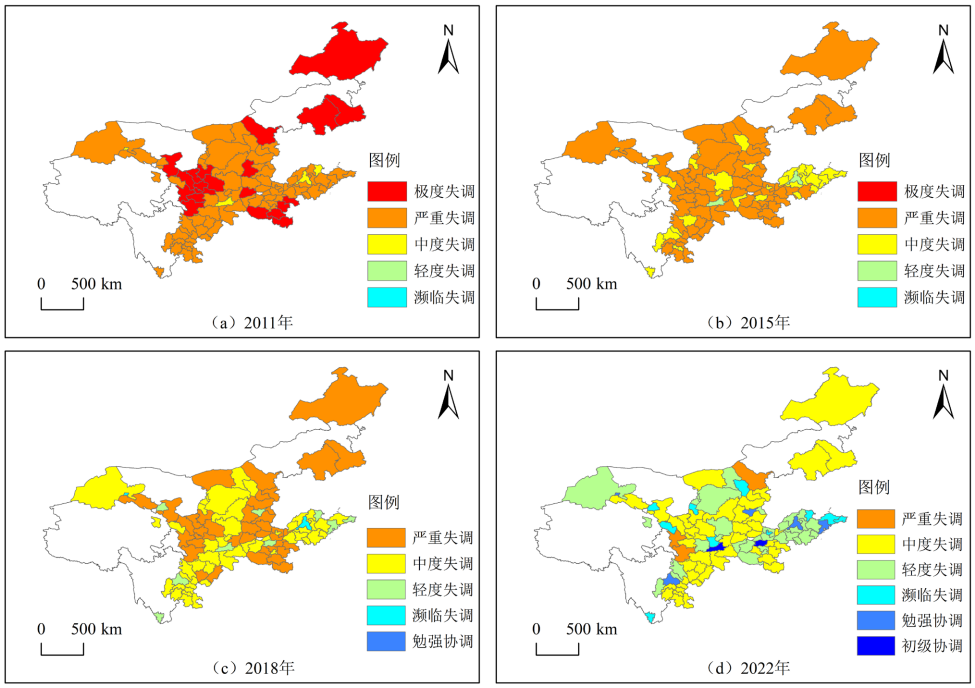


图 2 黄河流域数智融合水平的时空分异

Fig.2 Spatiotemporal differentiation of the level of digital and intelligent integration in the Yellow River Basin

审图号:GS(2024)0650

从时序演进来看,黄河流域的数智融合水平由 2011 年的 0.144 上升到 2022 年的 0.353,呈逐年上升态势.2011 年,大部分地区的数智融合水平处于严重失调甚至极度失调,仅有极少地区处于中度失调.到 2022 年,黄河流域所有地区基本摆脱了极度失调和严重失调,甚至有的地区已经处于初级协调.究其原因,早在 2011 年,《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》的颁布就为数智融合奠定了政策基础.2013 年启动的"宽带中国"战略,加速了黄河流域的信息网络基础设施建设,逐步缩小了区域间的"数字鸿沟".近年来颁布的《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》等,则进一步推动了数智技术的落地应用,提升了黄河流域的数智融合水平.

从空间演进来看,黄河流域的数智融合水平空间分布呈现东高西低、南高北低,并伴随局部聚集现象,聚集中心主要位于山东半岛及各省省会.从空间分布的逐年变化来看,东高西低、南高北低的分布格局较为稳定,但局部聚集现象明显加剧,聚集中心地区数智融合的发展速度明显高于其它非中心区域,尤以山东半岛地区最为突出.东部和南方地区由于经济基础较好、信息技术起步早、资金和人才资源充足,形成了数智融合的核心区域.而西部和北方地区,受限于经济水平和基础设施的薄弱,数智融合发

展相对滞后.同时,聚集中心的加速发展也得益于政策倾斜和重点投入,省会城市和经济核心区普遍拥有更完善的数智基础设施和更集中的创新资源,为数智融合的快速发展提供了坚实基础.

3.2　数智融合对黄河流域城市生态韧性影响的实证结果

表 5 给出了数智融合对黄河流域城市生态韧性的基准回归结果.在未加入控制变量且固定年份和个体时,数智融合对黄河流域城市韧性的回归系数为 0.232,且在 1%的水平下显著,说明数智融合对黄河流域城市生态韧性有显著的促进作用.同时,在固定年份和个体的情况下,加入控制变量以后,数智融合对黄河流域城市生态韧性的回归系数为 0.197,且在 1%的水平下显著,也表明数智融合对黄河流域城市生态韧性有显著促进作用,以上回归结果验证了假设 1.

表 5　基准回归结果

Table 5　Baseline regression results

变量	CER	
IDIT	0.232***	0.197***
	(0.058)	(0.056)
PS		0.069
		(0.063)
STI		0.183*
		(0.110)
ER		−0.243
		(0.467)
GG		0.060**
		(0.023)
EDU		0.130***
		(0.048)
IND		−0.049
		(0.046)
常数项	0.059***	0.051
	(0.008)	(0.036)
双向固定	是	是
观测值	1,188	1,188
R^2	0.139	0.163

*、**、***分别代表在10%、5%和1%显著性水平下显著,括号内为稳健标准误.下同.

3.3　稳健性检验

为验证估计结果的可靠性,采取以下 3 种方法进行稳健性检验:①用熵权法对黄河流域的城市生态韧性进行重新测算.②采用熵权法对黄河流域的数字化和智能化水平进行重新测算,并计算两者的耦合协调度,对数智融合指标进行替换.③考虑到数智融合对生态韧性的影响可能存在滞后性,故将数智融合水平进行滞后一期处理.

从表 6 所示的稳健性估计结果来看,尽管以上 3 种方法重新估计的结果在显著水平和回归系数上略有差异,但都显著为正,表明数智融合确实能提升黄河流域城市的生态韧性,得出的结论与基准回归的结果一致,表明估计结果是可靠的.

表 6　稳健性估计结果

Table 6　Robustness test results

变量	CER−熵权法	CER	CER
IDIT	0.153***		
	(0.046)		
IDIT−熵权法		0.233***	
		(0.059)	
IDIT−滞后一期			0.216***
			(0.067)
控制变量	是	是	是
常数项	0.068**	0.046	0.038
	(0.030)	(0.037)	(0.039)
双向固定	是	是	是
观测值	1,188	1,188	1,089
R^2	0.187	0.166	0.138

3.4　内生性讨论与解决

表 7　工具变量回归结果

Table 7　Instrumental variable regression results

变量	IDIT	CER	IDIT	CER
平均高程	−0.172***			
	(0.0539)			
IDIT−平均高程		0.900***		
		(0.308)		
公众人工智能关注度			0.340***	
			(0.061)	
IDIT−公众人工智能关注度				0.793***
				(0.123)
控制变量	是	是	是	是
双向固定	是	是	是	是
Kleibergen−Paap rk LM	17.53(0.000)		27.55(0.000)	
Cragg−Donald Wald	29.02		79.26	

注:统计量后括号内为P值.

本文借助以下工具变量进行两阶段最小二乘回归,以缓解可能存在的反向因果导致的内生性问题:①考虑到海拔越高,数字和智能设施的安装以及维护成本越大,数智融合的难度越大,借鉴王海等[37]

的做法,以城市的平均高程作为工具变量.②考虑到公众对人工智能的关注越多,越有助于数智融合发展,借鉴郑世林[38]等的做法,以人工智能的百度搜索指数作为工具变量.

工具变量的回归结果如表 7 所示,第一阶段结果表明,平均高程对黄河流域的数智融合水平存在显著抑制作用,公众人工智能关注则显著促进了数智融合水平,符合预期效果,并且通过了不可识别检验(Kleibergen-Paap rk LM)和弱工具变量(Cragg-Donald Wald)检验.同时,第二阶段估计结果也在 1%水平下显著为正,与基准回归结果一致.缓解内生性问题后,结论依然可靠.

3.5 数智融合对黄河流域生态韧性二级指标影响的估计结果

表 8 展示了数智融合对黄河流域城市生态韧性二级指标的联合估计结果.各方程随机扰动项之间“无同期相关”检验(Breusch-Pagan test of independence)在 1%的水平上显著拒绝了各方程的随机扰动项相互独立的原假设,确保了估计结果的可靠性和准确性基础.数智融合对抵抗力的回归系数在 1%水平下显著为负,表明数智融合对生态韧性的抵抗力有负面影响,验证了假设 2a.相比之下,数智融合对响应力和恢复力的回归系数均显著为正,表明数智融合对黄河流域城市生态韧性的响应力和恢复力有促进作用,验证了假设 2b、2c.

表 8 似不相关回归结果

Table 8 Seemingly unrelated regression results

变量	RESI	RESP	RECO
IDIT	−0.011***	0.795***	0.124**
	(0.001)	(0.119)	(0.055)
控制变量	是	是	是
双向固定	是	是	是
常数项	0.013***	0.007	0.024
	(0.000)	(0.094)	(0.043)
观测值	1,188	1,188	1,188
R^2	0.436	0.110	0.167
Breusch-Pagan test of independence	123.107(0.000)		

注:统计量后括号内为p值.

从 3 个维度的估计系数比较来看,数智融合对黄河流域生态韧性的抵抗力虽然有负向影响,但系数相对较小,即数智技术在初期应用过程中可能带来的资源消耗和污染排放难以完全避免.相比之下,数智融合对黄河流域城市生态韧性的响应力和恢复力有着较高的正向影响.数智技术通过推动智能环境监测、数据分析和资源优化配置,增强了城市对生态风险的感知和应对能力,提升了生态修复效率.因此,从总体上来看,数智融合对黄河流域生态韧性具有较为明显的促进作用.

3.6 数智融合影响黄河流域城市生态韧性的中介传导机制估计结果

表 9 展示了数智融合影响黄河流域生态韧性的中介机制.从绿色创新作为中介机制的估计结果来看,数智融合对绿色创新的回归系数在 1%的水平下显著为正,表明数智融合能促进黄河流域的绿色创新水平.数智技术的广泛应用不仅提升了区域内技术创新的效率,还加速了绿色技术的研发和推广.同时,绿色创新对黄河流域生态韧性的回归系数也在 1%的水平下显著为正,表明绿色创新的提升还能进一步促进黄河流域城市的生态韧性.绿色技术的进步能提升能源利用效率、优化生态系统管理,增强城市对环境压力的抵御和适应能力.这些结果验证了假说 3,说明数智融合通过绿色创新对黄河流域生态韧性产生了间接的促进作用.

表 9 中介模型估计结果

Table 9 Mediation model estimation results

变量	GI	PEC	CER	CER
IDIP	0.744***	0.345**		
	(0.092)	(0.166)		
GI			0.162***	
			(0.049)	
PEC				0.057***
				(0.017)
控制变量	是	是	是	是
常数项	−0.129***	0.096	0.079**	0.063*
	(0.042)	(0.091)	(0.034)	(0.037)
双向固定	YES	YES	YES	YES
观测值	1,188	1,188	1,188	1,188
R^2	0.734	0.273	0.164	0.142

从公众环境关注度作为中介机制的估计结果来看,数智融合对黄河流域公众环境关注度的估计系数在 5%的水平下显著为正,表明数智融合对黄河流域公众的环境关注有提升作用.数智技术的广泛应用使公众能及时和全面地获取环境信息,尤其是黄河流域水资源保护、污染治理和生态修复等方面的动态,激发公众对环境问题的关注和讨论.同时,公

众环境关注度对黄河流域生态韧性的估计系数也显著为正,这表明环境关注的提升能进一步推动生态韧性.公众对环境问题的关注促使政府和企业更加注重环境治理与绿色发展,也带动了更多公众参与到生态保护行动中,形成了多方协作的治理格局,从而有效提升了黄河流域城市的生态韧性.这些结果验证了假说 4.

3.7　数智融合影响黄河流域城市生态韧性的带调节的中介传导机制估计结果

表 10 展现了金融发展对中介传导机制发挥的调节作用.从绿色创新作为中介机制来看,数智融合与金融发展的交互项对黄河流域绿色创新的回归系数在 1%的水平下显著为正,并且绿色创新与金融发展的交互项对黄河流域城市生态韧性的回归系数也在 1%的水平下显著为正,表明金融发展水平确实能正向调节绿色创新的中介机制作用,验证了假设 5a.金融发展水平较高的地区,通过绿色贷款、专项基金等形式提供资金支持,加速了黄河流域绿色创新水平的提升.同时,在金融资源的支持下,先进的节能减排技术、智能环境监测系统和生态修复方案得以广泛应用,从而强化了生态韧性的提升效果.

表 10　带调节的中介传导模型估计结果

Table 10　Estimation results of the moderated mediation model

变量	GI	PEC	CER	CER
IDIT*FIR	0.122***	0.146***		
	(0.030)	(0.052)		
FIR*GI			0.053***	
			(0.020)	
FIR*PEC				0.041***
				(0.009)
控制变量	是	是	是	是
双向固定	是	是	是	是
常数项	0.251	−0.093	−0.002	−0.010
	(0.238)	(0.190)	(0.075)	(0.084)
观测值	1,188	1,188	1,188	1,188
R^2	0.783	0.296	0.195	0.203

从公众环境关注度作为中介机制来看,数智融合与金融发展的交互项对公众环境关注度的回归系数在 1%水平下显著为正,并且公众环境关注度与金融发展的交互项对黄河流域城市生态韧性的回归系数也在 1%水平下显著为正,表明金融发展对公众环境关注度的中介作用有正向的调节效应,验证了假设 5b.金融发展水平较高的地区,绿色数据平台和环境教育项目的资金投入较高,为公众提供了更多获取环境信息的途径,提高了公众对环境问题的关注度.同时,金融资源的支持能够加强公众参与环保行动的深度和广度.通过资助环保公益项目和推广绿色金融产品,在强化公众环境保护意识的同时,也推动了绿色消费和低碳行为的普及,强化了公众环境关注对黄河流域城市生态韧性的提升效果.

3.8　数智融合对黄河流域城市生态韧性影响的异质性分析

表 11 展示了黄河流域上、中、下游数智融合对城市生态韧性的影响.从估计结果来看,仅有黄河流域下游地区的数智融合对城市生态韧性的回归系数在 1%的水平下显著为正,中游和上游地区的回归系数为正却并不显著.这与各流域的经济基础、数智基础设施水平以及生态治理能力存在显著差异有相关.黄河流域下游地区经济较为发达,城市化水平较高,具备更完善的数智基础设施和更强的技术应用能力.相比之下,中游和上游地区以农业和资源型经济为主,经济发展水平和数智技术应用能力相对滞后.尤其是在偏远地区,数智技术的覆盖和推广受到限制,难以发挥提升城市生态韧性的作用.此外,中上游地区生态问题的复杂性和治理任务的艰巨性也可能导致数智融合的作用尚未完全显现.因此,尽管数智融合在这些地区对生态韧性可能具有潜在的促进作用,但其效果在短期内难以显著.

表 11　黄河流域上、中、下游异质性分析

Table 11　Heterogeneity analysis of the upper, middle, and lower reaches of the Yellow River Basin

变量	下游	中游	上游
IDIT	0.302***	0.087	0.124
	(0.068)	(0.129)	(0.105)
控制变量	是	是	是
常数项	0.001	0.116*	0.008
	(0.090)	(0.066)	(0.064)
双向固定	是	是	是
观测值	396	252	540
R^2	0.517	0.180	0.100

表 12 展示了资源型与非资源型城市、国家级大数据综合试点与非试点城市的异质性估计结果.从资源型和非资源型城市的回归结果来看,资源型城市的回归系数为 0.130,并且仅在 5%的水平下显著,而非资

源型城市的回归系数为 0.235,并且在 1%的水平下显著,表明非资源型城市的数智融合对城市生态韧性的提升效果更强.这一结果与两种城市的产业结构和经济特征密切相关.资源型城市的经济往往依赖矿产开采、重工业和能源产业,数智融合对生态韧性的提升作用易受到制约.同时,资源型城市数智基础设施相对薄弱,技术推广和应用能力较低,数智融合在短期内难以发挥显著效果.相比之下,非资源型城市经济结构更加多样化,对生态环境的压力相对较小.同时,非资源型城市往往具备更完善的数智基础设施和更强的数字技术应用能力,对生态韧性的提升效果更加显著.

表 12 黄河流域资源型城市类型、政策试点异质性分析

Table 12 Heterogeneity analysis based on resource-based city types and policy pilot programs in the Yellow River Basin

变量	资源型城市	非资源型城市	综合大数据试点	非综合大数据试点
IDIT	0.130**	0.235***	0.285***	0.136**
	(0.061)	(0.070)	(0.049)	(0.064)
控制变量	是	是	是	是
常数项	0.055	0.056	0.092**	0.081**
	(0.035)	(0.054)	(0.035)	(0.038)
双向固定	是	是	是	是
观测值	588	600	312	876
R^2	0.152	0.189	0.443	0.191

从是否为国家级综合大数据试点城市来看,试点城市和非试点城市数智融合对城市生态韧性的回归系数均在 1%水平下显著为正,并且试点城市的回归系数更大,表明试点城市数智融合对生态韧性的提升作用更强.这一结果反映了试点政策在推动数智技术应用和生态治理创新中的显著优势.国家级大数据综合试点城市由于资源投入充足和技术推广机制完善,具备更尤的数智基础设施水平和技术研发能力.同时,试点政策还鼓励跨行业、跨区域的技术协作,提升了数智技术在生态保护中的综合应用能力.相比之下,非试点城市尽管数智融合对生态韧性也有正向影响,但由于政策支持和资源投入相对有限,其生态韧性提升的幅度相对较小.

4 结论与启示

本文选取 2011~2022 年黄河流域 99 个地级市的面板数据,利用熵权 Topsis 模型、耦合协调模型测算了黄河流域的数智融合与生态韧性水平,并分析了数智融合的时空分异.在此基础上,通过基准回归模型、似不相关回归模型探究了数智融合对黄河流域生态韧性及其二级指标的作用效果,并进一步通过中介模型和带调节的中介模型探索了数智融合影响生态韧性的机制渠道及其强化因素.最后,针对流域划分、城市类型和政策试点做了异质性分析.研究发现:①黄河流域数智融合水平呈现东高西低、南高北低的空间分布,并且存在显著的空间聚集现象.聚集中心主要分布在山东半岛以及各省省会,且聚集中心与非中心地区的数智融合差距逐年增加.②数智融合对黄河流域城市生态韧性有显著的促进作用.具体而言,数智融合对生态韧性的抵抗力有显著的负向影响,对恢复力和响应力有显著正向影响,且负向影响要明显大于正向影响,合理解释了以往研究中数智技术对生态环境产生正向影响与倒“U”影响的结论不一致.③数智融合能通过绿色创新和公众环境关注度两个中介渠道促进黄河流域城市的生态韧性,补充了已有研究中涉及较少的公众维度,并进一步发现中介作用在金融发展较好的地区效果更优.④流域异质性表明,仅有下游地区的数智融合能显著提升城市生态韧性,上、中游的提升效应并不明显.城市类型异质性表明,数智融合对资源型和非资源型城市的生态韧性都有明显的促进作用,但对非资源型城市的效果更优.试点政策异质性表明,数智融合对国家级综合大数据试点和非试点城市的生态韧性均有促进作用,但试点城市效果更优.

基于以上研究结果提出以下对策建议:①加大对西部和北部地区的政策倾斜和资金支持,重点解决基础设施落后和数智技术普及度低的问题.应通过政府专项资金和技术援助,推动东部地区先进技术和经验输出,建设跨区域技术合作平台,从而提升区域整体数智融合水平.②建立健全绿色技术研发支持体系,通过设立专项基金、提供税收优惠等措施,鼓励企业和科研机构加强绿色技术研发,并通过数智平台和新媒体渠道扩大环保宣传,推广绿色金融产品,提高公众环保意识,增强社会对生态问题的关注和参与.③下游地区应继续强化数智融合在生态治理中的作用,推动智慧城市建设和数字化生态治理.上游和中游地区应在生态保护的前提下,稳步推进数智化转型,特别是在智慧农业和水利管理等领

域.资源型城市应推动传统产业的数智化转型,减少对资源的依赖,而非资源型城市则应重点支持新兴产业与数智技术融合,推动绿色、低碳的城市发展.④建议加快国家级试点城市的数据平台建设和技术创新应用,确保试点项目顺利推进,并通过定期评估总结经验,形成可复制的数智技术应用模板,逐步推广到其他城市.通过示范效应,推动黄河流域整体数智化水平的提升,促进区域协调发展.

参考文献:

[1] 任保平,巩羽浩.数字经济助推黄河流域高质量发展的路径与政策 [J]. 经济问题, 2023,(2):15-22.
Ren B P, Gong Y H. The path and policy of digital economy promoting the high-quality development of the Yellow River Basin [J]. On Economic Problems, 2023,(2):15-22.

[2] 钞小静,沈　路.新型数字基础设施对黄河流域城市生态效率的空间溢出效应——基于 2013~2020 年沿线 97 个城市数据的分析 [J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2023,52(6):46-60.
Chao X J, Shen L. Patial spillover effect of new digital infrastructure on urban ecological efficiency in the Yellow River Basin——based on data from 97 cities along the line from 2013 to 2020 [J]. Journal of Shaanxi Normal University(Philosophy and Social Sciences Edition), 2023,52(6):46-60.

[3] Wang Y, Kang M, Liu Y, et al. Can digital intelligence and cyber-physical-social systems achieve global food security and sustainability? [J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2023,10(11):2070-2080.

[4] 张　杰,刘亚琪.行之有效还是徒劳无功？数智融合发展对长三角地区减污降碳协同治理的影响研究 [J/OL]. 长江流域资源与环境, 1-17[2025-04-10].
Zhang J, Liu Y Q. Effective or futile? research on the impact of numerical intelligence integration development on collaborative governance of pollution reduction and carbon reduction in the Yangtze River Delta Region [J/OL]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 1-17[2025-04-10].

[5] 熊　磊,章　琦,严由亮,等.长江中游城市群数智发展水平与碳生产率的耦合协调时空特征及驱动因素 [J]. 经济地理, 2024,44(10):46-54.
Xiong L, Zhang Q, Yan Y L. Spatiotemporal characteristics and driving factors of the coupled coordination between digital intelligence development and carbon productivity in urban agglomerations of the middle reaches of Yangtze River [J]. Economic Geography, 2024,44(10):46-54.

[6] 邝嫦娥,刘江月,李文意.数智融合赋能与制造业企业绿色转型 [J]. 当代财经, 2024,(5):114-127.
Kuang C E, Liu J Y, Li W Y. Digital-intelligence integration empowerment and green transformation of manufacturing enterprises [J]. Contemporary Finance & Economics, 2024,(5):114-127.

[7] Shamsipour A, Jahanshahi S, Mousavi S S, et al. Assessing and mapping urban ecological resilience using the loss-gain approach: a case study of Tehran, Iran [J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 103:105252.

[8] 王　鑫.乡村生态韧性治理的水平测度与融合发展 [J]. 统计与决策, 2023,39(20):45-50.
Wang X. Level measurement and integration development of rural ecological resilience governance [J]. Statistics & Decision, 2023, 39(20):45-50.

[9] 刘　亮,阮俊杰,庄海涛.数智化赋能长三角城市群绿色发展的效应研究 [J]. 经济地理, 2024,44(9):123-132.
Liu L, Ruan J J, Zhuang H T. Impact of digital intelligence on green development in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration [J]. Economic Geography, 2024,44(9):123-132.

[10] 赵政楠,茹少峰,薛　飞.黄河流域生态韧性的时空格局与分布动态演进——基于能值生态足迹模型的分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2024,34(8):136-147.
Zhao Z N, Ru S F, Xue Fei. Spatio-temporal pattern and dynamic evolution of ecological resilience in the Yellow River Basin: based on the analysis of energy ecological footprint model [J]. China Population, Resources and Environment, 2024,34(8):136-147.

[11] 陶洁怡,董　平,陆玉麒.长三角地区生态韧性时空变化及影响因素分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2022,31(9):1975-1987.
Tao J Y, Dong P, Lu Y Q. Spatial-temporal analysis and influencing factors of ecological resilience in Yangtze River Delta [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022,31(9):1975-1987.

[12] 祁小丽,栾　博,周文君,等.基于 STIRPAT 模型的海岸带生态韧性影响因素研究——以深圳市为例 [J]. 中国环境科学, 2025,45(1):416-429.
Qi X L, Luan B Zhou W J, et al. Factors influencing urban coastal ecological resilience based on the STIRPAT model: a case study of Shenzhen City [J]. China Environmental Science, 2025,45(1):416-429.

[13] 郭　峰,熊云军,石庆玲,等.数字经济与行政边界地区经济发展再考察——来自卫星灯光数据的证据 [J]. 管理世界, 2023,39(4):16-33.
Guo F, Xiong Y J, Shi Q L, et al. The re-estimation of digital economy and economic development in administrative border areas: evidence from nighttime light data [J]. Journal of Management World, 2023, 39(4):16-33.

[14] Argyroudis S A, Mitoulis S A, Chatzi E, et al. Digital technologies can enhance climate resilience of critical infrastructure [J]. Climate Risk Management, 2022,35:100387.

[15] Jiang W, Jiang N. From sustainable development towards resilience: does digital finance matter in enhancing ecological resilience? [J]. Sustainable Development.

[16] Tang Y, Wang Y. Impact of digital economy on ecological resilience of resource-based cities: spatial spillover and mechanism [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023,30(14):41299-41318.

[17] Wu D, Xie Y, Lyu S. Disentangling the complex impacts of urban digital transformation and environmental pollution: evidence from smart city pilots in China [J]. Sustainable Cities and Society, 2023,88:104266.

[18] Li G, Wang L. Study of regional variations and convergence in ecological resilience of Chinese cities [J]. Ecological Indicators, 2023,154:110667.

[19] 黄和平,周桂明,李国民.产业数字化对绿色全要素生产率的影响机制研究——兼议环境规制的门槛效应 [J]. 中国环境科学, 2025, 45(3):1713-1730.

Huang H P, Zhou G M, Li G M. The impact of digital economy on industrial carbon emission performance: threshold effect analysis of heterogeneous environmental regulations. [J]. China Environmental Science, 2025,45(3):1713−1730.

[20] 庞瑞芝,王宏鸣.数字经济与城市绿色发展:赋能还是负能? [J]. 科学学研究, 2024,42(7):1397−1408.
Pang R Z, Wang H M. Digital economy and urban green development: empowerment or negative energy? [J]. Studies in Science of Science, 2024,42(7):1397−1408.

[21] 李 珒,赵 静.环境治理中的数字赋能与监管效率提升——基于人工替代的视角 [J]. 中国人口·资源与环境, 2023,33(8):130−137.
Li J, Zhang J. Digital empowerment and regulatory efficiency improvement in environmental governance: from the perspective of labor substitution [J]. China Population, Resources and Environment, 2023,33(8):130−137.

[22] Harahap M A K, Kraugusteeliana K, Pramono S A, et al. The role of information technology in improving urban governance [J]. Jurnal Minfo Polgan, 2023,12(1):371−379.

[23] 黎振强,游肖月.数字经济发展、产业结构升级对长江经济带生态效率的影响效应 [J]. 长江流域资源与环境, 2024,33(8):1624−1636.
Li Z Q, You X Y. Effects of the digital economy development and the industrial structure upgrading on the ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024,33(8):1624−1636.

[24] 辛雅儒,申 晨,冯 锐,等.机器人应用、CEO 绿色经历与企业绿色技术创新 [J]. 经济管理, 2024,46(7):129−145.
Xin Y R, Shen C, Feng R, et al. CEO green experience, robot application and green technology innovation [J]. Business and Management Journal, 2024,46(7):129−145.

[25] Li D, Yang W, Huang R. The multidimensional differences and driving forces of ecological environment resilience in China [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2023,98:106954.

[26] Fu S, Lou J, Wang J, et al. Enhancing urban ecological resilience through integrated green technology progress: evidence from Chinese cities [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2024,31(25): 36349−36366.

[27] 王 薇,谢雄辉.互联网使用对公众环境治理效能感的影响研究 [J]. 统计与信息论坛, 2022,37(3):108−117.
Wang W, Xie X H. Research on the impact of internet use on public environmental governance sense of efficacy [J]. Journal of Statistics and Information, 2022,37(3):108−117.

[28] 邱成梅,苏 健,周丽娟.中国公众环境意识及影响因素变化——基于 CSS2013 和 CSS2019 的实证研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(5):37−44.
Qiu C M, Su J, Zhou L J. Empirical research on the changes of public environmental awareness and influencing factors in China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023,37(5):37−44.

[29] 吴力波,杨眉敏,孙可哿.公众环境关注度对企业和政府环境治理的影响 [J]. 中国人口·资源与环境, 2022,32(2):1−14.
Wu L B, Yang M M, Sun K. Impact of public environmental attention on environmental governance of enterprises and local governments [J]. China Population, Resources and Environment, 2022,32(2):1−14.

[30] 许金花,叶妃三,商丽霞.公众环境关注度对企业碳绩效水平的影响研究 [J]. 管理学报, 2024,21(6):865−875.
Xu J H, Ye F S, Shang L X. The impact of public environmental concern on the level of corporate carbon performance [J]. Chinese Journal of Management, 2024,21(6):865−875.

[31] 葛鹏飞,黄秀路,徐璋勇.金融发展、创新异质性与绿色全要素生产率提升——来自“一带一路”的经验证据 [J]. 财经科学, 2018,(1):1−14.
Ge P F, Huang X L, Xu Z Y. Financial Development, innovation heterogeneity and promotion of green TFP: evidence from “The Belt and Road” [J]. Finance & Economics, 2018,(1):1−14.

[32] 汤 龙,陈享光.数字金融能缓解短贷长投对企业持续绿色创新的不利影响吗? [J]. 中国人口·资源与环境, 2024,34(9):123−131.
Tang L, Chen X G. Can digital finance alleviate the adverse effects of short−term loans for long−term investments on corporate sustainable green innovation? [J]. China Population, Resources and Environment, 2024,34(9):123−131.

[33] 江 艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应 [J]. 中国工业经济, 2022,(5):100−120.
Jiang T. Mediating effects and moderating effects in causal inference [J]. China Industrial Economics, 2022,(5):100−120.

[34] 彭文斌,曹笑天.城市更新作用下生态韧性时空分异及其影响效应——以环长株潭城市群为例 [J]. 经济地理, 2023,43(10):44−52.
Peng W B, Cao T X. Spatiotemporal differentiation of ecological resilience under urban renewal and its influencing mechanisms around the Changsha−Zhuzhou−Xiangtan Urban Agglomeration [J]. Economic Geography, 2023,43(10):44−52.

[35] 王淑佳,孔 伟,任 亮,等.国内耦合协调度模型的误区及修正 [J]. 自然资源学报, 2021,36(3):793−810.
Wang G J, Kong W, Ren L, et al. Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China [J]. Journal of Natural Resources, 2021,36(3):793−810.

[36] 郭 蔚,潘红玉.金融发展促进了区域科技创新吗?——基于教育人力资本调节效应的分析 [J]. 财经理论与实践, 2024,45(2):33−39.
Guo W, Pan H Y. Does financial development promote regional science and technology innovation?: an analysis based on the moderating effect of educational human capital [J]. The Theory and Practice of Finance and Economics, 2024,45(2):33−39.

[37] 王 海,闫卓毓,郭冠宇,等.数字基础设施政策与企业数字化转型:“赋能”还是“负能”? [J]. 数量经济技术经济研究, 2023,40(5):5−23.
Wang H, Yan Z M, Guo G Y, et al. Digital infrastructure policy and digital transformation of enterprises: “empowerment” or “negative energy”? [J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2023,40(5):5−23.

[38] 郑世林,熊 丽.中国培育经济发展新动能的成效研究 [J]. 技术经济, 2021,40(1):1−11.
Zheng S L, Xiong L. Assessment and policy suggestions for new kinetic energy of China's economic development [J]. Journal of Technology Economics, 2021,40(1):1−11.

作者简介：哈梅芳(1973−),女,宁夏青铜峡人,教授,博士,从事财政税收理论与政策、资源环境经济学研究.发表论文 30 余篇.17811276657@163.com.