数字技术驱动农业经济韧性提升：作用机理、实证检验及政策启示

朱孟帅，黄明义，沈 辰，迟 亮，张 晶，吴建寨*

（中国农业科学院农业信息研究所/农业农村部区块链农业应用重点实验室，北京 100081，中国）

摘 要：［**目的/意义**］提升农业经济韧性是保障国家粮食安全与促进乡村振兴的重要路径。本研究旨在探讨数字技术投入对农业经济韧性的驱动效应及内在机理，为制定差异化的数字农业政策提供理论参考。［**方法**］基于2012、2015、2017、2018、2020年中国省级面板数据，利用投入产出模型测算数字技术对农业的完全投入值，通过熵值法构建涵盖抵抗力、恢复力与发展力的评价体系，并运用工具变量法及中介效应模型进行实证检验。［**结果和讨论**］研究发现：（1）数字技术投入显著增强了农业经济韧性，且呈现出“强力驱动恢复力与发展力、弱影响抵抗力”的非对称特征；（2）机理分析表明，市场化进程、经济效率提升及交通密度优化是主要传导路径，其中市场化路径的贡献最为显著；（3）异质性分析显示，数字技术在西部地区及粮食主销区表现出明显的“数字补偿”优势，而农村合作社的组织效应在数字化进程中尚未得到充分释放。［**结论**］数字技术能显著提升农业经济韧性，且影响具有时空异质性和非对称性。应加强基础设施建设，优化数字技术要素配置，实施差异化扶持策略，加强人力资本投入，以全面提升农业经济韧性。

关键词：数字技术投入；农业经济韧性；投入产出表；信息和通信技术投入

中图分类号：F32;[S-9] **文献标识码：**A **文章编号：**SA202602013

引用格式：朱孟帅, 黄明义, 沈辰, 迟亮, 张晶, 吴建寨 . 数字技术驱动农业经济韧性提升:作用机理、实证检验及政策启示[J]. 智慧农业(中英文), 2026, 8(3): 203-214. DOI：10.12133/j.smartag.SA202602013

ZHU Mengshuai, HUANG Mingyi, SHEN Chen, CHI Liang, ZHANG Jing, WU Jianzhai. Digital Technology Driving Agricultural Economic Resilience: Mechanism Analysis, Empirical Test, and Policy Implications[J]. Smart Agriculture, 2026, 8(3): 203-214. DOI：10.12133/j.smartag.SA202602013 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

在当前世界大变局下，农业作为国民经济的稳压器，正面临着极端气候频发、地缘政治风险溢出，以及市场需求波动等多重压力[1-3]。这种不确定性特征对农业系统的稳定运行提出了严峻挑战，如何提升农业经济韧性成为保障国家粮食安全与实现乡村振兴战略核心之一[4-6]。韧性本质上是系统的一种反脆弱能力，农业经济韧性指的是农业系统在面对极端气候、市场剧烈波动等冲击时，维持农业系统稳定的能力，不仅体现为系统在遭受冲击时的自我修复与抗压能力，更蕴含了在危机中实现转型升级的动态进化逻辑[7,8]。粮食安全是实现乡村振兴的核心红线，保障粮食安全，必须坚持增强农业系统韧性支撑，通过提升抗风险能力确保产出的持续稳健。只有在韧性保障下实现粮食稳产保供，才能为乡村产业兴旺与经济发展筑牢物质基础，进而实现乡村振兴从低水平平衡向高质量发展的跨越。因此，探讨如何强化农业经济韧性，已成为学术界与政策制定者共同关注的重大命题。

伴随着新一轮科技革命的深入发展，以大数据、物联网、人工智能为代表的数字技术正加速向农村地区渗透，成为重塑农业生产范式的关键变量[9,10]。数字技术以数据为核心要素，以信息通信

收稿日期：2026-02-05

基金项目：国家自然科学基金项目（42271313）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项（JBYW-AII-2025-25）；中国农业科学院科技创新工程项目（CAAS-ASTIP-2025-AII）

作者简介：朱孟帅，博士，助理研究员，研究方向为农业经济政策。E-mail：zhumengshuai@caas.cn

*通信作者：吴建寨，博士，研究员，研究方向为农业信息技术。E-mail：wujianzhai@caas.cn

copyright©2026 by the authors （登录 www.smartag.net.cn 免费获取电子版全文）

技术（Information and Communications Technology, ICT）为主要代表，是新质生产力的重要引擎。数字技术对农业经济韧性的赋能逻辑在于其对传统生产要素的“解构与重组”，它不仅物化为信息通信硬件与软件服务的中间投入，更通过对土地、劳动力与资本等传统要素的数字化修饰，实现了从“经验依赖”向“数据驱动”的农业生产范式转换。数字技术作为一种具有高渗透性、强替代性的核心生产要素，其对农业的影响已从简单的工具赋能演变为深层的结构重塑[11-13]。已有研究探讨了数字技术在优化产业结构[14]、增加农户收入[15]、促进农业转型[16]、推动城乡融合[17]等方面的积极效应，这为数字化赋能农业经济奠定了理论基础。然而，在农业生产实践中，数字技术不仅通过数字乡村等宏观环境发挥作用，更作为一种中间投入要素直接参与到生产函数中。数字技术作为生产要素投入，通过实时监测、精准配置和信息共享，为农业系统搭建起一道“数字防火墙”，从而在本质上改变了农业应对风险的模式[18-20]。

从现有脉络看，学者开始关注数字技术作为中间投入要素的价值，认为数字技术能够通过技术溢出效应优化农业要素组合[21]，这为测度数字技术投入提供了理论支撑。与此同时，关于农业经济韧性的内涵测度及其驱动因素，现有研究多基于系统韧性理论[22,23]，将其解构为抵抗力、恢复力和发展力3个维度[24-26]，并从金融保险[25,27,28]、财政支农政策[23]、农业社会化服务[29]等视角探讨了其增强机制。这些成果为理解农业系统在遭受冲击时的波动与调节规律奠定了基础。

近年来的前沿成果进一步将数字技术视为一种“缓冲要素”，探讨其在风险精准监测[30,31]、农业产业链韧性供应链[32-34]、农业生态[35,36]中的核心价值。部分学者还分析了数字技术投入在不同资源禀赋地区所表现出的门槛效应与异质性特征[23]。然而，现有关于数字技术对农业的影响研究，大多采用宽泛的数字化指数或宏观综合指标来衡量，并进行影响效应和作用机制分析[37,38]，这往往难以剥离出数字技术作为要素投入对农业的真实贡献[39,40]。虽然已有文献在数字技术与农业韧性的单项研究上较为成熟，但结合数字技术投入探讨其对韧性驱动逻辑的实证检验仍有待深化。

在经济系统的实际运行中，数字技术作为一种抽象的技术集合，必须通过具体的媒介物化为生产过程中的要素投入。本研究将ICT投入视为数字技术在农业生产中的具象化表现与量化抓手。通过考察ICT对农业产业的完全投入，能够精准捕捉数字技术作为中间生产要素对农业系统的渗透深度，从而避免了单纯使用宏观数字化指标可能带来的统计宽泛性。

针对现有研究在数字技术测算口径上的泛化，以及对农业韧性影响研究的不足，遵循“理论机制分析-数字技术与韧性测算-实证效应检验”的研究思路展开探讨。首先，在理论层面，分析了数字技术对农业经济韧性的影响机理及传导机制。其次，在测算层面，摒弃了单一的数字化评价指标，利用投入产出模型（Input-Output Model）精准核算ICT对农业部门的完全投入值，以此作为数字技术渗透深度的客观表征。最后，在实证层面，利用中国省级面板数据，采用回归分析、中介效应与工具变量法，实证检验ICT投入对农业经济韧性的驱动效应及作用机制，并进一步考察其在不同地区与不同农业资源禀赋下的异质性表现。

本研究创新点与边际贡献主要体现在：第一，跳出传统的宏观评价框架，采用ICT对农业的完全投入值作为核心自变量。这一指标能够精准刻画农业系统对数字技术的依赖深度，从而更加客观地揭示数字技术对农业经济韧性的驱动逻辑。参考相关领域的前沿动态[22,41]，将ICT投入视为一种“韧性增强因子”，不仅能提高农业在面对灾害时的抵抗力，更能通过数据要素的溢出效应提升其灾后恢复力与长期发展力。第二，在影响机理上，深入剖析ICT投入如何降低农业生产中的信息不对称，并探讨其通过交通密度优化、农业经济效率提升及市场化进程推动农业韧性增长的传导路径。第三，结合现有的农业韧性评价体系[23,24]，构建了涵盖抵抗力、恢复力和发展力的综合指标，通过实证检验数字技术投入在不同时空维度下的驱动效果。

1 理论分析与研究假说

1.1 数字技术对农业经济韧性的直接影响机理

数字技术作为一种新质生产要素，通过对生产、生态与经济多维度的深度渗透，系统性地强化了农业经济韧性的三大核心维度。首先，在抵抗力维度，数字技术能有效提升耕种收综合机械化率，助力精准灌溉与减施增效，实现作业的标准化与精准化，通过物理层面的技术替代减轻自然灾害的直

接冲击，增强农业系统的生态缓冲性。其次，在恢复力维度，数字技术能显著提升农村金融与信息的流动性，打破空间不平衡，夯实系统应对外部波动的基础。最后，在发展力维度，数字技术通过催生农村电商、智慧农业等新业态，推动农业产业结构的纵深调整与价值链重构，使农业系统在经历冲击后并非简单回归原状，而是通过要素重组实现向更高水平发展范式的跃迁。综上所述，数字技术通过全方位的要素赋能，实现了对农业经济韧性（包含抵抗力、恢复力与进化力）的整体驱动。基于此，本研究提出：

假说H1：数字技术投入能够驱动农业经济韧性的提升。

1.2 数字技术提升农业经济韧性的传导机制

除了直接效应外，数字技术还通过改善外部环境与内部效率，产生间接的韧性赋能效应。

交通密度与市场通达性：数字技术投入与基础设施具有协同效应。数字技术投入的增加能够优化物流调度效率，在空间维度上，较高的交通密度配合数字信息流，能够优化农资补给与农产品流通，在冲击发生时保障供应链的恢复能力。

经济效率与劳动生产率：数字技术对劳动力具有增强效应。通过数字技术投入，农业劳动生产力得到有效提高，单位劳动力承载了更高的价值增值，农业系统在遭受冲击后具备更强的资本积累能力与物质资本恢复力。

市场化程度与要素配置：数字技术有助于打破信息孤岛，提升市场化指数。在高度市场化的环境下，土地、劳动力与资本等要素能够根据风险信号快速重组。

据此，本研究提出：

假说H2：数字技术通过提升交通密度、优化经济效率，以及推动市场化进程，间接驱动农业经济韧性的提高。

1.3 数字技术影响的异质性与非线性特征

数字技术对农业韧性的驱动作用可能受到区域特征的影响。在人均国内生产总值（Gross Domestic Product, GDP）较高，以及合作社组织化程度较强的地区，数字化投入的“数字红利”更容易被吸收转化。相反，在种植结构单一或对外开放程度极高的地区，系统可能面临更复杂的外部依赖风险。同时，由于数字技术具有明显的规模效应和门槛特征，数字技术投入对韧性的提升可能存在非线性特征。基于此，本研究提出：

假说H3：数字技术对农业经济韧性的提升作用在不同资源禀赋及产业结构下具有显著的异质性。

2 数据与方法

2.1 变量定义、数据来源及处理

研究样本涵盖中国30个省、自治区、直辖市（因数据缺失，暂不含港澳台及西藏地区）。考虑到数字技术发展的阶段性及数据可得性，数据包括2012、2015、2017、2018、2020年5个年份30个省份的非连续年份的面板数据集。主要数据及来源渠道包括：

1）宏观经济与农业生产数据。主要来源于历年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国农产品价格调查年鉴》，以及各省份统计年鉴。

2）核心解释变量（ICT完全投入值）。采用清华大学中国碳核算数据库中国2012、2015、2017、2018、2020年多区域投入产出报表[42, 43]。借鉴张兴祥等[44]基于全国多区域投入产出表的研究，本研究聚焦于“信息传输、软件和信息技术服务业”对农林牧渔业的渗透程度。本研究未包含硬件制造业投入，主要基于以下考量：一是数字化赋能农业的核心在于信息流的实时传递与软件系统的决策支持，而非单纯的硬件设备堆砌；二是服务业投入能更灵敏地反映农业生产过程中的动态技术消耗，避免了固定资产投资统计带来的时滞性偏差。具体测算时，利用列昂惕夫（Leontief）逆矩阵计算出农业农村部门的完全消耗系数，并乘以农业农村部门的总产出。这一指标能够精准刻画农业系统在生产、管理及流通环节中对数字信息服务的真实依赖深度。

3）被解释变量（农业经济韧性）。在农业经济韧性测算中，学者们使用了较多的方法构建指标体系。以郝爱民和谭家银[24]构建的包括抵抗力、恢复力、再造力的农业经济韧性指标体系为基础，借鉴令涛和赵桂芹[25]、郑丽娜等[45]关于农业生产韧性、产业链韧性等的相关研究，采用综合指标法测算，指标体系如表1所示，并用熵值法确定权重。该方法通过计算指标信息的熵值，根据各指标观测值的变异程度来确定其权重，有效避免了层次分析法等主观赋权法带来的偏差。具体步骤如下。

数据标准化：为消除各指标量纲及数量级差异的影响，对正向指标和负向指标分别进行标准化

处理。

正向指标，如公式（1）所示。

$$z_{i,j,t}=\frac{x_{i,j,t}-\min\left(x_j\right)}{\max\left(x_j\right)-\min\left(x_j\right)} \quad (1)$$

负向指标，如公式（2）所示。

$$z_{i,j,t}=\frac{\max\left(x_j\right)-x_{i,j,t}}{\max\left(x_j\right)-\min\left(x_j\right)} \quad (2)$$

式中：$x_{i,j,t}$为i省份j指标在t年的原始值；$\min\left(x_j\right)$为最小值；$\max\left(x_j\right)$为最大值；$z_{i,j,t}$为标准化处理之后的值。

计算指标权重：计算第j项指标在第t年的权重ω_j。

综合得分计算：将各标准化指标值与对应权重加权求和，最终得到各省份年度农业经济韧性指数（Resilience）及其子维度（抵抗力、恢复力、发展力）的得分。

表1 农业经济韧性评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system for agricultural economic resilience

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性
抵抗力	生产抵抗力	成灾面积/受灾面积/%	负向
		农作物耕种收综合机械化率/%	正向
	生态抵抗力	单位播种面积农业生产用水量/m^3	负向
		单位播种面积农用化肥（折纯）量/kg	负向
		单位播种面积农用塑料薄膜施用量/kg	负向
	经济抵抗力	农业保险深度/%	正向
		农村居民人均可支配收入/元	正向
恢复力	物质资本	农村住户固定资产投资额/亿元	正向
	财政资本	涉农支出占比/%	正向
	人力资本	农村受教育水平/年	正向
发展力	产业结构	农产品加工业与农业产值之比/%	正向
	要素配置	土地流转率/%	正向
	产业发展	农业研究与试验发展投入/万元	正向

4）中介变量与控制变量。交通密度、农业经济效率等数据源于《中国交通运输统计年鉴》及国家统计局数据库。市场化水平来自《中国分省份市场化指数报告》的市场化指数。农村教育水平根据国家统计局《第七次全国人口普查公报（第六号）》测算。经济水平：人均GDP取对数。农村人口占比：农村人口占总人口比值。种植结构：粮食面积占农作物总播种面积的比值。产业结构：第二产业增加值占比。农村合作社数量：为消除明显右偏取对数。对外开放程度：各省进出口总额/地区生产总值。

（5）工具变量。数字化发展基础为1988年农村广播户数与上一年农村互联网宽带人数的乘积[46]，来源于《中国统计年鉴（1989）》，体现了信息基础设施的历史发展水平。

2.2 模型构建

2.2.1 基准回归模型

为检验数字技术对农业经济韧性的影响，构建以下基准回归模型，如公式（3）所示。

$$Resilience_{i,t}=a_0+a_1ICT_{i,t}+a_2Controls_{i,t}+\varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

式中：$Resilience_{i,t}$为i省在t年的农业经济韧性综合指数；$ICT_{i,t}$为核心解释变量，即信息通信技术对农业的完全投入值；$Controls_{i,t}$为一系列控制变量；a_0为常数项；a_1为核心变量估计系数；a_2为控制变量估计系数；$\varepsilon_{i,t}$为随机扰动项。变量具体描述如表2所示。

表2 数字技术对农业经济韧性影响的主要变量描述

Table 2 Main variables description of the impact of digital technology on agricultural economic resilience

变量类型	变量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	农业经济韧性	0.226	0.082	0.104	0.490
核心解释变量	ICT完全投入值	0.000	1.000	−1.108	4.579
中介变量	农业经济效率	5.766	2.719	1.315	16.812
	交通密度	0.984	0.529	0.043	2.234
	市场化水平	8.119	1.841	3.359	11.934
工具变量	数字化发展基础	0.000	1.000	−0.783	4.211
控制变量	经济水平	10.860	0.430	9.849	12.010
	农村人口占比	0.417	0.129	0.107	0.778
	种植结构	0.658	0.149	0.355	0.969
	产业结构	0.399	0.079	0.160	0.587
	农村合作社数量	3.199	0.687	1.213	4.532
	对外开放程度	0.261	0.270	0.008	1.354

注：核心解释变量和工具变量均已进行Z-Score标准化。

2.2.2 中介效应模型

用于考察农业经济效率、交通密度与市场化指数的传导机制，如公式（4）和公式（5）所示。

$$Med_{i,t}=\gamma_0+\gamma_1ICT_{i,t}+a_2Controls_{i,t}+\varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

$$Resilience_{i,t}=\theta_0+\theta_1Med_{i,t}+\theta_2Controls_{i,t}+\varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

式中：$Med_{i,t}$为中介变量；γ_0、γ_1、θ_0、θ_1、θ_2为系数。

2.2.3　工具变量模型

选取“1988年各省农村广播数×上一年农村互联网宽带人数”作为工具变量，以缓解潜在的双向因果与遗漏变量问题。

3　结果与分析

3.1 基准回归结果

在进行回归估计前，首先对解释变量进行了多重共线性检验。各变量的方差膨胀因子均为1.07～4.15，平均值为2.30，远低于经验阈值10。这表明本研究选取的变量之间不存在严重的多重共线性问题，模型估计结果具有较强的稳健性。表3展示了数字技术投入对农业经济韧性影响的基准回归及维度分解结果。

3.1.1　数字技术投入对农业经济韧性的总体驱动作用

由表3农业经济韧性回归结果可知，核心解释变量ICT完全投入值的系数在1%的水平下显著为正。有力实证了数字技术作为新质生产力的关键要素，通过信息通信服务深度嵌入，已成为提升农业经济韧性的重要动能。数字技术投入不仅降低了农业产业链各环节的信息交易成本，更通过对传统要素的数字化重组，增强了农业系统在复杂外部环境下的生存与调节能力。

3.1.2　数字技术影响维度的“非对称性”特征

对比表3抵抗力、恢复力、发展力的维度分解结果发现，数字技术对农业经济韧性的驱动效应呈现出显著的结构性差异。首先，表3数字技术投入对抵抗力产生了微弱但显著的负向影响。这一现象在一定程度上反映了当前农业数字化转型的技术依赖风险。随着生产过程对电力、网络等高度数字化设施的依赖加深，农业系统在面对极端自然灾害时的刚性防御表现出一定的敏感性。当然，这一负向影响的绝对值极小，且其稳健性仍需在未来的长周期研究中进一步验证。表3中数字技术对恢复力和发展力的影响均正向显著，恢复力的回归表明，数字化手段在灾后修复中发挥了重要支撑作用。依托高效的信息调度与资源配置，数字技术能显著缩短农业系统在遭受波动后的功能修复周期。表3中数字投入对发展力的驱动作用最为强劲且系数最大。这印证了数字技术作为一种变革性要素，其核心价值在于推动农业生产范式的深层跃迁。通过催生农村电商、智慧农业等新业态，数字技术投入不仅优化了农业产业结构，更提升了系统在经历冲击后实现进化与高质量发展的能力。

表3　数字技术对农业经济韧性影响的基准回归结果分析与维度分解结果

Table 3　Baseline regression results and dimension decomposition of the impact of digital technology on agricultural economic resilience

变量	（1）	（2）	（3）	（4）
	农业经济韧性	抵抗力	恢复力	发展力
ICT完全投入值	0.020***	−0.003*	0.010***	0.013**
	（0.007）	（0.002）	（0.002）	（0.006）
经济水平	0.119***	0.069***	0.002	0.049*
	（0.031）	（0.010）	（0.006）	（0.026）
农村人口占比	0.012	−0.003	−0.021	0.036
	（0.042）	（0.015）	（0.014）	（0.035）
种植结构	0.185***	0.087***	−0.008	0.105***
	（0.045）	（0.018）	（0.013）	（0.039）
产业结构	−0.108	−0.165***	0.061***	−0.005
	（0.099）	（0.038）	（0.019）	（0.077）
对外开放程度	−0.005	−0.044***	−0.009	0.048
	（0.044）	（0.013）	（0.008）	（0.038）
农村合作社数量	−0.029**	−0.009*	−0.006*	−0.014
	（0.014）	（0.005）	（0.003）	（0.012）
常数项	−1.06***	−0.598***	0.049	−0.510**
	（0.289）	（0.095）	（0.059）	（0.251）
样本量	150	150	150	150
R^2	0.410	0.509	0.342	0.269

注：括号内为回归系数估计值的标准差。***P<0.01, **P<0.05, *P<0.1。下同。第（1）列为农业经济韧性总得分的基准回归，第（2）～（4）列分别为数字技术对抵抗力、恢复力、发展力3个维度的影响检验。

3.1.3　控制变量的异质化驱动逻辑

在控制变量方面，各要素对农业经济韧性的支撑作用呈现出分化特征。经济水平与种植结构表现出稳健的正向驱动力，反映出雄厚的物质基础与合理的作物布局依然是保障系统稳定的“压舱石”。相比之下，一些变量的表现值得反思：首先，农村合作社数量对多个维度具有显著负向影响，这可能暗示了当前部分合作社存在“行政化”或“空壳化”倾向，过高的组织协调成本在一定程度上削减了系统的灵活反应能力。其次，对外开放程度对抵抗力的显著负向影响，则进一步印证了地缘政治风险溢出对农业稳健性的冲击，过高的外部依赖可能放大市场波动对本土农业系统的负面传导。

3.2 稳健性检验与内生性处理

在基准回归验证了数字技术对农业经济韧性具有显著正向驱动的基础上，进一步通过内生性处理与稳健性测试，以确保估计结果的可靠性。

3.2.1 内生性处理

农业经济韧性的提升可能会反向吸引更多的数字技术投入，产生双向因果问题。为此，采用“1988年各省农村广播数×上一年农村互联网宽带人数”作为工具变量进行两阶段最小二乘回归。

从回归结果看，表4中*ICT*完全投入值表示第1阶段结果，显示工具变量对核心解释变量的估计系数在1%水平下显著为正，且Kleibergen-Paap rk Wald F统计量为23.286，远大于Stock-Yogo弱工具变量检验10%阈值（16.38），排除了弱工具变量的可能性。

表4农业经济韧性结果显示第2阶段回归发现，在纠正了内生性偏误后，数字技术投入的系数提升至0.083。这一系数跳升具有明确的经济学含义。首先，它揭示了基准回归由于测量误差导致的“趋中偏误”，使得数字技术的增韧效能在统计上被严重低估；其次，IV法有效剥离了与数字技术投入正相关但抑制农业韧性的遗漏变量干扰，纠正了基准估计中的下偏偏误。此外，由于工具变量捕捉的是对数字技术反应敏锐样本的局部平均处理效应，这类先行地区往往展现出更高的边际红利，从而导致了系数的进一步放大。这一结果在纠正了内生性偏误后，再次确证了数字技术投入作为核心变量，是增强农业韧性的强劲动能，且其实际贡献远超基准估计。

3.2.2 稳健性检验

为排除极端值和特定行政区划对结论的干扰，进行了如下稳健性测试。

首先，为了规避离群值对实证结果的潜在干扰，对所有连续变量进行上下5%的双边缩尾处理。如表4农业经济韧性（缩尾5%）所示，在消除极端值影响后，核心变量系数为0.029，依然在1%的水平下保持高度显著，这证明了核心结论在统计意义上的稳定性。其次，考虑到直辖市（北京、上海、天津、重庆）在农业资源禀赋、产业结构化及数字化资源调配上的特殊性，本研究剔除这4个样本后重新回归。如表4农业经济韧性（去除直辖市）所示，核心解释变量的系数为0.012，5%水平上显著，这说明在剔除特殊样本后，数字技术对农业经济韧性的提升作用依然稳健。上述系列测试一致表明，本研究结论具备较强的可靠性。

3.3 影响机理分析:中介效应检验

基准回归结果已证实数字技术投入对农业经济韧性具有显著的驱动作用。然而，数字技术作为一种高渗透性的中间投入要素，其赋能过程并非单一维度的直接映射，而是通过优化资源配置环境与生产效率产生间接影响。为进一步揭示数字技术投入转化为农业韧性的深层机理，验证前文理论假说H2中提出的“市场化进程、经济效率及交通密度”3条传导路径的有效性，采用中介效应模型展开机理检验。

在方法设定上，借鉴江艇[47]的中介效应判定程序，构建递归回归模型。结果如表5所示。

3.3.1 经济效率路径:系统修复的物质基础

表5农业经济效率回归结果显示，数字技术对农业经济效率的回归系数为0.375，在5%水平下显著。这验证了数字技术投入对农业生产效率的补偿效应。数字技术通过精准耕作、智能决策减少了生产冗余浪费，提升了人均产值。从韧性逻辑看，较高的经济效率意味着农业生产系统具备更丰厚的物质盈余和资本积累，在遭遇外部“黑天鹅”事件时，能够提供更强的缓冲空间和自我修复能力。

3.3.2 交通密度路径:物理空间的数字激活

表5交通密度结果显示，数字技术对交通密度的影响系数为0.059 8，且通过了10%水平的显著性检验。虽然系数相对较小，但依然揭示了数字技术与物理基础设施之间的协同效应。数字化软件和服务不仅提升了物流调度效率，更在无形中提升了路网的承载能力，缩短了应急物资与农产品流通的时间距离，为农业韧性的物理触达提供了支撑。

3.3.3 市场化改革路径:要素流动核心驱动力

在3个中介变量中，数字技术对市场化指数的促进作用最为显著。表5市场化指数表明，核心变量估计系数为0.447，且在1%水平下高度显著。这一结果表明，数字技术的嵌入不仅打破了城乡间的信息壁垒，更实现了对传统市场环境的“去摩擦化”改造。需要指出的是，农业数字化投入对宏观市场化进程的驱动，并非简单的部门规模拉动，而是一种由技术外溢引发的制度重塑。究其原因，数字化投入在沉淀海量生产数据、优化供需匹配的同时，也催生了数字契约与信用评价等新型交易范式，从而显著降低了农村土地、劳动力等关键要素

表4　数字技术影响农业经济韧性的内生性处理与稳健性检验结果

Table 4　Endogeneity treatment and robustness tests of the impact of digital technology on agricultural economic resilience

变量	ICT完全投入值	农业经济韧性	农业经济韧性（缩尾5%）	农业经济韧性（去除直辖市）
工具变量	0.440***			
	（0.091）			
ICT完全投入值		0.083***	0.029***	0.012**
		（0.018）	（0.007）	（0.006）
经济水平	0.661*	0.046	0.083***	0.104***
	（0.342）	（0.046）	（0.028）	（0.024）
农村人口占比	1.052	−0.045	0.011	−0.035
	（0.753）	（0.076）	（0.042）	（0.035）
种植结构	0.730	0.138**	0.146***	0.188***
	（0.476）	（0.055）	（0.044）	（0.043）
产业结构	−0.058	−0.208	−0.037	−0.010
	（0.872）	（0.133）	（0.092）	（0.070）
对外开放程度	−1.749***	0.117*	−0.012	−0.017
	（0.536）	（0.071）	（0.013）	（0.011）
农村合作社数量	−0.406***	−0.009	0.063	0.118***
	（0.137）	（0.019）	（0.045）	（0.037）
常数项	−6.323*	−0.274	−0.744***	−0.966***
	（3.714）	（0.458）	（0.269）	（0.241）
Cragg-Donald Wald F statistic	29.039		–	–
Kleibergen-Paap rk Wald F statistic	23.286		–	–
样本量	150	150	150	130
R^2	0.275	−0.104	0.401	0.568

流转的制度性交易成本。这种从微观技术渗透到中观要素市场、再到宏观制度环境的传导机制，使得局部数字技术投入有效激活了全省市场化的内生动力。在面临外部冲击时，这种深度发育的市场化环境能够通过灵敏的价格信号与资源调度机制实现快速响应，进而夯实农业经济韧性的制度基础。

3.4 异质性分析

考虑中国农业发展的资源禀赋、区域功能定位，以及数字基础设施建设存在显著的非均衡性，数字技术投入对农业经济韧性的驱动效应可能因时、因地而异。为避免“一刀切”的整体回归结果掩盖局部区域的特殊规律，并验证假说H3关于驱动效果非对称性的论述，本研究旨在通过异质性分析识别数字技术在不同约束条件下的表现差异，从而为精准施策提供实证支撑。

本研究遵循“多维切分、对比观察”的逻辑：一是从时间维度，以2015年国家发布《促进大数据发展行动纲要》为分界点，考察数字政策红利释放前后的阶段性差异；二是从功能维度，根据国家农业功能区划将样本划分为粮食主产区、主销区与平衡区，探究数字赋能与粮食安全保障职能的匹配度；三是从地理维度，对比东、中、西部地区的回归系数，捕捉数字投入在不同经济发展程度下的边际贡献。具体结果如表6～表8所示。

3.4.1　时间维度的阶段性特征

以2015年作为政策节点，表6展示了两个阶段的回归结果。对比发现，在2012—2015年阶段，数字技术投入对农业韧性的影响虽为正向但并未通过显著性检验；而进入2017—2020年阶段后，该系数显著提升至0.022且在1%的水平下高度显著。这一转变有力地证实了数字技术赋能效应的门槛特征与政策红利释放效应。随着乡村数字化基础设施的普及与数字乡村战略的深入实施，数字技术从早期的零星渗透转变为深度融合，从而在后期表现出强劲的增韧作用。

表5 数字技术影响农业经济韧性的中介效应检验

Table 5 Mediation effect of digital technology on agricultural economic resilience

变量	农业经济效率	交通密度	市场化指数
ICT完全投入值	0.375**	0.059*	0.447***
	(0.182)	(0.031)	(0.086)
经济水平	4.012***	0.763***	2.267***
	(0.704)	(0.121)	(0.354)
农村人口占比	0.174	0.535**	1.181*
	(1.062)	(0.247)	(0.613)
种植结构	−1.138	0.658**	1.593**
	(1.775)	(0.273)	(0.680)
产业结构	−2.954	0.529	5.339***
	(3.347)	(0.430)	(1.108)
对外开放程度	−0.171	0.207	2.796***
	(0.822)	(0.221)	(0.642)
农村合作社数量	0.582*	−0.207***	0.145
	(0.318)	(0.063)	(0.186)
常数项	−37.760***	−7.561***	−21.360***
	(7.067)	(1.275)	(3.679)
样本量	150	150	150
R^2	0.532	0.477	0.747

表6 基于时间阶段的数字技术影响农业经济韧性的异质性回归结果分析

Table 6 Time period-based heterogeneity test of the impact of digital technology on agricultural economic resilience

变量	2012年和2015年	2017、2018、2020年
ICT完全投入值	0.016	0.022***
	(0.011)	(0.008)
经济水平	0.133**	0.084*
	(0.053)	(0.049)
农村人口占比	0.061	−0.016
	(0.072)	(0.050)
种植结构	0.202***	0.171***
	(0.069)	(0.053)
产业结构	−0.110	−0.069
	(0.155)	(0.149)
对外开放程度	−0.031	−0.025
	(0.019)	(0.025)
农村合作社数量	−0.036	0.070
	(0.060)	(0.085)
常数项	−1.218**	−0.693
	(0.501)	(0.480)
样本量	60	90
R^2	0.385	0.405

表7 基于农业功能区的异质性回归结果分析

Table 7 Heterogeneity regression results based on agricultural functional zones

变量	粮食主销区	粮食主产区	粮食生产平衡区
ICT完全投入值	0.067***	0.003	0.052***
	(0.016)	(0.007)	(0.015)
经济水平	0.137***	0.088	0.051
	(0.044)	(0.057)	(0.038)
农村人口占比	0.215**	0.010	−0.065
	(0.104)	(0.057)	(0.046)
种植结构	−0.006	0.039	0.035
	(0.161)	(0.104)	(0.093)
产业结构	−0.362**	0.001	0.439*
	(0.136)	(0.149)	(0.228)
对外开放程度	−0.002	−0.005	0.003
	(0.045)	(0.024)	(0.017)
农村合作社数量	0.047	0.238**	0.093
	(0.076)	(0.100)	(0.129)
常数项	−1.270***	−0.767	−0.531
	(0.421)	(0.607)	(0.353)
样本量	35	65	50
R^2	0.636	0.498	0.521

表8 基于东中西部地区的异质性回归结果分析

Table 8 Heterogeneity regression results based on eastern, central, and western regions

变量	东部	中部	西部
ICT完全投入值	0.043***	0.002	0.027***
	(0.014)	(0.010)	(0.009)
经济水平	0.158***	−0.0426	0.076***
	(0.041)	(0.097)	(0.028)
农村人口占比	0.142*	0.029	−0.058
	(0.083)	(0.068)	(0.038)
种植结构	0.188***	0.037	0.001
	(0.062)	(0.124)	(0.062)
产业结构	−0.197	−0.101	0.153
	(0.125)	(0.275)	(0.263)
对外开放程度	−0.024	0.028	−0.011
	(0.028)	(0.025)	(0.016)
农村合作社数量	−0.050	−0.066	0.145
	(0.061)	(0.233)	(0.127)
常数项	−1.502***	0.607	−0.639**
	(0.408)	(1.092)	(0.255)
样本量	65	30	55
R^2	0.426	0.208	0.487

3.4.2　农业功能区与地理区域的非对称性

从农业功能区划看（表7），数字技术的驱动效应呈现出鲜明的分化特征。具体而言，粮食主销区与平衡区数字技术投入系数分别在1%的水平下显著为正，而粮食主产区的系数则未能通过显著性检验。主销区通常具备更高的市场化程度与更完善的物流体系，数字技术能更有效地发挥风险预警与资源调度功能。相比之下，主产区农业生产规模大、路径依赖较强，传统生产方式向数字化转型的成本较高，导致现阶段数字技术的边际贡献尚不明显。

从地理区域分布来看（表8），东部与西部地区均表现出显著的增韧效应，而中部地区则不显著。这种“两头显著、中间塌陷”的现象折射出不同的赋能逻辑。东部地区依托成熟的数字经济生态与高素质农业经营主体，实现了数字技术与农业全产业链的深度融合；而西部地区则体现了典型的“数字化跨越”特征，在传统基础设施相对薄弱的基础上，数字技术的引入以极低的成本弥补了地理劣势，产生了显著的边际红利；中部地区系数的不显著则可能暗示了其正处于农业机械化向数字化转型的过渡期，技术替代的摩擦成本抵消了部分数字红利。

4　结论与政策建议

4.1 研究结论

基于2012—2020年中国省级面板数据，利用投入产出模型精准测算了ICT对农业的完全投入值，并实证检验了其对农业经济韧性的驱动逻辑。研究发现：

1）数字技术对农业经济韧性具有显著的“非对称”驱动作用。基准回归与内生性处理均证实，数字技术投入显著提升了农业经济的综合韧性，且对“发展力”的驱动最为强劲。然而，受技术依赖风险与范式转型阵痛影响，数字技术对“抵抗力”呈现出微弱但显著的负向冲击，反映出当前数字化进程中效率提升与系统耦合风险并存的特征。

2）市场化进程、经济效率与交通密度构成了核心传导路径。机理分析表明，数字技术通过降低制度性交易成本、促进要素市场化配置产生最强的增韧效应。同时，数字技术对农业生产效率的补偿及对物理路网效能的提升，进一步强化了系统应对冲击的物质基础与物流保障。

3）驱动效应表现出鲜明的时空异质性。时间上，数字红利在2015年国家大数据战略实施后加速释放；空间上，东部地区的“深度融合”与西部地区的“数字跨越”效应显著，而中部地区及粮食主产区则受限于转型摩擦成本，赋能效果暂不明显。此外，农村合作社的行政化倾向及对外开放带来的风险溢出，对数字化增韧效应产生了一定的抑制作用。

4.2 政策建议

基于上述结论，提出以下发展数字技术、提升农业经济韧性的对策建议。

1）统筹“效率提升”与“风险防御”，防范数字化转型中的耦合脆弱性。政府在推进智慧农业时，应同步加强数字基础设施的防灾体系建设，防止农业系统因过度依赖数字技术而产生新的刚性风险。

2）因地制宜实施“非对称”扶持，消除区域赋能盲区。针对粮食主产区和中部地区驱动效应不明显的现状，应探索“数字+集体经济”的融合模式，降低传统农业规模经营向数字化转型的成本。对于西部地区，应继续发挥数字技术的低边际成本优势，缩短其与东部地区的韧性差距。

3）以“市场化”为牵引，优化要素配置的数字化环境。政策重点从单纯的基础设施建设转向数字制度优化，通过完善农村数字契约、农产品溯源及信用评价体系，进一步降低要素流转的制度性交易成本。

4）强化“人力资本”支撑，跨越数字红利释放的门槛。建立“农技+数字”的双轨培训机制，重点培育一批既懂农业生产又懂数字工具的新农人，确保护航韧性的数字要素能够从技术投入转化为微观主体的应用产出。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献：

[1] 仇焕广, 雷馨圆, 冷淦潇. 中国农业对外直接投资的政策演进与策略选择[J]. 改革, 2023(9): 85-98.
QIU H G, LEI X Y, LENG G X. Policy evolution and strategy selection of China's agricultural foreign direct investment[J]. Reform, 2023(9): 85-98.

[2] 陈帅, 杨昕沄. 适应气候变化的粮食安全保障体系构建[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2025, 25(4): 81-90.
CHEN S, YANG X Y. Building a climate-resilient food security system[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2025, 25(4): 81-90.

[3] 韩雪莲, 马里, 代洋洋. 气候变化、农业保险与粮食生产韧性[J]. 产业组织评论, 2024, 18(4): 213-239.
HAN X L, MA L, DAI Y Y. Climate change, agricultural insur-

ance, and food production resilience[J]. Industrial Organization Review, 2024, 18(4): 213-239.

[4] 姚毓春, 张艳敏. “大国粮仓”何以稳固? 基于东北地区粮食安全的时代探析[J]. 理论探讨, 2026(1): 12-19.
YAO Y C, ZHANG Y M. How can the "National Granary" be stable? The era analysis based on food security in Northeast China [J]. Theoretical Investigation, 2026(1): 12-19.

[5] 王帅, 甘林针, 钟钰. 走向韧性治理: 新时代国家粮食安全治理的思维转换与路径选择[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2025, 24(3): 1-16.
WANG S, GAN L Z, ZHONG Y. Towards resilient governance: Thinking transformation and path selection of national food security governance in the new era[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2025, 24(3): 1-16.

[6] 张帅, 于宏源. 气候极端化背景下的全球粮食体系韧性治理及对中国的启示[J]. 上海交通大学学报(哲学社会科学版), 2023, 31(7): 79-93.
ZHANG S, YU H Y. Resilience governance of global food system in climate extremes and its enlightenment for China[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University (Philosophy and Social Sciences), 2023, 31(7): 79-93.

[7] 巩前文, 孙梦雅. 农业发展韧性的内涵特征与指数测度[J]. 改革, 2026(3): 119-132.
GONG Q W, SUN M Y. Connotations characteristics and index measurement of agricultural development resilience[J], 2026(3): 119-132.

[8] COPESTAKE A, ESTEFANIA-FLORES J, FURCERI D. Digitalization and resilience[J]. Research Policy, 2024, 53(3). DOI: 10.1016/j.respol.2023.104948.

[9] 高鸣, 于世捷. 人工智能赋能粮食安全保障的战略构想与政策优化[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2026, 26(1): 13-23.
GAO M, YU S J. Strategic conception and policy optimization for artificial intelligence empowerment in grain security assurance [J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2026, 26(1): 13-23.

[10] 邓瑞瑞, 刘思岑. 数字经济对农业经济韧性水平的影响研究[J]. 延边大学农学学报, 2025, 47(4): 99-103.
DENG R R, LIU S C. The impact of the digital economy on the resilience of the agricultural economy[J]. Journal of Agricultural Science Yanbian University, 2025, 47(4): 99-103.

[11] 肖莉, 黄丽僮, 邓乐, 等. 数字赋能广东乡村产业振兴的时空效应和驱动因素[J]. 经济地理, 2026, 46(3): 184-194.
XIAO L, HUANG L T, DENG L, et al. Spatiotemporal effects and driving factors of rural industry revitalization in Guangdong Province under the background of digital empowerment[J]. Economic Geography, 2026, 46(3): 184-194.

[12] 沈费伟, 马瑗. 释放数字红利: 实现数字乡村治理价值的理论阐释[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2026, 26(1): 127-141.
SHEN F W, MA Y. Releasing digital dividends: Theoretical interpretation of realising the governance value of digital countryside [J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2026, 26(1): 127-141.

[13] FINGER R. Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems[J]. European Review of Agricultural Economics, 2023, 50(4): 1277-1309.

[14] 文雁兵, 周艳, 汪寿阳. 农业如何借“数智”提“新质”从传统走向现代? 基于青莲食品全产业链数字化平台的案例研究[J]. 管理世界, 2025, 41(7): 133-148.
WEN Y B, ZHOU Y, WANG S Y. How can agriculture leverage "Digital Intelligence" to improve "New Quality" and transition from traditional to modern? A case study based on the digital platfrom of the whole industrial chain of qinglian foods[J]. Management World, 2025, 41(7): 133-148.

[15] 周妮笛, 杨菲. 数字技术增加了农户生产经营收入吗? 基于全要素生产率的视角[J]. 南开经济研究, 2025(6): 102-121.
ZHOU N D, YANG F. Does digital technology increase farm income? Based on the perspective of total factor productivity[J]. Nankai Economic Studies, 2025(6): 102-121.

[16] 金丽馥, 张新月. 数字赋能农业全产业链范式革新: 机理、困境和策略[J]. 经济纵横, 2025(5): 88-98.
JIN L F, ZHANG X Y. Digital empowerment of paradigm reform of the whole agricultural industry chain: Mechanisms, challenges, and countermeasures[J]. Economic Review Journal, 2025(5): 88-98.

[17] LUO Y K, LIU S Y, ZHANG Y, et al. Digital pathways to resilience: Assessing the impact of digitalization on agricultural production resilience in China[J]. China Economic Review, 2025, 90 (C). DOI: 10.1016/j.chieco.2025.102375.

[18] 焦冬梅, 黄立军. 数字技术投入对农业全球价值链地位的影响研究[J]. 经济体制改革, 2025(2): 12-20.
JIAO D M, HUANG L J. Research on the impact of digital technology investment on the global value chain position of agriculture[J]. Reform of Economic System, 2025(2): 12-20.

[19] 闵锐, 陈霞, 吴清华, 等. 数字普惠金融对农业碳全要素生产率影响的因果效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2025, 35(11): 82-92.
MIN R, CHEN X, WU Q H, et al. Causal effect of digital inclusive finance on agricultural carbon total factor productivity[J]. China Population, Resources and Environment, 2025, 35(11): 82-92.

[20] LI Z D. Digital rural development and agricultural economic resilience[J]. International Review of Economics & Finance, 2026, 106: 104851.

[21] 刘欢, 钱巍, 阮俊虎. 农业要素配置结构、配置效率与数字农业发展[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2024, 24(6): 159-175.
LIU H, QIAN W, RUAN J H. Agricultural factor allocation structure, allocation efficiency and digital agriculture development[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2024, 24(6): 159-175.

[22] 肖化柱, 阳星雨. 数智赋能农业产业韧性: 理论机制与实证检验[J]. 农业现代化研究, 2025, 46(6): 1113-1123.
XIAO H Z, YANG X Y. Digital intelligence enabling agricultural industry resilience: Theoretical mechanism and empirical test[J]. Research of Agricultural Modernization, 2025, 46(6): 1113-1123.

[23] 李敬锁, 万群. 农业技术创新对农业经济韧性的影响: 基于财政支农政策的门槛效应分析[J]. 农业技术经济, 2025(3): 4-17.
LI J S, WAN Q. Influence of agricultural technological innovation on agricultural economic resilience: Based on the threshold effect analysis of financial policy supporting agriculture[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2025(3): 4-17.

[24] 郝爱民, 谭家银. 农村产业融合赋能农业韧性的机理及效应测度[J]. 农业技术经济, 2023(7): 88-107.
HAO A M, TAN J Y. Empowering agricultural resilience by rural industrial integration: Influence mechanism and effect analysis [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2023(7): 88-107.

[25] 令涛, 赵桂芹. 农业保险与农业生产韧性: 内在逻辑及实证检验[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2024, 23(2): 94-106.
LING T, ZHAO G Q. Agricultural insurance and agricultural production resilience: Internal logic and empirical tests[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2024, 23(2): 94-106.

[26] 何亚莉, 杨肃昌. "双循环"场景下农业产业链韧性锻铸研究[J]. 农业经济问题, 2021(10): 78-89.
HE Y L, YANG S C. Sdudy on ductile forging of agricultural industry chain under the "dual circulation"[J]. Issues in Agricultural Economy, 2021(10): 78-89.

[27] 权天舒, 李靖, 张晖. 政策性农业保险提升了农业经济韧性吗? 基于完全成本保险和收入保险试点的准自然实验[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2024, 25(5): 18-26.
QUAN T S, LI J, ZHANG H. Has policy-guided agricultural insurance improved the agricultural economic resilience? Based on the quasi-natural experiment of full cost insurance and income insurance pilot[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Social

Sciences), 2024, 25(5): 18-26.

[28] LIN S Y, MIAO S C. The enhancing effect and role path of digital finance on the resilience of agricultural industry chain[J]. Finance Research Letters, 2025, 83(C). DOI: 10.1016/j.frl.2025.107697.

[29] 李桂君, 赵小然, 张子贤, 等. 农业社会化服务提升了农业经济韧性吗?来自准自然实验的证据[J/OL]. 中国农业资源与区划, 2025: 1-24 (2025-11-05) [2026-02-03]. https://kns. cnki. net/KCMS/detail/detail. aspx? filename=ZGNZ20251104003&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.
LI G J, ZHAO X R, ZHANG Z X, et al. Do agricultural socialized services enhance the agricultural economic resilience? evidence from a quasi-natural experiment[J/OL]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2025: 1-24 (2025-11-05) [2026-02-03]. https://kns. cnki. net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=ZGNZ20251104003&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.

[30] 徐攀, 李杰义. 基于数字治理视角的订单农业履约风险规避机制[J]. 农业经济问题, 2024(8): 127-138.
XU P, LI J Y. Risk avoidance mechanism for contract agriculture fulfillment from a digital governance perspective[J]. Issues in Agricultural Economy, 2024(8): 127-138.

[31] 彭迪云, 苏雅, 冯怡. 数字普惠金融对农业韧性的非线性影响机制: 兼论农业生产风险的门槛效应[J]. 中国人口・资源与环境, 2025, 35(1): 205-219.
PENG D Y, SU Y, FENG Y. Nonlinear mechanisms of the impact of digital financial inclusion on agricultural resilience: Threshold effect of agricultural production risk[J]. China Population, Resources and Environment, 2025, 35(1): 205-219.

[32] 高凯达, 邵喜武. 数字经济对农业产业链韧性的影响效应与作用路径[J]. 农业现代化研究, 2026, 47(2): 302-312.
GAO K D, SHAO X W. The impact and mechanisms of the digital economy on the resilience of the agricultural industry chain[J]. Research of Agricultural Modernization, 2026, 47(2): 302-312.

[33] 阮俊虎, 孙元威. 人工智能赋能农业产业链供应链韧性提升: 逻辑、挑战与路径[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2026, 26(1): 24-37.
RUAN J H, SUN Y W. Enhancing agricultural industry chain and supply chain resilience through artificial intelligence empowerment: Logic, challenges and paths[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2026, 26(1): 24-37.

[34] 陈炜煜, 顾煜. 数据要素集聚与农业产业链供应链现代化发展: 基于大数据综合试验区的准自然实验[J]. 农业经济问题, 2025 (12): 76-98.
CHEN W Y, GU Y. Aggregation of data elements and modernization development of agricultural industry chain and supply chain: Quasi natural experiments based on big data comprehensive experimental zone[J]. Issues in Agricultural Economy, 2025(12): 76-98.

[35] 姚恺桢, 施春艳, 张良悦. 新兴数字农业主体助推数字农业转型发展研究[J]. 农业展望, 2025, 21(1): 133-143.
YAO K Z, SHI C Y, ZHANG L Y. Emerging digital agricultural entities boost the transformation and development of digital agriculture[J]. Agricultural Outlook, 2025, 21(1): 133-143.

[36] 王雅乐, 陈光燕, 魏丽芳. 数字化转型对农业生态效率的影响研究[J/OL]. 中国农业资源与区划 (2025-11-04)[2026-02-15]. https://kns. cnki. net/KCMS/detail/detail. aspx? filename=ZGNZ20251020002&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.
WANG Y L, CHEN G Y, WEI L F. Research on the impact of digital transformation on agricultural eco-efficiency[J/OL]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning (2025-11-04) [2026-02-15]. https://kns. cnki. net/KCMS/detail/detail.aspx? filename=ZGNZ20251020002&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.

[37] 余东华, 黄念. 数字化转型能够提升产业链韧性吗?[J]. 经济与管理研究, 2024, 45(8): 81-102.
YU D H, HUANG N. Can digital transformation enhance industrial chain resilience? [J]. Research on Economics and Management, 2024, 45(8): 81-102.

[38] 赵巍, 徐筱雯. 数字经济对农业经济韧性的影响效应与作用机制[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2023, 22(2): 87-96.
ZHAO W, XU X W. Effect and mechanism of digital economy on the resilience of agricultural economy[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2023, 22(2): 87-96.

[39] 张园, 金雅晴, 陈玉萍. 数字经济、资源配置与农业产业韧性[J]. 中国农业资源与区划, 2025, 46(7): 122-139.
ZHANG Y, JIN Y Q, CHEN Y P. The impact of the digital economy on the resilience of the agricultural industry from a resource allocation perspective[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2025, 46(7): 122-139.

[40] 曹晔. 数字新质生产力对产业链韧性的影响研究[J]. 统计与决策, 2024, 40(10): 23-27.
CAO Y. Research on the impact of digital new quality productivity on the resilience of industrial chains[J]. Statistics & Decision, 2024, 40(10): 23-27.

[41] 李杰, 杨海生, 谢婉晴, 等. 数字经济核心部门技术进步、新增产业关联与经济效应:基于生产网络的分析框架[J]. 经济研究, 2025, 60(5): 55-71.
LI J, YANG H S, XIE W Q, et al. Technological progress in core sectors of the digital economy, newly added industry linkages and economic effects: A production network analysis[J]. Economic Research Journal, 2025, 60(5): 55-71.

[42] ZHENG H R, ZHANG Z K, WEI W D, et al. Regional determinants of China's consumption-based emissions in the economic transition[J]. Environmental Research Letters, 2020, 15(7): 074001.

[43] LI J, ZHANG Z Y, LIANG D L, et al. China's provincial multi-regional input-output database for 2018 and 2020[J]. Scientific Data, 2026, 13: 222.

[44] 张兴祥, 何元茜, 余兴锦. 农业数字化与乡村产业发展: 基于全国多区域投入产出表的实证分析[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2025, 75(6): 36-50.
ZHANG X X, HE Y Q, YU X J. Agricultural digitalization and rural industrial development: Empirical analysis: Based on national multi-regional input-output tables[J]. Journal of Xiamen University(Arts & Social Sciences), 2025, 75(6): 36-50.

[45] 郑丽娜, 蒲青江, 张左敏暘. 数字经济对产业链韧性的影响研究[J]. 科学决策, 2024(11): 47-62.
ZHENG L N, PU Q J, ZHANG Z M Y. Research on the impact of digital economy on the resilience of industrial chain[J]. Scientific Decision Making, 2024(11): 47-62.

[46] 宋瑛, 付俊治, 张驰. 数字技术创新能否提升农业供应链韧性: 来自涉农上市企业的经验证据[J]. 中国农村经济, 2025(11): 83-102.
SONG Y, FU J Z, ZHANG C. Can digital technology innovation enhance the resilience of agricultural supply Chains? Empirical evidence from agricultural listed companies[J]. Chinese Rural Economy, 2025(11): 83-102.

[47] 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.

Digital Technology Driving Agricultural Economic Resilience: Mechanism Analysis, Empirical Test, and Policy Implications

ZHU Mengshuai, HUANG Mingyi, SHEN Chen, CHI Liang, ZHANG Jing, WU Jianzhai*

(*Agricultural Information Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*/*Key Laboratory of Agricultural Blockchain Application*, *Ministry of Agriculture and Rural Affair*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: [Objective] Enhancing agricultural economic resilience is a critical strategic path for ensuring national food security and promoting the comprehensive implementation of rural revitalization. Against the backdrop of accelerated digital penetration in rural areas, existing research often focuses on macro-level digitalization, making it difficult to isolate the authentic contribution of digital inputs to agricultural systems. The driving effects and internal mechanisms of information and communication technology (ICT) input on agricultural economic resilience are explored in this research. Through clarifying its asymmetric impacts on resistance, recovery, and development capacities, a robust theoretical reference and empirical basis are offered for formulating differentiated digital agriculture policies that transition from traditional production modes to intelligent, resilient systems. **[Methods]** Based on Chinese provincial non-continuous panel data for 2012, 2015, 2017, 2018, and 2020, an advanced input-output (I-O) model framework was utilized. Leveraging the multi-regional input-output tables, the Leontief inverse matrix was employed to calculate the total consumption coefficient of the "Information Transmission, Software, and Information Technology Services" industry by the agricultural sector, which defined the total digital technology input value. Simultaneously, the entropy weight method was used to construct a comprehensive evaluation system for agricultural economic resilience. In terms of the econometric strategy, potential endogeneity was addressed by selecting the product of rural radio stations in 1988 and the previous year's Internet users as an instrumental variable (IV). The analysis was further supported by a 5% bilateral winsorization and a mediation effect model for rigorous empirical testing. **[Results and Discussions]** The empirical results demonstrated that digital technology input significantly enhanced overarching agricultural economic resilience. Benchmark regressions showed that the coefficient of ICT input was significantly positive at the 1% level, and the driving effect remained robust after correcting for endogeneity bias, which confirmed the core role of digital transformation in systemic risk management. Dimensional decomposition revealed a significant asymmetric characteristic: Digital technology strongly drives recovery capacity after exogenous shocks and developmental capacity during long-term evolution. However, its impact on the resistance dimension was relatively limited and exhibited a marginal negative effect. This reflected a potential technological dependence risk, where the system's increased sensitivity to power grids and network stability might weaken its original stress-resistance capacity during the onset of extreme risks. Furthermore, control variable analysis showed that per capita gross domestic product (GDP) and optimized planting structures promoted resilience, while the number of rural cooperatives exerted a negative influence, suggesting that some grassroots organizations suffered from insufficient digital adaptability. Mechanism analysis indicated that marketization, economic efficiency, and transport density were the primary transmission paths. Specifically, the marketization path contributed most significantly by reducing institutional transaction costs. Additionally, digital technology improved output efficiency through precision management and optimized transport logistics in synergy with physical infrastructure. Heterogeneity analysis showed that digital technology exhibited a clear "digital compensation" advantage in Western China, effectively offsetting natural resource endowment disadvantages. **[Conclusions]** This study confirms that digital input constitutes a new quality productive force that fundamentally strengthens the risk-resistance capacity of agricultural systems. The conclusions are summarized as follows: First, the empowerment of agricultural resilience by digital technology is characterized by a profound asymmetry. While it significantly improves the efficiency of systemic recovery and evolutionary development, it may simultaneously weaken original resistance due to intensified technological coupling and infrastructure dependence. Second, the reduction of institutional transaction costs through marketization is identified as the core mechanism for digital factors to exert their resilience-enhancing effects. The depth of the digital dividend is largely determined by the maturity of the market environment and its capacity for factor mobility. Third, the release of digital dividends in agriculture is heavily constrained by organizational adaptability. The lagging digital transformation and inherent structural rigidity of certain grassroots organizations have become the primary institutional bottlenecks restricting the conversion of digital technology inputs into practical systemic resilience. Ultimately, achieving a resilient agricultural economy requires a synergistic alignment between advanced digital production forces and modernized rural production relations.

Key words: digital technology input; agricultural economic resilience; input-output tables; information and communications technology input

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (42271313); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (JBYW-AII-2025-25); Chinese Academy of Agricultural Sciences Innovation Project (CAAS-ASTIP-2025-AII)

First author: ZHU Mengshuai, E-mail: zhumengshuai@caas.cn

***Corresponding author:** WU Jianzhai, E-mail: wujianzhai@caas.cn