

数字基础设施建设对粮食生产韧性的影响研究

——基于“宽带中国”战略的准自然实验

王建华,金欣怡,顾雨桐

(江南大学商学院)

摘要:在全球气候变化与地缘政治风险交织下,粮食安全脆弱性日益凸显,提升粮食生产韧性已成为保障国家粮食安全的关键任务。数字基础设施作为农业数字化发展的核心载体,为粮食生产韧性提升提供了重要支撑,基于2010—2023年中国287个地级市面板数据,以“宽带中国”战略实施为准自然实验,构建多期双重差分模型,深入探究数字基础设施建设对粮食生产韧性的影响及其作用机制。研究发现,数字基础设施建设显著促进了粮食生产韧性的提升,且通过内生性和稳健性检验,该结论仍然成立。机制分析表明,技术创新效应、人力资本效应和农业保险补偿效应是数字基础设施建设提升粮食生产韧性的重要传导渠道,其中技术创新依托算力与信息共享推动农技研发扩散,优化要素配置效率;人力资本通过倒逼与激励双路径,推动劳动力技能升级;保险补偿借助数字技术缓解信息不对称,提升理赔效率,筑牢灾后资金缓冲屏障。异质性分析表明,数字基础设施建设对沿海地区、高等级城市、地势平坦地区及2015年之后的粮食生产韧性促进效应更强。因此,应加快推进数字基础设施与农业科技、人力资本和风险保障体系的协同发展,优化数字资源区域配置,提升数字技术对粮食生产的精准赋能能力,为增强粮食生产韧性和保障国家粮食安全提供政策支持。

关键词:数字基础设施;粮食生产韧性;技术创新效应;人力资本效应;农业保险补偿效应

一、引言

农稳社稷,粮安天下。粮食安全始终是党和国家高度关注的核心议题,尤其是在当前百年未有之大变局下,国际形势愈发复杂,全球粮食贸易体系不确定性显著增加。“依靠自己力量端牢饭碗”^[1]比以往任何时候都更为重要。近年来,全球粮食市场面临诸多不稳定因素;地缘政治冲突频发,部分粮食主产国基于国家安全考量出台出口限制政策;能源价格波动推高粮食运输成本,使全球粮食供应链的脆弱性凸

显。此外,大国博弈在农业领域的竞争加剧,凭借技术、资本和规则优势,发达国家在全球粮食产业链和供应链中占据主导地位,对发展中国家的粮食安全形成潜在挤压。在外部环境日趋复杂的背景下,我国粮食单纯依赖国际市场调剂余缺的风险不断上升,立足国内保障粮食供给的战略意义愈发关键。2026年《中共中央国务院关于锚定农业农村现代化 扎实推进乡村全面振兴的意见》明确提出要稳定发展粮油生产,“粮食产量稳定在1.4万亿斤左右。坚持产量产能、生产生态、增产增收一起抓,加力

引用本文:王建华,金欣怡,顾雨桐. 数字基础设施建设对粮食生产韧性的影响研究——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版),2026,28(4):146-161.

基金项目:国家社会科学基金重大项目(25&ZD282)

作者简介:王建华(1979—),男,教授,博士,主要从事粮食安全与农业高质量发展研究。E-mail:wiwth_99@163.com

实施新一轮千亿斤粮食产能提升行动,促进良田良种良机良法集成增效,推进粮油作物大面积提单产”^[2],这一刚性目标直接体现了粮食生产从“增量扩张”向“韧性提升”战略转型的紧迫性。然而,我国粮食生产正面临资源约束趋紧、生态退化加剧与极端气候频发等多重压力,传统依赖要素投入的增产模式已逼近边际效益拐点,难以有效应对系统性风险。因此,增强粮食生产韧性、降低产量波动幅度、缩短产出恢复周期、提升整体适应能力是突破粮食可持续发展瓶颈的核心命题^[3]。围绕该议题,学界已从气候变化^[4]、作物多样性^[5]、金融支持^[6]、科技创新^[7]、产业链发展^[8]等方面展开了深入探讨,揭示了影响粮食生产韧性的关键因素及其作用机制。

为应对粮食生产面临的多重外部冲击,我国农业数字化进程持续快速推进,其中以宽带网络、数据中心为核心的数字基础设施建设为农业领域数字技术扩散和应用提供了必要的物质条件,日趋完善的网络覆盖和算力供给成了推动农业数字化发展的核心驱动力^[9-10]。通过打破信息时空壁垒、优化生产资源配置并提升技术服务可及性,数字基础设施为粮食生产韧性提升提供了转型机遇。从现有研究成果来看,学界主要围绕农业数字化进程,从基础设施建设到数字化应用拓展等不同阶段,对其经济效应展开了多维度探讨。一是直接聚焦数字基础设施建设,分析其对农业和农村发展的多重影响。如邓荣荣等基于“宽带中国”政策冲击发现,数字基础设施通过缩小数字鸿沟和促进数字普惠金融发展等方式显著提升了农村居民收入水平,并呈现区域异质性和正向空间溢出效应^[11]。随着数字基础设施的持续完善,相关视角进一步延伸至农业产业体系层面,如陈洁梅等发现数字基础设施建设不仅能推动农业产业链供应链现代化,且在东部地区、高市场化水平地区及粮食主产区的促进效应更为显著^[12]。在微观层面,农业信息基础设施建设显著提升了涉农企业价值,其作用机制主要体现为研发能力提升、数字技术应用强化及经营管理模式的数字化转型^[13]。二是从数字化应用拓展的视角出发,学界探究了数字经济、数字金融对农

业生产及其相关经济效应的重要作用,如刘艳基于省级面板数据,揭示了数字普惠金融能够通过优化农业生产技术效率,带动区域农业全要素生产率提升^[14]。在此基础上,唐建军等利用地级市面板数据,进一步指出数字普惠金融的使用深度对农业全要素生产率的促进作用尤为突出^[15]。从生产效率到农户收入,数字经济的影响逐渐被揭示。数字经济在促进农户创业行为和提高农户收入水平方面发挥了积极作用^[16],但也拉大了不同群体间的收入差距^[17]。与此同时,相关研究进一步指出,数字经济的发展对粮食安全存在不确定性:一方面,数字经济的发展能够催生“数字红利”,通过缓解农业劳动力错配、提升要素配置效率、强化农业产业韧性^[18],从而为粮食生产应对外部冲击提供坚实的技术支撑,对粮食安全产生积极影响;另一方面,数字经济在农业与非农部门间的不均衡渗透,可能会加剧“数字鸿沟”,不仅会引发农业生产要素向非农部门流动的“虹吸效应”,还可能在农业内部诱发“投入非粮化”^[19],即农户在不减少粮食播种面积的前提下,将更多生产要素投入非粮作物,进而导致粮食作物的占比下降,对粮食安全产生负向影响。

综上所述,既有研究虽从数字基础设施建设与数字化应用拓展两个维度对农业生产发展的关系做了丰富探讨,但研究重心多集中于数字化应用对农业效率、农户收入及产业发展的影响,鲜有文献将数字基础设施和粮食生产韧性纳入同一分析框架进行理论与实证研究。鉴于此,利用2010—2023年中国地级市面板数据,以“宽带中国”战略为准自然实验切入,构建多期双重差分模型,考察数字基础设施与粮食生产韧性之间的因果关系。与既有研究相比,此次研究可能的边际贡献包括:第一,从数字基础设施视角切入,系统探讨其对粮食生产韧性的影响,不仅丰富了粮食生产韧性的相关研究,更为政策实施提供新的实证支持。第二,相较于以往基于省级面板数据的研究,此次研究对全国287个地级市的粮食生产韧性进行测度,提供了更为精准的实证证据。第三,从技术创新、人力资本和农业保险补偿等方面分析了数字基础设施建设对粮食生产韧性的影响机

制,并对不同地理区位、城市等级、地形条件和时间等维度的异质性进行进一步考察,从而揭示数字基础设施建设在不同情境下对粮食生产韧性的作用。

二、理论机制与研究假设

作为新型生产要素,数字基础设施对粮食生产韧性的影响可从生产过程的关键约束环节展开。具体而言,粮食生产韧性的提升不仅取决于生产函数水平,还受到技术吸收效率与风险暴露程度的制约,由此,数字基础设施的影响作用可归结为3个相互衔接的环节:在生产环节,技术创新推动生产函数外移,为粮食生产提供持续的技术支撑;在要素配置环节,人力资本提升技术吸收与应用效率,促进创新成果向现实产出转化;在风险应对环节,农业保险补偿能力通过损失补偿和风险缓释,增强粮食生产系统应对冲击后的恢复能力。三者层层递进,从能力提升、要素转化到风险保障,共同促进粮食生产韧性的提升(图1)。

1. 直接效应

在高度不确定的自然环境与市场条件下,粮食生产韧性的核心不在于完全规避风险,而在于粮食生产系统面对外部冲击的吸收、调整与恢复能力^[20]。基于韧性分析,影响系统韧性的关键因素并非单一生产要素投入,而是能够在冲击发生前降低风险暴露、在冲击发生后缓解冲击强度的核心保障要素^[21]。在农业生产中,信息不充分、市场价格波动及气候不稳定等因素都会增加交易成本和决策偏差,从而放大

外部冲击对粮食产出的影响,而数字基础设施作为新型公共基础设施,具有显著的正外部性特征^[22],能够持续改善农业生产的信息获取、传递和处理能力,从而降低信息不对称和交易成本,不仅可以提升生产主体在面对气候波动、市场价格变化及供需冲击时的预测与决策能力,还可优化决策过程,使生产者在投入选择、种植结构调整和风险管理上采取更为科学的策略。因此,在多重外部冲击发生前,数字基础设施通过提升信息透明度和市场可视性,为农业生产提供有效的风险缓冲;在多重外部冲击发生后,数字基础设施作为具有长期性和外溢性的公共投入,在粮食生产的动态调整和恢复过程中持续发挥作用,增强系统吸收能力与恢复能力。此外,数字基础设施建设还通过推动生产组织模式的优化,促进农业生产主体之间的信息共享和协同作业,提升资源配置效率,进而增强生产环节间的联动性,提高粮食生产应对外部冲击的适应能力与抗风险水平^[23]。

基于此,提出假设 H1:数字基础设施建设显著促进粮食生产韧性的提升。

2. 技术创新效应

从生产函数出发,技术创新是决定生产函数外移的基础性因素。数字基础设施建设以网络覆盖和算力支撑打通数据流动渠道,为智能农业技术的集成应用创造基础条件,其改善的技术环境能够重构农业生产函数,赋能粮食生产精准智能管控,进而缓解资源错配与环境波动对粮食生产的冲击,从源头上筑牢粮食生产韧性。新经济增长理论认为,技术进步是经济

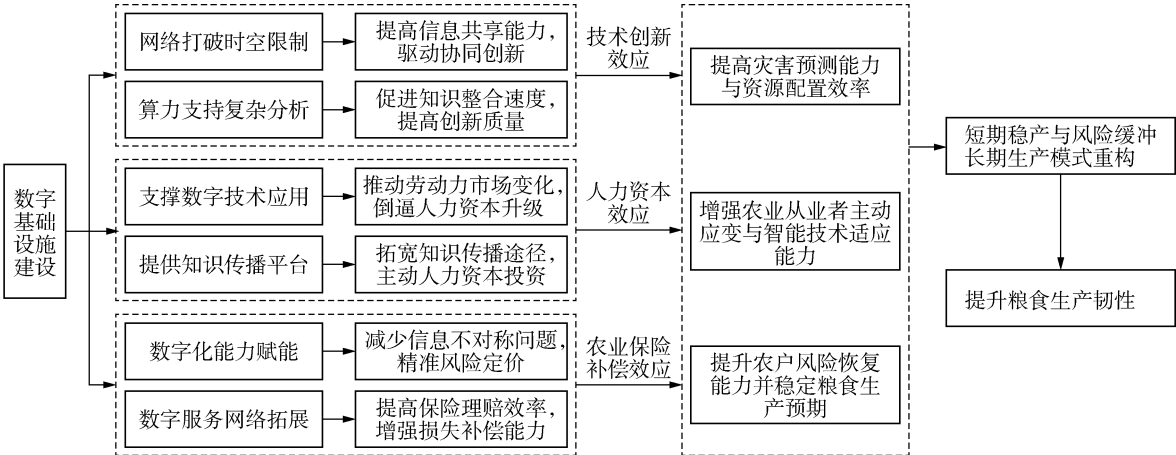


图1 数字基础设施建设对粮食生产韧性的影响机理

增长的核心动力^[24],而数字基础设施作为技术应用与扩散的基础平台,是推动农业技术创新的重要载体^[25]。一方面,高速网络与数据中心打破传统信息交流的时空限制,使高校、企业等机构能够高效地获取、存储并传输科研数据与信息,从而促进不同机构间的资源互补和优势共享,为科研合作及技术创新提供有力支持^[26]。另一方面,数字基础设施的算力能够支持大数据分析 with 复杂算法模型运行,有效整合碎片化知识资源,构建系统化知识体系,从而为技术创新活动提供强大支撑。这种由基础设施赋能技术进步所蕴含的“创造性破坏”机制,进一步加速了农业新旧动能转换,成为推动农业生产模式重塑的关键力量^[27]。传统依赖经验决策的粗放型生产模式被数据驱动的精准农业所替代,同时,智能农机协同作业、区块链溯源等新业态的兴起倒逼生产要素配置与组织结构进行系统性革新^[28]。从短期来看,物联网实时监测、灾害智能预警等技术直接提升生产系统的风险缓冲能力,保障粮食稳产增效^[29];从长期来看,技术代际更替迫使传统产业模式解构重组,推动粮食生产从依赖事后补救的“被动防御”转向依托前瞻创新的“主动适应”^[30],进而促进粮食生产韧性的提升。

基于此,提出假设 H2:数字基础设施建设通过促进技术创新能力的提升,进而增强粮食生产韧性。

3. 人力资本效应

从要素转化过程看,人力资本是连接技术供给与生产实践的关键环节。根据卢卡斯模型,人力资本积累决定技术进步的实现程度,并通过知识外溢促进技术扩散与应用,进而影响技术转化效率。在数字基础设施支撑下,技术进步与人力资本积累呈现相互促进的关系,数字技术的广泛应用进一步提升了人力资本的质量与配置效率,从而推动农业生产方式的重塑,为粮食生产韧性的提升提供内在动力。数字经济的崛起对劳动力素质提出了更高的要求,根据技术变革与劳动力需求理论,大数据、区块链等技术的广泛应用推动劳动力需求由低技能向高技能转变,进而对传统低技能劳动力形成替代效应^[31]。这种由技术迭代引发的劳动力市

场变化,倒逼人们学习新知识、掌握新技能,从而加速人力资本结构的优化。与此同时,数字基础设施的广泛覆盖为农业知识的传播与技能的获取创造了基础条件,尤其是政府高度重视数字经济发展,积极推进数字基础设施建设,有效打破了传统农业技术推广的时空限制,使得更多人能够通过网络平台、远程教育等途径获得新知识、新技术,从而有效促进人力资本的持续改善^[32]。作为核心生产要素,人力资本存量增长和质量提升是驱动生产力进步、劳动效率提升的关键动力^[33],这一理论在农村地区尤为突出^[34]。利用气象预警系统、遥感监测等数字化工具,农户不仅能精准预测并及时应对自然灾害、病虫害及市场价格波动等各类风险,还能基于数据分析调整种植结构、优化投入品使用,灵活运用精准播种、变量施肥灌溉等智能技术^[35],在短期内提升粮食产量并减少损失。更为重要的是,农户在长期中可通过提升资源利用效率,促进环境可持续发展,增强粮食生产的稳定性与恢复力,从而有效增强粮食生产韧性。

基于此,提出假设 H3:数字基础设施建设通过促进人力资本的优化,进而增强粮食生产韧性。

4. 农业保险补偿效应

在高度不确定的自然与市场环境下,粮食生产韧性的提升不仅依赖生产能力与要素条件的改善,还取决于风险冲击发生后,损失能否得到及时有效的补偿。作为重要的风险管理工具,农业保险主要通过大数定理实现农业风险损失在时空上的有效分散,进而保障农户收入、维持粮食供给的稳定性^[36]。数字经济时代,数字基础设施为大数据、区块链和云计算等技术应用提供网络与算力基础,赋能农业保险的风险评估、业务管理和理赔服务,提升农业保险补偿能力,帮助农户更好地应对自然灾害和市场波动等风险,为粮食生产提供强有力保障。具体而言,数字基础设施建设通过支撑遥感监测、物联网传感与区块链存证等技术,有效缓解传统农业保险因信息不对称而引发的道德风险和逆向选择问题^[37],提高风险识别、损失评估和灾情核验的精准度,从而提升理赔效率和补偿

能力。网络外部性理论指出,产品或服务的价值会随着用户的增加而提升^[38]。在“宽带中国”战略的推动下,互联网的普及产生了显著的网络效应,使偏远地区的农户能够更加便捷地获取保险信息、办理投保业务和申请理赔,降低保险服务获取成本,从而提高农业风险保险服务的可得性和理赔效率^[39]。与此同时,粮食生产作为高度依赖自然环境和市场变化的产业,极易受到气候变化、自然灾害及市场波动等风险因素影响。当风险事件发生后,农业保险能够通过经济补偿缓解农户收入下降和资金链断裂压力,避免因流动性约束导致弃耕、减投或缩减生产规模,从而维持粮食生产的连续性和稳定性^[40]。特别是在数字基础设施赋能下,农业保险的风险识别、灾损核定和赔付效率得到显著改善,能够更加及时地向受灾农户提供补偿资金,增强粮食生产系统抵御风险冲击和恢复生产的能力,进而提升粮食生产韧性。

基于此,提出假设 H4:数字基础设施建设通过增强农业保险补偿能力,进而提升粮食生产韧性。

三、研究设计

1. 变量说明

(1)被解释变量

被解释变量为粮食生产韧性(*RES*),衡量粮食生产系统在外部冲击或内部扰动下,通过自适应调节维持稳定产出并实现动态恢复的能力。基于系统科学视角,粮食生产系统属于典型的复杂适应系统,其韧性涵盖抵抗、恢复、适应与转型等多维能力,并最终表现为系统在外部冲击下维持稳定运行和持续发展的能力^[20,41]。在实证测度方面,现有文献主要聚焦两类方法:一是指标体系法,从多维视角构建涵盖抵抗力、恢复力及再造力等维度的综合评价指标体系,以刻画韧性的形成基础及其能力结构^[7];二是关键变量法,以粮食产出等核心结果变量为切入点,通过实际运行状态与潜在趋势之间的偏离程度,衡量系统在冲击下维持既有发展路径的能力^[4,42]。考虑到地级市层面长期连续数据的可获得性,以及粮食产出能够在结果层面综合反映粮食生产系统维持生产能力

和应对外部冲击的实际表现,本研究采用关键变量法,以粮食实际产量与趋势产量的比值测度粮食生产韧性。与指标体系法侧重识别韧性的构成要素不同,关键变量法更加关注粮食生产系统在外部冲击下的实际运行表现。对于粮食生产系统而言,抵抗、恢复、适应与转型等能力虽然具有不同的作用机制,但最终都会体现为粮食产出对长期发展轨迹的维持程度。当粮食生产系统具备较强韧性时,即使受到自然灾害、市场波动或其他外部扰动,粮食产出仍然能够围绕长期趋势水平保持相对稳定;反之,若韧性较弱,则粮食的实际产出更易持续偏离既有增长轨道。因此,实际产量与趋势产量之间的关系,能够从产出表现层面综合反映粮食生产系统应对冲击并保持持续发展的能力。

在具体测度方法上,参考陈有华等的做法^[4],采用非参数回归方法构建粮食生产趋势函数,并基于产出-趋势偏离度模型测度粮食生产韧性。与传统的线性或参数化拟合相比,非参数回归避免预设函数形式,能灵活捕捉技术进步、政策调整带来的复杂非线性趋势。具体方法如下:将各地级市历年的粮食产量数据运用局部加权散点平滑法进行趋势分解,通过对历年粮食产量数据进行平滑化处理,能够有效减少因气候变化等因素导致粮食产量的年际随机扰动,从而更为精准地反映粮食生产长期趋势。进而通过计算实际粮食产量数据 p_i 与趋势产量数据 P_i 的比值量化韧性水平。当 *RES* 接近 1 时,说明实际粮食产量与长期趋势产量基本保持一致,表明粮食生产系统能够有效缓冲外部冲击并维持既有发展轨迹,粮食生产韧性较高;当 *RES* 大于 1 时,说明实际产量高于长期趋势水平,表明粮食生产系统在面对外部环境变化时表现出较强的稳定性和发展能力,韧性水平较高;当 *RES* 小于 1 时,说明实际产量低于长期趋势水平,表明粮食生产系统受到冲击后未能维持既有发展路径,其韧性水平相对较弱。

(2)解释变量

本研究核心解释变量为数字基础设施建设(*Treat*×*Post*),并以“宽带中国”战略试点作为其代理变量。《“宽带中国”战略及实施方案》

首次将“宽带网络”明确定位为支撑经济社会发展的战略性公共基础设施,强调通过加快推进信息通信技术与农业、工业、服务业等经济社会各领域的深度融合,不断优化网络基础设施,提升宽带网络服务水平,从而有效促进国家数字经济持续健康发展。为贯彻落实这一战略,国家发展改革委、工业和信息化部等于 2014 年、2015 年和 2016 年分三批次陆续组织评选并公布了“宽带中国”示范城市名单,旨在通过以点带面的方式,充分发挥先进地区的示范引领作用,推动全国宽带网络建设与应用水平的整体提升。在此背景下,本研究将实施“宽带中国”战略的城市作为处理组, $Treat \times Post$ 赋值为 1;而未实施“宽带中国”战略的城市作为控制组, $Treat \times Post$ 赋值为 0。

(3)控制变量

为尽可能地缓解遗漏变量偏误,控制随时间变化可能影响粮食生产韧性的其他变量^[6,43]:一是粮食播种面积(Acr),通过粮食总播种面积对数来表示。较大的播种面积通常意味着更高的总产潜力,能够在极端天气、病虫害等突发危机时维持整体产出稳定性,从而增强粮食生产韧性。二是人口密度(Den),以地级市人口数占行政区域面积比重的对数来衡量。人口密度作为区域资源配置和劳动力供给的基础性因素,通常决定农业投入和基础设施建设水平,进而影响粮食生产稳定性。三是工业化水平(Ind),采取第二产业增加值与 GDP 的比值进行衡量。相关文献表明,工业化发展会通过资本、技术溢出效应有效反哺农业现代化,但也有研究表明工业会对农业造成资源掠夺甚至挤压的不利影响,进而对粮食生产韧性存在复

杂影响。四是城乡电力水平(Ele),采用城乡居民用电量占全年总用电量的比重进行衡量。作为关键基础设施,电力条件良好的地区不仅保障居民生活稳定,也间接支撑灌溉系统、农机操作等农业生产现代化的稳定运行,从而对粮食生产效率和抗风险能力产生积极作用,增强粮食生产韧性。五是金融发展水平(Fin),通过年末金融机构各项存贷款余额占 GDP 的比重来进行衡量。农业发展需要大量的资金支持,金融体系的发展可为农业投入和技术升级提供资金支持,推动粮食生产现代化,进而提高粮食生产韧性。六是城乡居民收入水平(Inc),以城乡居民储蓄的对数来衡量。居民收入水平影响农户生产投入和现代化技术采纳能力,从而影响粮食生产韧性。各变量定义及描述性统计分析见表 1。

2. 模型设定

(1)基准回归模型

为检验数字基础设施建设对粮食生产韧性的影响,以“宽带中国”战略的实施作为准自然实验,设定如下基准模型:

$$RES_{it} = \alpha_0 + \alpha TreatPost_{it} + \beta \sum Controls_{it} + \gamma_i + \delta_t + \mu_{it} \tag{1}$$

式中: i 和 t 分别为城市和年份; RES_{it} 为城市 i 在第 t 年的粮食生产韧性; $TreatPost_{it}$ 为虚拟变量,若城市 i 在第 t 年实施“宽带中国”战略,则设为 1,否则为 0; α 为该模型关注的重点,解释数字基础设施建设对粮食生产韧性的影响; $Controls_{it}$ 为一系列影响粮食生产韧性的其他变量; γ_i 、 δ_t 为虚拟变量,分别控制了城市固定效应和年份固定效应; μ_{it} 为残差项。

表 1 各变量定义及描述性统计分析

变量	变量符号	说明	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
粮食生产韧性	RES	粮食生产韧性原始值	4 018	0.999	0.569	0.107	1.556
粮食生产韧性标准化	Zee_RES	Z-score 标准化	4 018	0.000	1.000	-15.683	9.785
粮食播种面积	Acr	$\ln$ (粮食总播种面积)	4 018	5.435	1.168	-2.296	7.812
人口密度	Den	$\ln$ (地级市人口数/行政区域面积)	4 018	5.735	0.928	1.792	8.008
工业化水平	Ind	第二产业增加值/GDP	4 018	0.449	0.112	0.107	0.898
城乡电力水平	Ele	城乡居民用电量/全年总用电量	4 018	0.291	0.196	0.005	1.564
金融发展水平	Fin	年末金融机构各项存贷款余额/GDP	4 018	2.587	1.255	0.588	14.420
城乡居民收入水平	Inc	$\ln$ (城乡居民储蓄)	4 018	16.408	0.964	12.662	20.141

(2) 机制分析模型

由于传统三步法中介效应模型存在不足,本研究在机制分析部分采用更为聚焦的研究策略^[44],即通过回归分析实证检验核心解释变量是否影响潜在机制变量 M_{it} 。在此基础上,结合学界已有共识和相关理论基础,对 M_{it} 作用于被解释变量 RES_{it} 的传导路径进行合理阐释。模型设定如下:

$$M_{it} = \chi_0 + \chi TreatPost_{it} + \beta_1 \sum Controls_{it} + \gamma_i + \delta_t + \mu_{it} \tag{2}$$

式中: M_{it} 为机制变量; χ 为该模型关注的重点,主要解释数字基础设施建设对潜在机制变量的影响。

3. 数据来源

考虑到数据的可得性和样本的合理性,剔除部分关键变量数据严重缺失的城市,最终以2010—2023年我国287个地级市(未涉及中国香港、中国澳门和中国台湾地区)为研究对象展开实证分析。数据主要取自《中国城市统计年鉴》《中国保险年鉴》等全市口径资料,对于个别样本的缺失值,通过结合地方统计年鉴、统计公报进行补充,或使用线性插值法予以填补。

四、实证结果分析

1. 基准回归结果

表2汇报了数字基础设施建设对粮食生产韧性影响的基准回归结果,回归引入了个体和时间双向固定效应且将标准误差聚类到个体层面。表2列(1)(2)分别表示在未加入控制变量和加入控制变量的情况下,数字基础设施建设对粮食生产韧性影响的回归分析结果。从表2可知,无论是否纳入控制变量,交互项的系数均显著为正,这表明数字基础设施建设对增强粮食生产韧性具有显著的促进作用。可能的原因在于:数字基础设施建设为大数据、物联网、云计算等技术的大规模部署与应用提供网络与算力支撑,从而有效改善了农业信息获取、传递与处理能力,降低了信息不对称与交易成本,使生产主体能够更准确地预判气候波动和市场变化,进而在冲击发生前优化投入配置与种植结构,减少潜在风险暴露。同时,依托稳定高效的网络与算力支撑,智能农机、农业物联网等技术得以广泛应用,通过

增强生产过程的自动化与应急响应能力,使粮食生产在极端气候或劳动力约束条件下仍具备较强的吸收冲击能力。此外,数字基础设施能够推动大数据分析情景模拟在农业决策中的应用,促进粮食生产系统在冲击后持续学习和动态优化,进而加快恢复进程并提升长期适应能力,显著增强粮食生产韧性。由此,假设H1得证。

表2 数字基础设施建设影响粮食生产韧性的基准回归结果

变量	(1)	(2)
<i>Treat</i> × <i>Post</i>	0.141 ** (0.071)	0.141 ** (0.070)
控制变量	NO	YES
常数项	-0.032 (0.025)	-7.080 (4.940)
样本量	4 018	4 018
<i>R</i> ²	0.033	0.056
城市固定效应	YES	YES
年份固定效应	YES	YES

注:***、**和*分别表示1%、5%和10%显著性水平,括号里为聚类到个体层面的稳健标准误。下同。

2. 平行趋势检验与动态分析

采用双重差分法的前提是实验组(“宽带中国”示范城市)和控制组(非“宽带中国”示范城市)满足平行趋势假定,反之,若两者在事前就存在一定差异,则引起实验组和控制组粮食生产韧性差异的来源可能是其他因素,双重差分的结果也就不再能代表政策的净效应。为避免出现共线性问题,以政策实施前一期作为基准期,进行平行趋势检验与动态效应检验。如图2所示,在“宽带中国”战略政策实施前几年,系数均不显著,说明政策实施之前试点城市和非试点城市不存在显著差异,平行趋势假定得到满足。同时,政策实施当期和实施第一年,系数均不显著,但在政策实施后第二年和第三年的系数显著为正,这说明“宽带中国”战略对粮食生产韧性存在正向的政策效应,但具有一定的时滞性。这可能是因为数字基础设施建设在农业产业中的渗透是一个渐进过程,难以在短期内取得即时性政策效应,且粮食作物的生长周期较长,这一特性进一步延缓了政策显效时间。此外,生产者作为理性经济人,其决策过程存在一定黏性,通常需要观察政策效果后再调整生产行为,这也导致政策效果未能立即显现,从而表现出一定的滞后效应。

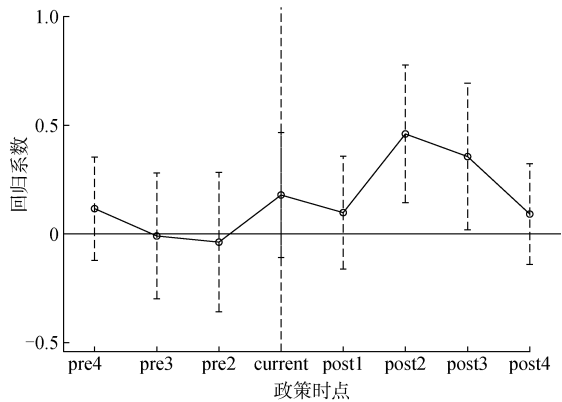


图2 平行趋势检验与动态分析

3. 内生性检验

由于各区域的经济发展水平存在显著差异,且各地区的数字基础设施建设基础和信息化发展程度也各不相同,地方政府是否将“宽带中国”战略纳入重点推进的政策范畴,往往基于自身的经济基础、数字化需求和财政能力等。因此,“宽带中国”战略的实施虽属于外生冲击,但实验组和控制组的选择并不是完全外生的。基于此,本研究选取两个工具变量,并使用两阶段最小二乘法进行内生性检验^[45]。

一是采用各地级市与杭州的球面距离作为数字基础设施建设的工具变量^[46]。在相关性上,杭州作为中国数字经济的先行区,依托阿里巴巴等龙头企业的强大优势,已构建起涵盖电子商务、云计算、数字文创和智慧物流等多业态协同的数字生态,其发展水平位居全国前列。同时,地理距离在经济活动的扩散过程中往往具有显著影响,距离数字经济核心城市越近,技术溢出、人才流动和商业模式创新的传导效应通常越强。因此,城市距离杭州越近,其数字基础设施建设程度越好。在外生性上,城市间距离属于客观地理因素,与各地区粮食生产韧性

没有直接或间接的关系,因而符合工具变量的外生性假设。

二是使用 1984 年各城市每百万人拥有的邮局数量作为数字基础设施建设的工具变量^[47]。从相关性角度看,在固定电话广泛使用前,邮局既是人们信息交流的主要途径,也是固定电话建设与通信服务的关键实施机构。历史上,邮局分布密度较高的地区,往往更早期地接触到现代通信技术,并逐步形成了良好的信息沟通习惯和基础设施条件,因此,1984 年每百万人邮局数量与当前数字基础设施的发展水平具有较强的历史关联性。从外生性角度看,1984 年的数据与当前的样本数据在时间跨度上相距较远,很难与当前的因变量和扰动项产生直接或间接的相关性,从而能有效地满足工具变量的外生性假设。本研究的核心解释变量是一个随年份变化的变量,而城市间距离和 1984 年每百万人邮局数量均不随时间变化,这使得第二阶段估计不成立。因此,参考 Nunn 等的方法^[48],将城市间距离和 1984 年每百万人邮局数量分别与各年份虚拟变量的乘积构建具有时间变化效应的工具变量进行检验。检验结果依次见表 3,可以看出,第一阶段核心变量的估计系数均在 1% 显著性水平上显著为正,且通过了 Cragg-Donald Wald 检验和 LM 检验,这表明上述两个工具变量是有效的。第二阶段核心变量的估计系数也显著为正,且均与基准回归一致,表明数字基础设施建设对粮食生产韧性具有显著的促进作用,证明了结果的稳健性。

4. 稳健性检验

(1) PSM-DID

现实中的政策,本质上属于非随机化实验,在政策效应评估中,常用的双重差分模型往往

表3 内生性检验

变量	(1) <i>Treat</i> × <i>Post</i>	(2) <i>Zee_RES</i>	(3) <i>Treat</i> × <i>Post</i>	(4) <i>Zee_RES</i>
<i>Treat</i> × <i>Post</i>		0.206** (0.085)		0.384*** (0.087)
工具变量 1	0.001*** (0.000)			
工具变量 2			0.013*** (0.000)	
控制变量	YES	YES	YES	YES
样本量	4 004	4 004	3 124	3 124
城市固定效应	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES
Cragg-Donald Wald F 统计量	6 812.670[0.00]		7 409.166[0.00]	
LM 统计量	2 595.510[0.00]		2 249.573[0.00]	

难以避免自选择偏差问题,为此采用倾向得分匹配法(PSM)进行校准^[49]。该方法能够为每个实验组样本精准匹配特定的控制组样本,从而有效解决样本选择偏差问题。之后,根据匹配后的结果使用差分法进行回归,使得准自然实验近似随机。采用卡尺内的近邻匹配(1:2)对数据的倾向性进行评分,结果可知,匹配后各变量标准化偏差的绝对值都显著降低。与此同时,实验组和控制组的绝大多数样本都在共同取值范围内,而不在共同取值范围内样本的倾向得分值也比较极端,这都表明 PSM 较好地解决了样本选择偏差问题,数据具有更好的匹配效果。此外,绘制匹配前后的核密度图。对比图 3 和图 4 发现,经过 PSM 处理后,实验组和控制组之间的差距缩小,概率密度分布趋势大致相同,这也说明了 PSM 的合理性。最后,经过 PSM 处理之后的回归结果见表 4,无论是否考虑控制变量,核心解释变量的系数均显著为正,说明数字基础设施建设对粮食生产韧性具有显著的促进作用,证明了估计结果的稳健性。

(2)安慰剂检验

为进一步排除随机因素对政策评估效果的影响,进行安慰剂检验^[50],具体步骤如下:从

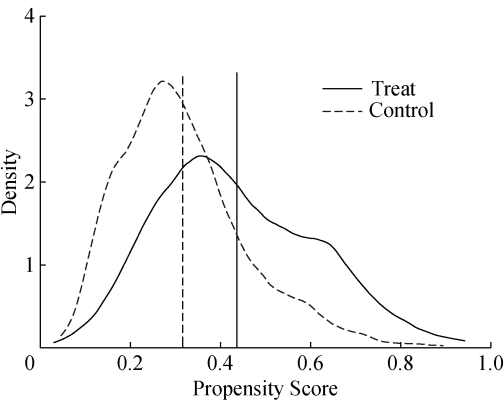


图 3 匹配前的核密度图

287 个样本城市中随机选取 110 个城市作为“伪”实验组,其余城市则作为“伪”对照组,并将虚构政策时间随机设定为 2010—2013 年的任意年份。根据式(1)的设定,实施 500 次随机抽样。回归系数的密度分布如图 5 所示,横轴表示估计系数,纵轴表示 p 值,垂直红色虚线代表式(1)的真实估计系数和 p 值,蓝色点表示 500 个“伪”实验组的回归结果。从图 5 可知,只有少数蓝色点位于真实值的垂直红色虚线上,这表明“伪”实验组的系数与基准回归结果存在显著差异,即数字基础设施建设对粮食生产韧性所产生的积极影响并未受到其他随机因素干扰。

(3)排除竞争性政策与重大外生冲击干扰

为确保研究结果的可靠性与稳健性,深入探讨除“宽带中国”战略之外的其他竞争性政策及重大外生冲击因素,从而更精准地识别“宽带中国”战略对粮食生产韧性的真实影响,一是排除《全国高标准农田建设规划(2021—2030 年)》可能对粮食生产韧性带来的干扰。2021 年农业农村部印发的《全国高标准农田建设规划(2021—2030 年)》,旨在提升农田基础设施建设水平,通过大规模改造和升级农田水

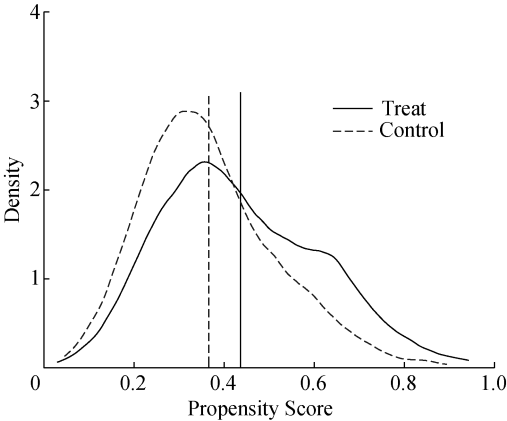


图 4 匹配后的核密度图

表 4 稳健性检验:PSM-DID

变量	(1)	(2)
$Treat \times Post$	0.140*(0.080)	0.141*(0.080)
控制变量	NO	YES
常数项	-0.045(0.033)	-2.393(4.745)
样本量	2 555	2 555
R^2	0.064	0.066
城市固定效应	YES	YES
年份固定效应	YES	YES

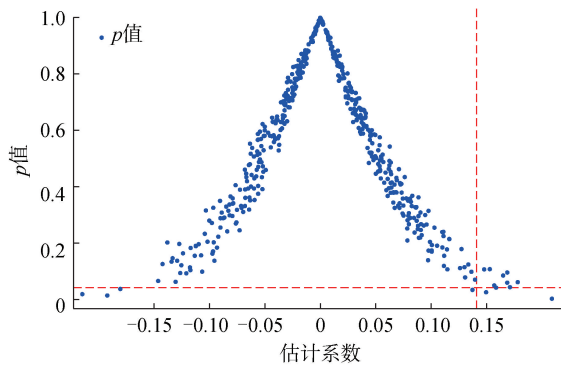


图5 安慰剂检验

利、土地平整、田间道路等设施,增强农业的抗灾能力和综合生产能力,进而对粮食生产韧性产生积极影响。为排除这一政策可能造成的干扰,将样本期限调整为2010—2020年进行检验,检验结果见表5列(1)。二是排除全国首批“千兆城市”的潜在影响。2021年工业和信息化部发布《“双千兆”网络协同发展行动计划(2021—2023年)》,要求全面提升5G网络与千兆光网的建设攻坚力度,开展“千兆城市”的总结评估工作。截至2021年12月,我国已有29个城市成功入选全国首批“千兆城市”名单。这些城市在数字基础设施建设方面取得显著进展,其网络传输速度、信息承载能力及应用场景丰富程度远高于其他地区,进而能够通过更高效的数字化管理、精准农业技术的应用,增强粮食生产韧性,从而对本研究因果关系的识别造成干扰。此外,这些“千兆城市”在数字基础设施建设方面的优势可能掩盖或混淆“宽带中国”战略对粮食生产韧性的真实影响,因此剔除29个“千兆城市”样本^①,检验结果见表5列(2)。三是排除智慧城市建设试点的影响。一方面,智慧城市建设旨在借助数字化与智能化手段,全面提升城市治理效率及公共服务水平,进而有力推动城市经济社会实现高质量发展^[51],这与“宽带中国”战略在促进数字基础设施建设和信息技术应用方面存在一定的目标重叠性。同时,智慧城市建设在全国范围内大规模推进的时期与“宽带中国”战略实施的时间段高度重叠,二者均处于我国数字化转型加速的关键阶段。另一方面,这些智慧试点城市可能通过吸引高端人才集聚、推动金融科技发展等方式,间接提升城市的数字化创新能力,进

而影响粮食生产韧性。因此,剔除三批国家智慧试点城市样本,检验结果见表5列(3)。四是排除特殊时期外部冲击影响。考虑到突发公共事件可能对经济运行、农业生产活动和要素配置产生阶段性扰动,农业生产要素流动、农产品物流体系运转及市场供需调节均面临压力,部分地区种植计划调整滞后、农机使用效率降低、农产品流通不畅等问题凸显,短期内对粮食生产稳定和市场供需平衡形成冲击。为进一步排除上述因素的干扰,将样本期限调整为2010—2019年,检验结果见表5列(4)。可以发现,交互项的估计系数在加入控制变量后均显著为正,说明竞争性政策与特殊时期外部冲击并未对基准回归结果的显著性产生影响,从而验证了结果的稳健性。

5. 机制分析

(1) 技术创新效应(TI)

基于前文理论分析,为检验数字基础设施建设影响粮食生产韧性的作用路径,以地级市当年发明专利申请量乘以农业总产值与地区生产总值的比值作为技术进步的代理变量^[52],通过观测核心解释变量与机制变量之间的影响关系进行机制检验,结果见表6列(1)(2)。可以看出,无论是否将控制变量纳入考量,数字基础设施建设对技术创新均展现出显著的促进作用。这表明数字基础设施建设能够有效激发地区的创新活力,推动技术研发投入,提升技术创新能力,为粮食生产的数字化转型提供技术支撑,进而推动粮食生产韧性的增强,由此,假设H2成立。

(2) 人力资本效应(HC)

针对数字基础设施建设是否会带动人力资本效应的问题,以地级市当年每万人口中普通高等学校在校学生数作为人力资本指标,通过观测核心解释变量与机制变量之间的影响关系进行机制检验,回归结果见表6列(3)(4)。可以看出,无论是否加入控制变量,核心解释变量的系数均在1%水平下显著为正,这意味着数

① 全国首批“千兆城市”名单如下:北京、天津、上海、呼和浩特、南京、无锡、常州、苏州、杭州、宁波、南昌、九江、上饶、济南、青岛、日照、武汉、长沙、广州、深圳、柳州、桂林、百色、成都、泸州、绵阳、眉山、西安、西宁。

表 5 稳健性检验:排除政策干扰

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Treat</i> × <i>Post</i>	0. 183 ** (0. 080)	0. 121 * (0. 071)	0. 162 * (0. 089)	0. 231 *** (0. 086)
控制变量	YES	YES	YES	YES
常数项	-10. 953 ** (5. 361)	-3. 146 (3. 619)	-13. 037 (9. 582)	-9. 619 * (5. 666)
样本量	3 154	3 598	2 526	2 867
<i>R</i> ²	0. 068	0. 035	0. 041	0. 075
城市固定效应	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES

表 6 机制分析

变量	(1) <i>TI</i>	(2) <i>TI</i>	(3) <i>HC</i>	(4) <i>HC</i>	(5) <i>AIC</i>	(6) <i>AIC</i>
<i>Treat</i> × <i>Post</i>	0. 064 *** (0. 016)	0. 075 *** (0. 015)	0. 083 *** (0. 019)	0. 070 *** (0. 020)	0. 059 * (0. 033)	0. 060 * (0. 035)
控制变量	NO	YES	NO	YES	NO	YES
常数项	0. 386 *** (0. 005)	-1. 980 ** (0. 832)	-0. 019 *** (0. 006)	2. 177 * (1. 191)	0. 690 *** (0. 010)	-1. 228 (2. 527)
样本量	4 018	4 018	3 980	3 980	3 925	3 925
<i>R</i> ²	0. 833	0. 838	0. 938	0. 939	0. 175	0. 176
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES

字基础设施建设可以显著促进地区人力资本的优化,推动涉农领域高技能人才供给增加,加速农业数字化技术应用,实现粮食生产流程智能化升级,从而有效提升粮食生产韧性水平,由此,假设 H3 成立。

(3)农业保险补偿效应(*AIC*)

农业保险以经济补偿保障农业再生产,是增强粮食生产韧性的重要制度工具。为进一步检验数字基础设施建设是否通过增强农业保险补偿能力进而提升粮食生产韧性,采用地级市农业保险赔付率,即农业保险赔付支出与保费收入之比,作为农业保险补偿能力的代理变量,以刻画保险制度的风险补偿与保障兑现能力,并通过检验核心解释变量对该机制变量的影响进行机制分析。表 6 列(5)(6)结果显示,无论模型是否考虑控制变量,数字基础设施建设对农业保险赔付率的影响均显著为正,这表明数字基础设施建设有助于提升农业保险补偿能力,通过提高风险识别、灾损评估和理赔服务效率,帮助农户缓解风险冲击造成的损失与资金约束,增强生产恢复能力,进而提升粮食生产韧性水平,由此,假设 H4 成立。

(4)机制传导

数字基础设施建设对粮食生产韧性的赋能主要沿着农业技术创新、人力资本积累和农业

保险补偿 3 条路径展开,分别从生产效率提升、主体能力强化和风险保障优化 3 个维度发挥作用,共同推动粮食生产韧性水平提升(图 6)。在技术创新传导路径中,数字基础设施以全域信息互联与算力供给为基础支撑,打破农业生产的数据壁垒与时空约束,加速农业前沿技术迭代产出。技术创新能力的提高进一步提升农业灾害预警水平,优化生产要素配置效率,从而提高粮食生产韧性。在人力资本传导路径中,数字基础设施通过拓展线上知识传播与技能培训渠道,降低农业从业者的学习成本与信息获取门槛,推动生产主体实现知识获取与技能提升。持续的能力输入带动农业劳动力人力资本不断积累,生产主体的应变能力与技术应用能力同步增强,技术创新成果有效转化为现实生产力,为粮食生产韧性提升提供主体能力支撑。在农业保险补偿传导路径中,数字基础设施依托遥感、物联网等技术手段,破解传统农业保险信息不对称、定损效率偏低等难题,实现生产风险的精准识别与受灾后的快速灾损评估,进而推动农业保险风险补偿功能充分释放,带动风险损失缓释能力与生产恢复能力同步提升,通过对冲灾害损失、补充重建资金稳定生产秩序,为粮食生产韧性提供风险兜底保障。

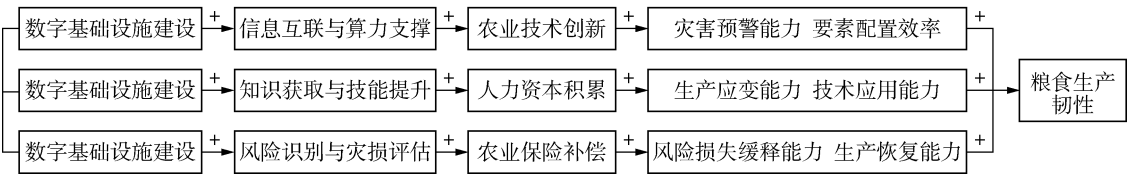


图 6 机制传导途径

6. 异质性分析

(1)地理区位异质性

中国地域广袤,各地经济发展水平、资源条件与自然环境差异显著,这种差异在技术扩散与要素配置过程中不断放大,进而影响数字基础设施作用效果。为考察数字基础设施建设对粮食生产韧性影响的地理区位异质性,将样本划分为沿海地区和非沿海地区,构建地理区位虚拟变量(*Location*),将沿海城市赋值为 1,非沿海城市赋值为 0,再将地理区位虚拟变量与政策虚拟变量的交互项引入基准回归模型,结果见表 7 列(1)。在加入控制变量后,新交互项的估计系数在 5%的水平下显著为正,表明数字基础设施建设对提升沿海地区的粮食生产韧性影响更大。可能原因是:相较于非沿海地区,沿海地区经济基础较好、开放程度较高,数字基础设施发展水平相对先进,能够更快速地吸收并应用数字技术。同时,当地劳动力具备较高的技能水平和学习能力,能够更有效地掌握并应用新技术。此外,沿海地区在国际贸易、物流运输及技术扩散等方面具有天然优势,这些优势使得数字技术能够更高效地渗透农业生产领域,进而增强粮食生产韧性。

(2)城市等级异质性

目前,城市层级分化明显,各等级城市在规模、发展水平及对外影响力上的差距往往反映在资源配置效率与要素集聚能力的不同,并进一步影响数字基础设施在粮食生产中的作用发挥。为考察城市等级异质性,按照城市等级将所有地级市划分为一类城市和二类城市^①进行异质性检验,构建城市等级虚拟变量(*Grade*),将一类城市赋值为 1,二类城市赋值为 0。在基准模型的基础上,加入城市等级虚拟变量与政策虚拟变量的交互项。城市等级异质性估计结果如表 7 列(2)所示,在加入控制变量后,新交互项的估计系数在 5%的水平上显著为正,表明数字基础设施建设可以显著促进一类城市粮食生产韧性的增强。可能的原因是:一类城市在财政资源、技术人才和制度环境上具有显著优势,不仅拥有更完善的配套基础设施和公共服务体系,保障数字网络的顺利运行,更凭借强大的资本集聚和人才高地效应,将基础的网络与算力支撑快速转化为农业技术方案和智能装备应用,推动农业生产方式升级。同时,一类城市在政策制定和资源分配上往往更具灵活性和前瞻性,能够更快速地响应国家政策号召,推动

表 7 异质性分析

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Treat</i> × <i>Post</i> × <i>Loc</i>	0. 560 ** (0. 261)			
<i>Treat</i> × <i>Post</i> × <i>Gra</i>		0. 339 ** (0. 163)		
<i>Treat</i> × <i>Post</i> × <i>Ter</i>			0. 266 ** (0. 116)	
<i>Treat</i> × <i>Post</i> × <i>Tim</i>				0. 137 * (0. 070)
控制变量	YES	YES	YES	YES
常数项	-8. 162 (5. 263)	-8. 064 (5. 272)	-7. 285 (4. 964)	-7. 115 (4. 949)
样本量	4 018	4 018	4 018	4 018
<i>R</i> ²	0. 059	0. 057	0. 058	0. 056
城市固定效应	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES

① 依据 2021 年国家统计局发布的商品住宅销售价格变动情况划分城市等级,一类城市包括一线与二线城市,其余的为二线城市。

“宽带中国”战略的落地实施。此外,一类城市拥有更完善的信息服务和保障体系,能够使农业活动在应对风险时更加稳健。因此,“宽带中国”战略即数字基础设施建设对一类城市粮食生产韧性的促进作用更显著。

(3)地形异质性

地形条件不仅决定农业生产的自然禀赋,也影响数字基础设施建设的成本与应用条件,从而可能导致数字基础设施建设对粮食生产韧性的作用存在差异。为探究数字基础设施建设对粮食生产韧性影响的地形异质性,以地形陡峭度中位数为界,将样本划分为平坦地区和陡峭地区,构建地形虚拟变量(*Terrain*),平坦地区赋值为1,陡峭地区赋值为0。在此基础上,将地形虚拟变量与政策虚拟变量的交互项引入基准回归模型,结果见表7列(3)。在加入控制变量后,新交互项的估计系数在5%的水平上显著为正,表明数字基础设施建设对平坦地区粮食生产韧性的增强效应更为显著。可能的原因是:相较于陡峭地区,平坦地区的基础设施与交通条件相对完善,数字技术和智能装备能够快速普及,加速粮食生产的数字化转型。同时,平坦地区的农户协作和生产组织程度较高,有利于形成规模化应用并产生信息溢出效应,从而增强粮食生产的灾害应对与资源调度能力。因此,数字基础设施建设在平坦地区对粮食生产韧性的促进作用更为显著。

(4)时间异质性

中国数字基础设施建设与国家信息化战略的推进紧密相关。2015年,国家先后出台了《国家信息化发展战略纲要》《促进大数据发展行动纲要》《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》等重要政策文件,标志着数字经济进入新的发展阶段,数字基础设施的定位也从基础通信网络向支撑经济社会转型的关键平台转变。因此,2015年被视为中国数字基础设施建设发展的分水岭,是推动数字技术应用的重要转折点^[53]。为探究数字基础设施建设对粮食生产韧性影响的时间异质性,将样本划分为2015年前和2015年后两个时间段,构建时间虚拟变量(*Time*),将2015年及以后的样本赋值为1,此前样本赋值为0。在此基础上,将

时间虚拟变量与政策虚拟变量的交互项引入基准回归模型,结果如表7列(4)所示。可以看出,在加入控制变量后,新交互项的估计系数显著为正,表明数字基础设施建设对增强2015年及以后的粮食生产韧性的作用更为显著,可能的原因是:一方面,2015年后数字基础设施逐步完善,网络覆盖与数据应用能力显著提升,使技术从接入转向应用;另一方面,农户数字素养随之提高,对新技术的理解与使用能力不断增强,从而提高技术吸收效率。此外,数字技术与农业生产融合加深,在生产决策、风险预警与资源配置等环节广泛应用,使数字基础设施能够更直接地作用于粮食生产过程,进而表现出更强的促进效应。

五、结论与政策建议

以数字基础设施赋能粮食生产韧性,是推进中国农业强国建设和农业现代化发展的重要途径。基于2010—2023年中国287个地级市面板数据,实证探讨数字基础设施建设对粮食生产韧性的影响及其作用机制。研究结果表明:第一,数字基础设施建设能够有效增强粮食生产韧性,且经过内生性和稳健性检验,这一结论仍然成立。第二,技术创新效应、人力资本效应和农业保险补偿效应是数字基础设施建设增强粮食生产韧性的重要传导渠道。具体而言,在技术创新效应上,数字基础设施建设通过完善网络覆盖与算力供给,强化信息共享与知识整合,加快科研协同与技术扩散,推动数据驱动型农业技术持续创新,从而增强灾害预警精度与生产要素配置效率,增强粮食生产韧性;在人力资本效应上,数字基础设施建设为数字技术的广泛应用提供基础条件,通过重塑劳动力市场结构,拓宽知识传播和技能获取渠道,既形成对人力资本升级的外部倒逼机制,又激发农户主动投资的内生动力,进而增强其自主应变与智能技术适应能力,夯实粮食生产韧性;在农业保险补偿效应上,数字基础设施支撑遥感监测、物联网和区块链等技术在保险环节的应用,有效缓解信息不对称,提高风险识别、灾损评估和理赔服务效率,增强农业保险补偿能力,缓解风险冲击对粮食生产的负面影响,进而增强粮食

生产韧性。第三,数字基础设施建设对沿海地区、高等级城市、地势平坦地区及 2015 年后的粮食生产韧性促进效应更强。

为进一步推动数字基础设施赋能粮食生产韧性提升,充分释放数字技术在粮食安全保障中的战略价值,提出以下政策建议:一是强化数字基础设施对农业技术创新的支撑作用,提升粮食生产智能化和精细化水平。政府应推动数字基础设施建设与农业科技创新政策协同,引导农业企业、科研机构依托网络和算力资源,深化大数据、遥感监测和智能农机等技术在粮食生产中的集成应用。通过建设区域性农业数据平台和技术示范基地,降低技术研发、试验与推广成本,强化跨区域技术协同和成果转化效率,促进粮食生产方式向数据驱动和精准化管理转型。二是完善数字基础设施条件下的人力资本培育体系,提升数字素养与技能应用能力。政府应围绕实际应用场景推进劳动力数字技能培训,通过线上平台和远程技术指导等方式,降低劳动者获取知识成本,提高对数字设备的操作能力。同时,完善农业人才引进与激励机制,在重点产粮区和数字化基础较弱地区布局数字农业服务节点,推动知识积累向生产能力转化,进而为粮食生产韧性增强提供长期支撑。三是加快基于数字基础设施的农业保险创新,提升风险保障的精准性与可及性。政府应引导保险机构依托遥感监测、物联网感知和大数据分析,完善灾害识别、风险评估和精准定价机制,提高保险服务的科学性与响应效率。同时,鼓励保险资源向中西部、丘陵山区和中小农户倾斜,创新低门槛、广覆盖的数字化保险产品,并借助线上平台优化投保与理赔流程,扩大农业保险覆盖范围,增强农户应对自然灾害和市场波动的能力。第四,补齐薄弱地区基础设施短板,缩小数字赋能的空间差距。鉴于数字基础设施对沿海、高等级和平坦地区的促进效应更为显著,而对非沿海、低等级和复杂地形地区的作用相对有限,政府应将政策重点向上述薄弱区域倾斜。通过加大对中西部、丘陵山区等地的通信网络和信息基础设施投入,持续改善农村地区网络覆盖广度、带宽质量与运行稳定性,降低农业主体接入和使用数字技术的门槛。同时,结合地

形条件和经营规模特征,优化数字基础设施与农业生产场景的协同布局,提升数字技术对实际粮食生产需求的适配性。

参考文献:

[1] 习近平. 加快建设农业强国 推进农业农村现代化[J]. 求是, 2023(6):4-17.

[2] 中共中央国务院关于锚定农业农村现代化 扎实推进乡村全面振兴的意见(二〇二六年一月三日)[N]. 人民日报, 2026-02-04(01).

[3] Bullock J M, Dhanjal-Adams K L, Milne A, et al. Resilience and food security: rethinking an ecological concept[J]. Journal of Ecology, 2017, 105(4): 880-884.

[4] 陈有华,曾梦晴,陈彬. 气候变化对粮食生产韧性的影响——基于作物多样化的调节效应研究[J]. 生态学报, 2024,44(16):6937-6951.

[5] Zampieri M, Weissteiner C J, Grizzetti B, et al. Estimating resilience of crop production systems: from theory to practice[J]. Science of the Total Environment, 2020,735:139378.

[6] 王妍霏,叶举,曹杰. 数字金融提升粮食体系韧性的机理及效应研究[J]. 经济经纬, 2023,40(5): 48-60.

[7] 蒋辉,陈瑶,刘兆阳. 中国粮食生产韧性的时空格局及其影响因素[J]. 经济地理, 2023,43(6): 126-134.

[8] 尹春风,张利庠. 大食物观背景下粮食产业链韧性发展研究[J]. 现代经济探讨,2025(1):123-132.

[9] 阮俊虎,刘天军,冯晓春,等. 数字农业运营管理:关键问题、理论方法与示范工程[J]. 管理世界, 2020,36(8):222-233.

[10] 薛志欣,钞小静,杜英. 数字基础设施建设与资本跨地区流动——基于企业跨地区并购的经验证据[J]. 商业经济与管理,2024(7):32-51.

[11] 邓荣荣,吴云峰. 数字基础设施建设对农村居民收入的影响效应[J]. 首都经济贸易大学学报, 2023, 25(1):21-35.

[12] 陈洁梅,林曾. 数字基础设施建设对农业产业链供应链现代化的影响[J]. 中国流通经济, 2023,37(11):47-60.

[13] 陈仪坤,步丹璐. 农业信息基础设施建设对涉农企业价值的影响——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J]. 农业技术经济, 2024(5):126-144.

[14] 刘艳. 数字普惠金融对农业全要素生产率的影响[J]. 统计与决策, 2021,37(21):123-126.

[15] 唐建军,龚教伟,宋清华. 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[J]. 中国农村经济, 2022(7):81-102.
- [16] 秦芳,王剑程,胥芹. 数字经济如何促进农户增收? ——来自农村电商发展的证据[J]. 经济学(季刊), 2022,22(2):591-612.
- [17] 李怡,柯杰升. 三级数字鸿沟:农村数字经济的收入增长和收入分配效应[J]. 农业技术经济, 2021(8):119-132.
- [18] Lee C C, Zeng M, Luo K. Food security and digital economy in China: a pathway towards sustainable development [J]. *Economic Analysis and Policy*, 2023,78:1106-1125.
- [19] 封立涛,邹文锦. 产出缺口还是规模效应:数字经济对粮食安全的影响及其机制分析[J]. 经济评论, 2024(6):134-150.
- [20] Jiao S, Qi J, Jin C, et al. Core phylotypes enhance the resistance of soil microbiome to environmental changes to maintain multifunctionality in agricultural ecosystems [J]. *Global Change Biology*, 2022, 28(22):6653-6664.
- [21] 王建华,徐芳,赵勐. 双循环格局下的中国农业生产韧性——测度、时空演化特征及贸易摩擦影响[J]. 经济评论, 2025(6):68-82.
- [22] 孙伟增,郭冬梅. 信息基础设施建设对企业劳动力需求的影响:需求规模、结构变化及影响路径[J]. 中国工业经济, 2021(11):78-96.
- [23] 孙聪,夏恩君,黄洁萍,等. 数农融合发展对农业韧性的影响[J]. 经济与管理研究, 2024, 45(6):76-94.
- [24] 吴非,胡慧芷,林慧妍,等. 企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据[J]. 管理世界, 2021,37(7):130-144.
- [25] 梁亚文,王月,阮俊虎. 农业数字化与农机社会化服务能提升粮食生产能力吗? ——基于TOE框架的组态分析[J]. 江南大学学报(人文社会科学版), 2025,24(5):99-108.
- [26] 许长新,王舒颖,宋敏. 新型基础设施建设、创新要素配置与自主创新效率[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2025,27(6):127-140.
- [27] Aghion P, Howitt P. A model of growth through creative destruction[J]. *Econometrica*, 1992,60(2):323-351.
- [28] 李谷成,李欠男,田云. 数字乡村建设的农业减排降碳协同效应及机制研究[J]. 江南大学学报(人文社会科学版), 2025,24(6):111-120.
- [29] 杨义武,林万龙,张莉琴. 农业技术进步、技术效率与粮食生产——来自中国省级面板数据的经验分析[J]. 农业技术经济, 2017(5):46-56.
- [30] Shi R, Yao L, Zhao M, et al. Low-carbon production performance of agricultural green technological innovation: from multiple innovation subject perspective [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2024,105:107424.
- [31] 肖土盛,孙瑞琦,袁淳,等. 企业数字化转型、人力资本结构调整与劳动收入份额[J]. 管理世界, 2022,38(12):220-237.
- [32] 黄美笛. 数字赋权新农人驱动乡村全面振兴的实践路径与内在机理[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2025,27(2):107-117.
- [33] 钞小静,沈坤荣. 城乡收入差距、劳动力质量与中国经济增长[J]. 经济研究, 2014,49(6):30-43.
- [34] 楼俊超,刘钊. 人力资本对农业经济影响的实证分析[J]. 统计与决策, 2020,36(6):67-70.
- [35] 张雪艳,王文超,毛世平,等. 人力资本和数字技术适配对农户现代化经营方式选择行为的影响[J]. 农业技术经济, 2025(7):4-19.
- [36] 吴文君,王修华. 农业保险助推农业强国建设的机制与案例分析[J]. 改革, 2026(1):140-158.
- [37] 汪勇,冯心歌,赵宸宇. 数字金融、信息不对称与小微企业融资——来自助贷机构的证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2026,43(1):242-264.
- [38] Katz M L, Shapiro C. Network externalities, competition, and compatibility [J]. *American Economic Review*, 1985,75(3):424-440.
- [39] 令涛,赵桂芹. 数字化背景下村干部治理能力与村庄农业保险参保——基于“千村调查”数据的实证分析[J]. 金融经济研究, 2025,40(6):105-122.
- [40] 刘婷玮,游士兵,施雨,等. 农业保险保障水平对粮食安全的影响效应检验[J]. 统计与决策, 2024,40(21):64-68.
- [41] Holling C S. Surprise for science, resilience for ecosystems, and incentives for people [J]. *Ecological Applications*, 1996, 6(3):733-735.
- [42] 祝金欣,朱再清,张冰洁. 农业产业园区建设能提升粮食生产韧性吗? ——基于国家现代农业示范区的准自然实验[J]. 世界农业, 2025(3):119-131.
- [43] 田鸽,张勋. 数字经济、非农就业与社会分工[J]. 管理世界, 2022,38(5):72-84.
- [44] 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.
- [45] Angrist J D, Krueger A B. Instrumental variables and the search for identification: from supply and demand to natural experiments [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2001,15(4):69-85.
- [46] 张勋,杨桐,汪晨,等. 数字金融发展与居民消费

增长:理论与中国实践[J]. 管理世界, 2020, 36 (11):48-62.

[47] 黄群慧,余泳泽,张松林. 互联网发展与制造业生产率提升[J]. 中国工业经济, 2019(8):5-23.

[48] Nunn N, Qian N. US food aid and civil conflict[J]. American Economic Review, 2014, 104 (6): 1630-1666.

[49] Rosenbaum P R, Rubin D B. Constructing a control group using multivariate matched sampling methods that incorporate the propensity score [J]. The American Statistician, 1985, 39(1):33-38.

[50] Cai X, Lu Y, Wu M, et al. Does environmental regulation drive away inbound foreign direct investment? Evidence from a quasi-natural experiment in China [J]. Journal of Development Economics, 2016, 123:73-85.

[51] 曹平,杨镭博. 智慧城市建设能促进城市数实融合吗? ——基于“准自然实验”的证据[J]. 江南大学学报(人文社会科学版), 2024, 23 (3): 88-99.

[52] 刘威,吴芮,郑雪丽,等. 数字经济对粮食生产韧性的影响及作用机制检验[J]. 统计与决策, 2026, 42(2):123-128.

[53] 邓苏昊,陈珏颖,张鑫蕊,等. 数字经济驱动城乡融合发展的内在机理及实证检验[J]. 农业技术经济, 2024(12):68-83.

The Impact of Digital Infrastructure Construction on Grain Production Resilience—A Quasi-Natural Experiment Based on “Broadband China” Strategy / Wang Jianhua, Jin Xinyi, Gu Yutong
(School of Business, Jiangnan University)

Abstract: Against the backdrop of the intertwined challenges of global climate change and geopolitical risks, the vulnerability of food security has become increasingly prominent, and enhancing grain production resilience has emerged as a critical task for safeguarding national food security. As a key foundation for agricultural digital transformation, digital infrastructure provides essential support for improving grain production resilience. Based on panel data from 287 prefecture-level cities in China from 2010 to 2023, this study employs the implementation of the “Broadband China” strategy as a quasi-natural experiment and constructs a multi-period difference-in-differences model to investigate the impact of digital infrastructure development on grain production resilience and its underlying mechanisms. The results show that digital infrastructure construction significantly enhances grain production resilience, and the findings remain robust after addressing potential endogeneity concerns and conducting a series of robustness checks. Mechanism analysis reveals that technological innovation, human capital, and agricultural insurance compensation are important transmission channels through which digital infrastructure improves grain production resilience. Specifically, technological innovation promotes the diffusion of agricultural technologies through enhanced computing capacity and information sharing, thereby improving resource allocation efficiency; human capital facilitates labor skill upgrading through both incentive and adaptive mechanisms; and agricultural insurance compensation alleviates information asymmetry through digital technologies, improves claims settlement efficiency, and strengthens financial buffers against post-disaster shocks. Heterogeneity analysis reveals that the positive effect of digital infrastructure construction on grain production resilience is more pronounced in coastal regions, higher-ranked cities, areas with relatively flat terrain, and the period after 2015. Therefore, efforts should be made to accelerate the coordinated development of digital infrastructure with agricultural technological innovation, human capital cultivation, and risk protection systems, optimize the spatial allocation of digital resources, and enhance the precision of digital technology-enabled agricultural production, thereby providing policy support for strengthening grain production resilience and safeguarding national food security.

Key words: digital infrastructure construction; grain production resilience; technological innovation effect; human capital effect; agricultural insurance compensation effect