

引用格式：

李盛竹, 刘彬, 姜金贵. 农业数字化发展对中国粮食安全保障的影响机制研究 [J]. 农业现代化研究, 2024, 45(6): 966-977.
LI S Z, LIU B, JIANG J G. Research on the impact mechanism of agricultural digitalization development on grain security in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2024, 45(6): 966-977.
DOI: 10.13872/j.1000-0275.2024.0852
CSTR: 32240.14.1000.0275.2024.0852



农业数字化发展对中国粮食安全保障的影响机制研究

李盛竹¹, 刘彬^{1*}, 姜金贵²

(1. 重庆邮电大学经济管理学院, 重庆 400065; 2. 哈尔滨工程大学经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 粮食安全是国家安全的重要基础, 农业数字化发展为粮食安全保障注入新动能。本研究基于 2012—2022 年中国 31 个省、自治区、直辖市 (不包括港澳台地区) 的面板数据, 运用熵值法测算农业数字化发展水平和粮食安全保障水平, 利用面板分位数回归模型等定量研究方法, 勘察农业数字化对粮食安全保障的影响机制。结果表明: 1) 农业数字化有助于提升国家粮食安全保障水平, 且特别有助于粮食安全保障高水平地区的能力提升; 2) 农业数字化对粮食安全保障的影响具有依赖农业产业规模的门槛效应; 3) 农业技术创新是农业数字化影响粮食安全保障的重要中介渠道; 4) 环境规制负向调节农业数字化对粮食安全保障的影响; 5) 在中部地区、粮食主产区、农业生产信息化高水平地区, 农业数字化的赋能效果更明显。由此, 应大力推进农业数字化发展, 优化农业产业结构, 提高农业技术创新能力, 完善环境规制政策体系, 充分发挥各区域比较优势, 深入挖掘农业数字化的发展潜力, 以实现对粮食安全保障能力的全面增强和持续提升。

关键词: 农业数字化; 粮食安全; 农业产业规模; 农业技术创新; 环境规制

中图分类号: F323 文献标识码: A 文章编号: 1000-0275 (2024) 06-0966-12

Research on the impact mechanism of agricultural digitalization development on grain security in China

LI Shengzhu¹, LIU Bin¹, JIANG Jingui²

(1. School of Economics and Management, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China; 2. School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: Grain security is a crucial foundation for national security, and the development of agricultural digitization injects new momentum into safeguarding grain security. Based on a panel data from 31 provinces, autonomous regions, and municipalities directly under the central government in China (excluding Hong Kong, Macao, and Taiwan) from 2012 to 2022, this paper employs the entropy method to measure the levels of agricultural digitization and grain security. Utilizing quantitative research methods such as panel quantile regression models, it examines the impact mechanism of agricultural digitization on grain security. Results indicate that: 1) Agricultural digitalization helps to enhance the national level of grain security, especially in areas with high levels of grain security; 2) The impact of agricultural digitalization on grain security has a threshold effect that depends on the scale of the agricultural industry; 3) Agricultural technological innovation is an important intermediary channel through which agricultural digitalization affects grain security; 4) Environmental regulation negatively moderates the impact of agricultural digitalization on grain security; and 5) In central regions, major grain-producing areas, and areas with high levels of agricultural production informatization, the empowering effects of agricultural digitalization are more pronounced. Therefore in order to comprehensively strengthen and continuously enhance grain security guarantee capabilities, this paper suggests: promoting the development of agricultural digitization, optimizing the structure of the agricultural industry, enhancing agricultural technological innovation capabilities, improving the environmental regulation policy system, fully leveraging the comparative advantages of various regions, and deeply tapping the development potential of agricultural digitization.

Keywords: agricultural digitization; grain security; scale of agricultural industry; agricultural technological innovation; environmental regulation.

收稿日期 Received: 2024-06-07; 接受日期 Accepted: 2024-12-23

基金项目: 国家社会科学基金项目 (19BSH122)。Supported by the National Social Science Foundation of China (19BSH122).

* 通信作者 Corresponding author (2577977657@qq.com)

“民为国基，谷为民命。”粮食是国家的重要战略物资，粮食安全保障始终是关系我国国民经济发展、社会稳定和国家自立的全局性重大战略问题。一直以来，党和国家将粮食安全视为国家战略的重要组成部分，始终将其放在优先发展的位置。国家统计局公布的数据表明，2024年全国粮食总产量14 130亿斤（7065亿kg），比上年增长1.6%，在连续9年稳定在1.3万亿斤（0.65万亿kg）以上的基础上，首次迈上1.4万亿斤（0.7万亿kg）新台阶。因此，我国的粮食生产为确保国民的基本生活需求，抵御各种未知的风险挑战，提供了有力支撑。然而，在“世界百年未有之大变局”下，“逆全球化”暗流涌动，新一轮科技革命和产业变革加速演进，国际粮食生产与贸易格局复杂多变，中国粮食安全面临着严峻的外部考验和全新的发展挑战，提升粮食安全保障水平刻不容缓^[1]。2018—2024年，中央一号文件连续7年对发展数字农业作出部署，强调以数字技术护航粮食安全。由此，围绕新形势下粮食安全保障的时代命题，勘察农业数字化对粮食安全保障的影响效应和作用机理，探寻以农业数字化提升粮食安全保障水平的突破机制和行进路径，无疑具有重要的现实意义。

以数字化驱动引领农业现代化是典型的中国特色，学者们围绕粮食安全保障与风险防控等领域，审视了农业数字化对中国粮食安全影响的方式、路径和态势。一是关于粮食生产供应的安全保障，已有研究表明，农业数字化的发展通过融合现代信息技术和智能化农机设备等手段，对粮食作物的生产流程进行深度优化，推动粮食从种植到收获的每一环节实现精细化管理。这种管理方式显著提升了粮食生产效率和产能，为数字农业可持续发展奠定了坚实的基础^[2-3]；随着农业生产的数字化、网络化、智能化改造，推动了对土地及水肥资源的合理使用，进一步减少了粮食生产过程中的不必要损耗，进而提高了整体的粮食供给量，这不仅为保障国家粮食安全做出了重要贡献，也为应对全球粮食需求的持续增长问题提供了有力支持^[4]；农业数字化还为农产品质量追溯提供了更可靠的信息系统和数字化手段，显著提升了粮食供应链的透明度和消费者的信任度，有效保障粮食生产供应安全^[5]。二是关于粮食安全风险的防控与应对，学者们普遍认为，大数据平台与数字模拟预测技术的广泛应用，显著增强了粮食供应链在面对重大风险时的应对能力，为粮食安全构建了坚实防线^[6]；数字化手段在粮食供应链风险管理中的应用，极大地增强了风险识别与

治理的效能，促进了粮食的有效分配和稳定供应^[7]；通过数据分析、机器学习等技术手段，可以挖掘粮食生产中的潜在规律和问题，为粮食产业升级提供数据支撑和决策依据，从而加强粮食安全的监测与预警能力^[8]；数字化不仅是推动农业发展动力从传统向现代转换的关键引擎，还是增强粮食系统整体稳定性、加速中国式农业现代化进程并全方位提升粮食安全保障能力的强大驱动力^[9]。鉴于此，如何有效运用数字化技术大力发展粮食生产新质生产力，持续增强国家粮食安全保障度，成为当前农业数字化研究中的热点话题和重要指向。

综上，农业数字化作为推动中国式农业现代化的重要手段，在保障粮食生产供应和风险防控方面发挥着重要作用。现有研究多围绕如何保障粮食安全提出了多种战略选择与政策建议，但聚焦农业数字化对中国粮食安全影响的量化研究尚不充分，缺少相应的实证分析，已有文献大多关注农业数字化提升粮食安全保障的影响效果，缺乏对农业数字化促进粮食安全保障的影响机制分析。由此，本文拟利用2012—2022年全国31个省（区、市）（不包括港澳台地区）的面板数据，分别构建农业数字化发展、粮食安全保障的评价指标体系，运用熵值法测算两者水平，并利用面板分位数回归模型等定量分析方法，系统探查农业数字化对中国粮食安全的影响效应、作用机制和演进规律，以期为推进农业数字化转型升级、加快发展粮食新质生产力、全方位确保国家粮食安全，找准跃迁路径和优化策略。

1 理论分析与研究假说

1.1 农业数字化发展与粮食安全保障

农业数字化作为数字经济在农业领域的重要实践，以数字信息重组的方式对传统农业各环节进行变革和升级，通过物联网、大数据、人工智能等现代数字技术的广泛应用，突破了传统农业生产在作业空间和资源配置等方面的约束。数字技术和数据要素的融入为现代农业构建了更加科学的发展机制，这种机制不仅能够充分发挥数据要素的乘数效应，还能够实现从粮食种植、管理到销售的全链全程升级，进而推动粮食安全保障能力的整体提升。

第一，农业数字化发展整合先进数智技术，显著提升粮食综合生产能力。农业数智技术的融合应用可以优化粮食作物管理，从而在数字化的基础上解决粮食安全保障的更高诉求。通过云计算、大数据、物联网、人工智能等技术的综合运用，能够实

现对农业生产环境的实时监控和数据分析, 精准管理粮食作物的生长条件, 如温度、湿度和土壤质量, 从而提高作物产量和品质^[10-11]。同时, 精准农业技术的应用进一步优化了种植模式, 有效减少了资源浪费, 显著增强了粮食生产的集约性。农业生态体系与数智技术的深度融合, 加速构建起“云、网、边、端”一体化数字农业架构, 拓展了农业数字化新应用, 为新时代粮食安全保障构筑了坚实的数字化基座。

第二, 农业数字化发展显著增强了农业金融服务的效率与普及度, 促进了粮食贸易的流畅与透明, 确保粮食市场稳定运行。首先, 数字化平台不仅简化了信贷、保险等金融服务的获取流程, 降低了交易成本, 还提升了资金流动性和使用效率。借助数字安全技术, 金融机构能更精确地评估农业信贷风险, 从而增加对农业领域的有效投入。其次, 数字化提升了粮食贸易的信息透明度与交易效率, 拓宽了粮食市场, 助力农户及时把握市场动态, 减少市场波动对农户的影响。数字化技术还能够优化粮食供应链管理, 降低物流成本, 提高粮食的流通效率^[12]。

第三, 农业数字化发展助力农业可持续发展目标, 确保粮食安全与环境安全协同实现。一方面, 通过数字平台的直接网络效应, 可以使农民接触到更多高价值的农业知识和技术, 帮助农民采用更加环保的农业实践, 促进生态平衡^[13]。另一方面, 通过精准施肥和病虫害管理, 农业数字化实现了对化学农药和化肥施用量的严格控制, 有效减少土壤污染, 推动农业的可持续发展, 并提升粮食保障水平。具体来说, 数字化技术的应用促进了有机肥的替代使用和微生物肥料等新型肥料的推广, 使得化肥施用量连续多年保持下降趋势。此外, 数字化技术还助力于优化施肥结构, 改进传统施肥方式, 并提升化肥的利用效率。基于此, 本文提出假设 1:

H1: 农业数字化发展有助于提升粮食安全保障水平。

粮食安全保障目标的实现, 有赖于一系列的优势条件和战略部署。客观上看, 粮食安全保障高水平地区通常拥有发达的网络设施、信息化服务和成熟的现代化治理体系, 为农业数字化提供了坚实的硬件支撑和顺畅的融合环境。这些条件促进了新技术的高效应用与推广, 减少数字化技术在整合供应链资源时的障碍, 有助于实现收益最大化^[14]。因此, 在基础条件优越的地区, 农业数字化能够更快地发挥潜力, 对粮食安全保障产生更加显著的促进作用。基于此, 提出假设 2:

H2: 农业数字化发展的正向影响在粮食安全保障高水平地区更明显。

1.2 农业数字化发展、农业产业规模与粮食安全保障

随着农业数字化改造进程的加快, 数字化技术和思维为传统粮食产业带来了颠覆性的创新和变革, 从而在众多环节实现跨越式发展^[15]。技术革新为粮食产业注入了新的活力, 但受制于区域农业产业规模, 这种促进效应会呈现出明显的区域差异。小规模农业产业地区因市场灵活、易于适应变化, 其农业生产者通常能够及时响应数字技术带来的冲击, 从而在短时间内快速尝试和实施新的数字化解决方案, 从而提升粮食安全保障水平^[16]。相反, 大规模农业产业地区虽潜力巨大, 但在发展过程中可能会面临更多挑战, 比如大规模数据的处理能力、对外部环境变化的即时响应能力以及对供应链和产业链进行精确重构的需求, 现有数字化技术能力可能难以满足这些需求, 从而影响粮食生产的稳定性和安全性。基于此, 提出假设 3:

H3: 农业数字化发展对粮食安全保障的影响存在农业产业规模的门槛效应。

1.3 农业数字化发展、农业技术创新与粮食安全保障

创新驱动是农业数字化发展影响粮食安全保障的最重要路径。首先, 农业数字化推动了农业生产中智能装备和数字技术的研发与应用, 如智能灌溉控制系统、无人驾驶农机、自动化智能采摘机器人等, 这些技术的应用不仅提高了农业生产效率和智能化水平, 也促进了农业技术的创新和转化。粮食物联网为粮食流通领域提供了新的保障措施, 确保了粮食从生产到消费的全过程安全。数字化还为乡村新业态的发展提供了条件, 如农村电商与智慧旅游, 这进一步扩大了技术创新的应用范围 and 市场需求^[17]。其次, 数字化遗传育种技术有助于培育出高产、抗病、抗虫的粮食品种, 增效粮食产业, 同时有利于保护土壤与生物多样性, 确保粮食长期安全。农业创新应用的不断突破为粮食安全提供了坚实的物质基础和技术保障, 有助于政府更科学地制定和实施农业发展政策, 进而提高粮食安全政策的针对性和有效性^[18]。基于此, 提出假设 4:

H4: 农业技术创新在农业数字化发展和粮食安全保障之间发挥中介作用。

1.4 农业数字化发展、环境规制与粮食安全保障

环境规制是政府采取的一系列措施, 旨在通过法律法规和经济激励手段, 对企业和个人利用自然资源的行为进行引导和调节, 以实现资源可持续利用的目标^[19]。已有研究证实, 环境规制水平的提升

会增加农业生产成本，削弱农业产业竞争力^[20]。首先，在严格遵守环保法规的要求下，农业数字化转型需不断提升生态治理水平，如减少化肥和农药的使用、改进灌溉技术和采用环保材料等。这些改变通常伴随着更高的初期投资和运营成本，导致农业企业的利润空间缩小，从而影响其在市场上的竞争力。其次，农业数字化发展需要大量的资金投入，包括购买和维护高科技设备、开发和维护信息系统，以及培养具备数智技能的劳动力。而在技术、资金

和人才等资源有限的情况下，相关利益主体可能难以应对环境规制和数字化转型的双重压力，现有的数字化技术与新兴环境规制并不完全兼容，从而阻碍数字化技术在粮食安全保障方面的推广和应用。基于此，提出假设 5：

H5：环境规制对农业数字化发展与粮食安全保障之间的关系起负向调节作用。

综上，农业数字化发展对粮食安全保障的理论框架如图 1 所示。

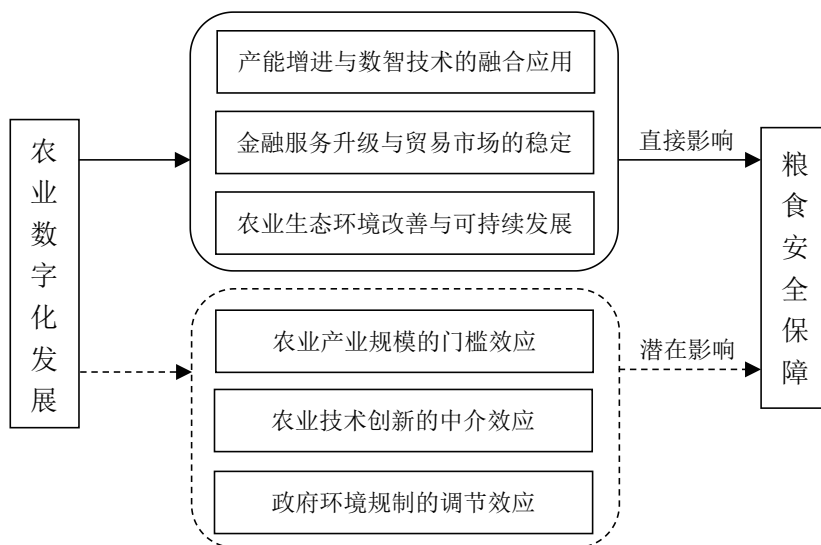


图 1 理论分析图

Fig. 1 Theoretical analysis diagram

2 研究方法与数据来源

2.1 变量选取

2.1.1 被解释变量 本研究的被解释变量为粮食安全保障。粮食生产供应是粮食安全的基础，主要包括对土地、水资源的合理利用、粮食的生产能力等，是国家粮食安全保障体系的重要内容。数智融合是助推粮食安全水平提升的有效抓手，通过高效的数据收集、分析和应用可以加快推进粮食全产业链管理“数智化”升级，赋能粮食安全保障能力的提升。从金融支持的维度看，其主要通过各种金融工具和服务为粮食安全提供充足的资金保障，包括银行信贷、数字普惠金融等，通过缓解资金压力、降低粮食生产风险以及提高农业竞争力等途径，来提升粮食安全保障能力。粮食安全离不开规则完善的粮食贸易体系，通过稳定的进出口能力和健全的国内市场调控机制可以有效增强粮食供应链韧性和稳定性。推动农业可持续发展是实现粮食安全的关键，通过维护生态平衡、合理利用自然资源和实施可持续的土地管理，可以确保粮食生产与自然环境的和

谐共存。参考有关粮食安全的研究成果^[21]，构建起本研究的粮食安全保障评价指标体系，并采用熵值法进行测算。具体指标及释义如表 1 所示。

2.1.2 解释变量 本研究的解释变量为农业数字化发展。借鉴《“十四五”全国农业农村信息化发展规划》和相关研究成果^[22-23]，从农业数字化生产建设、农业数字化信息应用、农业数字化公共服务三个维度出发构建农业数字化发展评价指标体系，同样采用熵值法进行测度，具体指标及释义如表 2 所示。

2.1.3 门槛变量 本研究的门槛变量为农业产业规模。为了确保数据的可靠性，采用国家统计局发布的年度农业产业规模指数直接衡量该变量。

2.1.4 中介变量 本研究的中介变量为农业技术创新，采用各省市的农业科技专利数量直接衡量。

2.1.5 调节变量 本研究的调节变量为环境规制。借鉴原毅军和谢荣辉^[24]的研究方法，利用熵权法测算非正式条件下的环境规制水平，具体包括人口数、常住人口密度、收入水平、受教育水平等一系列指标。

2.1.6 控制变量 参考已有研究成果^[25-27]，选取影响

表 1 粮食安全保障评价指标体系
Table 1 Evaluation indicator system for grain security

二级指标	三级指标	指标释义	指标性质	权重
生产供应	粮食播种面积 / 万 hm ²	粮食总播种面积	正向	0.073
	人均粮食产量 / (kg/人)	粮食总产量与总人口之比	正向	0.064
	有效灌溉面积 / 万 hm ²	能够进行正常灌溉的水田和水浇地面积之和	正向	0.069
	单位面积粮食产量 / (kg/hm ²)	谷物单位面积产量	正向	0.024
	复种指数 / %	农作物总播种面积与总耕地面积之比	正向	0.028
	水资源利用水平 / (kg/亿 m ³)	单位粮食产量使用水资源量	正向	0.086
数智融合	数字技术市场成交额 / 亿元	信息技术服务收入、信息安全收入与软件产品收入之和	正向	0.190
	智慧农业物联网覆盖率 / %	农业物联网技术应用面积占比	正向	0.025
	粮食耕种收综合数字化水平 / %	机耕率的 40%、机播（机栽、机插）率的 30%、机收率的 30% 三者之和	正向	0.046
金融支持	涉农数字信贷金额 / 亿元	农村贷款与城市农业企业及各类组织涉农贷款之和	正向	0.064
	粮油物资储备管理支出 / 亿元	粮油收购费用、粮油保管费用、运输费用和其他费用之和	正向	0.048
	数字普惠金融数字化程度 / %	北京大学数字普惠金融指数	正向	0.019
贸易市场	粮食外贸依存度 / %	粮食进出口总额与粮食生产总值之比	负向	0.007
	粮食进出口贸易总额 / 亿元	粮食进出口额与进出口价格指数之比	正向	0.136
	粮食贸易运输路线总长 / 万 km	铁路营业里程、公路里程、内河航道里程与定期航班航线里程之和	正向	0.039
	粮食类商品价格波动 / %	粮食生产价格指数	负向	0.007
生态环境	农药使用量 / 万 t	农业生产中稀释后农药制剂的使用总量	负向	0.001
	农用化肥施用折纯量 / 万 t	该种化肥实际施用量与有效含量的百分比之积	负向	0.006
	粮食受灾面积 / 万 hm ²	因灾减产 1 成以上的粮食作物播种面积	负向	0.058
	水土流失治理面积 / 万 hm ²	通过各种水土保持措施使得土壤侵蚀量被有效控制在允许范围之内的土地面积	正向	0.010

表 2 农业数字化发展评价指标体系
Table 2 Evaluation indicator system for digital development in agriculture

二级指标	三级指标	指标释义	指标性质	权重
农业数字化 生产建设	数字化生产水平 / 万个	农业从业人数与总就业人数之比，再乘以使用互联网技术开展生产经营活动的企业数	正向	0.037
	农业现代化水平 / 万 kW	用农业机械总动力表示	正向	0.046
	能源消耗水平 / (万 kW·h)	用农用机械发电总量表示	正向	0.102
	移动通信基站建设数量 / 万个	4G 移动电话基站建设个数	正向	0.037
农业数字化 信息应用	光缆通信路线总长度 / km	长途光缆线路、本地网中继光缆线路和接入网光缆线路长度之和	正向	0.041
	农村居民互联网服务需求 / 万户	农村宽带接入用户数量	正向	0.065
	农村互联网普及程度 / 万个	农村互联网接入端口数量	正向	0.061
	农村居民信息获取渠道 / 万个	农村有线广播电视用户数量	正向	0.058
	农村家庭计算机拥有量 / (个/百户)	农村每百户年末计算机拥有量	正向	0.013
	农村移动电话普及量 / (个/百户)	农村每百户年末移动电话拥有量	正向	0.006
农业数字化 公共服务	农村网络支付水平 / %	北京大学数字普惠金融覆盖广度	正向	0.011
	农村公共服务能力 / 亿元	用农村邮政业务总量表示	正向	0.078
	农业农村信息化示范基地数 / 个	用淘宝村数量表示	正向	0.257
	农村数字产品与服务消费水平 / 亿元	用农村电子商务交易总额表示	正向	0.127
	农村电子商务渗透 / 个	农村电商服务站点数与快递服务站点数之和	正向	0.043
	农村居民数字化服务需求 / 万人	农村平均每一邮政网点服务人口	正向	0.018

粮食安全保障的其他因素作为控制变量，具体包括政府干预程度、社会消费水平、市场化水平、对外开放程度、信息化水平、交通运输水平。各变量具体描述性统计如表 3 所示。

2.2 模型构建

2.2.1 分位数回归模型 为勘查农业数字化发展对粮

食安全保障的影响机制，首先构建基准回归模型，模型构建如下：

$$F_{i,t} = \alpha D_{i,t} + \gamma X_{i,t} + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

式中： i 和 t 分别表示省份和年份， $F_{i,t}$ 为粮食安全保障水平， $D_{i,t}$ 为农业数字化发展水平， $X_{i,t}$ 为控制

表3 描述性统计
Table 3 Descriptive statistics

变量类别	变量名称	变量释义	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	粮食安全保障水平	熵值法测算得出	0.236	0.082	0.078	0.519
核心解释变量	数字农业发展水平	熵值法测算得出	0.147	0.116	0.010	0.663
门槛变量	农业产业规模水平	农业产业规模指数	7.149	1.147	3.956	8.554
中介变量	农业技术创新 / 个	农业科技专利数量	0.031	0.032	0.001	0.167
调节变量	环境规制	熵权法测算得出	0.244	0.126	0.103	0.925
控制变量	政府干预程度	全国一般公共预算支出与地区生产总值之比	0.280	0.190	0.107	1.334
	社会消费水平	GDP 平减指数	0.384	0.069	0.222	0.538
	市场化水平	市场化指数	8.020	2.211	-0.161	12.521
	对外开放程度	国内货物进出口总额与地区生产总值之比	0.254	0.271	0.008	1.441
	信息化水平	邮电业务总量与 GDP 之比	0.068	0.058	0.014	0.290
	交通运输水平	货运量的对数	11.538	1.066	7.027	12.981

变量, μ_i 为固定效应, ε_{it} 为随机误差项。

传统最小二乘法对异常值非常敏感, 容易影响最终的实证结果, 而面板分位数回归能够更全面地揭示自变量与因变量在不同分位数水平上的关系, 结果相对更加稳健。因此, 本研究采用面板分位数回归考察农业数字化发展对粮食安全保障的影响效应。基于上式, 建立如下分位数回归模型:

$$Q_{\tau}(F_{i,t}) = \alpha_{\tau}D_{i,t} + \gamma_{\tau}X_{i,t} + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

式中: Q 为粮食安全保障的 τ 分位数, α_{τ} 为农业数字化发展对粮食安全保障的 τ 分位数回归系数, γ_{τ} 为控制变量对粮食安全保障的 τ 分位数回归系数, 其余同上。为了确保粮食安全保障从低水平到高水平的全面覆盖, 本研究选取分位点 τ 分别为 10%、25%、50%、75%、90%。

2.2.2 门槛效应模型 考虑到农业数字化发展与粮食安全保障之间可能存在某种非线性关系, 由此构建面板门槛效应模型, 模型建立如下:

$$F_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 D_{i,t} \times I_1 + \beta_2 D_{i,t} \times I_2 + \beta_n X_{i,t} + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

式中: β_1 和 β_2 为不同门槛区间农业数字化发展对粮食安全保障的影响系数, I_1 和 I_2 分别表示门槛变量处于不同门槛区间时的表达函数, 其余同上。

2.2.3 中介效应模型 为探究农业数字化发展对粮食安全保障的影响机制, 参考温忠麟等^[28]的研究, 构建中介效应模型, 模型建立如下:

$$M_{i,t} = \delta_0 + \delta_1 D_{i,t} + \delta_2 X_{i,t} + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

$$F_{i,t} = \nu_0 + \nu_1 D_{i,t} + \nu_2 M_{i,t} + \nu_3 X_{i,t} + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

式中: M 为中介变量, δ_0 、 δ_1 、 δ_2 、 ν_0 、 ν_1 、 ν_2 和 ν_3

为待估计参数, 其余同上。

2.2.4 调节效应模型 为验证环境规制在农业数字化发展对粮食安全保障的影响中是否具有调节作用, 构建调节效应模型如下:

$$F_{i,t} = \omega_0 + \omega_1 D_{i,t} + \omega_2 N_{i,t} + \omega_3 D_{i,t} \times N_{i,t} + \omega_4 X_{i,t} + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (6)$$

式中: N 为调节变量, ω_0 、 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 和 ω_4 为待估计参数, $D_{i,t} \times N_{i,t}$ 为环境规制与农业数字化发展的交互项, 其余同上。

2.3 数据来源

选取 2012—2022 年我国 31 个省(区、市)(不包括港澳台地区)面板数据, 数据主要来源于历年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》、国家统计局、各省级农业农村主管部门官网, 以及正式发布的年度农业农村发展报告等。针对部分指标存在数据缺失的情况, 采用均值法和插补法进行处理。

3 结果与分析

3.1 分位数回归分析

从面板数据来看, 由于不同地区的农业生产所依赖的自然条件、人力资源、科技水平以及资本投入等方面存在差异, 导致各省份农业数字化和粮食安全保障均存在发展不均衡的情况。因此, 基于我国发展实际, 本文采用 Koenker 和 Bassett^[29]提出的面板数据分位数回归方法, 探究农业数字化发展对粮食安全保障的影响效应, 结果如表 4 所示。可以看出, 农业数字化对粮食安全保障的影响系数表现出逐渐上升的趋势, 且影响系数在各分位点处均显著为正, 这表明农业数字化对粮食安全保障的影响是积极正向的, 即农业数字化有助于提升粮食安全保障水平, 假设 H1 得证。另外, 根据各省份的粮

表 4 分位数回归结果
Table 4 Quantile regression results

变量	粮食安全保障				
	Q10	Q25	Q50	Q75	Q90
农业数字化发展	0.357***(0.073)	0.403***(0.052)	0.518***(0.048)	0.529***(0.099)	0.549***(0.142)
政府干预程度	0.221***(0.078)	0.199***(0.053)	0.127**(0.052)	0.014(0.053)	-0.044(0.066)
社会消费水平	-0.014(0.052)	0.036(0.050)	0.026(0.061)	0.049(0.067)	-0.218***(0.082)
市场化水平	0.008*(0.004)	0.006**(0.003)	0.004(0.004)	0.004(0.003)	0.019***(0.007)
对外开放程度	-0.013(0.020)	-0.019(0.011)	-0.040**(0.018)	-0.037**(0.018)	-0.118**(0.046)
信息化水平	-0.135*(0.069)	-0.102*(0.059)	-0.182***(0.055)	-0.158**(0.072)	-0.230(0.181)
交通运输水平	0.043***(0.010)	0.040***(0.006)	0.020*(0.010)	-0.004(0.011)	-0.037**(0.015)
常数项	-0.482***(0.144)	-0.427***(0.081)	-0.139(0.122)	0.194(0.125)	0.650***(0.177)

注：括号内为标准误，*、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平下显著，固定效应已控制，下同。

食安全保障水平年平均值将样本分为低水平和高水平地区，以考察农业数字化发展的正向影响在不同水平地区下的差异。从表 5 可以看出，农业数字化发展的正向影响在粮食安全保障高水平地区更明显(0.439>0.395)，假设 H2 得证。得益于数字化技术的广泛应用，农业数字化发展能够大幅度提高粮食生产效率、资源利用率和风险管理能力，确保粮食系统整体的稳定性和可持续性，从而全面增强粮食安全保障能力。粮食安全保障达到高水平的地区，往往依托更为成熟和完善的数字化农业技术体系，这一体系的建立与运用，不仅深刻改变了传统农业生产模式，更在提升粮食产能、增强粮食供应链透明度、提高应急响应速度、促进农业知识数字化共享以及激发粮食产业链持续创新等方面展现出巨大潜力，为全面提升国家粮食安全保障能力奠定了坚实基础^[30]。

表 5 粮食安全保障区域差异下的回归结果

Table 5 Regression results under regional differences in grain security

变量	粮食安全保障	
	低水平	高水平
农业数字化发展	0.395***(0.025)	0.439***(0.043)
常数项	0.150***(0.004)	0.212***(0.010)
控制变量	是	是
固定效应	是	是
R ²	0.553	0.465

3.2 内生性和稳健性检验

为了排除其他因素对分析结果造成的影响，保证结果在不同变量和样本下依然稳定，进一步进行内生性和稳健性检验，结果如表 6 所示。粮食产业安全程度上升有助于推动农业生产的数字化转型和市场化调适，通常情况下高安全水平地区的农业数字化发展往往会越快。考虑到农业数字化发展与粮食安全保障的相互作用，参考张友浪等^[31]的研究，采用自变量滞后一期作为工具变量的方法进行内生性检验。同时，由于北京、上海、天津、重庆属于直辖市，城市发展的主动权更大，在政治、经济和文化等方面发展上与其他省份存在显著差异，因此采用剔除特殊样本的方法再次进行稳健性检验。此外，为了更准确地评估农业数字化发展对粮食安全保障的影响因素，进一步加入人口密度、科技研发强度以及国家自主创新能力作为控制变量，再次进行稳健性检验。

综上，采用滞后一期解释变量、剔除特殊样本以及增加控制变量进行稳健性检验，结果表明农业数字化发展对粮食安全保障在各分位点下的回归结果始终稳健，且回归系数符号均为正数，再次证实了研究结果的可靠性。

3.3 门槛效应分析

为了更全面地刻画农业数字化发展对粮食安全

表 6 内生性和稳健性检验结果
Table 6 Results of endogeneity and robustness tests

检验	粮食安全保障					
	Q10	Q25	Q50	Q75	Q90	
农业数字化发展	滞后一期	0.415***(0.078)	0.438***(0.064)	0.565***(0.050)	0.560***(0.120)	0.707***(0.146)
	剔除特殊样本	0.236***(0.109)	0.444***(0.070)	0.549***(0.048)	0.517***(0.084)	0.593***(0.158)
	增加控制变量	0.351***(0.098)	0.495***(0.053)	0.500***(0.045)	0.615***(0.066)	0.724***(0.112)
控制变量	是	是	是	是	是	
样本量	341	341	341	341	341	

表7 门槛效应检验结果

Table 7 Results of the threshold tests

统计量	单一门槛	双重门槛	三重门槛
F 值	140.860***	37.730	28.910
P 值	< 0.001	0.107	0.197
临界值 1%	45.906	84.782	43.453
临界值 5%	36.532	62.243	61.716
临界值 10%	31.074	37.935	43.453
门槛估计值	4.825	5.704	8.314
95% 置信区间	[4.748, 4.946]		

保障的影响机制，本研究以农业产业规模作为门槛变量进行门槛效应分析。从表7可知，农业产业规模作为门槛变量通过了单一门槛测试，且在1%的水平下显著，门槛估计值为4.825，具体的回归结果如表8所示。当农业产业规模较低时，农业数字化对粮食安全保障的影响系数为1.814，在1%水平下显著；在跨越门槛值后，农业数字化对粮食安全保障的影响系数下降至1.325，且在1%水平下显著。由此可知，随着农业产业规模的持续扩大，农业数

表8 门槛效应回归结果

Table 8 Regression results of the panel threshold effect

变量	影响系数	标准误差	T 值	P 值	95% 置信区间	
农业产业规模 ≤ 4.825	1.814	0.156	11.61	0	1.495	2.133
农业产业规模 > 4.825	1.325	0.199	6.67	0	0.919	1.730
常数项	0.097	0.093	1.04	0.308	-0.093	0.287
样本量	341					
R ²	0.871					

字化发展对粮食安全保障的影响呈现出显著的正向且边际效应递减的非线性特征，即农业数字化对粮食安全保障的影响而言，具有农业产业规模的门槛效应，假设H3得证。

在农业产业规模较小时，数字化技术可以较为全面地覆盖农业现代化建设，实现对农业生产全过程的数字化管理，从而提升粮食作物的产量和质量，并增强农业产业韧性。随着数字技术与农业的深度融合，中、小规模的农业生产体系能够更快地响应市场与政策变化，及时调整发展策略，从而维持稳定的发展态势。然而，随着农业产业规模的逐渐扩大，农业数字化技术的应用面临着更加复杂的管理挑战和更高的技术整合成本，数字化渗透难度随之增大，数字化技术应用不均衡现象愈发凸显，从而制约着农业生产效率的持续提升，增加粮食安全风险。因此，应持续强化政策支持、技术创新和精益管理的协同作用，降低技术应用门槛，促进数字化、网络化和智能化的快速发展和广泛应用，从而确保

数字技术在提升粮食安全保障能力中能够发挥持续的促进作用。

3.4 中介效应分析

为了全面探究农业数字化发展如何影响粮食安全保障，本研究进一步考察农业数字化发展如何影响农业技术创新，并在该中介变量作用下又如何影响粮食安全保障的中介效应，如表9所示。结果表明，农业数字化发展促进农业技术创新，农业技术创新对粮食安全保障有正向影响，同时农业数字化发展对粮食安全保障的影响通过显著性检验，系数小于列(1)总效应的回归系数(0.361<0.483)，且均在1%的水平下显著，这表明农业技术创新在农业数字化与粮食安全保障的关系中发挥部分中介作用，假设H4得证。随着农业数字化发展的不断推进，机器视觉、射频识别、卫星遥感以及数字孪生可视化应用等数字技术的应用持续提升，我国农业科技创新力量不断壮大，在推动农业生产经营提档升级的同时，也助力粮食新质生产力的培育和发展，对

表9 中介效应检验结果

Table 9 Results of the mediation effect test

变量	(1) 粮食安全保障	(2) 农业技术创新	(3) 引进农业技术创新后的粮食安全保障
农业数字化发展	0.483***(0.039)	0.195***(0.012)	0.361***(0.051)
农业技术创新			0.627***(0.173)
常数项	0.033(0.080)	-0.053**(0.025)	0.067(0.079)
控制变量	是	是	是
固定效应	是	是	是
样本量	341		
R ²	0.545	0.704	0.561
F	59.12	116.46	55.25

粮食生产、储备、加工、流通等均具有明显的效率促进和韧性提升作用。此外,政策支持、人才培养和财政投入的共同作用为农业技术创新提供了强劲动力,而数字化引领的多元创新又为农业领域带来了新的发展方向,这进一步激发了整个农业创新生态系统的活力,为粮食产业的可持续发展提供了坚实的科技支撑,从而能够在更高维度提升粮食安全保障能力。

3.5 调节效应分析

以环境规制作为调节变量,加入其与解释变量农业数字化发展的交互项进行回归以考察调节效应,如表 10 所示。回归结果表明,农业数字化发展显著正向影响了粮食安全保障,但其与环境规制的交互项显著为负 ($-0.296, P < 0.01$),说明环境规制负向调节了农业数字化发展对粮食安全保障的影响,假设 H5 得证。可能的原因是,第一,环境规制提高了农业发展的合规门槛,提升了农业企业数字化转型的合规成本,由此显著增加了农业数字化发展的初始投资负担。同时受限于更加严格的环境要求,相关利益主体并非主动追求数字技术选择和资源分配的灵活性优势,被迫进行技术革新,这使得农业生产者无法兼顾数字化技术的应用和粮食安全保障体系的完善,从而导致短期内农业数字化发展受阻。第二,基于环境规制的不确定性,相关利益主体或将面临技术与环境政策带来的适应性挑战,尤其是在资源有限的情况下,环境政策的变化

表 10 调节效应检验结果

Table 10 Moderated effects test results

变量	(1) 粮食安全保障	(2) 引进环境规制后的粮食安全保障
农业数字化发展	0.483*** (0.039)	0.583*** (0.037)
环境规制		-0.024** (0.011)
交互项		-0.296** (0.124)
常数项	0.033 (0.080)	0.117*** (0.019)
控制变量	是	是
固定效应	是	是
样本量	341	341
R ²	0.545	0.543

会使数字化投资决策的不确定性增加,很多农业生产者为了维持现有的发展态势而减少对新兴数字化技术的尝试和采纳,而缺乏数字化技术的农业生产又无法充分满足市场需求,从而导致农业数字化发展步伐放缓与数字技术应用停滞的恶性循环。第三,环境规制的严格要求会抑制农业发展在创新上的尝试,限制新型农业实践的发展机会,从而影响其对粮食安全保障的贡献力度。

3.6 异质性分析

3.6.1 中国地理区域的异质性 依据国家统计局的划分标准,将样本划分为东部地区、西部地区和中部地区以检验不同区域下的异质性。表 11 的结果表明,相较于东部和西部地区,农业数字化发展对粮食安全保障的促进作用在中部地区更大。首先,中部地区依托其地理优势和多样化的技术应用场景,展现出巨大的发展潜力和增长势头。得益于国家近年来的政策倾斜,中部地区在农业数字化转型方面获得了显著提升。此外,中部地区借助其崛起战略和后天优势,虽然不是数字化转型的先行者,但通过积极学习其他地区的成功经验,引进成熟的技术和管理模式,中部地区在农业数字化转型方面取得了更加显著的进步。这种积极的学习和引进策略,不仅促进了产业的快速升级,也展现了中部地区在数字化转型过程中的巨大潜力和改善空间^[32-33]。

3.6.2 农业功能区域的异质性 综合考量各省份的粮食产量、耕地资源、灌溉条件等,将样本划分为粮食主产区和非主产区以检验在不同粮食生产条件下的异质性。由表 11 可知,相较于非粮食主产区,农业数字化发展对粮食安全保障的作用在粮食主产区更大。粮食主产区面临着有效保障国民粮食供给的重要任务,通常情况下具有更大的粮食生产规模和更密集的农业生产活动,数字化技术的应用能够在此规模基础上带来更明显的促进作用,大幅度提升粮食生产效率,从数量方面保障粮食安全;农业数字化、网络化和智能化融入粮食生产有助于确保粮食品质,通过精准农业技术可以实现粮食生产全

表 11 异质性估计结果

Table 11 Results of heterogeneity estimation

变量	中国地理区域			农业功能区域		农业生产信息化	
	东部地区	中部地区	西部地区	粮食主产区	粮食非主产区	低水平	高水平
农业数字化发展	0.402*** (0.067)	1.112*** (0.151)	0.628*** (0.046)	0.603*** (0.066)	0.433*** (0.034)	0.518*** (0.055)	0.724*** (0.059)
常数项	0.158 (0.152)	0.526*** (0.127)	-0.785*** (0.096)	0.304** (0.125)	0.070 (0.071)	0.080 (0.142)	-0.173* (0.092)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
样本量	121	88	132	143	198	143	198
R ²	0.605	0.610	0.813	0.518	0.663	0.603	0.695

环节的精确管理,包括土壤分析、水肥调控、病虫害监测和质量追溯,从而提升粮食作物质量,在质量方面保障粮食安全。

3.6.3 农业生产信息化水平的异质性 依据《中国数字乡村发展报告(2022年)》中发布的农业生产信息化水平相关数据,将样本划分为农业生产信息化高水平组和农业生产信息化低水平组。表11显示,在农业生产信息化高水平地区,农业数字化对粮食安全保障的赋能效果大于农业生产信息化低水平地区。随着农业生产信息化改造效能的持续提升,各环节对数字化技术的响应速度不断加快,增强了粮食产业全链条的协同保障能力。高水平地区的政策支持、创新驱动力和产业链整合能力,进一步推动了农业数字化技术的深化应用,并表现出持续向好的良性发展态势,使得粮食安全根基愈发牢固。

4 结论与政策建议

4.1 结论

1) 农业数字化发展显著促进了粮食安全保障水平的提升,并且在粮食安全保障高水平地区的促进效应更为明显,该结论通过多种稳健性检验后仍成立。

2) 农业数字化发展对粮食安全保障的影响具有门槛特征,当农业产业规模跨过门槛值,农业数字化发展对粮食安全保障的赋能效应将会减弱。

3) 农业数字化可以通过提升农业技术创新能力这一重要中介路径来提高对粮食安全保障的影响。

4) 环境规制显著负向调节农业数字化与粮食安全保障之间的关系。

5) 农业数字化发展对中部地区、粮食主产区以及农业生产信息化高水平地区粮食安全保障的提升作用更优,表现出明显的异质性。

4.2 政策建议

1) 深化农业数字化基础设施建设,推动数智技术与农业全产业链深度融合,加强金融支持、市场监管与环境治理的投入力度,制定更具韧性的数字化发展策略。深入推进“数字乡村”建设和乡村全面振兴战略,加强农村地区千兆光网、大数据分析平台、5G应用场景等数字基础设施建设,加快偏远地区数字化改造升级。强化推动农业数字化智能化协同转型发展,通过整合云计算、物联网等数智技术,实现数据资源的多维度展示和智慧分析预测,为制定科学的发展策略提供数据支撑。此外,加大金融资源向涉农领域的倾斜力度,大力发展数字普惠金融服务,助力解决农村地区信贷资金配置

失衡等问题。加强农作物电子商务平台建设,并利用数字化技术建立农作物全流程追溯体系,提升农产品贸易市场的整体竞争力。通过数字化手段优化农业资源配置,推动化肥和农药的精准使用,提升农村环境治理工作的智能化水平,进而促进可持续农业实践的普及和生态环境友好型农业的发展。

2) 优化技术应用与产业规模,进一步强化现代农业技术创新,促进粮食新质生产力发展。针对经济发达地区的农业产业,鼓励实施精准的数字化技术推广计划,确保技术应用与当地农业产业规模及管理能力相适应。通过数字化管理平台,加强对粮食生产资源的合理利用,激发农业科技创新活力,同时以保障粮食稳定安全为最终目标,不断拓展数字农业技术开发应用的深度与广度,使其成为粮食产业安全保障的最强动能。此外,加强农业产业发展的动态规划,合理布局农业产业区域,推动粮食产业的智能化、集约化和规模化发展,加快培育和发展粮食新质生产力,在更高能层水平上保障粮食安全^[34]。

3) 平衡环境规制与发展需求,制定差异化区域策略与合作机制,充分释放农业数字化发展红利。持续加强区域环境规制与发展需求的协同,灵活调整农业数字化发展的推进节奏和方式,确保技术应用与环境保护相协调,进一步优化生产力布局,推动数字红利惠及更多“新农人”^[35]。此外,针对不同地区的农业基础和发展情况,实施差异化的发展策略。中部地区、粮食主产区和农业生产信息化高水平地区应充分发挥其辐射带动功能,持续提升粮食生产效率和资源配置优化,实现区域协同发展。同时,加强省域间农业数字化发展与粮食安全保障战略协同,建设跨省域合作与一体化发展机制,拓展粮食产业链供应链资源整合及粮食安全保障新路径,在务实合作中实现农业数字化与粮食产业的区域均衡发展,进而在整体上提升国家粮食安全保障水平。

参考文献:

- [1] 普冀喆,郑风田. 习近平关于国家粮食安全论述的战略与策略维度论析:兼论发展中的粮食安全治理体系[J]. 当代经济管理, 2024, 46(2): 1-8.
PU M Z, ZHENG F T. Analysis of xi Jinping's discourse on national food security from the strategic and the tactical dimensions: along with discussing the development of food security governance system[J]. Contemporary Economic Management, 2024, 46(2): 1-8.
- [2] 李楠,李昀励. 数字赋能农业现代化:内在机理、成效检视与实践路向[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2024(5): 32-43.
LI N, LI Y L. Digitally empowered agricultural modernization:

- intrinsic mechanism, effectiveness review, and practical direction[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2024(5): 32-43.
- [3] 韩旭东, 刘闯, 刘合光. 农业全链条数字化助推乡村产业转型的理论逻辑与实践路径[J]. *改革*, 2023(3): 121-132.
HAN X D, LIU C, LIU H G. The theoretical logic and practical path of the digitalization of the whole agricultural chain to promote the transformation of rural industries[J]. *Reform*, 2023(3): 121-132.
- [4] 文丰安. 农业数字化转型发展: 意义、问题及实施路径[J]. *中国高校社会科学*, 2023(3): 111-120, 159-160.
WEN F A. Development of digital transformation of agriculture: significance, problems and implementation path[J]. *Social Sciences in Chinese Higher Education Institutions*, 2023(3): 111-120, 159-160.
- [5] 杜华. 智能化进阶: 数字经济驱动农业发展的技术改造进阶[J]. *河南师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2024, 51(4): 68-74.
DU H. Advanced intelligence: a technological transformation path driven by digital economy for agricultural development[J]. *Journal of Henan Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, 2024, 51(4): 68-74.
- [6] 程国强. 大食物观: 结构变化、政策涵义与实践逻辑[J]. *农业经济问题*, 2023, 44(5): 49-60.
CHENG G Q. The greater food approach: structural change, policy implications and practice logic[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2023, 44(5): 49-60.
- [7] 曹芳芳, 武拉平. 全产业链减损对中国粮食安全的影响研究: 基于局部均衡模型的模拟分析[J]. *农业技术经济*, 2024(5): 76-90.
CAO F F, WU L P. The impact of reducing losses and waste at the whole supply chain on food security in China: simulation analysis based on the partial equilibrium model[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2024(5): 76-90.
- [8] 张辉, 马望博. 大数据时代的农业发展: 国际前沿与中国实践[J]. *北京交通大学学报(社会科学版)*, 2024, 23(2): 34-45.
ZHANG H, MA W B. Agricultural development in the era of big data: international frontiers and Chinese practices[J]. *Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition)*, 2024, 23(2): 34-45.
- [9] 韩杨. 中国粮食安全战略的理论逻辑、历史逻辑与实践逻辑[J]. *改革*, 2022(1): 43-56
HAN Y. Theoretical logic, historical logic and practical logic of China's food security strategy[J]. *Reform*, 2022(1): 43-56.
- [10] 任保平. 双重目标下数字经济赋能我国农业农村现代化的机制与路径[J]. *东岳论丛*, 2024, 45(1): 41-48, 191.
REN B P. The mechanism and path of digital economy empowering modernization of agriculture and rural areas in China under dual goals[J]. *Dongyue Tribune*, 2024, 45(1): 41-48, 191.
- [11] COLE M B, AUGUSTIN M A, ROBERTSON M J, et al. The science of food security[J]. *NPJ Science of Food*, 2018, 2: 14.
- [12] 王宣珂, 高海伟. 新时代中国式现代粮食供应链构建[J]. *中国流通经济*, 2023, 37(7): 40-47.
WANG X K, GAO H W. Construction of Chinese-style modern food supply chain in the new era[J]. *China Business and Market*, 2023, 37(7): 40-47.
- [13] 张哲晰, 炎天尧, 穆月英. 健全粮食安全利益保障体系的机制设计与政策建议[J]. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2024, 24(2): 12-23.
ZHANG Z X, YAN T Y, MU Y Y. Improving the profit protection system of food security: mechanism design and policy suggestions[J]. *Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition)*, 2024, 24(2): 12-23.
- [14] 常璇. 习近平关于国家粮食安全重要论述的创新性贡献[J]. *经济学家*, 2024(3): 5-14.
CHANG X. The innovative contribution of Xi Jinping's important discourse on national food security[J]. *Economist*, 2024(3): 5-14.
- [15] 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.
SUN C, XIA E J, HUANG J P, et al. Impact of digital economy-agriculture integration on agricultural resilience[J]. *Research on Economics and Management*, 2024, 45(6): 76-94.
- [16] 张红宇. 建设农业强国的理论逻辑: 基于农业产业属性的观察与研究[J]. *改革*, 2024(2): 121-130.
ZHANG H Y. The theoretical logic of agricultural powerhouse: investigation and research based on agricultural industry property[J]. *Reform*, 2024(2): 121-130.
- [17] 郭岩峰, 张春艳. 产业数字化、绿色技术创新与农业产业链韧性[J]. *技术经济与管理研究*, 2023(10): 117-122.
GUO Y F, ZHANG C Y. Industrial digitization, green technology innovation and agricultural industry chain resilience[J]. *Journal of Technical Economics & Management*, 2023(10): 117-122.
- [18] 逢锦聚, 周洁. 中国式现代化进程中的科技进步与粮食安全[J]. *经济学动态*, 2024(3): 13-24.
PANG J J, ZHOU J. Technological progress and food security in the context of Chinese modernization[J]. *Economic Perspectives*, 2024(3): 13-24.
- [19] 周杰文, 高翔, 解佩佩. “双碳”目标下环境规制对中国绿色低碳转型发展的影响研究[J]. *江苏大学学报(社会科学版)*, 2024, 26(2): 55-67.
ZHOU J W, GAO X, XIE P P. On the impact of environmental regulation on China's green and low-carbon transformation and development under the constraint of “carbon peaking and carbon neutrality” goals[J]. *Journal of Jiangsu University (Social Science Edition)*, 2024, 26(2): 55-67.
- [20] 曾珍, 韩纪琴, 吴义根. 环境规制、科技创新对农业经济影响的实证检验[J]. *统计与决策*, 2022, 38(8): 17-21.
ZENG Z, HAN J Q, WU Y G. Empirical test on the impact of environmental regulation and scientific and technological innovation on agricultural economy[J]. *Statistics & Decision*, 2022, 38(8): 17-21.
- [21] 杨川, 卢新海, 许进龙. 基于“大食物观”的中国粮食安全水平评价与动态演进[J]. *经济地理*, 2024, 44(2): 166-174.
YANG C, LU X H, XU J L. Evaluation and dynamic evolution of food security level based on big food concept[J]. *Economic Geography*, 2024, 44(2): 166-174.
- [22] 杜永红. 基于中国国情的农业全产业链数字化转型路径[J]. *中国流通经济*, 2023, 37(12): 36-48.
DU Y H. Research on the digital transformation path of the

- whole agricultural industry chain based on China's national conditions[J]. *China Business and Market*, 2023, 37(12): 36-48.
- [23] 王定祥, 彭政钦, 李伶俐. 中国数字经济与农业融合发展水平测度与评价 [J]. *中国农村经济*, 2023(6): 48-71.
WANG D X, PENG Z Q, LI L L. Measuring and evaluating the integrated development level of digital economy and agriculture in China[J]. *Chinese Rural Economy*, 2023(6): 48-71.
- [24] 原毅军, 谢荣辉. 环境规制的产业结构调整效应研究: 基于中国省际面板数据的实证检验 [J]. *中国工业经济*, 2014(8): 57-69.
YUAN Y J, XIE R H. Research on the effect of environmental regulation to industrial restructuring: empirical test based on provincial panel data of China[J]. *China Industrial Economics*, 2014(8): 57-69.
- [25] 张航宇, 盛誉, 黄凯南, 等. 乡村振兴战略指标体系的构建与分析: 基于对“产业兴旺”维度的研究 [J]. *南开经济研究*, 2023(10): 44-59.
ZHANG H Y, SHENG Y, HUANG K N, et al. Construction and analysis of the index system of industrial prosperity under the “rural revitalization strategy”[J]. *Nankai Economic Studies*, 2023(10): 44-59.
- [26] 付舒斐, 朱丽萌, 吕添贵, 等. 乡村数字化转型对耕地绿色利用效率的影响机制及门槛效应研究 [J]. *中国土地科学*, 2024, 38(4): 90-100, 112.
FU S F, ZHU L M, Lü T G, et al. Research on the influencing mechanism and threshold effect of rural digital transformation on cultivated land green use efficiency[J]. *China Land Science*, 2024, 38(4): 90-100, 112.
- [27] 钱水土, 方立凯. 数字普惠金融对农民共同富裕的影响: 基于农业高质量发展视角 [J]. *当代经济研究*, 2024(5): 115-128.
QIAN S T, FANG L K. The impact of digital inclusive finance on farmers' common prosperity: from the perspective of high-quality agricultural development[J]. *Contemporary Economic Research*, 2024(5): 115-128.
- [28] 温忠麟, 方杰, 谢晋艳, 等. 国内中介效应的方法学研究 [J]. *心理科学进展*, 2022, 30(8): 1692-1702.
WEN Z L, FANG J, XIE J Y, et al. Methodological research on mediation effects in China's mainland[J]. *Advances in Psychological Science*, 2022, 30(8): 1692-1702.
- [29] KOENKER R, BASSETT G. Regression quantiles[J]. *Econometrica*, 1978, 46(1): 33.
- [30] 杨一单, 姚成胜, 刘伟芳. 中国粮食安全系统转型的时空特征及驱动因素 [J]. *地理学报*, 2024, 79(9): 2372-2388.
YANG Y D, YAO C S, LIU W F. Spatio-temporal evolution characteristics and driving factors of food security system transformation in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2024, 79(9): 2372-2388.
- [31] 张友浪, 彭雨馨, 王培杰. 地方政府创新性的影响因素研究: 基于全国市级面板数据(2000—2019)的分析 [J]. *电子科技大学学报(社科版)*, 2023, 25(5): 1-13.
ZHANG Y L, PENG Y X, WANG P J. What factors influence local government innovativeness? An empirical study based on the prefecture-level panel data (2000-2019) from China[J]. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China (Social Sciences Edition)*, 2023, 25(5): 1-13.
- [32] 王可山. 新时代我国粮食安全保障的成就与经验 [J]. *改革*, 2023(9): 99-109.
WANG K S. Achievements and experiences of China's food security in the new era[J]. *Reform*, 2023(9): 99-109.
- [33] 杨少文, 熊启泉. 中国式现代化下粮食安全的内容架构、现状与趋势 [J]. *华南农业大学学报(社会科学版)*, 2023, 22(5): 1-12.
YANG S W, XIONG Q Q. Grain security under Chinese path to modernization: content framework, current situation and trends[J]. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2023, 22(5): 1-12.
- [34] 刘国斌, 李岱霖. 数字技术与农业农村信息化互动发展研究 [J]. *情报科学*, 2023, 41(4): 127-132, 190.
LIU G B, LI D L. Interactive development of digital technology and agricultural and rural informatization[J]. *Information Science*, 2023, 41(4): 127-132, 190.
- [35] 袁宇阳. “大国小农”数字化转型的内涵表征、实践方式及动力机制 [J]. *经济学家*, 2024(5): 108-117.
YUAN Y Y. Connotation characterization, practice ways and dynamic mechanism of digital transformation of “big country and small farmers”[J]. *Economist*, 2024(5): 108-117.

(责任编辑: 王育花)