



刘威, 郑雪丽, 马恒运. 农业数字化对粮食生产安全的影响机理与效应[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(07): 307-320.

LIU Wei, ZHENG Xueli, MA Hengyun. Influence mechanism and effect of agricultural digitization on food production security [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(07): 307-320.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.07.27

## 农业数字化对粮食生产安全的影响机理与效应

刘威<sup>1</sup> 郑雪丽<sup>1</sup> 马恒运<sup>2</sup>

(1. 河南工业大学 管理学院, 郑州 450001;

2. 河南农业大学 经济管理学院, 郑州 450046)

**摘要** 为厘清农业数字化对粮食生产安全的影响效应, 基于粮食主产区13个省份2011—2021年的省级面板数据, 采用熵权法构建了农业数字化和粮食生产安全的评价指标体系, 并建立面板数据基准回归模型和门槛效应模型, 实证分析了农业数字化对粮食生产安全产生的影响。实证结果表明: 1) 农业数字化的发展对保障粮食生产安全有显著的正向效应, 但其影响效用只有农业数字化水平发展到一定程度才能充分显现; 2) 当农业数字化处于较低水平时, 对粮食生产具有一定的负向效应; 当农业数字化水平提升至较高水平时, 对粮食生产安全的影响会转变为正向促进作用; 3) 进一步研究发现, 农业数字化建设对粮食生产安全的影响存在地区差异, 农业数字化对华北平原及长江中下游平原地区的粮食生产安全产生了显著的正向效应, 而对东北平原粮食生产安全未产生显著影响。因此, 我国应充分把握农业数字化发展机遇, 推动农业数字化基础设施建设, 为粮食生产安全提供有力保障; 因地制宜采用不同的农业数字化推进策略, 以有效保障区域粮食生产安全; 搭建区域协作机制, 共享农业数字化发展经验。

**关键词** 农业; 数字化; 粮食安全; 粮食生产; 门槛效应

中图分类号 F323.3

文章编号 1007-4333(2024)07-0307-14

文献标志码 A

## Influence mechanism and effect of agricultural digitization on food production security

LIU Wei<sup>1</sup>, ZHENG Xueli<sup>1</sup>, MA Hengyun<sup>2</sup>

(1. School of Management, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. School of Economics and Management, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China)

**Abstract** In order to clarify the effect of agricultural digitization on food production security, based on a provincial panel data of 13 provinces (2011-2021) in major grain-producing areas, an evaluation index system of agricultural digitalization and food production security was constructed using entropy weight method. The baseline regression model and threshold effect model of panel data were established to empirically analyze the impact of agricultural digitalization on food production security. The empirical results show that: 1) The development of agricultural digitalization has a significant positive effect on ensuring food production security, but its effect can only be fully manifested when the level of agricultural digitalization is developed to a certain extent. 2) When agricultural digitization is at a low level, it has a certain negative effect on food production. When the level of agricultural digitization is elevated to a higher level, the impact on food production security will turn into a positive promotion. 3) Further research shows that the impact of

收稿日期: 2023-10-19

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(21BJY060); 教育部人文社会科学研究青年项目(19YJC790085); 河南省哲学社会科学规划项目(2020BJJ027); 河南省高校人文社科重点研究基地物流研究中心资助项目(2020-JD-04)

第一作者: 刘威(ORCID: 0000-0003-1306-4495), 副教授, 主要从事粮食经济研究, E-mail: far168@163.com

agricultural digitalization on food production security is different in different regions. Agricultural digitalization has a significant positive effect on food production security in the North China Plain and the middle and lower reaches of the Yangtze River Plain, but has no significant impact on the Northeast Plain. Therefore, this study put forward three proposals as follows: Grasping the opportunity of agricultural digital development, promote the construction of agricultural digital infrastructure, and provide a strong guarantee for food production security in China; Adopting different agricultural digital promotion strategies according to local conditions to effectively ensure regional food production security; Establishing regional cooperation mechanisms to share experience in agricultural digital development.

**Keywords** agriculture; digitization; food security; food production; threshold effect

全方位夯实粮食安全根基,一个重要方向就是把“藏粮于地、藏粮于技”真正落实到位,把发展农业科技放在更加突出的位置,大力推进农业信息化、智能化和数字化,给农业现代化插上科技的翅膀。数字技术逐渐应用到粮食产业链供应链,尤其是与粮食生产环节不断融合,为保障粮食供给安全提供了更加有力的支撑。数字化新技术的应用,加速了对传统粮食全领域、全角度、全链条的数字化改造,实现了大数据、互联网、人工智能等新兴数字技术与传统粮食生产的深度融合<sup>[1]</sup>,为由传统粮食生产模式向数字化粮食生产模式转变注入数字动力,实现国家粮食生产安全保障提供新思路。

目前已有众多对粮食生产安全影响因素展开的研究<sup>[2-5]</sup>,其中仅有少数研究关注了数字化这一新的驱动因素,且其影响效应存在一定争议。在数字化发展初期,部分研究认为数字化的发展对农业产生的影响作用尚不明确<sup>[6-7]</sup>,大量前期数字资源投入并没有对生产效率产生显著的提升作用;但随着数字化水平的发展,更多研究认为数字技术对农业发展起到了促进作用,数字技术不断赋能农业,以数字化技术为代表的数字生产力正成为推动我国农业高质量发展、保证“粮食生产安全”的强大引擎<sup>[8-10]</sup>。

综上所述,目前学术界对于粮食生产安全影响因素的研究较少涉及到数字化,仅有部分学者定性探讨了数字技术赋能农业生产的机理、逻辑、实践路径等,但对于其影响程度大小未有定论,且缺乏实证验证。基于此,本研究将在现有研究的基础上,理论分析农业数字化对粮食生产安全作用的影响机理,并利用我国粮食主产区2011—2021年数据,实证研究农业数字化对粮食生产安全的影响效应,建立门槛模型检验在农业数字化发展的不同阶段对粮食生产安全产生的门槛效应,以期明确农业数字化和粮食生产安全的内在关联机制,为保障粮

食生产安全建言献策。

## 1 机理分析与研究假说

### 1.1 机理分析

粮食生产安全是粮食安全的重要组成部分,基于现有粮食生产安全研究及国家出台的政策文件,从粮食生产可供性、稳定性和持续性3个维度,衡量一个地区的粮食生产安全水平(图1)。

第一,基于农户行为理论,农户的行为选择通常是以实现个人利益最大化为目标,综合考虑预期收益与潜在风险后进行的复杂活动。数字农业使信息技术与粮食生产各个环节有效融合,有利于提高农业资源使用效率,降低农业生产成本,提升粮食品质,进而稳定和提升农户的种粮收入。1)提高粮食生产效率。农业数字化技术应用,对改造传统粮食生产方式具有重要意义。农业数字化能够让农户更好地了解和掌握粮食的生长情况,监测温度、湿度、土壤质量等田间信息,根据实际情况调整种植方案、灌溉和施肥,从而最大程度地提高生产效率。2)降低粮食生产成本。农业数字化可以帮助农户更加科学地使用农业资源、减少浪费,通过精确施肥、科学用水以及智能化的农机操作,合理减少粮食生产过程中的劳动力、用水、用电和农药化肥等投入量,使粮食生产成本得到有效控制。3)提升粮食品质。农业数字化使农户能够更好地监控和管理粮食生长过程,及早发现植物疾病、虫害等问题,进而及时采取防治措施,确保粮食质量升级<sup>[11]</sup>。

第二,基于农业风险管理理论,数字技术的快速发展可以有效对农业生产中的各种风险源进行有效控制,以减少农业生产经营的波动。1)提高决策精准度。粮食作物生产具有较长的周期性,科学的生产决策可以保障粮农获得稳定收益、规避外部风险。在决策环节,以智能算法搭建的粮食生产大

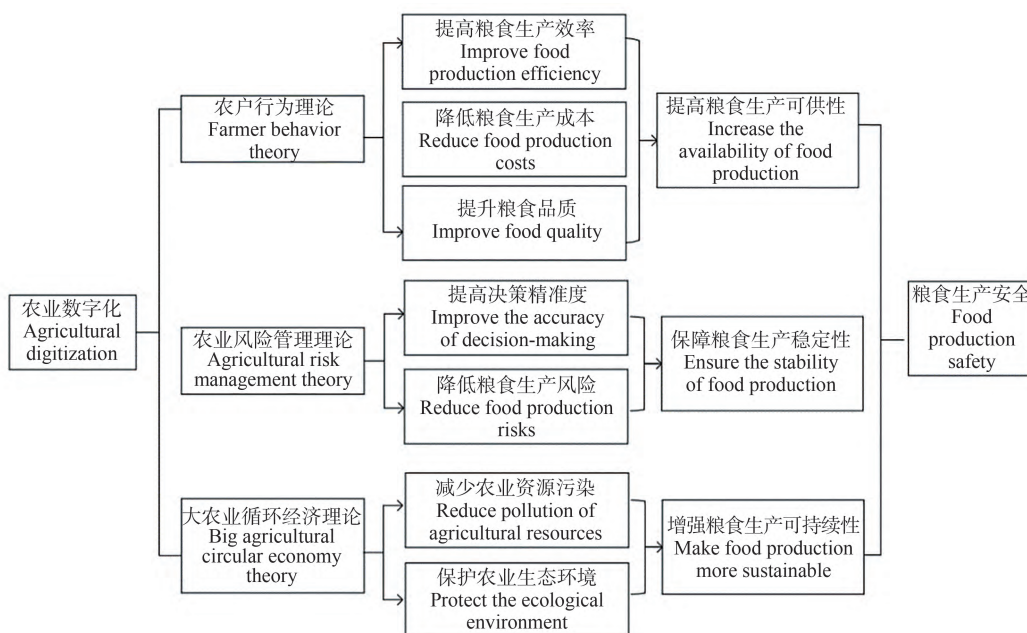


图1 农业数字化对粮食生产安全的影响机理分析

Fig. 1 Analysis of the influence mechanism of agricultural digitization on food production security

数据模型为基础,结合农业专家经验,能够对现有粮食生产种植数据进行分析,使粮食生产决策更加科学准确。2)降低粮食生产风险。农业数字化助推高标准农田建设、农业机械化和智能化发展,可以有效提升我国耕地抗灾能力。数字化水资源调配与管理系统的管理,可以预先保证粮食生产过程中的灌溉来源,提高粮田抗旱减灾能力。除此之外,智能农机以现代信息技术、人工智能等数字技术为支撑,可在粮食生产中通过自主感知、分析和决策自动化完成各项操作,大幅避免人为操作失误。

第三,基于大农业循环经济理论,借助农业数字化技术能够实现大农业生产的效益最大化与危害最小化,达到粮食生产和环境保护相容的理想状态,从根本上降低经济活动对环境的破坏,保护并改善农业生态环境。1)减少农业资源污染。数字农业通过精准施肥和虫害防治,对施肥、喷药、收割等操作进行精确控制,可以减少化肥农药施用和资源浪费,有利于保护环境、修复生态系统、增加生物多样性和降低农业碳排放<sup>[12]</sup>,符合绿色经济发展理念。2)保护农业生态环境。借助“3S”技术(GPS、RS和GIS),能够建立土壤含水量、土壤肥力状况等属性数据库,对粮食种植面积、长势及土壤墒情等进行实时监测,为粮食生产、土地质量监测和污染风险评估提供有价值的信息。数字农业生产力的发展,也能够使得

一些受到过灾害、污染的无法正常使用的农业生产资源得到有效治理,使其“变废为宝”,继续投入到农业生产中,扩大农业生产要素的可能性边界,实现农业生态资源的优化和绿色发展。

## 1.2 研究假说

发展农业数字化,可以充分运用数字技术、生物技术和绿色技术,提高粮食单产水平、提高粮食稳产保供能力<sup>[13]</sup>。通过对粮食生产全环节赋能,不断推进数字育种、精细化管理农田等快速发展,将数字化先进技术应用于保障粮食生产安全的全流程。同时,在数字经济时代,数据与新兴信息技术成为强有力的引擎,使得数字经济与实体经济不断深度融合<sup>[14]</sup>。农业数字化发展过程中,可以为粮食育种、精准监测粮食各项指标和精确分析各项数据等方面提供技术支持,使得粮食生产更加科学并及时给予种粮农户反馈,促进生产决策精确化。智能农机等数字化设备的使用可以有效提高粮食生产效率,使得粮食播种、施肥等生产各环节可以及时、准确地完成。基于以上分析,提出假说1:

H1:农业数字化的发展对粮食生产安全具有显著的正向效应,即随着农业数字化水平的提升,对粮食生产安全产生积极的促进作用。

现有研究通常认为,当数字化处于初期阶段或起步期,前期的数字技术投入消耗一定的资源,但

对一个地区的经济发展或产业成长的影响并不显著,甚至呈现负向效应,存在“生产率悖论”现象。随着区域产业数字化水平的逐步提升,数字化技术应用场景不断扩大,产生的外部效益持续显现,此时产业数字化的边际效应逐步提升<sup>[15]</sup>,数字化对区域经济或产业的影响开始呈现显著的正向效应。具体到农业数字化,在其发展的初期阶段,由于数字化专业劳动力不足、农业基础设施和农业机械智能化程度偏低、相关投资和政策支持力度有限,农业数字化对于粮食生产安全的促进作用可能并不显著。当农业数字化进入成熟或发展阶段,电子商务、“互联网+”等线上渠道发展迅速,且农业从业人员的文化水平、专业技能、自身素质等得以提高<sup>[16]</sup>,数字技术在粮食生产、加工和流通领域的应用深度不断提升,通过粮食数据信息共享机制的逐步完善实现粮食供应链动态协同<sup>[17-18]</sup>,实现粮食生产智能化、经营网络化、管理高效化、服务便捷化。基于以上分析,提出第二个假说:

H2:农业数字化的发展对粮食生产安全的影响作用存在门槛效应,即在农业数字化发展的不同阶段,对粮食生产安全的影响具有差异性。

## 2 模型建立与变量选取

### 2.1 面板基准回归模型

为探究农业数字化是否对粮食生产安全产生具体影响,建立面板回归模型,对应的基准回归模型如下<sup>[19]</sup>:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 X_{it} + \alpha_2 \text{Controls}_{it} + \sum \text{pro} + \sum \text{year} + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式中: $Y_{it}$ 为被解释变量,即不同省份和年份的粮食生产安全水平; $\alpha_0$ 为截距项, $\alpha_i$ 为系数,即农业数字化对粮食生产安全产生的具体影响效果; $X_{it}$ 为核心解释变量,即不同省份和年份的农业数字化水平; $\text{Controls}_{it}$ 为控制变量,选择务农人数、农村用电量、土地质量水平、农业机械化水平及农业生产总值作为控制变量; $\text{pro}$ 为省份效应, $\text{year}$ 为年份效应, $\epsilon_{it}$ 为随机误差项。

### 2.2 门槛面板回归模型

通过面板数据回归及数据特征分析,判断农业数字化与粮食生产安全之间是否存在非线性关系。进一步地,为探究二者是否存在门槛效应,以农业数字化为门槛变量,建立以下双重门槛模型,探究农业数字化对粮食生产安全的具体影响<sup>[20-21]</sup>:

$$Y_{it} = \mu_i + \beta_1 X_{it} \cdot I(q_{it} \leq \gamma_1) + \beta_2 X_{it} \cdot I(\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2) + \beta_3 X_{it} \cdot I(q_{it} > \gamma_2) + \theta z_{it} + \epsilon_{it} \quad (2)$$

式中: $\mu_i$ 为个体固定效应, $\beta_n$ 为影响系数,即在门槛模型中农业数字化对粮食生产安全的具体影响; $I$ 为指标函数,当满足相应条件时取值为1,否则为0; $q_{it}$ 为门槛变量; $\gamma$ 为门槛值; $\theta$ 为控制变量系数; $z_{it}$ 为本研究选择的控制变量。

### 2.3 变量选取

1)被解释变量:将“粮食生产安全”,作为被解释变量。在参考国内外学者对“粮食生产安全”定义及分类基础上,结合指标相关性和数据可获得性,从粮食的可供性、稳定性和持续性3个维度<sup>[22-24]</sup>,建立粮食生产安全的评价指标体系。其中,以粮食播种面积、粮食总产量和粮食人均占有量作为粮食生产可供性衡量指标;以粮食受灾面积、种植结构和有效灌溉面积作为粮食生产稳定性衡量指标;以农药使用量、化肥使用量和农用塑料薄膜使用量作为粮食生产持续性衡量指标。选用熵权法,确定粮食生产安全指标体系评价指标的权重,结果见表1。

2)核心解释变量:以“农业数字化”为核心解释变量。农业数字化是信息技术在农业生产应用中的高级阶段,主要是指在农业生产过程中对农业要素、过程、管理等阶段的数字化运用。具体地,农业数字化是以农业现代化发展的数字基础设施为前提,并对数字化关键技术进行择优选择,结合农业产业自身发展规律与数字技术信息化、网络化、智能化等特点,促进农业现代化生产和地区经济高质量发展的经济活动<sup>[25]</sup>。现有文献对“农业数字化”评价指标体系尚不完善,此处借鉴了《数字乡村发展战略纲要》<sup>[26]</sup>《全国县域数字农业农村发展水平评价报告》<sup>[27]</sup>以及现有研究的观点,从农业数字化基础设施、农业产业数字化、农业数字产业化水平3个维度,选取10个指标衡量农业数字化水平。其中,以农村数字网络接入、农业生产环境感知、农业生产信息传播以及农村数字终端普及作为农业数字化基础设施的衡量指标<sup>[25,28]</sup>;以农产品数字化交易水平、农业生产数字化投资和农产品信息数字化程度作为农业产业数字化水平的衡量指标<sup>[29]</sup>;以农业农村数字基地、农村网络支付水平和农村物流建设水平作为农业数字产业化的衡量指标<sup>[16]</sup>。采用熵权法,计算各指标权重,计算结果见表2。

表1 粮食生产安全水平衡量指标体系

Table 1 Food security level measurement index system

一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index	指标性质 Index property	权重 Weight	指标解释 Index interpretation
可供性 Availability	粮食播种面积	正向	0.147	粮食年播种面积, 万 hm <sup>2</sup>
	粮食总产量	正向	0.113	粮食年产量, 万 t
	粮食人均占有量	正向	0.388	粮食年人均占有量, (kg/人)
稳定性 Stability	粮食受灾面积	负向	0.025	粮食受灾面积, 万 hm <sup>2</sup>
	种植结构	正向	0.093	粮食作物播种面积/农作物播种面积
	有效灌溉面积	正向	0.111	当年耕地有效灌溉面积, 万 hm <sup>2</sup>
持续性 Persistence	农药使用量	负向	0.050	农药年使用量, t
	化肥施用量	负向	0.040	化肥年施用量, 万 t
	塑料薄膜使用量	负向	0.033	农用塑料薄膜使用量, t

表2 农业数字化水平衡量指标体系

Table 2 Agricultural digitization level measurement index system

一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index	指标性质 Index property	权重 Weight	指标解释 Index interpretation
农业数字化基础设施 Digital infrastructure for agriculture	农村数字网络接入	正向	0.086	农村宽带接入用户, 万户
	农业生产环境感知	正向	0.056	农业气象观测业务站点, 个
	农业生产信息传播	正向	0.040	农村广播电视网络覆盖率, %
	农村数字终端普及	正向	0.025	农村居民百户移动电话拥有量, 个
农业产业数字化 Digitalization of agricultural industry	农产品数字化交易水平	正向	0.157	农产品网络零售额, 亿元
	农业生产数字化投资	正向	0.052	农林牧渔业固定资产投资, 亿元
	农产品信息数字化程度	正向	0.135	农村邮电业务总量, 亿元
农业数字产业化 Agricultural digital industrialization	农业农村数字基地	正向	0.353	淘宝村数量, 个
	农村网络支付水平	正向	0.031	农村数字金融普惠指数, 亿元
	农村物流建设水平	正向	0.065	农村投递里程, km

3)控制变量:务农人数(PWA):采用第一产业就业人数表示,劳动力数量供给是影响粮食生产成本和生产规模的重要因素;农村用电量(REC)<sup>[25]</sup>:采用各地区每年农村用电量表示,农村用电量增加意味着农村地区的电气化水平提高,这为农田环境的改善提供了条件,进而影响到粮食种植的效率和产量;土地质量水平(LQL)<sup>[20]</sup>:采用化肥施用量/农作物播种面积表示,土壤肥力、土壤质地、土壤酸碱度、土壤微生物和土壤污染等因素,对粮食生产的

数量和品质产生影响;农业机械化水平(TPA):采用农业机械化总动力表示,农业机械化可以提高粮食生产效率、增加作物产量、改善种植环境、降低劳动强度以及促进农业现代化;农业生产总值(GAP)<sup>[30]</sup>:采用农林牧渔业生产总值衡量,反映了地区农业生产的规模和水平,对粮食种植规模、技术水平、品种选择和投入成本等产生影响。为排除异方差,增强数据科学合理性,消除量纲的影响,此处对所有控制变量取对数处理。

4)数据来源:粮食主产区是我国粮食生产供给的主要基地,保障粮食主产区的粮食生产安全是重中之重,因此本研究选取我国13个主产区省份2011—2021年的面板数据。所有数据来源于国家统计局、《中国农村统计年鉴》<sup>[31]</sup>《中国统计年

鉴》<sup>[32]</sup>《中国淘宝村研究报告》<sup>[33]</sup>及各省统计年鉴。

## 2.4 特征结果描述

1)变量统计性描述。本研究选取了143个研究样本,主要变量和统计性描述如表3。

表3 变量统计性描述

Table 3 Statistical description of variables

维度 Dimensionality	变量 Variable	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Mean
粮食生产安全 Food production safety	粮食播种面积/万 hm <sup>2</sup>	1 455.13	316.98	661.25
	粮食总产量/万 t	7 867.70	1 753.90	3 763.40
	粮食人均占有量/(kg/人)	2 499.30	399.50	729.07
	粮食受灾面积/万 hm <sup>2</sup>	422.40	8.80	117.69
	种植结构	0.97	0.30	0.72
	有效灌溉面积/万 hm <sup>2</sup>	617.76	140.78	354.22
	农药使用量/t	164 812.00	23 426.00	84 167.82
	化肥施用量/万 t	716.10	108.60	283.78
农业数字化 Agricultural digitization	塑料薄膜使用量/t	318 727.00	47 651.00	112 218.80
	数字网络接入/万户	1 560.70	19.80	405.05
	农业生产环境感知/个	47.00	18.00	29.27
	农业生产信息传播	0.92	0.03	0.32
	数字终端普及/个	125.97	52.04	91.84
	农产品数字化交易水平/亿元	823.10	0.75	109.46
	农业生产数字化投资/亿元	966.70	112.20	436.75
	农产品信息数字化程度	10 881.16	238.55	1 786.49
控制变量 Control variable	农业农村数字基地/个	801.00	0.00	61.90
	农村网络支付水平/亿元	234.44	11.42	95.99
	农村物流建设水平/km	293 242.00	89 568.00	171 409.77
	务农人数/万人	2 210.00	422.00	1 079.50
	农村用电量/亿 kW·h	1 949.10	42.50	331.41
	土地质量水平	0.05	0.02	0.03
	农业机械化水平/万 kW	13 353.00	2 014.10	5 744.83
	农业生产总值/亿元	6 564.83	895.83	2 781.08

2) 农业数字化水平。基于熵权法测算的农业数字化各指标权重,对各省份2011—2021年农业数字化水平进行计算,并对各平原地区进行组合测算,见表4。结果表明:一是粮食主产区农业数字化水平呈不断提升趋势,在研究样本期内粮食主产区农业数字化水平从0.092增长到0.308,呈稳步提升

趋势。二是区域农业数字化水平存在明显差异,华北平原的农业数字化水平最高,为0.511,且增速较快;长江中下游平原次之,数字化水平指数为0.294,保持稳步增长;东北平原最低,数字化水平指数仅为0.118,具体表现为农业数字化起步较晚,且发展速度缓慢。

表4 2011—2021年各省份(区域)农业数字化水平

Table 4 Agricultural digitization level by province (region) from 2011 to 2021

省份/区域 Province/Region	年份 Year										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
黑龙江 Heilongjiang	0.073	0.090	0.102	0.090	0.106	0.101	0.112	0.126	0.142	0.145	0.124
辽宁 Liaoning	0.061	0.083	0.092	0.088	0.096	0.104	0.109	0.119	0.131	0.137	0.110
吉林 Jilin	0.041	0.059	0.070	0.070	0.080	0.080	0.090	0.102	0.125	0.138	0.121
河南 Henan	0.132	0.155	0.185	0.177	0.200	0.202	0.241	0.291	0.354	0.414	0.357
河北 Hebei	0.116	0.118	0.138	0.151	0.167	0.197	0.232	0.302	0.396	0.480	0.480
山东 Shandong	0.155	0.177	0.217	0.208	0.269	0.302	0.401	0.492	0.607	0.703	0.696
湖北 Hubei	0.096	0.125	0.135	0.131	0.144	0.152	0.152	0.183	0.213	0.227	0.198
湖南 Hunan	0.078	0.109	0.124	0.124	0.147	0.158	0.168	0.201	0.232	0.247	0.200
江西 Jiangxi	0.037	0.055	0.064	0.067	0.074	0.083	0.098	0.122	0.141	0.159	0.133
江苏 Jiangsu	0.154	0.179	0.201	0.211	0.289	0.309	0.376	0.494	0.641	0.679	0.612
安徽 Anhui	0.058	0.078	0.130	0.134	0.166	0.168	0.211	0.248	0.338	0.367	0.325
四川 Sichuan	0.133	0.149	0.163	0.173	0.194	0.213	0.235	0.309	0.353	0.407	0.340
内蒙古 Inner Mongolia	0.053	0.074	0.088	0.084	0.095	0.100	0.114	0.135	0.152	0.167	0.141
东北平原 Northeast Plain	0.058	0.077	0.088	0.083	0.094	0.095	0.104	0.116	0.133	0.140	0.118
华北平原 North China Plain	0.134	0.150	0.180	0.179	0.212	0.234	0.291	0.362	0.452	0.532	0.511
长江中下游平原 Middle-lower Yangtze Plain	0.085	0.109	0.131	0.133	0.164	0.174	0.201	0.250	0.313	0.336	0.294
均值 Mean	0.092	0.114	0.133	0.132	0.157	0.168	0.199	0.243	0.299	0.336	0.308

3) 粮食生产安全水平。在样本研究期内,粮食生产安全水平指数由0.297增长至0.391,反映总体上粮食安全水平呈波动上升趋势。同时,粮食安全水平具有区域差异,东北平原粮食安全水平最高,为0.519;华北平原次之,为0.368;长江中下游平原最低,为0.285。东北平原的粮食安全水平提升速度不断加快,且与华北平原、长江中下游平原之间

的差距有不断扩大的趋势(表5)。

4) 两项指标的基本趋势。在样本研究期内,粮食主产区的粮食生产安全水平整体表现为稳步提升,个别年份有所波动;相比之下,农业数字化水平也呈现逐步提升态势,且增速更快(图2)。随着农业数字化水平的提高,二者变化趋势基本一致,相关性不断增加。

表5 2011—2021年各省份(区域)粮食生产安全水平

Table 5 Food production security level by provinces (region) from 2011 to 2021

省份/区域 Province/Region	年份 Year										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
黑龙江 Heilongjiang	0.568	0.590	0.613	0.641	0.663	0.638	0.748	0.744	0.758	0.829	0.881
辽宁 Liaoning	0.167	0.169	0.173	0.140	0.155	0.169	0.182	0.174	0.198	0.212	0.213
吉林 Jilin	0.338	0.350	0.364	0.365	0.372	0.383	0.423	0.380	0.409	0.429	0.464
河南 Henan	0.370	0.377	0.373	0.375	0.403	0.398	0.417	0.426	0.432	0.441	0.430
河北 Hebei	0.273	0.275	0.275	0.273	0.271	0.278	0.301	0.303	0.308	0.313	0.316
山东 Shandong	0.267	0.275	0.273	0.287	0.293	0.303	0.329	0.333	0.338	0.349	0.357
湖北 Hubei	0.218	0.229	0.237	0.253	0.264	0.249	0.275	0.280	0.277	0.282	0.294
湖南 Hunan	0.224	0.231	0.224	0.239	0.241	0.236	0.243	0.244	0.245	0.255	0.266
江西 Jiangxi	0.190	0.193	0.196	0.203	0.203	0.201	0.209	0.210	0.209	0.219	0.224
江苏 Jiangsu	0.250	0.258	0.260	0.265	0.270	0.271	0.280	0.283	0.287	0.287	0.289
安徽 Anhui	0.268	0.276	0.287	0.303	0.309	0.293	0.331	0.330	0.334	0.339	0.351
四川 Sichuan	0.244	0.251	0.249	0.253	0.260	0.266	0.271	0.275	0.279	0.283	0.290
内蒙古 Inner Mongolia	0.349	0.376	0.403	0.407	0.422	0.419	0.417	0.452	0.470	0.481	0.500
东北平原 Northeast plain	0.358	0.370	0.383	0.382	0.397	0.397	0.451	0.433	0.455	0.490	0.519
华北平原 North China plain	0.303	0.309	0.307	0.312	0.322	0.326	0.349	0.354	0.359	0.368	0.368
长江中下游平原 Middle-lower Yangtze Plain	0.230	0.237	0.241	0.253	0.257	0.250	0.268	0.269	0.270	0.276	0.285
均值 Mean	0.297	0.305	0.310	0.316	0.325	0.324	0.356	0.352	0.361	0.378	0.391

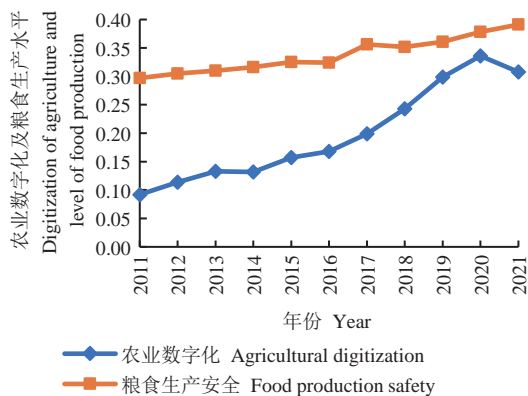


图2 农业数字化与粮食生产安全的变动趋势比较

Fig. 2 Comparison between agricultural digitalization and food production security

### 3 实证结果与分析

#### 3.1 基准回归分析

本研究基准回归检验选用固定效应模型,回归结果如表6所示。模型1为单变量回归模型,模型2为加入控制变量后的回归模型。可知:在未加入控制变量时,农业数字化对粮食生产安全的影响为正向显著;在加入控制变量后,回归结果的显著性并未发生大的改变,所以此回归结果较为稳健;粮食主产区各省份的农业数字化水平对粮食生产安全具有显著的正向效应。根据影响系数可知,当数字化水平提高1%时,粮食生产安全水平将提升



0.086%，且通过了 5% 的显著性水平检验，说明农业数字化有效保障了地区粮食安全，对粮食生产安全具有促进作用。由此，假说 1 得到验证。

### 3.2 门槛效应回归结果

1) 门槛效应检验。根据 Hansen 的研究思路，对门槛面板回归模型进行检验<sup>[21,34]</sup>。首先，对模

型进行三重门槛检验，设置 bootstrap 次数为 500 次，但 *P* 值未通过显著性检验，所以将模型设定为双重门槛，再重复上述操作，*P* 值未通过显著性检验，再次将模型设定为单门槛。此时，*P* 值通过显著性检验，即研究对象具有单门槛效应，结果如表 7 所示。

表 6 基准回归结果

Table 6 Baseline regression result

变量 Variable	模型 1 Model 1		模型 2 Model 2	
	系数 Coefficient	<i>t</i>	系数 Coefficient	<i>t</i>
农业数字化 Agricultural digitization	0.174***	6.22	0.086**	1.99
务农人口 Agricultural population			-0.002	-0.08
农村用电量 Rural electricity consumption			0.018	1.64
土地质量水平 Land quality level			2.713	1.34
农业机械化水平 Agricultural mechanization level			0.006	1.58
农业生产总值 Gross agricultural product			0.122***	5.17
常数 Constant	0.293	47.94	-0.854	-3.97

注：模型 1 为单变量回归模型，模型 2 为加入控制变量后的回归模型。\*\*\*、\*\*和\*分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著。下同。

Note: Model 1 is a univariate regression model, and Model 2 is a regression model after adding control variables. \*\*\*, \*\* and \* are significant at the level of 1%, 5% and 10% respectively. The same below.

表 7 门槛值效应检验

Table 7 Threshold effect test

门槛模型 Threshold model	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value	Bootstrap 次数 Bootstrap count	临界值 Threshold		
				1%	5%	10%
单一门槛 Single threshold	29.19	0.020	500	33.604	21.500	18.154
双重门槛 Double threshold	25.66	0.897	500	32.622	22.100	18.769
三重门槛 Triple threshold	24.39	0.466	500	24.290	14.891	12.375

2) 门槛估计结果分析。在确定模型具有单个门槛值以后，进行非线性单一门槛估计，估计结果及 95% 置信区间见表 8。其中，门槛值似然比函数(图 3)可以更清晰地理解门槛值的估计和置信区间的构造过

程。根据单门槛回归得到的门槛值，将农业数字化水平划分为 2 个区间，分别为农业数字化低水平阶段( $X < 0.106$ )和农业数字化高水平阶段( $X \geq 0.106$ )。当农业数字化处于不同区间时，对粮食生产安

表8 门槛估计值及其置信区间

Table 8 Threshold estimates and their confidence intervals

门槛类型 Threshold type	门槛估计值 Threshold estimates	95% 置信区间 95% confidence interval
单一门槛 Single threshold	0.106	[0.103, 0.109]

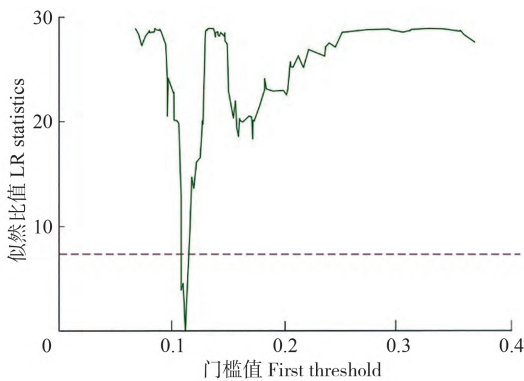


图3 门槛似然比函数

Fig. 3 P Threshold likelihood ratio function

全的影响显著性也并不相同。不同阶段农业数字化对粮食生产安全的具体影响如表9所示。当农业数字化处于低水平阶段时,其对粮食生产安全产生显著的负向效应;到了农业数字化高水平阶段,对粮食生产安全的影响是正向且显著,影响系数为0.084,反映此时其对粮食生产安全产生了促进作用。此种结果出现可能的原因为:在农业数字化发展初期,投入的资金、设备等大量资源并未得到有效利用,数字化渗透力较低,此时可能存在“生产率悖论”,假设H2得到了验证。

3.3 异质性分析

数字技术的快速发展以及数字经济与实体经济的不断融合,使得由于空间距离和发展差距等原因造成的区域间经济活动的地区屏障不断被打破,促进了各生产要素的跨区域流动,加强了区域间经济活动的关联性。但是,不可忽略的是,不同区域的农业数字化的发展水平仍存在不小的差异<sup>[25]</sup>,也有某些地区的粮食生产安全保障水平较低,所以不同区域农业数字化水平对粮食生产安全的影响也可能存在异质性。我国粮食主产区共13个省份,除内蒙古和四川外,主要集中于三大平原,分别为黑龙江、吉林、辽宁在内的

表9 门槛回归结果

Table 9 Threshold regression result

变量 Variable		模型3 Model 3	模型4 Model 4
农业数字化 Agricultural digitization	$X < 0.106$	-0.452* (-1.82)	-0.299*** (-3.63)
	$X \geq 0.106$	0.143*** (5.31)	0.084** (2.27)
务农人口 Agricultural population			-0.039* (-1.72)
农村用电量 Rural electricity consumption			0.010 (1.05)
土地质量水平 Land quality level			4.441** (2.43)
农业机械化水平 Agricultural mechanization level			0.042** (2.56)
农业生产总值 Gross agricultural product			0.080*** (3.74)
常数 Constant			-0.595 (-2.06)

注:模型3为单变量回归模型,模型4为加入控制变量后的回归模型。

Note: Model 3 is a univariate regression model, and Model 4 is a regression model after adding control variables.

东北平原;河南、河北、山东在内的华北平原;湖北、湖南、江西、江苏及安徽大部分区域的长江中下游平原。为了进一步探讨农业数字化对粮食安全影响的区域化差异,使用固定效应分别进行回归,结果如表10。

结果表明:第一,对于华北平原与长江中下游平原,农业数字化水平对粮食生产安全产生了显著的正向效应,回归系数分别为0.098、0.058。由此表明,对于农业数字化应用程度较高的地区,农业数字化水平越高,对粮食生产安全的促进作用越是明显。以华北平原为例,该地区农业数字化水平最高,2021年达到0.511,对于粮食生产安全的影响作用最大。第二,对于东北平原地区,农业数字化对粮食生产安全并未产生显著的效应。原因可能是,东北平原农业数字化水平较低,2021年仅为0.118,低于全国平均水平(0.308),并未对粮食生产安全产生显著作用。

3.4 稳健性检验

为了证明本研究模型及回归结果的可靠性,需要对实际结果进行稳健性检验。参考相关研究<sup>[17,20]</sup>,选

表10 三大平原回归结果  
Table 10 Regression results of the three plains

变量 Variable	东北平原 Northeast plain		华北平原 North China plain		长江中下游平原 Middle-lower Yangtze plain	
	系数 Coefficient	<i>t</i>	系数 Coefficient	<i>t</i>	系数 Coefficient	<i>t</i>
	农业数字化 Agricultural digitization	-0.309	-0.65	0.098**	2.47	0.058***
务农人口 Agricultural population	-0.160	-1.71	-0.094***	-3.17	0.016	0.86
农村用电量 Rural electricity consumption	0.067**	2.32	0.066	3.68	0.015**	2.45
土地质量水平 Land quality level	-14.251	-1.65	-1.343	-0.63	-1.209	-0.94
农业机械化水平 Agricultural mechanization level	0.059	0.63	0.013	0.64	0.016	1.56
农业生产总值 Gross agricultural product	0.144**	2.60	-0.091**	-2.13	0.056***	2.76
常数 Constant	0.024	0.02	1.279	2.82	-0.482	-1.71

择不同模型结果对比、逐步回归和缩尾回归的方法进行稳健性检验。

首先,对比固定效应模型(表6)与门槛效应模型(表9)的回归结果,可知在控制了省份固定效应后,2种模型所得结果基本一致,所以可认为2种模型的回归结果都较为稳健。

在对固定效应模型和门槛模型进行回归时,采用逐步回归法,即在回归过程中逐步加入控制变量,观察回归结果是否会出现较大变化。估计结果表明,在未加入控制变量时,回归结果显著;在加入控制变量后,回归结果仍然显著,且影响系数变化不大。由此,可认为回归结果较为稳健。

为减少异常值对本研究基准回归结果造成的误差,对变量进行前后2.5%的缩尾处理,就是去除掉样本中最大值和最小值及附近2.5%的数值,可以有效剔除样本中的极端数据,具体回归结果见表11。根据估计结果,缩尾处理后的回归结果依然显著,且在逐步加入控制变量后,与固定效应回归结果基本一致。由此表明,农业数字化对粮食生产安全产生的正向显著效应基本稳健。

其次,考虑到内生性问题。第一,由于原始数

据带来的误差。研究样本数据全部来自《中国统计年鉴》<sup>[31]</sup>《中国农村统计年鉴》<sup>[32]</sup>《中国淘宝村研究报告》<sup>[33]</sup>及各省统计年鉴等权威数据库,并且对缺失、遗漏、异常的原始数据进行了相关处理,基本消除了由于原始数据误差而对回归结果造成的影响。第二,由于遗漏重要变量带来的影响。参考现有研究基础上,从农业数字化基础设施、农业产业数字化和农业数字产业化3个维度选取指标衡量农业数字化水平,从可供性、稳定性及持续性3个维度选取指标衡量粮食生产安全水平,多方面考虑了变量选取的全面性。其次,在回归过程中,选取了务农人数、农村用电量、土地质量水平、农业机械化水平及农业生产总值作为控制变量,采用固定效应模型进行估计,以控制个体异质性,即误差项中不随时间变动的遗漏变量。第三,对于变量互为因果的问题。粮食生产安全主要是对粮食的产量、质量等方面进行最终评估,是在粮食的产出端,而农业数字化水平是一种宏观趋势,反映科学技术进步,对粮食生产及流通等投入端发挥效用,因此在二者的因果关系中,农业数字化水平为因。

表 11 缩尾回归结果  
Table 11 Shrink-tail regression results

变量 Variable	模型 5 Model 5		模型 6 Model 6	
	系数	<i>t</i>	系数	<i>t</i>
农业数字化 Agricultural digitization	0.174***	6.22	0.098**	2.31
务农人口 Agricultural population			-0.001	-0.48
农村用电量 Rural electricity consumption			0.015	1.43
土地质量水平 Land quality level			4.316**	2.18
农业机械化水平 Agricultural mechanization level			0.006*	1.78
农业生产总值 Gross agricultural product			0.128***	5.58
常数 Constant	0.293***	47.94	-0.934	-4.52

注:模型5为单变量回归模型,模型6为加入控制变量后的回归模型。

Note: Model 5 is a univariate regression model, and Model 6 is a regression model after adding control variables.

## 4 结论与启示

### 4.1 研究结论

选取2011—2021年我国粮食主产区的面板数据,实证检验了农业数字化对粮食生产安全产生的影响效应,主要研究结论如下:

第一,从总体来看,在样本期内粮食主产区农业数字化水平和粮食生产安全水平二者同步提高。根据面板数据模型的回归结果,农业数字化对粮食生产安全水平具有显著的正向效应,即当数字化水平提高1%时,粮食生产安全水平将提升0.086%。

第二,农业数字化对粮食生产安全的促进作用呈现阶段异质性,即存在显著的门槛效应。农业数字化对粮食生产安全的影响可以划分为两个阶段:当农业数字化处于低水平时,存在“生产率悖论”,对粮食生产安全的影响为负向;当农业数字化处于高水平时,对粮食生产安全产生正向的促进作用。

第三,农业数字化对粮食生产安全的影响程度呈现地区异质性,其中:农业数字化对华北平原粮食生产安全的影响作用较大、长江中下游平原次之,而对东北平原粮食生产安全的影响效应并不显著。

### 4.2 政策启示

第一,推动农业数字化建设,为粮食生产安全提供有力保障。一是强化农村地区数字基础设施建

设,大力改善乡村通信网络质量,营造良好数字经济发展环境,为农户将数字化技术投入到实际农业生产经营提供基础条件<sup>[25]</sup>。扩大数字化的覆盖范围,将数字技术更好的应用到农业生产,鼓励数字技术研发创新,推动数字技术与农业产业深度融合,为粮食产业数字化转型平稳进行保驾护航。二是提高农户的数字素养和数字技能,使数字化与现代农业更好地协调发展,逐渐缩小城乡“数字鸿沟”<sup>[16]</sup>。

第二,依据农业数字化所处阶段,制定差异化策略。由于各地区农业数字化发展水平和粮食生产安全水平存在差异,处于不同的门槛区间,所以应依据区域发展特征采用不同发展路径<sup>[10]</sup>。一是对于农业数字化发展水平较低的地区,如东北平原地区应利用好后发优势,积极借鉴农业数字化高水平地区发展经验,走符合当地特征的特色农业数字化发展道路,夯实农业数字化基础设施建设,抓住农业数字化助推粮食安全的红利。二是对于农业数字化发展水平较高的地区,如华北平原和长江中下游地区,可利用先发优势,保持在智慧农业、数字农村等农业数字化相关方面的财政投入,不断探索农业生产新技术的应用;鼓励拥有新知识、新技术的人才返乡创业,将新技术带到粮食生产流通第一线,不断为农业数字化赋能粮食生产安全发展提供新动力。

第三, 搭建区域协作机制, 共享农业数字化发展经验。加强区域间各省份的深度合作, 促进各区域整体协调发展, 最终实现区域间农业数字化和粮食安全的协同推进。一是对于东北平原等农业数字化水平较低的区域, 应向农业数字化水平领先的地区学习, 减少农业数字化建设中的无效及重复资源投入, 提升农业数字化建设效能。二是对于华北平原等数字化发展程度高的地区, 应向外扩散数字技术、人才等要素, 将数字技术优势向周边地区扩散, 增强辐射效应, 促进数字化资源共享<sup>[35]</sup>。

## 参考文献 References

- [1] 马俊凯, 李光泗, 韩冬. 数字经济赋能粮食供应链韧性: 作用路径和政策取向[J]. 新疆社会科学, 2023(1): 46-54  
Ma J K, Li G S, Han D. Digital economy enabling resilience of food supply chain: Action path and policy orientation [J]. *Xinjiang Social Sciences*, 2023(1): 46-54 (in Chinese)
- [2] 赵和楠, 侯石安. 产粮大县奖励政策促进了县域粮食生产吗: 来自河南县域面板数据的证据[J]. 地方财政研究, 2021(11): 75-85  
Zhao H N, Hou S A. Does the incentive policy for large grain-producing counties promote grain production at county level: Evidence from Henan county panel data [J]. *Local Finance Research*, 2021(11): 75-85 (in Chinese)
- [3] 方振, 李谷成, 廖文梅. 粮食主产区政策对粮食生产安全的影响[J]. 农业现代化研究, 2022, 43(5): 790-802  
Fang Z, Li G C, Liao W M. Effects of policies on grain production security in major grain producing areas [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2022, 43(5): 790-802 (in Chinese)
- [4] 李卓, 王峰伟, 封立涛. 土地流转政策对粮食安全的影响[J]. 财经科学, 2021(3): 94-105  
Li Z, Wang F W, Feng L T. Impact of land transfer policy on food security [J]. *Science of Finance and Economics*, 2021(3): 94-105 (in Chinese)
- [5] 宋亮, 朱强. 玉米收储制度改革对粮食收获质量的影响: 基于省级面板数据的分析[J]. 商业研究, 2021(1): 43-49  
Song L, Zhu Q. Effect of corn collection and storage system reform on grain harvest quality: An analysis based on provincial panel data [J]. *Business Research*, 2021(1): 43-49 (in Chinese)
- [6] Dedrick J, Gurbaxani V, Kraemer K L. Information technology and economic performance: A critical review of the empirical evidence [J]. *ACM Computing Surveys*, 2003, 35(1): 1-28 (in Chinese)
- [7] Piketty T, Saez E. Inequality in the long run [J]. *Science*, 2014, 344(6186): 838-843
- [8] 杨军鸽, 王琴梅. 数字技术与农业高质量发展: 基于数字生产力的视角[J]. 山西财经大学学报, 2023, 45(4): 47-63  
Yang J G, Wang Q M. Digital technology and high-quality development of agriculture: From the perspective of digital productivity [J]. *Journal of Shanxi University of Finance and Economics*, 2023, 45(4): 47-63 (in Chinese)
- [9] 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. Theoretical logic and practical path of digitalization of agricultural whole chain promoting rural industrial transformation [J]. *Reform*, 2023(3): 121-132 (in Chinese)
- [10] 徐旭初, 葛平, 吴彬. 农业产业数字化的实践逻辑及其关键机制: 基于四省四县的多案例分析[J]. 农林经济管理学报, 2023, 22(2): 133-141  
Xu X C, Ge P, Wu B. Practical logic and key mechanism of agricultural industry digitalization: A multi-case analysis based on four provinces and four counties [J]. *Journal of Agriculture and Forestry Economics and Management*, 2023, 22(2): 133-141. (in Chinese)
- [11] 范贝贝, 李瑾, 马晨. 我国作物种业数字化发展: 成效、困境与前瞻[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(12): 25-32  
Fan B B, Li J, Ma C. Digital development of crop seed industry in China: Results, difficulties and prospects [J]. *China Agricultural Science and Technology Review*, 2022, 24(12): 25-32 (in Chinese)
- [12] 张锡科. 智能农机产业发展的观察与分析[J]. 农机市场, 2023(3): 26-27  
Zhang X K. Observation and analysis on the development of intelligent agricultural machinery industry [J]. *Agricultural Machinery Market*, 2023(3): 26-27 (in Chinese)
- [13] 刘婧元, 刘洪银. 数字化赋能农业强国建设的作用机理、现实困境和路径选择[J]. 西南金融, 2023(6): 82-94  
Liu J Y, Liu H Y. The mechanism, realistic dilemma and path choice of the construction of an agricultural power empowered by digitalization [J]. *Southwest Finance*, 2023(6): 82-94 (in Chinese)
- [14] 夏杰长, 孙晓. 数字化赋能农业强国建设的作用机理与实施路径[J]. 山西大学学报: 哲学社会科学版, 2023, 46(1): 140-149  
Xia J C, Sun X. Mechanism and implementation path of digitization empowering agricultural power construction [J]. *Journal of Shanxi University: Philosophy and Social Sciences Edition*, 2023, 46(1): 140-149 (in Chinese)
- [15] 朱继绪, 陈晓诗. 产业数字化对珠三角城市群流通业发展的影响: 基于中介效应和门槛效应的检验[J]. 商业经济研究, 2023(14): 177-180  
Zhu J X, Chen X S. The impact of industrial digitalization on the development of circulation industry in the Pearl River Delta Urban Agglomeration: A test based on intermediary effect and threshold effect [J]. *Research of Business Economics*, 2023(14): 177-180 (in Chinese)
- [16] 黄飞飞, 许秀梅, 陈秀芝. 农业数字化与农业现代化的耦合协调性研究[J]. 北方园艺, 2023(1): 142-150  
Huang F F, Xu X M, Chen X Z. Research on the coupling and coordination of agricultural digitalization and agricultural modernization [J]. *Northern Horticulture*, 2023(1): 142-150 (in Chinese)
- [17] 古川, 黄安琪. 数字化背景下农产品批发业经营效率的变化: 基于面板门槛模型的实证检验[J]. 中国流通经济, 2021, 35(6): 17-27  
Gu C, Huang A Q. The change of operational efficiency of Agricultural wholesale industry under the background of digitalization: An empirical test based on panel threshold model [J]. *China Circulation Economy*, 2021, 35(6): 17-27 (in Chinese)
- [18] 金绍荣, 任赞杰. 乡村数字化对农业绿色全要素生产率的影响[J]. 改革, 2022(12): 102-118  
Jin S R, Ren Z J. Impact of rural digitization on agricultural green total factor productivity [J]. *Reform*, 2022(12): 102-118 (in Chinese)
- [19] 郝爱民, 谭家银. 数字乡村建设对我国粮食体系韧性的影响[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2022, 21(3): 10-24  
Hao A M, Tan J Y. The impact of digital rural construction on the resilience of food system in China [J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2022, 21(3): 10-24 (in Chinese)
- [20] 薛选登, 谷秀云. 非粮化对粮食绿色全要素生产率的门槛效应研究[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(7): 17-26  
Xue X D, Gu X Y. Study on threshold effect of non-grainization on green total factor productivity of grain [J]. *China Agricultural Resources and*

- Regional Planning*, 2022, 43(7): 17-26 (in Chinese)
- [21] 方世敏, 戴玉聪. 乡村旅游发展对粮食安全的影响: 基于粮食主产区的门槛面板数据分析[J]. 吉首大学学报: 社会科学版, 2020, 41(3): 112-122  
Fang S M, Dai Y C. Impact of rural tourism development on food security: Based on threshold panel data analysis of major grain-producing areas[J]. *Journal of Jishou University: Social Sciences Edition*, 2020, 41(3): 112-122 (in Chinese)
- [22] 唐丽霞, 赵文杰, 李小云. 全球粮食安全评价体系的深层逻辑分析[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2020(5): 151-159, 175-176  
Tang L X, Zhao W J, Li X Y. Deep logic analysis of global food security evaluation system [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2020(5): 151-159, 175-176 (in Chinese)
- [23] 高维龙. 农业服务化对粮食产业高质量发展的影响效应及作用机制[J]. 广东财经大学学报, 2021, 36(3): 61-76  
Gao W L. Effect and mechanism of agricultural servitization on high-quality development of grain industry [J]. *Journal of Guangdong University of Finance and Economics*, 2021, 36(3): 61-76 (in Chinese)
- [24] 蒋团标, 罗琳. 农机投入、财政支农对粮食产出的影响研究: 基于2007—2019年广东、广西市级面板数据的实证分析[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(6): 215-222  
Jiang T B, Luo L. Effects of agricultural machinery input and fiscal support on grain output: An empirical analysis based on municipal panel data in Guangdong and Guangxi from 2007 to 2019 [J]. *Chinese Journal of Agricultural Mechanization*, 2021, 42(6): 215-222 (in Chinese)
- [25] 慕娟, 马立平. 中国农业农村数字经济发展指数测度与区域差异[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2021, 20(4): 90-98  
Mu J, Ma L P. Measurement and regional differences of digital economy development index in China's agriculture and rural areas [J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2021, 20(4): 90-98 (in Chinese)
- [26] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 数字乡村发展战略纲要[EB/OL]. (2019-05-16) [2024-01-15]. [http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content\\_5392269.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm)  
General Office of the CPC Central Committee, General Office of the State Council. Digital outline [EB/OL]. Rural development strategy (2019-05-16) [2024-01-15]. [http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content\\_5392269.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm) (in Chinese)
- [27] 农业农村部信息中心. 2021全国县域农业农村信息化发展水平评级报告[R/OL]. (2021-12-20) [2024-01-15]. [http://www.agri.cn/V20/ztzl\\_1/szync/lbg/202112/P020211220311961420836.pdf](http://www.agri.cn/V20/ztzl_1/szync/lbg/202112/P020211220311961420836.pdf)  
Information Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. 2021 national county agricultural rural informatization development level rating report [R/OL]. (2021-12-20) [2024-01-15]. [http://www.agri.cn/V20/ztzl\\_1/szync/lbg/202112/P020211220311961420836.pdf](http://www.agri.cn/V20/ztzl_1/szync/lbg/202112/P020211220311961420836.pdf) (in Chinese)
- [28] 苏锦旗, 潘婷, 董长宏. 中国农业数字化发展及区域差异评价[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2023, 23(4): 135-144  
Su J Q, Pan T, Dong C H. Evaluation on the development and regional differences of agricultural digitalization in China [J]. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2023, 23(4): 135-144 (in Chinese)
- [29] 杨水根, 王吉. 流通数字化赋能乡村产业振兴的机理与效应[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2023, 22(2): 1-14  
Yang S G, Wang J. Mechanism and effect of circulation digitalization empowering rural industry revitalization [J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2023, 22(2): 1-14 (in Chinese)
- [30] 鲁钊阳, 杜雨潼. 数字经济赋能农业高质量发展的实证研究[J]. 中国流通经济, 2022, 36(11): 3-14  
Lu Z Y, Du Y T. An empirical study on digital economy enabling high-quality agricultural development [J]. *China Circulation Economy*, 2022, 36(11): 3-14 (in Chinese)
- [31] 中华人民共和国国家统计局. 中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011—2021  
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *Chinese Rural Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2011-2021
- [32] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011—2021  
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *Chinese Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2011-2021
- [33] 阿里研究院. 2020中国淘宝村研究报告[EB/OL]. (2020-10-20) [2024-01-15]. <http://www.aliresearch.com/ch/information/informationdetails?articleCode=126860487966199808&type=%E6%96%B0%E9%97%BB>  
Alibaba Research Institute. 2020 China Taobao Village research report [EB/OL]. (2020-10-20) [2024-01-15]. <http://www.aliresearch.com/ch/information/informationdetails?articleCode=126860487966199808&type=%E6%96%B0%E9%97%BB>
- [34] 石文香, 陈盛伟. 农业保险促进了农民增收吗: 基于省级面板门槛模型的实证检验[J]. 经济体制改革, 2019(2): 84-91  
Shi W X, Chen S W. Does agricultural insurance promote farmers' income increase: Empirical test based on provincial panel threshold model [J]. *Reform of Economic System*, 2019(2): 84-91 (in Chinese)
- [35] 杨海丽, 向能, 罗越月. 农产品流通数字化能改善农村居民生活水平吗: 来自省域面板数据与空间杜宾模型的经验证据[J]. 宏观经济研究, 2022(10): 88-102  
Yang H L, Xiang N, Luo Y Y. Can digitalization of agricultural products circulation improve rural residents' living standards: Empirical evidence from provincial panel data and spatial Durbin model [J]. *Macroeconomic Research*, 2022(10): 88-102 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 刘威, 管理学博士, 现为河南工业大学管理学院副教授, 物流系主任。主要从事粮食经济、粮食供应链研究。主持国家社会科学基金(21BJY060)、教育部人文社会科学基金(19YJC790085)等国家级课题2项、省部级课题6项。发表论文30余篇, 出版专著2部, 获得省部级优秀成果奖4项, 政府内参收录2份, 参与制定粮食行业国家标准2项, 承担《郑州市“十四五”粮食安全保障体系建设发展规划》等政府委托课题10余项。