



覃朝晖,裴雪可,余思明,黄正伟. 数字经济如何推动农业机械化水平提升? ——基于劳动力转移视角[J]. 中国农业大学学报,2024,29(04):54-66.
QIN Zhaohui, PEI Xueke, YU Siming, HUANG Zhengwei. How does the digital economy promote the level of agricultural mechanization? Based on the perspective of labor migration[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(04): 54-66.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.04.05

数字经济如何推动农业机械化水平提升? ——基于劳动力转移视角

覃朝晖 裴雪可 余思明 黄正伟*

(三峡大学 经济与管理学院,湖北 宜昌 443002)

摘要 为探究数字经济对农业机械化水平提升的影响,采用2014—2021年中国1 610个县域面板数据,利用基准回归模型、门槛效应模型和中介效应模型,系统分析了数字经济对农业机械化水平提升的作用机制。结果表明:1)数字经济显著推动了农业机械化水平提升;2)门槛效应分析表明,随着农业机械化水平的提升,数字经济对农业机械化的影响作用边际递减;3)数字经济通过劳动力转移影响农业机械化水平提升;4)异质性分析表明,与所属地级市距离较远、土地经营规模小、地形坡度较大的地区数字经济对农业机械化水平的提升效果更明显。由此,提出发展现代农业机械化和实施差别化农机策略等政策建议。

关键词 数字经济; 农业机械化; 劳动力转移; 土地经营规模; 地形坡度

中图分类号 F323.3 文章编号 1007-4333(2024)04-0054-13 文献标志码 A

How does the digital economy promote the level of agricultural mechanization? Based on the perspective of labor migration

QIN Zhaohui, PEI Xueke, YU Siming, HUANG Zhengwei*

(College of Economics and Management, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract In order to investigate the impact of digital economy on the enhancement of agricultural mechanization level, based on the panel data of 1 610 counties in China from 2014 to 2021, the impact of the digital economy on the enhancement of agricultural mechanization level was systematically analyzed by using benchmark regression model, threshold effect model, and mediation effect model. The results showed that: 1) The digital economy significantly promoted the level of agricultural mechanization; 2) The results of threshold effect analysis showed that the influence of digital economy on agricultural mechanization has gradually weakened with the improvement of the level of agricultural mechanization; 3) The digital economy promoted labor transfer, and the transfer of labor force to non-agricultural industries inhibited the improvement of agricultural mechanization level; 4) The results of heterogeneity analysis showed that when the distance was further from the prefecture-level city to which it belonged, the scale of the land operation was small, and the slope of the terrain was more significant, the enhancement effect of digital economy was more obvious. Therefore, policy recommendations, such as the development of present agricultural mechanization and implementation of a differentiated agricultural machinery strategy, are proposed in this study.

收稿日期: 2023-06-14

基金项目: 国家社会科学基金项目(21BMZ138)

第一作者: 覃朝晖(ORCID:0000-0003-2534-0178),教授,主要从事农村经济与乡村产业发展研究,E-mail:zhaohuirr@163.com

通讯作者: 黄正伟(ORCID:0000-0002-6844-9803),教授,主要从事管理经济学研究,E-mail:zhengwei Huang@ctgu.edu.cn

Keywords digital economy; agricultural mechanization; labor migration; land management scale; topographic slope

2023年中央一号文件强调要加快先进农机研发推广,大力推进农业机械化、智能化。在城镇化、现代化持续推进中,农村人口加速向城镇流动,导致农村劳动力短缺,农业生产人力成本不断攀升,对农业机械化的需求与日俱增^[1]。随着数字技术与传统农业的深度融合,数字经济在赋能农业生产技术革新^[2]、机器广泛应用^[3]、农业现代化转型^[4]等方面具有重要作用,这无疑为传统农业生产方式变革带来了机遇,也为农业机械化水平的提升注入了强大动力。基于此,探索数字经济对农业机械化水平提升的影响,对农业农村现代化转型具有重要的理论和现实意义。

农业机械化是实现农业农村现代化转型的关键所在,如何提升农业机械化水平成为中国政府和学术界高度重视的议题。现阶段农业机械化发展已经取得了显著成效,但仍存在发展不平衡不充分、农机技术水平不高、装备总量不足等问题。现有文献主要从两方面来研究如何提升农业机械化水平:一是通过提供农机购置补贴、农机培训和贷款服务等扶持政策^[5-7];二是通过大规模土地流转,推动土地集约化规模化经营,促进农业机械的使用^[8-9]。鲜有学者从农业机械本身需求和供给角度出发,探究提升农业机械化水平的路径。综合来看,有待进一步深化对农业机械化水平提升的影响因素与作用机制研究。

已有研究表明,以数字经济为代表的新型经济形态对农业生产发展具有重要影响。数字经济正在加快推进农业生产方式变革^[3],已经成为农业发展的动力源泉。数字经济能够吸引资本、技术、人才等传统要素进入农业农村领域,进而推动乡村振兴^[10]。数字经济促进以人工智能为代表的农业数字化技术的发展,增加了先进智能农业机械的供给,有利于农业生产效率提升^[11]。总之,数字经济对发挥农业机械化在农业现代化转型中的重要作用创造了条件。

综上所述,在现有文献的基础上,本研究拟采用2014—2021年中国1 610个县域面板数据,利用基准回归模型、门槛效应模型和中介效应模型,探究数字经济对农业机械化水平的影响因素与作用机制,以期为农业农村现代化转型和乡村振兴提供理论与实践支持。

1 理论分析与研究假说

1.1 数字经济对农业机械化水平提升的直接影响

Feder^[12]于1982年提出的技术扩散效应理论认为,研发投入与信息扩散是技术扩散的前提条件。数字经济依托互联网、云计算和大数据,促进先进农业机械的广泛使用,为农业机械化水平提升提供强有力的支撑。农业机械化水平提升的关键在于提供符合不同地形条件、不同作物的新型智能化农业机械,扩大和满足市场需求。一方面,数字经济的发展从需求端加快了农业机械智能化研发进度,推动农业机械装备更新。数字经济能够通过互联网和信息服务优势^[13],为农业机械研发带来大量技术人才。农业机械研发人员借助数字经济提供的数据共享平台,获取农业机械研究、设计和制造的各个环境所需要的信息,为知识与技术的传播和交换提供了高效的途径,从而提升农业机械的研发效率。另一方面,数字经济的发展从供给端扩大农业机械市场规模,打破了农业机械市场信息的时空限制。数字经济具有市场整合功能,能将市场上分散的信息整合到统一的数字平台上,克服农户进入市场的信息障碍,帮助农户获取农机市场信息,降低信息获取成本,实现资源在更大的空间范围配置^[13]。与传统经济相比,数字经济改善了市场交易的支付方式,数字化支付能够提高支付效率,降低交易成本^[14]。同时,数字经济的高渗透性、低成本等特征促进了直播、共享经济等数字经济模式,节约了农机市场的交易时间。基于此,本研究提出以下假设。

H1:数字经济促进了农业机械化水平提升。

1.2 数字经济对农业机械化水平提升的间接影响

Lewis^[15]于1954年提出的二元经济理论认为,传统的农业生产部门的劳动者更愿意流向生产率更高的现代工业部门。劳动力作为农业生产中必备的生产要素,其在农业机械化生产的作用不言而喻。数字经济通过劳动力转移影响农业机械化水平提升。数字经济催生了一批新业态,创造了大量新的用工需求,成为吸纳就业的重要渠道^[16]。数字经济创造更多就业机会,能够促进农业劳动力向非农产业转移^[17],增加非农就业和土地流转的概

率^[18]。农业机械投入增加不仅能弥补农业劳动力减少的不足,还可以解决土地流转带来的耕作问题。劳动力数量减少对农业机械化存在显著的负向影响,劳动力非农就业及兼业化对农业机械化具有促进作用^[19]。数字经济通过促进劳动力向非农产业转移,是促进还是抑制了农业机械化水平提升需要进一步验证。

H2:数字经济通过劳动力转移影响农业机械化水平提升。

2 研究设计

2.1 数据来源

本研究用到的数字普惠金融指数来源于郭峰等测算的北京大学数字普惠金融数据库,数字乡村指数来源于北京大学新农村发展研究院数字乡村项目组开发的《县域数字乡村指数》,具体为2018、2019和2020年的数字乡村指数数据,其余数据来源于《中国县域统计年鉴》^[20]。本研究以县域名称为标识,将数字普惠金融数据、数字乡村指数与《中国县域统计年鉴》^[20]中的统计数据匹配,部分变量的缺失值采用线性插值法补齐。考虑到从2014年开始农业机械化发展总体速度下滑,农业机械化发展的质量和效益问题未能得到解决^[21],以及北京、上海、天津、重庆市和西藏自治区农业种植面积相对较少,所以为了确保模型的结论具有更广泛的普遍性,将这5个省份的数据剔除,共选取了2014—2021年26个省1610个县域数据,经过清理得到12880个面板数据集。

2.2 变量的定义及描述性统计

1)被解释变量:农业机械化水平。农业机械化水平的测量借鉴伍骏骞等^[22]的做法,同时考虑到不同耕地面积的县域所需要的农业机械总动力是存在差异的,其农业机械化水平变量的测量方式为各县域农业机械总动力与县域耕地面积的比值。

2)核心解释变量:数字经济。数字经济是以数据资源为关键要素,以现代信息网络为主要载体,以信息通信技术融合应用、全要素数字化转型为重要推动力的新经济形态。涉及数字经济具体测度的相关文献较少,现有文献没有统一的测度指标。根据已有文献,本研究参照赵涛等^[23]、刘军等^[24]的方法,将互联网发展作为测度核心,并加入数字交易的指标体系构建思路,结合县域层面相关数据可

获得性,从互联网发展和数字金融普惠两方面对数字经济综合发展水平进行测度。其中,互联网发展从互联网宽带接入户数、固定电话用户数和移动电话用户数3个指标进行衡量;数字普惠金融使用的是北京大学数字普惠金融指数衡量。为避免主观赋权的弊端,以及多指标数据重叠问题,运用主成份分析方法计算了各县域的数字经济发展指数。

3)调节变量:劳动力转移。由于目前没有关于农村劳动力转移的宏观统计数据,因此本研究借鉴了李谷成等^[25]的经验做法,用第一产业就业人数占总就业人数的比例反向代表劳动力转移。

4)控制变量。控制变量的选取借鉴了孙学涛等^[7]、王舒娟等^[8]的处理方法,共选取了8个控制变量,分别为化肥施用量、农业灌溉率、固定资产投资、公共财政支出、产业结构升级、企业发展水平、农村用电量和农村居民收入。在农业生产经营过程中,化肥施用量和农业灌溉率反应了当地农业生产条件,农业生产条件的改善促进了农业机械化水平的提高。固定资产投资提高了农业部门的资本要素可得性,促进了当地农业生产性投资,进而影响农业机械化水平。公共财政支出在市场资源配置中发挥基础性作用,代表公共服务供给能力。第二产业增加值比重的上升意味着产业结构升级,将促进农业工业化发展,表现为农业机械化程度的提高。企业通过技术创新提高自身发展水平,技术进步影响农业机械化水平。单位产值的能源消耗量越低,代表技术水平越高。随着农民收入的增加,会增加农业资本要素投入,这种投资在农业中表现为农业机械化水平的提升。变量的具体定义和描述性统计如表1所示。

2.3 基准模型、门槛效应模型及中介效应模型

1)基准模型。为检验数字经济与农业机械化水平的关系,本研究构建了以下回归模型:

$$\text{Mechanization}_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Digital}_{i,t} + \alpha_2 X_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

式中:Mechanization_{*i,t*}为县域*i*在*t*年份的农业机械化水平指数;Digital_{*i,t*}为省份*i*在*t*年份的数字普惠金融指数;向量*X_{i,t}*为影响农业机械化水平的控制因素; μ_i 为县域固定效应; δ_t 为时间固定效应; $\varepsilon_{i,t}$ 为随机扰动项; α_0 为常数项; α_1 和 α_2 为待估参数。

2)门槛效应模型。为验证数字经济与农业机械化水平是否存在单一线性关系,本研究构建如下

表1 变量定义与描述性统计

Table 1 Variable definition and descriptive statistics

变量 Variable	变量定义 Variable definition	平均值 Mean	标准差 SD
数字经济 Digital economy	综合指标构成	-1.331	0.711
农业机械化水平 Agricultural mechanization level	农业机械总动力与县域耕地面积之比, (kW/hm ²)	12.236	7.251
劳动力转移 Labor transfer	第一产业从业人数与乡村从业总人数之比	0.433	0.179
化肥施用量 Fertilizer application rate	农用化肥施用量与县域耕地面积之比, (kg/hm ²)	7.789	6.780
农业灌溉率 Agricultural irrigation rate	农业灌溉面积与县域耕地面积之比	9.212	3.222
固定资产投资 Investment in fixed assets	固定资产投资总额取对数	14.051	1.057
公共财政支出 Public financial expenditures	公共财政支出与县域地区生产总值之比	0.284	0.220
产业结构升级 Industrial structure	第二产业增加值与第一产业增加值之比	3.820	6.115
企业发展水平 Level of enterprise development	规模以上工业总产值与县域地区生产总值之比	1.279	1.042
农村用电量 Rural electricity consumption	用电量与县域地区生产总值之比, (kW·h/元)	0.128	0.175
农村居民收入 Income of rural residents	农村居民人均可支配收入取对数	9.420	0.401

门槛回归模型:

$$\text{Mechanization}_{i,t} = \varphi_0 + \varphi_1 \text{Digital}_{i,t} + I(q_{i,t} \leq \theta) + \varphi_2 \text{Digital}_{i,t} \times I(q_{i,t} > \theta) + \varphi_c X_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

式中: $\text{Mechanization}_{i,t}$ 为农业机械化水平指数; $q_{i,t}$ 是门槛变量; $I(\cdot)$ 为指示函数, 当括号内条件为真则取值为1, 反之为0; θ 为特定的门槛值。如果门槛值的选择是合理的, 并且门槛值通过显著性检验, 则 φ_1 和 φ_2 的估计值应显著不同。

3) 中介效应模型。为检验数字经济对农业机械化的驱动机制, 本研究设置如下中介效应模型:

$$\text{Labor}_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \text{Digital}_{i,t} + \beta_2 X_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{i,t} \quad (3)$$

$$\text{Mechanization}_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 \text{Digital}_{i,t} + \gamma_2 \text{Labor}_{i,t} + \gamma_3 X_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

式(3)和(4)中: $\text{Labor}_{i,t}$ 表示劳动力转移变量; 其他变量的含义与式(1)一致。

3 实证结果分析

3.1 基准回归分析

表2报告了数字经济影响农业机械化水平的线性估计结果, 模型(1)为不考虑控制变量的回归结果, 模型(2)为加入所有控制变量的回归结果, 无论是否加入控制变量, 数字经济对农业机械化水平的影响均在1%的水平上显著, 且对应的系数均为正值, 说明数字经济对农业机械化水平提高具有显著的促进作用, 验证了假说1。可能的解释为: 第一,

表2 数字经济影响农业机械化水平的基准回归结果
Table 2 Benchmark regression results on the impact of the digital economy on the level of agricultural mechanization

变量 Variable	模型(1) Model(1)	模型(2) Model(2)
数字经济	0.106***	0.068***
Digital Economy	(0.017)	(0.016)
化肥施用量		0.002***
Fertilizer application rate		(0.000)
农业灌溉率		0.011***
Irrigation rate		(0.003)
固定资产投资		0.072***
Investment in fixed assets		(0.012)
公共财政支出		0.026**
Public financial expenditures		(0.011)
产业结构升级		0.050***
Industrial Structure		(0.009)
企业发展水平		0.026**
Level of enterprise development		(0.009)
农村用电量		-0.109***
Rural electricity consumption		(0.026)
农村居民收入		0.220***
Income of rural residents		(0.049)
年份固定效应	已控制	已控制
Year fixed effect		
县域固定效应	已控制	已控制
County fixed effects		
观测值 Observation	12 880	12 880
R^2	0.942	0.945

注:模型(1)为不考虑控制变量的回归结果,模型(2)为加入所有控制变量的回归结果。*、**和***分别表示在10%、5%、1%下的显著性水平。下同。

Note: Model (1) is the regression result without considering the control variables, and model (2) is the regression result with all control variables added. *, ** and *** represent significance level at 10%, 5% and 1%, respectively. The same below.

数字经济具有数字化、信息化特征,为农业经济发展提供各类资源要素的同时,也为农业机械化发展提供了契机。第二,数字经济具有低边际成本甚至

零边际成本的特性,具有快速传播和扩散的功能,促使不同县域农业机械化水平提升。第三,高效便捷的数字化支付手段不仅使消费者摆脱了现金的

束缚,而且大大降低了交易成本,增加了农业机械交易市场的活跃度。对于控制变量,化肥施用量和农业灌溉率的估计系数均显著为正,表明农业生产条件越好,越有利于农业机械化水平提升。固定资产投资和公共财政支出估计系数均显著为正,说明政府对农业部门扶持力度越大,更有利于农业机械化发展。产业结构升级和企业发展水平系数均显著为正,说明工业化发展和企业技术创新有利于推动农业规模化经营,促进农业机械化发展。农村用电量的系数值为负且显著,说明单位产值能源消耗越大,具有抑制农业机械化发展的作用,可能原因是能源消耗对技术的依赖较强,但是我国技术水平有限。农村居民收入的估计系数显著为正,说明农民收入增加会促进农户使用农业机械。

3.2 门槛效应检验

中国各地区之间的农业机械化发展存在巨大差异,为更好地发挥数字经济在农业机械化水平提升中的作用,需要确定数字经济对不同程度农业机械化水平的提升作用。为了更加直观准确地观察数字经济在农业机械化不同发展阶段的非均衡效用,本研究运用门槛效应模型,以农业机械化水平为门槛变量,使用Bootstrap抽样法模拟似然比统计量1000次,估计出门槛值及个数的相关统计量,其门槛回归结果如表3所示。研究结果表明,数字经济对农业机械化的影响存在单门槛效应。当农业

表3 门槛回归结果

Table 3 Threshold regression results

变量 Variable	结果 Result
门槛变量 Threshold variables	农业机械化水平
门槛个数 Number of thresholds	单一门槛
门槛值 q Threshold value	8.792
$Digital_{i,t} \times I(q_{i,t} \leq \theta)$	0.056*** (2.17)
$Digital_{i,t} \times I(q_{i,t} > \theta)$	0.049*** (1.95)
单一门槛 P 值 Single threshold P value	0.013
N	12 880
F 值	48.25
R^2	0.920

机械化水平指数低于8.792时,数字经济对农业机械化水平影响的估计系数约为0.056。当农业机械化水平指数高于8.792时,数字经济对农业机械化水平影响的估计系数约为0.049。这说明随着农业机械化水平的提升,数字经济对农业机械化的影响作用边际递减。农业机械化较低的地区从数字经济发展中获取到正向影响更多,这与地区农业机械化滞后但信息化加速发展有关。

3.3 内生性及稳健性检验

1) 内生性问题

农业机械化程度高的县域,其生产效率和经济发展会得到提升,这会促进数字经济的发展,因此,本研究可能存在双向因果的内生性问题。借鉴黄群慧等^[26]的方法,选取1984年各地区电话数作为工具变量降低模型的内生性问题。数字经济与传统的通讯技术有着密切的联系,满足相关性。历史上的电话数对现在的农业机械化发展几乎没有任何影响,满足外生性。需要说明的是,该数据是横截面数据,不能直接应用于面板数据分析,参照赵涛等^[23]的处理方式,选取一个时间序列数据与其相乘。具体而言,以全国上一年互联网宽带接入用户数分别与1984年各地区电话数相乘作为本研究的工具变量。内生性检验结果如表4所示,Hausman检验结果显示数字经济存在内生性 [$\chi^2(1) = 60.012, \text{prob} > \chi^2 = 0.000$]。LM statistic 检验拒绝工具变量识别不足的假设,弱工具变量检验的 F 统计量的值 $> 10\%$ 的临界值,拒绝弱工具变量的假设,说明选取的工具变量与数字经济是高度相关的。数字经济的系数在 1% 水平上显著为正,说明前述得出的数字经济对农业机械化水平提升具有较强的促进作用是稳健的。

2) 其他稳健性检验

本研究从3个方面检验数字经济对农业机械化水平影响的稳健性(表5)。第一,替换被解释变量。使用数字乡村指数替换数字经济指标,数字乡村指数对农业机械化水平影响的估计系数显著为正,与基准回归是一致的;第二,解释变量滞后一期。为减弱反向因果的影响,本研究选择数字经济滞后一期作为解释变量重新进行估计,数字经济对农业机械化水平影响的估计系数显著为正,与基准回归是一致的;第三,缩减样本。对总体回归样本上下缩减 0.5% ,数字经济对农业机械化水平影响的估计

表4 内生性检验结果
Table 4 Endogeneity test results

变量 Variable	第一阶段 First stage	第二阶段 Second stage
工具变量 Instrumental variable	0.125** (0.164)	
数字经济 Digital economy		0.018*** (0.265)
识别不足检验 P 值 Kleibergen-paap rk LM statistic P value	43.256 [0.000]	
弱识别检验 F 值 Kleibergen-paap rk Wald statistic F value	18.173 [21.64]	
控制变量 Control variable	已控制	已控制
年份固定效应 Year fixed effect	已控制	已控制
县域固定效应 County fixed effects	已控制	已控制
观测值 Observation	12 880	12 880
R^2	0.921	0.890

表5 稳健性检验回归结果
Table 5 Robustness test regression results

变量 Variable	替换核心解释变量 Replacement core explanatory variable	解释变量滞后一期 Agricultural mechanization lagging phase 1	缩减样本 Reduction of samples
数字经济 Digital economy	0.371*** (0.214)	0.012*** (0.001)	0.101** (0.006)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制
年份固定效应 Year fixed effect	已控制	已控制	已控制
县域固定效应 County fixed effects	已控制	已控制	已控制
观测值 Observation	4 830	11 269	8 690
R^2	0.931	0.920	0.920

系数均显著为正,与基准回归是一致的。综上所述,上述检验证实了基准回归结论的可靠性。

3.4 中介机制分析

数字经济通过劳动力转移影响农业机械化水

平的中介机制检验结果如表6。模型(1)数字经济对劳动力转移的影响在1%的水平上显著为正,模型(2)数字经济对农业机械化水平的影响在1%的水平上显著为正,劳动力转移对农业机械化水平的

影响在1%的水平上显著为负,将模型(1)和(2)中数字经济的估计系数对比发现,加入劳动力转移后数字经济对农业机械化水平的影响会变大,说明数字经济通过劳动力转移抑制了农业机械化水平提升的路径存在。可能的解释是,我国农业现代化发

展还处于初级阶段,农业机械化水平的发展受制于各地区的劳动力要素,劳动力转移抑制了农业机械化的发展。进一步抽样1000次进行Bootstrap检验,结果显示间接效应在1%水平上显著,进一步证实了该机制存在。

表6 中介机制检验结果
Table 6 Mechanism test results

变量 Variable	模型(1): 劳动力转移	模型(2): 农业机械化水平
	Model(1): Labor migration	Model(2): Agricultural mechanization level
数字经济	0.059***	0.069***
Digital economy	(0.029)	(0.016)
劳动力转移		-0.010***
Labor migration		(0.004)
控制变量	已控制	已控制
Control variable		
年份固定效应	已控制	已控制
Year fixed effect		
县域固定效应	已控制	已控制
County fixed effects		
Bootstrap 检验		1.912** (0.036)
观测值 Observation	12 880	12 880
R ²	0.775	0.945

3.5 异质性分析

1) 与所属地级市的距离

数字经济与传统经济最大的区别在于数字经济能更快、更高效的服务于各个地区^[27]。与所属地级市中心的距离反映了各县域受地级市经济辐射的难易程度。距离地级市中心较近的县域公共服务要素相对丰富,距离地级市中心较远的县域公共服务要素相对匮乏^[17]。数字经济突破了地理距离的限制,为距离地级市中心较远的县域获得公共服务提供了可能^[28]。本研究利用县域空间距离数据,将1610个县分为距离地级市中心较近(前537个县)、距离地级市中心较适中(中537个县)和距离地级市中心较远(后536个县)3组,以检验与所属地级市中心的距离的异质性。由表7的估计结果可知,数字经济对与所属地级市距离适中和远的县域比

距离近的县域农业机械化水平影响的估计系数更大。可能的原因是距离地级市中心越近,一方面意味着劳动力流动机会多,农业依赖性较弱,另一方面隐含的是数字经济能够克服地理距离的限制,使得偏远地区受益于数字经济。

2) 土地经营规模

农业机械化是农业规模集约化经营的关键^[29]。土地经营规模越大,农机的空转损耗越低,相应的作业效率越高,越有助于农业机械化水平的提高^[30]。土地经营规模越大,越容易采用农机作业^[31],更能发挥农业机械的规模效用^[32]。Otsuka^[33]认为,应该通过大规模的机械化来扩大耕种规模,从而提高农业生产能力。根据中国户均不足0.667 hm²(10亩)的国情^[34],本研究将依照户均经营面积0.667 hm²(10亩)的标准来界定大、小农户。由表8可知,数字经

表7 地理距离对数字经济影响农业机械化水平的异质性检验

Table 7 Heterogeneity test of geographic distance on the level of agricultural mechanization affected by digital economy

变量 Variable	与所属地级市中心距离近 Distance close	与所属地级市中心距离适中 Distance moderate	与所属地级市中心距离远 Distance far
数字经济 Digital economy	0.004*** (0.016)	0.056*** (0.072)	0.093** (0.024)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制
年份固定效应 Year fixed effect	已控制	已控制	已控制
县域固定效应 County fixed effects	已控制	已控制	已控制
SUR Tes	已通过	已通过	已通过
观测值 Observation	1 840	5 633	5 407
R^2	0.950	0.936	0.949

济对土地经营规模大的农户农业机械化水平的影响系数为0.076,对土地经营规模小的农户农业机械化水平的影响系数为0.080,这说明数字经济对土地经营规模小的农户比大农户农业机械化的提

升效果更明显。可能的解释是,土地经营规模大的农户通常是规模经营户,已经掌握了各类农业机械化的信息,凭借自身优势直接购置或使用农业机械完成农业生产的各个环节。土地经营规模小的农

表8 土地经营规模对数字经济影响农业机械化水平的异质性检验结果

Table 8 Heterogeneity test of land operation scale on the level of agricultural mechanization affected by digital economy

变量 Variable	土地经营规模小 Small-scale land management	土地经营规模大 Large-scale land management
数字经济 Digital economy	0.080*** (0.011)	0.076** (0.018)
控制变量 Control variable	已控制	已控制
年份固定效应 Year fixed effect	已控制	已控制
县域固定效应 County fixed effects	已控制	已控制
SUR Tes	已通过	已通过
观测值 Observation	11 883	997
R^2	0.977	0.933

户使用农业机械的成本高,越需要数字经济的扶持。传统经济排斥对接小农户,数字经济正好解决了这一问题,这与 Wineman 等^[35]研究结果是一致的。

3) 地形条件

农业机械化在山地、丘陵等地形坡度大的地区推行比较困难。郑旭媛等^[36]认为机械替代劳动受到地形地貌的限制,地形坡度大的地带田间机耕道路等农业基础设施条件也普遍比较薄弱,不适合运用大型农业机械^[37]。目前能应用于地形坡度大的机械种类少,这也会对农业机械化进程产生影响。本研究参照

李雪铭等^[38]的研究,考虑县域起伏度的平均值、最大值和最小值,将地形起伏度按照 ≤ 0.3 、 $0.3\sim 0.8$ 和 ≥ 0.8 划分成3个等级,分别是地形坡度小、地形坡度中等和地形坡度大3类。由表9可知,数字经济对地形坡度小和中等的县域农业机械化影响不显著,对地形坡度大的县域农业机械化影响系数为0.052,且在1%的统计水平上显著。可能的原因是,地形坡度小的地区地势坦荡,农业机械化发展较成熟,这就使得地形坡度小的县域对农业机械化的提升空间有限。在地形坡度大的地区,农业机械化发展较为缓慢,数字经济由此带来的边际效应也更高。

表9 地形条件对数字经济影响农业机械化水平的异质性检验

Table 9 Heterogeneity test of terrain conditions on the level of agricultural mechanization affected by digital economy

变量 Variable	地形坡度小 Small slope	地形坡度中 Moderate slope	地形坡度大 Large slope
数字经济 Digital economy	-0.039 (0.031)	0.058 (0.007)	0.052*** (0.011)
控制变量 Control variable	已控制	已控制	已控制
年份固定效应 Year fixed effect	已控制	已控制	已控制
县域固定效应 County fixed effects	已控制	已控制	已控制
SUR Tes	已通过	已通过	已通过
观测值 Observation	6 172	2 144	4 564
R ²	0.916	0.920	0.949

4 结论与政策启示

在数字经济迅速发展的时代背景下,通过发展数字经济来促进农业机械化发展,既是数字经济服务农业农村现代化转型的内在要求,也是实现乡村振兴的有效路径。本研究基于2014—2021年中国1 610个县域面板数据,研究数字经济对农业机械化水平提升的影响及其作用机制。结果表明,数字经济显著推动了农业机械化水平提升,并且随着农业机械化水平的提升,数字经济对农业机械化的影响作用边际递减;数字经济通过促进劳动力转移来影

响农业机械化水平提升;异质性分析表明,相比于其他地区,与所属地级市距离较远、土地经营规模小、地形坡度较大地区农业机械化水平的提升效果更明显。这些结果为本研究提供了以下3个方面的启示。

第一,数字经济是农业机械化水平提升的新路径,应着力提升数字经济服务农业机械化的能力,加快开发适宜农业经济发展特点的数字经济服务模式。数字经济在数字平台建设、缓解资金压力和技术支持方面具有重要作用,利用数字经济优势支持农机研发、交易、支付和供应,以更好地推动农业

机械化的转型升级。政府应为农机的获取与使用创造良好环境,引导现代农业机械化健康发展。

第二,政府应该加大5G网络、大数据中心和智能终端的数字经济建设,强化农业机械供给与农户需求信息匹配度,实现地区间农业机械资源的合理流动和科学调配,促进农业机械化发展。需要指出的是,随着农村劳动力向城市转移,农村劳动力数量减少,使用农业机械耕作的需求越来越迫切,农户在农业机械上的投资也会随之增加,但对农业机械的过度投资可能会破坏投入和产出之间的平衡^[39]。因此,农户应该合理投资购买农业机械。

第三,数字经济对不同县域农业机械化的影响存在显著差异,应根据当地地理位置、农户的土地经营规模和地形条件,适当地运用数字经济促进农业机械化均衡发展。具体来说,加快数字信息平台建设,扩大数字经济的辐射能力,使得禀赋条件较差的县域也能享受数字经济带来的福利;鼓励农户将农作物区域化、连片化种植,提升农业生产的规模化;加快推进丘陵山区农田宜机化改造,研发制造适宜不同地形和农作物的小型农机、智慧农机^[40]。

参考文献 References

- [1] 夏方舟, 黄晶. 从绝对贫困到相对贫困: 土地要素对贫困影响分异识别研究[J]. 中国土地科学, 2022, 36(4):16-26
Xia F Z, Huang J. From absolute poverty to relative poverty: A study to identify the divergent impact of land elements on poverty[J]. *China Land Science* 2022, 36(4):16-26 (in Chinese)
- [2] 郭爱君, 杨春林, 张永年, 钟方雷. 数字经济产业发展对城市绿色创新效率的影响: 基于两阶段价值链视角的分析[J]. 城市问题, 2023, 330(1):49-59
Guo A J, Yang C L, Zhang Y N, Zhong F L. The impact of industrial development of digital economy on the efficiency of urban green innovation: Analysis based on two-stage value chain perspective [J]. *Urban Problems*, 2023, 330(1):49-59 (in Chinese)
- [3] 李文睿, 周书俊. 数字经济背景下我国农业生产方式变革: 机理、矛盾与纾解[J]. 西安交通大学学报: 社会科学版, 2023, 43(1):65-73
Li W R, Zhou S J. Reform of agricultural production mode in China under the background of digital economy: Mechanism, contradiction and solution [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University: Social Sciences*, 2023, 43(1):65-73 (in Chinese)
- [4] 陈卫洪, 王莹. 数字化赋能新型农业经营体系构建研究: “智农通”的实践与启示[J]. 农业经济问题, 2022, 513(9):86-99
Chen W H, Wang Y. A study on the construction of a new agricultural management system with digital empowerment: Practice and enlightenment of “Zhinongtong”[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2022, 513(9):86-99 (in Chinese)
- [5] 公茂刚, 张梅娇. 承包地“三权分置”与农业补贴对农业机械化的影响研究: 基于PSM-DID方法的实证分析[J]. 统计研究, 2022, 39(4):64-79
Gong M G, Zhang M J. Research on the effect of “separation of three rights” of contracted land and agricultural subsidies on agricultural mechanization: An empirical analysis based on PSM-DID Method [J]. *Statistical Research*, 2022, 39(4):64-79 (in Chinese)
- [6] 焦长权, 董磊明. 从“过密化”到“机械化”: 中国农业机械化革命的历程、动力和影响(1980—2015年)[J]. 管理世界, 2018, 34(10):173-190
Jiao C Q, Dong L M. From “over-density” to “mechanization”: China’s agricultural mechanization history, dynamics and impact of the revolution (1980-2015)[J]. *Journal of Management World*, 2018, 34(10):173-190 (in Chinese)
- [7] 孙学涛, 于婷, 于法稳. 数字普惠金融对农业机械化的影响: 来自中国1869个县域的证据[J]. 中国农村经济, 2022, 446(2):76-93
Sun X T, Yu T, Yu F W. The impact of digital finance on agricultural mechanization: Evidence from 1869 counties in China[J]. *Chinese Rural Economy*, 2022, 446(2):76-93 (in Chinese)
- [8] 王舒娟, 马俊凯, 李宁. 农地经营规模如何影响农户的农业机械化选择[J]. 农村经济, 2021, 462(4):111-118
Wang S J, Ma J K, Li N. How does the scale of farming operations affect farm mechanization choices of farm households [J]. *Rural Economy*, 2021, 462(4):111-118 (in Chinese)
- [9] 张永奇. 数字普惠金融对农村土地流转的影响及机制研究: 来自CFPS与PKU-DFHC的经验证据[J]. 经济与管理, 2022, 36(3):30-40
Zhang Y Q. Study on the influence and mechanism of digital inclusive finance on rural land transfer: Empirical evidence from CFPS and PKU-DFHC[J]. *Economy and Management*, 2022, 36(3):30-40 (in Chinese)
- [10] 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 the high-quality development of agriculture[J]. *China Business and Market*, 2022, 36(11):3-14 (in Chinese)
- [11] 孙光林, 李婷, 莫媛. 数字经济对中国农业全要素生产率的影响[J]. 经济与管理评论, 2023, 39(1):92-103
Sun G L, Li T, Mo Y. The impact of digital economy on China’s agricultural total factor productivity [J]. *Review of Economy and Management*, 2023, 39(1):92-103(in Chinese)
- [12] Feder G. On exports and economic growth[J]. *Journal of Development Economics*, 1982, 12(1):59-73
- [13] 严国莉, 王保林. 数字平台利基创造力研究[J]. 中国软科学, 2022, 384(12):112-124
Yang G L, Wang B L. Research on digital platform niche creation [J]. *China Soft Science*, 2022, 384(12):112-124 (in Chinese)
- [14] 尹志超, 吴子硕, 蒋佳伶. 移动支付对中国家庭储蓄率的影响[J]. 金融研究, 2022, 507(9):57-74
Yin Z C, Wu Z S, Jang J L. The effect of mobile payment on the household savings rate in China [J]. *Journal of Financial Research*, 2022, 507(9):57-74 (in Chinese)
- [15] Lewis W. Economic development under the condition of infinite labor supply[J]. *The Manchester School*, 1954, 22(2):139-191.
- [16] 郑国楠, 李长治. 数字鸿沟影响了数字红利的均衡分配吗: 基于中国省级城乡收入差距的实证检验[J]. 宏观经济研究, 2022, 286(9):33-50

- Zheng G N, Li C Z. Does the digital divide affect the equilibrium distribution of the digital dividend: An empirical test based on the provincial urban-rural income gap in China [J]. *Macroeconomics*, 2022, 286(9):33-50 (in Chinese)
- [17] 刘信恒. 数字经济、资源再配置与出口国内附加值率[J]. *国际经贸探索*, 2023, 39(1):36-51
- Liu X H. Digital economy, resource reallocation and export domestic value added rate [J]. *International Economics and Trade Research*, 2023, 39(1):36-51 (in Chinese)
- [18] 王伟新, 许蒋鸿, 陆玮, 殷徐康. 数字经济时代互联网使用如何影响农业劳动力转移决策: 基于CGSS数据的实证分析[J]. *中国农业大学学报*, 2023, 28(4):257-273
- Wang W X, Xu J H, Lu W, Yin X K. How internet use affects agricultural workforce transfer decision during digital economy era: Empirical analysis based on CGSS data. [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(4):257-273 (in Chinese)
- [19] 苏卫良, 刘承芳, 张林秀. 非农就业对农户家庭农业机械化服务影响研究[J]. *农业技术经济*, 2016, 258(10):4-11
- Su W L, Liu C F, Zhang L X. A study on the impact of non-farm employment on farm households' agricultural mechanization services [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2016, 258(10):4-11 (in Chinese)
- [20] 中华人民共和国国家统计局. 中国县域统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014-2021
- National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China County Statistics Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2014-2021 (in Chinese)
- [21] 路玉彬, 周振, 张祚本, 孔祥智. 改革开放40年农业机械化发展与制度变迁[J]. *西北农林科技大学学报: 社会科学版*, 2018, 18(6):18-25
- Lu Y B, Zhou Z, Zhang Z B, Kong X Z. Institutional change during development process of agricultural mechanization in 40 years of reform and opening up in China [J]. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2018, 18(6):18-25 (in Chinese)
- [22] 伍骏骞, 方师乐, 李谷成, 徐广彤. 中国农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应分析: 基于跨区作业视角[J]. *中国农村经济*, 2017, 390(6):44-57
- Wu J Q, Fang S L, Li G C, Xu G T. The spillover effect of agricultural mechanization on grain output in China: From the perspective of cross-regional mechanization service [J]. *Chinese Rural Economy*, 2017, 390(6):44-57 (in Chinese)
- [23] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展: 来自中国城市的经验证据[J]. *管理世界*, 2020, 36(10):65-76
- Zhao T, Zhang Z, Liang S K. Digital economy, entrepreneurship, and high-quality economic development: Empirical evidence from urban China [J]. *Management World*, 2020, 36(10):65-76 (in Chinese)
- [24] 王军, 朱杰, 罗茜. 中国数字经济水平及演变测度[J]. *数量经济技术经济研究*, 2021, 38(7):26-42
- Wang J, Zhu J, Luo Q. Research on the measurement of China's digital economy development and the characteristics [J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2021, 38(7):26-42 (in Chinese)
- [25] 李谷成, 李焯阳, 周晓时. 农业机械化、劳动力转移与农民收入增长: 孰因孰果[J]. *中国农村经济*, 2018, 407(11):112-127
- Li G C, Li Y Y, Zhou X S. Agricultural mechanization, labor transfer and the growth of farmer's income: A re-examination of causality [J]. *Chinese Rural Economy*, 2018, 407(11):112-127 (in Chinese)
- [26] 黄群慧, 余泳泽, 张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. *中国工业经济*, 2019, 377(8):5-23
- Huang Q H, Yu Y Z, Zhang S L. Internet development and productivity growth in manufacturing industry: Internal mechanism and China experiences [J]. *China Industrial Economics*, 2019, 377(8):5-23 (in Chinese)
- [27] 马为彪, 吴玉鸣. 数字经济发展能够缩小区域经济发展差异吗: 基于“中心—外围”视角[J]. *财经科学*, 2023, 418(1):81-96
- Ma W B, Wu Y M. Can the development of the digital economy narrow the regional economic development differences: Based on a “center-periphery” perspective [J]. *Finance & Economics*, 2023, 418(1):81-96 (in Chinese)
- [28] 张亚丽, 项本武. 数字经济发展对中国市域经济韧性的影响效应[J]. *经济地理*, 2023, 43(1):105-113
- Zhang Y L, Xiang B W. The impact of digital economy development on urban economic resilience [J]. *Economic Geography*, 2023, 43(1):105-113 (in Chinese)
- [29] Mano Y, Takahashi K, Otsuka K. Mechanization in land preparation and agricultural intensification: The case of rice farming in the Cote d'Ivoire [J]. *Agricultural Economics*, 2020, 51(6):899-908
- [30] 冀县卿, 钱忠好, 李友芝. 土地经营规模扩张有助于提升水稻生产效率吗: 基于上海市松江区家庭农场的分析[J]. *中国农村经济*, 2019, 415(7):71-88
- Ji X Q, Qian Z H, Li Y Y. The impact of operational farm size on rice production efficiency: An analysis based on the survey data of family farms from Songjiang, Shanghai, China [J]. *Chinese Rural Economy*, 2019, 415(7):71-88 (in Chinese)
- [31] 李琴, 李大胜, 陈风波. 地块特征对农业机械服务利用的影响分析: 基于南方五省稻农的实证研究[J]. *农业经济问题*, 2017, 38(7):43-52, 110-111
- Li Q, Li D S, Chen F B. Analysis of the influence of plot characteristics on the utilization of agricultural machinery services: An empirical study based on rice farmers in five southern provinces [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2017, 38(7):43-52, 110-111 (in Chinese)
- [32] Yamauchi F. Rising real wages, mechanization and growing advantage of large farms: Evidence from Indonesia [J]. *Food Policy*, 2016, 58:62-69
- [33] Otsuka K. Food insecurity, income inequality, and the changing comparative advantage in world agriculture [J]. *Agricultural Economics*, 2013, 44:7-18
- [34] 中国农户土地经营规模研究课题组. 中国农户土地经营规模研究[J]. *管理世界*, 1991(4):117-128, 225
- Research Group of Land Operation Scale of China's Peasant Households. A study on land operation scale of China's peasant households [J]. *Journal of Management World*, 1991(4):117-128, 225 (in Chinese)
- [35] Wineman A, Jayne T S. Factor market activity and the inverse farm size-productivity relationship in Tanzania [J]. *Journal of Development Studies*, 2021, 57(3):443-464
- [36] 郑旭媛, 徐志刚. 资源禀赋约束、要素替代与诱致性技术变迁: 以中国粮食生产的机械化为例[J]. *经济学(季刊)*, 2017, 16(1):45-66
- Zheng X Y, Xu Z G. Endowment restriction, factor substitution and induced technological innovation: A case research on the grain producing

- mechanization in China[J]. *China Economic Quarterly*, 2017, 16(1):45-66 (in Chinese)
- [37] 周晶, 陈玉萍, 阮冬燕. 地形条件对农业机械化发展区域不平衡的影响: 基于湖北省县级面板数据的实证分析[J]. *中国农村经济*, 2013, 345(9): 63-77
- Zhou J, Chen Y P, Ruan D Y. Topographical conditions on the development of agricultural mechanization regional impact of imbalance: Empirical analysis based on county-level panel data in Hubei Province[J]. *Chinese Rural Economy*, 2013, 345(9):63-77 (in Chinese)
- [38] 李雪铭, 李双建, 徐丛春. 基于Surfer7.0的城市居住小区区位条件评价研究[J]. *经济地理*, 2004, 24(5):638-642
- Li X M, Li S J, Xu C C. Research on urban residential districts locational evaluation based on Surfer7.0[J]. *Economic Geography*, 2004, 24(5): 638-642 (in Chinese)
- [39] Baba T, Nomura H, Srean P, Than T, Ito K. Effects of mechanization and investments on the technical efficiency of cassava farms in Cambodia[J]. *Agriculture-Basel*, 2022, 12(4): 441. [2023-05-04]. DOI: 10.3390/agriculture12040441
- [40] 董欢. 农业机械化的微观行为选择及其影响因素: 基于农户禀赋及种植环节的实证分析[J]. *农村经济*, 2015, 393(7):85-90
- Dong H. Micro-behavioral choices of agricultural mechanization and their influencing factors: An empirical analysis based on farmers' endowments and planting links[J]. *Rural Economy*, 2015, 393(7):85-90 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 覃朝晖, 博士、教授、博导, 现任教于三峡大学经济与管理学院, 专注于农业农村发展、农村金融、乡村振兴与区域可持续发展研究。主要研究成果包括: 出版专著与编著6部, 在《统计研究》《农业经济问题》《农业技术经济》《华南农业大学学报(社会科学版)》, *Resources Policy*, *Environmental Development* 等 CSCI、SSCI、SCI 刊物上发表论文 50 余篇。主持国家社科基金项目 2 项, 省部级项目 2 项, 厅局级项目 10 余项; 参与国家社会科学基金重大项目(22&ZD123)以及其他重要项目 20 余项。



通讯作者简介: 黄正伟, 教授、博士。九三学社三峡大学支社主委、宜昌市西陵区政协委员、全国物流工程协会理事、中国青年科协理事、湖北省青年科协理事。发表论文 50 余篇, 主持国家自然科学基金面上项目 1 项, 出版专著教材 6 部, 申请软件著作权 1 项, 获得国家科技进步二等奖 1 项、湖北省科技进步二等奖 2 项、湖北省政府发展研究二等奖 1 项、宜昌市科技进步一等奖 1 项。