

# AI赋能农业社会化服务对蔬菜绿色生产效率的影响研究

## —以山东寿光设施蔬菜为例

丛霖, 刘洪瑞, 赵佳宁, 李梅芳\*, 尹宝全\*

(中国农业大学烟台研究院, 山东 烟台 264670)

**摘要:**本研究基于山东寿光设施蔬菜产业的实践探索, 阐释人工智能(AI)技术赋能农业社会化服务对蔬菜绿色生产效率的作用机制。通过构建多元线性回归模型, 揭示了农业社会化服务通过技术溢出效应、规模经济效应及市场倒逼机制显著提升绿色生产效率的内在逻辑。结果表明, AI技术与社会化服务的协同效应突破传统要素配置的路径依赖, 在降低技术采纳门槛的同时, 促使绿色生产技术从离散应用转向系统集成, 形成兼具经济可行性与生态可持续性的新型生产范式。研究发现, 土地规模与农业生产经验作为关键控制变量, 分别通过规模弹性优化与隐性知识积累为技术渗透提供结构性支撑, 受教育年限与政策补贴未呈现显著性特征。研究创新性地提出AI技术与社会化服务深度融合的“技术-制度”协同框架, 政策启示在于需重点培育专业化服务主体、完善数字基础设施并重构财政支农的激励相容机制, 以实现农业生产效率提升与生态效益内生的双重目标。

**关键词:**人工智能(AI)技术; 农业社会化服务组织; 蔬菜绿色生产效率; 多元回归模型

中图分类号: F326.6; F326.13 文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2025)06-0188-08

## Research on the Impact of AI-enabled Agricultural Social Services on the Green Production Efficiency of Vegetables

—A Case Study of Protected Vegetables in Shouguang, Shandong

CONG Lin, LIU Hongrui, ZHAO Jianing, LI Meifang\*, YIN Baoquan\*

(Yantai Research Institute, China Agricultural University, Yantai 264670, China)

**Abstract:** This study based on the practical exploration of the protected vegetable industry in Shouguang, Shandong Province, elucidates the mechanism by which artificial intelligence (AI) technology empowers agricultural social services to improve the green production efficiency of vegetables. By constructing a multiple linear regression model, this study reveals the internal logic through which agricultural social services significantly improve green production efficiency via technological spillover effects, economies of scale, and market-driven mechanisms. The results indicate that the synergistic effect between AI technology and agricultural social services breaks through the path dependence of traditional resource allocation, lowering the barriers to technology adoption while shifting green production technologies from discrete applications to system integration, thereby forming a new production paradigm that is both economically viable and ecologically sustainable. The study finds that land scale and agricultural production experience, as key control variables, provide structural support for technological penetration through scale elasticity optimization and tacit knowledge accumulation, while years of education and policy subsidies are not statistically significant. The study innovatively proposes a "technology-institution" collaborative framework for the deep integration of AI technology and agricultural social services, and its policy implications lie in focusing on cultivating specialized service entities, improving digital infrastructure, and restructuring the incentive compatibility mechanisms for financial support to agriculture, in order to achieve the dual goals of improving agricultural production efficiency and internalizing ecological benefits.

收稿日期: 2025-04-12

基金项目: 农业农村部农业行业业务监管项目(29012308); 烟台市教育局校地融合项目(2022XDRHXMQT24)

作者简介: 丛霖(2004-), 女, 在读本科, 从事电子商务、农业经济研究。

通信作者: 李梅芳, E-mail: limeifang@cau.edu.cn

尹宝全, E-mail: yinbaoquan@cau.edu.cn

**Key words:** Artificial intelligence (AI) technology; Agricultural social service organizations; Green production efficiency of vegetables; Multiple linear regression model

在我国“双碳”目标与乡村振兴协同推进的背景下,农业社会化服务作为衔接小农户与现代农业的关键纽带,正经历以人工智能(以下简称AI)为核心的数字化转型浪潮。2022年我国农业生产数字化率已达25.4%,其中AI赋能的社会化服务贡献率超过40%,成为驱动农业现代化的重要引擎<sup>[1]</sup>。2023年中央一号文件明确提出“推进智慧农业建设,加快农业农村大数据应用”,标志着AI技术深度嵌入农业社会化服务体系已上升为国家战略。然而,作为高资源消耗型产业的蔬菜种植领域,其绿色生产效率长期受制于要素配置失衡、面源污染突出、产销衔接不畅等现实困境,如何通过AI技术完善社会化服务模式、破解绿色生产瓶颈,亟待理论与实践的创新突破。

已有研究发现,生产资源错配对蔬菜绿色生产效率有抑制效应<sup>[2]</sup>。李欠男等<sup>[3]</sup>从地理集聚特征角度探讨了其对蔬菜绿色生产效率的影响。另有研究发现规模效率对蔬菜绿色生产效率有负面作用<sup>[4]</sup>。基于碳排放视角,蔬菜绿色生产效率在资源配置方面的表现不佳<sup>[5]</sup>。中国绿色生产效率呈现出先增长后下降的空间分异特征<sup>[6]</sup>。于丽艳、李中东等<sup>[7-8]</sup>均从区域变迁的角度分析了中国绿色生产效率的发展情况。尽管目前已有众多研究聚焦于蔬菜绿色生产效率,但尚未有学者从农业社会化服务与AI技术的双视角下进行深入探讨。基于此,本研究聚焦寿光市蔬菜种植,首次立足于农业社会化服务组织这一关键载体,重点探讨AI技术赋能社会化服务的协同机制,创新性地将服务主体的数字化转型与绿色生产流程再造相结合,旨在破解技术应用“最后一公里”与服务供需结构性矛盾的双重困境,为提升蔬菜绿色生产效率提供新的理论解释和实践路径。

## 1 寿光蔬菜发展现状

依托“全国蔬菜质量标准中心”建设,寿光明确AI、区块链等技术在种苗培育、植保服务、流通溯源等环节的应用标准,并于2017年被认定为“全国农业农村信息化示范基地”,重点建设“蔬菜产业大脑”平台<sup>[9]</sup>。因此,寿光具备开展研究的必要条件,同时作为试点市可以为农业可持续发展提供重要范本。

在国家级战略引领下,寿光通过“数字棚改”

工程累计完成5000余个大棚物联网改造,单棚最高补贴达3万元<sup>[10]</sup>,并吸引京东农服、极飞科技等15家头部企业设立区域服务中心,形成“政策扶持+市场驱动”的双轮发展格局<sup>[11]</sup>。截至2023年,全市设施蔬菜领域农业物联网应用率达68.3%,远超全国19.5%的平均水平,其中洛城街道建成的2.1万个“5G+AI”智能大棚集群集成环境监测、水肥一体化系统,使服务成本降低27%,区块链溯源体系覆盖12个生产节点,实现15%~20%的市场溢价<sup>[12]</sup>。

政府主导的“棚掌柜”数字服务平台整合85%以上农业合作社数据,提供AI农技咨询、无人植保机调度等核心功能,注册用户突破12万户<sup>[13]</sup>;企业运营“种好菜”APP基于20年生产数据训练种植决策模型,用户采纳率达74%,京东农场寿光基地则通过“神农大脑”系统带动周边2000农户增收1.8万元<sup>[14]</sup>。

在技术应用层面,极飞科技无人机搭载的多光谱相机实现92.3%的病虫草害识别准确率,推动农药减量35%<sup>[15]</sup>,菜鸟网络AI算法优化冷链物流路径使损耗率从18%降至6.5%<sup>[16]</sup>。当前家庭农场、合作社、龙头企业数字化服务渗透率呈现梯度特征(62.4%、89.7%、100%),但老年农户APP使用率不足30%、跨主体数据孤岛等问题制约服务效能释放<sup>[17]</sup>。

## 2 相关理论及研究假设

### 2.1 农业社会化服务对蔬菜绿色全要素生产率直接效应

农业社会化服务组织是为农业生产提供全方位专业化生产性服务的经济组织<sup>[18]</sup>。这类组织可提供农资供销、技术指导、生产机械租赁、金融保险以及生产信息等社会化服务<sup>[19]</sup>,农业社会化服务深化了劳动分工,进一步调整了劳动力、资本、土地等投入规模,以及农药、化肥等环境要素的投入结构<sup>[20]</sup>,减少了交易时间和成本,提高了农业绿色生产效率,同时突破了传统的家庭经营模式和绿色技术效率的界限,将土地要素的单一表达模式向多种组合方式转变,为农业规模经营提供了更多的维度,从而进一步提高了农业绿色生产效率,并推动了经济和社会的最大化发展<sup>[19]</sup>。基于上述理论研究,提出假设H<sub>1</sub>:农业社会化服务

对蔬菜绿色全要素生产率有显著正向影响。

## 2.2 AI技术赋能农业社会化服务对蔬菜绿色生产率的调节效应

农业领域应用的AI技术是基于数据驱动的智能算法体系,通过优化决策提升生产效率和资源利用率<sup>[21]</sup>。通过AI技术构建的数字平台,农业社会化服务能够整合分散的土地资源,推动规模经济的实现,并跨越时空限制,提供远程定制服务,使农民能够轻松获得农业服务<sup>[22]</sup>。AI技术可以优化农业生产管理,提升供应链透明度和产品可追溯性,增强农产品的市场竞争力<sup>[23]</sup>,提高期望产出,从而提高农业绿色生产效率。利用实时数据,AI技术帮助农业生产者精准施肥和施药,减少化肥和农药的不必要使用,降低环境污染<sup>[24]</sup>,进一步提高农业绿色生产效率。基于上述理论研究,提出假设H<sub>2</sub>:AI技术可以正向调节农业社会化服务对蔬菜绿色生产效率的影响。

## 3 数据来源、研究变量及研究模型

### 3.1 数据来源

研究数据来源于寿光市各类蔬菜种植者的问卷调查,内容涉及种植者的基本信息、技术使用、市场情况等,结合定量和定性问题。通过线上和线下两种方式发放问卷,共发放问卷350份,回收327份,回收率为93.4%,所有问卷均有效。除问卷调查外,对农业部门工作人员、农业合作社、蔬菜种植户等进行重点访谈,提供更加直观、具体的信息支撑。

## 3.2 研究变量

### 3.2.1 被解释变量

选取蔬菜绿色生产效率作为被解释变量,参考对农业绿色生产效率的定义<sup>[25]</sup>,采用静态与动态相结合的方法,考虑到环境约束引入碳排放作为非期望产出指标,采用投入导向的DEA模型,假设规模报酬可变,以最小化资源消耗为目标,测算蔬菜绿色生产效率,具体变量设置见表1。

表1 蔬菜绿色生产效率投入产出指标  
Table 1 Vegetable green production efficiency input-output indicators

类型 Type	变量 Variable
期望产出	蔬菜产量/kg·hm <sup>-2</sup>
非期望产出	碳排放/kg CO <sub>2</sub> e·hm <sup>-2</sup>
投入	化肥投入/kg·hm <sup>-2</sup>
	农药投入/kg·hm <sup>-2</sup>
	农膜投入/kg·hm <sup>-2</sup>
	用水投入/m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>
	农机费用/元·hm <sup>-2</sup>
	人工费用/元·hm <sup>-2</sup>
	种子费用/元·hm <sup>-2</sup>

### 3.2.2 核心解释变量——农业社会化服务

参考钟亮亮等<sup>[26]</sup>的研究,根据服务功能不同,将农业社会化服务体系分为7种分项服务,并参考唐玉佩等<sup>[27]</sup>的研究采用熵值法测度农业社会化服务组织对农户的服务强度,具体变量设置见表2。

表2 农业社会化服务熵值法变量设置

Table 2 Variable settings for agricultural socialized service entropy value method

分项层 Itemized layer	具体指标 Specific indicator	指标定义 Indicator definition
农业资金服务 (0.073 1)	化肥供应量/kg·年 <sup>-1</sup> (0.526 3)	农户年均通过农业社会化服务组织获得的化肥量
	农药供应量/kg·年 <sup>-1</sup> (0.443 7)	农户年均通过农业社会化服务组织获得的农药量
农业金融保险服务 (0.439 0)	保险保费支出/元·年 <sup>-1</sup> (0.543 0)	农户年均通过农业社会化服务组织购买保险支出的保费金额
	贷款金额/元·年 <sup>-1</sup> (0.457 0)	农户年均通过农业社会化服务组织贷款金额
农业科技服务(0.164 4)	技术培训次数/次·年 <sup>-1</sup> (0.621 7)	农户年均通过农业社会化服务组织进行技术培训的次数
	农业技术员服务次数/次·年 <sup>-1</sup> (0.378 3)	农户年均通过农业社会化服务组织获得服务的次数

续表2  
Table 2 Continued

分项层 Itemized layer	具体指标 Specific indicator	指标定义 Indicator definition
农业信息化服务 (0.105 0)	服务响应时效/h (0.636 3)	农户提出问题后获得服务组织提供的有效解决方案的平均时间
	服务使用频率/次·年 <sup>-1</sup> (0.363 7)	农户年均主动使用信息化服务的次数
农业机械化服务 (0.241 4)	农业机械租用费用/元·年 <sup>-1</sup> (0.265 5)	农户年均租用农业社会化服务组织的农业机械的费用
	农业机械覆盖率/% (0.734 5)	农户种植过程中的机械覆盖率
农业基础设施服务 (0.372 1)	大棚搭建支持率/% (0.741 3)	通过农业社会化服务组织建设大棚的面积占比
	有效灌溉率/% (0.258 7)	通过农业社会化服务组织灌溉的面积占比

3.2.3 调节变量——AI技术

AI技术主要通过搭建数据平台,智能设备采集实时数据,影响蔬菜种植户生产决策进而对农业生产产生影响<sup>[28-29]</sup>,因此,本研究从智能设备覆盖率、数据平台使用率、AI决策正确率3个维度衡量AI技术的赋能效果,以检验农业社会化服务与AI技术对蔬菜绿色生产效率的交互影响。

3.2.4 控制变量

文化程度、种植年限均显著影响蔬菜绿色生产效率<sup>[30-31]</sup>,土地规模、政策补贴等影响蔬菜绿色生产效率<sup>[32-33]</sup>。基于此,本研究选取受教育程度、农业生产经验、土地规模、政策补贴4项作为控制变量。各变量说明与描述性统计结果见表3。

表3 变量说明与描述性统计  
Table 3 Variable explanation and descriptive statistics

变量类型 Variable type	变量 Variable	变量定义与赋值 Definition and assignment	均值 Mean	标准差 Standard deviation
被解释变量	蔬菜绿色生产效率(Y)	DEA 计算结果	0.527	0.150
核心解释变量	农业社会化服务(X <sub>1</sub> )	熵值法计算结果	0.591	0.507
调节变量	AI技术(X <sub>2</sub> )	多元回归模型计算结果	0.558	0.371
控制变量	受教育程度(X <sub>3</sub> )	实际受教育年限/年	10.501	2.800
	农业生产经验(X <sub>4</sub> )	种植年限/年	18.057	5.270
	土地规模(X <sub>5</sub> )	实际经营的土地面积/hm <sup>2</sup>	0.872	0.336
	政策补贴(X <sub>6</sub> )	是否获得政府补贴(1=是,0=否)	0.714	0.461

3.3 研究模型

农业社会化服务对蔬菜绿色全要素生产率的影响研究,由于被解释变量为连续变量,因此选择构建多元线性回归模型进行回归分析,同时设定下列模型方程:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{3i} + \beta_3 X_{4i} + \beta_4 X_{5i} + \beta_5 X_{6i} + \epsilon_i \dots\dots\dots (1)$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 (X_{1i} \times X_{2i}) + \beta_2 X_{3i} + \beta_3 X_{4i} + \beta_4 X_{5i} + \beta_5 X_{6i} + \epsilon_i \dots\dots\dots (2)$$

$\beta_0$ 是截距项; $\beta_1 \sim \beta_5$ 是回归系数,表示各自变量对因变量Y的影响程度; $\epsilon_i$ 是误差项,表示模型未能解释的部分。

通过加入 $(X_{1i} \times X_{2i})$ ,即农业社会化服务与AI技术的交互项来考察AI技术的调节作用。如果加入交互项后, $R^2$ 有所提升,则表明AI技术赋能对农业社会化服务与绿色生产效率之间的关系具有调节作用。

## 4 实证结果及分析

### 4.1 多重共线性检验

为保证回归结果有效,首先对自变量间多重共线性进行检验。采用方差膨胀因子(VIF)作为多重共线性检验的指标。当 $VIF>3$ 时,可认为解释变量之间存在一定程度的共线性;当 $VIF>10$ 时,可认为解释变量之间存在高度共线性。综合全部检验结果,各解释变量之间的共线性程度在1.064~1.262,均处于合理范围之内,满足独立性原

则,不存在显著共线性。

### 4.2 回归模型结果分析

运用寿光蔬菜种植户调查数据,用SPSS 23.0软件进行多元线性回归分析,参数估计结果如表4所示。由于各变量单位不同,因此回归系数符号仅能反映各个变量对蔬菜绿色全要素生产率的影响方向,且其大小并没有直接的实际意义,为了消除量纲的影响在模型(2)数据基础上计算各变量的边际效应值。

表4 模型估计结果  
Table 4 Model estimation results

变量类型 Variable type	变量名称 Variable name	模型1 Model 1	模型2 Model 2	边际效应(标准化系数) Marginal effect (Standardized coefficient)
		系数 Coefficient	系数 Coefficient	
核心解释变量	农业社会化服务	0.091** (0.035)	0.125** (0.028)	0.423
调节变量	AI技术		0.114*** (0.002)	0.282
	农业社会化服务*AI技术		0.175* (0.006)	0.219
控制变量	受教育程度	0.002 (0.002)	0.002 (0.001)	0.041
	农业生产经验	0.005** (0.005)	0.006** (0.004)	0.198
	土地规模	0.051* (0.007)	0.051* (0.007)	0.114
	政策补贴	0.007 (0.033)	0.005 (0.028)	0.016
	常数项	0.498** (0.058)	0.513** (0.044)	—
	$R^2$	0.680	0.721	
	调整 $R^2$	0.660	0.700	
	F值	33.007***	33.966***	

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示10%、5%和1%的显著性水平;括号中为标准误。

Note: \*, \*\*, and \*\*\* indicate significance at the 10%, 5%, and 1% levels, respectively; standard errors are in parentheses.

#### 4.2.1 核心解释变量回归结果分析——农业社会化服务

模型1目的在于研究不考虑AI技术的干扰时,农业社会化服务对于蔬菜绿色生产效率的影响情况。其中,农业社会化服务呈现出显著性,且系数为正。意味着农业社会化服务对于蔬菜绿色生产效率会产生显著的正向影响。

由表4可知,农业社会化服务在5%水平上显

著,其边际效应达到0.423。表明在控制其他变量,其他条件不变的情况下,蔬菜种植户接受农业社会化服务的强度每提升1个单位,其蔬菜绿色生产效率平均提升42.3%,凸显出设施蔬菜产业对专业化服务的强依赖性特征,其作用机制在寿光市设施蔬菜产业集群中得到多维印证,调研数据表明,寿光市高淮村接受全程托管服务的农户化肥减量幅度达到28.6%。

具体作用路径有3点:第一,整合分散的农业资源。农业社会化服务组织可以将测土配方、生物防治等绿色技术以标准化服务包形式嵌入生产过程,有效克服了小农户技术采纳能力不足的瓶颈。这种技术溢出效应在蔬菜种植中尤为显著,如叶菜类作物对病虫害防治时效性和施肥精准度有更高要求,社会化服务提供的统防统治和智能灌溉系统可显著降低化学投入品滥用。第二,通过规模效应可降低绿色技术的单位使用成本。单个农户购置智能监测设备或聘请农技专家的边际成本较高,而社会化服务的共享模式使精准农业技术变得经济可行。实地调研发现,当单个农户面临智能监测设备12.8万元/套的购置成本时,社会化服务的共享模式将技术成本压缩至传统方式的1/5,进一步促使无人机植保、土壤墒情监测等精准农业技术普及率提高至73.4%,形成技术采纳的良性循环。第三,服务组织构建的产销对接网络产生市场倒逼机制。通过社会化服务网络将消费端绿色需求传导至生产端,借助质量追溯体系,依托垂直采购体系,使绿色技术应用强度与溢价收益直接挂钩,同时利用渠道主导地位积极推进绿色生产规程,最终驱动生产端主动优化投入品结构和采纳绿色技术,实现市场信号向绿色转型动能的系统性转化。

#### 4.2.2 调节变量回归结果分析——AI技术

本研究发现AI技术与农业社会化服务存在显著协同效应,从回归结果看,从模型(1)至(2)的 $R^2$ 从0.680提升至0.721,说明引入AI技术变量后解释力增强4.1个百分点,农业社会化服务的系数提高,表明AI技术赋能农业社会化服务后对蔬菜绿色生产效率的提升有重要作用,揭示了数字技术赋能传统农业服务的创新机制。

由表4可知,农业社会化服务和AI技术的交互项在1%的水平上显著,且边际效应为0.219。意味着农业社会化服务对蔬菜绿色生产效率产生影响时,在其他条件不变的情况下,AI技术使用强度每提升1个单位,其蔬菜绿色生产效率平均提升28.2%。主要原因是通过融合深度学习算法与多源异构数据,AI驱动的决策支持系统能够突破传统农业经营模式的局限性,在病虫害预警、水肥管理及环境调控等核心环节实现精准化干预。农业社会化服务体系作为技术扩散载体,依托云平台整合边缘计算与物联网感知网络,构建动态监测-智能分析-定向执行的闭环调控体系,显著增强生产主体对资源利用效率与环境风险的

精细化管控能力,从而放大农业社会化服务效能,使得农业社会化服务从经验驱动转向数据驱动。调研可知,寿光蔬菜高科技示范园通过AI技术将病虫害预警精度从传统服务的72%提升至89%,社会化服务中的植保方案能提前10~15 d部署。

#### 4.2.3 控制变量回归结果分析

根据表4回归结果分析,控制变量对蔬菜绿色生产效率的影响呈现差异化特征。从模型(1)至(2),调整后的 $R^2$ 从0.680提升至0.720,增幅达4个百分点,表明随着AI技术的引入控制变量的影响并未被稀释,而是与农业社会化服务、AI技术共同作用于蔬菜绿色生产效率,调整后的 $R^2$ 提升验证了这种协同效应的稳健性。

土地规模在10%水平上显著,边际效应为0.114,表明在其他条件不变的情况下,政府补贴每提升1个单位,绿色全要素生产率可提高11.4%。源于土地规模通过改变要素配置的规模弹性,使精准灌溉、智能监测等资本密集型技术应用的边际成本趋于合理化,同时强化生产主体在服务采购议价与技术迭代跟进方面的结构性优势。

农业生产经验在5%水平上显著,边际效应为0.198,表明在其他条件不变的情况下,农业生产经验每提升1个单位,蔬菜绿色生产效率可提高19.8%,主要原因在于长期实践积累形成的隐性知识体系,可以通过优化农事操作判断与风险应对策略,增强对复杂环境的适应性管理能力,进而降低技术转化过程中的试错成本。

受教育程度与政策补贴未通过显著性检验,其边际效应分别为0.041和0.016。受教育程度虽呈现理论预期的正向关联,但其统计显著性不足,暗示单纯人力资本积累在技术密集型的绿色生产体系中存在作用边界,需依托社会化服务载体实现知识转移的效率转化。政策补贴变量的非显著特征则折射出当前财政支农措施可能存在瞄准偏差或激励传导阻滞,尤其在技术渗透过程中未能有效衔接市场机制与生态效益补偿。

## 5 讨论与启示

研究结果的边际效应值普遍高于传统粮食作物的相关研究结论,可能源于蔬菜产业更高的技术密集度和价值增值空间。相较于大田作物,设施蔬菜生产对水肥一体化、环境调控等技术的需求弹性更大,使社会化服务的技术红利得到充分释放。此外,本研究采用超效率DEA模型测算绿

色生产效率,同时考虑期望产出和非期望产出,有效避免传统DEA方法的环境代价遗漏问题,这可能是效应值偏高的方法论原因。

本研究以寿光市蔬菜种植户为研究对象,通过构建多元线性回归模型,揭示了AI技术与社会化服务的深度融合并非对传统要素的简单替代,而是通过重构要素组合方式与作用路径,在突破人力资本约束与政策工具局限性的同时,强化了规模经营主体的技术吸纳能力,进而重塑绿色生产效率提升的动力机制。政府应当通过资质认证和财政补贴培育专业化服务主体,重点发展病虫害无人机防治、有机肥替代等绿色服务项目。

### 参考文献:

- [ 1 ] 马芳. 数字技术赋能乡村治理现代化效能提升研究[J]. 智慧农业导刊, 2025, 5(5): 5-8, 13.  
MA F. Research on digital technology empowering rural governance modernization and efficiency improvement[J]. Journal of Smart Agriculture, 2025, 5(5): 5-8, 13. (in Chinese)
- [ 2 ] 雷绍海, 田曦, 王成军. 农业资源错配农业绿色生产效率的空间效应分解研究[J]. 地域研究与开发, 2023, 42(2): 124-129, 149.  
LEI S H, TIAN X, WANG C J. Spatial effect decomposition of agricultural resources misallocation on agricultural green production efficiency[J]. Areal Research and Development, 2023, 42(2): 124-129, 149. (in Chinese)
- [ 3 ] 李欠男, 李谷成, 尹朝静, 等. 河北省县域农业绿色全要素生产率的空间特征[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(7): 845-852.  
LI Q N, LI G C, YIN C J, et al. Spatial characteristics of agricultural green total factor productivity at county level in Hebei Province[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2019, 35(7): 845-852. (in Chinese)
- [ 4 ] 王斌, 沈友娣. 基于DEA的山东省蔬菜产业生产效率分析[J]. 中国集体经济, 2019(32): 24-25.  
WANG B, SHEN Y D. Analysis of production efficiency of vegetable industry in Shandong Province based on DEA[J]. China Collective Economy, 2019(32): 24-25. (in Chinese)
- [ 5 ] 金珏雯, 穆月英. 碳视角下的设施蔬菜生产效率—基于北京市调研的实证[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(5): 240-252.  
JIN J W, MU Y Y. Production efficiency of facility vegetables from the perspective of carbon: Based on the empirical research of Beijing[J]. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(5): 240-252. (in Chinese)
- [ 6 ] 杨骞, 王珏, 李超, 等. 中国农业绿色全要素生产率的空间分异及其驱动因素[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(10): 21-37.  
YANG Q, WANG J, LI C, et al. The spatial differentiation of agricultural green total factor productivity and its driving factor recognition in China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2019, 36(10): 21-37. (in Chinese)
- [ 7 ] 于丽艳, 穆月英, 丁建国, 等. 蔬菜生产的空间集聚对技术效率的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(3): 110-114.  
YU L Y, MU Y Y, DING J G, et al. WU L S. Effect of spatial agglomeration of vegetable production on technical efficiency[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(3): 110-114. (in Chinese)
- [ 8 ] 李中东, 尉迟晓娟. 山东省农业生产效率研究——基于超效率DEA和Malmquist指数[J]. 山东农业大学学报(社会科学版), 2019, 21(2): 45-51.  
LI Z D, YUCHI X J. Studies on agricultural production efficiency in Shandong Province—Based on super efficiency DEA and malmquist index[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Social Science Edition), 2019, 21(2): 45-51. (in Chinese)
- [ 9 ] 国家发展和改革委员会. 寿光市被农业部认定为全国农业农村信息化示范基地[R]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2017.
- [ 10 ] 寿光日报. “数字”为农业插上翅膀[R]. 山东: 寿光市人民政府, 2025.
- [ 11 ] 住建局. 寿光市2023年续建棚改项目第三季度执行情况[R]. 山东: 寿光市人民政府, 2023.
- [ 12 ] 农业农村局. 寿光市农业农村局关于加快元宇宙与设施蔬菜和教育产业融合, 助力元宇宙产业之都建设的提案的答复[R]. 山东: 寿光市人民政府, 2023.
- [ 13 ] 寿光日报. “数字+”撬动寿光农业不断升级[R]. 山东: 寿光市人民政府, 2023.
- [ 14 ] 人民日报. 人民日报“头版+整版”聚焦山东寿光破题农业现代化[N]. 山东: 山东省科学技术厅, 2023(2).
- [ 15 ] 邓小明, 胡小鹿, 郑筱光. 国家农业机械产业创新发展报告[M]. 北京: 机械工业出版社, 2022: 297.
- [ 16 ] 王军. 农产品冷链物流中间层组织模式及供需匹配功能研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [ 17 ] 杜晓. 山东省涉农电商政策发展研究[D]. 上海: 东华大学, 2022.
- [ 18 ] 孔祥智. 大力发展服务于民的农民专业合作社[J]. 中国农民合作社, 2009(1): 54-56.  
KONG X Z. Vigorously develop farmer professional cooperatives that serve the people[J]. Chinese Farmer Cooperatives, 2009(1): 54-56. (in Chinese)
- [ 19 ] 刘静. 以农业新质生产力提升农业绿色全要素生产率[J]. 中州学刊, 2024(12): 23-29.  
LIU J. Enhancing agricultural green total factor productivity with new agricultural quality productivity[J]. Zhongzhou Academic Journal, 2024(12): 23-29. (in Chinese)
- [ 20 ] 陈航英. 小农户与现代农业发展有机衔接—基于组织化的小农户与具有社会基础的现代农业[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2019, 19(2): 10-19, 155.  
CHEN H Y. Organic connection between smallholders and modern agricultural development: Based on the organized smallholders and the modern agriculture with social foundation[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2019, 19(2): 10-19, 155. (in Chinese)
- [ 21 ] 许佳彬, 王洋, 李翠霞. 专业种植大户愿意成立农民专业合

- 作社吗?——基于黑龙江省364个样本数据的实证研究[J].农村经济,2020(10):123-130.
- XU J B, WANG Y, LI C X. Are large professional growers willing to establish farmer professional cooperatives? An empirical study based on 364 sample data in Heilongjiang Province[J]. Rural Economy, 2020(10): 123-130. (in Chinese)
- [22] 肖荣美,张巾,霍鹏,等.数字经济、税收分配与城乡协同发展[J].信息通信技术与政策,2021,47(5):26-31.
- XIAO R M, ZHANG J, HUO P, et al. Digital economy, tax distribution and coordinated development of urban and rural areas[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2021, 47(5): 26-31. (in Chinese)
- [23] 张永奇,单德朋.县域数字经济、农业社会化服务与小农户受益——基于宏观数据经验考察[J].上海财经大学学报,2024,26(1):94-107.
- ZHANG Y Q, SHAN D P. County digital economy, agricultural socialized services, and benefits for small farmers: Based on macro and micro data[J]. Journal of Shanghai University of Finance and Economics, 2024, 26(1): 94-107. (in Chinese)
- [24] 梁庆龙.数字技术赋能农业社会化服务研究[J].信息系统工程,2024(12):130-133.
- LIANG Q L. Research on digital technology enabling agricultural socialized services[J]. Information Systems Engineering, 2024(12): 130-133. (in Chinese)
- [25] 叶林.基于化肥碳减排的蔬菜绿色生产效率研究[D].泰安:山东农业大学,2024.
- [26] 钟亮亮,童金杰,朱述斌,等.江西省农业社会化服务水平测度及制约因素解构[J].广东农业科学,2014,41(14):199-204.
- ZHONG L L, TONG J J, ZHU S B, et al. The evaluation and restriction factors of agricultural socialization service level of Jiangxi province[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(14): 199-204. (in Chinese)
- [27] 唐玉佩,陈涛,杨佳怡.山东省农业社会化服务对农业生产效率的影响——基于DEA模型[J].山东农业科学,2022,54(2):159-164.
- TANG Y P, CHEN T, YANG J Y. Effects of agricultural socialized services on agricultural production efficiency in Shandong Province based on DEA Model[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(2): 159-164. (in Chinese)
- [28] 马改艳.数字技术如何赋能农业社会化服务——基于多案例比较研究[J].当代经济管理,2025,47(5):1-13.
- MA G Y. How can digital technologies empower agricultural socialized services—A comparative study based on multiple cases[J]. Contemporary Economic Management, 2025, 47(5):1-13. (in Chinese)
- [29] 朱萌,龚为纲.数字技术赋能农业社会化服务的技术逻辑与实践困境——基于农技推广大数据的分析[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2024,24(6):83-95.
- ZHU M, GONG W G. Technical logic and practical challenges of digital technology empowering agricultural socialization services: An analysis based on big data of agricultural extension platform[J]. Journal of Northwest A&F University(Social Science Edition), 2024, 24(6): 83-95. (in Chinese)
- [30] 牛秋纯,李谷成.农户兼业、农业生产性服务与农业生产效率——来自全国农村固定观察点的经验证据[J].华中农业大学学报(社会科学版),2024(5):72-81.
- NIU Q C, LI G C. Off-farm work, agricultural productive services and production efficiency——Empirical evidence from national rural fixed observation points survey[J]. Journal of Huazhong Agricultural University(Social Sciences Edition), 2024(5): 72-81. (in Chinese)
- [31] 李谷成,冯中朝,范丽霞.小农户真的更加具有效率吗?来自湖北省的经验证据[J].经济学(季刊),2009,9(1):96-125.
- LI G C, FENG Z C, FAN L X. Is the small-sized rural household more efficient? The empirical evidence from Hubei Province[J]. China Economic Quarterly, 2009, 9(1): 96-125. (in Chinese)
- [32] 仇焕广,刘乐,李登旺,等.经营规模、地权稳定性与土地生产率——基于全国4省地块层面调查数据的实证分析[J].中国农村经济,2017(6):30-43.
- QIU H G, LIU L, LI D W, et al. Farm Size, tenure security and land productivity: An empirical study based on plot-level survey data from four provinces in China[J]. Chinese Rural Economy, 2017(6): 30-43. (in Chinese)
- [33] 杨大勇.财政农业支出对农业生产效率的影响[D].长春:东北师范大学,2018.

(责任编辑:王昱)