农业生产性服务数智化的碳减排效应及机制研究*

郝爱民，王舒乐

（郑州航空工业管理学院经济学院，郑州 450046）

摘 要：推动农业绿色化、低碳化发展，是实现农业高质量发展的关键环节。文章基于2011—2022年全国30个省份的面板数据，构建农业生产性服务数智化的指标体系，并运用排放系数法测算六大类农业碳源的碳排放总量，实证检验农业生产性服务数智化对碳减排的影响效果。研究发现：农业生产性服务数智化能够有效促进农业碳减排；机制分析表明，农业生产性服务数智化能够通过提高资源配置效率、促进农业技术进步、提升农业生产专业化水平赋能农业碳减排；异质性分析表明，农业生产性服务数智化对碳减排的影响在粮食主产区以及平原地区更显著，农业生产性服务数智化分维度检验中，科技信息服务数智化、金融服务数智化以及商贸流通服务数智化抑制农业碳排放的作用更显著；进一步分析表明，政府财政支农、统一大市场建设能够强化农业生产性服务数智化对碳减排的影响。据此，提出完善农村数字基础设施建设，夯实农业生产性服务数智化转型基础条件；完善配套服务政策，推广数智化农机作业服务；加大政策支持力度，为农业生产性服务数智化赋能碳减排培育良好环境等建议。

关键词：生产性服务；数智化；农业碳减排；绿色低碳农业

中图分类号：F323；X322 **文献标志码**：A **文章编号**：1674-9189(2025)06-0126-12

一、引 言

在全球气候变化和资源环境约束日益加剧的背景下，碳减排成为国际社会共同关注的重大议题。作为关乎人类生存和发展的基础产业，农业部门的碳排放问题也日益受到高度关注。党的二十届三中全会明确指出要“健全绿色低碳发展机制”“发展绿色低碳产业”，2025年中央一号文件进一步强调“推进农业科技力量协同攻关”“发展智慧农业”，为农业绿色转型提供了明确的政策指引。长期以来，为确保粮食安全，我国农业生产以增加粮食产量为核心目标，截至2024年粮食生产实现了“二十一连丰”。但一个不容忽视的事实是，我国传统农业的快速发展在一定程度上是以资源的高消耗和过量的碳排放为代价的(吴贤荣等，2015)，农业部门成为仅次于工业部门的温室气体第二排放源①，农业碳减排成为实现“双碳”目标的关键环节。在此背景下，如何平衡粮食安全与农业低碳转型的关系、实现粮食安全与生态安全的协同发展，成为当前亟待解决的核心问题。

现有研究(姜长云，2016；张恒和郭翔宇，2021)表明，农业生产性服务作为贯穿农业生产全链条，直接完成或协助完成农业产前、产中、产后各环节作业的社会化服务，在提升农业生产效率、培

*项目来源：国家社会科学基金一般项目(22BJY081)；河南省第五次全国经济普查研究课题(WJP054)；河南省社会科学规划项目(2024BJJ211)。

作者简介：郝爱民，男，博士，教授，研究方向：农村经济学。

① 来自联合国粮农组织(FAO)和政府间气候变化专门委员会(IPCC)的一致结论。

育农业农村经济新业态、促进农业绿色低碳发展等方面发挥着关键作用。然而，随着“双碳”目标深入推进，传统服务模式面临低碳技术渗透不足、覆盖不均衡、“数据孤岛”和激励机制欠缺等局限，制约了碳减排效果的进一步提升。随着数字技术、智能技术不断向农业领域扩散，农业生产性服务正迈向数智化转型。通过智能装备与精准服务降低技术门槛，依托数据贯通实现全链碳管理，借助数字金融激活低碳经济，为农业绿色低碳发展提供了新路径。

农业生产性服务是指为农产品生产者提供支持性中间服务的活动，以市场化、经营性为主要特征（姜长云，2016）。以往研究表明，农业生产性服务能显著提升农业生产效率（楚明钦，2021），有效促进农业全要素生产率的增长（秦天等，2017），同时对农业技术效率的提升具有明显的正向影响（Qing et al.，2023）。随着农业绿色转型进程不断深化，部分学者（罗明忠和魏滨辉，2023）开始关注农业生产性服务在促进农业绿色低碳发展中发挥的作用，认为农业生产性服务能促进碳减排，推动农业绿色发展。在数字技术和智能技术快速发展的背景下，各类服务的数智化转型开始受到关注，如金融服务数智化（陆岷峰和欧阳文杰，2024）等，而目前关于农业生产性服务数智化的直接研究较少，仅有少数研究指出农业生产性服务数智化是数字技术向农业领域扩散和渗透的结果（郭海红，2019），能够依托互联网技术和信息化手段，促进农业生产各环节的创新与发展，提升农业绿色全要素生产率（郝爱民等，2024）。

综上所述，已有研究对农业生产性服务进行了广泛深入的研究，但仍存在可拓展之处：一是以往研究多关注农业生产性服务，对其数智化转型的研究较少，且缺乏量化测度的方法；二是农业生产性服务数智化赋能碳减排的机理尚待进一步梳理且缺乏相应的实证分析。据此，本文可能的边际贡献在于：一是厘清农业生产性服务数智化的内涵与特征，提出可量化的测度方法，一定程度上弥补现有研究对农业生产性服务数智化关注不足的缺陷；二是从生产性服务数智化的视角，构建农业生产性服务数智化赋能碳减排的理论分析框架，拓宽实现农业碳减排渠道，为促进农业绿色低碳可持续发展提供有益的参考与借鉴。

二、理论分析与研究假说

农业生产性服务的发展是农业生产力进步的重要标志，也是农业生产力持续发展的重要推动力量（Ball et al.，1997）。“数智化”是“数字化”与“智能化”融合升级的产物，具备实时化、可量化和智能化等特征。农业生产性服务数智化借助先进的信息技术和智能管理手段，精准把控种子选育、肥料施用、病虫害防治、农产品收获、储存、流通、销售等产前、产中和产后环节，贯穿农业全产业链，集农业数据共享、农业技术支持、专家指导等服务于一体，为农业生产提供精准化数智服务，有效促进农业资源优化配置、推动农业技术进步、提升农业生产专业化水平，从而实现农业绿色低碳与可持续发展（见图1）。

（一）农业生产性服务数智化赋能碳减排的直接影响分析

农业生产性服务数智化通过全产业链赋能促进碳减排，具体而言：产前环节，“AI+农业科研服务”等新型农业生产性服务数智化形式促进基因编辑、分子标记等现代生物技术在作物品种中的应用，从而提升作物品种的抗逆性和产量潜力，同时智能农机的租赁、调度和维护等服务，为农业绿色生产提供了强有力的装备支撑，有助于实现精准作业，进一步提高农业绿色生产效益。产中环节，从育种到采收的全流程数字化管理，确保了农产品质量的稳定性和可追溯性，基于物联网的农田监测系统和智能决策模型能够实现对土壤湿度状况、作物长势的实时感知，通过变量施肥、精准施药等技术手段，有效减少化肥农药的过量使用现象，减少农业碳排放。产后环节，数智化的农产品溯源系统和智能物流网络优化了储运流程，大幅降低了传统流通模式中的损耗和碳排放。同时，数字金融服务和电商平台为农民提供了新的融资和销售渠道，推动了订单农业、定制农业、生态农业等新型经营模式

的发展，加快推动农业发展绿色转型。据此，提出如下研究假说：

H1：农业生产性服务数智化能够有效促进农业碳减排。

（二）农业生产性服务数智化赋能碳减排的间接机制分析

1.资源配置优化促进效应

传统农业模式下，资源配置主要依赖农户的经验积累和主观判断，这种粗放式的管理方式往往导致资源利用效率低下，难以满足农业绿色低碳发展需求。而农业生产性服务数智化能够为农业生产提供精准高效的支持服务，形成对传统要素的低碳化替代，从而优化资源配置。第一，生产性服务数智化借助物联网传感器网络、大数据分析平台和人工智能算法，实时收集和分析农业生产数据，精准监测作物生长状况和天气条件等，实现水、肥、药精准投放，提高资源利用效率，减少资源浪费和温室气体排放。第二，数智化赋能不仅可以有效缩短农产品流转时间，降低交易费用，改善供需环境，还能通过高效的流通渠道，在供需两端搭起桥梁，实现农产品从田间到餐桌的高效流通（田野等，2022），加快实现绿色农产品生态价值。第三，农业生产性服务数智化平台通过数据分析和技术支持，能够将秸秆、畜禽粪便等废弃物转化为生物质能源或有机肥料，推动农业废弃物的资源化利用，减少直接焚烧或填埋带来的碳排放，为农业绿色转型和碳减排目标实现提供有力支持。

2.技术进步促进效应

近年来，农业生产性服务组织逐渐成为推动农业技术普及与应用的重要力量。农业生产性服务数智化通过提供全方位技术支持和创新服务模式，推动农业生产技术进步，加快农业绿色低碳转型进程（田红宇和关洪浪，2023）。第一，农业生产性服务数智化通过在线平台和虚拟现实技术，构建线上线下相结合的技术服务体系，将免耕播种、精准灌溉、有机种植等绿色农业技术传递给农户，并为其提供技术指导和咨询服务，帮助农户解决技术难题，增强其采用新技术的意愿和能力（郝爱民，2015）。第二，农业生产性服务数智化通过构建基于大数据的农业绿色信贷体系，为采用绿色农业技术的农户提供低息贷款和保险服务，不仅降低了农户采用绿色农业技术的资金门槛，还通过风险分担机制增强了农户的抗风险能力，进而促进了农户绿色农业技术采纳行为。第三，在数智化信息平台的支撑下，一套“从餐桌到田间”的逆向反馈链路得以建立。平台依托大数据分析，能实时捕捉消费者对绿色健康食品的需求变化，并将需求信息精准同步至农产品生产端。这种以需求为核心的生产模式，一方面大幅提升了农产品与市场需求的匹配度，另一方面通过需求信号引导农户主动采用绿色农业技术，最终有效加快农业绿色低碳转型，助力农业可持续发展。

3.生产专业化促进效应

农业生产性服务的本质在于农业生产各环节的分工，而分工的本质为专业化（罗必良等，2021）。农业生产性服务数智化通过深化、重构农业服务，推动农业设备共享降低边际成本、知识共享加快技术渗透，为农业碳减排提供了重要赋能。随着数智化技术的广泛应用，一批专注于农业数据采集与分析、智能决策支持、精准技术咨询、数字化营销等领域的专业化服务企业和组织应运而生，其凭借技术优势和专业能力，有效提升农业生产各环节的效率和质量。同时，农业生产性服务数智化通过构建“数字平台+专业服务”的创新模式，将农业生产中的非核心环节外包给专业化服务商，并深度融合物联网、云计算、人工智能等新一代信息技术，实现了农业生产要素的数字化重构和服务流程的智能化升级，显著提升了农业生产的专业化分工水平和精细化管理能力，实现了生产过程的精准管控，为农业绿色低碳发展提供了强有力的技术支撑和创新路径。据此，提出如下研究假说：

H2：农业生产性服务数智化通过优化资源配置、促进农业技术进步以及提高农业生产专业化水平赋能农业碳减排。

（三）调节效应分析

1. 政府财政支农的调节效应

低碳农业追求“生态效益”，这一属性使其天然具备公共物品的特征，体现出强烈的正外部性，完全依赖市场自发调节难以解决“公地悲剧”等环境问题，因此需要政府充分发挥“有形的手”作用，以弥补市场化机制不足所导致的环境负外部性问题（李启平和韩绍凤，2011）。政府通过财政补贴、税收减免、信贷支持等多元化政策工具组合，可降低农业生产者采纳数智化农业生产性服务的成本，将碳减排的正外部性转化为农户的实际收益，从而显著提升绿色农业技术的采纳意愿，推动农业低碳转型。并且农业生产性服务的数智化改造在很大程度上得益于数字技术和数字经济的发展，政府财政支农水平的提升能够有效推动数字技术渗透至“三农”领域，加快农业生产性服务数智化转型进程（田云和廖华，2024），为农业碳减排目标的实现提供有力支撑。

2. 统一大市场建设的调节效应

市场化程度是影响农业生产性服务效率的重要因素（李颖慧等，2024），统一大市场建设能够打破市场壁垒，实现资源的自由流动和优化配置，扩大市场范围和规模，从而提升农业生产性服务效率，使其更好服务于农业碳减排。在统一大市场背景下，农业生产性服务的流动性和可达性大幅提升，使得原本因地理位置偏远或市场分割而难以接触数智化生产性服务的农村地区也能够更便捷地接入高效、专业的社会化服务体系，从而进一步推广节水灌溉、有机肥替代化肥、病虫害绿色防控等低碳农业技术，利用数智化手段优化农业生产流程。同时，通过促进区域间技术交流与合作，推动区域协同减排机制的建立，实现技术资源的共享与互补，农业碳减排能够从局部优化向全局优化转变，为实现更大范围的绿色低碳发展目标奠定坚实基础。据此，提出如下研究假说：

H3：政府财政支农、统一大市场建设能强化农业生产性服务数智化对农业碳减排的影响。

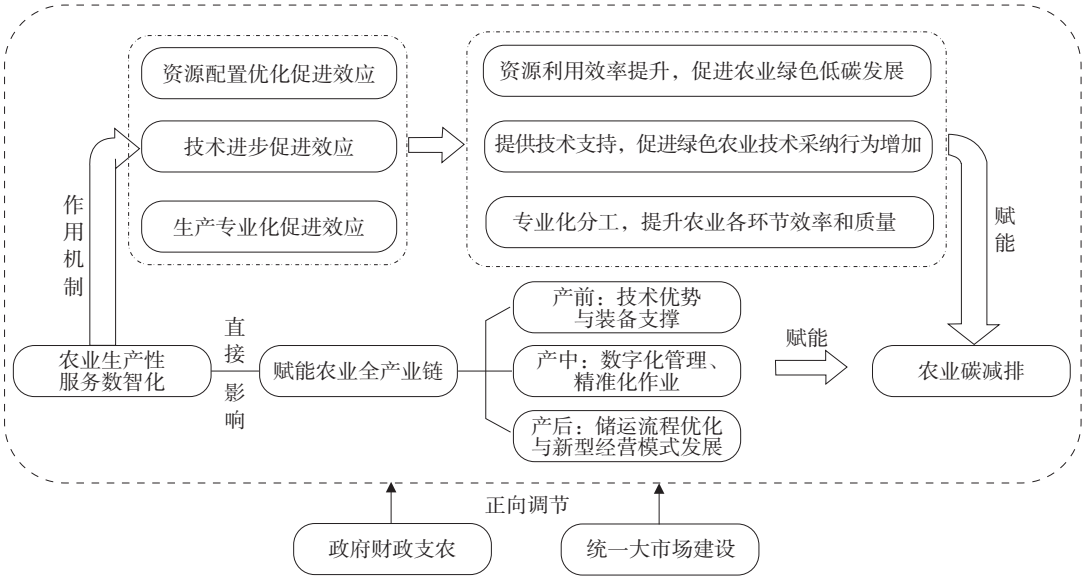

图1　农业生产性服务数智化赋能农业碳减排的理论框架

三、研究设计

（一）数据来源

基于数据的可获得性和准确性，本文剔除了西藏以及港澳台地区，选取我国30个省级行政区为研究样本，研究时间为2011—2022年。数据主要来源于历年《中国统计年鉴》《中国农业机械工业年

鉴》《中国科技统计年鉴》，以及国家统计局、中国宏观经济数据库、中国三农数据库和中国碳核算数据库(CEADs)等，缺失值采用插值法予以补全。

（二）变量选取

1.被解释变量

被解释变量为农业碳排放水平(*CRA*)，选取农业碳排放量(*ACE*)作为代理变量。本文使用IPCC因子法测算农业碳排放，首先要确定农业碳排放主要来源，参考伍国勇等(2021)的研究，将农业主要碳源界定为化肥、农药、农用柴油、农用薄膜、农业灌溉和农业翻耕六大方面；然后使农业各主要碳源与排放系数相乘，计算出各碳源的温室气体排放量，求其总和从而得到农业碳排放量，具体计算公式如下：

$$ACE=\sum ACE_i=\sum T_i\times d_i \tag{1}$$

式(1)中，ACE为农业碳排放总量，ACE_i为第i类碳源碳排放总量，T_i为第i类碳源量，d_i为第i类碳源碳排放系数。参考伍国勇等(2021)研究，对农业灌溉碳排放系数稍作调整，农业主要碳源及其相关碳排放系数具体见表1。

表1 农业主要碳源及其碳排放系数

主要碳源	碳排放系数	参考来源
化肥	0.896千克/千克	美国橡树岭国家实验室
农药	4.934千克/千克	美国橡树岭国家实验室
农用柴油	0.593千克/千克	联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)
农用塑料薄膜	5.180千克/千克	南京农业大学农业资源与生态环境研究所
农业灌溉面积	19.858千克/公顷	中国农业大学生物与技术学院
农作物播种面积	312.600千克/公顷	中国农业大学生物与技术学院

2.解释变量

核心解释变量为农业生产性服务数智化(*DIPS*)。本文在参考已有研究(郝爱民等，2024)的基础上，聚焦于农业领域，借鉴《农业部 发展改革委 财政部关于加快发展农业生产性服务业的指导意见》中对农业生产性服务业主要服务领域的权威界定，并考虑到当前农业生产性服务数智化转型的发展趋势，选取最具代表性的农机作业服务、科技信息服务、金融服务和商贸流通服务四大核心领域，全面覆盖农业生产性服务的数智化应用场景，构建农业生产性服务数智化的综合指标体系(见表2)，利用熵值法测算农业生产性服务数智化水平。

3.其他变量

机制变量为资源配置效率(*RES*)、农业技术进步(*ATEC*)以及农业生产专业化(*SPE*)。为更全面体现农业产出与各投入要素的关系，全面反映资源配置效率，本文以农业全要素生产率表征资源配置效率；*R&D*人员是技术进步的核心驱动力，本文以农业*R&D*全时人员当量作为农业技术进步的代理变量；机械化服务组织的普及在一定程度上表明农业生产正逐渐由传统小农经营向专业化、规模化方向转变，符合生产专业化的核心特征，因此本文以农业机械化作业服务组织及农业机械户年末人数衡量生产专业化水平。

表2　农业生产性服务数智化评价指标体系

一级指标	二级指标	单位
农机作业服务数智化	农用航空器数量	架
	农业机械化率	%
	农业机械化科研投入	万元
	农业机械化作业服务组织年末机构数	个
科技信息服务数智化	信息传输、软件和信息技术服务业固定资产投资	亿元
	信息技术服务收入	亿元
	农业气象观测站数	个
	智慧农业公司数	个
	农村宽带接入用户	万户
	专利授权数	件
	农业技术市场成交额	万元
金融服务数智化	数字普惠金融覆盖广度	%
	数字普惠金融使用深度	%
	数字化程度覆盖广度	%
商贸流通服务数智化	农村投递路线里程	公里
	有电子商务交易活动企业/企业数	%
	电子商务销售额	亿元
	人均快递量	件/人

调节变量：政府财政支农（*GOV*），用地方财政农林水事务支出与地方财政一般预算支出的比值衡量；统一大市场建设（*INT*），用市场整合指数衡量。

控制变量：农地经营规模（*SCA*），以农作物总播种面积与农业从业人数之比衡量；农业种植结构（*STR*），用粮食播种面积占总播种面积的比值表征；城镇化率（*URB*），用城镇人口与总人口之比衡量；农业发展水平（*ADL*），以人均农业产值即农业总产值与农业从业人员的比值衡量[②]。

（三）模型设定

基准回归模型。双向固定效应模型能有效减少遗漏变量偏差，提升估计准确性。因此，本文通过豪斯曼检验建立双向固定效应模型考察农业生产性服务数智化对农业碳减排的影响，构建模型如下：

$$CRA_{i,t}=\alpha_0+\alpha_1 DIPS_{i,t}+\alpha_2 X_{i,t}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

式(2)中，$CRA_{i,t}$、$DIPS_{i,t}$和$X_{i,t}$分别为农业碳减排水平、农业生产性服务数智化水平及控制变量集合。模型控制了省份固定效应(μ_i)、年份固定效应(δ_t)，$\varepsilon_{i,t}$为随机误差项。

机制检验模型。传统三步法在估计中介效应时可能存在参数不一致、检验效能低等问题，难以准确判断中介效应的存在性和解释力度。因此，本文使用江艇(2022)提出的两步法进行中介效应检验，构建如下机制效应模型：

$$M_{i,t}=\beta_0+\beta_1 DIPS_{i,t}+\beta_2 X_{i,t}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

$$CRA_{i,t}=\gamma_0+\gamma_1 DIPS_{i,t}+\gamma_2 M_{i,t}+\gamma_3 X_{i,t}+\mu_i+\sigma_t+\varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

式中，$M_{i,t}$为机制变量，其余变量符号含义均与式(1)保持一致。

② 囿于篇幅，上述变量的描述性统计结果留存备索。

四、实证结果分析

（一）基准回归结果分析

表3汇报了基准回归结果。表中列(1)是未加入控制变量的结果，农业生产性服务数智化的系数为-0.265，并在1%水平上显著。列(2)中，加入控制变量后，农业生产性服务数智化的系数为-0.247，且在1%水平上显著，说明农业生产性服务数智化能够显著促进农业碳减排，推动绿色低碳发展。列(3)是随机效应的检验结果，农业生产性服务数智化的系数显著为负，说明农业生产性服务数智化能够有效抑制碳排放。具体而言，农业生产性服务业数智化能够推动农业生产方式变革和创新，驱动农业低碳转型，实现农业绿色可持续发展。假说1得证。

表3 基准回归分析结果

	固定效应		(3)随机效应
	(1)基准模型	(2)加入控制变量	
农业生产性服务数智化	-0.265*** (0.090)	-0.247*** (0.061)	-0.242*** (0.027)
控制变量	未控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	未控制
R^2	0.504	0.617	0.476
样本量	360	360	360

注：*、**、***分别表示在10%、5%、1%水平上显著；括号内为稳健标准误。下同。

（二）稳健性[3]和内生性检验

滞后解释变量。考虑到农业生产性服务数智化促进农业碳减排的滞后性和反向因果问题，对核心解释变量进行滞后1期、2期处理，分别加入回归模型进行稳健性检验。回归结果与前文保持一致，农业生产性服务数智化能够有效抑制碳排放，进一步验证了假说1。

缩尾处理。为避免极端值对回归结果的潜在影响，本文对所有连续变量进行了双侧1%缩尾处理。重新回归后的结果与前文结论基本一致，证明了研究结果的稳健性。

剔除直辖市。为了确保回归结果的准确性和可靠性，本文剔除直辖市的样本进行回归。回归结果仍然显著，说明模型具有较强的稳健性，从而进一步验证了假说1。

内生性检验。为缓解可能存在的内生性问题，本文以1984年邮电业务总量与2011—2022年移动电话普及率的交互项构建面板数据作为工具变量(*IV1*)，并使用两阶段最小二乘法(2SLS)进一步识别检验农业生产性服务数智化对碳减排的影响。邮电历史水平反映了某一地区在传统通信技术方面的发展状况，可以从一定程度上预示该地区未来在数字经济特别是数智化赋能方面的发展潜力，且与农业碳减排之间不存在直接联系，满足排他性要求。在2SLS估计中，工具变量恰好识别，因此本文不再过度识别检验。在弱工具变量检验中，Cragg-Donald Wald F统计量显著，排除存在弱工具变量的可能，故本文工具变量选择较为合理。具体回归结果如表4所示，内生性检验结果与前文结论基本保持一致，表明基准回归结果比较可靠。

③ 囿于篇幅，各类稳健性检验结果留存备索。

表4　内生性检验结果

变量	第一阶段 （1）	第二阶段 （2）
农业生产性服务数智化		−0.733*** （0.165）
工具变量	0.001*** (0.001)	
控制变量	控制	控制
固定效应	控制	控制
观测值	360	360
Kleibergen−Paap rk LM	15.998***	
Cragg−Donald Wald F	26.136***	

（三）机制效应检验

表5为机制效应检验结果。首先，验证“资源配置效率提升”这一传导机制。理论分析表明，农业生产性服务数智化能够通过优化资源配置促进农业碳减排。一方面，数智化技术通过精准匹配农业生产要素供需降低传统生产方式的资源错配损耗；另一方面，农业生产性服务数智化可实现生产要素的低碳化替代，减少能源消耗。列(1)中，农业生产性服务数智化的系数为0.344，并在5%水平上显著，表明生产性服务数智化能有效提升资源配置效率；列(2)中，农业生产性服务数智化与资源配置效率的系数均显著为负，说明资源配置效率发挥了部分机制效应，即农业生产性服务数智化能通过提高资源配置效率赋能碳减排。

表5　机制效应检验结果

变量	资源优化效应		技术进步效应		专业化效应	
	资源配置效率	农业碳排放水平	农业技术进步	农业碳排放水平	农业生产专业化	农业碳排放水平
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）
农业生产性服务数智化	0.344** （0.160）	−0.224*** （0.065）	1.062*** （0.342）	−0.220*** （0.062）	1.376* （0.701）	−0.239*** （0.058）
资源配置效率		−0.080* （0.047）				
农业技术进步				−0.025** （0.011）		
农业生产专业化						−0.006** （0.003）
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
R^2	0.865	0.637	0.909	0.632	0.186	0.625
样本量	360	360	360	360	360	360

其次，验证“农业技术进步”的传导机制。由前文理论分析可知，农业生产性服务数智化通过促进绿色农业技术的推广应用，推动农业绿色低碳转型。农业生产性服务数智化的介入在一定程度上降低了农户采用绿色农业技术的成本和风险，从而加快了绿色农业技术的渗透，推动农业绿色低碳转型。列(3)中，农业生产性服务数智化的系数为正并通过了1%的显著性水平检验，表明农业生产性服务数

智化对农业技术进步有显著促进作用；列(4)进一步以农业生产性服务数智化和农业技术进步为核心解释变量进行回归，两者系数均显著为负，进一步验证了假说2。

最后，验证“农业生产专业化水平提升”这一机制。农业生产性服务数智化推动农业生产从分散经营向专业化分工转变，进而实现碳减排目标。列(5)中，农业生产性服务数智化的系数为1.376，并在10%水平上显著，表明农业生产性服务数智化能显著提升农业生产专业化水平；进一步地，列(6)中，农业生产性服务数智化与专业化水平的系数均显著为负，说明推动农业生产专业化确实是农业生产性服务数智化赋能碳减排的一条路径，至此假说2成立。

（四）异质性分析

1.区分粮食主产区与非主产区

粮食主产区承担国家粮食安全核心职能，农业生产以规模化、集约化粮食种植为主，耕地集中连片、机械化程度高，并享有更强的财政补贴和科技支持，而非粮食主产区农业生产较为碎片化，更侧重于经济作物和特色农业，政策支持力度相对较弱。基于此，本文认为农业生产性服务数智化的碳减排效应可能在两类地区呈现异质性特征。为验证这一猜想，本文将样本分为粮食主产区与非粮食主产区进行实证检验。由表6可知，在粮食主产区，农业生产性服务数智化的系数为−0.230，并且在1%水平上显著，而在非粮食主产区农业生产性服务数智化只通过了5%显著性水平检验，说明农业生产性服务数智化对粮食主产区碳减排的影响更为显著。对此，可能的解释为：粮食主产区农业生产规模大、产业链条长，农业生产性服务数智化能够更广泛地覆盖到农业生产的各个环节，从而发挥出更大的碳减排效应。

2.区分地形特征

由于平原地区地势平坦、土地集中连片，而丘陵地区地块分散、坡度差异大，这种地形差异可能会影响农业生产性服务数智化的应用条件与实施效果。为验证这一猜想，本文根据地形特征区分平原和丘陵地区进行异质性分析④，具体回归结果见表6。可以发现，平原地区农业生产性服务数智化的系数为−0.268，并通过1%水平的显著性检验；而丘陵地区农业生产性服务数智化仅在5%水平上显著，这表明地形特征确实会对农业生产性服务数智化赋能农业碳减排的效果产生影响，农业生产性服务数智化对平原地区碳减排的影响更为显著。这可能是因为平原地区地形平坦，基础设施完善，利于数智化技术推广；而丘陵地区受制于地形破碎和通信覆盖差等因素，农业生产性服务数智化赋能碳减排的难度大、效果弱。

3.农业生产性服务数智化分维度检验

为探究农业生产性服务数智化各维度对碳减排的影响，本文从农机作业服务数智化(*IAM*)、科技信息服务数智化(*ITI*)、金融服务数智化(*IFS*)以及商贸流通服务数智化(*ITD*)四个维度进一步具体分析。由表6列(5)可知，农机作业服务数智化的系数为−0.105，但并不显著，列(6)~(8)的结果表明科技信息服务数智化、金融服务数智化以及商贸流通服务数智化都能够有效抑制碳排放。这可能是由于智能农机需规模化作业才能发挥效能，而我国农业以小农户分散经营为主、耕地细碎化突出，现有农业经营模式与智能农机作业要求存在结构性矛盾，制约了其数智化效果的发挥。

（五）进一步分析

理论分析表明，政府财政支农与统一大市场建设对农业生产性服务数智化的碳减排效应具有正向调节作用。为验证该假说，本文分别构建农业生产性服务数智化与政府财政支农、统一大市场建设的交互项进行实证检验。具体结果如表7所示，列(1)中，在纳入农业生产性服务数智化与政府财政支农的交互项之后，回归结果仍然显著，交乘项系数为−1.863，并在5%水平上显著，表明政府财政支农在

④ 东北平原、华北平原和长江中下游平原是我国平原地区的主体，所覆盖的16个省(自治区、直辖市)包括辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古、北京、天津、河北、山东、河南、江苏、浙江、上海、安徽、江西、湖北和湖南，其他省(自治区、直辖市)定义为丘陵地区。

农业生产性服务数智化对碳减排的影响中发挥正向调节作用。列(2)中，纳入农业生产性服务数智化与统一大市场建设的交乘项之后，回归结果仍然显著，交乘项系数为-0.001，且通过了10%显著性检验，表明统一大市场建设能够强化农业生产性服务数智化对碳减排的促进作用。假说3成立。

表6　异质性分析结果

变量	粮食主产区	非粮食主产区	平原	丘陵	农业生产性服务数智化分维度			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
农业生产性服务数智化	-0.230***	-0.098**	-0.268***(0.073)	-0.080**				
	(0.071)	(0.034)		(0.034)				
农机作业服务数智化					-0.105			
					(0.066)			
科技信息服务数智化						-0.194***		
						(0.054)		
金融服务数智化							-0.301***	
							(0.102)	
商贸流通服务数智化								-0.118**
								(0.052)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
R^2	0.793	0.421	0.729	0.487	0.542	0.634	0.553	0.552
样本量	156	204	192	168	360	360	360	360

表7　调节效应检验结果

变量	(1)	(2)
农业生产性服务数智化	-0.314***	-0.262***
	(0.053)	(0.063)
农业生产性服务数智化与政府财政支农的交乘项	-1.863**	
	(0.880)	
农业生产性服务数智化与统一大市场建设的交乘项		-0.001*
		(0.001)
控制变量	控制	控制
固定效应	控制	控制
R^2	0.630	0.622
样本量	360	360

五、结论与政策建议

（一）结论

本文深入探讨了农业生产性服务数智化对农业碳减排的影响及作用机制，得出了以下结论：第一，农业生产性服务数智化能促进农业碳减排；第二，农业生产性服务数智化通过提高资源配置效率、促进农业技术进步和提升农业生产专业化水平推动农业碳减排；第三，异质性分析表明，农业生产性服务数智化对粮食主产区、平原地区农业碳减排的影响更显著，农机作业服务数智化对农业碳减排的作用效果不如科技信息服务数智化、金融服务数智化和商贸流通服务数智化；第四，政府财政支农、统一大市场建设在农业生产性服务数智化对农业碳排放的影响中发挥正向调节作用。

（二）政策建议

1. 强化数字基建支撑，筑牢数智化转型根基

首先，分层推进网络覆盖，破解区域不均衡难题。一方面，优先在粮食主产区部署5G与物联网融合基站，实现田间作业区、农机服务站点等关键区域网络全覆盖，夯实精准农业信息基础。另一方面，针对丘陵山区地形复杂、信号覆盖难的问题，加快推进重点农业县的通信信号补盲行动，切实保障智能农机的高精度定位与农田监测数据的稳定、可靠传输。其次，搭建农业数据资源共享平台，打通数据流通壁垒。由农业农村部牵头主导，明确气象局、自然资源部及农业龙头企业为数据提供主体，整合农机作业、气象监测、农产品流通等核心数据；同步制定统一数据接口标准，设立数据安全管理中心，向农机服务组织、农业企业开放数据查询权限，为精准施肥、低碳作业提供坚实数据支撑。

2. 加快农机普及应用，提升智能作业效能

首先，开展“数智农机下乡”专项行动，聚焦粮食生产关键环节，政府统一采购无人播种机、变量施肥机、智能植保无人机等装备，创新“政府租赁+服务组织运营”模式，农户仅需支付基础服务费即可享受服务，大幅降低小农户准入门槛。其次，同步构建“线上+线下”一体化培训体系，线上依托农业技术平台开设短视频课程、直播答疑，讲解设备操作、故障排查技巧；线下组织技术员进村入户开展“一对一”实操指导，建立村级技术服务站提供常态化维护支持，全面提升农户操作维护能力，增强其对数字服务的接受度与使用意愿。最后，推动土地规模化经营。针对耕地细碎化问题，由村集体牵头通过土地托管、经营权流转等方式整合零散地块，实现“小块并大块”规模化作业，提升数智农机使用效率。

3. 完善政策激励机制，强化低碳导向保障

首先，优化财政支农结构，建立“基础补贴+减排奖励”双重激励机制，对采纳数智化低碳服务的新型农业经营主体，按服务面积给予基础补贴，并将碳减排量纳入补贴核算因子，减排成效越好补贴额度越高，最大化财政资金杠杆效应。其次，创新绿色金融支持模式，引导商业银行推出“智慧农机专项贷”“碳效挂钩农业贷”，对应用变量施肥、智能灌溉等减排技术的项目，提供贴息贷款，并可适当延长贷款期限，降低资金周转压力。最后，依托全国统一大市场，打破区域服务壁垒，建立跨区域数智化农业服务交易平台，同步构建农业碳减排量核算标准体系，推动减排成效纳入碳交易市场，实现绿色收益可量化、可交易，持续激发主体低碳转型动力。

参考文献

[1] 吴贤荣, 张俊飚, 田云, 等. 基于公平与效率双重视角的中国农业碳减排潜力分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(7): 1172−1182.

[2] 姜长云. 关于发展农业生产性服务业的思考[J]. 农业经济问题, 2016, 37(5): 8−15.

[3] 张恒, 郭翔宇. 农业生产性服务业发展与农业全要素生产率提升: 地区差异性与空间效应[J]. 农业技术经济, 2021(5): 93−107.

[4] 楚明钦. 农业生产性服务嵌入对农业效率影响的实证[J]. 统计与决策, 2021, 37(24): 75−79.

[5] 秦天, 彭珏, 邓宗兵. 生产性服务业发展与农业全要素生产率增长[J]. 现代经济探讨, 2017(12): 93−101.

[6] 罗明忠, 魏滨辉. 农业生产性服务的碳减排作用: 效应与机制[J]. 经济经纬, 2023, 40(4): 58−68.

[7] 陆岷峰, 欧阳文杰. 以金融数智化创新驱动现代化产业体系建设[J]. 理论月刊, 2024(3): 78−86.

[8] 郭海红. 互联网驱动农业生产性服务创新: 基于价值链视角[J]. 农村经济, 2019(1): 125−131.

[9] 郝爱民, 刘育廷, 解梦菡. 生产性服务数智化对农业绿色全要素生产率的影响——兼论政府环境规制的调节作用[J]. 科技管理研究, 2024, 44(2): 163−171.

[10] 田野, 叶依婷, 黄进, 等. 数字经济驱动乡村产业振兴的内在机理及实证检验——基于城乡融合发展的中介效应[J]. 农业经济问题, 2022(10): 84−96.

[11] 田红宇, 关洪浪. 数字经济对粮食生产碳排放的影响研究——来自长江经济带108个地级市的经验证据[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(8): 145−157.

[12] 郝爱民. 农业生产性服务对农业技术进步贡献的影响[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2015, 14(1): 8-15.

[13] 罗必良, 胡新艳, 张露. 为小农户服务: 中国现代农业发展的“第三条道路”[J]. 农村经济, 2021(1): 1-10.

[14] 李启平, 韩绍凤. 农村劳动力就业路径与动力因由: 基于低碳农业产业体系[J]. 改革, 2011(4): 82-87.

[15] 田云, 廖华. 数字经济对农业碳排放的影响及作用机制研究[J]. 改革, 2024(9): 84-99.

[16] 李颖慧, 陈红, 游星. 中国农业生产性服务效率的时空分异特征及影响因素识别[J]. 农林经济管理学报, 2024, 23(5): 612-622.

[17] 伍国勇, 刘金丹, 杨丽莎. 中国农业碳排放强度动态演进及碳补偿潜力[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(10): 69-78.

[18] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.

[19] Ball V E, Bureau J C, Nehring R, et al. Agricultural productivity revisited[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1997, 79(4): 1045-1063.

[20] Qing C, Zhou W, Song J, et al. Impact of outsourced machinery services on farmers' green production behavior: Evidence from Chinese rice farmers[J]. Journal of Environmental Management, 2023(327): 116843.

（责任编辑：肖舒苑）

Impact of Productive Services Digital and Intelligent Transformation on Agricultural Carbon Emission Reduction

HAO Aimin, WANG Shuyue

(School of Economics, Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: Promoting green and low-carbon development in agriculture is a key component of achieving high-quality development. This study constructs an index system for the digital and intelligent transformation of agricultural productive services using panel data from 30 provinces in China from 2011 to 2022. The total carbon emissions from six major agricultural carbon sources are estimated using the emission coefficient method, and the impact of digital and intelligent transformation of productive service on agricultural carbon reduction is empirically tested. The findings reveal that the digital and intelligent transformation of productive services significantly facilitates carbon emission reduction in agriculture. Mechanism analysis indicates that digital and intelligent transformation of productive service empowers agricultural carbon reduction by improving resource allocation efficiency, promoting technological progress, and enhancing the level of production specialization in agriculture. Heterogeneity analysis shows that the effect is more pronounced in major grain-producing areas and plain regions. In dimension-level tests of productive-service digitization, the digitization of science & technology information services, financial services, and commercial & circulation services has a more significant suppressive effect on agricultural carbon emissions. Further analysis suggests that government financial support for agriculture and the development of a unified national market can strengthen the positive impact of digital and intelligent transformation of productive service on agricultural carbon reduction. Accordingly, it is proposed to improve the construction of rural digital infrastructure, consolidate the basic conditions for the agricultural productive services digital and intelligent transformation; improve the supporting service policy, promote the digital intelligence of agricultural machinery operation services; increase the policy support for productive services digital and intelligent transformation to empower the agricultural carbon emission reduction, findlly cultivate favourable environment.

Key words: productive services; digital and intelligence; agricultural carbon emission reduction; green and low-carbon agriculture.