涉农数智技术采纳现状与现实挑战：基于两套具有代表性农户调查的研究

易红梅[1]，何 煦[1]，智华勇[1]，黄季焜[1*]，陈 曦[2]

（1. 北京大学现代农学院/中国农业政策研究中心，北京 100871，中国；2. 台州科技职业学院，浙江台州 318020，中国）

摘 要：［**目的/意义**］评估涉农数智技术在中国农业农村微观生产主体中的采纳现状，识别涉农数智技术应用在农业农村未来发展中面临的主要挑战。［**方法**］基于两套具有代表性的农户调查数据，首先使用描述性统计方法刻画了各类涉农数智技术在中国农业农村的采纳情况；进一步结合文献综述，梳理了技术采纳的潜在影响及其作用机制，并进一步联系理论与实践，分析了这些数智技术在普及过程中面临的挑战及其成因。［**结果和讨论**］研究表明，非嵌入式数智技术在农业中的应用总体呈现“重生活、轻生产”的特征。农业主要决策者智能手机使用率已达76%，但其主要用于社交与娱乐（如微信、抖音、快手），在农业生产、销售及政策信息获取中的应用明显不足；约三分之二的受访者未关注农业类公众号，78%的受访者表示较少通过智能手机获取农业政策信息。在电商与数字金融领域，农户“消费端参与较多、生产端应用不足”的特征同样突出：2023年约52%的农户有网购行为，但通过网络销售农产品的比例仅为0.32%，开展网络贷款的农户占比亦不足2%。与之形成对比的是，嵌入式数智技术在农业生产中的扩散相对较快。以无人机和北斗导航为代表的技术已在关键生产环节中得到应用：2023年约8%的农户在植保环节使用无人机，粮食主产区无人机植保作业覆盖耕地面积占比达39.3%，且主要依托社会化服务体系实现；配备北斗导航的农机占比按农户数量与耕地面积加权分别达到8%和12.5%。进一步分析表明，非嵌入式数智技术应用不足，主要受制于农户认知与数字素养约束、基础设施条件及政策支持不足；而嵌入式技术的加速扩散，则与其成本下降、社会化服务组织发展以及行业标准逐步完善密切相关。［**结论**］总体来看，中国农业农村数智化转型正在起步阶段。推动农业农村数智化转型，需积极提升农户数字素养、培育高人力资本水平的新型农业经营主体，继续推动农业适度规模化发展，培育社会化服务主体，加强服务供给能力，从而实现更广泛、更有效的数智技术普及与农业现代化提升。

关键词：数智技术；数智化转型；农业社会化服务；农村电商；数字金融；北斗导航；无人机

中图分类号：[TP-9];[S-9] **文献标识码：**A **文章编号：**SA202601001

引用格式：易红梅, 何煦, 智华勇, 黄季焜, 陈曦. 涉农数智技术采纳现状与现实挑战:基于两套具有代表性农户调查的研究[J]. 智慧农业(中英文), 2026, 8(3): 51-66. DOI：10.12133/j.smartag.SA202601001

YI Hongmei, HE Xu, ZHI Huayong, HUANG Jikun, CHEN Xi. Adoption and Challenges of Digital and Intelligent Technologies in Agriculture: Evidence from Two Representative Household Surveys[J]. Smart Agriculture, 2026, 8(3): 51-66. DOI：10.12133/j.smartag.SA202601001 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

加快建设农业强国，是全面建成社会主义现代化强国做出的战略部署，是一项长期而艰巨的历史任务。中国农业系统以小农户为主，农业强国建设面临多重约束。一是人均资源不足、历史欠账较多，导致农业基础薄弱、生产效率偏低，效益和国际竞争力不足。二是城乡及农村内部收入差距仍然突出，耕地约束趋紧，粮食和饲料进口持续攀升，粮食安全压力大。三是传统发展模式对资源环境形成制约，叠加农业人口老龄化、小农户经营分散和极端气候频发，农业系统整体韧性不足。

收稿日期：2025-12-31

基金项目：国家自然科学基金项目（72361147522）；北京大学现代农业研究院（山东潍坊）项目

作者简介：易红梅，博士，教授，研究方向为农业经济学、数字技术、农村人力资本。E-mail：hmyi.ccap@pku.edu.cn

*通信作者：黄季焜，博士，教授，研究方向为农业经济学、发展经济学。E-mail：jkhuang.ccap@pku.edu.cn

本文的附表材料可在本刊官网和知网检索并下载。

copyright©2026 by the authors

为破解上述约束，亟须依靠科技创新推动农业强国建设，数智技术因此被视为关键的战略性工具之一。近年来，中国先后出台了《数字乡村发展战略纲要》《数字乡村发展行动计划（2022—2025年）》，以及《全国智慧农业行动计划（2024—2028年）》等一系列政策文件，明确提出要以数字化转型为抓手，持续推动数智技术与农业农村经济的深度融合，推动农业高质量发展和农业强国建设。最近，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》强调“全面实施‘人工智能+’行动，……抢占人工智能产业应用制高点，全方位赋能千行百业”。2026年中央一号文件《中共中央 国务院关于锚定农业农村现代化 扎实推进乡村全面振兴的意见》也指出“因地制宜发展农业新质生产力，促进人工智能与农业发展相结合，拓展无人机、物联网、机器人等应用场景……”。在国家政策的长期支持和引导下，地方政府与市场主体在农业农村领域广泛开展了各类数智技术的试点和示范。

已有研究显示，如果制度、政策和投资安排得当，数智技术的应用有望显著提升农业与农村经济的可持续性、韧性、效率与包容性，服务农业强国建设。研究表明，数智技术显著提升了农户的市场接入能力，在促进农产品销售、引导生产方向调整的同时，也提高了农户的收入水平[1,2]。数智技术通过优化农业生产组织方式，节约劳动力，提升了农业生产效率，增强粮食安全保障[3,4]。通过精准施肥、节水灌溉等手段，数智技术显著改善了资源利用效率，减少了农业面源污染，推动了农业绿色转型[5,6]。数智技术还可强化农业系统的风险管理与预警能力，增强农户和农村地区应对气候变化与突发事件的适应力与恢复力[7,8]。

数智技术对农业的最终作用不仅取决于其潜在的影响大小，还取决于农户对各类数智技术的采纳水平。已有研究显示，农户数智技术的采纳与农户的经营规模、人力资本、经营类型等密切相关[9,10]。黄季焜[11]发现，虽然农村电商的进入能显著提升农产品的销售价格，但是参与农村电商的农户占比非常低。因此，如果忽略农户对涉农数智技术的采纳率，仅仅关注已有的正向结果占据主导地位的数智技术采纳影响评估结果，很可能导致各界对数智技术的发展过于乐观，忽视了现实中的限制因素。特别是当这些影响评估仅基于某一局部区域或者试点区域，或者缺乏清晰的样本框时，其研究结论进行外推需要非常谨慎。总体而言，目前这类将数智技术是否采纳、采纳影响因素，以及采纳效果结合进行比较分析的研究还非常少，而且这少量的研究多聚焦于某项单一数智技术的典型应用分析[9,12]，在微观层面一直缺乏全国代表性的样本来较为全面地反映数智技术在农户层面的整体应用进展。

因此，本研究旨在利用两份具有代表性的农户调查数据在微观层面描述农户数智技术应用，以更加客观地认识数智技术在农业农村的应用进展；并结合已有的数智技术采纳和影响研究相关文献，对数智技术在中国农业农村的应用现状、挑战及未来前景开展比较与深入讨论。本研究首先进行文献综述并提出理论假说，然后基于两套农户调查数据描述分析嵌入式数智技术和非嵌入式数智技术在农业农村的应用进展，之后结合已有文献总结嵌入式和非嵌入式数智技术采纳的异质性和作用机制，进一步分析数智技术对农业农村的影响和可能面临的挑战，最后提出有关中国农业农村数智化转型发展的政策建议。

1 涉农数智技术采纳的影响因素与研究假说

1.1 技术采纳的影响因素

在农业经济学文献中，影响农业技术采纳的因素主要可归纳为5个方面。首先是人力资本。人力资本水平较高的农户通常学习成本更低、吸收能力更强，因此更可能更快采纳新技术[13,14]。其次是风险与预期收益。对农户而言，只有当采纳新技术的预期收益在扣除采纳成本并考虑风险补偿后，仍高于不采纳的预期收益时，才会选择采纳[15]。第三是信贷、保险等要素市场的发展。由于许多农业技术，特别是农机装备，需要较高的前期投入，不完善的金融市场会制约农户的融资能力和风险管理能力，从而削弱其采纳新技术的意愿[16]。第四是规模经济。部分农业技术具有较大的固定成本或存在规模报酬特征，经营规模扩大能够摊薄单位固定成本并提升设备利用率，从而提高技术采纳的经济性与可行性[17-19]。第五是农业社会化服务。社会化服务能够将原本需要农户一次性购置设备、掌握复杂技能的技术“服务化/外包化”，把高固定成本分摊到服务组织的规模化作业中，从而降低小农户采用农业数智技术的门槛[20]。

1.2 涉农数智技术的分类

在农业数智化研究中，数智技术常被区分为嵌入式数智技术（Embodied Digital Agriculture）与非嵌入式数智技术（Disembodied Digital Agriculture）。二者的核心差别在于：技术是否直接嵌入农业生产过程，并能够感知或作用于物理世界。嵌入式数智技术通常以农机具或其他设备为载体，通过传感器与执行装置与田间环境发生直接交互；非嵌入式数智技术则更多表现为与生产经营相关的软件与信息系统，如手机应用、农场管理系统、数字台账等，主要提供信息记录、分析与决策支持[21]。

具体而言，嵌入式数智技术一般具有以下特征：（1）存在明确的硬件载体，物理集成于农机或设备之中；（2）具备感知与/或执行功能，可直接影响生产过程；（3）通常需要较高的前期投入，并伴随后续运维需求。相应地，非嵌入式数智技术通常表现为：（1）以软件、数据服务或信息系统为主要形式，并以手机、电脑等终端为载体；（2）以记录、分析与决策支持为主，不直接改造或控制农业生产系统；（3）更多依赖数据、算法与系统迭代更新，而非设备层面的改造升级[22]。

基于嵌入式与非嵌入式数智技术在形态与功能上的差异，影响这两类技术采纳的关键因素也不同。

首先，相较于非嵌入式数智技术，嵌入式数智技术通常需要较高的一次性设备投入，因而对资金约束更为敏感，也更依赖规模经济。由此，资本或信贷的可得性、农业经营规模，以及既有机械化基础等，往往成为影响嵌入式数智技术采纳的重要因素。相比之下，非嵌入式数智技术多以软件或App形式存在，通常仅需依托手机或电脑即可使用，额外固定资产投入较少；且不少产品采取订阅制或按服务付费模式，使其采纳的资金门槛相对较低，更强调持续使用过程中的服务质量与数据支持。

其次，两类技术对使用者能力结构的要求存在差异。嵌入式数智技术以农机装备为载体，往往对设备操作、参数设置与校准、日常维护与故障处理等能力提出要求；而非嵌入式数智技术主要围绕软件操作、信息录入与管理、数据解读与决策支持展开，更依赖使用者的数字素养、信息处理能力以及对系统更新的持续学习能力。

1.3 研究假说

综上所述，除了影响农业技术采纳的因素外，影响嵌入式数智技术采纳的关键因素相对更侧重于经营规模、机械化基础以及资金约束程度等；而影响非嵌入式数智技术采纳的因素则更侧重于农户的人力资本特征，如教育水平、年龄、数字素养与相关培训经历等。基于中国目前农村现状，得出如下研究假说。

假说1：对于嵌入式数智技术，经营规模较大农户相较于较小农户的采纳水平更高。

这主要是因为较大规模农户更容易达到规模经济，每单位的技术采纳成本更低。同时，较大规模农户在信贷获取方面也更具优势。

假说2：非嵌入式数智技术可及性高，但是在农业生产领域采纳率不高。

非嵌入式技术一般为手机App或电脑软件，且很多服务为订阅制，对于一次性的资金投入要求低。因此，在目前智能手机和家庭电脑普及的情况下，可及性相对更高。但是，应用于农业的非嵌入式数智技术对使用者人力资本（特别是数字素养）提出了较高的要求，因此采纳率受到限制。

2　数据与方法

2.1 中国农业农村发展追踪调查

中国农业农村发展追踪调查是北京大学中国农业政策研究中心开展的一项始于21世纪初的长期追踪调查（以下简称“九省调查”，关于这一调研的更多信息参见文献［23，24］）。其中，2024年该调查在九个省份开展了具有全国代表性的农户调查，旨在了解农业农村发展现状和农户数智技术使用情况。该调查通过分层随机抽样的方法选取样本，具有较好的全国代表性。抽样具体分为以下几个步骤：首先，根据地理和气候等特征，将全国分为七个区域，并从每个区域中抽取1～2个样本省份——东北（辽宁）、华北（河北和山东）、华东（浙江）、华中（湖北和江西）、华南（广东）、西南（四川）和西北（陕西）。接着，在每个样本省，根据人均工业总产值从高到低，将所有县分为若干等份，从每等份中随机抽取一个样本县。然后，在每个样本县中，根据经济发展水平，将所有乡镇从高到低分为2～3等份，从每等份中随机抽取一个样本乡镇。最后，在每个样本乡镇中，随机抽取1～2个样本村。在每个样本村中随机抽取10或20个农户。由于是追踪调查，每轮调查的样本首先追踪前期曾经调查过的农户，如果有农户样本流失，调研团队将按照同样的抽样流程抽样补充。每轮追踪农户样

本的成功追踪率都在80%以上。表1列出了2024年调研的样本省份及各省样本县、乡、村、户的数量。考虑到各个样本省样本农户数量的差异，在后续分析中，进行了加权处理，各省单个农户的权重如表1所示。

表 1 九省调查样本量及户权重

Table 1 Sample sizes and household weights of the nine-province survey

区域	省份	县(市)/个	乡(镇)/个	村/个	农户/个	户权重
东北	辽宁	5	10	10	200	1/1 800
华北	河北	5	10	10	200	1/1 800
	山东	10	30	60	600	1/5 400
华东	浙江	5	10	20	200	1/1 800
华中	湖北	5	10	20	200	1/1 800
	江西	12	36	108	1 080	1/9 720
华南	广东	5	10	20	200	1/1 800
西南	四川	5	10	20	200	1/1 800
西北	陕西	5	10	20	200	1/1 800
合计		57	136	288	3 080	—

注：—表示无数据。

2024年九省调查通过一系列广泛和深入的问题，详细收集了被访农户在调研前一年（2023年）数智技术应用情况，包括无人机、电商、数字金融等。考虑到数智技术在农业农村的应用场景非常丰富，不同人群的技术采纳水平差异也比较大，本研究聚焦在农户家庭与农业生产经营活动之间有直接关系的数智技术和农业生产经营活动的主要决策者。在嵌入式数智技术中，九省调研主要关注无人机和北斗导航技术的采纳情况（九省调研中也包括智慧农业平台以及智能水肥一体化技术等内容，但是由于样本户中尚无人采纳此类技术，因此本研究将不对此赘述）。为了解非嵌入式数字技术采纳情况，此次调研详细询问了家庭中农业生产或农产品销售最主要决策者（以下简称“农业最主要决策者”）是否使用智能手机、是否使用微信、是否关注微信朋友圈的销售信息、使用的短视频平台、关注的短视频内容、是否网购、是否通过网络电商销售农产品，以及使用手机App和（或）网络获取信贷的情况。

调查数据显示，2023年约29%的农户没有从事农业生产和农产品销售。在剩余71%从事农业生产或农产品销售的农户里，家庭农业最主要决策者多为男性，占比81%（表2）。其中，西南地区和华南地区的女性决策者占比分别为39%和22%，高于全国平均水平（19%）。样本中，农业最主要决策者的平均年龄为62岁。其中，西南地区的平均年龄最小，只有59岁，而华东地区最大，已经达到67岁。农业最主要决策者的平均受教育年限为7.65年，相当于初中二年级的水平。其中，东北地区和西北地区相对最高，分别达到了8.60年和8.37年，而华东地区最低，只有6.51年。表3通过进一步对比分析发现，农业最主要决策者中，男性要比女性的平均年龄大3岁，受教育年限也多1年。

表 2 主要农业决策者的性别、年龄和受教育水平

Table 2 Characteristics of primary agricultural decision-makers

特征	东北	华北	华东	华中	华南	西南	西北	合计
男性占比/%	85	84	86	82	78	61	86	81
年龄/岁	63.43	61.28	67.22	63.15	62.58	59.36	60.42	62.25
受教育水平/年	8.60	7.84	6.51	7.47	7.47	7.10	8.37	7.65
样本数量	120	662	92	921	144	165	187	2 291

表 3 农业主要决策者的性别差异

Table 3 Gender differences of primary agricultural decision-makers

特征	女	男	*P*值
年龄/岁	59.73	62.82	<0.001
	(10.20)	(10.01)	
受教育水平/年	6.82	7.81	<0.001
	(5.97)	(4.24)	
样本数量	425	1 866	

注：括号中数值表示标准差。

2.2 2023年粮食主产区农户调查

尽管九省样本采用分层随机抽样方法，具有较好的全国代表性，但该样本框也存在如下两个潜在局限：(1) 该调查是长期的追踪调查，虽然能够充分体现过去和现在实际务农的农户状况，但不可避免地存在农户样本老化的问题；(2) 该调查在村内抽取农户样本时采用随机抽样的方法，因此很难得到足够的样本去刻画近年来快速增长的规模经营主体的数智技术采纳情况。粮食主产区农户调查采用对规模经营农户超额抽样的办法，弥补了随机抽样办法难以反映较大规模农户经营状况的信息不足问题。2023年，北京大学团队以安徽、吉林、山东和四川四个粮食主产省份为研究对象，在每个省的产粮大县（前三年每年粮食产量在50万吨以上）中通过分层随机抽样的方式选取了3个样本县，类似地在每个县分层随机选取了2个样本乡镇，每个样

本乡镇选取2个样本村。县、乡、村均是按照耕地规模进行分层。最终，数据覆盖了四个样本省份中的12个县、24个乡镇、48个村庄。在村庄选取农户上，与九省调查的随机抽样方法不同，粮食主产区农户调查将村内所有农户分为三层，然后在每层进行不等比例随机抽样：大规模种植户抽取3户、小规模种植户抽取7户和不种地农户抽取3户。在安徽、四川和山东三省，抽样时对大规模种植户的定义为经营耕地面积超过2 hm^2；在吉林省，这一标准为3.33 hm^2；否则定义为小规模种植户。不种地农户是指不从事农业生产的农户。

村级调查数据显示，48个样本村所有农户中，小规模种植户约占总户数的65.6%，大规模种植户约占3.7%，不种地农户约占30.7%。从48个样本村耕地面积来看，小规模种植户总经营面积超过样本村耕地总面积的78.0%。同时，还在样本乡镇的非样本村抽取了规模经营主体。调研组首先从县农业农村局收集样本乡镇新型经营主体的名单和基本信息。然后，将非样本村的大规模种粮户、家庭农场或合作社根据经营土地规模大小分成4层，每层随机抽取2个，共8个主体进行调查。如果不足8个，则调查所有主体。

由于本研究聚焦涉农数智技术的采纳，所以以下分析将排除不种地农户。从年龄来看，677个种植户家庭农业劳动力平均年龄为58岁。其中，大规模种植户（包括样本村内规模主体样本和乡镇规模主体样本）的平均年龄是50岁，小规模种植户的平均年龄是59岁。从受教育程度看，大规模种植户农业劳动力的教育水平以初中学历为主，占46%，高中及以上学历占25%；小规模种植户农业劳动力教育水平以初中及以下学历为主，其中小学、初中和高中及以上学历分别占39%、37%和11%。从经营规模来看，大规模种植户平均经营耕地47.4块，经营耕地的块均面积为0.48 hm^2。小规模种植户平均经营7.3块，块均面积为0.11 hm^2。

该调查首先询问了农户家庭农机购置情况，包括自家是否有农机，自家农机是否装有北斗导航系统、自己是否有植保无人机等。在每个关键农事环节，该调查详细询问了农户自家农机使用和通过社会化服务使用农机的情况，以及是否涉及数智技术应用。这些环节和涉及的数智技术主要包括：耕种收环节是否使用农机社会化服务，耕种收环节使用的社会化服务提供的农机是否装北斗导航，是否使用植保无人机社会化服务等。

2.3 研究方法

本研究主要采用描述性统计、比较研究和文献综述的研究方法。具体而言，本研究通过描述性统计的方法计算不同数智技术的采纳率，并在不同地区、不同人群之间进行对比，客观描述涉农数智技术在中国农业农村的应用现状。在描述性统计分析的基础上，本研究结合文献综述的研究方法，进一步分析当前数智技术在农业农村中应用所面临的挑战及其原因。最终基于上述分析，总结并提出相关政策建议。

3　结果与分析

3.1 非嵌入式数智技术在农业农村的应用进展

3.1.1　信息通信技术与最常用App

九省调查显示（文中如无特殊说明，相关分析均是以九省调查数据为基础），农业最主要决策者使用智能手机的比例较高。平均来看，76%的农业最主要决策者使用智能手机，男性（76.3%）和女性（76.6%）差别不大（表4）。分区域来看，除华东（55%）外，其他地区农业最主要决策者使用智能手机的比例均在72%～83%之间。华东地区农业最主要决策者的智能手机使用率明显低于其他地区，一个可能的原因在于他们的年龄最大、教育水平最低（表2）。其背后的根源可能是华东地区非农经济发达，对年轻的高人力资本劳动力的虹吸力量更大，使得农村劳动力老龄化、低教育水平的现象更加明显。

农业主要决策者在智能手机上常用的App中排名前三的分别是微信、抖音和快手。样本中，分

表4　农业主要决策者使用智能手机的比例

Table 4　Ratio of primary agricultural decision-makers who use smartphones

单位：%

区域	合计	男	女
东北	80.8	78.4	94.4
华北	77.0	77.8	73.7
华东	55.4	58.2	38.5
华中	72.6	74.2	69.8
华南	75.7	72.3	87.5
西南	82.4	80.2	85.9
西北	82.9	84.4	74.1
全样本合计	76.3	76.3	76.6

别有79%、13%和4%的农业主要决策者报告，微信、抖音和快手是其智能手机上较为常用的App（图1）。特别是微信，将其作为常用App的农业主要决策者的比例在各个区域都很高（68%～88%，图2）。而且微信使用频率也很高。接近86%的微信使用者至少一周使用一次，各个区域使用频率差异不大（表5）。其他常用的App除了今日头条（1.4%）外，其余App占比均不到1%（图1）。

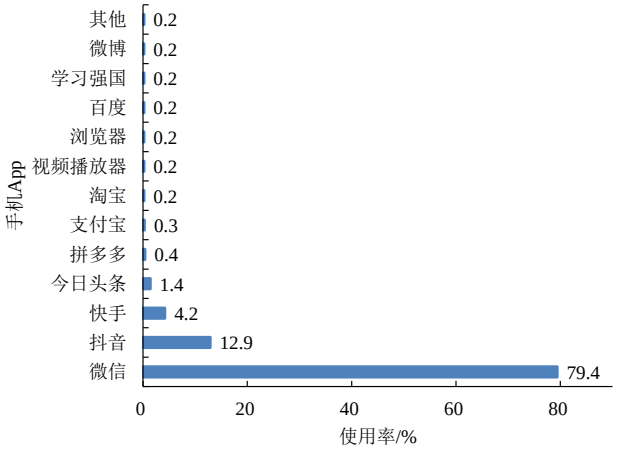


图1 农业主要决策者智能手机上常用的App分布

Fig. 1 Distribution of the frequently used smartphone apps among primary agricultural decision-makers

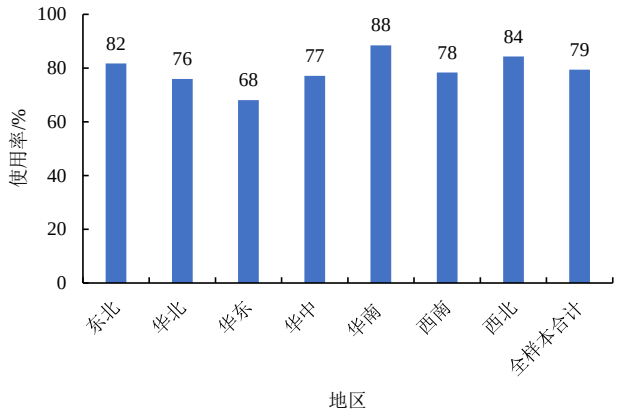


图2 各区域农业主要决策者中常用App为微信的比例

Fig. 2 Ratio of primary agricultural decision-makers using WeChat frequently in each region

尽管频繁使用微信，但农业主要决策者使用微信从事或辅助农业生产和销售活动的并不多。使用微信的农业主要决策者中，平均有59%使用朋友圈功能（图3）。除华东（41%）、华北（46%）和华南（56%）外，其他地区这一比例均在61%～68%之间。而关注朋友圈中销售信息的比例则较少，平均约为25%，但东北（38%）和西北（37%）相对较高。关注农业相关公众号的决策者更少（表6）。

表5 各区域农业主要决策者使用微信的频率

Table 5 Frequency of WeChat use among primary agricultural decision-makers in each region

单位：%

区域	基本不用	偶尔使用	经常使用或每天都使用	合计
东北	1.2	19.3	79.5	100
华北	3.2	12.4	84.4	100
华东	4.9	19.5	75.6	100
华中	1.7	15.0	83.3	100
华南	5.0	11.0	84.0	100
西南	3.2	10.2	86.6	100
西北	1.3	3.4	95.3	100
全样本合计	2.6	11.9	85.5	100

约三分之二的农业主要决策者表示，基本没有关注过农业公众号，22%的偶尔关注，只有12%表示经常使用、频繁使用或每天都在使用。

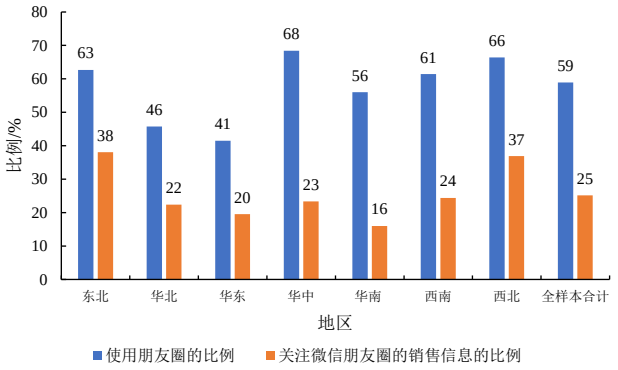


图3 各区域使用微信的农业主要决策者中使用朋友圈和关注朋友圈中销售信息的比例

Fig. 3 Proportions of major agricultural decision-makers using WeChat in each region who browse Moments and pay attention to sales information posted on Moments

表6 各区域使用微信的农业主要决策者关注农业公众号的比例

Table 6 Ratio of WeChat-using primary agricultural decision-makers who follow agriculture-related official accounts in each region

单位：%

区域	基本不用	偶尔使用	经常使用或每天都在使用	合计
东北	50.6	33.7	15.7	100
华北	64.6	23.2	12.2	100
华东	68.3	17.1	14.6	100
华中	67.7	21.5	10.8	100
华南	75.0	17.0	8.0	100
西南	77.0	15.8	7.2	100
西北	58.4	23.5	18.1	100
全样本合计	66.1	21.7	12.2	100

农业主要决策者也很少使用智能手机关注农业政策。在智能手机使用者中，基本不用手机关注农业政策（51%）或偶尔关注农业政策（27%）的人占比达到78%，经常使用或更加频繁使用这一功能的只有22%（表7）。西北地区经常关注农业相关政策的手机用户比例最高（39%），其次是东北地区（26%），西南地区最低（13%），其他地区在15%～22%之间。这些经常关注农业政策的手机用户中超过一半认为，用手机查看农业相关信息对农业生产有帮助（53%，图4）。东北地区（65%）和西北地区（58%）的这一比例最高，华北地区和西南地区均刚好过半（51%），其他地区均未过半（41%～44%）。也就是说，仅有10%左右的农业主要决策者用手机关注农业相关政策并且认为对农业生产有帮助，其中西南地区（6.4%）和华中地区（7.0%）最低。

表7　各区域农业主要决策者用手机关注农业政策的比例

Table 7　Ratio of primary agricultural decision-makers who read agricultural policies on smartphones in each region

单位：%

区域	基本不用	偶尔使用	经常使用或每天都在使用	合计
东北	38.5	35.4	26.1	100
华北	53.7	26.7	19.6	100
华东	58.9	19.6	21.5	100
华中	56.0	28.5	15.5	100
华南	59.6	18.4	22.0	100
西南	58.8	28.7	12.5	100
西北	30.3	31.0	38.7	100
全样本合计	50.7	27.4	21.9	100

3.1.2　农村电商与数字金融

涉农数智技术在交易方面的应用主要集中在电商网购与网络贷款领域。2023年，52%的农户进行过网购（表8）。除了东北地区（40%）和华北地区（44%），其他地区农户在线网购的比例均超过一半，最高的是西北地区，达到66%。但通过网络进行销售的农户占比很少。仅有0.32%的农户通过网络销售农产品，0.15%的农户通过网络销售其他商品。进一步分析发现，2023年使用网络销售了农产品的农户加总起来一共只有16笔交易，其中11笔交易通过社交电商（微商）开展，4笔交易通过内容电商（抖音、快手等直播平台）实现，1笔交易为社区电商（如美团买菜、社区优选）完成，没有一笔交易是通过淘宝、京东等传统电商渠道进行的。这也一定程度上反映了新兴的电商平台对小农户的准入门槛可能更低。从销售的农产品类型来看，通过网络销售的16笔农产品交易中15笔为水果、蔬菜等经济作物，粮食作物仅有1笔。

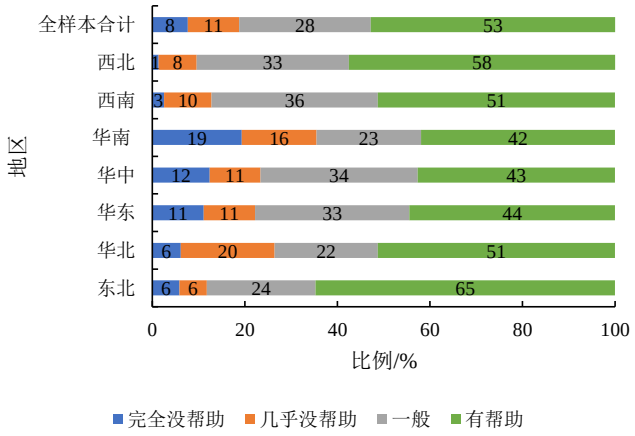


图4　各区域农业主要决策者对“用手机查看农业信息对农业生产是否有帮助”的看法

Fig. 4　Self-reported opinions on usefulness of accessing agricultural information via smartphones by primary agricultural decision-makers in each region

九省调查还显示，样本农户中仅有27%知道可以通过网络进行贷款。除了华东地区（13%）和西北地区（50%）外，其他地区知晓这一信息的农户比例在21%～30%之间。近两年实际申请过的农户更少，约为2%，各区域比例差别不大，均在1.9%～2.0%之间。在实际申请贷款的农户中，他们的网贷数量一般为1～2笔，平均1.45笔。相比而言，农户使用数字金融工具，如蚂蚁花呗和京东白条，进行分期付款的比例占网贷农户的10%。分区域来看，西北地区、华中地区、华南地区相对更高。较高的网络分期付款得益于中国电商网购业务的大力发展。但从所有网贷批次的网贷渠道分布来看（图5），网贷农户的网贷渠道以农村信用社或农商行推出的线上贷款为主（占比为60%左右）。除此之外的渠道还包括，其他商业银行的网络贷款、微信微粒贷、支付宝借呗等，占比均不超过10%，其中网购分期付款占比7.1%。

3.2　嵌入式数智技术在农业农村的应用进展

3.2.1　无人机

无人机植保是目前应用面最广的嵌入式数智技术，且使用比例在部分地区呈现出增长态势。2023年，有约8%的农户在植保环节使用无人机（图6）。华北地区最多（16%），其次是东北地区（12%）和

表 8 2023年样本农户电商参与与网络贷款情况

Table 8 E-commerce participation and online credit use in 2023 among selected households

区域	2023年进行过网购的农户占比/%	2023年有网络销售活动的农户/%		知道可以通过网络进行贷款的农户占比/%	2022—2023年通过网络贷过款的农户占比/%	其中1,2022—2023年网贷农户的网贷数量/笔	其中2,2022—2023年通过网络分期付款的网贷农户占比/%
		农产品	其他商品				
东北	40.0	0.5	0.0	29.5	2.0	1.0	5.0
华北	43.5	0.2	0.6	27.7	2.0	1.1	8.0
华东	50.5	0.0	0.0	13.0	2.0	2.0	7.0
华中	57.9	0.3	0.1	21.1	2.0	1.4	13.0
华南	51.5	1.5	0.0	23.8	1.9	1.7	14.0
西南	57.0	0.0	0.0	29.5	2.0	1.0	9.5
西北	66.3	0.0	0	49.5	1.9	1.8	15.0
全样本合计	52.0	0.3	0.2	27.0	2.0	1.5	10.0

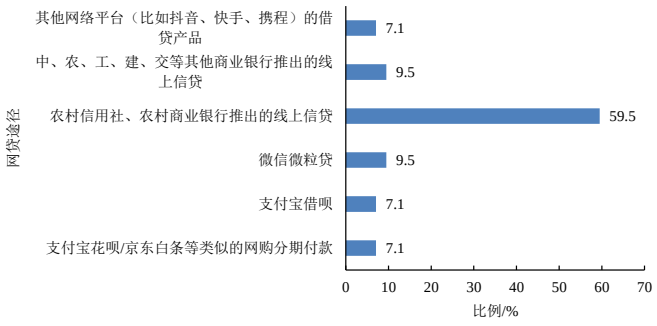


图 5 不同网贷渠道占所有网贷批次的比例

Fig. 5 Distribution of online loan transactions across credit channels

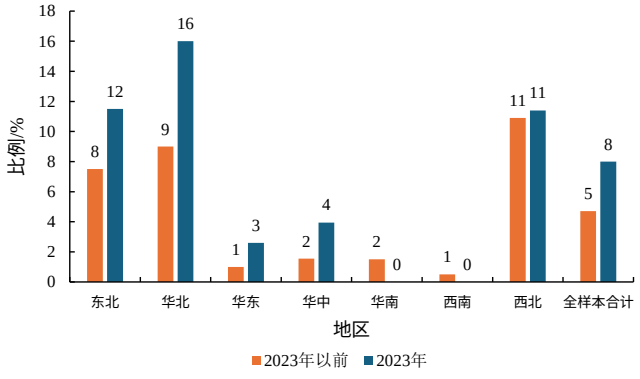


图 6 各区域使用无人机进行植保作业的农户比例

Fig. 6 Ratio of households using drones for pesticide application in each region

西北地区（11%）。华中地区（4%）和华东地区（3%）也有少量农户使用。华南和西南的样本农户没有报告在2023年使用无人机进行植保操作。在2023年以前，5%的农户曾经用无人机给农作物进行过植保作业。除西北地区（11%）、华北地区（9%）和东北地区（8%）外，其他地区这一比例均低于2%。特别值得关注的是东北地区和华北地区相比2023年之前，无人机采用率有相对较大规模的增长：东北地区从8%上涨到了12%，华北地区从9%上涨到了16%。

除植保外，无人机在农业生产其他环节的应用也开始显现。2023年，样本中分别有2.3%、1%和0.2%的农户用无人机进行了除草、施肥和播种作业（图7）。在除草环节，东北地区（5%）、华北地区（4.4%）和西北地区（3.5%）使用无人机的农户比例高于华中地区（1.2%）、华东地区和西南地区（0.5%）；华南地区的样本农户无人报告使用无人机。在施肥环节，东北地区（3.5%）要高于其他地区（0.5%～1.2%）。播种环节使用无人机比例最高的是东北地区和西南地区，但也只有0.5%；华东地区、华南地区和西北地区的样本农户没有报告使用无人机进行播种作业。

为了进一步对比小规模农户与大规模农户在无人机采用上的差异，使用粮食主产区调查数据分别计算了这两类农户自家保有无人机和使用植保无人

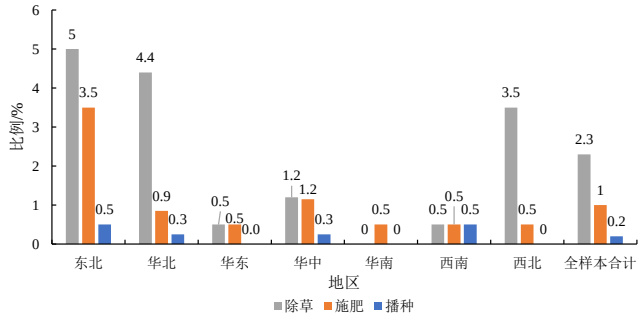


图 7 各区域2023年使用无人机进行除草、施肥和播种作业的农户比例

Fig. 7 Share of households using drones for herbicide, fertilizer, and sowing in 2023 in each region

机社会化服务的情况。如表9所示，分别有42%的大规模种植户和12%的小规模种植户在植保环节使用了无人机社会化服务。可以看出，粮食主产区大小规模种植户使用无人机植保服务的比例均高于九省调查的全国平均水平。如果按照种植户户数结构进行加权，粮食主产区种植户使用无人机植保社会化服务的农户比例为13.6%，如果按照种植户经营土地面积结构进行加权，粮食主产区粮食种植中使用无人机社会化服务的比例占总种植面积的35.4%。如果不进行加权，使用无人机植保社会化服务的农户占比均值为26%。尽管如此，农户自身购买无人机的比例并不高。总体来看，只有5%的大规模农户会自己购买无人机。综合自有植保无人机和使用无人机植保社会化服务，粮食主产区使用无人机植保的耕地面积占比达到39.3%。

表9　粮食主产区样本中无人机的应用现状

Table 9　Application status of drones in major grain-producing regions

无人机使用途径	大规模户/%	小规模户/%	全样本（未加权）/%	全样本（按照户数占比加权）/%	全样本（按面积占比加权）/%
自家是否有植保无人机	5	0	2.5	0.3	3.9
	（22）	（0）			
使用植保无人机社会化服务	42	12	26	13.6	35.4
	（49）	（32）			
样本数量	320	328	648	648	648

注：括号中为标准差。

3.2.2　北斗导航技术

粮食主产区调研还揭示了农机装载北斗导航技术的情况（见表10）。在调研的4个粮食主产省中，82%的大规模种植户购买了农机，其中，16%的大规模种植户的农机安装了北斗导航；41%的小规模种植户购买了农机，但是都没有安装北斗导航。样本地区种植户中农机装有北斗导航的农户按照农户结构和面积分布进行加权平均得到的比例分别为0.8%和12.5%。

尽管大部分农户不会给自家农机装北斗导航系统，但是他们所购买的农机社会化服务所使用的农机有较高的比例装有该系统。在样本地区，大规模种植户在耕种收环节使用农机社会化服务的比例为76%，其中，在耕地、播种和收获环节使用北斗导航的比例分别为33%、30%和27%；小规模种植户在耕种收环节使用社会化服务的农户比例为79%，其中，在耕地、播种和收获环节使用北斗导航的比例分别为18%、17%和26%。如果按照面积加权，社会化服务在耕地、播种和收获环节使用了北斗导航技术的服务面积比例分别在30%、20%和27%。加上大规模户使用自有的装备了北斗导航系统的农机的作业面积，这一比例更高。

综上，发现以农户对无人机和北斗导航技术为代表的嵌入式数智技术的直接购买率虽然较低，但是这类技术的实际渗透边界其实已经远大于农户的直接购买率。大部分农户实际上通过社会化服务的渠道享受了技术进步红利。这一现象说明，社会化服务是嵌入式数智技术在普通农户中实现可及性的重要桥梁。社会化服务能够将原本依赖农户自行购置设备和掌握复杂技术的数智技术转化为专业化外包服务，并通过服务主体的规模化经营分摊固定成本，从而显著降低小农户采纳农业数智技术的门槛[20]。

4　讨　论

前文调研数据显示，目前中国与农业生产和销售相关的数智技术应用极为有限，而且在不同规模的农户中普及程度存在较大的异质性。在此背景下，本研究对嵌入式数智技术以及非嵌入式数智技术采纳的异质性和作用机制进行解释，并进一步探讨数智技术对农业生产经营的影响和在推广普及过程中可能面临的挑战，以期为未来研究提供参考。

4.1　非嵌入式数智技术潜在影响与现实挑战

4.1.1　信息通信技术与常用App

已有研究显示，信息通信技术通过降低信息获取成本促进了粮食产业的绿色生产技术采用、生产率提升、社会化服务普及和农户收入提升，但是也增加了“非粮化”的可能性。首先，互联网（或农技推广平台）的使用促进了粮食种植户绿色生产技术的采用[25,26]，主要作用机制是互联网降低了农户的信息搜寻、获取和谈判的成本，提升了农户绿色

表 10 粮食主产区样本中北斗导航技术的应用现状

Table 10 Application status of BeiDou navigation systems in major grain-producing regions

北斗导航技术的使用途径	大规模户/%	小规模户/%	全样本(未加权)/%	全样本(按照户数占比加权)/%	全样本(按面积占比加权)/%
自家是否有农机	82	41	61.5	43.2	73.0
	(39)	(0.49)			
自家农机是否装北斗导航(仅限自家有农机的户)	16	0	0.08	0.8	12.5
	(37)	(0)			
耕种收环节是否使用农机社会化服务	76	79	77.5	78.8	76.7
	(43)	(41)			
耕地环节使用的社会化服务提供的农机是否装北斗导航	33	18	25.5	18.8	29.7
	(47)	(39)			
播种环节使用的社会化服务提供的农机是否装北斗导航	30	17	22.4	17.7	19.9
	(46)	(38)			
收获环节使用的社会化服务提供的农机是否装北斗导航	27	26	26.5	26.1	26.8
	(44)	(44)			
样本数量	320	328	648	648	648

注：括号中为标准差。

生产技术知识，及其对技术采用的经济收益和生态收益的预期[25, 27]。第二，农户使用互联网提高了土地生产率[28]。主要作用机制体现在两方面：一是可利用互联网信息优化生产结构、改善资源配置和组织管理，提高农业技术效率；二是互联网促进农业知识和技术的扩散，加快了技术进步的速度[29]；第三，互联网使用提升了农户对农业机械化社会服务的采纳水平[30]。主要有两方面作用机制：一是促进非农就业，减少了投入到农业生产的劳动力；二是互联网信息使农户传统的思维模式与知识体系得到变革，从而改变原有行为决策[31]。第四，互联网使用提高或稳定了粮食价格，增加农户收入[32, 33]，主要作用机制是减少了农户和收购商之间的信息不对称，提高了农户的议价能力[34]。

然而，尽管中国农村信息通信基础设施为信息通信技术应用创造了良好条件，但是调查数据和现有文献所提供的统计数据显示农户在农业生产中利用信息通信技术的比例仍然较低。一方面，原因可能在于相当一部分农户尚未充分认识到信息通信技术在农业生产经营中的潜在价值。前文数据分析表明，仍有接近一半的农户认为通过手机获取的农业相关信息对其并无明显帮助。另一方面，农村人口老龄化与整体受教育程度偏低也可能制约信息通信技术的有效使用。农业劳动力的数字素养相对不足，难以顺利借助信息通信技术获取并利用有价值的农业信息[35]。

因此，对于现阶段信息通信技术对农业生产经营的总体影响，应持谨慎态度。本研究认为目前以下三个方面存在局限，未来有待加强：首先，很多研究使用农村家庭调查数据，调查对象并不一定为农业生产决策人。基于此类数据的研究不仅可能会对信息通信技术在农业生产中的实际使用的估算带来较大的误差，而且也在一定程度上高估或低估信息通信技术所带来的影响。其次，很多相关研究对信息通信技术在农业生产中的应用度量仅仅依赖家庭是否接入互联网或使用智能手机等信息，但是对于多大程度上这类技术真的被应用于农业生产经营缺少足够具体的定义和描述，可能会高估该技术所带来的影响。最后，不少研究缺少足够可信的因果识别方法，所得出的结论停留在相关关系层面，其结论的有效性和普适性需要进一步验证。总体而言，尽管很多研究发现信息通信技术会对农业生产经营产生正面的影响，但是由于这类技术在农业生产经营中的采纳度依然较低，可能会导致产生数智技术对农业农村经济产生巨大影响的“幻觉”。

4.1.2 农村电商

中国是世界上电商发展领先的国家之一，且发展势头强劲[36]。电子商务的发展主要从以下两方面对中国农业农村产生影响：一是促进农村线上消费，提高农村居民生活质量；二是推动农产品贸

易，促进农产品上行。

从居民消费的角度来看，现有文献普遍发现农村电子商务能够有效改善农村居民消费结构、缓解城乡消费不平等。研究发现电商平台压缩了“最后一公里”流通成本、扩充可购商品种类，直接提高实际消费福利[2, 37]，而且该影响在中西部地区最为明显，反映出了电子商务技术的包容性[38]。

从农产品上行来看，虽然农村电子商务在政策推动和平台赋能的基础上开拓了本地特色农产品的销路，但是在带动农户增收方面仍然面临着显著的瓶颈与制约。首先，全国农村网络零售额于2022年达到2.17万亿元，其中农产品网络零售额达到0.53万亿元，但这一数额仅占2022年农林牧渔业总产值（156 100亿元）的3.4%。其次，通过电商销售产品（包括农产品和非农产品）的农民占比近年来虽然有所增长，但到2020年也只有2%左右[39]，且多集中于沿海发达的工业集聚区[40]，这可能也与中国绝大多数小农户以粮食生产为主相关。最后，农村电商发展的初期以淘宝平台的兴起为标志，早期进入者和拥有足够资本投入的商人抓住了机遇；随着淘宝网店数量的逐渐增加和其他平台的兴起，网商间的市场竞争加剧，农民参与平台电商的收入降低[41]。同时，以微信为代表的社交电商销售模式迅速兴起，由于其具有销量有限但利润空间大的特点，农民的产品销售渠道开始逐渐从淘宝等平台电商向微信等社交电商转移，但农民社交网络较窄。

现有研究表明，影响个体是否通过线上渠道销售农产品的因素主要包括农户对线上销售技术本身考量、个体内部因素与环境外部因素三个方面。首先，农户对新技术的理解能力影响了其采纳新技术的可能性。农户倾向于采用常规技术，认为采纳新技术的时间和资金成本过高，学习过程复杂，对现代农业技术的采用率不高[42]。其次，农户个体特征对其采纳电商的影响也得到较多讨论。平均受教育程度更高并拥有电商培训经历的农户参与电商的比例更高[43, 44]。还有，农户所处地区的外部条件也会对其电商采纳决策产生影响。物流便利和信息通信基础设施完备的地区电商销售成本较低，因此农户参与电商销售的意愿较强[43, 45]。此外，对于以生产经营为主、缺乏电商销售经验的小农户而言，政府提供的电子商务培训、创业基地以及电子商务扶持资金等各项支持也可以有效提高农户采用电商的意愿[46]。

综上，尽管电子商务在我国快速发展，其带来的主要影响局限在对于农村居民消费水平和消费多样性的提升。而在农产品销售方面，调查数据显示，真正使用电商进行农产品销售的农户占比十分有限，不到1%。在如此有限的采纳率背景下，尽管已有研究发现通过电商销售能够有效提高销售价格，提高居民收入，但其最终带来的整体影响依然十分有限。上述文献分析认为，电商难以推动农产品上行的主要原因一方面为该技术对于农户群体的学习门槛过高，农户缺乏足够的相关知识和培训，以及使用电商销售的基础设施不够完善等。另一方面，农产品作为一种非标准产品，消费者通过电商渠道难以准确获取产品的质量信息，这就造成了农户与消费者之间的“信任鸿沟”。如何使用社交网络或品牌建设等方式减小这一信任鸿沟对于普通农户来说是一个不小的挑战。

4.1.3　数字金融

关于数字普惠金融对于农业产业转型升级的影响研究相对较少。有研究发现，数字金融的发展促进了农户采用机械化生产方式[47]和绿色生产技术[48]。主要作用机制是数字金融能够降低交易成本和服务门槛，缓解了传统金融对农业部门的排斥和地理距离制约问题，为农业产业发展提供相对充足的资金支持，提高了农户的信贷可获得性和风险承担水平。异质性分析发现，数字金融对人力资本高、种植面积大的农户影响程度更大[48]。

然而，数智技术在农村地区的影响“幻觉”的问题同样也体现在数字金融技术上。尽管理论上数字金融能够有效地减少农业农村部门获得融资的交易成本和门槛，推动农业生产方式的转型升级，但是在仅有约27%的农户知晓该服务的情况下，目前仅有2%左右的农户使用过数字金融。对比本研究调研数据和已有文献的数据，分析表明该情况主要是因为不同类型的农户对于网络信贷的需求差异。一方面，对于小农户来说，较小的生产规模和正规金融部门较高的年化利率，使得这类群体对于正式的数字信贷需求较小，往往通过非正式的亲友借贷解决资金短缺的问题。另一方面，考虑到中国目前普通农户中农业生产决策者普遍为受教育年限较低的老年人口，数字金融对人力资本的要求往往使得这类群体被排除在外。而规模较大的农户或新型经营主体往往是这类数字金融服务的主要目标对象，这主要是因为他们较大的经营规模和较大的生产性投资使得非正式渠道的借贷难以满足经营需求。未

来相关研究在样本选择时可考虑根据种植规模对调研对象进行分层抽样，从而反映出数字金融所带来的真实影响。

4.2 嵌入式数智技术推广应用面临的挑战及其根源

4.2.1 无人机

近年来，无人机在中国粮食生产植保作业中得到快速应用，但未来发展仍面临较多限制因素。2020年，中国无人机植保作业面积为0.67亿公顷，占耕地总面积的56%[49, 50]。无人机植保的快速发展有供需两方面的原因。从供给来看，无人机社会化服务的增加提升了服务可及性和降低了使用成本；从需求来看，农村农业劳动力短缺、土地经营规模扩大、对农业生产效率和精准性的要求不断增加，以及农业绿色低碳高质量发展的要求等都增加了对无人机服务的需求。但是，无人机发展仍然存在一些限制因素，例如缺乏行业标准、购买成本高（单机在5万元左右）、操作技术要求较高、技术不成熟（单次飞行时间短、覆盖范围小、易受天气影响、扰动和坠毁频繁等）[12, 51]、农民认知水平低等问题[52]。

现有文献多是分析农业无人机的田间表现或对无人机技术进行总体概述，强调其机械概念。例如，在甘肃玉米大田的试验中发现，无人机植保使得大田增产5.61%，纯收益增加1 077元/hm^2[53]。与传统植保方法相比，无人机植保效率提高30～60倍，农药用量减少50%以上，用水量减少90%，生产成本可降低105元/hm^2[51]。但这些研究仅是试验数据，只有少数实证研究使用现实场景中无人机社会化服务数据分析了无人机对粮食生产和绿色高质量发展的影响[12]。

综上，结合现有文献以及本文的调查数据，分析表明无人机对于中国农业生产，特别是植保环节的数字化转型产生了显著的积极影响。九省调查数据显示有约8%的样本农户在植保环节使用无人机进行喷药。而在粮食主产区样本中，这一比例相对更高，约占种植户的14%；但如果按照面积进行加权估计，无人机植保作业面积约占样本地区耕地面积的40%。而且生产规模较大的农户使用无人机打药的概率更高。此外，本研究调研数据也发现，无人机对农业生产的影响主要是通过社会化服务的提供产生的，而非通过推动农户自身购买无人机。通过提供无人机植保的社会化服务来实现植保、施肥等环节的数字化转型，不仅有效地解决了一般农户人力资本较低难以熟练掌握数字化技术的问题，也减少了土地碎片化对于该技术应用推广的负面影响，从而极大地提高了技术的采纳率和农业生产效率。因此，无人机技术在农业生产中的推广模式也能够为其他数智技术的普及提供重要的参考。

4.2.2 北斗导航技术

有研究发现，以北斗导航系统为代表的自动导航技术能够有效提高农机工作效率和精准度，但是目前在中国的普及程度上仍与国外存在较大差距。目前，自动导航农机在美国农场中采纳率已高达90%，成为大型拖拉机和联合收割机的标配[54]，且普遍使用的是具有厘米级定位精度的RTK（Real-time Kinematic Positioning）导航技术[55]。RTK导航主要有两方面作用。其一，减少农机在播种时的错行和漏行，节省种子成本，并提高播种密度。其二，在相同工作时间内完成更大作业面积，获得更多产出，提高农机工作效率。已有实证研究发现，拖拉机导航系统显著减少了田间作业中的重叠（最多可达田块面积的6%）和作业间隙（最多可达16%），将整体效率提高了20%[56]。尽管RTK导航技术为中国粮食生产中传统农机作业效率低且作业质量难保障等问题提供了可能的解决方案，但成本高昂、部署难度大等两方面的因素可能是目前该技术在中国普及率较低的原因之一。根据国外研究，考虑折旧和利息后，农机配备RTK导航的年均成本高达3 624欧元[57]。

北斗导航系统的完善与国产化生产，显著降低了RTK系统的硬件成本、基站建设成本与维护成本[58]。成本结构的变化降低了农业自动驾驶与高精度定位技术的采纳门槛，加上政府对农机购置的补贴，使其在规模经营主体与社会化服务组织得到较快扩散[59]。调查数据与上述文献说明，北斗导航系统与无人机技术类似，也在通过社会化服务的路径在农业生产中被逐渐应用，一定程度上推动了我国农业生产的数字化转型。虽然农民群体自身很少为自家农机装备RTK系统，但是他们所购买的农机社会化服务中的农机有相当的比例装有该系统。然而，目前国内现有文献多是从机械技术角度对RTK技术进行探讨，没有文献从经济学视角分析RTK导航技术采纳对中国农业生产和农村劳动力供给等带来的影响。这主要是因为由于社会化服务群体的流动性特征，尚未有较好的针对这类群体开展的微观调查数据。目前基于农户层面的相关调查在

该数智技术采纳率的测度以及影响评估方面可能存在一定的误差。

5 结　论

本研究首先构建了影响嵌入式和非嵌入式涉农数智技术采纳的理论分析框架，并提出了相关研究假说，接着通过两套具有全国代表性的农户调研数据，描述了涉农数智技术在中国农业农村的应用现状，为验证相关假说提供了描述性的实证依据；最后结合相关影响评估文献，系统分析了这些涉农数智技术应用对农业农村发展的潜在作用与现实挑战。基于上述分析，本研究主要有四个方面的发现。

第一，非嵌入式应用在农业生产销售相关活动中的采纳率十分有限。调查数据显示，以智能手机为代表的信息通信技术以及农村电商被中国农村居民普遍接受：76%的农村农业生产主要决策者使用智能手机；52%的农户进行过网购。然而，这两类技术主要被用于日常娱乐和消费，仅极低比例的农户将其用于获取农业生产销售相关的信息或开展线上销售。数字金融尽管一定程度上为农户所知，但是真正使用过数字金融技术进行网络贷款的农户占比却非常低（2%）。

第二，嵌入式技术在不同规模主体、不同应用场景中呈现显著异质性：5%的大规模农户购买了植保无人机，但没有小规模农户购买了无人机。16%的大规模种植户为自家的农机安装了北斗导航；但在小规模农户中，该比例为0%。此外，从不同生产环节来看，农户在植保环节使用无人机的比例相对较高（九省调查：8%；粮食主产区调查：14%），但在除草、施肥、播种等其他环节使用无人机的农户比例较低，分别只有2.3%、1.0%和0.2%；大规模种植户采用比例显著高于小规模种植户。

第三，尽管小规模农户不会自己购买数字化农机装备，但是小规模农户仍然通过社会化服务的途径从农业数字化转型中受益。调查数据显示12%的小规模种植户在植保环节使用了无人机社会化服务。分别有18%、17%和26%的小规模种植户在耕、种、收环节的社会化服务中使用了北斗导航技术。

第四，虽然调查数据显示数智技术在农业生产经营销售中采纳率不高，但是数智技术对于农业与农村经济的可持续性、韧性、效率与包容性等多方面都产生了较大的影响，这也反映了数智技术在推动中国农业农村转型过程中很有潜力。

总体来看，中国农业数字化转型总体正处在起步阶段，非嵌入式数智技术在农业生产经营中的应用十分有限，只有个别嵌入式数智技术在农业生产中有一定程度的应用，且尚未覆盖到生产的所有环节。基于进一步的原因分析，本研究认为推动农业农村数字化转型，需在农村劳动力老龄化的背景下，积极提升农户数字素养、培育具备高人力资本水平的新型农业经营主体，继续推动农业适度规模化发展，培育社会化服务主体，加强服务供给能力，从而实现更广泛、更有效的数智技术普及与农业现代化水平提升。同时，也希望未来的数智农业相关研究要更多地关注各类数智技术的总体采纳水平，以提高数智技术的普及程度作为首要研究目标。在刻画各类数智技术的采纳水平的基础上，更加全面地评估这些技术对经济社会发展的作用。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献：

[1] AKER J C. Information from markets near and far: Mobile phones and agricultural markets in Niger[J]. American Economic Journal: Applied Economics, 2010, 2(3): 46-59.

[2] 周亚虹, 邱子迅, 姜帅帅, 等. 数字经济发展与农村共同富裕: 电子商务与数字金融协同视角[J]. 经济研究, 2024, 59(7): 54-71.
ZHOU Y H, QIU Z X, JIANG S S, et al. Development of the digital economy and common prosperity in rural areas: A collaborative perspective of e-commerce and digital finance[J]. Economic Research Journal, 2024, 59(7): 54-71.

[3] 阮荣平, 周佩, 郑风田. “互联网+”背景下的新型农业经营主体信息化发展状况及对策建议——基于全国1 394个新型农业经营主体调查数据[J]. 管理世界, 2017(7): 50-64.

[4] 胡雯, 黄季焜, 陈富桥, 等. 基于区块链技术的农产品质量安全追溯体系: 实践、挑战与建议[J]. 农业经济问题, 2024(5): 33-47.
HU W, HUANG J K, CHEN F Q, et al. A blockchain-based traceability system for agri-food products: Practice, challenges, and suggestions[J]. Issues in Agricultural Economy, 2024(5): 33-47.

[5] DELAY N D, THOMPSON N M, MINTERT J R. Precision agriculture technology adoption and technical efficiency[J]. Journal of Agricultural Economics, 2022, 73(1): 195-219.

[6] 李家辉, 李晗, 牛永泽, 等. 2025. 精准农业技术对农户生产效率和家庭收入的协同影响及机制[J]. 资源科学, 2025, 47(11): 2466-2479.
LI J H, LI H, NIU Y Z, et al. Synergistic effects and mechanisms of precision agriculture technology on farmers' production efficiency and household income[J]. Resources Science, 2025, 47 (11): 2466-2479.

[7] 黄季焜, 苏岚岚, 王悦. 数字技术促进农业农村发展: 机遇、挑战和推进思路[J]. 中国农村经济, 2024(1): 21-40.
HUANG J K, SU L L, WANG Y. Digital technologies facilitate agricultural and rural development: Opportunities, challenges, and future directions[J]. Chinese Rural Economy, 2024(1): 21-40.

[8] 夏显力, 陈哲, 张慧利, 等. 农业高质量发展: 数字赋能与实现路径[J]. 中国农村经济, 2019(12): 2-15.
XIA X L, CHEN Z, ZHANG H L, et al. Agricultural high-quality development: Digital empowerment and implementation path[J]. Chinese Rural Economy, 2019(12): 2-15.
[9] 刘金晶, 刘灵芝. 合作经营如何促进养殖户数字技术采纳——以鸭RFID脚环、翅标为例[J]. 农业技术经济, 2024(12): 46-67.
LIU J J, LIU L Z. How can cooperative operation promote farmers'Adoption of digital technology: The case of duck RFID footrings or wing-markers[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2024(12): 46-67.
[10] 苏岚岚, 张航宇, 彭艳玲. 农民数字素养驱动数字乡村发展的机理研究[J]. 电子政务, 2021(10): 42-56.
[11] 黄季焜. 数字技术如何促进乡村振兴——兼谈农村数字金融[J]. 农村金融研究, 2023(12): 3-10.
HUANG J K. How can digital technology facilitate rural revitalization: With special focus on rural digital finance[J]. Rural Finance Research, 2023(12): 3-10.
[12] ZHANG H Y, SONG Y J, WANG Y, et al. Refining pesticide use to reduce yield loss: How drone plant protection transforms smallholder pest management[J]. Food Policy, 2026, 139: 103035.
[13] 杨志海. 老龄化、社会网络与农户绿色生产技术采纳行为——来自长江流域六省农户数据的验证[J]. 中国农村观察, 2018(4): 44-58.
YANG Z H. Ageing, social network and the adoption of green production technology: Evidence from farm households in six provinces in the Yangtze River Basin[J]. China Rural Survey, 2018(4): 44-58.
[14] SCHULTZ T W. Investment in human capital[J]. The American Economic Review, 1961, 51(1): 1-17.
[15] FEDER G. Farm size, risk aversion and the adoption of new technology under uncertainty[J]. Oxford Economic Papers, 1980, 32 (2): 263-283.
[16] BALANA B B, OYEYEMI M A. Agricultural credit constraints in smallholder farming in developing countries: Evidence from Nigeria[J]. World Development Sustainability, 2022, 1: 100012.
[17] HUAN M L, DONG F X, CHI L. Mechanization services, factor allocation, and farm efficiency: Evidence from China[J]. Review of Development Economics, 2022, 26(3): 1618-1639.
[18] WANG X B, YAMAUCHI F, HUANG J K, et al. What constrains mechanization in Chinese agriculture role of farm size and fragmentation[J]. China Economic Review, 2020, 62: 101221.
[19] FEDER G, UMALI D L. The adoption of agricultural innovations A review[J]. Technological Forecasting and Social Change, 1993, 43(3/4): 215-239.
[20] 罗必良. 论服务规模经营——从纵向分工到横向分工及连片专业化[J]. 中国农村经济, 2017(11): 2-16.
LUO B L. Service scale management: Vertical division of labor, horizontal division of labor and specialization of connected farmland[J]. Chinese Rural Economy, 2017(11): 2-16.
[21] FAO. Leveraging automation and digitalization for precision agriculture: Evidence from the case studies[M]. Rome, Italy: FAO, 2022.
[22] DAUM T. Digitalization and skills in agriculture[J]. Outlook on Agriculture, 2025, 54(2): 171-181.
[23] SHENG Y, DING J P, HUANG J K. The relationship between farm size and productivity in agriculture[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2019, 101(3): 790-806.
[24] HUANG J K, DING J P. Institutional innovation and policy support to facilitate small-scale farming transformation in China[J]. Agricultural Economics, 2016, 47(S1): 227-237.
[25] 姜维军, 颜廷武, 张俊飚. 互联网使用能否促进农户主动采纳秸秆还田技术——基于内生转换Probit模型的实证分析[J]. 农业技术经济, 2021(3): 50-62.
JIANG W J, YAN T W, ZHANG J B. Can Internet use promote farmers to adopt straw returning technology: An empirical analysis based on endogenous switching probit model[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2021(3): 50-62.
[26] GAO Y, ZHAO D Y, YU L L, et al. Influence of a new agricultural technology extension mode on farmers' technology adoption behavior in China[J]. Journal of Rural Studies, 2020, 76: 173-183.
[27] 银西阳, 余茜, 苏秦, 等. 互联网嵌入对农户化学农药减量使用的影响——基于PSM模型的计量分析[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(2): 68-76.
YIN X Y, YU Q, SU Q, et al. The impact of Internet embedding on farmers' use of chemical pesticides: Metrological analysis based on psm model[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(2): 68-76.
[28] OGUTU S O, OKELLO J J, OTIENO D J. Impact of information and communication technology-based market information services on smallholder farm input use and productivity: The case of Kenya[J]. World Development, 2014, 64: 311-321.
[29] 李欠男, 李谷成. 互联网发展对农业全要素生产率增长的影响[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2020(4): 71-78, 177.
LI Q N, LI G C. The impact of Internet development on agricultural total factor productivity growth[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2020(4): 71-78, 177.
[30] 唐文苏, 翁贞林, 鄢朝辉. 信息获取、风险偏好与技术密集型农机社会化服务——基于江西省水稻规模经营户的调研[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(4): 270-280.
TANG W S, WENG Z L, YAN Z H. Information acquisition, risk preference and the socialized services of technology-intensive farm machinery: A study based on rice scale management households in Jiangxi Province[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(4): 270-280.
[31] 陈昕, 胡友, 祁春节. 互联网使用对农户农业生产性服务采纳的影响——基于CFPS的微观证据[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2021, 22(6): 1-10, 20.
CHEN X, HU Y, QI C J. The impact of Internet use on farmers' adoption of agricultural productive services: Evidence from the CFPS data[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Social Sciences), 2021, 22(6): 1-10, 20.
[32] AKER J C, MBITI I M. Mobile phones and economic development in Africa[J]. Journal of Economic Perspectives, 2010, 24(3): 207-232.
[33] GOYAL A. Information, direct access to farmers, and rural market performance in central India[J]. American Economic Journal: Applied Economics, 2010, 2(3): 22-45.
[34] 方福前, 田鸽. 数字经济促进了包容性增长吗——基于"宽带中国"的准自然实验[J]. 学术界, 2021(10): 55-74.
[35] 苏岚岚, 彭艳玲. 农民数字素养、乡村精英身份与乡村数字治理参与[J]. 农业技术经济, 2022(1): 34-50.
SU L L, PENG Y L. Farmers' digital literacy, elite identity and participation in rural digital governance[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2022(1): 34-50.
[36] HAJI K. E-commerce development in rural and remote areas of BRICS countries[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20 (4): 979-997.
[37] COUTURE V, FABER B, GU Y Z, et al. Connecting the countryside *via* E-commerce: Evidence from China[J]. American Economic Review: Insights, 2021, 3(1): 35-50.
[38] 张诚, 翁希演. 电子商务进农村综合示范政策实施缩小了农户消费差距吗[J]. 中国农村观察, 2024(2): 46-68.
ZHANG C, WENG X Y. Does the national rural E-commerce comprehensive demonstration policy narrow the consumption gap among rural households [J]. China Rural Survey, 2024(2): 46-68.
[39] HUANG J K, SU L L, HUANG Q W, et al. Facilitating inclusive ICT application and E-commerce development in rural China[J]. Agricultural Economics, 2022, 53(6): 938-952.
[40] LUO X B, NIU C Y. E-Commerce participation and household income growth in Taobao villages[M]. Washington, DC: World Bank, 2019.

[41] 邵占鹏 . 规则与资本的逻辑: 淘宝村中农民网店的型塑机制[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2017, 17(4): 74-82.
SHAO Z P. Logic of rules and capital: Mechanism of shaping farmers, online stores in Taobao Village[J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2017, 17(4): 74-82.
[42] 孔祥智, 方松海, 庞晓鹏, 等 . 西部地区农户禀赋对农业技术采纳的影响分析[J]. 经济研究, 2004, 39(12): 85-95, 122.
KONG X Z, FANG S H, PANG X P, et al. Analysis of the effect of household endowments on the agricultural technology adoption decision in West China[J]. Economic Research Journal, 2004, 39(12): 85-95, 122.
[43] 张益丰 . 生鲜果品电商销售、农户参与意愿及合作社嵌入——来自烟台大樱桃产区农户的调研数据[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2016, 16(1): 49-58, 163-164.
ZHANG Y F. On E-commerce of fresh fruit, cooperative embedding and the willingness of farmers to participate: Empirical analysis of field survey data of 241 fruit farmers in Yantai large cherry planting field[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2016, 16(1): 49-58, 163-164.
[44] 曾亿武, 陈永富, 郭红东 . 先前经验、社会资本与农户电商采纳行为[J]. 农业技术经济, 2019(3): 38-48.
ZENG Y W, CHEN Y F, GUO H D. Previous experience, social capital and smallholders' E-commerce adoption[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2019(3): 38-48.
[45] MA W L, ZHOU X S, LIU M. What drives farmers' willingness to adopt e-commerce in rural China the role of Internet use[J]. Agribusiness, 2020, 36(1): 159-163.
[46] 鲁钊阳 . 政府扶持农产品电商发展政策的有效性研究[J]. 中国软科学, 2018(5): 56-78.
LU Z Y. The effectiveness of support policy from the government to the development of online retailers of agricultural products[J]. China Soft Science, 2018(5): 56-78.
[47] 闫桂权, 何玉成, 张晓恒 . 数字普惠金融发展能否促进农业机械化——基于农机作业服务市场发展的视角[J]. 农业技术经济, 2022(1): 51-64.
YAN G Q, HE Y C, ZHANG X H. Can the development of digital inclusive finance promote agricultural mechanization: Based on the perspective of the development of agricultural machinery outsourcing service market[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2022(1): 51-64.
[48] 李家辉, 陆迁 . 数字金融对农户采用绿色生产技术的影响[J]. 资源科学, 2022, 44(12): 2470-2486.
LI J H, LU Q. The impact of digital finance on farmers' adoption of green production technologies[J]. Resources Science, 2022, 44 (12): 2470-2486.
[49] 何雄奎 . 中国精准施药技术和装备研究现状及发展建议[J]. 智慧农业(中英文), 2020, 2(1): 133-146.
HE X K. Research progress and developmental recommendations on precision spraying technology and equipment in China[J]. Smart Agriculture, 2020, 2(1): 133-146.
[50] BankWorld. World development indicators 2017[M]. Washington, DC: World Bank, 2017.
[51] 马英剑, 徐勇, 孙利, 等 . 我国航空植保的发展现状及展望[J]. 农药, 2022, 61(7): 469-477.
MA Y J, XU Y, SUN L, et al. Development status and prospect of aviation plant protection in China[J]. Agrochemicals, 2022, 61 (7): 469-477.
[52] ZHENG S, WANG Z G, WACHENHEIM C J. Technology adoption among farmers in Jilin province, China: The case of aerial pesticide application[J]. China Agricultural Economic Review, 2019, 11(1): 206-216.
[53] 岳德成, 姜延军, 李青梅, 等 . 植保无人机喷施对玉米田土壤处理除草剂的减量效应[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 193-198.
YUE D C, JIANG Y J, LI Q M, et al. Decrement effect of plant-protection UAV spraying on soil-applied herbicides in maize field [J]. Plant Protection, 2019, 45(2): 193-198.
[54] 欧阳安, 崔涛, 林立 . 智能农机装备产业现状及发展建议[J]. 科技导报, 2022, 40(11): 55-66.
OUYANG A, CUI T, LIN L. Development status and countermeasures of intelligent agricultural machinery equipment industry[J]. Science & Technology Review, 2022, 40(11): 55-66.
[55] 张智刚, 殷珍, 吴潇, 等 . 农业机械自动导航技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2025, 41(23): 1-13.
ZHANG Z G, YIN Z, WU X, et al. Research progress on the automatic navigation technology for agricultural machinery[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025, 41(23): 1-13.
[56] KHAREL T P, ASHWORTH A J, SHEW A, et al. Tractor guidance improves production efficiency by reducing overlaps and gaps[J]. Agricultural & Environmental Letters, 2020, 5(1): e20012.
[57] PEDERSEN S M, PEDERSEN M F, ØRUM J E, et al. Economic, environmental and social impacts[M]// Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming. Amsterdam: Elsevier, 2020: 279-330.
[58] 杨涛, 李晓晓 . 农机自动驾驶系统研究进展与行业竞争环境分析[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(11): 222-231.
YANG T, LI X X. Research progress of agricultural machinery autopilot system and analysis of industry competition environment[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42 (11): 222-231.
[59] 刘慧 . 春耕生产迈向智能化 构建“天空地”一体化网络[N]. 经济日报, 2022-04-06.

Adoption and Challenges of Digital and Intelligent Technologies in Agriculture: Evidence from Two Representative Household Surveys

YI Hongmei[1], HE Xu[1], ZHI Huayong[1], HUANG Jikun[1*], CHEN Xi[2]

(1. *School of Advanced Agricultural Sciences*, *China Center for Agricultural Policy*, *Peking Univeristy*, *Beijing* 100871, *China*; 2. *Taizhou Vocational College of Sicence & Technology*, *Taizhou* 318020, *China*)

Abstract: [Objective] In recent years, China has issued a series of policy documents, which emphasize digital transformation as a key driver for deepening the integration of digital and intelligent technologies (DITs) with the agricultural and rural economy, promoting

high-quality agricultural development, and advancing the goal of building a strong agricultural sector. However, the ultimate impact of these technologies depends not only on their potential effectiveness but also on the extent to which they are adopted by farmers. Against this backdrop, the aim of this research is to assess the current adoption of agricultural DITs among agricultural producers in China and to identify the main challenges facing their application in the future development of agriculture and rural areas. **[Methods]** Using two representative household survey datasets—the China Agriculture and Rural Development Survey and a 2023 survey of farmers in major grain-producing regions—this study employs descriptive statistics to document the adoption of various DITs. Then they were combined with a review of the literature to examine the potential impacts and underlying mechanisms of technology adoption, and to analyze the challenges and their causes in the diffusion of these technologies by linking theory with practice. **[Results and Discussions]** The results showed that, for non-embedded digital technologies, smartphone use among primary agricultural decision-makers was widespread, with an average penetration rate of 76%. The most frequently used applications were WeChat, TikTok, and Kuaishou. Despite the high usage of WeChat, its application in agricultural production and marketing remains limited: about two-thirds of respondents report rarely or never following agriculture-related official accounts. Similarly, access to agricultural policy information via smartphones was limited, with approximately 78% of respondents indicating that they seldom or only occasionally followed such information. In terms of e-commerce, about 52% of rural households engaged in online shopping in 2023, but very few used online channels for sales: only 0.32% sold agricultural products and 0.15% sold other goods online. In digital finance, only 27% of surveyed households were aware that loans could be applied for online, and the share that had actually applied for online loans in the past two years was even lower, at around 2%. By contrast, embedded digital technologies, such as drones and Beidou-based navigation systems, were more widely used in agricultural production. Data from nine provinces show that about 8% of farmers used drones for crop protection in 2023, reflecting a clear upward trend. In major grain-producing regions, drones covered 39.3% of cultivated land for plant protection, largely through service outsourcing. In addition, the share of farmers using machinery equipped with Beidou navigation systems, weighted by the number of households and cultivated land area, reaches 8% and 12.5%, respectively. Building on these findings, the study analyzes the relatively low adoption of non-embedded technologies in agricultural settings from the perspectives of farmer awareness, digital literacy, infrastructure, and policy support. It also explores the diffusion of embedded technologies from the angles of cost, agricultural organization (particularly the development of service providers), and industry standards. **[Conclusions]** Overall, China's agricultural and rural digital transformation is still at an early stage. The adoption of non-embedded applications in agricultural production and marketing remains very limited, while the use of embedded technologies exhibits substantial heterogeneity across farm sizes and application contexts. In addition, although smallholders rarely invest in digital machinery themselves, they can still benefit from digital transformation through outsourced services and socialized service provision. Further analysis suggests that advancing agricultural digitalization requires improving farmers' digital literacy, fostering new agricultural business entities with higher human capital, promoting the development of appropriately scaled farming, and strengthening the capacity of service providers. These measures are essential to enable broader and more effective diffusion of DITs and to support agricultural modernization.

Key words: digital and intelligent technologies (DITs); digital-intelligent transformation; agricultural socialized services; rural e-commerce; digital finance; Beidou navigation; drones

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (72361147522); Project of Peking University Institute of Advanced Agricultural Sciences (Weifang, Shandong)

First author: YI Hongmei, E-mail: hmyi.ccap@pku.edu.cn
***Corresponding author:** HUANG Jikun, E-mail: jkhuang.ccap@pku.edu.cn