

数字技术促进农业农村发展： 机遇、挑战和推进思路*

黄季焜^{1,2} 苏岚岚^{2,3} 王悦²

摘要：理论上，数字技术在农业农村发展各领域都有潜在的重要作用，但相关实际进展与成效如何以及未来如何推进还缺乏系统的研究。本文的研究目的是厘清数字技术促进农业农村发展的机遇、面临的挑战和发展经验，探索未来发展思路和相关推进措施。分析表明：各级政府、农业企业、互联网企业和金融机构都高度重视以数字技术促进农业农村发展，并积极开展试点示范与应用；推进智慧农业和数字乡村建设需分清当前、近期和中长期各应用场景的发展路线图，否则事倍功半；许多应用场景面临需求导向、顶层设计、技术创新、成本收益、数字鸿沟和农民受益等诸多挑战。基于以上分析，本文总结了智慧农业与数字乡村发展的必要条件和充分条件，并提出数字技术促进农业农村发展的思路和政策启示。

关键词：农业农村发展 数字技术 智慧农业 数字乡村 数字鸿沟

中图分类号：F323；F49 **文献标识码：**A

一、引言

数字技术已对经济和社会发展产生了重要影响，但农业农村的数字化发展落后于工业服务业和城市。从全球看，2021年参与测算的全球47个经济体的第二产业和第三产业数字经济增加值占本产业增加值比例分别为24.3%和45.3%，而第一产业数字经济增加值仅占8.6%^①。从国内看，作为全球第二大数字经济体，虽然中国数字经济规模由2018年的31.3万亿元增加到2022年的50.2万亿元，但第

*本文研究得到国家自然科学基金重点项目“乡村振兴进程中的农村经济转型的路径与规律研究”（编号：71934003）和亚洲开发银行技术援助项目“利用数字技术促进中国农业农村转型和对亚洲其他发展中国家的借鉴”（编号：KSTA 6993-PRC S183927）的资助。感谢易红梅、胡雯、赵佳佳和张航宇等在山东、江苏和浙江等省开展智慧农业与数字乡村案例调查中所做的工作。

^①资料来源：《中国数字经济发展研究报告（2023年）》，<http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202304/P020230427572038320317.pdf#page=16&zoom=100>。

一产业数字经济渗透率仅为 10.5%，明显低于第二产业（24.0%）和第三产业（44.7%）^①。因为工业和服务业主要集中于人口密集的城市，农业主要分布于广阔的农村，数字乡村的发展也必然落后于数字城市。

虽然农业农村的数字化相对落后，但数字技术对农业农村发展的潜在作用已引起政府和业界的高度重视和积极探索。过去十多年，中国政府先后出台了加快数字技术在农业农村领域的应用进程的一系列发展规划和支持政策；农业企业、互联网企业和金融机构等市场主体也积极探索数字技术在农业农村发展中的应用。在国家一系列政策推动和社会资本的积极参与下，数字技术开始加快嵌入农业农村发展各领域。

数字技术对农业农村发展的多重影响也引起许多学者的关注。一是学者们对数字技术在农业农村发展单一领域和整体框架中的作用展开了有益探讨。部分研究基于逻辑推理和案例分析，分别从农业产业发展、农村劳动力就业、乡村治理、公共服务、人居环境等不同方面探究了数字技术的作用逻辑（韩旭东等，2023；徐旭初等，2023；陈伟雄等，2023；齐秀琳和江求川，2023）。少量学者从农业农村发展的整体视角阐释了数字技术的作用逻辑。例如：基于政策文本的扎根理论研究指出，数字技术可从模式变革、业态创新、流程再造、空间重塑等方面嵌构农业农村发展（吴文旭和吴业苗，2022）。基于逻辑分析的研究指出，数字技术应用使数据要素、数字产品与服务、数字化思维加速嵌入农民生产生活，推动农业产业多元化与集约化、农民技能提升与生活质量改善、农村治理智慧高效（张蕴萍和栾菁，2022）。相关作用路径还体现在降低组织与信息壁垒、优化要素流通渠道、降低交易成本、提高资源使用效率（秦秋霞等，2021）。二是越来越多学者针对数字技术促进农业农村发展面临的挑战展开探讨。虽然数字技术在农业农村中的应用不断增加，但区域和群体数字鸿沟弥合、新型数字基础设施建设、智慧农业发展、乡村治理数字化等方面仍是主要短板（曾亿武等，2021；Huang et al., 2022；王亚华和李星光，2022；朱红根和陈晖，2023）。

上述研究多从逻辑或个案等角度探讨数字技术促进农业农村发展的作用，但数字技术在农业农村不同领域的实际应用与成效如何、未来如何推进等问题，尚需从实践应用的进展、发展经验、面临的挑战和原因分析中探寻答案。本文的研究目的是厘清数字技术促进农业农村发展的机遇、面临的挑战和发展经验，探索未来发展思路和相关促进措施。在梳理相关文献和政策过程中，笔者注意到数字农业、精准农业、智慧农业、数字农村和数字乡村等数字农业农村领域相关表述被用于不同的文章和文件中；为了便于分类讨论和保持前后一致性，本文将数字农业农村分为智慧农业和数字乡村两大类。

二、数字技术促进农业农村发展面临的主要机遇

基于农业农村数字化的全局视角，本文重点关注数字技术潜在作用带来的创新机遇、政府重视和支持带来的政策机遇、企业布局和探索带来的市场机遇。数字技术对农业农村发展具有很多潜在作用，

^①资料来源：《中国数字经济发展研究报告（2023年）》，<http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202304/P020230427572038320317.pdf>。

这为加快数字技术创新与应用提供前提。但相关作用能否得到充分发挥有赖于政府一系列政策支持和各市场主体的积极参与。随着以大数据、人工智能、区块链等为代表的新兴数字技术加快迭代升级，政府和社会各界对采用数字技术尤其是前沿数字技术促进农业农村发展都充满期待并积极探索与推进，使智慧农业和数字乡村发展迎来了重要的机遇。具体而言，政府接续出台一系列规划和支持政策，指明了数字农业农村发展的方向与路径，为引导财政、金融、科技、人力等资源向数字农业农村领域集中提供了重要的政策机遇；农业企业、互联网企业、金融机构等市场主体发挥各自在产业基础、资金与技术等方面的比较优势，积极布局智慧农业和数字乡村领域，发挥重要的示范和带动作用，为数字农业农村发展营造了良好的市场机遇。

（一）创新机遇

数字技术所具有的潜在作用为加快智慧农业与数字乡村发展提供了重要创新机遇。一是数字技术在农业生产、加工、销售、流通等领域的应用与推广有助于农业全产业链数字化智慧化转型（易法敏和古飞婷，2023）。采用数字技术不仅能促进农业精准化生产和智能化监测管理，搭建精准化购销平台、助力农村消费，而且有助于加速农村产业融合和新业态发展（夏显力等，2019；黄季焜，2021；韩旭东等，2023）；数字技术应用还可通过产生规模经济效应、范围经济效应、聚合经济效应和分工经济效应，重塑农业生产体系、产业体系和经营体系，赋能农业高质量发展（罗千峰等，2022）。二是多样化数字技术的创新与应用也有助于加快数字乡村建设进程。既有研究指出，数字技术的嵌入有助于改进基层民主建设、推动基层组织高效运转、改善公共项目管理，促进基层治理与公共服务效率提升和效益改善（Twizeyimana and Andersson, 2019；Banerjee et al., 2020；沈费伟和袁欢，2020；Dal Bó et al., 2021）。一些研究还指出，数字技术应用有助于乡村人居环境整治和生态环境保护（陈伟雄等，2023）、促进文化教育事业发展和乡风文明建设（刘天元和王志章，2021）。

（二）政策机遇

中央和地方政府高度重视数字农业农村发展，并积极出台战略规划、行动指南和实施方案。本文梳理了国家层面数字农业农村发展有关的主要文件和内容，如表1所示。

表1 国家层面数字农业农村发展有关的主要文件和内容

| 年份 | 文件名称 | 与数字农业农村相关的主要内容 |
|-------|----------------------------------|--|
| 2012年 | 《关于加快推进农业科技创新持续增强农产品供给保障能力的若干意见》 | 突出农业科技创新重点，加快推进前沿技术研究，在信息技术、先进制造技术、精准农业技术等方面取得一批重大自主创新成果 |
| 2013年 | 《关于加快发展现代农业进一步增强农村发展活力的若干意见》 | 强化农业物质技术装备，加强农业科技创新能力条件建设和知识产权保护，继续实施种业发展等重点科技专项 |
| 2014年 | 《关于全面深化农村改革加快推进农业现代化的若干意见》 | 推进农业科技创新，建设以农业物联网和精准装备为重点的农业全程信息化和机械化技术体系 |
| 2015年 | 《关于加大改革创新力度加快农业现代化建设的若干意见》 | 加快农业科技创新，在生物育种、智能农业、农机装备、生态环保等领域取得重大突破 |

表1 (续)

| | | |
|-------|--------------------------------------|---|
| 2016年 | 《关于落实发展新理念加快农业现代化实现全面小康目标的若干意见》 | 大力推进“互联网+”现代农业，大力发展智慧气象和农业遥感技术应用 |
| 2017年 | 《关于深入推进农业供给侧结构性改革加快培育农业农村发展新动能的若干意见》 | 加强农业科技研发，实施智慧农业工程，推进农业物联网试验示范和农业装备智能化，发展智慧气象 |
| 2018年 | 《关于实施乡村振兴战略的意见》 | 大力发展数字农业，实施智慧农业林业水利工程，推进物联网试验示范和遥感技术应用 |
| 2019年 | 《关于坚持农业农村优先发展做好“三农”工作的若干意见》 | 实施农业关键核心技术攻关行动，推动生物种业、重型农机、智慧农业、绿色投入品等领域自主创新 |
| 2019年 | 《数字乡村发展战略纲要》 | 夯实数字农业基础、推进农业数字化转型、推动农业装备智能化、优化农业科技信息服务、提升乡村生态保护信息化水平、加强信息资源整合共享与利用等 |
| 2020年 | 《关于抓好“三农”领域重点工作确保如期实现全面小康的意见》 | 建设农业农村大数据中心，加快物联网、大数据、区块链、人工智能、第五代移动通信网络、智慧气象等现代信息技术在农业领域的应用 |
| 2020年 | 《数字农业农村发展规划（2019—2025年）》 | 构建基础数据资源体系，加快生产经营数字化改造，推进管理服务数字化转型，强化关键技术装备创新，加强重大工程建设，强化数据采集管理，强化科技人才支撑等 |
| 2021年 | 《关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》 | 实施数字乡村建设发展工程。发展智慧农业，建立农业农村大数据体系，推动新一代信息技术与农业生产经营深度融合。加强乡村公共服务、社会治理数字化智能化建设 |
| 2022年 | 《数字乡村发展行动计划（2022—2025年）》 | 开展数字基础设施升级、智慧农业创新发展、新业态新模式发展、数字治理能力提升、乡村网络文化振兴、智慧绿色乡村打造、公共服务效能提升、网络帮扶拓展深化八大行动 |
| 2022年 | 《关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见》 | 推进智慧农业发展，加强农民数字素养与技能培训，推动“互联网+政务服务”向乡村延伸覆盖，加快推动数字乡村标准化建设。实施“数商兴农”和“快递进村”工程 |
| 2023年 | 《关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见》 | 深入实施数字乡村发展行动，推动数字化应用场景研发推广。加快农业农村大数据应用，推进智慧农业发展 |
| 2023年 | 《2023年数字乡村发展工作要点》 | 夯实乡村数字化发展基础、强化粮食安全数字化保障、提升网络帮扶成色成效、因地制宜发展智慧农业、创新发展乡村数字文化等十个方面重点任务 |

资料来源：《中共中央、国务院印发〈关于加快推进农业科技创新持续增强农产品供给保障能力的若干意见〉（全文）》，http://www.moa.gov.cn/ztzl/yhwj/zywj/201202/t20120215_2481552.htm；《中共中央国务院关于加大改革创新力度加快农业现代化建设的若干意见（全文）》，http://www.moa.gov.cn/ztzl/yhwj/zywj/201502/t20150202_4378754.htm；《数字乡村发展行动计划（2022—2025年）》，http://www.cac.gov.cn/2022-01/25/c_1644713315749608.htm；《2023年数字乡村发展工作要点》，http://www.cac.gov.cn/2023-04/13/c_1683027266610431.htm；其他政策文件参见中国政府网（<https://www.gov.cn>）。

2012年以来，历年中央“一号文件”都在加强农业科技创新方面推出数字乡村建设相关工程和政策，不断强调推进精准农业技术创新、智能农机装备研发、农业物联网技术以及遥感技术应用等智慧农业的发展。相关发展规划也将数字技术应用场景从农业生产拓展到农村更广泛的领域，相关政策设计也越来越重视数字乡村的发展。2019年以来，《数字乡村发展战略纲要》《数字农业农村发展规划（2019—2025年）》《数字乡村发展行动计划（2022—2025年）》《数字乡村标准体系建设指南》等政策文件相继出台，至2025年数字农业农村发展的目标和任务逐渐明确，并对体制机制保障等提出了要求。以中央政策文件为依据，许多地方政府也积极出台契合各自发展需求的数字乡村发展总体规划 and 具体方案。

基于前期的实践积累，政府明确了数字农业农村发展的阶段性目标和重点任务。2022年的《数字乡村发展行动计划（2022—2025年）》中提出了包括数字基础设施升级、智慧农业创新发展、数字治理能力提升等在内的八大行动，强调发挥新一代信息技术创新引领作用，推动制度、机制、模式和技术创新，充分发挥农民主体作用，并提出在2025年数字乡村发展取得重要进展的行动目标。《2023年数字乡村发展工作要点》中提出了包括夯实乡村数字化发展基础、强化粮食安全数字化保障、因地制宜发展智慧农业等十个方面的重点任务，强调数字技术为保障国家粮食安全和巩固拓展脱贫攻坚成果提供更加有力支撑，稳步提高乡村治理数字化水平，持续提升农民数字素养与技能。基于对政策文件内容的分析可知，数字农业农村发展的系列规划统筹考虑了新型农业经营主体与小农户共性和差异化的发展需求，重视推动不同类型农业经营主体共享数字技术应用的红利。

虽然过去十多年中央出台了一系列促进数字农业农村发展的政策，但如何有效推进也一直在摸索之中。为此，政府在全国各地开展了智慧农业和数字乡村的试点工作，试点从早期聚焦单一领域探索逐步转向整体推进。例如：政府自2013年以来在9个省（区、市）开展了农业物联网区域试验^①；2014年国家启动了“电子商务进农村综合示范”工作，截至2022年7月，累计支持1489个县建设了超过2600个县级电子商务公共服务中心和物流配送中心^②；2017年起，围绕重要农产品全产业链大数据建设，13个试点县（市、区）共建设了近100个数字农业试点项目^③；2020年国家又启动了“互联网+”农产品出村进城工程试点，覆盖了110个特色农产品优势县^④；2020年国家还公布了首批117个数字

^①资料来源：《【互联网赋能乡村振兴】智慧农业：打造科技服务三农新样本》，http://www.cac.gov.cn/2018-11/22/c_1123749622.htm。

^②资料来源：《中国数字乡村发展报告（2022年）》，<https://www.gov.cn/xinwen/2023-03/01/5743969/files/5807a90751b1448ba977f02c7a80b14c.pdf>。

^③资料来源：《对十三届全国人大四次会议第3830号建议的答复》，http://www.moa.gov.cn/govpublic/XZQYJ/202107/t20210715_6371962.htm。

^④资料来源：《农业农村部办公厅关于公布“互联网+”农产品出村进城工程试点县名单的通知》，http://www.moa.gov.cn/nybg/2020/202009/202012/t20201202_6357426.htm。

乡村试点县（市、区）名单^①；2021—2023年全国大部分省份积极响应，探索开展省级数字乡村试点实践。在推进各项试点过程中，国家持续强调加快农业农村基础数据资源体系建设。

为推进试点工作顺利开展，政府不断加大对数字农业农村发展的财政投入。以无人机购置补贴为例，2017年开始，全国有6个省份自主开展无人机补贴试点，主要面向农业生产经营组织给予专项采购补贴^②；2021年，无人机植保补贴进入国家农机购置补贴目录，从国家层面激励市场主体入局数字乡村建设成为重要的政策取向。统计数据显示，2020年全国县域农业农村信息化财政投入341.4亿元，县均财政投入1292.3万元，分别比2019年增长87.5%和65.3%；分区域看，2020年东部地区、中部地区和西部地区县均农业农村信息化财政投入均实现较快增长，分别比2019年增长40.0%、36.3%和86.9%^③。2023年，农业农村部联合财政部启动实施面向农户和各类农业经营主体的现代设施农业建设贷款贴息试点。

（三）市场机遇

农业企业和互联网企业等市场主体积极探索智慧农业发展。聚焦农业大数据平台服务、农产品电商、无人机植保、智能农机驾驶、智能化大棚、精细化养殖、数字金融等具体应用场景，相关企业依托自身资本与技术优势，积极抢占农业农村的数字产业市场。统计数据显示，2020年全国县域农业农村信息化建设的社会资本投入达809.0亿元（为当年财政投入的2.4倍），县均社会资本投入3062.3万元，分别比2019年增长69.1%和49.1%^④。以阿里、京东、腾讯等为代表的互联网企业纷纷布局智慧农业领域。例如：阿里云以大数据、云计算和人工智能技术为支撑，在养猪行业探索场景化实用性AI产品体系；京东尝试“无人农场”发展模式，利用物联网传感器实现智能化农业生产管理决策，并探索农产品质量安全的可追溯系统；腾讯探究人工智能种植技术方案，通过算法优化作物生长环境并实时调控，为参与试点的蔬菜种植户提供智能化远程大棚管理服务。中粮、大北农、北大荒、新希望等农业龙头企业积极推进业务数字化转型，发挥数字技术在降低企业交易成本、提高经营效率、优化内容创造、促进产业融合、提高企业综合效益等方面的作用，激发新型农业经营主体参与智慧农业试点的能动性。此外，中国中化、中联重科、碧桂园等非农企业也积极进军智慧农业领域。

企业也在乡村治理和公共服务等领域积极探索数字乡村发展。在政府政策支持和引导下，企业积极参与或承担政府支持的数字乡村平台、数字政府、数字社会与文化、数字基层治理系统等数字乡村建设项目。一是互联网企业与电信运营商为数字乡村专项和综合服务平台建设提供重要的技术支撑。

^①资料来源：《国家数字乡村试点地区名单公布》，http://www.cac.gov.cn/2020-10/23/c_1605022250461079.htm。

^②资料来源：《农业部办公厅财政部办公厅中国民用航空局综合司关于开展农机购置补贴引导植保无人飞机规范应用试点工作的通知》，http://www.njhs.moa.gov.cn/tzggjzcd/201711/t20171102_6314837.htm。

^③本文全国县域农业农村信息化财政投入和社会资本投入数据来自《2020全国县域数字农业农村发展水平评价报告》（http://www.agri.cn/V20/ztlz_1/sznync/lbfg/202011/P020201127365950018551.pdf）和《2021全国县域农业农村信息化发展水平评价报告》（http://www.agri.cn/V20/ztlz_1/sznync/gzdt/202112/P020211220309351243712.pdf），相关指标值由笔者计算得到。

例如，互联网企业与政府合作开发了浙江省的“浙政钉”和“浙里办”、浙江省德清县的“我德清”、浙江省临安区的“乡村e治理”等App，并在实践中得到广泛应用^①。广东省清远市连樟村联合华为以5G、一体化杆站、机器视觉等新基建技术应用为基础，将乡村安防、水文与环保监测等所需的基础设施共享；以该建设模式为样板，全市已完成85个乡镇（街道）和1078个行政村（居委会）“数字乡村”智慧平台建设^②。二是各类金融机构以金融服务平台为基础，积极打造数字乡村综合服务平台。例如：中国建设银行集合全流程线上贷款、政务、缴费、社交等功能，搭建了以“金融服务+智慧村务+便民服务+电子商务”为主要内容的“裕农通”乡村振兴综合服务平台，在为乡村公共服务提供数字化便利条件的同时，积累银行数字化贷款决策所需的用户信用信息；截至2022年末，“裕农通”App已在全国27个省（区、市）的分行上线特色功能模块，虽然注册用户只有512万户、累计发放贷款不到200亿元，但该平台的推广应用着实促进了农村金融服务下沉^③。中国农业银行开发了“三资”管理平台，整合了产权交易、乡村治理、金融服务等多种功能，试图在为农村集体产权制度改革和乡村治理等提供服务的同时，获取对信贷有用的“三资”信息；截至2022年末，“三资”管理平台已在全国1488个县（市、区）上线，覆盖14.8万个行政村^④。各类社会资本主体积极参与数字乡村服务平台建设，助力构建多元主体共建共治共享的乡村治理格局，为新型农业经营主体和小农户便捷、高效、平等地参与乡村治理与公共服务提供重要的技术与平台支撑。

尽管政府和企业智慧农业和数字乡村领域开展了大量试点与探索，为数字技术提供了很好的发展机遇，但多数试点项目还难以转向示范推广。投资是必要的，创新的思路和有效的措施更为重要。为此，本文将系统总结中国在推进智慧农业与数字乡村发展过程中的主要应用场景、实践成效和面临的主要挑战，并在此基础上，提出适合中国国情农情的数字技术促进农业农村发展的新思路。

三、数字技术在农业农村的主要应用场景与进展

基于课题组在国家和省级数字乡村与智慧农业试点地区对一些数字技术应用场景的实地调查，综合比较了农业生产、农产品流通、农业金融服务等全产业链各环节和乡村治理与公共服务等乡村发展领域的数字技术应用进展情况，统筹考虑当前农户层面数字技术应用覆盖率和未来推广难易程度，笔

^①资料来源：《德清县2021年度乡村振兴工作进展情况》，<http://www.deqing.gov.cn/hzgov/front/s134/zfxgk/xczx/xczxgzjz/20211215/i3092990.html>；《杭州临安：“e治理”打造智慧社区 助力基层治理》，http://m.xinhuanet.com/2020-12/24/c_1126902438_3.htm。

^②资料来源：《清远市工业和信息化局关于市政协八届会议第20220189号提案答复的函》，http://www.gdqy.gov.cn/qygxj/gkmlpt/content/1/1614/post_1614694.html#116。

^③资料来源：《中国建设银行：以新金融实践回应乡村振兴之问》，https://szb.farmer.com.cn/2023/20230304/20230304_001/20230304_001_5.htm。

^④资料来源：《2022社会责任报告（环境、社会及治理报告）》，http://www.sse.com.cn/disclosure/listedinfo/announcement/c/new/2023-03-31/601288_20230331_XFY5.pdf。

者将数字技术促进农业农村发展的应用场景分成三类，即目前发展较快的、近期有望发展较快的和中长期有较大发展潜力的应用场景，并对未来加快农业生产领域数字技术应用场景的包容性发展提出拓展性思考。在具体案例的选取与讨论中，笔者围绕国家和地方政府重点关注、社会资本积极推广的数字技术应用示范项目，兼顾覆盖面、典型性、学理逻辑以及数据可支撑性，提高案例分析的有效性与论证深度。需说明的是，关于政府部门、科研机构、金融保险机构等主体在农业测产、灾情监测、土地确权登记等监管、治理与服务领域直接应用数字技术的场景并不在本文的讨论范畴内。

（一）目前发展较快的应用场景

1.农产品电商。这是数字技术在农业农村领域应用和发展最快的场景。统计数据显示，农村网络零售额从2016年的8945.4亿元增长到2022年的21700亿元，占2022年全国网上零售额的16%；2022年全国农产品网络零售额为5313.8亿元，增长为2016年的3.3倍^①。淘宝村是农民和农村其他经营主体参与电商最集中的村庄，全国淘宝村数量从2009年的3个增加到2022年的7780个，已覆盖全国28个省（区、市）和180个市（地区）^②。

2.农产品交易数字化。这是数字技术在农产品市场流通领域应用最广的场景。笔者以山东省寿光市近期发展的村头蔬菜交易市场为案例，来说明为什么农产品交易数字化在农村市场能发挥作用。村头蔬菜市场的交易程序是：农户将蔬菜卖给村头市场经营主体或代办人员，记下销售数量和当天价格；代办人员再卖给来自外地的批发商等蔬菜收购商。农户在蔬菜收获季节需高频采摘销售，如果每天结账，就销售数量少、工作量大，因此每隔一段时间结一次账。不管出于何种原因，任何一方在销售数量、价格或销售时间等方面出现人工记账错误等问题，必然会导致纠纷。云洋物联公司捕捉到了村头蔬菜交易市场出现的这种纠纷问题，创新推出“掌上秤”蔬菜交易终端系统，将一卡通、显示屏、智能过磅系统、手机App等设备相结合，实时采集交易蔬菜品种、数量、价格、出货流向、回款状态等信息，实现对蔬菜交易、记账、结算等环节的数字化管理。代办人员和农户通过手机App随时可了解以上所有交易信息，不但消除了交易过程中的大多数纠纷问题，而且明显节省了人工交易称重、记账和核对的时间，大幅降低市场交易成本。同时，政府部门也可及时掌握农产品交易信息。加上投入成本不高，该系统在村头蔬菜交易市场得到快速推广采用。

3.无人机植保。这是数字技术在大田生产环节应用与发展最快的场景。2015—2022年中国植保无人机保有量从2324架增长至16万架，植保无人机作业面积从1152.8万亩次增长至14亿亩次^③。无人

^①资料来源：《2022年我国农产品网络零售增势较好》，https://www.gov.cn/xinwen/2023-01/30/content_5739182.htm；《中国电子商务报告2016》，https://dzswgf.mofcom.gov.cn/news_attachments/20191111024831161.pdf。

^②资料来源：《阿里研究院：2022年淘宝村数量达到7780个，新增757个》，<http://jnec.jnbusiness.jinan.gov.cn/content-28-46823-1.html>。

^③资料来源：《我国大田种植信息化率超过21.8% 多措并举推进智慧农业发展》，<https://news.cctv.com/2022/12/27/ARTImCTBa9eC7EG6Wt5OcXNw221227.shtml>；《我国植保无人机保有量今年将首次超过日本》，<https://mil.huanqiu.com/article/9CaKrnJU06y>。

机植保对象由大田粮食作物向经济作物延伸。基于在山东省潍坊市开展的智慧农业发展现状分层随机抽样调查（以下简称“山东潍坊调查”），笔者发现：截至2022年底，在种植粮食、生姜和大葱的农户中，使用无人机植保服务的比例已分别达到了42%、62%和71%。无人机植保服务能得到规模经营主体和小农户的积极采用，是因为它解决了常规植保打药影响农民身体健康和投入较多人工的问题，同时避免了常规植保社会化服务中的信任缺失，并减少了监工时间。

4. 乡村治理与服务数字化。从总体上看，乡村治理与服务数字化发展快于智慧农业的发展。有别于工业生产，农业生产种植的农作物和养殖的动物都是有生命的，数字技术在农业生产中的推广应用受农业生产周期和资源环境条件等因素的制约较大。与智慧农业领域数字技术的作用对象不同，乡村治理与服务领域数字技术作用的主要是党群教育培训、垃圾分类、信息综合服务、村务管理、民主监督等受自然资源、复杂环境条件、生长周期约束较小的治理内容，因而推广难度相对较小、技术包容性更强。随着数字技术在乡村治理与公共服务领域得到较快的应用，乡村治理和服务的效能也得以明显改善。数字乡村发展的应用场景比比皆是，各地都有很多报道，诸如“数字乡村一张图”、“智慧三农”服务、乡村“三资”管理平台、乡村垃圾智能分类系统，等等。毫无疑问，数字乡村的许多应用场景有效地促进了新型农业经营主体和小农户的乡村治理参与、提高了乡村治理能力和当地村民的幸福感和获得感，但也要看到，许多数字乡村建设项目需要大量的资金投入，个别“面子工程”式的数字乡村应用场景等问题也应得到政府和社会的关注。

（二）近期有望得到较快发展的应用场景

1. 适用的农业物联网部分技术。感知层和传输层的部分农业物联网技术已开始得到一些农民的采用，近期可能会有较快推广应用的潜力。农业物联网技术在农业生产不同领域应用程度的差异很大，只有那些能够解决实际问题、成本合适且成熟度较高的技术，才能在实践中得到应用和推广。例如，笔者在山东潍坊调查发现，2022年大棚蔬菜生产中已经有20%的种植户采用了物联网传感器、9%的种植户采用了智能放风机，这些农户大都能够通过手机终端实现数据动态监测和实时控制。在物联网传感器应用上，除了部分农户是因为政府或企业提供免费设备而采用外，大部分农户是自己购买设备。在访谈中，受访农户表示，物联网传感器能对大棚生产环境进行及时监测。在智能放风机应用方面，使用智能放风机的农户反映，它确实能使他们在生产过程中及时、有效地调控大棚温度和湿度，增产、节时、省力等效益超过设备的投入成本，预期未来几年智能放风机将在适合安装该设备的大棚得到较快的推广应用。但调查也发现，能采用部分农业物联网技术的农户，基本上是数字素养与技能水平较高且具有一定经营规模的一小部分农民，这意味着，未来提高包括新型农业经营主体和小农户在内的农民数字素养与技能水平相当重要。

2. 部分人工智能技术。部分人工智能技术在设施农业企业得到应用，但需很大的资本投入。采用人工智能对农作物、畜禽和鱼虾等生长情况和环境数据进行建模分析，能够为精细化种植和精准养殖提供指导，但前提是掌握各种农作物和动物的生长规律，这是技术发展面临的瓶颈。笔者对各地人工智能技术应用项目的调查表明，能够达到盈亏平衡点的试点企业寥寥无几，但在生产过程的个别环节倒是有应用较好的场景案例。例如，苏州市吴江区国家现代农业产业园内的一家智慧园艺企业，在市、

县两级财政支持下，引入包括智能补苗机器人、滚筒式自动播种流水线和智能环控系统等在内的全套智能设备，智能化设备投资总投资额的一半以上，提高了产能和种苗成活率，并大幅减少了雇佣人员和节省了人工成本（但也减少了农村劳动力非农就业的机会）。该应用场景在投入机制上做了地方政府先建后补、成效评估和补贴资格评定等方面有益的探索，激励企业立足自身需求引进技术，也保障了财政资金效能的充分发挥。上述应用场景在许多经济发展水平较高的地区不难找到类似案例。

（三）中长期有较大发展潜力的应用场景

1. 农业物联网技术。截至 2022 年，全国累计创建 9 个农业物联网示范省份、建设 100 个数字农业试点项目，征集推介了 426 项农业物联网应用案例和模式，涉及大田种植、设施园艺、畜禽养殖和水产养殖等领域^①。尽管农业物联网设备的使用量不断增长、应用范围日益拓展，但大部分是应用在技术研发和试点示范等项目，许多应用场景从技术研发到试点示范，再到生产上的推广应用，还任重道远。基于 2022—2023 年对山东省潍坊市 575 个大棚蔬菜种植户的追踪调查，虽然笔者没有看到那些高端前沿的农业物联网技术从试点示范转向市场推广应用，但还是发现有些简单的却有较大发展潜力的物联网技术开始被采用。例如，虽然 2022 年农户采用智能水肥一体化机、智能打药机和大棚智能卷帘控制器的比例分别只有 2.3%、2.4%和 0.5%，但到 2023 年 5 月笔者回访农户的时候，农户采用上述物联网技术的比例已分别提高到 2.8%、3.7%和 1%。如果这些技术能更加成熟、价格更加便宜，就有望在生产上得到更多农民的采用。

2. 人工智能技术。政府和企业对人工智能在未来农业发展中的作用都寄予厚望，但人工智能使用成本高且还不太适合当前以至未来相当长一段时间的国情和市场需求，较大范围地推广人工智能还为时尚早。适用于大棚蔬菜种植等领域的人工智能技术装备有国外引进的，也有国内生产的，但基本上都处在农业科技园区试验探索阶段，同时，人工智能技术的推广在投资回报率和耗能等方面也面临巨大挑战。智能农机的研发与试点应用进程不断加快，但大多数应用尚处于试验或示范阶段，或作为未来农业现代化发展模式的探索。在国家补贴、北斗卫星组网、无人农场示范项目等政策支持下，农机自动驾驶的需求也持续增长。例如，截至 2021 年，全国累计安装北斗农业高精自动驾驶系统 10 万台（套），耕种收作业农机安装北斗定位终端超过 50 万台，分别占当年全国拖拉机总拥有量的 0.5%和 2.3%（分别相当于全国大中型拖拉机的 2.1%和 10.4%）^②。在水产养殖、经济作物种植等领域，智能农机的应用也在“耕—种—管—收”等环节开展试点，在一定程度上减少了水产投饵、鱼病防治等方面的人工投入。但适用于不同作物耕种收等不同环节的智能农机装备技术尚不成熟，资金投入较大、财政依赖性较高，实际经济效益尚不清晰，短期内很难从试验示范走向推广应用。

^①资料来源：《收获 2.67 亿亩，进度过两成 全国秋粮丰收在望》，http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2022-09/25/nw.D110000renmrb_20220925_3-01.htm。

^②资料来源：《总体产值超四千亿！“北斗”全面融入生产生活》，https://politics.gmw.cn/2021-09/23/content_35182385.htm；《非凡十年——2013 年以来我国农业机械化发展成就综述》，<http://www.cama.org.cn/secondPage/getDetails/43/1960>。

3. 农产品溯源区块链技术。从理论上讲，区块链技术在解决农产品流通过程中的信息不对称问题、改进农产品质量安全、增进消费者信任等方面会发挥重要作用。但笔者在浙江、山东和安徽分别开展的区块链在茶叶、韭菜和酥梨溯源中的应用场景调查发现，实践与理论还存在很大的差距。对区块链在茶叶和酥梨溯源应用案例的研究表明，区块链在生产各环节溯源的成本高、难度大，加上缺乏健全的增值分配机制，以及消费者缺少对溯源产品的充分信任，使得茶叶和酥梨的生产者缺乏技术采纳积极性，充分发挥区块链技术作用和实际的推广应用还面临诸多挑战。对韭菜溯源应用案例的调查发现，这不是真正意义上利用区块链技术，因为该案例从生产到销售都是由一个公司经营。如果没有充分结合农业生产与农产品特征（例如农产品的身份识别和实际价值等）、严格的约束监督制度、良好的声誉激励机制、透明的公众投诉渠道以取得消费者对食品质量安全的信任，有效地利用区块链技术实现农产品质量安全追溯是极其艰难的。

4. 农村数字金融。近年来，银行等金融机构和地方政府合作，积极探索以物联网、区块链、卫星遥感等数字技术促进农村金融产品与服务创新。例如：福建省龙岩市武平县金融机构和林业部门共同创建了林业金融区块链融资服务平台，整合了不动产登记、林权评估、金融、担保与征信共 5 家机构的信息，对接撮合农信社、村镇银行等 10 家金融机构供给 58 种金融专属产品^①，为林农提供多样化贷款选择；山东恒丰银行利用卫星遥感技术推出“好粮快贷”服务大田种植，应用物联网和区块链技术创新“恒丰好牛快贷”产品支持肉牛养殖^②；一些农业保险公司探索将数字技术应用到农业保险的精准承保、快速定损、精准理赔、业务监管和风险预测等环节^③，以期提升农业保险服务能力和综合管理效率。全国很多地方在农村数字金融领域都有类似的探索与实践，但数字技术促进农村金融创新发展还面临因数据和机构壁垒而难以获得农村家庭信用信息数据的困境。

（四）拓展性思考

由前述分析可知，数字技术尤其是前沿数字技术在中国农业生产领域的应用仍然较为滞后。事实上，即使在美国这样以大农场为主要农业经营主体的国家，智慧农业得到较快发展的主要应用场景多数还是在社会化服务，农场直接购买与采用智慧农业设备还是有限的^④。对于以大国小农为基本国情的中国，未来推进智慧农业的发展更应厘清不同应用场景和不同智慧农业技术的市场需求与发展潜力，更要大力推进多样化数字技术在农业生产领域的创新性应用，更要重视社会化服务在智慧农业技术推广中的作用，更加关注小农户如何在与现代农业有机衔接中利用智慧农业技术获得更多收益。

^①资料来源：《山林披绿 林下生金》，http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2023-03/17/nw.D110000renmrb_20230317_1-13.htm。

^②资料来源：《恒丰银行“好牛快贷”荣获“2022 年度山东省乡村振兴特别奉献奖”》，https://www.sdba.org.cn/article/show_7_8463.html。

^③资料来源：《保险数字化为农业赋能》，http://paper.ce.cn/pc/content/202307/21/content_277778.html。

^④美国普渡大学 Erickson and Widmar (2015) 开展的智慧农业经销商调查结果显示，经销商向客户提供比例较高的智慧农业技术服务主要是自动驾驶（83%）、农业社会化服务（82%）、基于 GPS 的喷药控制（74%）、GPS 导航和卫星或航空影像（51%）等场景，而遥感、无人机和叶绿素传感器等方面经销商服务提供比例分别只有 20%、16%和 6%。

四、数字技术促进农业农村发展面临的主要挑战

基于对智慧农业与数字乡村建设中数字技术主要应用场景与进展的分析，遵循数字技术促进农业农村发展“起始阶段—扩散阶段—引致效果”的逻辑主线，综合考虑起始阶段农业农村发展催生的数字技术需求、数字技术供给与发展规划，扩散阶段数字技术成熟度、应用的成本收益，以及效果层面数字技术应用存在的区域与群体差异、福利影响等可知，数字农业农村发展在需求导向、顶层设计、技术创新、成本收益、数字鸿沟和农民受益等方面还面临诸多挑战。

（一）需求导向

部分数字技术的供给与农业农村发展的实际需求不匹配。这从目前发展较快的四个应用场景的共性和发展较慢的（包括近期有望较快发展和中长期有较大发展潜力）其他应用场景存在的问题两个方面可以得到印证。例如，农业物联网技术和人工智能技术等许多数字技术应用场景的试点示范项目还难以满足一段时间内农业农村发展的实际需求，也难以解决农民在农业生产与农产品流通过程中和参与乡村基层治理过程中的实际问题。笔者在对江苏省苏州市吴江区浦江源太湖蟹生态养殖示范园中的一家养殖企业的调查中发现，该企业投资不少的养殖数字化项目，涉及水质监测、智能测氧、气象监测和无人机饲料投放等设备；但据养殖户反映，只有水质监测设备和成本较低的智能测氧设备（2万~3万元/台）对农民生产有用，而成本高达每台20万元的气象监测设备对生产的指导作用不大。

（二）顶层设计

1. 大数据平台建设。基于对智慧农业与数字乡村试点地区的调查发现，虽然许多农业农村大数据平台建设具有前瞻性，但其服务对象、服务需求、有效数据、数据更新、数据产权、运营维护、体制机制等都尚不明确。同时，一些地方在大数据平台建设方面，各级各部门各自为战、耗资巨大，缺乏上下级和部门间的统筹协调工作机制，导致信息孤岛和重复建设。但笔者的调查也发现，在不同层级和不同部门间的统筹协调等顶层设计方面，浙江省德清县和临安区做了很好的试点和探索^①，为其他地区破解大数据平台建设困境提供了有益借鉴。

2. 技术路径。笔者调查的智慧农业与数字乡村试点项目的技术提供者几乎都是数字技术科技企业或实施项目机构下属的数字科技部门，多以发展数字工业与数字服务业的思路，采取“数字+农业”的技术路径（以数字技术创新供给、标准化应用驱动农业全产业链转型，以改进农业生产经营管理服务方式）。然而，农业是有生命的产业，任何农作物和养殖动物都是有生命的，生产受到当地资源和气

^①浙江省德清县和临安区的主要做法包括：①顶层设计定框架，“1+N”模式满足个性化需求。“1”是实施“1612”数字化标准体系架构，即一体化智能化公共数据平台，六大系统整合（党建统领整体智治、数字政府、数字经济、数字社会、数字文化和数字法治），一体化基层治理系统，两个体系（理论体系和制度规范体系）。“N”是在“1”的标准化下加上N个满足县域个性化的需求。例如，德清县和临安区分别建设了“浙里未来乡村在线”系统和“天目云农”系统。

②公共资金资助的模块组件资源共享，节本增效。③简化集成应用，为使用者减负。④以“三农”发展需求为导向设计数字应用，夯实数字技术与实体产业的深度融合。⑤大数据局牵头，促进数据共享和保障数据安全。

候等自然因素的影响，农业生产要因地制宜、因时制宜、不误农时，这与制造业和服务业生产截然不同，农业只能采用“农业+数字”的技术路径（即以不同地区、不同产业链环节、不同细分领域农业发展内生需求驱动数字技术创新性供给与差异化应用，以提高农业生产经营与管理服务质效）。笔者在山东潍坊调查也发现，智能放风机、智能打药机等能够被部分农民采用，就是因为这些智慧农业设备是基于蔬菜生长规律和农民生产面临的实际问题，采用“蔬菜+数字”技术路线而设计的。

（三）技术创新

不少智慧农业和数字乡村应用场景还缺乏较成熟的技术和大数据支撑。例如，政府和企业探索的许多数字农业农村试点示范项目，包括笔者调查的设施农业物联网技术、大棚人工智能技术、农产品质量安全溯源区块链技术、数字金融科技等数字技术应用场景相关的项目，要么缺乏较成熟的技术，要么缺乏大数据的支撑，结果必然事倍功半。技术支撑条件的重要性显而易见，但缺乏大数据支撑的问题在物联网和数字金融发展领域尤为突出。例如，农村数字金融业务尤其是数字信贷规模不大和农民参与度不高的重要问题就在于金融机构缺乏能判断农户信用的有效数据。

（四）成本收益

不少农业物联网技术、人工智能技术和区块链技术等数字技术的投资成本较高，一般农民与其他生产者都难以承受。数字农业农村试点示范项目往往由农业企业实施，但投资大加上短期效益低，企业即使得到财政补贴，也常常难以达到投资的盈亏平衡点，技术采用的成本效益问题成为示范推广的主要限制因素。财政直接投资和奖补是现有智慧农业和数字乡村试点项目投入的主要来源，社会资本和普通农户参与程度低，致使部分试点项目的可持续性和可推广性面临挑战。山东省潍坊市某红芽姜种植户投入100多万元引入整套农业物联网设备，虽然对大棚红芽姜生长环境监测、温湿度智能控制、设备远程操作产生积极作用，但即便算上政府补贴部分，投资回收期也要在4年以上。此外，只有少数数字素养与技能较高的农民能够在试点项目支持下采用较先进的物联网设备；农民数字素养水平偏低增加数字技术采用成本，使得现阶段部分数字技术难以得到大范围的推广应用。

（五）数字鸿沟

区域间的数字鸿沟是数字技术在助力农业农村发展过程中面临的重要挑战。《县域数字乡村指数（2020）研究报告》表明，县域数字乡村发展的区域差异大，而且呈现数字鸿沟与经济鸿沟的空间交叠现象^①。例如，2020年，东部地区、中部地区、西部地区和东北地区县域数字乡村指数均值分别为68、61、48和46，县域数字乡村发展的东西差异明显。东部地区、中部地区、西部地区和东北地区2019年入围县域数字乡村发展百强县的县域占比分别为77%、19%、4%和0%，2020年分别为80%、16%、4%和0%（见表2）。分省看，2020年县域数字乡村发展百强县有32个在浙江，其他百强县较多的省份依次是河北（19个）、福建（14个）、广东（9个）和江苏（8个），剩余23个省份的百强县加起来只有18个。县域数字乡村发展排名前300县的分布也证实了数字乡村发展的区域鸿沟问

^①资料来源：《县域数字乡村指数（2020）研究报告》，<http://www.ccap.pku.edu.cn/nrdi/docs/2022-05/20220530144658673576.pdf>。

题。更重要的是，数字鸿沟和经济鸿沟的空间交叠，加剧了缩小数字鸿沟任务的艰巨性。

表2 县域数字乡村发展前100县和前300县的分布 单位：%

| 地区 | 前100县占比 | | 前300县占比 | |
|------|---------|-------|---------|-------|
| | 2019年 | 2020年 | 2019年 | 2020年 |
| 东部地区 | 77 | 80 | 57 | 57 |
| 中部地区 | 19 | 16 | 37 | 38 |
| 西部地区 | 4 | 4 | 6 | 5 |
| 东北地区 | 0 | 0 | 0 | 0 |

农户间的数字鸿沟使缩小农村居民间的收入差距面临一定的挑战。例如，课题组对10省^①13570户农户的追踪调查数据表明（见表3），2015—2019年户主年龄在16~30岁的受访农户使用互联网的比例从82%增加到89%，而户主年龄在60岁以上的受访农户使用互联网的比例从38%增加到71%；户主受教育程度和家庭经营耕地面积与使用互联网的比例都存在明显的正相关。此外，虽然已有研究表明农户能够通过线上销售农产品获得更高价格和更多收入（Li et al., 2021），但能够在线上销售农产品的农户一般也是数字素养较高、收入相对较高、经营能力相对较强的农户。

表3 不同特征农户主要信息沟通技术的使用比例 单位：%

| 分组依据 | 组别 | 电脑 | | 互联网 | | 智能手机 | |
|--------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2015年 | 2019年 | 2015年 | 2019年 | 2015年 | 2019年 |
| 年龄 | 16~30岁 | 47 | 44 | 82 | 89 | 89 | 98 |
| | 31~45岁 | 38 | 43 | 71 | 96 | 85 | 97 |
| | 46~60岁 | 33 | 39 | 60 | 94 | 51 | 77 |
| | 60岁以上 | 16 | 21 | 38 | 71 | 14 | 25 |
| 受教育程度 | 小学及以下 | 20 | 24 | 47 | 75 | 39 | 48 |
| | 初中 | 32 | 35 | 60 | 89 | 73 | 82 |
| | 高中及以上 | 43 | 47 | 64 | 93 | 85 | 94 |
| 家庭经营 耕地面积 | 0.3公顷及以下 | 27 | 31 | 57 | 84 | 63 | 71 |
| | 0.3~1公顷 | 26 | 30 | 49 | 80 | 60 | 68 |
| | 1公顷以上 | 45 | 38 | 58 | 90 | 66 | 78 |
| 观测值数 | | 13570 | 13570 | 13570 | 13570 | 45933 | 45933 |

注：电脑和互联网统计的是家庭层面的使用比例，以户主年龄、户主受教育程度为分组依据；智能手机统计的是全体家庭成员个体层面的使用比例，以每位家庭成员年龄、受教育程度为分组依据。

（六）农民受益

政府期待数字技术助力农民增收致富，但农民在生产与销售农产品等领域的获利有限。除了无人机植保等应用场景，由于各种原因，过去十多年的许多数字农业农村试点示范和推广应用项目还难以渗透到一般农户，承担试点示范项目的主体多是农业企业、平台公司或研发企业。农产品电商技术是

^①10省包括浙江省、湖北省、广东省、陕西省、四川省、江西省、辽宁省、河北省、河南省和山东省。

发展相对较快、技术较为成熟的，然而，广大农民和乡村干部也因缺乏较高的数字素养与技能而未能 在农业生产经营活动中广泛采用该技术。即便是采用该技术的农民，从中受益也非常有限。例如，课题组在 2022 年对 8 省^①固定观测点农户的分层随机抽样调查表明，直接在线上销售农产品的农民还不到 1%，销售量仅占其家庭农产品销售总量的 0.3%，且 90%是通过微信朋友圈销售，他们多来自中高收入水平和户主受教育程度较高的家庭。虽然部分农民也销售农产品给电商经营户或平台企业，但价格同销售给当地的批发商或小商贩没有明显差异。此外，虽然全国淘宝村数量 2022 年已增加至 7780 个，但占行政村数量的比例也仅略高于 1%，而销售农产品的淘宝村占比更低。国家《数字农业农村发展规划（2019—2025 年）》提出，农产品网络零售额占农产品总交易额比例要从 9.8%提高到 15%^②，但笔者认为，如果按现在趋势发展下去，到 2025 年农户从农产品电商发展 15%的“大饼”中分享到 2 个百分点就不错了。为此，2022 年中央“一号文件”首次提出乡村建设要为民而建、要实施“数商兴农”工程^③；但是，要真正实现“兴农”，任务还相当艰巨。

五、数字技术促进农业农村发展的必要条件和充分条件

基于以上对数字技术促进农业农村发展的各类案例分析、发展面临的主要挑战与部分应用场景取得的发展经验，笔者认为，智慧农业和数字乡村发展不但要具备必要条件，而且要具备充分条件。

（一）必要条件

数字技术在农业农村得到应用与发展的必要的基本条件是要有完善的农村信息通信基础设施。中国互联网络信息中心统计数据显示，中国农村互联网普及率从 2012 年的 23.7%增长到 2022 年的 61.9%^④；课题组在 2022 年对 8 省固定观测点农户的分层随机抽样调查表明，虽然各地的信息通信基础设施在质量和深度渗透等方面有较大差异，但从广度上看，99.9%的受访村庄实现了 4G 网络覆盖。第三部分讨论的农产品电商、农产品交易数字化和无人机植保等发展较快的数字技术应用场景，都离不开当地农村较好的信息通信基础设施条件。

（二）充分条件

首先，数字技术的应用要满足应用主体的实际需求或解决他们面临的实际问题。例如，农产品电商不但使消费者有更多样的选择和更个性化的消费，而且对贸易商（有更多的买家、卖家或更多渠道

^①8 省包括浙江省、湖北省、广东省、陕西省、四川省、江西省、辽宁省和河北省。

^②参见《农业农村部 中央网络安全和信息化委员会办公室关于印发〈数字农业农村发展规划（2019—2025 年）〉的通知》，https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/20/content_5470944.htm。

^③参见《中共中央 国务院关于做好 2022 年全面推进乡村振兴重点工作的意见》，https://www.gov.cn/zhengce/2022-02/22/content_5675035.htm。

^④资料来源：《第 51 次中国互联网络发展状况统计报告》，<https://www.cnnic.net.cn/NMediaFile/2023/0322/MAIN16794576367190GBA2HA1KQ.pdf>；《第 31 次中国互联网络发展状况统计报告》，<http://www.cac.gov.cn/files/pdf/hlwtjbg/hlwlfzzkdctjbg031.pdf>。

等）、平台与新业态企业（扩大企业业务范围）和投资商（平台经济与新业态发展的新投资机会）都有很大的吸引力（邱子迅和周亚虹，2021）。农产品交易数字化既方便卖方，也方便买方。山东省寿光市村头蔬菜市场交易数字化系统地解决了以往频繁发生的纠纷问题，受到当地菜农、村头市场代办人员、外地收购商和地方政府的欢迎。农作物无人机植保应用得到快速发展，主要归功于其应用满足了农民避免人工施用农药中毒和节约劳动力投入的需求，促进了无人机产业的发展，扩展了农村社会化服务主体的业务范围，也吸引了当地农药销售商积极参与提供无人机植保服务。这既稳定或扩大了农药销售商的农药销售量，又增加了他们的植保服务新业务。不少数字乡村应用场景能在许多地方得到推广应用，也是因为它们既帮助地方基层政府和村委会等解决了一些实际问题，又帮助广大村民解决了不少以前难以解决或需要更多时间解决的问题。前面讨论的近期有望得到较快发展和只有中长期才有较大发展潜力的许多应用场景案例，也从另一个角度说明，部分数字技术还不具备广泛推广与应用的条件。例如，许多物联网技术和人工智能技术虽然在理论上可行，但在实践中还难以解决农民生产中面临的实际问题；实地调查中，据农民反映，他们卖的酥梨不存在销售问题，在区块链技术不能为他们带来优质优价情况下，他们没有采纳区块链技术的积极性。

其次，数字技术的应用要起到节本增效或收益大于成本的效果。这是任何新技术能被广泛采用的主要原因，数字技术也不例外。例如，农产品电商既可以节省消费者购买食物的时间和促进消费者支付更公平竞争的价格，也使贸易商节省中间环节成本、平台企业通过生鲜农产品销售带动更多标准品销售并拥有不断升值的大数据。山东省寿光市村头蔬菜市场交易数字化不但降低了交易纠纷发生的可能性和处理成本，而且大幅节省了各方的记账和交易时间。农业无人机的植保效果与常规的人工植保效果相当，但前者成本明显低于后者（包括节省农药、劳动时间或雇人打药的监管时间等）。数字乡村发展提高了乡村治理的能力，使广大村民在处理日常事务方面节省了时间、提高了效率。但是，不少物联网技术难以被农民采用的主要原因之一也是成本过高，投资回报率低；人工智能技术需要很高的财政补贴也说明其应用的成本效益还难以达到市场化运作条件；区块链技术在农产品质量安全溯源中的身份识别成本高，同时也难以在市场上获得较高溢价，推广应用难度很大。

再次，数字技术的应用要有较成熟的技术做支撑。农产品电商和农产品交易数字化技术是农业农村领域数字技术应用场景中现有的最成熟的技术。中国农作物无人机作业的技术走在国际前沿，无人机作业的功能已开始从植保向播种、施肥、检测等领域扩展。乡村治理和公共服务的内容、方式、渠道、流程、管理等系统的数字化技术及其应用也已相当成熟，并得到了不断完善与发展。相反，中国在农业领域试点应用的许多物联网技术、人工智能技术和区块链技术要走向市场，在技术研发和技术成熟度方面离大规模推广还存在很大差距；探索数字金融发展的金融机构没有广大农民的信用大数据作为技术支撑，难以扩展农村数字金融业务。

最后，数字技术的应用要么易于采用、要么具有与之相适应的较高数字素养的农民和其他应用者。虽然电商业务也需要一定人力资本，但多数中青年甚至部分年龄较大的农村居民经过适度培训基本能够通过手机等常用的信息通信设备开展电商活动；农产品交易数字化对应用者的使用条件要求更低，几乎能被所有智能手机的使用者采用；无人机植保作业通过社会化服务实施，对购买无人机植保服务

的农民没有任何技术使用的要求。然而，物联网技术、人工智能技术、区块链技术、数字金融技术与以上技术不同，在技术采用上都需要使用者有较高的人力资本尤其是数字素养与技能水平。

六、发展思路、政策启示和研究展望

（一）发展思路

第一，要科学制定智慧农业和数字乡村的发展路线图。要根据数字农业农村发展的必要条件（完善的信息通信基础设施等）和充分条件（满足市场需求、节本增效、技术成熟、采用能力等）的具备状况，厘清不同地区在不同阶段（目前、近期和中长期）的智慧农业和数字乡村的发展路线图。

第二，要坚持快速、包容、永续和惠民的发展原则。只有创造好必要条件和充分条件，按制定的路线图实施，才能达到事半功倍的效果和实现快速发展；只有关注区域和群体鸿沟，才能促进包容的发展，在这方面，要特别关注欠发达地区和缺乏良好数字素养的农民；只有充分发挥政府职能与社会资本的作用，灵活运用财政杠杆和市场机制，激发各类市场主体共建共治共享的活力，才能实现永续发展；只有通过体制机制创新，提升农民数字素养与技能，才能真正落实为民而建、为民而兴的要求，确保数字农业农村建设为民而建的初衷。

第三，要制定适合国情和农情的数字乡村发展技术路径。要充分考虑农业特有属性，采用“农业+数字”的内生需求驱动的智慧农业发展技术路径；只有契合农业生产属性（例如，农业是有生命的生产过程）并能满足实际需求的数字技术创新，才能得以推广和应用。要充分考虑大国小农国情和农情，制定不同技术采用的推广方式（例如，社会化服务、农户直接采用等），才能让更多农民在生产生活更广泛的领域主动拥抱数字技术。

第四，要关注智慧农业和数字乡村发展的关键问题。要特别重视各种应用场景在需求导向、顶层设计、技术创新、成本收益、数字鸿沟和农民受益等方面面临的挑战。为应对这些挑战，要完善体制机制保障，加强智慧农业和数字乡村发展质量的考核评价，厘清发展优势与短板。深入总结前期试点积累的初步经验，加大先进案例与模式的宣传推广，及时规避数字乡村建设中的资源浪费、“面子工程”等问题。

（二）政策启示

第一，建立数字农业农村发展的管理体制保障。智慧农业和数字乡村发展涉及多部门和多领域，建议建立由农业农村部、国家互联网信息办公室、国家发展改革委、财政部、科技部、教育部、工业和信息化部、人力资源社会保障部等相关机构组成的跨部委联席会议领导小组；在农业农村部设立日常管理办公室，负责发展规划、部门协调、体系建设和政策支持等工作。在省级、地市级和县级建立类似的跨部门领导与管理机构。

第二，健全充分发挥政府职能和市场作用的运行机制。做好国家级、省级、地市级和县级农业农村大数据平台建设的制度设计，要明确需求导向、数据标准、数据整合、安全与监测、共享机制、动态维护与开发应用等方面问题。建立财政、社会资本等多元化的投入体系；通过税收和金融等优惠政策，探索农业企业和互联网企业等主体投资智慧农业与数字乡村建设的激励机制；基于智慧农业和数

字乡村的发展路线图，对目前发展较快、近期有望较快发展和中长期发展潜力较大的三类应用场景，在财政、金融、科技与人才等方面给予差异化的政策支持。构建智慧农业和数字乡村发展的评价指标体系，建立数字农业农村发展的考核机制。

第三，着力解决数字鸿沟、发展不平衡和农民难以受益等方面问题。政府在资金、技术与人才等方面对欠发达地区加大支持力度的同时，应通过税收和金融等优惠政策，促进企业投资欠发达地区的数字化发展；把让广大农民从农产品供应链增值中受益作为政府支持智慧农业项目的实施条件，将农民受益程度作为项目实施效果评估的主要考核指标之一；在加快推进“数商兴农”和“快递进村”工程的同时，需特别关注广大中老年农民、低收入农户等弱势群体的数字素养与技能提升，使数字农业农村发展的红利惠及更多农民群体。

第四，加强智慧农业和数字乡村建设的技术研发和完善技术应用支撑条件。探索构建多学科交叉融合的数字技术创新体系，提升研发能力与应用水平；围绕粮食等重要农产品供给、种植业与养殖业发展转型，尤其是设施农业生产各环节需要数字技术解决的实际问题，以及农产品销售、加工与服务全产业链各环节对数字技术的需求，并结合数字农业农村发展的必要条件和充分条件，有针对性地加大相应的研发投入，提高数字技术主要应用场景的技术成熟度和节本增效的效果，分阶段分类推进数字技术应用从试验示范走向推广应用。

（三）研究展望

随着数字技术促进农业农村发展的实践不断深入，在智慧农业和数字乡村发展领域还有许多待研究问题，主要包括但不限于：第一，研究在农业农村发展领域数字技术采用与扩散的主要特征和差异，探索智慧农业和数字乡村各类主要应用场景发展的一般规律。第二，系统探究数字技术在近期、中期与长期能够解决农民等生产者在生产过程中、农产品全产业链各环节，以及农村居民与基层干部在乡村治理、公共服务等领域面对的实际问题，为有序实施智慧农业和数字乡村发展路线图提供有效的技术支撑。第三，基于各地开展的各种试点示范项目和实际应用场景案例的分析，总结智慧农业和数字乡村各类应用场景发展的经验和面临的主要问题。第四，对已经在实践中得到较多应用的技术，深入开展其影响的实证研究。这些研究包括但不限于数字技术的应用对生产投入产出和收益、农作物品种和农业生产结构、市场供应链、营销价格、农产品质量安全追溯、满足个性化需求、农村劳动力就业、发展和公平、政府公共服务、农村治理、生态环境等的影响。第五，对未来有望在实践中得到应用的技术，开展随机干预试验，分析技术的需求状况、技术采用的主要决定因素和采用技术后可能产生的主要影响。

参考文献

- 1.陈伟雄、李宝银、杨婷，2023：《数字技术赋能生态文明建设：理论基础、作用机理与实现路径》，《当代经济研究》第9期，第99-109页。
- 2.黄季焜，2021：《以数字技术引领农业农村创新发展》，《农村工作通讯》第5期，第44-46页。

- 3.韩旭东、刘闯、刘合光, 2023: 《农业全链条数字化助推乡村产业转型的理论逻辑与实践路径》, 《改革》第3期, 第121-132页。
- 4.刘天元、王志章, 2021: 《稀缺、数字赋权与农村文化生活新秩序——基于农民热衷观看短视频的田野调查》, 《中国农村观察》第3期, 第114-127页。
- 5.罗千峰、赵奇锋、张利庠, 2022: 《数字技术赋能农业高质量发展的理论框架、增效机制与实现路径》, 《当代经济管理》第7期, 第49-56页。
- 6.齐秀琳、江求川, 2023: 《数字经济与农民工就业: 促进还是挤出? ——来自“宽带中国”政策试点的证据》, 《中国农村观察》第1期, 第59-77页。
- 7.秦秋霞、郭红东、曾亿武, 2021: 《乡村振兴中的数字赋能及实现途径》, 《江苏大学学报(社会科学版)》第5期, 第22-33页。
- 8.邱子迅、周亚虹, 2021: 《电子商务对农村家庭增收作用的机制分析——基于需求与供给有效对接的微观检验》, 《中国农村经济》第4期, 第36-52页。
- 9.沈费伟、袁欢, 2020: 《大数据时代的数字乡村治理: 实践逻辑与优化策略》, 《农业经济问题》第10期, 第80-88页。
- 10.王亚华、李星光, 2022: 《数字技术赋能乡村治理的制度分析与理论启示》, 《中国农村经济》第8期, 第132-144页。
- 11.吴文旭、吴业苗, 2022: 《数字乡村建设如何促进乡村振兴——基于政策法律文本的扎根理论研究》, 《中国农业大学学报(社会科学版)》第5期, 第69-92页。
- 12.夏显力、陈哲、张慧利、赵敏娟, 2019: 《农业高质量发展: 数字赋能与实现路径》, 《中国农村经济》第12期, 第2-15页。
- 13.徐旭初、朱梅婕、吴彬, 2023: 《互动、信任与整合: 乡村基层数字治理的实践机制——杭州市涝湖村案例研究》, 《中国农村观察》第2期, 第16-33页。
- 14.易法敏、古飞婷, 2023: 《本地平台商业模式创新、制度逻辑转换与农业数字化转型》, 《中国农村观察》第5期, 第2-23页。
- 15.曾亿武、宋逸香、林夏珍、傅昌鑫, 2021: 《中国数字乡村建设若干问题刍议》, 《中国农村经济》第4期, 第21-35页。
- 16.张蕴萍、栾菁, 2022: 《数字经济赋能乡村振兴: 理论机制、制约因素与推进路径》, 《改革》第5期, 第79-89页。
- 17.朱红根、陈晖, 2023: 《中国数字乡村发展的水平测度、时空演变及推进路径》, 《农业经济问题》第3期, 第21-33页。
- 18.Banerjee, A., E. Duflo, C. Imbert, S. Mathew, and R. Pande, 2020, "E-Governance, Accountability, and Leakage in Public Programs: Experimental Evidence from a Financial Management Reform in India", *American Economic Journal: Applied Economics*, 12(4): 39-72.
- 19.Dal Bó, E., F. Finan, N. Y. Li, and L. Schechter, 2021, "Information Technology and Government Decentralization: Experimental Evidence from Paraguay", *Econometrica*, 89(2): 677-701.

20.Erickson, B., and D. A. Widmar, 2015, "Precision Agricultural Services Dealership Survey Results", <https://agribusiness.purdue.edu/wp-content/uploads/2019/08/2015-crop-life-purdue-precision-dealer-survey.pdf>.

21.Huang, J., L. Su, Q. Huang, and X. Liu, 2022, "Facilitating Inclusive ICT Application and E-Commerce Development in Rural China", *Agricultural Economics*, 53(6): 938-952.

22.Li, X., H. Guo, S. Jin, W. Ma, and Y. Zeng, 2021, "Do Farmers Gain Internet Dividends from E-Commerce Adoption? Evidence from China", *Food Policy*, 101(3), <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102024>.

23.Twizeyimana, J. D., and A. Andersson, 2019, "The Public Value of E-Government—A Literature Review", *Government Information Quarterly*, 36(2): 167-178.

(作者单位：¹ 北京大学现代农业研究院；

² 北京大学现代农业学院中国农业政策研究中心；

³ 中国社会科学院农村发展研究所)

(责任编辑：柳 荻)

Digital Technologies Facilitate Agricultural and Rural Development: Opportunities, Challenges, and Future Directions

HUANG Jikun SU Lanlan WANG Yue

Abstract: Digital technologies are increasingly expected to accelerate agricultural and rural development, but there is a lack of systematic studies on the progress of digital technologies' application in agricultural and rural development and how to promote it in the future. The goal of this study is to clarify the opportunities, challenges, and experience for accelerating agricultural and rural development by using digital technologies, and explore feasible pathways for further development. The results show that the central and local governments, agriculture enterprises, internet enterprises, and financial institutions attach great importance to digital technologies to facilitate agricultural and rural development and actively carry out several pilot programs of smart agriculture and digital village. The road map for the development of application scenarios in the present, short-term, and long-term should be clear to facilitate the improvement of smart agriculture and digital village, otherwise it will get half the result with twice the effort. Nowadays, many application scenarios face challenges regarding demand orientation, top-level design, technological innovation, cost and benefit, digital divide, and farmers' benefit. Based on the analyses above, we summarize the necessary and sufficient conditions for the development of smart agriculture and digital village and put forward the further directions and policy enlightenment.

Keywords: Agricultural and Rural Development; Digital Technologies; Smart Agriculture; Digital Village; Digital Divide