

数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型

何可¹ 朱润²

(1.华中农业大学 农业绿色低碳发展实验室,武汉 430070;

2.河南财经政法大学 农业农村发展学院,郑州 450046)

摘要:面对全球气候变化带来的严峻挑战,粮食系统绿色低碳转型变得尤为迫切。本文探讨了数字技术在粮食生产、加工与储存、供应链管理以及消费者行为变革等四个方面的作用机制,并针对现实挑战提出了相应的应对策略。研究表明,数字技术通过精准农业、智能装备、科学数据决策等手段,不仅显著提升了粮食生产效率,还减少了资源消耗和环境污染。尽管如此,技术接受度、数据安全与隐私保护、经济可行性与投资回报、资源消耗与环境影响等挑战依然存在。为此,本文提出了一系列策略,包括强化文化适应性教育、加强数据安全与隐私保护、优化经济投入与回报机制、建立政策动态适应机制等,以推动粮食系统向更加绿色低碳的方向发展。

关键词:数字技术;粮食系统;绿色低碳转型

中图分类号:F326.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-7465(2025)01-0055-13

一、引言

党的十八大以来,中国立足世情国情粮情,提出了“确保谷物基本自给、口粮绝对安全”的新粮食安全观。之后,又将传统以粮为纲的狭义“粮食安全观”拓展为包含绿色低碳元素的“大食物观”^[1]。这一系列重要的粮食安全理论创新与实践创新,对维护全球粮食安全作出了重要贡献^①。国家统计局数据显示,2023 年全国粮食总产量 13908.2 亿斤,比上年增长 1.3%,并连续 9 年稳定在 1.3 万亿斤以上^②。然而,不可忽视的是,气候变化及其引发的极端天气事件对人类社会可持续发展构成了严峻挑战^[2]。特别是在粮食安全领域,全球人口增长和消费模式变化增加了对粮食生产的需求,而气候变化对农业生产条件的不利影响,使得全球粮食供应的保障变得愈发困难。例如,2023 年中国农作物总受灾面积达 10539.3 千公顷,其中干旱灾害、风雹灾害和低温灾害造成的农作物受灾面积分别为 3803.7 千公顷、1174.5

收稿日期:2024-10-01

项目基金:国家自然科学基金面上项目“减污降碳视角下长江经济带种养结合循环农业的生态经济效率:时空演进与提升策略”(42371306);教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“乡村产业兴旺科技支撑的体制机制研究”(21JZD030);湖北省社会科学基金重点项目“学习贯彻党的二十大精神研究专项”(HBSKJJ20240231)

作者简介:何可,男,华中农业大学农业绿色低碳发展实验室主任,教授,博士生导师;朱润(通信作者),男,河南财经政法大学农业农村发展学院博士。

① 参见何可,宋洪远:《“双碳”目标下的粮食安全问题》《光明日报》,2021-10-19(11)。

② 参见中国政府网:《全国粮食产量连续 9 年站稳 1.3 万亿斤台阶 来之不易的丰收答卷》, https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202312/content_6919639.htm。

千公顷和 519.2 千公顷^①。同时,研究显示全球约 137 亿吨二氧化碳或等效的温室气体通过农业活动排放到大气中,其中四分之一以上的温室气体排放与粮食生产有关^[3]。因此,农业尤其是粮食系统的生产方式的绿色低碳转型,不仅是应对气候变化的必要措施,也是实现全球可持续发展目标的关键途径^[4]。

与此同时,数字技术的迅猛发展及其在各行业的应用,特别是在第二和第三产业中的应用越来越广泛^[5]。数据显示,截至 2023 年底,中国制造业重点领域的关键工序数控化率、数字化研发设计工具普及率分别达 62.2% 和 79.6%^②。在信息技术的推动下,直播带货、跨境电商等新业态新模式蓬勃发展,全国网上零售额达到 15.4 万亿元,连续 11 年稳居全球第一大网络零售市场^③。在农业领域,虽然农业农村数字化建设落后于二三产业和城市,但数字技术对农业农村各方面尤其是对粮食生产绿色低碳领域的发展具有重要促进作用,亟需厘清发展机遇、现状,并提出未来的推进策略^[6-8]。首先,数字技术正逐渐改变传统粮食生产模式,通过推广精准农业技术、智能农业装备和科学数据决策系统等,推动生产模式从粗放式、掠夺式和经验式向绿色化、低碳化和智能化转型^[9]。其次,在粮食加工与储存环节,数字技术通过引入低碳管理系统、推广智能储存技术等,不仅能够减少传统加工和储存过程中的粮食损耗和资源浪费,还可以降低能源消耗^[10]。最后,通过区块链、大数据和物联网等数字技术的深入应用,实现粮食供应链全流程的互相联通,不仅可以增强粮食供应链的透明度、提升运营效率,还能够促进资源的有效配置^[11]。此外,近年来消费者对绿色低碳粮食的需求日益增长。有研究显示,数字技术在消费者识别和参与方面对商业模式具有显著影响^[12]。数字技术能够提供透明化信息和个性化服务,满足消费者对绿色低碳粮食的具体需求。随着消费者需求的持续演变,生产者也被激励着去提供绿色低碳粮食^[13]。综上所述,数字技术的运用,不仅能够提升粮食生产效率,还为实现粮食系统绿色低碳转型提供新的动力,对于促进农业高质量发展和保障国家粮食安全具有重要意义。

本文的目标是探讨数字技术如何助力粮食系统实现绿色低碳转型,分析其作用机制、面临的挑战以及潜在的提升策略。通过深入研究,本文旨在为政策制定者、农业从业者和技术开发者提供理论指导和实践建议,共同促进粮食系统向更加绿色低碳的方向发展。本文的边际贡献可能体现在:一方面,本文将数字技术与粮食系统绿色低碳转型相结合,不仅关注数字技术本身的发展,还探讨了数字技术如何与农业生产、加工、储存、供应链管理以及消费者行为等多个环节相互作用,由此形成一个较为全面的分析框架。这为理解和推动粮食系统绿色低碳转型提供了新的理论支撑。另一方面,本文不仅分析了数字技术在粮食系统中的应用机制,还探讨了这些技术在实际应用中可能遇到的挑战。这有助于更全面地理解数字技术在粮食系统绿色低碳转型中的作用,并为解决实际问题提供多维度的思考。

二、数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型的作用机制与现实基础

(一) 数字技术赋能粮食生产的作用机制与现实基础

在粮食生产系统中,数字技术与粮食生产的深度融合正在逐步改变传统粮食生产模式,

① 参见中国政府网:《国家防灾减灾救灾委员会办公室 应急管理部发布 2023 年全国自然灾害基本情况》, https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202401/content_6927328.htm。

② 参见中国政府网:《从 11.2 万亿元到 53.9 万亿元——数字经济发展动能强劲》, https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202409/content_6976033.htm。

③ 参见央广网:《从 195 亿元到 688238 亿元 服务业主引擎地位更加稳固》, https://finance.cnr.cn/cjtt/20240914/t20240914_526903024.shtml。

引领其向更智能、更绿色、更低碳的方向发展。这一转型不仅能够提高粮食生产效率,而且能有效减少资源消耗和环境污染,并降低碳排放。

1. 推广精准农业技术,提高粮食生产效率

精准农业作为数字技术在粮食生产中的核心应用,通过整合遥感技术、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)等高科技手段,实现对农田环境的精细化监测与管理。这种实施方式能有效应对传统农业中化肥农药过量使用和水资源浪费等问题。以精准施肥为例,农民可以根据作物具体需求调整施肥量,减少化肥流失,提高肥料利用效率,从而减轻农业生产对环境的影响。张红丽等^[14]在一项针对粮农的研究中发现,数字技术使用能够显著促进粮农化肥减量,亩均减少化肥施用量 3.45%~5.85%。

2. 普及智能农业装备,推动粮食生产智慧化

随着数字技术持续进步,智能农业装备在粮食生产中的作用日益凸显,成为推动行业发展的关键力量^[15]。数据显示,2023 年中国农业科技进步贡献率达 63.2%,农作物耕种收综合机械化率达 74%,安装北斗终端的农机达 220 万台,植保无人机总量近 20 万架^①。智能农业装备的广泛应用不仅提升了粮食生产效率与品质,还促进了粮食生产向绿色化、低碳化和智能化方向发展。同时,大规模智能设备的投入使用使得农业生产者能够更加高效地管理农田,更轻松地实现规模化经营,为粮食生产绿色低碳转型注入强劲动力。

3. 应用科学数据决策,优化粮食生产资源配置

在数字技术赋能粮食生产的过程中,数据发挥着关键的决策支持作用。通过遥感卫星、无人机等高科技设备,以及观测站和田间地头的各类传感器和物联网设备,可以收集关于农田环境、作物生长、气象条件等多方面的数据。农业大数据平台运用先进的算法和模型对这些数据进行深度挖掘和分析,为农民提供精确科学的种植建议和管理方案^[16]。根据中国气象局数据,为全面提升全国农业气象精密观测水平,中国未来将新建 1662 个农业气象自动观测站,在全部建成后,总量将增至 2304 个,这将为实现“粮丰农稳”提供更坚实的基础^②。同时,“空天地”一体化智慧环境监测系统的建设也在加速,全国累计建成的国家绿色数据中心也由 2018 年的 49 家增长至 2023 年的 246 家(图 1),这为数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型提供重要的数据支撑^③。

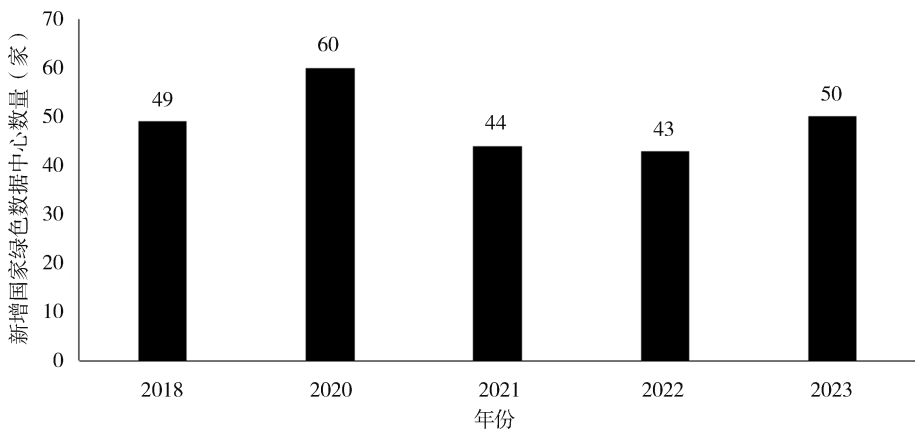


图 1 2018—2023 年新增年度国家绿色数据中心数量

数据来源:工业和信息化部。

① 参见何可,朱润:《农业科技创新整体迈进世界第一方阵》《人民日报》,2024-05-30(09)。

② 参见中国气象局:《中国气象局聚焦“国之大者”,上下联动,问需于民,适应新形势新要求》, https://www.cma.gov.cn/ztbd/2023zt/20230524/2023052401/202401/t20240110_5998605.html。

③ 参见《数字中国发展报告(2023年)》。

(二) 数字技术赋能粮食加工与储存的作用机制与现实基础

在粮食系统绿色低碳转型的过程中,粮食加工与储存环节同样是关键技术创新的重点领域。数字技术的应用不仅能够提升加工效率与储存质量,还可以显著降低能耗与资源浪费。

1. 接入低碳管理系统,降低粮食加工能耗

在粮食加工过程中,能源消耗是主要成本之一,也是碳排放的主要源头。引入数字技术后,能源管理系统得以智能化和精准化升级,实现了对加工设备能耗的实时监控和精确调控。通过安装传感器和运用数据分析技术,系统能够实时收集设备运行数据,并通过算法分析识别能耗异常工序,提出优化建议。研究数据显示,采用数字技术可以使企业在生产过程中降低16%以上的能耗^①。此外,系统还能根据历史数据和生产计划预测未来能耗需求,提前调整能源供应策略,确保能源高效利用。

2. 推广智能储存技术,提升储存质量效率

粮食储存环节对于确保粮食安全至关重要,但传统储存方法对温度和湿度控制不够精确,容易导致粮食霉变等问题,从而使粮食储存效率受到限制。数字技术的应用为智能储存技术的广泛推广铺平了道路,它不仅能够有效延长粮食保质期,还能显著降低储存过程中的损耗。具体而言,通过在粮食储存仓库中部署物联网设备,能够实现对储存环境的全方位监控,实时监测仓库内的关键参数,并通过无线传输技术将数据发送至云端服务器进行深入分析和处理^②。基于这些分析结果,智能储存系统能够自动调节仓库内的环境条件,例如启动通风设备以降低湿度、调整制冷设备以控制温度等,确保粮食始终处于最佳储存状态。此外,系统还能通过数据分析预测粮食储存寿命,为库存管理提供科学决策支持。

3. 促进废弃物减量化,加快资源循环利用

在粮食加工领域,副产品和废弃物的产生往往是资源浪费和环境污染的主要源头。数字技术的运用,能够为废弃物减量化技术的创新与发展提供显著推动力。通过优化加工流程和采用先进分离技术,粮食加工企业能够更加高效地利用原料资源,减少副产品和废弃物的产生^[7]。以稻米加工为例,利用先进分离技术可以将稻壳、米糠等副产品分离出来,进而转化为生物质能源或用于饲料加工,实现资源循环再利用。同时,数字技术的应用还能有效控制加工过程中的废弃物排放,通过实时监测和分析废弃物的产生情况,企业能够及时调整生产参数和工艺流程,从而减少废弃物产生量。此外,数字技术还能够通过建立平台鼓励农业生产者参与农业废弃物资源化利用。例如,北京市昌平区通过数字技术创建了相关服务平台,农业生产者可以根据实际需求,随时进行线上预约回收^③。

(三) 数字技术赋能粮食供应链管理的作用机制与现实基础

在粮食系统绿色低碳转型中,供应链的优化与管理不容忽视。数字技术的深入应用不仅能够增强粮食供应链的透明度,提升运营效率,还可以促进资源的有效配置和减少浪费。

1. 推广区块链技术,增强粮食供应链透明度与可追溯性

区块链技术凭借其去中心化、不可篡改和可追溯的特性,能够在粮食供应链管理中扮演关键角色。通过将供应链中的关键环节(种植、加工、运输、销售等)以区块的形式记录在区块链上,可以实现从田间到餐桌的全链条追溯。这一高度透明的追溯体系不仅能使消费者清

① 参见清华大学互联网产业研究院:《数字化推动制造业绿色化发展》, <https://www.iii.tsinghua.edu.cn/info/1165/3951.htm>。

② 参见刘慧,李和风:《粮库管理更加“智慧”》《经济日报》,2024-5-31(06)。

③ 参见中华人民共和国农业农村部:《更精准,更高效!数字科技让农业废弃物有“归宿”不“流浪”》, http://www.moa.gov.cn/xw/qg/202305/t0230529_6428746.htm。

晰地了解粮食的来源和质量信息,增强消费信心,而且还能有效防止假冒伪劣产品的流入,确保食品安全。此外,区块链技术还能够为监管部门提升发现并处理供应链中违规行为的能力,从而提升监管效率。

2.应用大数据分析,优化粮食需求预测与库存管理

大数据分析技术在粮食供应链管理中的运用能够提升粮食需求预测和库存管理的精准度和科学性^[17]。通过对历史销售数据、市场趋势、消费者偏好等多维度信息的综合分析,粮食生产和加工主体能够更精确地预测未来市场需求,从而合理规划生产计划、采购策略和库存水平。这种基于数据驱动的决策模式不仅能有效减少因信息不对称和主观判断失误而造成库存积压和缺货现象,还能降低库存成本和提高资金周转率。以“盒马村”项目为例,该项目依托全国 350 多家“盒马鲜生”门店的经营和销售数据,能够及时捕捉市场新需求,通过需求牵引供给,有效缓解了农产品供需不匹配问题。此外,大数据分析还可以助力粮食生产和加工企业识别潜在的市场机会和风险,为企业战略决策提供数据支持。

3.普及物联网与人工智能技术,提升粮食物流效率与促进节能减排

物联网与人工智能技术的普及应用,在粮食供应链的物流环节引发了一场创新性革命^[18]。据统计,中国人工智能核心产业规模已接近 6000 亿元^①,人工智能企业数量超过 4500 家^②,算力规模位居全球第二^③。通过在运输车辆、仓库、包装等关键环节部署物联网设备,能够实时收集包括车辆位置、货物状态、运输环境在内的物流信息,并通过人工智能算法进行智能分析,进而优化运输路线、调度计划和装载方式。数据显示,虽然农产品进城规模逐渐扩大,但“路费”在不断下降,物流费率由十年前的 18% 下降到 2023 年的 14.4%^④。这种智能化的物流管理系统不仅能够提高物流效率,减少运输时间和成本,还可以通过减少空驶、优化装载率等方式实现节能减排。同时,人工智能技术还能对物流过程中的异常情况进行实时监测和预警,如货物破损、延误等,提高供应链抗风险能力^[19]。

(四)数字技术赋能消费者行为变革的作用机制与现实基础

在粮食系统绿色低碳转型过程中,消费者行为变革是不可忽视的一环^[20]。数字技术通过提供透明化信息、个性化服务以及激励机制,深刻影响着消费者的粮食选择与消费习惯。

1.促进粮食信息透明化,提升消费者环保意识

数字技术,尤其是互联网和移动应用,能够为消费者提供前所未有的信息获取渠道。通过在线平台、社交媒体和专门的应用软件,消费者可以轻松获取关于粮食生产、加工、运输及环境影响等信息。这种透明化信息在提升消费者环保意识的同时,也能够使他们更加关注粮食生产的可持续性。特别是随着收入水平的提高,当消费者开始意识到自己的消费行为会对环境和社会造成影响,他们往往会倾向于选择那些生产过程更加绿色、低碳的粮食。

2.提供个性化服务,满足粮食绿色低碳消费需求

数字技术能够通过分析消费者的购买历史和偏好,为他们提供个性化的绿色低碳消费建议。智能购物助手、推荐算法等技术的应用,使消费者能够更便捷地找到符合自身消费理念

① 参见中国工信新闻网:《我国人工智能核心产业规模近 6000 亿元》, https://www.cnii.com.cn/tx/202406/t20240621_579010.html。

② 参见中国政府网:《我国人工智能企业数量已超 4500 家》, https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202406/content_6958471.htm。

③ 参见中国政府网:《年增长率近 30% 我国算力总规模全球第二》, https://www.gov.cn/lianbo/2023-04/11/content_5750947.htm。

④ 参见《2024 上半年中国农产品电商发展报告》。

的粮食产品。这种个性化服务不仅能够提升消费者的购物体验,还可以激发他们对绿色低碳消费的兴趣和热情。通过提供多样化的绿色消费选择,数字技术能有效引导消费者的消费行为,促进他们绿色低碳消费习惯的形成。例如,地标生境(GIES)技术能够实现对优质农产品的传播、知识产权保护及原产地生态环境追溯,将消费者与生产者及其地理区域上的产品连接起来,满足绿色消费需求。

3. 创新激励引导机制,促进粮食绿色低碳消费行为观念

为进一步激励消费者选择绿色低碳粮食并减少浪费,可以利用数字技术引入多种激励机制^[21]。例如,通过数字化的积分制度、电子优惠券和在线奖励计划等方式,鼓励消费者在购物时优先选择绿色低碳产品。同时,数字技术还可以通过游戏化、社交化等手段,将绿色低碳行为转化为有趣的挑战或任务,吸引更多消费者参与,通过寓教于乐的方式促进绿色低碳理念的广泛传播。此外,数字技术在消费者行为变革中的作用还体现在教育与引导方面:通过在线课程、短视频、直播等多种形式的教育资源,数字技术向消费者传授绿色低碳消费的知识 and 技能;通过持续的教育和引导,数字技术帮助消费者逐步建立起绿色低碳消费的观念和习惯,使他们能够在日常生活中自觉地选择绿色低碳粮食^[22]。

数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型的作用机制见图 2。

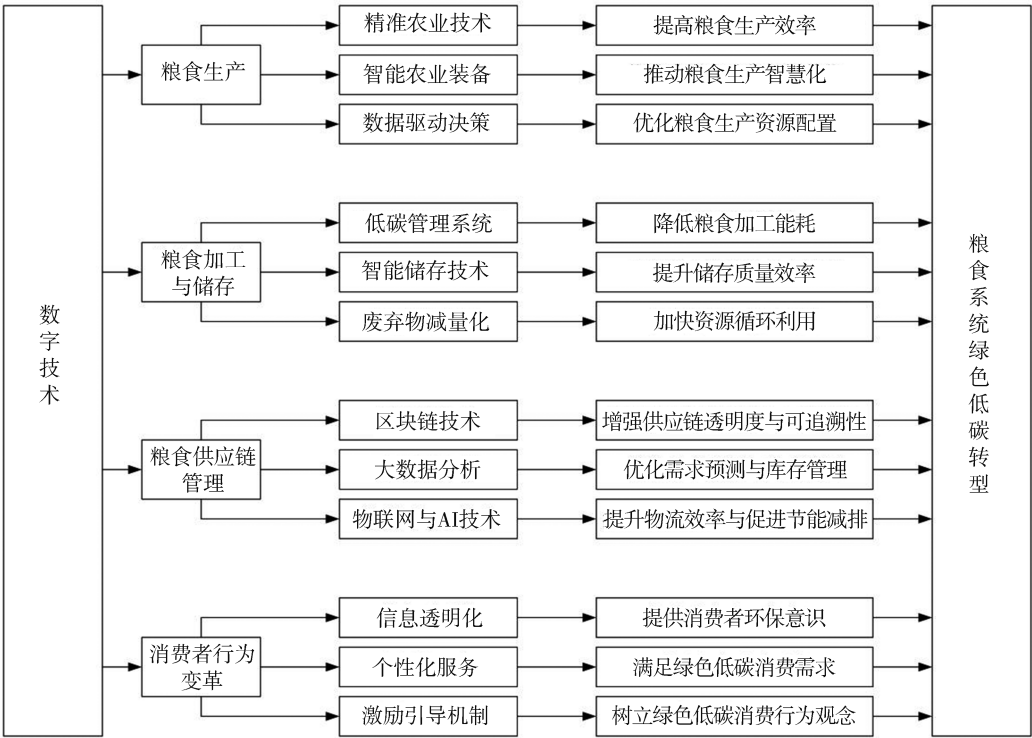


图 2 数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型的作用机制图

三、数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型面临的现实挑战

(一) 技术接受度与技术不平等

在粮食系统绿色低碳转型的道路上,技术接受度和技术不平等是两大重要挑战,两者相互影响,共同作用于数字技术在粮食系统中的广泛推广及其应用成效,进而对转型进程构成阻碍。

1. 技术接受度阻碍并延缓了数字技术的普及

技术接受度不仅是一个技术问题,更是一个涉及社会、文化、经济等多方面的复杂现象^[23]。首先,信息不对称是技术接受度低的重要原因之一。在许多发展中国家和偏远地区,由于信息流通不畅和教育资源匮乏,农民与消费者对数字技术的认识相对有限,对其潜在价值缺乏足够了解,这直接影响了他们对数字技术的接纳和应用。同时,技术认知偏差也普遍存在,部分主体可能因对新技术的陌生、恐惧或对传统生产方式的依赖,而对数字技术持怀疑甚至反对的态度。其次,技术应用的复杂性也在一定程度上限制了数字技术的接受度。尽管数字技术为粮食系统带来了诸多便利和效益,但其操作和维护往往需要较高的技能水平和专业知识。对于许多小规模农户和小微企业而言,由于缺乏专业的技术人才和必要的培训资源,他们往往难以有效掌握和应用数字技术。根据《乡村振兴战略背景下中国乡村数字素养调查分析报告》的数据,城乡居民之间的数字素养差距达 37.5%,农民的数字素养得分也显著低于城市居民群体。数字素养的不足导致农户在数字技术采纳上表现出较低的意愿,甚至出现排斥数字技术的行为。他们在面对农业生产风险时更倾向于增加资源投入,而非寻求技术进步^[24]。最后,文化和社会因素的影响不容忽视。不同地区因其文化背景、社会结构和价值观念的差异,对数字技术也表现出不同的反应,使得提升数字技术的普及和应用成为一个多维度的挑战。

2. 技术不平等加剧并扩大了数字技术鸿沟

随着数字技术的迅猛发展和广泛应用,技术资源在不同社会群体间的不均衡分配问题愈发明显,这不仅可能加剧现有的社会不平等,还可能造成新的分化^[25]。首先,城乡差异是造成技术不平等的关键因素之一。城市地区由于基础设施较为完善、经济实力雄厚以及人才资源丰富,能够更快地接纳和运用数字技术。而农村地区则因基础设施落后、经济条件有限和人才资源短缺,在获取和应用数字技术方面常常处于不利地位(图 3),城乡之间互联网普及率存在明显差异。其次,经济条件较好的农户和企业有能力投资先进的数字设备和服务,从而更容易享受到数字技术带来的便利和效益。相比之下,经济条件较差的农户和企业可能因资金不足而无法获取这些技术资源,在市场竞争中处于劣势地位。最后,教育水平的差异也是一个不容忽视的因素。受过良好教育的主体通常能够更容易地掌握和应用数字技术,而教育水平较低的主体可能因为缺乏必要的技能和知识而难以有效利用数字技术。这种教育水平的不平等进一步扩大了不同群体间的技术差距,进而影响数字技术在粮食系统绿色低碳转

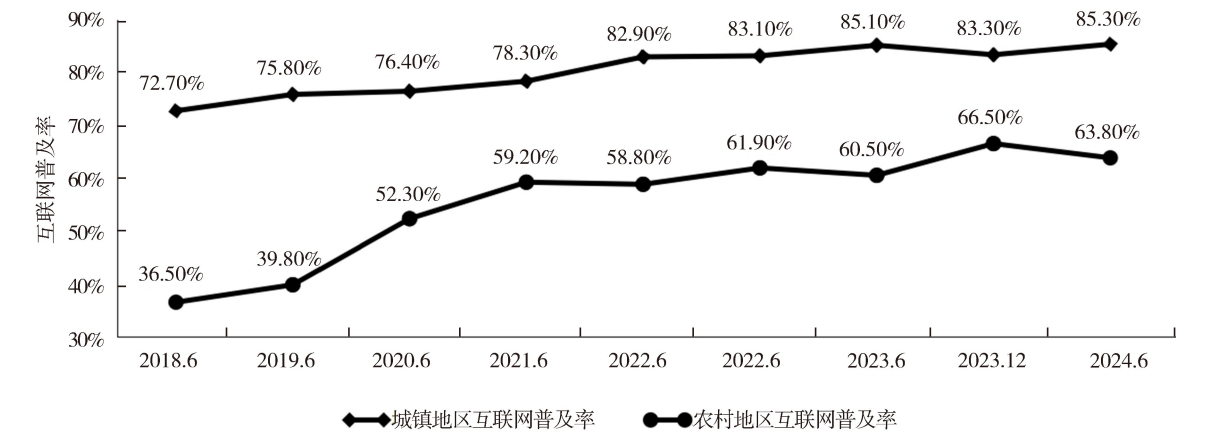


图 3 城乡地区互联网普及率

数据来源:《中国互联网络发展状况统计调查》。

型中的作用。此外,数据显示,互联网、电子商务企业等主要集中在东部地区。这些地区农村网络零售额比重高达75.5%,而中部、西部和东北地区的比重分别为15.7%、6.7%和2.1%^①。这组数据表明数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型亦面临地域差异挑战。

(二) 数据安全、隐私泄露及伦理困境

随着数字技术与粮食系统的深度融合,数据安全、隐私保护和伦理问题逐渐显现。这些问题不仅关系到数字技术的可靠性和信誉,而且对粮食系统的安全稳定性及其向绿色低碳转型的进程具有直接影响。

1. 数据安全保护问题威胁粮食系统稳定

随着数字技术在粮食生产、加工、储存、运输及销售等各个环节的广泛应用,大量数据被实时采集、处理与存储。这些数据涵盖土壤状况、作物生长信息、气候变化、供应链物流、消费者行为等多方面内容,是粮食系统高效运行与科学决策的重要依据。然而,随着数据量的激增,数据安全的脆弱性也会显现,数据泄露、非法篡改和黑客攻击等风险对粮食系统的稳定运行和绿色低碳转型构成了威胁^[26]。总体而言,数据安全问题的核心在于粮食系统与数字技术耦合过程中的信息基础设施薄弱和防护机制不完善:一方面,部分粮食企业的信息系统建设滞后,缺乏必要的安全防护措施,使得数据容易遭到非法获取;另一方面,粮食系统数据涉及众多利益相关方,包括农户、加工企业、物流企业、零售商和消费者等,如果数据共享过程中的权限控制不当,也会增加数据泄露风险。

2. 隐私保护问题削弱了粮食主体参与积极性

物联网、大数据、人工智能等技术的广泛应用使得粮食系统中涉及的个人信息日益增多,这些信息不仅包括消费者的购买记录和支付信息,还可能涵盖健康状况和生活习惯等敏感数据。一旦这些信息遭到泄露或不当使用,不仅会侵犯个人隐私,还可能触发社会信任危机。隐私保护问题的核心在于数据的收集、处理和利用过程中缺乏足够的规范性和透明度。一些企业在追求商业利益时可能会忽略对个人隐私的尊重与保护,导致个人数据被非法收集、滥用甚至出售。此外,粮食系统中的个人数据往往需要在多个利益相关方之间共享,如何在确保数据安全的同时实现数据的有效利用,成为一个亟待克服的挑战。

3. 技术伦理问题减缓了数字技术扩散

伦理问题涉及数据所有权、算法偏见、决策透明度等多个方面,直接关系到数字技术应用的公正性、合理性与可持续性。首先,数据所有权问题亟待明确。在粮食系统中,数据的产生、收集与处理涉及众多利益相关者,如何界定数据的所有权和使用权成为一个迫切需要解决的问题。数据不仅是粮食系统应用数字技术的关键核心,对提升系统效率和决策质量至关重要,而且其产生和收集过程需要投入大量的人力、物力和财力,因此数据所有权的不明确可能导致利益分配的不公平。其次,算法偏见问题需引起高度关注。算法在粮食系统中被广泛用于预测作物生长、识别病虫害、优化供应链等多个领域。然而,算法的设计和应用可能受到开发者主观意识、数据偏见和外部环境等多种因素的影响,易导致算法结果的不准确或存在偏见,进而加剧粮食系统中的不平等现象。最后,决策透明度问题也是伦理问题的重要组成部分^[27]。在粮食系统中,数字技术的应用往往伴随着复杂的决策过程。技术的复杂性和专业性,以及部分利益相关者的故意隐瞒或误导,可能导致决策过程缺乏透明度和可追溯性。

(三) 经济可行性与投资回报问题

在数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型的过程中,经济可行性与投资回报问题成为技术

① 参见《2023年中国网络零售市场发展报告》。

广泛应用和持续推广的主要障碍。这一挑战不仅包括初期的高额投资成本,还涉及投资回报周期的不稳定性、融资途径的狭窄性,以及对长期经济效益评估的复杂性等多个层面。

1.高昂的前期成本投入提高了数字技术应用门槛

引入数字技术往往需要大量的前期投资,这无形中成了粮食系统实现绿色低碳转型的一个重要障碍。具体来说,这些投资包括智能设备的采购与部署(精准农业所需的遥感技术设备、智能灌溉系统、自动化农业机械等),信息系统的构建与维护(数据分析平台、供应链管理系统等),以及员工培训和技术支持等。对于小农户和小微企业而言,这些投资成本往往超出了他们的财务承受能力,使得他们难以独立承担转型的重任。此外,数字技术的快速迭代和更新也增加了投资的不确定性,技术的持续进步带来了新设备和系统的不断涌现,而旧设备迅速贬值甚至被淘汰,这可能进一步加剧农户和企业的财务压力,迫使他们在进行投资决策时必须更加审慎。

2.不确定的投资回报周期增加了投资主体的风险

尽管数字技术在提升粮食生产效率、优化资源配置、减少环境污染等方面展现良好的潜力,但其投资回报周期往往较长,这增加了主体投资的风险。数字技术的效果并非立即显现,而是需要经过一段时间的积累和沉淀才能逐渐显现^[24]。同时,粮食市场的波动性和不确定性也为投资回报带来了额外的风险。自然灾害、政策变动等因素都可能对粮食价格产生影响,进而影响农户和企业的经济效益。这种不确定性使得投资者在评估数字技术投资的回报时变得更加谨慎和保守。

3.融资渠道受限影响了数字技术普及

除高昂的初期投资成本和不确定的投资回报周期外,融资渠道的有限性也是制约数字技术广泛应用的重要因素。目前,尽管政府部门已出台一系列支持粮食生产与数字技术耦合的政策和措施,但融资渠道仍然相对单一且有限^[26]。银行贷款仍然是大多数粮食生产主体融资的主要方式,但银行在审批贷款时往往对风险较为敏感,对数字技术项目的贷款条件也较为苛刻。此外,虽然风险投资和私募股权等新型融资渠道为数字技术项目提供了更多可能性,但其门槛较高,并且通常属于偏好高风险高收益的项目类型,这使得大多数粮食数字化项目难以获得足够的资金支持。

4.长期经济效益评估的困难降低了主体参与的预期收益

数字技术在推动粮食系统绿色低碳转型方面的长期经济效益评估也面临诸多挑战。一方面,数字技术的效果涉及多个维度和层面,包括生产效率的提升、资源消耗的降低、环境污染和碳排放的减少等,但这些效果往往难以通过单一量化指标进行衡量和评估^[6];另一方面,数字技术的长期效益通常需要经过较长时间的积累才能显现,这在一定程度上增加了评估的难度和复杂性。此外,不同数字技术之间的协同效应以及与其他因素的相互作用也可能对评估结果产生影响,使得评估结果更加难以确定和预测。因此,缺乏清晰的长期经济效益评估可能会降低主体参与数字技术应用的预期收益,进而影响其投资意愿。

(四)资源消耗与环境影响问题

虽然数字技术以其高效和精确的优势在提高粮食生产效率和优化资源配置方面显示出巨大潜力,但其广泛应用同样带来了不容忽视的资源 and 环境挑战。故而,必须正视其带来的资源消耗与环境影响问题。

1.智能设备的高能耗增加了能源负担

智能农业设备包括自动化灌溉系统、无人机和传感器网络等,在提升粮食生产效率方面发挥着重要作用,但同时也带来了能源消耗的增加。这些设备在运行过程中依赖于电力或其

他能源形式,其能耗水平往往高于传统农业工具,尤其是在依赖化石燃料发电的地区,智能农业设备的普及可能会加剧粮食系统的温室气体排放,与绿色低碳转型的目标背道而驰。此外,智能农业设备的能效水平参差不齐,部分设备在设计时未能充分考虑能源效率,导致在实际操作中造成不必要的能源浪费^[28]。因此,智能设备的选择和使用需要更加注重能效,以确保技术进步不会以牺牲环境为代价。

2. 数据中心的能源消耗间接提升了环境污染和碳排放

在粮食系统应用数字技术的过程中,大数据扮演着不可或缺的角色,而大数据离不开数据中心等基础设施的处理和存储能力。数据中心的运行需要消耗大量电力,并且由于产生的热量高,通常需要额外的冷却系统来保持正常运作,这不仅增加了能源消耗,也加剧了碳排放^[29]。虽然近年来我国在提升能效方面取得了一些进展,但整体而言,仍面临不少挑战。同时,数字技术可能通过其他途径对环境产生间接影响^[30]。例如,在数字设备的生产和废弃处理过程中,可能会排放有害物质,造成环境污染。数字技术的应用可能会改变粮食生产方式和作物种植结构^[25],进而影响生态系统的平衡和生物多样性。此外,数字技术的普及可能会增加对稀有金属等资源的开采需求。

3. 技术替代与生态补偿机制的缺失制约了粮食系统绿色低碳转型的实践

在数字技术赋能粮食系统向绿色低碳转型的过程中,技术替代效应和生态补偿机制的缺失逐渐成为主要问题。一方面,数字技术的广泛应用可能会加快传统农业工具和设备的淘汰,这些被取代的设备在回收处理时可能会引发环境污染问题。另一方面,数字技术在提升粮食生产效率的同时,可能会减少对某些环保型农业实践的需求,比如有机耕作和轮作休耕等。这种减少可能会削弱这些实践对生态环境保护的正面影响。然而,目前尚未出台有效的生态补偿机制来弥补这些损失。

四、数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型的提升路径

(一) 提升数字技术普及与文化适应性

一是强化文化适应性与教育普及,提升技术接受度。开展文化适应性研究,了解各地区和文化背景下不同主体对数字技术的接受度和使用习惯,设计符合当地文化特色的数字技术应用方案。同时,实施针对性的教育和培训项目,提高公众对数字技术的认识和理解,减少对新技术的抵触心理。此外,积极鼓励和支持本地化的技术创新,使数字技术更加贴合本地粮食生产和消费的实际需求。

二是强化基础设施建设与政策支持,缩小技术不平等。重点加强农村和偏远地区的基础设施建设,提高互联网接入率和网络质量,确保这些地区能够充分利用数字技术。同时,制定和实施优惠政策,为经济条件较差的群体提供数字设备和互联网服务的补贴或优惠,降低他们获取数字技术的门槛。建立数字技术共享平台,为农村提供必要的技术支持和服务。此外,强化数字技能教育,特别是在低收入群体中,提高他们的数字素养,使他们能够更好地利用数字技术提升粮食生产和经营效率。

(二) 加强数据安全与隐私保护

一是建立健全数据保护框架,保障数据安全。制定和实施严格的数据安全标准和协议,保护粮食系统中收集的数据,防止未经授权的访问和数据泄露。推广加密技术和安全协议的使用,增强数据的安全性,并确保数据的完整性和不可篡改性。建立健全数据安全监管体系和明确职责机构,规范粮食系统中数据的收集、存储和处理活动,确保遵守相关数据保护

法规。

二是实施隐私保护规范,尊重个体隐私权。明确数据收集和处理的法律框架,确保所有个人数据的收集均符合隐私保护法规,并得到数据主体的明确同意。提供清晰透明的数据使用政策,让消费者了解他们的数据如何被收集、使用和共享,以及他们如何能够控制自己的数据。同时,对粮食系统工作人员进行隐私保护意识和技能的培训,确保在数据收集和处理过程中尊重和保护消费者的隐私权。

三是制定数字技术伦理准则,应对伦理挑战。制定数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型过程中的伦理准则,主要包括数据所有权、算法透明度和决策公正性等方面。推动多方利益相关者参与,包括政府、企业、农户、消费者等,共同讨论和制定数字技术的伦理标准。同时,建立健全伦理审查机制,对粮食系统中的数字技术应用进行定期评估,确保其符合伦理准则,并及时纠正偏差或不当行为。

(三) 优化经济投入与回报机制

一是创新融资机制与补贴政策,降低初期投资成本。提供专项补贴和税收优惠,帮助小农户和小微企业减少引入数字技术所需的初始投资。同时,鼓励金融机构提供低息贷款和灵活的融资方案,特别是面向那些采用数字技术的绿色低碳项目。探索众筹和公私合作伙伴关系(PPP)模式,为数字技术在粮食系统绿色低碳转型中的应用提供多元化的资金来源。

二是优化技术选择与实施策略,缩短投资回报周期。引导技术应用主体选择性价比高、投资回报周期短的数字技术解决方案,以快速实现成本节约和效率提升。同时,提供定制化的技术咨询和支持服务,帮助技术应用主体根据自身条件优化技术实施策略,加快实现投资回报。通过示范项目和案例研究,展示数字技术在粮食系统中的实际效益,增强技术应用主体的投资信心。

三是建立多方合作的融资平台,拓宽融资渠道。建立政府、金融机构、私营部门和国际组织的多方合作平台,共同为数字技术助力粮食系统绿色低碳转型提供资金支持。同时,利用区块链和智能合约技术,提高融资流程的透明度和效率,降低融资成本,吸引更多投资者参与。通过政策引导和市场激励,鼓励风险投资和天使投资关注促进粮食系统绿色低碳转型的数字技术项目,为初创企业和小型企业提供资金支持。

(四) 建立政策动态适应机制

一是推广能源自给自足设备,降低外部能源依赖。积极研发能够利用太阳能或其他可再生能源的智能农业设备,以减少对外部能源的依赖并降低碳排放。例如,设计集成太阳能板的自动化灌溉系统、无人机和传感器网络等,使其在阳光充足的地区能够实现能源自给自足。探索使用生物降解材料制造设备,以减少废弃设备对环境的污染。同时,这些设备的设计应注重模块化和可升级性,以便随着技术进步和能源需求变化进行相应的调整。

二是建立绿色数据中心联盟,减少环境影响。为提高数据中心的能源效率和减少环境影响,可尝试建立一个由政府、私营部门和非政府组织组成的绿色数据中心联盟。制定共同的绿色运营标准,推动数据中心采用更高效的冷却技术,如使用自然风或水冷系统,以及优化数据中心的物理布局以减少能源浪费。同时,鼓励数据中心尽可能多地使用可再生能源,并共享其能源使用和环境影响数据,以提高透明度和促进行业内的良性竞争。此外,支持数据中心的科技创新,如利用人工智能优化能源使用以及开发更高效的数据处理算法,以减少数据处理所需的能源消耗。

参考文献:

[1] Fan S G, Zhu Y C, Fang X M. Big Food Vision and Food Security in China[J]. Agricultural & Rural Studies,

- 2023, 1(1): 1.
- [2] 何可, 朱信凯, 李凡略. 聚“碳”成“能”: 碳交易政策如何缓解农村能源贫困? [J]. 管理世界, 2023, 39(12): 122-144.
- [3] Poore J, Nemecek T. Reducing Food's Environmental Impacts through Producers and Consumers[J]. Science, 2018, 360(6392): 987-992.
- [4] 何可, 张俊飏. “双碳”目标下的乡村生态建设: 现实基础、主要问题与实现路径[J]. 世界农业, 2024(4): 38-49.
- [5] 唐文浩. 数字技术驱动农业农村高质量发展: 理论阐释与实践路径[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2022, 22(2): 1-9.
- [6] 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.
- [7] 孙远太, 王剑菊. 数字赋能粮食产业链韧性提升的生成机制与推进路径[J]. 中州学刊, 2024(8): 46-54.
- [8] 李红莉, 张俊飏, 罗斯炫, 等. 农业技术创新对农业发展质量的影响及作用机制——基于空间视角的经验分析[J]. 研究与发展管理, 2021, 33(2): 1-15.
- [9] 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.
- [10] 韩晶, 陈曦, 冯晓虎. 数字经济赋能绿色发展的现实挑战与路径选择[J]. 改革, 2022(9): 11-23.
- [11] 洪银兴, 任保平. 数字经济与实体经济深度融合的内涵和途径[J]. 中国工业经济, 2023(2): 5-16.
- [12] Baden-Fuller C, Haefliger S. Business Models and Technological Innovation[J]. Long Range Planning, 2013, 46(6): 419-426.
- [13] 江小涓. 数字时代的技术与文化[J]. 中国社会科学, 2021(8): 4-34.
- [14] 张红丽, 李洁艳, 祝振华. 数字技术使用对粮农化肥减量的影响效应与作用机制[J]. 农村经济, 2023(11): 25-34.
- [15] 吕新业, 万广华, 刘景琦, 等. 中国式农业农村现代化: 内涵特征、现实挑战与策略选择[J]. 改革, 2024(9): 125-137.
- [16] 蔡乐荣. 数字农业高质量发展路径与保障措施[J]. 农业经济问题, 2024, 45(10): 2.
- [17] 刘涛雄, 尹德才. 大数据在农业经济问题研究中的应用展望[J]. 农业经济问题, 2024, 45(8): 4-12.
- [18] 陈剑, 刘运辉. 数智化使能运营管理变革: 从供应链到供应链生态系统[J]. 管理世界, 2021, 37(11): 227-240.
- [19] 张树山, 谷城, 张佩雯, 等. 智慧物流赋能供应链韧性提升: 理论与经验证据[J]. 中国软科学, 2023(11): 54-65.
- [20] 李凡略, 何可. 发展生态低碳农业: 历史传承与中国式现代化追求[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(3): 1-8.
- [21] 叶强, 高超越, 姜广鑫. 大数据环境下我国未来区块链碳市场体系设计[J]. 管理世界, 2022, 38(1): 229-249.
- [22] 樊轶侠, 王正早. 数字技术赋能低碳消费: 理论机制与推进方略[J]. 改革, 2024(3): 63-74.
- [23] 何可, 吴昊, 曾杨梅. “双碳”目标下的智慧农业发展[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(3): 10-17.
- [24] 钟文晶, 罗必良, 谢琳. 数字农业发展的国际经验及其启示[J]. 改革, 2021(5): 64-75.
- [25] 刘生龙, 张晓明. 数字基础设施与粮食生产: 基于深度学习的实证证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(7): 155-176.
- [26] 申云, 刘彦君, 李京蓉. 数字普惠金融赋能农业新质生产力提升的逻辑、障碍及路径[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2024, 24(5): 158-171.
- [27] 张耘堂. 智慧农业的技术伦理风险与治理[J]. 自然辩证法研究, 2024, 40(9): 91-98.
- [28] 金文成, 王欧, 杨梦颖, 等. 农业强国建设目标下的中国农业机械化发展战略与路径[J]. 农业经济问题, 2023(10): 13-21.

[29] 杨刚强,王海森,范恒山,等.数字经济的碳减排效应:理论分析与经验证据[J].中国工业经济,2023(5):80-98.

[30] He K, Li F L, Wang H, et al. A Low-carbon Future for China's Tech Industry[J]. Science, 2022, 377: 1498-1499.

(责任编辑:刘浩)

Digital Technology Empowers the Green and Low-carbon
Transformation of the Food System

HE Ke ZHU Run

Abstract: Confronted with the profound challenges of global climate change, the green and low-carbon transformation of the food system has become increasingly critical. This paper explores the ways in which digital technology influences grain production, processing, storage, supply chain management, and changes in consumer behavior. It also puts forth strategies for improvement in response to practical challenges encountered. The research demonstrates that digital technology, through the application of precision agriculture, intelligent machinery, and data-driven decision-making, markedly improves the efficiency of grain production while diminishing resource utilization and environmental contamination. Nonetheless, several challenges remain, such as the acceptance of new technologies, data security and privacy concerns, economic viability and return on investment, as well as the consumption of resources and environmental impact. To tackle these issues, the article suggests a range of enhancement strategies, including intensifying education on cultural adaptability, strengthening data security and privacy measures, refining economic investment and return mechanisms, and establishing a responsive policy adaptation framework. The goal is to advance the food system towards a more sustainable and low-carbon trajectory.

Keywords: Digital Technology; Food System; Green and Low-carbon Transition