

农业绿色发展数字技术体系内涵及其架构探讨*

宋茜, 杨鹏, 钱建平, 史云, 张保辉,
余强毅, 段玉林, 吴文斌*

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 / 农业农村部农业遥感重点实验室, 北京 100081)

摘要:【目的】农业绿色发展是农业发展观的一场深刻革命, 构建农业绿色发展数字技术体系, 是破解农业资源效率低、环境问题突出、数字技术标准缺乏、劳动力紧缺、产业国际竞争力弱等重大瓶颈问题, 实现传统产业向高质量发展转型的紧迫需求。【方法】文章系统总结了农业绿色化与数字化的发展历程, 从内涵、对象和技术三方面厘清了绿色农业、数字农业和农业绿色发展概念的异同, 提出了农业绿色发展数字技术体系架构。【结果】农业绿色发展数字技术体系以“数字化”和“绿色化”的深度融合为基本思路, 通过智能监控、数据采集、远程传输、智能分析和自动控制, 实现农业绿色生产、加工、销售及流通等全环节和全链条的数字化, 形成广泛互联、智能互动、灵活柔性、安全可控的数字结构和功能。【结论】筑牢农业绿色发展的基础性数据支撑、夯实农业绿色发展的数字基础建设、研发农业绿色发展的关键技术和核心装备、拓展农业绿色发展数字技术典型应用场景、完善农业绿色发展数字技术的保障体系是“绿水青山就是金山银山”实现路径。农业绿色发展与数字技术的深度融合是实现农业绿色高质量发展的必然要求。

关键词: 绿色农业; 数字技术; 系统架构; 重点任务

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20200504

0 引言

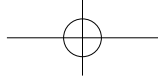
农业是多层次、复合型的综合系统。随着经济社会的快速发展与科学技术的日新月异, 农业的内涵不断丰富、功能不断拓展。我国农业正处在由传统农业向现代农业转型的关键时期。在对传统农业进行技术改造的过程中, 农业发展了集粮食保障、原料供给、资源开发、生态保护、经济发展、市场服务于一体的现代产业体系, 形成了“种养加”“产供销”“贸工农”“农工商”一二三产融合性产业, 农业结构不断优化, 区域布局趋于合理。但同时, 农业资源趋紧、环境问题突出、生态系统退化等重大瓶颈问题, 严重制约了农业可持续发展。破解当前自然资源和生态环境的约束, 迫切需要加快转变农

收稿日期: 2020-09-09

第一作者简介: 宋茜(1985—), 博士、副研究员。研究方向: 农业土地系统。Email: songqian01@caas.cn

※ 通信作者简介: 吴文斌(1976—), 博士、研究员。研究方向: 智慧农业、农业土地系统。Email: wuwenbin@caas.cn

* 基金项目: 中国农业科学院国际农业科学计划项目“智慧农业农田参数获取技术与核心装备研发”(CAAS-ZDRW202107); 四川省科技计划项目“生猪智慧养殖关键技术集成研究与应用”(2020YFSY0051)



2020年10月

业发展模式,进一步优化区域布局和生产结构,科学合理利用资源,发展经济高效、产品安全、资源节约和环境友好的农业现代模式。

农业绿色发展作为一种全新的发展理念和发展方式,聚焦资源利用效率、产地环境清洁、生态系统稳定和绿色供给能力,是突破单纯追求农业产出量和依赖资源消耗的粗放发展模式,打通“两山”转化通道,实现农业生产生活生态协调统一、永续发展的必由途径。为此,党的十八大以来,党中央、国务院高度重视农业绿色发展,将推进农业绿色发展作为未来农业发展的方向。然而,农业绿色发展是一项宏大的系统工程,涉及农业乃至经济社会发展各领域,需要系统研究把握水、土、气、种、肥、药、废弃物和生物多样性等农业绿色发展诸要素的内在规律,强化农业绿色发展理论;遵循科学路径,发展与之相适应的技术模式,加快农业绿色发展技术研发应用。

随着信息技术蓬勃发展,全新的科技革命和产业变革正在萌发,农业数字技术的形成、理论算法的革新、计算能力的提升及集成利用的演进正在驱动农业绿色生产进入新阶段,助力绿色农业迈入数字化、量化新阶段^[1]。数字技术已经成为引领农业创新和驱动转型的先导力量,为我国农业高质量发展提供了新手段^[2-3]。构建支撑农业绿色发展的数字技术体系^[4],对农作物生长发育、畜禽养殖和渔业生产中土壤、水等环境质量状况进行长期跟踪监测和分析,推进农业生产过程全程精细化管理,已经成为农业绿色发展的重要支撑。

农业绿色发展的数字技术体系涉及多部门、多领域、多学科的交叉和集成,具有独特的系统性和复杂性,其关键理论和技术创新研究成为绿色技术的数字化的基础和优先任务,也是目前农业信息技术学科的国际前沿和热点研究问题之一。基于此,文章围绕农业绿色发展数字技术体系建设开展研究,提出农业绿色发展数字技术体系的内涵、基本架构和重点任务等,以期为发展和丰富数字农业学科体系、推动我国未来绿色农业数字化发展提供参考。

1 农业绿色化与数字化发展的历程

自20世纪80年代中期“绿色农业”概念诞生以来,我国开展了积极的探索,在中国乃至世界农业发展产生了重要影响。“数字农业”概念于20世纪90年代提出,数字技术日益广泛应用于整个农业生产活动和经济环境,数字农业发展加快推进,数字农业经济日益活跃^[5]。在真正的实践中,农业的绿色化发展和数字化发展往往是交织进行的,农业绿色发展需要大量的数字技术和装备的支撑和赋能,数字农业发展的目的就是促进农业资源的优化配置、提高农业生产效率和降低生产成本,实现农业绿色发展。纵观我国农业绿色化与数字化的发展历程,可以将其划分为4个阶段:第一阶段,1986—1991年,萌芽阶段;第二阶段,1992—2000年,探索阶段;第三阶段,2001—2013年,发展阶段;第四阶段,2014—2050年,深化发展阶段(图1)。

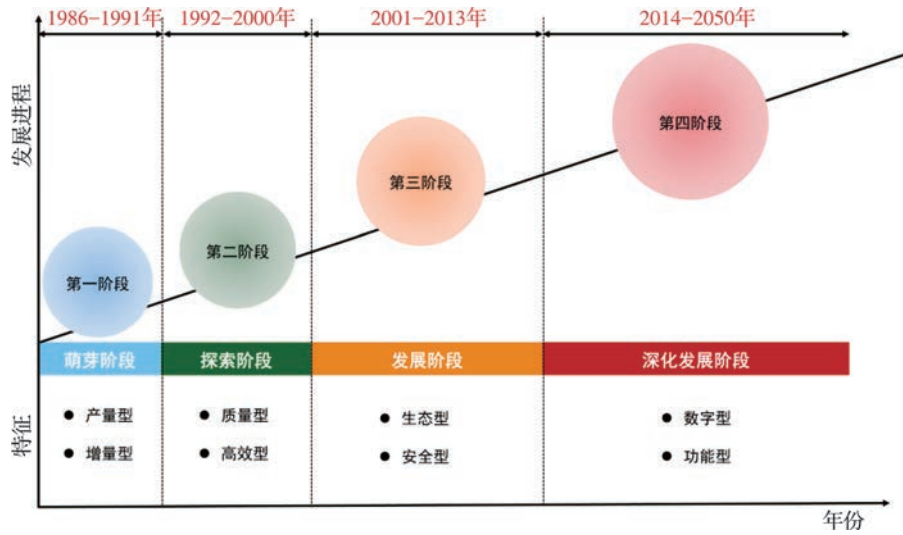


图 1 农业绿色发展进程

Fig.1 The development process of green agriculture

1.1 萌芽阶段（1986—1991 年）

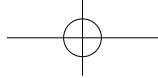
20 世纪 80 到 90 年代，萌芽阶段。在全国实行“家庭联产承包责任制”时代背景下，1986 年首次提出“绿色农业”概念^[6]。该阶段的“绿色农业”以土地、劳动力为主要生产要素，凭经验判断农时、配方施肥、看禾选种，发展绿色农作物种植业，提高绿色植物覆盖率，大力增加农药农膜等物资投入，构建“产量型”“增量型”绿色农业，推动“绿色革命”。此时，以遥感技术为基础对农作物进行动态监测及估产，农业计算统计科学与农业数据处理崭露头角，开启了绿色生产记录与管理电子统计的新阶段，为绿色农业数字化奠定了基础^[7-8]。

1.2 探索阶段（1992—2000 年）

1992 年我国开始实行社会主义市场经济，绿色农业向“质量型”“高效型”方向转变。该阶段的“绿色农业”以技术和资本为重要生产要素，种植业、畜禽养殖、水产业等领域的绿色食品产地环境监测规模逐步扩大；光、热、水、土等产地资源利用的理论和 技术，极大地促进了绿色农业的生产效率。随着农业数字模型与农业专家系统的诞生，中国绿色食品信息服务平台于 1998 年开通运行，实现绿色食品的发布、管理及查询，为绿色农业数字化发展创造了有利条件。很明显，第二阶段“绿色农业”的内涵较第一阶段有了较大拓展。

1.3 发展阶段（2001—2013 年）

21 世纪中国农业专家开始探索绿色农业发展模式，诠释了“生态型”“安全型”绿色农业的新内涵，促进了我国绿色农业的发展进程。该阶段生物科技成为重要要素，生物养地与生态减灾技术日趋完善，形成相对系统和完整的绿色生产技术体系。这一阶段农业信息网络体系初具规模、推进“金农工程”改版、搭建绿色农业服务平台、实施农业信息服务“三电合一”工程，整合绿色农业信息资源，促进绿色信息交流与知识共享，



2020年10月

为绿色农业发展奠定了坚实基础。从这里可以看出,与第一阶段、第二阶段相比,农业绿色化与数字化融合的深度有了较大的提高和发展。

1.4 深化发展阶段(2014—2050年)

2014年以后,环境保护法律法规陆续修订和颁布,农业农村环保法律不断完善,绿色农业发展“四梁八柱”基本建立^[9]。以物联网、大数据和人工智能为代表的新一代信息技术,与绿色种养融合发展,不断推进绿色农业信息化进程,发展精准绿色农业。这一阶段,数据知识的价值受到普遍认可和重视,“数字型”“功能型”成为农业绿色生产流通领域的主要特征。该阶段绿色农业数字化服务备受关注,开启了绿色农业发展升级转型的新征程。与上一阶段相比,农业绿色化与数字化融合的理论逐渐成熟、技术日趋完善、特征更加凸显。

2 农业绿色发展数字技术体系的内涵

2.1 绿色农业、数字农业与农业绿色发展数字技术体系的概念

绿色农业是以资源节约为基本特征、以环境友好为内在属性、以生态保育为根本要求、以质量高效为重要目标的农业高质量发展模式,其核心要义是统筹协调农业发展的经济效益、社会效益、环境效益和生态效益、突出强调农业产地环境、生产过程和农产品输出全系统、全过程绿色化。发展绿色农业既是破解中国农业发展资源约束瓶颈和生态环境压力的必然选择,也是满足人民日益增长的优质安全农产品和良好生态环境需求的客观要求。

数字农业是利用现代信息技术对农业对象、环境和全过程进行可视化表达、数字化设计、信息化管理的现代农业。具体来说,是将遥感、物联网、智能装备等新一代信息技术与地理学、农学、植物生理学、土壤学等基础学科有机结合,对农业的结构、要素、过程与管理进行二进制及模型化表达,构建以数字化、网络化、自动化等为特征的计算机管理和应用系统,辅助农业生产科学决策、调控与管理^[10]。数字农业使得数字技术与农业各环节深度有效融合,改造传统农业、转变农业生产方式,促进农业资源空间上和时间上的合理配置利用,提高农业生产效率和降低生产成本^[5]。

农业绿色发展数字技术体系是支撑农业绿色发展的数字技术的有机系统。具体的说,是以“绿水青山就是金山银山”为理念,以数字技术支撑引领农业绿色发展为主线,赋予绿色农业数字内涵,用数字化全面改造升级农业绿色生产、加工、经营、管理和服务,实现农业绿色化与数字化同向同行、同频共振,着力提升农业绿色发展的质量效益和竞争力。

可见,绿色农业、数字农业与农业绿色发展数字技术体系3者的内涵、对象和技术不尽相同(表1)。在内涵上,绿色农业是农业发展的新理念、新形态,基于农业生产资源利用节约化、生产过程清洁化,转变农业生产方式,实现农业综合效益提高,是一种软思维;数字农业是利用信息技术解决农业产业链条问题的新技术、硬技术;农业绿色发展数字技术体系是信息技术赋能、绿色思维拓局的产物,是利用信息技术重组农业行业运行方式的新系统、新模式。在对象上,绿色农业围绕农业资源节约、废弃物资源化

利用、动物疫病净化和生态保护修复等领域，实现质量变革；数字农业是在农业生产、加工、经营、管理和服务等全产业链系统，实现效率变革；农业绿色发展数字技术体系是针对产地环境、水肥条件、品种质量、物资添加、生产规模等一体化的智能解决方案，实现效益变革。在技术上，绿色农业主要基于生物养地、资源节约技术、清洁生产技术、生态减灾技术、循环农业技术等单一技术，或者这些技术的综合运用；数字农业采用遥感网、传感网、大数据、互联网、云计算、人工智能等新一代信息技术与农业融合应用；农业绿色发展数字技术体系是绿色技术与数字技术的融合与深化应用。同时，绿色农业、数字农业与农业绿色发展数字技术体系三者相互支撑。农业绿色化发展是数字农业发展要实现的目标之一，绿色农业的发展又需要数字化技术的支撑。农业绿色发展数字技术体系既是绿色农业的重要组成，也是数字农业的重要内容。数字农业与绿色农业的融合发展是新发展格局下贯彻新发展理念的具体落实。

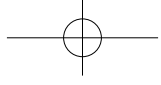
表 1 绿色农业、数字农业与农业绿色发展数字技术体系
Table 1 Concept comparison of green agriculture, digital agriculture and digital technology system of green agricultural development

	绿色农业	数字农业	农业绿色发展数字技术体系
内涵	新理念：农业生产资源利用节约化、生产过程清洁化。转变农业生产方式，农业综合效益提高，软思维	新技术：利用信息技术解决农业产业链条问题，硬技术	新系统：利用信息技术重组农业行业运行方式，硬技术赋能、软技术拓局
对象	农业资源节约、废弃物资源化利用、动物疫病净化和生态保护修复等领域	信息技术在农业生产、加工、经营、管理和服务等全产业链系统应用，提升整体效益	产地环境、水肥条件、品种质量、物资添加、生产规模等一体化的智能解决方案
技术	生物养地、资源节约技术、清洁生产技术、生态减灾技术、循环农业技术等，以及多项技术的综合运用	遥感网、传感网、大数据、互联网、云计算、人工智能等	绿色技术与数字技术的融合应用

2.2 农业绿色发展数字技术体系的关键特征

农业绿色发展数字技术体系是以绿水青山就是金山银山理念为指引，以数据为关键生产要素，以云为核心技术引擎，将互联网、物联网、人工智能等现代信息技术与绿色农业生产、产业、经营、管理深度融合，对绿色农业产业链的人、机、动植物、环境、信息等全要素进行深度感知、精准识别与智能控制，用信息化全面升级改造农业绿色产业链上下游，形成绿色感知精准化、绿色生产智能化、绿色流通可溯化、绿色交易平台化、绿色服务定制化的数字化转型产业生态。农业绿色发展数字技术体系兼具绿色农业和数字农业的基本特征。

- (1) 要素协同。利用海量多维的数字资源，通过数据分析、清洗、整合与转换，对土、肥、水、种等核心投入要素协同配置，形成生产全要素的优化配比方案。
- (2) 控制精准。汇聚与挖掘大数据，形成精量播种、精准施肥、精准施药以及品种适宜性选择等策略，与农机控制设备进行联动，实现精播精施与精控。
- (3) 治理智能。在深度感知过程中，积累农业资源利用效率和环境承载力时空数据，强化学习、自主进化，构建农业生产管理与精准控制模型，调度智能农机装备及装置，



2020年10月

实现自主作业。

(4) 资源集约。整合农业自然资源、信息资源和知识资源,集中合理的运用现代化信息技术,重构农业生产经营模式,实现效率变革、质量变革。

(5) 环境友好。将农田、畜禽养殖场、水产养殖基地等生态环境视为整体,运算其物质交换和能量循环关系,破解土壤板结、畜禽粪便污染等问题。

3 农业绿色发展数字技术体系框架

3.1 总体框架

农业绿色发展数字技术体系以“数字化”和“绿色化”的深度融合为基本思路,通过智能监控、数据采集、远程传输、智能分析和自动控制,实现农业绿色生产、加工、销售及流通等全环节和全链条的数字化,形成广泛互联、智能互动、灵活柔性、安全可控的数字架构,其总体架构如图2所示,主要包括4个部分。

(1) 以数字设施为基础的绿色源头,即深度感知产地环境、水肥条件、品种质量、物资添加、生产规模等绿色生物物理指标,形成农业绿色发展“触角”;

(2) 以数字资源为核心的绿色生产,即基于云基础和大数据技术整合交换农产、农资、农商等农业生产数据,解析与环境安全、绿色资源消耗、生态功能的关系,形成农业绿色发展“心脏”;

(3) 以数字平台为依托的绿色决策,即激发人工智能与农业绿色生产跨界融合,形成数字农业“大脑”和农业绿色发展“超脑”;

(4) 以数字应用为引领的绿色服务,即数字化在集约利用、清洁生产、生态减灾及废物循环等全程绿色应用,形成农业绿色发展“血液”。

3.2 精准化的绿色源头

在产前感知环节,数字基建是基础,主要由物联感知、基础网络和硬件设施三部分组成。综合利用通导遥等空间技术,建设天空地一体化农业观测网络,形成物联感知能力^[11];发展以5G、Wi-Fi 6、量子通信等技术为核心的新连接,构建高效互连的农业基础网络,形成万维信息传输能力;适配处理器、存储器、外围设备、现场总线等硬件设备,提升信息服务系统硬件设施的计算、通信和控制的能力,形成物理世界和数字孪生世界的双向交互能力。

在区域结构布局上,整合大数据、AI、云、GIS和融合通信等ICT资源,立足当地的自然资源条件、资源禀赋、生态条件和产业基础,精准规划主栽品种,实现适地适区适种。在优良品种选育上,借助介电频谱、太赫兹波等现代信息技术手段,采集田间育种材料性状数据,从亲本选配到遗传评估进行全系谱信息化管控,形成选种决策,全面提高作物育种的信息化水平,加速绿色品种选育的进程^[12]。在产地环境监测上,聚焦“地学农学”不同观测领域,针对“水土气生”不同观测要素,利用“天空地人”不同观测平台,开展“定量定性”不同观测属性的数据采集,发展绿色农业精准感知观测网络和应用体系,实现对农业绿色生产全领域、全过程、全覆盖的实时动态观测。

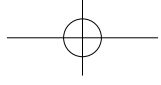


图 2 总体架构

Fig.2 The overall framework

3.3 智能化的绿色生产过程

在绿色生产环节，数字资源是智能化生产的关键，主要是基于云基础、大数据、人工智能技术，形成从大数据到知识、从知识到决策的能力。从需求看，将绿色生产从本地迁移到云端，打造多架构云形态，增强数据信息粘性，提高大规模数字资源优化能力，形成农业绿色生产大数据灵活定容的能力。从本质看，云基础解决的核心问题是绿色生产信息的计算、存储、分析、安全和运维；大数据技术是对农资、农产、农商、服务等各类海量、高维、动态、异质、异构的农业大数据，进行分离、抽取、转换、整合，构



2020年10月

建绿色农业全链路和全要素的数字化生态^[13]。人工智能、认知计算、深度学习、强化学习、人机交互等人工智能技术,与绿色生产各环节深度融合,形成数据驱动、人机协同、跨界融合、共创分享的智能经济形态^[14]。

大田种植中,集成遥感、无人机、物联网、北斗导航等技术,布设低时延、大容量的5G通信传输,升级天空地一体化的农情监测系统,开展田间“四情”监测^[15]。推进水肥一体、养分自动管控、能效自动监测、植保智能测报、机管机收机采、智能手机远程控制,提升大田生产绿色化水平^[16]。设施种植中,配置温度、湿度、光照等环境控制设施设备,建设环境监测控制系统,布设自动气象站、环境传感器、视频监控等设备,利用PID法、模糊法、预测法等智能控制算法,集成温室环控、智能催芽、工厂化育苗、智能灌溉、果蔬分级分选等技术,以小步快跑、快速迭代为范式,利用科技敏捷带动业务敏捷,实现工厂化农业生产过程全程监控与管理^[17]。畜禽养殖中,推广RFID测温定位电子耳标,发展自动投料机、集成智能补光通风加湿系统、配置疫病监测预警系统,匹配声音知识库,精准化监控养殖环境、数字化记录生产、智能化管理物流、身份化溯源质量^[18-20]。水产养殖中,利用传感检测技术,实时检测水环境、水质情况以及各种气候条件指标。基于智能传感、无线传感网、通信、智能处理与智能控制等技术,集水质环境在线采集、饵料自动精准投喂、水产类病害监测预警、循环水装备控制、网箱升降控制等信息技术和装备于一体,联动控制^[21]。

3.4 定制化的绿色消费终端

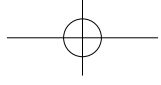
瞄准绿色农业生产的终端,完善生产资料和消费品的数字化加工、储藏、运输和销售体系,构建包括绿色指标墙、产品树、关联网、图谱库在内的绿色农业终端管理业务平台,实现农业绿色消费的信息调节、数据驱动、智能调度、智慧预警,使终端消费系统快速迭代,提升市场对消费终端的敏捷度。同时,以数据统计和综合评判为核心,延伸产业链长度,扩展服务环节,实施绿色追溯管理方式,加强对食品安全的数字化监督和管理,促进绿色消费的标准化生产和规范化管理,保证食物的营养价值和食用安全性。

联“码”,即发展“地块码、作业码、投入品码、商品码”互联,构建农业绿色发展编码体系,完善数字化消费架构,促进绿色化生产与消费的解耦。通“链”,即利用大数据分析和信息共享,联接供应商、专营商、销售终端和消费者等相关方,形成生态链互通模式,有效促进绿色消费链的快速响应和高效管控,实现“订单即运单”。守“线”,即严守资源高效、环境安全、生态友好、产品安全等绿色数字化底线,夯实农业绿色消费的数字应用基础,推进绿色消费从经验到精确、从人工到智能的转变。反“导”,即通过大数据分析消费者喜好,反向引导农业绿色生产与绿色品牌打造,升级改造农产品加工物流、冷链仓储等基础设施,推进农特产品全程区块链防伪追溯和千里眼溯源^[22]。

4 农业绿色发展数字技术体系建设的关键任务

4.1 筑牢农业绿色发展的基础性数据支撑

绿色技术的数据采集是农业绿色发展数字技术体系的基础。围绕我国不同的自然生



态类型、区域特性和产业特点，建设集长期观测、科学研究、试验示范和决策支撑为一体的农业绿色发展观测试验站，针对制约农业绿色发展的突出问题开展技术试验，获取第一手农业绿色发展原始资料和基础数据，构建农业资源、环境、生态等系列绿色指标的基础数据库，创建农业绿色发展数据中心，研究分析农业生产投入与农产品产出、资源环境保护之间的最佳路径和模式，为绿色技术、政策集成创新和推广提供基础数据支撑。

4.2 夯实农业绿色发展的数字基础设施建设

数字基础设施建设是农业绿色发展数字技术体系的关键。推进卫星遥感、航空遥感和地面物联网观测体系建设，建设天空地一体化的绿色农业观测网络基础设施，实现对农业绿色生产全领域、全过程、全覆盖的实时动态观测。加强 5G 在农业绿色发展场景中的应用，在大连接物联网（mMTC）、超高可靠超低时延通信（uRLLC）、天空地一体化观测网络条件下，实现在农业绿色发展园区 5G 全覆盖。

4.3 研发农业发展的关键技术和核心装备

农业绿色发展大数据平台是农业绿色发展数字技术体系的核心。精准把脉传统农业改造提升的技术需求，聚焦数字农业的核心算法、数字建模、核心传感器、专用芯片等关键技术和重点领域加强攻关，加快构筑支撑高端引领的先发优势；聚力数字农业绿色发展的核心基础零部件、关键基础材料、先进基础工艺、产业技术基础“四基”领域，以“鼎新”带动“革故”，以增量带动存量，推动农业绿色发展的作业装备升级和产业优化变革。

4.4 拓展农业绿色发展数字技术典型应用场景

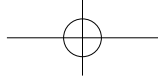
在农业绿色发展基础较好的示范区、科技园、产业园、试验站等重点园区和站点，引导转型企业打造精准数字农业作业及精准控制“云数智”应用范式，通过农业数字化典型应用场景“驱动”绿色农业的数字产业化和产业数字化，打造基于 AI、云计算、区块链的绿色发展数字化典型案例。树立农业数字化转型企业标杆，支持传统农产品生产企业开展基于 IPv6 协议下的物联网、大数据、人工智能等数字领域关键技术与绿色产业的深度融合应用，支持有能力的农业装备企业基于工业互联网平台，探索装备制造、绿色生产、农产品销售全产业链一体化的发展模式。

4.5 完善农业绿色发展数字技术的保障体系

顶层设计上，编制《农业绿色发展数字化行动计划》，出台农业“数字化绿色发展”指南，并制定相应的评估体系。财政政策上，通过发放财政专项债、地方政府债券等中长期贷款，加大在农业绿色领域在数字化建设的投入比例。金融政策上，鼓励多主体、多渠道投入，规范并推动 PPP 等模式，进一步放开市场准入，扩大投资主体。产业政策上，对农业绿色发展领域提供各类优惠；推进涉农企业在绿色发展领域与基础电信企业、互联网企业、信息通信设备制造企业合作，形成优势互补。

5 结论

“十四五”时期是我国农业绿色发展的快速提升期，我国将进入农业高质量发展时



2020年10月

期。建立用“数据说话”的驱动发展机制，构建精准高效的农业绿色发展数字体系，用信息化全面改造升级农业绿色技术、标准、产业、管理和评价，实现绿色化与数字化同向同行、同频共振，是顺应新时代经济发展需求、推动经济转型升级、提升资源可持续利用的重要着力点。该文在分析农业绿色化与数字化的发展历程基础上，从内涵、对象和技术三个方面科学界定了绿色农业、数字农业和农业绿色发展的数字技术体系概念的异同，提出了农业绿色发展数字技术体系架构，提出了农业绿色发展数字技术体系建设的重点任务。从信息科学发展、跨学科应用的实践看，如何利用量化新、全、深的农业绿色数字技术，逐步认识农业绿色发展的演变规律，分区集成农业绿色发展评价指标，进一步研究探讨调控和干预、评估和预报绿色技术途径，比如，土地面源污染防控、作物有害生物绿色防控、土壤有机质提升等，这些都依赖于农业绿色发展数字技术体系的支撑。农业绿色发展与数字技术的深度融合，已成为打赢农业绿色发展硬仗、推动绿色发展由先行先试为主向示范推广转变的驱动，是实现农业绿色发展数字化发展的必然要求。

参考文献

- [1] 周清波, 吴文斌, 宋茜. 数字农业研究现状和发展趋势分析. 中国农业信息, 2018, 30(1): 1-9.
- [2] 张兴旺. 从“互联网+”中汲取“三农”工作新动力. 农村工作通讯, 2017, 37(4): 36-38.
- [3] 赵春江. 农业的数字革命已经到来. 中国合作经济, 2020(3): 14-15.
- [4] 沈志成, 刘程毅. 新绿色革命: 转基因农作物. 新农村, 2009(7): 9-10.
- [5] 曹宏鑫, 王家利, 郑宏伟. 发展“数字农业”推动农村信息化. 农业网络信息, 2004(1): 17-20.
- [6] 包建中. 发展高技术应创建“三色农业”——绿色农业、蓝色农业、白色农业. 农业现代化研究, 1986(6): 12.
- [7] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 农作物空间格局遥感监测研究进展. 中国农业科学, 2010, 43(14): 2879-2888.
- [8] 孙九林. 中国农作物遥感动态监测与估产总论. 北京: 中国科学出版社, 1996.
- [9] 王光忠. 论我国绿色农业法制的发展历程及展望. 中共乐山市委党校学报, 2008(6): 72-73.
- [10] 汪懋华, 赵春江, 李民赞. 数字农业. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [11] 吴文斌, 史云, 周清波, 等. 天空地数字农业管理系统框架设计与构建建议. 智慧农业, 2019, 1(2): 64-72.
- [12] 王转卫, 赵春江, 商亮, 等. 基于介电频谱技术的甜瓜品种无损检测. 农业工程学报, 2017, 33(9): 290-295.
- [13] 郭华东, 王力哲, 陈方, 等. 科学大数据与数字地球. 科学通报, 2014, 59: 1047-1054.
- [14] 王婷, 崔运鹏, 王健, 等. 认知计算及其在农业领域的应用研究. 农业图书情报, 2019, 31(04): 4-18.
- [15] 曹卫星, 朱艳, 田永超, 等. 数字农作技术研究的若干进展与发展方向. 中国农业科学, 2006(2): 281-288.
- [16] 张保辉, 查燕, 史云. 智慧农业装备依赖进口情况、潜在风险及对策建议. 中国农业信息, 2019, 31(4): 113-120.
- [17] 周新淳, 张瞳, 吕宏强. 基于物联网的精准化智慧农业大棚系统设计. 国外电子测量技术, 2016, 35(12): 44-49.
- [18] Kaixuan Z, Dongjian H. Target detection method for moving cows based on background subtraction. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2015, 8(1): 42-49.
- [19] 熊本海, 杨亮, 郑姗姗. 我国畜牧业信息化与智能装备技术应用研究进展. 中国农业信息, 2018, 30(1): 17-34.
- [20] Thorup V M, Munksgaard L, Robert P E, et al. Lameness detection via leg-mounted accelerometers on dairy cows on four commercial farms. *Animal*, 2015, 9(10): 1704-1712.
- [21] 李道亮, 刘畅. 人工智能在水产养殖中研究应用分析与未来展望. 智慧农业(中英文), 2020, 2(3): 1-20.
- [22] 钱建平, 王宝刚, 杨涵, 等. 基于适宜环境的果品冷链物流精准调控云平台框架设计. 中国农业信息, 2019, 31(4): 65-73.

Prospect of connotation and structure for digital technology system of green agriculture

Song Qian, Yang Peng, Qian Jianping, Shi Yun, Zhang Baohui, Yu Qiangyi,
Duan Yulin, Wu Wenbin^{*}

(Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing (AGRIRS), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: [**Purpose**] Green agricultural is a profound revolution of the concept of agricultural development, which needs to change the innovation direction. Building a digital technology system for green agricultural development has become an urgent requirement for realizing the transformation of traditional industries to high-quality development in order to solve major bottleneck problems, such as low efficiency of agricultural resources, prominent environmental problems, lack of digital technology standards, labor shortage, weak international competitiveness of the industry, and so on. [**Method**] On the basis of summarizing the development process of digital technology for green agriculture, this paper scientifically defined the concepts of green agriculture, digital agriculture and digital technology system of green agricultural development, and deeply analyzed the similarities and differences from three aspects of connotation, object and technology, and puts forward the construction for digital technology system of green agricultural development. [**Result**] The digital technology system of green agriculture development of construction should be in accordance with the development ideas of industrial digitization and digital industrialization, by way of the intelligent monitoring, data acquisition, remote transmission, intelligent analysis and automatic control, make the chain flow from green agricultural production, processing, sales to logistics to formulate widely interconnected, intelligent interactive, flexible, safe and controllable digital main structure function. [**Conclusion**] The future development strategy of green agriculture should strengthen the basic data support and the digital infrastructure for the development of green agriculture, develop key technologies and core equipment for green agriculture, expand the typical application scenarios agricultural green development, and improve the guarantee system for the digital technology of green agricultural development. The deep integration of green agricultural and digital technology is the inevitable requirement of realizing green and high-quality development of agriculture.

Key words: green agriculture; digital technology; system; the key task