

我国农业水土资源监测与信息服务体系 发展战略研究

查燕^{1,2}, 吴文斌^{1,2*}, 余强毅^{1,2}, 梁社芳^{1,2}, 陆苗^{1,2}, 钱建平^{1,2}, 唐华俊^{1,2}

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 农业农村部农业遥感重点实验室, 北京 100081)

摘要: 耕地和水资源极为宝贵, 农业水土资源的合理开发利用事关国家粮食安全、生态安全与资源安全; 实时准确地监测并获取农业水土资源数量及其利用状况信息, 对国家稳定、民生福祉、经济社会至关重要。本文梳理了我国农业水土资源监测与信息服务体系发展现状和面临的问题, 阐述了水土资源监测与信息管理服务系统构架, 针对性提出了领域发展目标: 提高农业水土资源利用率和产出率、优化水土资源空间配置, 实现农业资源环境监测的自动化、智能化、无人化以及监测信息服务的市场化、社会化。研究分析了在信息技术与农业深度融合的新形势下, 未来我国农业水土资源监测的技术发展路线, 从基础设施建设、核心技术研发与集成、信息服务三方面提出了重大项目建议。研究认为, 加强顶层统筹布局规划, 加大科技创新, 搭建重要农业资源监测共享平台, 推动“政产学研用”协同发展, 注重高端人才培养, 可为我国农业水土资源监测发展提供坚实保障。

关键词: 农业水资源; 土地资源; 资源监测; 信息服务; “天空地”一体化

中图分类号: F321.1 **文献标识码:** A

Strategic Issues of Monitoring and Information Services of Agricultural Water and Land Resources in China

Zha Yan^{1,2}, Wu Wenbin^{1,2*}, Yu Qiangyi^{1,2}, Liang Shefang^{1,2}, Lu Miao^{1,2},
Qian Jianping^{1,2}, Tang Huajun^{1,2}

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

Abstract: As cropland and water resources are most valuable, the rational development and utilization of agricultural water and land resources are crucial for national food, ecological, and resource security. Therefore, obtaining timely and accurate information about the quantity and utilization of these resources is vital for national stability and socio-economic development. Here, we summarize the status quo and problems of the monitoring and information services of agricultural water and land resources in China, and expound on the framework of a monitoring and information service system. Additionally, we propose the strategic goals, namely, realizing automatic, intelligent, and unmanned monitoring of agricultural resources and environment and marketing the monitoring information services. These goals can be achieved by increasing the efficiency and outcomes of water and land use and optimizing the spatial

收稿日期: 2021-12-03; 修回日期: 2022-01-14

通讯作者: *吴文斌, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所研究员, 研究方向为农业土地利用、农业遥感; E-mail: wuwenbin@caas.cn

基金项目: 中国工程院咨询项目“智慧农业发展战略研究”(2019-ZD-05)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

allocation of agricultural land and water resources. Moreover, we analyze the technological routes for agricultural water and land resource monitoring in the context of the deep integration of information technology and agriculture, and propose specific projects from the aspects of infrastructure construction, core technology development and integration, and information services. Furthermore, we propose the following policy suggestions: (1) strengthening the top-level design, (2) enhancing scientific and technological innovation, (2) building a sharing platform for agricultural resource monitoring, (4) deepening the interaction of government, industry, universities, research institutes, and users of agricultural resources, and (5) promoting high-level talent training. Our study is expected to provide theoretical references for the development of the agricultural water and land resource monitoring in China.

Keywords: agricultural water resource; land resource; resource monitoring; information services; satellite, aerial, and ground integration

一、前言

水是支撑经济社会可持续发展的重要战略资源，农田是农业生产最基本的物质条件，二者共同承载着食物供给与生态调节等多重功能。农业水土资源的合理开发利用事关国家粮食安全、生态安全、资源安全，实时准确地获取农业水土资源数量及其利用状况信息，对国家稳定、民生福祉、经济社会发展至关重要。发达国家的农业水土资源监测工作已有 50 多年历史，“立法—标准—监测”密切配合，监测体系较为完整；近年来重视信息化基础设施与农业数字化建设，积极发展传感器、人工智能(AI)、无人机、移动互联网等前沿技术；依托丰富的地面调查、统计、遥感等数据资源，将信息技术与模型仿真相结合，建立了功能完善的水土资源环境监测与信息服务体系 [1]；保持调查评估和信息的公开透明，使得监测数据共享程度高、信息发布规范有序。

目前，我国农用水资源、耕地资源趋紧，粮食生产与水土资源分布错位，资源利用方式相对粗放，对农业生产形成了强约束 [2,3]。随着农业生产集约化程度的不断提高，我国农业生态环境问题日益突出，资源环境代价越来越高，农业发展面临资源和环境双重制约。为了摸清底数、掌握实情，加快构建统一、高效的现代化水土资源环境监测网络体系，近五年国家发布了多项相关政策，实施了全国国土资源遥感监测“一张图”工程、生态环境保护信息化工程、国家水资源监控能力建设项目，大力支持农业水土资源环境监测发展，确保监测数据质量，促进监测信息共享，提升监测信息服务水平 [4,5]。《自然资源调查监测体系构建总体方案》(2020 年)提出，到 2023 年完成全国自然资源的统一调查、评价、监测制度建设，形成自然

资源调查监测的法规制度、标准、技术、质量管理体系 [6]。《数字乡村发展战略纲要》《数字农业农村发展规划(2019—2025 年)》提出，运用遥感监控等技术，构建全国农业农村数据资源“一张图”，为推动农业农村绿色发展提供数据支撑 [7~9]。

相较传统农业水土资源的地面人工测量和调查，利用卫星遥感、无人机、物联网、云计算、大数据等技术来快速大范围地获取水土资源底数信息，可准确掌握其动态变化，做到资源数量可核算、空间可定位、权属可核查；技术性落实“早发现、早制止、严打击”监管目标，为水资源管理“三条红线”、耕地红线管控提供科学依据。在数字经济、“智能+”时代等新的形势和背景下，着眼于推进信息技术的农业水土资源监测与信息服务领域应用，本文开展我国农业水土资源监测发展现状分析，从数据、技术、应用方面凝练面临的问题；研判 2050 年前各阶段发展目标、技术发展路线，从基础设施建设、核心技术研发与集成、信息服务方面提出发展建议，以期为我国农业水土资源监测的高质量发展提供基础参考。

二、我国农业水土资源监测与信息服务体系发展情况分析

(一) 发展现状

1. 覆盖省、市、县三级农业水土资源环境监测网络初步形成

我国农业环境保护工作始于 20 世纪 70 年代，1983 年成立农业部环境监测中心站，组建农业环境监测网络；目前初步建成了以农业农村部环境监测总站为领头，各省份农业环境监测站为主体，部分主要市、县监测站为基础的三级农业环境监测网络体系。在农业水土资源监测方面，建成全国农产品

产地土壤环境质量监测网、农业面源污染国控监测网, 及时开展数据调查与更新, 实时监测污染变化趋势, 逐年发布信息统计年报, 基础支撑能力获得明显提升; 如全国农产品产地土壤重金属长期定位监测网包含了 1.52×10^5 个长期定位监测点。针对六大分区(北方高原山地区、南方山地丘陵区、东北平原区、黄淮海平原区、南方平原区、西北平原区)农业面源污染发生的主要途径, 以小麦、玉米、水稻、蔬菜等主要作物为重点, 形成了分布于 30 个省份的全国农业面源污染国控监测网, 共布设农田面源污染国控监测点 273 个(含地表径流国控监测点 182 个、地下淋溶国控监测点 91 个)[10]。

2. “天空地”一体化监测成为重要的农业水土资源监测技术手段

传统的地面调查与采样监测方法费时费力, 难以在大区域进行, 易受人为因素干扰; 当前的农业水土资源调查与监测以地面调查、遥感、测绘等技术为支撑。高分辨率遥感、北斗卫星导航、农业无人机、农机精准作业等关键技术及其与应用平台结合的不断发 展, 为大范围内的农业水土资源环境、农业生产数字化监测及管理提供了新型技术支撑, 如基于“天(卫星遥感)–空(无人机遥感)–地(地面传感网)”一体化的农业水土资源监测在农业资源调查、农作物估产、农业灾害监测与评估等方面发挥着重要作用[11~13]。构建基于空间、航空、地面遥感平台的农业遥感立体观测体系, 赋予农业遥感信息源以多平台、多传感器、多角度、高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率等特征, 有效缓解了信息源不足对农业遥应用的束缚。随着信息技术的发展、农业应用需求的扩大, “天空地”一体化监测应用范围也在不断拓展, 由以光学遥感数据为主扩大到雷达、高光谱数据, 由传统作物监测扩大到资源、灾害、环境领域, 由国内扩大到国际。例如, 2017 年启动的第三次全国国土调查, 借助高分辨率卫星遥感技术, 对县域全覆盖区域中的耕地、森林、草原、水、湿地等自然资源变化信息进行了多尺度、高精度的影像采集与判读, 明晰了全国土地资源状况, 完善了国土调查监测和统计制度, 健全了全天候、全覆盖遥感监测及快速更新机制; 2021 年, 我国科学家整合优化了 10 余套全球/区域遥感耕地制图数据, 国家、省、市三级的耕地面积统计数据, 研制了全球 2010 年 500 m 分辨率

耕地融合制图产品[14]。

3. 农业水土资源信息服务平台进入快速发展阶段
相关管理部门都构建了涉及农业水土资源信息管理与服务的大数据平台。例如, 农业农村部利用卫星遥感、无人机监测、移动采集终端等多源数据资源, 对全国农田状况进行实时监测, 构建了基于“天空地”一体化的全国农田建设综合监测监管平台, 支持全国农田大数据的存储管理, 开展土地利用变化、种植结构、耕地“非农化”“非粮化”监测; 水利部构建了水土保持监测与管理平台, 对全国重点区域的水土保持状况进行实时监测, 推动了监管工作从以往“问题导向”被动模式向“目标导向”主动监管的转变, 显著改善了区域水土资源精准管理水平。2020 年, 中国农业科学院联合其他 12 家科研机构完成了覆盖我国全域的“高精度数字土壤数据库”, 利用遥感技术/地理信息系统/全球定位系统、AI、人机交互等现代信息技术, 整合过去 40 年来各地的土壤调查数据, 模拟重现了土壤类型、土壤理化性状的空间分布特征(精度达到百米级), 为系统研究我国土壤与环境时空演变提供了依据; 也为各级农业、自然资源、环境管理部门提供了基础数据, 在高标准农田建设、耕地保护、地力提升等国家工程中得到应用[15]。

(二) 面临的问题

1. 农业水土资源监测的数据获取能力不足, 监测精度与时效有待提升

数据是农业水土资源监测、分析、决策、服务、应用的基础。我国地形多样、多云多雨天气频发、种植制度复杂、农业生产高度动态变化, 因而农业水土资源信息采集面临许多重大技术难题, 导致信息获取保障率低。一是数据获取要素不够。目前多以农田环境、种植类型、种植结构、生产力等群体参数获取为主, 而对作物本体的株形、器官、形态等个体参数信息以及土壤、作物营养、品质等理化参数获取不足, 使得水土资源管理相对粗放。二是数据获取精度不够。单一卫星传感器或平台难以获取时空连续数据; 航空遥感发展重硬件平台轻软件系统, 民用无人机应用潜力没有充分发挥; 地面物联网研发水平滞后, 应用处于初级阶段; 遥感监测存在混合像元、大气校正、尺度转换等诸多亟待解决的问题[16]。多源数据的融合与转换技术滞后,

“天空地”一体化协同的农情信息获取技术严重不足；农业水土资源监测以静态（单一时间点/段）为主，空间分辨率较粗，长时间序列的时空变化动态监测能力缺乏，监测时效性有待加强 [17,18]。三是信息获取装备研发滞后。新型水土专用传感器（如生物传感器）、不同信息采集装备的通信与传输技术进展迟缓，严重限制了田间采集的效率；低成本、便利化的信息处理装备，采集、诊断、控制与作业一体化装备均有明显不足。

2. 农业水土资源模拟模型的耦合集成不够

按照建模理论与方法区分，农业土地资源监测模拟模型可分为地理模型、经济模型：前者侧重“环境”因子的影响，后者侧重“人”的选择与决策行为。农业水土资源的形成及变化受自然、人文因素的复合影响，具有综合性、复杂性、动态性特征。考虑农业水土资源变化与其所处的“人类-自然”耦合系统，综合运用多学科知识开展模型的耦合集成研究 [19,20]。耦合地理生态模型、社会经济模型的综合模型，是农业水土监测模型的发展方向；如将作物生长模型与农业经济模型相结合，从全球尺度着手，对未来主要农作物的空间格局开展模拟分析 [21]。也要注意，农业水土系统耦合研究面临挑战：一方面，仍需加强耦合的尺度和速度研究，这是因为农业水土资源变化的相互作用速度不断加快，远距离耦合作用更为广泛；另一方面，鉴于农业水土系统耦合的多尺度、多因素、跨层级特征，应权衡农业生产、社会经济、生态环境、人类本身特性，考虑相邻区域、远距离乃至全球范围内相互作用的可能影响，建立大耦合的研究框架来进行农业水土资源优化配置 [22~24]。

3. 农业水土资源监测信息共享开放程度及信息服务效能均不高

我国农业水土资源环境监测工作分散在农业农村部、水利部、生态环境部、自然资源部等多个管理部门，各部门分别构建了涉及农业水土资源信息管理与服务的大数据平台，但监测业务的交叉重叠、数据重复采集现象较为突出。多个、多级部门都在采集局部数据，而数据采集的专业化特性又使得局部数据难以借助简单的数据交换与共享来支撑全局态势研判；很多监测数据使用效率低下甚至“闲置”。尽管相关法律规章要求各部门监测数据共享，

但在国家层面尚未制定监测信息与资料共享机制，导致各部门在协调跨部门数据共享方面缺乏依据，也就制约了现有监测数据效能的充分发挥；涉农部门大多遵循“于我有利、数字谨慎”的原则 [25]，部门信息壁垒普遍性存在。

4. 农业水土资源监测的行业性、国家级标准规范缺乏

水土资源的调查与监测具有严谨性、科学性，需以水环境、土壤环境等质量标准为准绳。我国现有水质监测标准 189 项、土地土质标准 43 项 [26]，如《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）、《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166—2004）。虽然监测方法标准具有数量优势，但很多检测方法没有统一的规则；标准数据比较混乱，不同部门颁发的环境监测技术标准与规范之间存在不一致之处，都影响了监测信息的整合与评价。此外，监测方式方法的制定过程缺乏足够的科学依据，数量、种类等方面与实际情况吻合度不佳。随着社会进步、信息技术发展，农业水土资源监测标准需要及时完善更新，切实增强监测标准体系的科学性、系统性、适用性 [27]。

5. 农业水土资源监测人才储备不足

“天空地”一体化监测技术逐渐成为我国农业水土资源监测的重要技术手段，应用范围广阔，但对环境监测从业人员的综合素质提出了较高要求。目前，我国农业环境监测系统中专业技术人员的比例不高、新型业务素养偏低、人才梯队不合理，尤其是农业与信息技术跨界复合型人才稀缺；从事农业水土资源监测的基层队伍数量不足，缺乏严格、专业的新型业务培训。监测与信息服务队伍稳定性、人员数量与素质等都不能满足新时期环境监测发展要求。

三、农业水土资源监测与信息服务管理系统构架

农业水土资源监测与信息服务管理系统主要包括：构建“天空地”一体化的农业水土资源观测体系，重点开展水土资源数量、质量及时空动态，生态环境监测；建设农业水土资源监测与信息服务管理平台，支撑农业生产指导、决策服务及管理，提升监测监管的定量化、数字化、智能化水平，保障

国家农业资源高效利用与绿色发展（见图 1）。

在“天空地”一体化的农业水土资源观测体系方面，综合运用在轨运行卫星（遥感、导航、通信）资源，开展多类型、多传感器、多星联合监测；推动国内现有多尺度航空遥感数据的共享联网，建设农业航空定位、成像、载荷集成、软件系统，发展无人机平台与移动车载平台的联合定位、交互通信、稳定传输、联动控制；研发新型农田土壤智能传感器、灌溉水质水量智能传感器，逐步建成卫星遥感、无人机遥感、地面传感网集成的农业水土资源监测“一张网”；构建农业水土资源立体监测网络（含监测业务网络、监测能力网络），提升农业水土资源监测数据的覆盖、获取、计算及服务水平 [28]。

在农业水土资源数量与质量监测方面，运用农业水土资源观测网络清查耕地等级、健康状况及产能，掌握全国耕地资源的质量状况；清查地表/地下水资源量、水资源总量/质量、河流年平均径流量、湖泊水库蓄水动态、地下水水位动态的变化情况。

在农业水土资源利用的时空动态监测方面，基于农业水土资源承载能力研究进展，发展农业水土资源配置技术，实施农业水土资源利用预警与评估；提出我国五大粮食主产区的农业水土资源配置格局与实施路径，提高农业水土资源总量、分布与利用监测的服务范围；全面建成农业水土资源监测预警体系与空间优化配置体系，发挥农业水土资源监测与利用对经济社会可持续发展的保障作用。

在农业水土资源生态环境监测方面，立足高标准农田建设核查基础，评估高标准农田农业水土资源的投入产出，明确全国所需维持的农业水土资源红线；实施农业水土资源安全工程，全面覆盖全国

农田土壤污染、面源污染、地下水水位、农产品产地环境监测，进一步控制农业用水量，推广水肥一体化技术；提高农业灌溉、水资源、化肥利用效率，提高农业绿色投入品比例，减少耕地污染、提高耕地质量。

在农业水土资源监测与信息服务管理平台方面，发展农业水土资源监测大数据能力，获得多目标、大区域、长时序的农业水土资源海量监测数据并开展清理、整合、查询、运算、挖掘、分析及可视化；研制基于区块链技术的农业水土资源监测数据共享与管理体系，高效对接监测系统智能传感设备与大数据平台，建成水土统筹、天地一体、上下协同、信息共享的农业水土资源监测基础设施；保持跨主体、跨部门、跨区域的农业水土资源监测数据资源开放共享，形成涵盖平台服务、具体应用服务的操作系统。

四、我国农业水土资源监测与信息服务体系发展构想

（一）发展思路

粮食安全是国民经济建设、社会稳定发展的基础，生态安全是可持续发展的前提，资源安全为生态环境健康、粮食产量稳定提供保障。未来 30 年，我国农业水土资源环境监测与信息服务体系发展面向粮食安全、生态安全、资源安全的重大需求，坚持绿色发展新理念，落实“农业资源环境自动化、智能化、无人化监测，监测信息服务市场化、社会化”的发展目标；通过“自主创新+成果引进”方式，实施农业资源环境传感器与泛在感知、农业资源大数据智能、农业物联网等共性关键技术攻关；促进监测技术和信息服务的产业应用，推动形成立体化监测、数字化设计、精确化作业、智能化管理的资源监测与信息服务产业体系，显著提升资源利用率和劳动生产率。

（二）阶段目标

至 2025 年，逐步建成“天空地”一体化的农业水土资源监测“一张网”，建立统一的农业资源环境大数据标准规范，推动建设农业资源环境要素、权属“一张图”，确保农业水土资源总量、分布、利用监测的覆盖度不低于 80%；完成全国 10 亿亩



图 1 农业水土资源监测与信息服务管理系统总体框架图

(1亩 \approx 666.7 m²)高标准农田建设的核查工作,动态监测高标准农田水土资源利用情况,评估高标准农田农业水土资源的投入产出,稳定保障全国高标准农田的粮食产能(5×10^8 t以上);打破农业领域的资源监测数据壁垒,推进调查监测成果的共享与应用,实现农业业务部门内部与外部的数据共享。

至2035年,构建农业水土资源综合利用效率提升理论与技术体系;逐年开展重点区域耕地质量情况调查监测,确保农业水土资源监测覆盖度不低于90%;明确需要维持的耕地资源红线,实施土地资源安全工程;结合农业水资源、土地资源两个专项调查的监测信息,提出我国五大粮食主产区农业水土资源配置格局与实施路径,优化配置农业水土资源空间;农业水土资源监测信息服务逐步实现市场化、社会化。

至2050年,全国农田土壤污染、面源污染、地下水水位、农产品产地环境监测的覆盖度达到100%,确保实现农业治理现代化目标;农业用水量高效控制,水肥一体化技术全面推广,实现农业绿色发展目标;建成农业水土资源监测评价、政务服务、监管决策应用体系,形成“用数据监管、用

数据服务、用数据决策”的管理模式。

(三) 技术路线图

2025—2050年,围绕农业水土资源数量、质量监测、农业水土资源利用时空动态监测、农业水土资源生态环境监测三方面开展技术研发、集成与示范工作(见图2),力求提高农业水土资源利用率和产出率,优化资源空间配置,提升水土资源智能监测与服务水平。

2025年,重点突破农田土壤智能传感器、灌溉水质水量智能传感器与泛在感知、农业资源大数据与认知计算等共性关键技术;研制农业水土资源监测数据采集、监测模式、大数据管理及应用等标准规范体系,编制农业水土资源监测数据开放共享目录清单;开展“天空地网”一体化农业水土资源监测系统建设,形成以“天空地网”移动监测平台为代表的感知装备体系。

2035年,加强智慧国土技术研发,重点突破包括土地资源调查、评价、规划、监管在内的全流程智能化关键技术;构建农业水土资源监测大数据平台,实现农业水土资源海量监测数据的清理、整合、

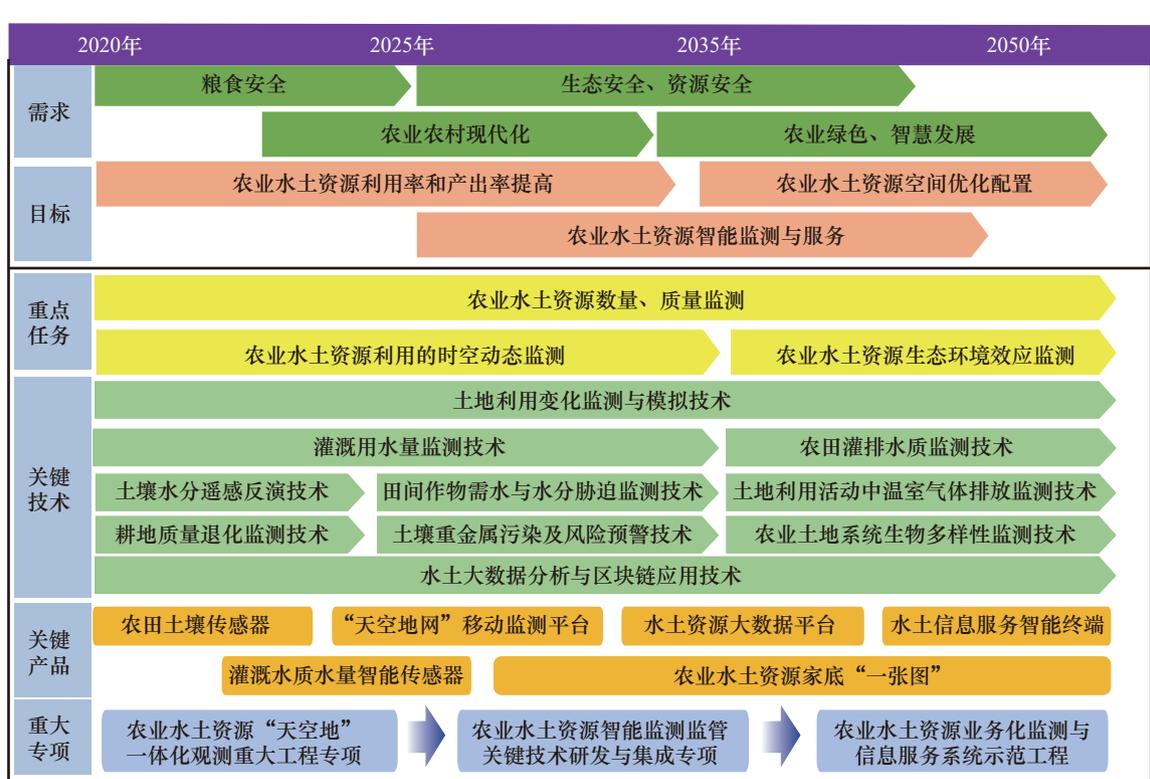


图2 我国农业水土资源监测与信息服务体系发展路线图(2020—2050年)

查询、运算、挖掘、分析与可视化。

2050年，重点突破水土大数据分析与应用技术，研制基于区块链技术的农业水土资源监测数据共享与管理体系，通过智能合约管理实现监测系统智能传感设备与大数据平台的高效对接；建成农业水土资源监测基础设施，实现水土统筹、天地一体、上下协同、信息共享；形成跨主体、跨部门、跨区域的农业水土资源监测数据资源开放共享机制，涵盖平台服务、具体应用服务的操作系统。

（四）重大项目建议

1. 国家农业水土资源监测重大基础设施

打造“天空地网”一体化农业水土资源监测系统，涵盖农田土壤智能传感器、灌溉水质水量智能传感器、“天空地网”移动监测平台等感知装备，支持实现农业水土资源监测“全面设点、全国联网”。构建农业水土资源监测大数据平台，研制基于区块链技术的农业水土资源监测数据共享与管理体系，实现监测系统智能传感设备与大数据平台的高效对接，建成农业水土资源监测基础设施，形成农业水土资源监测数据资源开放、共享、集成的服务平台，支撑具体应用服务的操作系统。

2. “天空地网”一体化农业水土资源监测核心关键技术研发与集成

建立农业水土资源监测技术体系，包括服务农业水资源监测的降水-作物产量影响模拟监测、灌溉用水量监测、土壤水分遥感反演、田间作物需水与水分胁迫监测、农田灌排水质监测、农业水资源利用风险评估。加强“智慧国土”技术创新，重点突破土地资源监测关键技术，如土地利用变化监测与模拟、耕地质量退化监测、土壤重金属污染及风险预警、农田投入品与高强度利用监测、土地利用活动中的温室气体排放监测、农业土地系统生物多样性监测等技术。发展水土大数据分析与应用技术，整合形成“天空地网”一体化农业水土资源监测核心关键技术，提升农业水土资源监测的科学化、系统化、精准化水平。

3. 国家级农业水土资源业务化监测与信息服务体系

研制农业水土资源监测数据采集、监测模式、大数据管理及应用等标准规范体系，编制农业水

土资源监测数据开放共享目录清单。开展各单位（主体）、各部门、中央与地方之间的数据共建共享，推进农业水土资源监测技术、传感装备、信息资源的跨层级、跨地域、跨系统、跨部门、跨业务协同管理与服务，形成数字农业技术、装备、系统的示范与应用能力。构建国家级农业水土资源业务化监测和信息服务体系，向各级政府提供农业水土资源家底“一张图”；提供农业水土资源监测动态信息，为农业水土资源利用相关方提供辅助决策服务。

五、对策建议

（一）加强统筹布局，拓宽投资渠道

加强农业资源调查监测工作的顶层规划，统一部署并整体推进，切实解决重大和紧迫问题。统筹相关业务管理部门需求，制定调查监测计划并集中安排，落实农业资源环境调查监测“六统一”。运用好现有基本建设和财政预算资金渠道，合理加大各级财政支持力度，保障卫星遥感监测、互联网大数据监测、农业资源管理系统等基础设施及条件装备建设需求，提升相关大数据的全面运用能力。积极开拓面向社会公众的服务功能，吸引市场资源支持，形成“天空地”一体化应用服务多方、多元投入的运行机制。加强沟通协调，争取将各类农业资源调查监测工作所需经费纳入各级财政预算；优化整合现有调查监测项目计划，集中资源保证重大调查监测任务。

（二）强化基础设施建设，推动创新与应用

针对农业资源监测发展的迫切需求和薄弱环节，借助信息与通信技术在农业领域的应用及融合，不断完善农业水土资源监测与信息服务体系的基础设施，加快基础软硬件设施的可持续建设。加强前沿基础理论、关键共性技术、系统集成等方面的创新突破，如AI、区块链、大数据、海量数据管理、立体展示等技术在调查监测中的应用研究。实施关键共性技术攻关，如“天空地”多源立体协同的农业信息获取与数字解析、农业大数据存储与高效处理、“天空地”协同农业水土资源、草原生态环境和农情动态监测与预警、定量模拟与智能决策模型。

鼓励科研院所、高校、企业组成创新联盟,合理确定利益分配机制,联合研发环境监测设备并提升国产化水平。

(三) 搭建重要农业资源监测共享平台

农业资源环境监测涉及农业农村、水利、自然资源、生态环境、气象、林草等多个部门,建议在顶层规划的基础上,由国家发展改革委员会牵头商建多源数据共建共享机制;建立跨部门的农业资源监测数据传递的无障碍通道,提供基于用户、数据、服务分级的访问控制与系统监控功能;搭建重要农业资源监测数据共享平台,实现农业数据资源的并网建库。各地区整合机构力量,建立省、市、县的数据台账与数据子平台,与全国数据平台互通共享,保障农业资源台账制度畅通高效运行。

(四) 整合多方力量,“政产学研用”协同发展

立足农业水土资源监测多学科、多领域、多部门的科研与产业优势,构建“政产学研用”创新平台。在科技方面,瞄准区域或产业发展中的关键问题,由政府、企业、高校、科研院所、监测单位共同参与,运用大联合、大协作模式,推动农业水土资源监测与信息服务理论、技术、系统、装备的原始突破与协同发展。在机制方面,建立各方利益合理兼顾的运作模式,探索长期可持续发展路径,构建农业水土资源监测与信息服务科技创新及产业应用双向融合机制。

(五) “引育”并举,加强人才队伍建设

依托现有队伍组织,提升并发挥各自专业优势,分工推进调查监测任务实施,保持运转严密有序。建议结合事业单位分类改革,整合系统内现有的调查监测力量;优化农业资源调查监测工作机制,形成资源调查监测的专业化支撑队伍,逐步实现国家调查、地方举证、数据分发共享的农业资源调查监测新模式。注重农业资源监测与管理的理论、技术、方法、应用等方面的复合型专业人才培养工作,同时引导社会力量参与,培育市场化的调查监测队伍。积极吸纳科研院所、高校的研究力量参与调查监测工作,发挥专业特长与知识优势;引导国内创新人才和团队与世界一流的数字农业、遥感、信息技术研发机构开展深度合作。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: December 3, 2021; **Revised date:** January 14, 2022

Corresponding author: Wu Wenbin is a research fellow from the Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences. His major research field is agricultural land use, agricultural remote sensing. E-mail: wuwenbin@caas.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the development strategy of smart agriculture” (2019-ZD-05)

参考文献

- [1] 赵春江,李瑾,冯献.面向2035年智慧农业发展战略研究[J].中国工程科学,2021,23(4):1-9.
Zhao C J, Li J, Feng X. Development strategy of smart agriculture for 2035 in China [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(4): 1-9.
- [2] 石玉林.中国农业资源环境若干战略问题研究[M].北京:中国农业出版社,2019.
Shi Y L. Research on key strategic issues of agricultural resource and environment in China [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2019.
- [3] 石玉林,唐华俊,王浩,等.中国农业资源环境若干战略问题研究[J].中国工程科学,2018,20(5):1-8.
Shi Y L, Tang H J, Wang H, et al. Research on key strategic issues of agricultural resource and environment in China [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(5): 1-8.
- [4] 国务院办公厅.国务院办公厅关于切实加强高标准农田建设提升国家粮食安全保障能力的意见[EB/OL].(2019-11-21)[2021-04-21].http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-11/21/content_5454205.htm.
General Office of the State Council. Opinion of General Office of the State Council for effectively strengthening the construction of high standard farmland to enhance food security capability [EB/OL]. (2019-11-21)[2021-04-21]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-11/21/content_5454205.htm.
- [5] 国务院办公厅.国务院办公厅关于印发生态环境监测网络建设方案的通知[EB/OL].(2015-08-12)[2021-04-21].http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-08/12/content_10078.htm.
General Office of the State Council. Opinion of General Office of the State Council for construction plan of ecological environment monitoring network [EB/OL]. (2015-08-12)[2021-04-21]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-08/12/content_10078.htm.
- [6] 中华人民共和国自然资源部.自然资源部关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知[EB/OL].(2020-01-17)[2021-04-21].http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Notice of Ministry of Natural Resources regarding the Issuance of the natural resources monitoring system [EB/OL]. (2020-01-17)[2021-04-21]. http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html.
- [7] 中共中央办公厅,国务院办公厅.中共中央办公厅 国务院办公厅印发《数字乡村发展战略纲要》[EB/OL].(2019-05-16)[2021-04-21].http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm.
General Office of the CPC Central Committee, General Office of the State Council. Opinion of General Office of the CPC Central

- Committee, General Office of the State Council for *Outline of digital countryside development strategy* [EB/OL]. (2019-05-16)[2021-04-21]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm.
- [8] 中华人民共和国农业农村部. 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 [EB/OL]. (2020-01-20)[2021-04-21]. http://www.moa.gov.cn/gk/ghjh_1/202001/t20200120_6336316.htm. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Notice of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Office of the Central Cyberspace Affairs Commission for regarding the issuance of the *Digital agriculture and rural affairs development plan (2019-2025)* [EB/OL]. (2020-01-20) [2021-04-21]. http://www.moa.gov.cn/gk/ghjh_1/202001/t20200120_6336316.htm.
- [9] 中华人民共和国农业农村部. 农业农村部关于印发《“十三五”全国农业农村信息化发展规划》的通知. [EB/OL]. (2016-08-30)[2021-04-21]. http://www.moa.gov.cn/gk/ghjh_1/201609/t20160901_5260726.htm. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Notice of Ministry of Agriculture and Rural Affairs for regarding the issuance of the *13th Five-Year Plan for agriculture and rural informatization development plan* [EB/OL]. (2016-08-30)[2021-04-21]. http://www.moa.gov.cn/gk/ghjh_1/201609/t20160901_5260726.htm.
- [10] 王海芹, 高世楫. 生态文明治理体系现代化下的生态环境监测管理体制深化改革研究 [M]. 北京: 中国发展出版社, 2017. Wang H Q, Gao S J. Research on the reform of ecological environment monitor and management system under the ecological civilization management system [M]. Beijing: China Development Press, 2017.
- [11] 吴文斌, 余强毅, 杨鹏, 等. 农业土地资源遥感研究动态评述 [J]. 中国农业信息, 2019, 31(3): 1–12. Wu W B, Yu Q Y, Yang P, et al. Latest research progress in agricultural land resources remote sensing [J]. *China Agricultural Informatics*, 2019, 31(3): 1–12.
- [12] 陈仲新, 任建强, 唐华俊, 等. 农业遥感研究应用进展与展望 [J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 748–767. Chen Z X, Ren J Q, Tang H J, et al. Progress and perspectives on agricultural remote sensing research and applications in China [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2016, 20(5): 748–767.
- [13] 吴文斌, 史云, 段玉林, 等. 天空地遥感大数据赋能果园生产精准管理 [J]. 中国农业信息, 2019, 31(4): 1–9. Wu W B, Shi Y, Duan Y L, et al. The precise management of orchard production driven by the remote sensing big data with the SAGI [J]. *China Agricultural Informatics*, 2019, 31(4): 1–9.
- [14] Lu M, Wu W B, You Z L, et al. A cultivated planet in 2010 – Part 1: The global synergy cropland map [J]. *Earth System Science Data*, 2020 (12): 1913–1928.
- [15] 周怀宗. 土壤也有大数据 我国建成高精度数字土壤 [J]. 科学大观园, 2020 (10): 34–35. Zhou H Z. Soil has big data: China has built a high-precision digital soil covering the whole region [J]. *Grand Garden of Science*, 2020 (10): 34–35.
- [16] 吴文斌, 杨鹏, 李正国, 等. 农作物空间格局变化研究进展评述 [J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(1): 12–20. Wu W B, Yang P, Li Z G, et al. Overview of research progresses in crop spatial pattern changes [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2014, 35(1): 12–20.
- [17] 梁社芳, 魏妍冰, 余强毅, 等. 基于文献计量的农业土地资源监测态势分析 [J]. 中国农业信息, 2020, 32(1): 104–114. Liang S F, Wei Y B, Yu Q Y, et al. Status and trends analysis of research on agricultural land resource monitoring based on bibliometric analysis [J]. *China Agricultural Information*, 2020, 32(1): 104–114.
- [18] 魏妍冰, 梁社芳, 查燕, 等. 农业水资源监测文献计量分析 [J]. 中国农业信息, 2020, 32(1): 93–103. Wei Y B, Liang S F, Zha Y, et al. Bibliometric-based analysis of research on agricultural water resources monitoring [J]. *China Agricultural Informatics*, 2020, 32(1): 93–103.
- [19] 唐华俊, 吴文斌, 余强毅, 等. 农业土地系统研究及其关键科学问题 [J]. 中国农业科学, 2015, 48(5): 900–910. Tang H J, Wu W B, Yu Q Y, et al. Key research priorities of agricultural land system studies [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(5): 900–910.
- [20] 余强毅, 吴文斌, 唐华俊, 等. 复杂系统理论与Agent模型在土地变化科学中的研究进展 [J]. 地理学报, 2011, 66(11): 1518–1530. Yu Q Y, Wu W B, Tang H J, et al. Complex system theory and agent-based modeling: Progresses in land change science [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(11): 1518–1530.
- [21] Wu W B, Shibasaki R, Yang P, et al. Global-scale modelling of future changes in sown areas of major crops [J]. *Ecological Modelling*, 2007, 208(2–4): 378–390.
- [22] 谢安坤, 周清波, 吴文斌, 等. 农业土地系统的耦合特征及其研究进展 [J]. 中国农业信息, 2018, 30(1): 35–45. Xie A K, Zhou Q B, Wu W B, et al. Coupling characteristics of agricultural land system and its development trend [J]. *China Agricultural Information*, 2018, 30(1): 35–45.
- [23] Meyfroidt P, Lambin E F, Erb K H, et al. Globalization of land use: Distant drivers of land change and geographic displacement of land use [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(5): 438–444.
- [24] Godfray H C J, Beddington J R, Crute I R, et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people [J]. *Science*, 2010, 327(5967): 812–818.
- [25] 孙九林, 李灯华, 许世卫, 等. 农业大数据与信息化基础设施发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 10–18. Sun J L, Li D H, Xu S W, et al. Development strategy of agricultural big data and information infrastructure [J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(4): 10–18.
- [26] 吴文晖, 于勇, 雷晶, 等. 我国环境监测方法标准体系现状分析及建设思路 [J]. 中国环境监测, 2016, 32(1): 18–22. Wu W H, Yu Y, Lei J, et al. The Current Status and Construction Strategy of Environmental Monitoring Method Standards System in China [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2016, 32(1): 18–22.
- [27] 朱静, 雷晶, 张虞, 等. 关于中国土壤环境监测分析方法标准的思考与建议 [J]. 中国环境监测, 2019, 35(2): 1–12. Zhu J, Lei J, Zhang Y, et al. Thoughts and suggestions on environmental monitoring method standards of soil in China [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2019, 35(2): 1–12.
- [28] 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 [J]. 智慧农业, 2019, 1(2): 64–72. Wu W B, Shi Y, Zhou Q B, et al. Framework and recommendation for constructing the SAGI digital agriculture system [J]. *Smart Agriculture*, 2019, 1(2): 64–72.