

# 数字农业技术研究现状及发展趋势

潘怀聪, 潘家柱, 张国维

达华节水科技股份有限公司, 甘肃 武威  
Email: 417343418@qq.com

收稿日期: 2021年3月17日; 录用日期: 2021年4月12日; 发布日期: 2021年4月19日

## 摘要

数字农业是将农业生产、生物研究、设备研发、信息通讯等技术相结合的现代化技术。将5G与大数据等新兴技术创新应用于农业中, 可以使生产过程中资源利用合理化, 生产过程绿色化, 产业循环高效化, 大大推进了农业的环境友好发展、循环利用发展、低碳绿色发展。在推广数字农业的大趋势下, 本文对数字农业技术的发展现状及研究方向进行阐述, 并介绍了精准农业中具有代表性的智能化设备及其工作原理, 指出了数字农业发展的技术路线。数字农业技术是现代农业发展的必经之路。

## 关键词

数字农业, 信息技术, 精准农业, 装备研发, 系统集成

# Research Status and Development Trend of Digital Agricultural Technology

Huaicong Pan, Jiazhu Pan, Guowei Zhang

Dahua Water Saving Technology Co., Ltd., Wuwei Gansu  
Email: 417343418@qq.com

Received: Mar. 17<sup>th</sup>, 2021; accepted: Apr. 12<sup>th</sup>, 2021; published: Apr. 19<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Digital agriculture is a modern technology that combines agricultural production, biological research, equipment development, information and communication technologies. The application of new technology innovation such as 5G and big data in agriculture can rationalize the utilization of resources in the production process, green production process, and efficient industrial cycle, which greatly promotes the environmentally friendly development of agriculture, the development of recycling and low-carbon green development. Under the trend of promoting digital agriculture,

**this paper expounds the development status and research direction of digital agriculture technology, and introduces the representative intelligent equipment and its working principle in precision agriculture. The technical route of digital agriculture development is pointed out. Digital agriculture technology is the only way to develop modern agriculture.**

## Keywords

**Digital Agriculture, Information Technology, Precision Agriculture, Equipment Development, System Integration**

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

农业是人类衣食之源、生存之本，是一切生产的首要条件。数千年来农业生产管理主要采用人工监管模式，即在生长周期内，通过人工监控作物生长，病虫害等情况，检测土壤水肥和环境温湿度，并结合经验判断作物不同生长阶段水肥、环境需求，人工控制水肥供应系统、药物喷淋系统和作物生长环境调控系统等。这种传统农业产业发展需要大量的人员投入，存在土地资源利用率低，化肥和农药使用量大等缺点。

随着现代经济与科学技术的快速发展，一轮以信息技术和生物科学技术融合为重点的农业科技浪潮在全世界范围内兴起。以 5G 技术、人工智能、云计算为代表的高新技术开始与农业进行深度融合。数字农业集数字化、可视化、智能化于一体。农业从业者可以通过新型遥感技术精准掌握农作物病虫害、温湿度、水肥状态、土壤环境、生长发育等信息，实现对生产信息的实时监测，再通过大数据与人工智能技术对海量的监测结果进行快速地处理分析，专家决策系统会根据处理结果自动做出正确判断、精准调节、远程控制，农场中的智能化农机在接收决策系统信号后可以完成精细化育种、高效水肥配比和环境资源按需分配等工作，达到改善农作物生长环境，提高生产效率，合理利用资源，降低农业生产成本，改良农业生产结构的目的。农业从此告别“靠天”吃饭，进入智慧农业时代[1] [2]。

数字农业就是以高新技术为依托的现代农业模式。它并不是对传统农业技术的一种否定，而是对传统农业生产模式的发展，是对生产模式的改良，也是对生产力的解放[3] [4]。数字农业的研究主要包括信息获取、作物生长模拟模型建立、智能化控制系统等方面。

## 2. 数字农业关键技术研究现状

从国际看，全球新一轮科技革命、产业变革方兴未艾，物联网、大数据、云计算等信息技术加快应用，改变了人们的生产生活方式，引发经济格局和产业形态深度变革，形成了发展数字经济的普遍共识。农业大数据成为基础性战略资源，新一代人工智能成为创新引擎。世界主要发达国家都将数字农业作为战略重点和优先发展方向。数字农业的概念在 1997 年被美国科学院和工程院率先提出。目前来看，数字农业的研究在国外一些发达国家已经到达了一个较高的水平，其中以美国、荷兰、以色列、日本等国家的研究较为突出。这些国家数字农业已经形成了较为完善的体系并被广泛应用于农业生产中[5]。

我国的数字农业的研究起步较晚，在国家“七五”计划期间，中国科学院和中国工程院提出了发展“数字中国”的战略，随后在“八五”计划期间开始实施，而“数字农业”的研究开始在我国大面积推

广是在“九五”计划期间。自2000年开始,我国开启了“863计划数字农业技术与示范”专项计划,大力支持我国的数字农业技术的发展。时至今日,数字农业依旧是我国农业技术的研究重点。2020年中央1号文件《中共中央、国务院关于抓好“三农”领域重点工作确保如期实现全面小康的意见》和农业农村部2020年1号文件《农业农村部关于落实党中央、国务院2020年农业农村重点工作部署的实施意见》中详细部署农村农业重点工作,特别强调“开展数字农业农村建设,建设重要农产品全产业链大数据和数字农业创新中心,开展数字农业试点,加快物联网、人工智能、区块链等技术集成应用。”农业农村部、中央网络安全和信息化委员会办公室印发的《数字农业农村发展规划(2019—2025年)》提出,“到2025年,数字农业农村建设取得重要进展,有力支撑数字乡村战略实施。”《规划》对新时期推进数字农业农村建设的总体思路、发展目标、重点任务作出明确部署,擘画了数字农业农村发展新蓝图。

## 2.1. 农业信息采集技术

精准地掌握农田中空气温度湿度、土壤情况(水分、肥力)、病虫害等信息对了解农作物生长状态极其重要。此类信息受环境影响较大、变化频繁、实时采集困难,直接采集田间信息工作量大,处理数据费时费力。在实现高效信息获取和作物生长状态监测过程中,遥感技术、计算机网络技术、地面传感技术等技术被广泛应用[6]。

在一些发达国家,环境参数、土壤条件、水肥供给、市场供需等基础信息的采集、计算、处理、分析过程已经实现了数据化与智能化。在土壤养分检测方面,近红外光谱技术由于其测量方式无接触、过程快速准确、范围大、稳定性高等优点已经成为了国内外专家的研究重点。Shibusawa等人使用介于400~1900 nm之间的波段来测量土壤信息(有机质含量、酸碱度、电导率、湿度等),发现其相关系数从0.19上升到0.87 [7]。中国学者在这方面也做了很多研究:李民赞提出的土壤参数分析法是在可见光光谱分析的基础上建立的,通过在不同波段建立多元线性回归方程,相关系数达到0.934 [8];于飞健等采取近红外光谱分析法研究土壤中氮元素和有机物含量[9];He等测量了土壤电导率和常见元素含量[10] [11];鲍一丹在光谱技术的基础上明确了土壤粒度和含水量对氮元素的影响情况[12]。

合理利用遥感技术覆盖周期短,覆盖面积大的优势可以实现对广阔面积农田中作物生长情况进行检测。在上世纪七十年代,美国landsat系列卫星通过分析作物以及土壤所反射的太阳光谱实现了农作物产量和土壤湿度感测,而后在1995年由GER公司发射的卫星群被用来监测农作物生长过程并为从业者提供信息服务。美国后续在LACIE和AGRISTARS计划中采用的卫星遥感技术实现了对作物种植、生长情况、病虫害的监测和产量的预测。欧盟MARS计划通过卫星监控作物的生产信息,以此作为发放补贴的依据[5],并以遥感技术为基础建立了覆盖整个欧洲的农业估产体系。利用气象卫星对农作物生长情况进行检测在我国起步稍晚。上世纪八十年代,我国开始依靠气象卫星对作物长势进行检测。在2005年“香山科技会议”上,多位学者就我国太赫兹技术研究展开讨论并制定了发展规划,依靠太赫兹技术低能无害、高分辨率等优点进行产品品质检测、环境监测、长势监测。中国科学院研究的多光谱数字相机成像技术可以监测蝗虫及棉花害虫;TM图像遥感监测技术可以监测蝗灾的动态变化;吴迪等人依靠多光谱技术诊断识别番茄等蔬菜的灰霉病[13] [14]。在杂草自动识别方面,朱登胜等建立的神经网络模型对杂草的识别率达到100% [15]。在以上研究的基础上,我国各地农业信息监测技术不断进步,北京小汤山农业示范基地实现了在线测量作物产量和水分,精准采集田间作物信息,监测环境条件、作物长势、水肥等情况,并能有效防止病虫害。

## 2.2. 农业生产过程模型建立

模拟模型的建立和研究对改良作物生长机理和调控灌溉施肥具有重要意义[2]。模拟模型的研究主要

集中在土壤水分和养分传输过程、动物生产过程、作物生长发育三个方面。

作物生长过程的模拟研究一直是现代农业科技的前沿,是数字农业的重要基础和关键技术。目前来看,荷兰、美国、丹麦、以色列等国家的研究处于世界领先水平。荷兰科学家 De Wit 于 1969 年提出了农作物生长过程中碳素平衡模拟模型(ELCROS),在其指导下, Goudriaan 于 1979 年发表了了对农作物生长过程所需的气候和生态条件的模拟方法。随后, Wit C. T. 等人研究了一个基本的作物生长模型(BACROS),此模型在 1982 年被 Penning 等人发展成为 SUCROS 模型,为农作物的生长过程的模拟模型研究奠定了基础[16]。20 世纪 70 年代,美国完成了棉花模拟模型(GOSSYM)和大豆模拟模型(GLYCIM)[17];而 Ritchies 教授提出的能够模拟玉米、小麦等农作物生长情况的 GERES 模型也是当今最具代表性的模型之一[3]。作物生长情况与土壤水分养分模型的结合较为困难,这是目前所研究的作物生长机理模型很难准确反映实际农业生产力的重要原因。而荷兰的 SWANS 将作物生长机理模型与土壤情况模型初步整合,对模型的改良与水肥配比方案有重要作用,为研究土壤变异性机理提供了帮助[17]。

我国学者在模拟模型方面的研究起步于 20 世纪 90 年代,与国外相比还存在差距。我国的研究一方面是吸收美国与荷兰的模型,研究温度、湿度等对作物生长的影响,另一方面是开发适合本土的作物生长模拟模型。中国农业大学建立的三维可视化模型可以初步的模拟玉米、棉花生长过程,为打造精准模拟作物生长与环境条件关系的数字化农田奠定了基础;严定春等结合先前工作,运用动态模拟法和系统分析法来构建玉米生长模型[18];中-法联合实验室在作物模拟模型建立方面研究成果显著,其开发的植物生长建模方法 GreenLab (青园)模型在国内外有很高的影响力。

### 2.3. 智能化专家决策系统

上世纪七十年代,信息技术被作为影响生产力的重要因素。以信息技术为纽带,高效集成 5G 技术、大数据、云计算等高新技术,应用与农业生产的决策管理。用于农业智能化决策的专家系统(Expert System, ES)开始在生产中被应用并进入迅速发展阶段。时至今日,几十年的研究使得专家决策系统被广泛应用于作物种植、动物养殖、园艺管理、育种以及经济决策等方面[19]。美国农业部作物模拟研究所研制出用于棉花管理的专家决策系统 COMAX-GOSSYM 被认为是最成功的 ES 系统[20]。该模型以 GOSSYM 模型为基础,充分考虑到棉花生长过程中各种因素的影响,包括植物根、茎、叶、花、棉桃、土壤水分、肥力、养分传输、环境温度、湿度、辐射强度等。COMAX 系统为棉花的生产制定了最佳的施肥、灌溉、药剂方案,给美国棉花种植业带来了巨大的经济效益。目前较为成熟的农业管理决策专家系统还有美国农业部研制的 DSSAT 系统;加州棉花生产管理决策 CALLEX/COTTON 系统;澳大利亚开发的棉花和小麦管理决策系统 SIRATAC 和 WHEATMAN 等等。

我国对 ES 系统的研究始于 80 年代,中科院研发成功的施肥咨询专家系统是我国第一个农业 ES 系统。在“七五”期间,农科院棉花研究所从棉花的生产管理、生长发育模拟模型出发,依靠产生式规则、反向推理政策,研发了棉花生产管理系统(Cotton Production Management Systems, CPMSS);辽宁农业科学院为了完成水稻亲本选配和品种评估,采用语义网络、正反向推理方法开发了基于水稻新品种选育的专家系统;“八五”期间,农科院作物所依靠田间信息采集系统、作物生长模拟的研究与逻辑法、数据库、规则库相结合,提出了适用于小麦生产管理的专家系统(Expert System for Wheat Cultivate Management, ESWCM),该系统在处理了大量的数据和知识的基础上建立,在北京昌平使用之后,当地小麦产量大大提高,产投比提高了 8%~10% [21];中国科学技术部从 90 年代开始依靠“863 计划智能计算机主题”计划大力开展“农业智能应用系统”的研究与推广。目前,依靠其研发的 5 个高水准的农业专家决策系统,在我国范围内成立了 20 个应用示范区,并研发出使用的专家系统[22]。

整体来看,我国农业专家决策系统的研究虽然起步较晚,但是发展迅猛。时至今日,我国专家系统



的应用已经涉及到种植、育种、病虫害检测防治、水肥管理、产品评价等多个方面[19]。对我国数字农业的发展、农业生产水平的提高有巨大作用。

### 3. 精准农业技术与系统

精准农业(Precision Agriculture)这一思想就是在了解所有土地的土壤特性以及作物的生长特性的基础上, 寻找出最优化的种植方案: 品种选择、肥料、水分等, 使得农业生产过程得到最大的经济与环境效益。精准农业的核心是“处方”的正确性, 这就要结合之前所提出的田间信息采集系统, 作物生长模拟模型以及智能化专家决策系统[23]。精准农业的实施需要信息技术的支持, 依靠卫星定位系统和遥感技术精准定位、定时、定量地实现农业生产操作和管理。田间信息采集系统的数据依靠云计算、大数据、5G 传输等技术完成计算和传输, 在智能化专家系统的决策下, 制定出最佳处置方案, 调控智能化农业机械。精准农业实现了生产过程全程感知、定量决策和精准投入, 是数字农业研究的重点和目标[5]。

#### 3.1. 精准农业技术研究现状

世界各国在精准农业方面做出了大量研究: 美国孟山都子公司所推出的 Climate FieldView™ 平台依靠高水平成像技术和作物模拟及田间数据, 结合决策系统的建议, 实现了农业生产过程精准播种、施肥、喷洒药剂和自动收获, 帮助从业者了解各种农艺在不同土地的效果, 竭尽所能的挖掘每一寸土地的潜力; 拜耳公司推出的 WeedScout 杂草识别系统可以准确、高效的识别田间杂草并通过智能化农机精准喷洒药剂, 高效除草; 以色列的安道麦(Adama)公司以高效增产为目的, 研发精准施肥喷药, 土壤、作物、环境监测, 病虫害防治等系统, 如: FieldIn 精准植保应用系统等。在农业生产中水肥自动配比、施放方面: 美国、英国、德国、日本、法国等国家水肥一体化控制系统多采用传感器技术、自动排水反冲洗系统等高新技术, 依据作物类型和生育期不同的施肥灌溉特征, 实时检测水肥浓度, 实现智能化施肥[24]。Liang H.等[25]研究了水肥一体灌溉对作物生长的影响, 用的灌溉方式有固定分区灌溉, 常规灌溉和控制分根交替灌溉, 研究表明, 控制性分根交替灌溉能够提高水分利用效率和增加作物干物质含量。Abalos D.等[26]研究表明, 水肥一体灌溉合适的频率能够降低 NO 的排放。Oppong Danso E.等[27]认为喷灌技术相比较水肥一体灌溉技术, 水肥一体灌溉能够降低磷元素的符合, 从而能提高氮元素的利用效率。Al-Qurashi AD 等[28]认为水肥一体灌溉技术中, 灌溉液的养分浓度是影响作物产量的关键因素。Li Y 等[29]以番茄为研究对象, 并认为水肥一体化的灌溉技术与滴灌相比较, 连续稳定的供水条件能提高番茄的高度和茎醋, 并且能够提高作物的产量和水分利用效率, 提高效率分别可达 1.6%~8.2%和 9.9%~30.5%。袁洪波等[30]将传统土培水肥不循环技术与水肥一体灌溉技术进行了比较, 研究表明水肥一体滴灌循环系统的用水量是土培模式的 69.42%, 水分利用效率与传统土培模式相比水分利用效率是土培模式的 1.92 倍。谭华等[31]的研究结果表明, 水肥一体膜下滴灌模式对玉米的产量和氮素都有所提高。霍昭光等[32]以烤烟为研究对象, 水肥一体灌溉模式比常规施肥相比, 在促进烤烟生长方面, 水肥一体灌溉模式更优。

#### 3.2. 精准农业智能化农机

精准农业智能化农业机械采用系统化的概念, 是精准农业研究中的关键。将农业机械与现代化计算机技术、全球定位技术、遥感技术有机结合在一起, 减少人为因素干扰。农业机械智能化系统主要由 3 部分组成: 信息采集系统、决策判断系统和执行系统。利用各类传感器采集环境和农作物信息, 首先在决策系统中输入关于环境、土壤、植株等方面的数据, 以此来作为判断的依据。实时信息被处理系统进行汇总处理, 做出判断, 传输到执行机构。智能化农业机械依靠客观数据来做决策和动作, 避免了人为因素带来的差异, 也可减轻操作人员由于疲劳, 减少失误。智能化农业机械有安装 GPS 的精细变量施肥

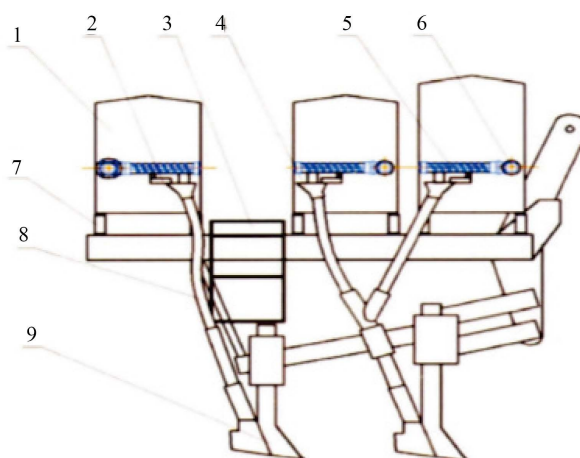
机和自动喷药机、精细滴灌设备等。

### 3.2.1. 安装 GPS 的精细变量施肥机或自动喷药机

过量使用肥料在造成浪费的同时也会使农田受到污染，在精细农作中要以电子地图的信息为基础，对田间施肥量进行定位控制调整。目前已有监控土壤肥力的实时传感器，在农作中切入土壤的两个犁刀之间装有电位差，中间形成电磁场，磁场会受土壤特性影响，产生变化的信号来调节电磁阀门实现肥料的变量投入。也可以通过专家决策系统将田间各部分所需肥料量及单位面积用量输入到处理器中，系统搭载的 GPS 会扫描田间地图，实现自动控制施放量。如图 1、图 2 所示为装备有 GPS 的施肥机实物图和精细变量施肥机原理图[33]。



Figure 1. Fine variable fertilizer applicator with GPS [33]  
图 1. 装备有 GPS 的精细变量施肥机[33]



1.肥料箱 2.悬挂式力传感器 3.工作踏板 4.料斗 5.螺旋送料器 6.伺服电机 7.力传感器 8.排肥管 9.开沟器

Figure 2. The schematic diagram of fine variable fertilizer applicator [33]  
图 2. 精细变量施肥机原理图[33]

### 3.2.2. 精细滴灌装备

精细滴灌装备中安装遥感设备，通过传感器来监测土壤含水量，按照作物需水要求，通过毛管上安装的灌水器，将农作物需要的水分、养分一滴一滴，均匀而缓慢地滴入作物根区土壤中。滴灌不会破坏

土壤结构,使土壤内部水、肥、气、热保持在适宜的良好状况,减少蒸发损失,避免地面径流,杜绝深层渗漏,省水省力,如图3所示[34]。

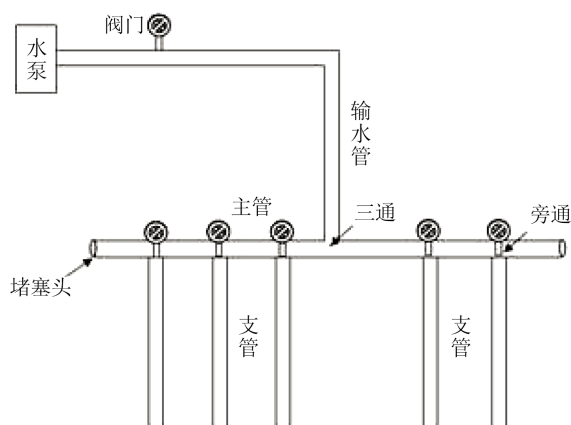


Figure 3. Fine drip irrigation equipment [34]

图3. 精细滴灌装备[34]

### 3.2.3. 基于杂草自动识别技术的智能化喷药机

基于计算机图像识别技术的智能化精准喷药除草机械可以精确识别田间作物与杂草,该机械在田间工作时,可以检测杂草分布情况,将数据反馈到专家决策系统,通过智能化调节,精准开启或关闭相应的喷头,还可以根据杂草种类以及数量实现变量喷药,达到精准除草、节约药剂、减少环境污染的目的。智能化喷药机原理图如图4所示[23]。

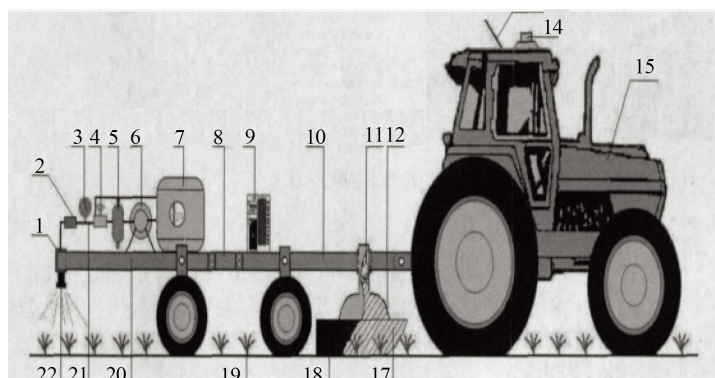


Figure 4. The schematic diagram of intelligent spraying machine [23]

图4. 智能化喷药机原理图[23]

喷药机油图像识别系统和变量喷药系统组成。图像识别系统由采集仪10、相机11、密闭箱体12、照明17、橡胶保护罩18等组成。变量喷药系统由电磁阀1、流量调节阀2、压力表3、压力调节阀4、过滤器5、药剂泵6、药箱7、机架20、药剂管路21、喷头22等组成。两系统被连接架8和牵引架16组成一个整体。拖拉机15驱动整个系统,杂草识别和喷药量等数据由专家决策系统9自动调节。

### 3.3. 数字化精准农业系统

数字化精准农业是在数字农业的基础上,通过智能化农机最大化的减少人为干扰,解放劳动力,实现生产过程数字化、智能化、自动化。目前较为成熟的数字化精准农业系统包括机械化农场和温室自动

监控调节系统。在温室研究方面,奥地利 Ruttuner 教授提出的 Complex System 以及日本中央电力研究所设计的蔬菜工厂等,实现了全封闭生产,自动调节光照,立体旋转式栽培,生产过程全部采用电脑检测,有专家系统进行数据处理决断,采用机器人、机械手臂等完成生产活动,全面解放人类劳动力。我国在机械化农场方面做了大量研究和实践:新疆作为中国一大粮仓,新疆建设兵团在九十年代中旬,就已经启动了包括选种、播种灌溉、施肥、管理、收割在内的精准农业技术的研发。发展至今,新疆建设兵团逐渐完善了信息监测、智能决策施肥、灾害预测、信息处理与指挥系统等技术。新疆在棉花精准种植技术方面位居全国前列,节水灌溉面积已达到总面积的 90%,超过 30%的种植面积采用智能平衡施肥技术 [35];黑龙江拥有全国机械化程度最高的农场群——黑龙江农垦,该农场在 1996 年以后开始对精准农业技术装备进行研究。先后承担了“精准农业应用技术与示范”、“智能化农业信息技术应用示范工程(CIMS)——黑龙江垦区示范区”、“大规模现代化农业数字化技术应用研究与开发”、“精准农业技术与装备”等国家项目与课题研究,研究的重点主要集中在信息处理软件开发、智能化农业决策系统、信息遥感监测、作物生长模拟模型等技术。至今,该农垦区机械总动力达 433 万 kW,每公顷拥有 2 kW,综合机械化程度超过 92%,田间管理已经实现飞机作业[36]。

#### 4. 数字农业系统技术路线

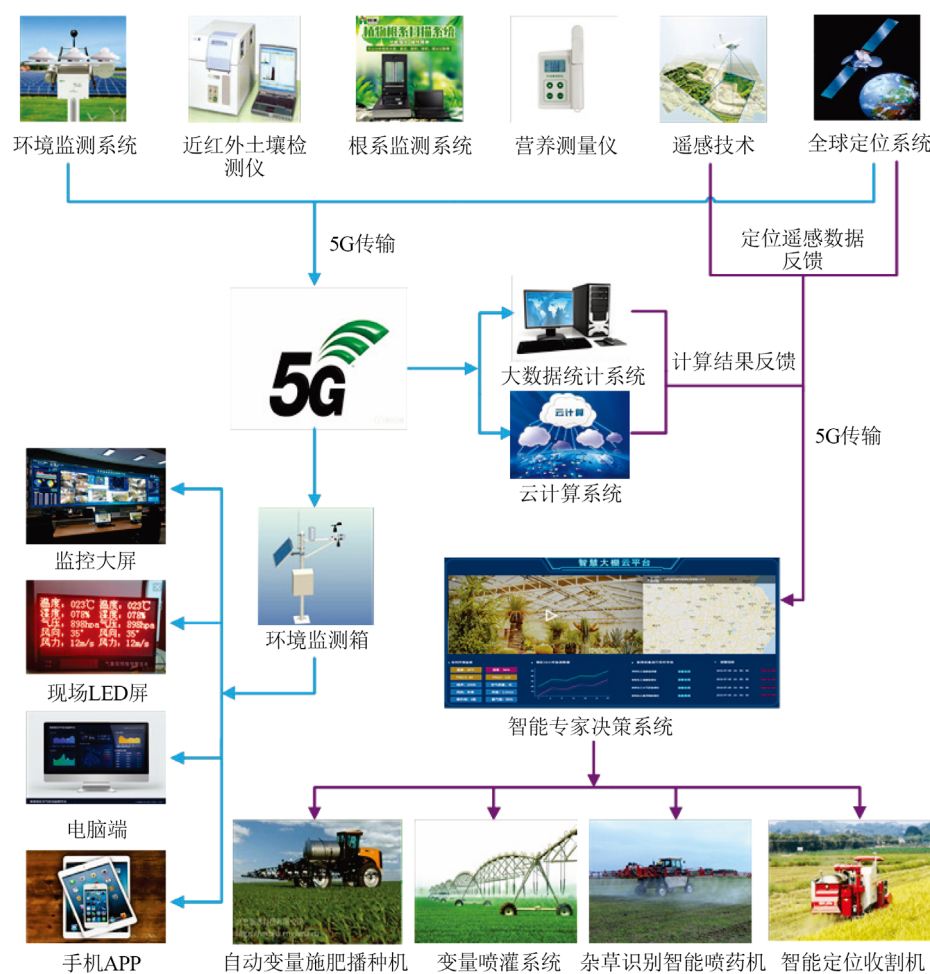


Figure 5. The schematic diagram of intelligent farm or facility agriculture

图 5. 智能化农场或设施农业原理图



根据以上研究现状分析, 笔者总结出智能化农场或设施农业技术路线, 如图 5 所示, 数字化农场或温室工作原理是通过遥感监测植物实时的生长环境信息, 传感器可检测土壤水分、土壤温度、空气湿度、空气温度、光照强度等参数。通过 5G 传输将数据传给气象站进行整合, 储存, 以直观的图表和曲线的方式显示给用户。监测数据结合卫星定位实时数据传输到大数据平台进行分析、处理、计算, 并根据以上各类信息的反馈对农业园区进行自动灌溉、自动降温、自动卷膜、自动进行液化肥料施肥、自动喷药等自动控制。

基于 5G 及大数据分析技术, 实现农业生产数字化管控, 是农业发展管理模式的新趋势。实现农业生产数字化管理的基础是构建大数据平台, 明确农作物生长过程中对环境指标的要求以及养分、水分的供需关系。大数据分析平台的构建, 首先需要对农作物的各项生长指标进行汇总和建模分析, 评估其不同生长阶段对土壤、水肥、气候状况需求以及病虫害等对农作物健康生长的影响, 构建大数据模型; 同时, 通过图像识别技术等实现对农作物生长状况的实时动态检测; 另外, 通过温湿度传感器、土壤水肥养分检测装置等对作物生长土壤环境以及外部生态环境进行检测、分析。基于上述三方面数据, 可以构建大数据信息分析平台, 综合分析农作物生长不同阶段对外部生态环境以及土壤水肥的需求, 通过信息控制平台智能化控制水肥供应系统以及环境调节系统, 实施按需供给, 实现农业管理全流程的自动化、数字化和智能化。

## 5. 总结与展望

传统农业主要采用粗放式管理模式, 需要大量的人员投入, 且效率低下, 化肥和农药使用量大, 并不能够满足现代农业低成本、精细化管理要求。同时, 农业生产是复杂生产过程, 涉及水肥供应(时间节点、供应量等)、生长环境调控(温度、湿度、光照等)以及病虫害控制等。5G 信号传输技术、大数据分析技术以及图像识别技术等计算机网络技术的发展, 为数字农业发展提供了新的驱动力, 将新一代的信息技术和农业深入的融合, 也是国家创新驱动的需求。发展数字农业可形成通过科技技术对农业生产对象进行针对性的精细化管理工作, 有助于农作物高效、绿色生长的同时, 可最大限度减少资源消耗、保持生态环境。例如, 通过云计算、大数据技术更加详细地掌握天气环境变化、市场供需信息、高新农业技术等, 进而科学、合理的制定农作物整体种植计划, 同时对由客观因素造成的病虫害、自然灾害等进行有效预防与规避, 提升整体种植效益。

数字农业的发展有助于农业生产过程中, 资源利用合理化, 生产过程绿色化, 产业循环高效化, 大大改善农作物生长环境, 提高生产效率, 合理利用资源, 降低农业生产成本, 促进环境友好发展, 循环利用发展, 低碳绿色发展, 达到增收致富的目的。数字农业的研究是当今农业的重点, 也是未来农业技术研究发展的必经之路。

## 基金项目

甘肃省科技小巨人企业培育计划(17CX1JH093), 甘肃省高效节水灌溉设备工程技术研究中心支持项目。

## 参考文献

- [1] 周国民. 数字农业综述[J]. 农业图书情报学刊, 2004, 15(3): 5-6+17.
- [2] 毛竞, 关欣, 李巧云. 我国数字农业发展现状与发展趋势[J]. 广东农业科学, 2007(12): 126-128.
- [3] 郑可锋, 祝利莉, 胡为群, 许松, 李志凌, 叶少挺, 朱旭斌. 数字农业技术研究进展[J]. 浙江农业学报, 2005, 17(3): 170-176.
- [4] 贾敬敦. 中国数字农业与农村信息化发展战略研讨会文集[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 9.

- [5] 马君, 刘强, 孙先明. 数字农业现状及其工程技术发展方向[J]. 农机使用与维修, 2019(12): 1-3.
- [6] 刘军, 霍利民, 任振辉, 杜占芬. 中国农业的发展与精确农业技术体系[J]. 河北农业大学学报(农林教育版), 2002(4): 83-84+90.
- [7] Shibusawa, S., Hirako, S., Otomo, A., et al. (2000) Real-Time Soil Spectrophotometer for *In-Situ* Underground Sensing. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, **62**, 79-86.
- [8] 李民赞. 基于可见光光谱分析的土壤参数分析(英文) [J]. 农业工程学报, 2003, 19(5): 36-41.
- [9] 于飞健, 闵顺耕, 巨晓棠, 张福锁. 近红外光谱法分析土壤中的有机质和氮素[J]. 分析试验室, 2002, 21(3): 49-51.
- [10] He, Y., Chen, Y.J. and Wu, Y.P. (2008) Study on Intelligent Measurement and Analysis System of Soil Electric Conductivity. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America*, **39**, 76-79.
- [11] He, Y., Song, H.Y., García, A., et al. (2006) Prediction of Soil Macronutrients Content Using near Infrared Spectroscopy. *Proceedings ICO20: Remote Sensing and Infrared Devices and Systems*, Volume 6031, Article ID: 603117.
- [12] 鲍一丹, 何勇, 方慧, Annia Garcia Pereira. 土壤的光谱特征及氮含量的预测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(1): 62-65.
- [13] 姚建松, 刘飞. 数字农业田间信息获取技术研究现状和发展趋势[J]. 农机化研究, 2009, 31(8): 215-220.
- [14] 吴迪, 冯雷, 张传清, 何勇. 基于可见/近红外光谱技术的番茄叶片灰霉病检测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(11): 2208-2211.
- [15] 朱登胜, 潘家志, 何勇. 基于光谱和神经网络模型的作物与杂草识别方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(5): 1102-1106.
- [16] 李保国, 刘忠. 数字农业与农业信息化发展的现状与趋势[C]//国家农业信息化工程技术中心. 2005 年中国数字农业与农村信息化学术研究研讨会论文集. 北京: 中国数字农业与农村信息化学术研究研讨会, 2005: 14-18.
- [17] 宇振荣. 作物生长模拟模型研究和应用[J]. 生态学杂志, 1994(1): 69-73.
- [18] 严定春, 诸叶平, 李世娟, 于向鸿. 数字化玉米种植管理系统研究[J]. 农业网络信息, 2006(11): 10-12.
- [19] 孙世民, 丁健民, 李永发. 专家系统(ES)及其在农业上的应用[J]. 山东农业大学学报, 1998(2): 138-144.
- [20] 赵春江, 杨刚. 农业专家系统现状与未来[J]. 计算机农业应用, 1992(2): 1-7.
- [21] 诸德辉, 李鸿祥, 赵春江, 杨宝祝. 小麦管理专家系统的研究开发及应用[J]. 作物杂志, 1995(6): 1-3.
- [22] 牛贞福, 杨信廷, 杨宝祝, 寿森炎. 多媒体技术在蔬菜病虫害防治专家系统上的应用[J]. 计算机与农业. 综合版, 2003(5): 8-10.
- [23] 张小超, 胡小安, 任继平, 毛文华. 智能化农业机械装备的研究进展[C]//中国农业机械学会. 农业机械化与新农村建设——中国农业机械学会 2006 年学术年会论文集(下册). 镇江: 中国农业机械学会 2006 年学术年会, 2006: 815-819.
- [24] 李寒松, 贾振超, 张锋, 等. 国内外水肥一体化技术发展现状与趋势[J]. 农业装备与车辆工程, 2018, 56(6): 13-16.
- [25] Liang, H., Li, F. and Nong, M. (2013) Effects of Alternate Partial Root-Zone Irrigation on Yield and Water Use of Sticky Maize with Fertigation. *Agricultural Water Management*, **116**, 242-247. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.08.003>
- [26] Abalos, D., Sanchez-Martin, L., Garcia-Torres, L., et al. (2014) Management of Irrigation Frequency and Nitrogen Fertilization to Mitigate GHG and NO Emissions from Drip-Fertigated Crops. *Science of the Total Environment*, **490**, 880-888. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.065>
- [27] OppongDanso, E., Abenney-Mickson, S., Sabi, E.B., et al. (2015) Effect of Different Fertilization and Irrigation Methods on Nitrogen Uptake, Intercepted Radiation and Yield of Okra (*Abelmoschus esculentum* L.) Grown in the Keta Sand Spit of Southeast Ghana. *Agricultural Water Management*, **147**, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.029>
- [28] Al-Qurashi, A.D., Awad, M.A. and Ismail, S.M. (2015) Growth, Yield, Fruit Quality and Nutrient Uptake of Tissue Culture-Regenerated “Barhee” Date Palms Grown in a Newly Established Orchard as Affected by NPK Fertigation. *Scientia Horticulturae*, **184**, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.034>
- [29] Li, Y., Wang, L., Xue, X., et al. (2017) Comparison of Drip Fertigation and Negative Pressure Fertigation on Soil Water Dynamics and Water Use Efficiency of Greenhouse Tomato Grown in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, **184**, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.018>
- [30] 袁洪波, 程曼, 庞树杰, 等. 日光温室水肥一体灌溉循环系统构建及性能试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12):

72-78.

- [31] 谭华, 郑德波, 邹成林, 等. 水肥一体膜下滴灌对玉米产量与氮素利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3): 18-23.
- [32] 霍昭光, 孙志浩, 邢雪霞, 等. 北方烟区水肥一体化对烤烟生长、根系形态、生理及光合特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(9): 1317-1325.
- [33] 张俊宁. 精准施肥技术现状及挑战[J]. 高科技与产业化, 2015(7): 64-68.
- [34] 徐莉莎, 彭家敏, 周美蓉, 瞿少成. 智能农业滴灌系统[J]. 电脑知识与技术, 2018, 14(14): 193-196.
- [35] 甘阳英, 夏宁. 中国各省市数字农业发展现状、问题与建议[J]. 中国农学通报, 2009, 25(22): 344-347.
- [36] 张金良, 宋兆杰. 黑龙江垦区数字农业发展思考[J]. 现代化农业, 2007(12): 36-38.