

中国农业信息技术发展回顾及展望

赵春江, 杨信廷, 李斌, 李明, 闫华

(北京农业信息技术研究中心/国家农业信息化工程技术研究中心/
农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100097)

摘要: 农业信息技术对引领和支撑现代农业发展发挥了重要的作用。文章介绍了农业信息技术的内涵, 回顾了国内外农业信息技术发展的4个主要发展, 分析了中国农业信息技术发展存在的问题和面临的形势, 提出了农业信息技术未来发展重点与发展建议。旨在为促进国内农业信息技术发展提供参考。

关键词: 农业信息技术; 农业物联网; 数字农业; 精准农业; 智能农业

中图分类号: S126, TP29

文献标志码: A

The Retrospect and Prospect of Agricultural Information Technology in China

Zhao Chunjiang, Yang Xinting, Li Bing, Li Ming, Yan Hua

(Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture/

National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture/

Key Laboratory of Agri-informatics, Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: Agricultural information technology has played an important role in guiding and supporting the development of modern agriculture. This paper interprets the connotation of agricultural information technology, reviews the four major stage of agricultural information technology at home and abroad, analyzes the problems and the situation faced in the development of agricultural information technology in China, and puts forward the key points and suggestions for the future development of agricultural information technology. The purpose is to provide reference agricultural information technology in China.

Key words: Agriculture Information Technology; the Internet of Things in Agriculture; Digital Agriculture; Precision Agriculture; Intelligent Agriculture

0 引言

自1946年世界上第一台电子计算机“电子数字积分计算机”(ENIAC, Electronic Numerical And Calculator)在美国宾夕法尼亚大学问世以来,人类社会开始进入信息时代。信息技术的发展给各行各业提供了前所未有的发展机遇和挑战。信息科学与农业科学的相互渗透也深刻影响着农业科技的发展,催生了一门新兴交叉学科即农业信息技术。

农业信息技术的内涵随着信息科学技术的发展、农业科学技术的发展和农业产业的发展而不断更新,广义上可以定义为基于计算机技术、网络与通信技术、电子信息技术等现代农业信息技术研究开发的,应用于农业生产、经营、管理和服务等各领域的新技术、新

产品。

回顾美国、欧洲、日本、韩国等发达国家农业信息技术的发展,大致经历了4个阶段。第一阶段是20世纪50—60年代开展的,以科学统计计算为主的农业计算机应用;第二阶段是20世纪70—80年代开展的数据处理、模拟模型和知识处理的研究,典型代表技术为农业专家系统;第三阶段是20世纪90年代—21世纪初以网络信息服务、3S[遥感技术(Remote Sensing, RS)、地理信息系统(Geography Information Systems, GIS)和全球定位系统(Global Positioning Systems, GPS)]技术、智能控制等应用为主的全面信息化时期,典型代表技术为精准农业技术;第四阶段是2008年以来物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术在农业领

第一作者简介: 赵春江,男,1964年出生,河北定兴人,研究员,博士,主要研究方向:农业智能信息系统与精准农业技术装备。通信地址:100097 北京市海淀区曙光花园中路11号 北京农科大厦A座1118室, E-mail: zhaocj@nercita.org.cn。

收稿日期: 2017-11-04, **修回日期:** 2017-11-29。

域的广泛应用,典型代表技术为农业物联网技术和农业机器人技术。世界农业发展和国内外信息技术实践经验表明,农业专家系统、精准作业技术与装备、农业机器人、农业大数据等信息技术和产品已经成为重要的农业投入品,能显著提高农业资源利用率、土地产出率、劳动生产率和生产经营管理水平。

站在新时代的起点,实施乡村振兴战略,加快推进农业农村现代化,仍然面临着谁来种地、怎样把地种好的重大问题,面临着质量效益不高和农业产业国际竞争力不强等严峻挑战。回顾过去,农业信息技术为引领和支撑现代农业发展提供了强有力的科技支撑,展望未来,新一代人工智能技术迅猛发展,智能农业技术已成为中国未来一段时期的发展重点。有鉴于此,笔者对中国农业信息技术的发展进行回顾和展望,与农业信息技术界的同行进行交流,以继续促进国内农业信息技术发展,加快建立信息化主导、生物技术引领、智能化生产、可持续发展的现代农业技术体系。

1 中国农业信息技术发展回顾

中国农业信息技术研究起步晚,但与世界农业信息技术发展相比,大致也经历了4个阶段。第一阶段为20世纪70年代末—80年代初,主要是以电子计算机作为工具和手段,开展农业科学统计计算、农业数据处理等农业计算应用,为农业信息技术的萌芽期(农业信息技术1.0时代);第二阶段为20世纪80—90年代,主要是以数据库建设和计算机软件开发为主,开展农业数字模型与模拟、农业专家系统和农业知识/信息处理等研究与应用,其中最具代表性和影响力的技术为农业专家系统,为农业信息技术的成长期(农业信息技术2.0时代);第三阶段为21世纪初—2010年前后,主要是以网站信息服务、计算机软件及电子产品开发为主,开展农业3S技术、农业知识/信息服务、大田精准农业、设施农业自动化控制等研究应用,其中最具代表性和影响力的技术为数字农业技术和精准农业技术,为农业信息技术的成熟期(农业信息技术3.0时代);第四阶段为2011年至今,主要表现为农业物联网、农业大数据和农业智能装备技术在农业领域的广泛应用,以及新一代农业人工智能技术的发展,可以称之为农业信息技术的4.0时代。

1.1 农业信息技术1.0阶段(1978—1985年左右)

1978年5月7日,《人民日报》发表题为《开展农业科研工作刻不容缓》的社论,指出“要积极开展原子能、遥感和电子计算机等新技术在农、林、牧、渔方面应用的研究,不断提高研究水平。”从而开启了中国农业信息技术发展的序幕。《江苏农业科技》1978年第5期发

表了题为《电子计算机与农业科学》的综述性文章,回顾和展望了电子计算机在农业育种数据处理分析、气象与病虫害预测预报、农业模拟试验、农产品品质快速测量、动物营养估计与遗传控制、大型温室与人工气候室环境控制,以及农业区划和情报检索等方面的应用,这是国内较早系统介绍和分析农业信息技术应用的文章。

此后,开封计算技术研究所的李莉^[1]利用计算机对农业试验数据进行了方差分析的验证工作,南京农学院刘正华^[2]利用计算机编制了测定计算遗传距离和聚类分析的程序。从1983年起,相关学者先后探索了利用电子计算机进行农业产量预测^[3]、农业数据管理与分析^[4]、农业气象预报^[4-5]、饲料配方计算^[6-7]、农业机械选配^[8]、农业生产地域类型划分^[9]、农业气候模拟^[10]、农业经济数据处理^[11]等方面的应用,计算机从此成为农业科研人员的重要工具。

1.2 农业信息技术2.0阶段(1985—2002年左右)

基层农业生产人员对农业领域专家的迫切需求以及国外农业专家系统的成功经验,使得国内学者开始关注农业专家系统的研究开发工作。中科院合肥智能机械研究所是国内较早开展农业专家系统开发的单位,研制的小麦施肥专家咨询系统^[12]在农业生产中发挥了重要的作用,此后国内学者陆续开发了生物育种^[13]、小麦赤霉病预报^[14]、水稻推荐施肥^[15]、小麦条锈病流行程度趋势预测^[16]、麦田一代粘虫测报^[17]、饲料配方^[18]、区域农业规划^[19]、稻纵卷叶螟管理^[20]、棉花管理^[21]、黄瓜病害诊断与防治^[22]、果树害虫识别及防治^[23]、冬小麦苗情诊断^[24]、池塘高产养殖设计^[25]、甜菜生产^[26]、小麦综合管理^[27]、鸡常见疾病诊断^[28]、奶牛线性外貌评定^[29]等一系列农业专家系统。1996—2002年国家“863”计划持续在全国开展以农业专家系统为核心的智能化农业信息技术应用示范工程建设,这段时间农业专家系统技术取得了2项重大突破,一是出现了开发农业专家系统的平台工具^[30-33],使农业技术人员不需要掌握软件开发知识就可以开发农业专家系统,加速了农业专家系统在不同地区、不同农业动植物种类中的开发应用;二是农业专家系统的运行环境实现了由单机版向网络版、移动终端版等多种环境的转变^[34-38],加大了农业专家系统的推广应用规模。在此基础上,农业专家系统技术先后在全国23个省级示范区大面积推广应用,取得了重大的社会效益,形成了中国特有的“电脑农业”,并于2003年12月获得世界信息首脑峰会大奖(World Summit Award)。

1.3 农业信息技术3.0阶段(1996—2010左右)

从1996年开始,继农业专家系统之后,有2个词可以作为农业信息技术的符号,一个是“Precision Agriculture”(精准农业),一个是“Digital Agriculture”(数字农业),代表了农业信息技术领域2个各有侧重点的技术方向,并一直沿用至今。

“Precision Agriculture”是20世纪80年代初期从发达国家开始逐步发展起来的以信息技术和智能农机为支撑的现代农业。关于“Precision Agriculture”,国内有3种翻译,即“精准农业”、“精确农业”和“精细农业”。1996年,《科技潮》杂志介绍了国外的精确农业技术,随后多名学者^[39-43]相继撰文介绍或展望精准农业技术,1998年7月中国农业大学成立精细农业研究中心,开始布局精准农业技术研究。1999年,原国家计委正式批准北京市建设国家精准农业研究示范基地,同年,北京市率先成立农业信息技术专业研发机构——北京农业信息技术研究中心。从1999年开始,国内学者^[44-46]开始探索精准农业技术体系的研究与实践,GPS技术^[47-49]、GIS技术^[50]、遥感技术^[51-52]等逐步应用于农业领域,到2003年,初步形成了以变量施肥技术^[50,53-55]、精准灌溉技术^[56]、信息获取技术^[57]、信息处理与决策系统^[58-59]等为主的中国精准农业技术体系。2003年,由北京农业信息技术研究中心(国家农业信息化工程技术研究中心)建设的国家精准农业研究示范基地(位于北京市昌平区小汤山镇)也初步建成,奠定了国内实施精准农业的技术和实践基础。

“Digital Agriculture”一词来源于“Digital Earth”(数字地球)。美国前副总统戈尔1998年1月在加利福尼亚科学中心开幕典礼上发表了题为《数字地球:认识二十一世纪我们所居住的星球》的演说,首次提出“数字地球”概念。前期国内对于“数字农业”的认识^[60-61],与对精准农业的认识基本相同。2001年,南京农业大学的高亮之^[62]较早、较系统阐述了“数字农业”的内涵和技术体系,提出了数字农业是“农业过程的全面数字化(包括各种因素的数字化和各种过程的数字化)”的观点,认为农业模型是数字农业的科学基础与核心技术。2003年3月,科技部在北京召开了“数字农业与农村信息化”研讨会,会议内容涵盖了“精准农业”、“虚拟农业”、“智能农业”和“网络农业”等核心技术内容。

“十一五”期间(2006—2010),科技部先后在“863”计划现代农业领域中设立了“数字农业技术专题”和“精准农业技术与装备”重大项目,在国家科技支撑计划中先后启动了“现代农村信息化关键技术研究”与“示范”重大项目和“西部民族地区电子商务平台关键技术

研究与应用”、“村镇数字化管理关键技术研究与应用”等一批重点项目,国内相关单位重点围绕农业生物-环境信息获取与解析技术、农业过程数字模型与系统仿真技术、虚拟农业与数字化设计技术、农业数字化管理和控制、精准农业共性关键技术及产品开发、精准农业集成平台与示范、农业生产过程信息化、农产品流通信息化、农村综合信息服务体系、省域和镇域农村信息服务系统开发与技术集成示范等开展了相关研究工作。

截至2010年,国内数字农业关键技术研究取得重大突破,构建和完善了小麦^[63-64]、水稻^[65]、玉米^[66]以及主要温室作物生长模拟模型^[67]和生产管理决策系统^[68];构建了奶牛^[69]、生猪^[70]、水产^[71-72]等动物精准养殖技术体系;开发了粮油^[73]、畜禽^[74-75]、水产^[76]、果蔬^[77]等主要农产品质量跟踪与溯源系统。精准农业技术和装备研究取得重大技术创新,突破了车载土壤水分与压实复合传感器^[78]、光纤式农田土壤有机质含量检测^[79]等一批重大关键技术,研制了嵌入式农机机载控制终端、辅助作业导航指示器^[80]等配套产品,解决了国内目前小型联合收割机实现自动化测产的技术难题;研制的智能化“温室娃娃”^[81],实现了复杂条件下温室环境的智能化管理。农村信息化关键技术研究取得重要进展,开发了专业化、个性化的智能农业搜索引擎^[82-83],研制了面向种植和养殖生产全程、农产品流通^[84]、县域农业资源管理与决策、农村社区政务管理^[85]和农民培训等领域的农村软硬件技术产品,在北京、上海、浙江、山东、宁夏等地区开展了农村信息化技术的典型应用示范并取得良好效果。

1.4 农业信息技术4.0阶段(2011年至今)

2008年11月,IBM公司提出“智慧地球”的概念并在2009年1月得到时任美国总统奥巴马的积极回应,2009年8月,时任中国国务院总理温家宝在无锡视察时指出:“要在激烈的国际竞争中,迅速建立中国的传感信息中心或‘感知中国’中心”。以此为起点,中国农业信息技术进入了以农业物联网技术为关键词的全面开发应用阶段,相比前3个阶段农业信息技术的研究主体主要是高校和科研机构,这一阶段最大的变化在于企业尤其是从事计算机和信息通讯技术的企业开始向农业信息技术领域进军。

从2011年起,科技部设立了“农村与农业信息化科技发展”重点专项,部署了农业物联网技术、数字农业技术、农业精准作业技术、现代农业信息化关键技术集成与示范、农村信息化共性关键技术集成与应用、国家农村信息化示范省建设等7项重点任务,并在国家“863”计划和国家科技支撑计划中支持了9个项目(表1)。

表1 专项项目支持情况表

序号	启动实施的项目	启动时间及项目类型
1	农业物联网与食品质量安全控制体系研究	2011年“863”计划
2	现代农业智能感知技术与产品	2013年“863”计划
3	作物数字化技术研究	2013年“863”计划
4	数字化森林资源监测技术研究	2012年“863”计划
5	农业精准作业技术与装备研究	2012年“863”计划
6	农村农业信息化关键技术集成与示范	2011年科技支撑计划
7	特色区域农村信息化集成技术与应用	2014年科技支撑计划
8	国家农村信息综合服务平台构建与应用	2013年科技支撑计划
9	农村物联网综合信息服务科技工程	2012年科技支撑计划

专项实施以来,突破了农业生产环境感知^[86]、农产品加工流通过程质量安全信息感知^[87]、食品安全云架构平台^[88]等关键技术产品,构建了面向生产、流通全程的食品质量安全农业物联网架构体系。研究了大田作物精准监测^[89-90]、轻简农田作业机械自动导航^[91]、规模化旱/水田环境精准栽植^[92]、肥药精准施用^[93-94]等农业精准作业关键技术和装备。研制了植物养分、叶面积冠层信息传感^[95]、动物群体发热疫情监测、农产品产地包装防伪^[96]、全自动果蔬育苗与嫁接^[97]等一批新产品。研发了基于光学检测机理的水体浊度传感器、智能氨氮复合传感器、水产养殖水体电导率传感器、基于双探测器的水体叶绿素浓度在线检测装置^[98]。开发完善了农村农业信息资源整合与共享服务工具^[99]、基于情境感知与个性化智能推送技术的农业信息资源多网发布系统^[100]、农业资源整合业务流引擎,研发了农林植物及设施环境三维建模软件^[101]等系列产品。建立了北京、山东、湖南、广东、重庆、浙江、安徽等13个国家农村信息化示范省市。促进了国内农业信息技术领域的大面积应用推广。

2 国内农业信息技术发展存在的问题与形势

2.1 国内农业信息技术发展存在的问题

经过近30年的发展,国内农业信息技术已初步形成了包括农业大数据与云计算、农业传感器与物联网、动植物生命与环境信息感知、多尺度农业遥感信息融合、动植物生长数字化模拟与设计、农产品质量安全无损检测、农业飞行器智能控制与信息获取、农业机器人智能识别与控制、农业精准作业技术与装备、全自动智能化动植物工厂等技术的智能化农业技术体系。但与美国、日本、欧盟等发达国家或地区相比,在技术创新能力、产业化水平和体制机制等方面均存在较大差距。

2.1.1 核心关键技术多处于跟踪阶段 根据科技部《“十三五”数字农业领域国内外技术竞争综合研究报告》,

中国除“农业传感器与物联网技术”和“动植物生命与环境信息感知技术”达到了与国际并行的水平外,绝大多数的智能农业关键技术处于跟踪阶段,总体发展水平与国际领先水平平均相差12年。中国在基础研究和领先优势技术均不及主要发达国家,且基础研究成果向优势技术转化的能力较弱。

2.1.2 产业化水平总体落后 与领先国家相比,各项关键技术的研发仍处于实验室、中试阶段,而发达国家的相关技术已经进入了产业化阶段。农业大数据、物联网等新兴技术在国内的应用研究相比于其他技术而言起步更晚,还基本处于实验室阶段,而其他技术正在逐步向中试阶段迈进。

2.1.3 科技研发投入机制亟待完善 对农业信息技术的研发投入特别是企业的研发投入总体偏少。“十二五”期间,国内对整个农业信息技术研发的投入不足10亿元人民币,而仅在2013年,孟山都公司就斥资9.3亿美元收购保险公司Climate,期望以大数据技术再造“下一个农业时代”;欧盟则在2011—2013年间,每年新增2亿欧元用于提高物联网技术研发水平,同时设置3亿欧元专款用于建设物联网产业中的相关项目。

2.2 国内农业信息技术发展面临的形势

2016年3月,谷歌(Google)旗下DeepMind公司开发的阿尔法围棋(AlphaGo)击败韩国棋手李世石,全球掀起了新一轮人工智能浪潮。国际上发达国家高度重视人工智能技术与农业领域的融合,美国卡内基梅隆大学建立了农业机器人国家实验室,提出智能农业研究计划,预计到2020年,美国平均每个农场将拥有50台连接物联网的设备。日本2014年启动实施“战略创新/创造计划”(Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program, SIP),并于2015年启动了基于智能机械+IT的“下一代农林水产业创造技术”。英国国家精准农业研究中心在欧盟FP7支持下,正实施Future

Farm 智能农业项目,研发除草机器人,替代化学农药。加拿大联邦政府预测与策划组织在其发布的《MetaScan 3: 新兴技术与相关信息图》报告中指出,土壤与作物感应器(传感器)、家畜生物识别技术、变速收割控制、农业机器人、机械化农场网络、封闭式生态系统、垂直(工厂化)农业等技术将在未来5~10年进入生产实际,改变传统农业。利用下一代人工智能技术改变传统农业,已成为当今世界现代农业科技发展的大趋势。

2017年7月,国务院发布《新一代人工智能发展规划》,规划中部署了“智能农业”产业升级重大任务,指出要研制农业智能传感与控制系统、智能化农业装备、农机田间作业自主系统等。建立完善天空地一体化的智能农业信息遥感监测网络。建立典型农业大数据智能决策分析系统,开展智能农场、智能化植物工厂、智能牧场、智能渔场、智能果园、农产品加工智能车间、农产品绿色智能供应链等集成应用示范。为未来一段时间农业信息技术的发展指明了方向。

3 农业新技术未来发展重点与建议

面向世界农业信息技术发展前沿,面向国内现代农业发展的重大需求,未来一段时间,农业信息技术的发展应以提高农业劳动生产率、资源利用率和土地产出率,促进农业发展方式转变为目标,加强人工智能技术与农业领域融合发展的基础理论突破、关键技术研究、重大产品创制、标准规范制定和典型应用示范,建立以“信息感知、定量决策、智能控制、精准投入、个性服务”为特征的农业智能生产技术体系、农业知识智能服务体系 and 智能农业产业体系,支撑农业生产经营方式实现“电脑替代人脑”、“机器替代人力”、“自主可控替代技术进口”3个转变,全面推进中国农业现代化进程。

3.1 智能农业关键技术研发

针对农业“非结构化复杂农田作业环境与作业对象的生物特性”等特点,研究智能农业总体技术、理论方法、核心技术和软硬件工具,构建智能农业应用的理论方法和技术架构体系。

3.2 智能农业重大产品创制

面向现代农业产业发展和智能农业产业培育,创制并熟化一批农业智能感知、智能控制、自主作业、智能服务等智能农业重大技术产品,培育形成产业链条完整、产业集群度高的智能农业产业。

3.3 智能农业技术集成应用

面向智能农业生产价值链,全面推进人工智能技术与农业深度跨界融合,建立高可控智能化植物工厂、

智能农场、智能牧场、智能渔场、智能果园、农业装备智能工厂、农产品加工智能车间和农产品绿色智能供应链等技术集成和应用模式,构建高效能、高效率、高效益的全新生产方式,保障农业生产安全,推进中国农业现代化进程。

3.4 农业知识智能服务工程

重点面向农村地区农民和新型农业经营主体精准化、个性化主动服务的重大需求,构建面向农业生产、农民生活、农村生态、农村商务和基层政务等应用领域全过程、全环节的农业知识智能服务平台,提供高效便捷、简明直观、双向互动、视觉与听觉相结合的农业知识主动服务。

参考文献

- [1] 李莉.一个对农业实验数据进行方差分析的计算机程序[J].河南农林科技,1981(9):38-40.
- [2] 刘正华.微型电子计算机在我院农业科学研究中已初步应用[J].南京农业大学学报,1982(2):126.
- [3] 张正铀,区进明,甘虹,等.利用电子计算机预报农业产量[J].广西科学院学报,1983(1):100-102.
- [4] 王遗宝.微型计算机在农业上的应用[J].上海农业科技,1983(5):19-20.
- [5] 杨培初.“气象为农业服务中的计算机应用开发研究”取得初步进展[J].浙江气象科技,1984(4):73.
- [6] 高冰飞.应用微型计算机筛选饲料配方程序在我省农业上首次通过鉴定[J].四川畜牧兽医,1984(4):57.
- [7] 于凤歧.电子计算机技术在农业上的应用(二)——成套饲料配方自动计算程序[J].新疆农垦科技,1984(6):51-52.
- [8] 金炯官,金锡禧.应用微型电子计算机合理选配农业机械的基本方法[J].延边农学院学报,1984(1):83-89.
- [9] 张步艰,张学群.电子计算机在农业生产地域类型划分上的应用[J].经济地理,1985(2):123-128.
- [10] 高亮之,Hannaway D B.苜蓿生产的农业气候计算机模拟模式—ALFAMOD[J].江苏农业学报,1985(2):1-11.
- [11] 周义桃,路则钦,胡燕.计算机在农业经济数据处理上的应用[J].农业网络信息,1986:20-27.
- [12] 熊范纶,郭霖,吴文荣.砂僵黑土小麦施肥计算机专家咨询系统[J].信息与控制,1987(2):7-11.
- [13] 王申康.生物遗传育种专家系统[J].信息与控制,1988(3):19-23.
- [14] 姚益平,林净荷,朱睦均.小麦赤霉病预报专家系统建立和应用[J].浙江气象科技,1988(4):34-37.
- [15] 金安世,陈秋,孙芙英,等.水稻推荐施肥专家咨询系统的研究[J].辽宁农业科学,1990(1):4-8.
- [16] 肖长林,曾士迈.小麦条锈病流行程度趋势预测专家系统雏型[J].北京农业大学学报,1990(S1):126-132.
- [17] 程登发.麦田一代粘虫测报专家系统研究[A].北京昆虫学会.北京昆虫学会成立四十周年学术讨论会论文摘要汇编[C].北京昆虫学会,1990:2.
- [18] 杨剑霄.《饲料配方专家系统》在西安通过技术鉴定[J].粮食加工,1990(4):16.

- [19] 党延忠.专家知识在区域农业规划决策支持系统中的组织与应用[J].系统工程,1991(4):67-72.
- [20] 胡全胜,徐瑞琳,王鼎元,等.稻纵卷叶螟管理专家系统[J].安徽农学院学报,1991(3):227-233.
- [21] 郭向东,肖荧南,陈端生.棉花管理专家系统的设计[J].农业工程学报,1991(2):66-71.
- [22] 宋述尧,张大克,王增辉,等.大棚黄瓜病害诊断与防治专家知识系统的研究[J].吉林农业科学,1991(1):57-61.
- [23] 李元觉.果树害虫识别及防治专家系统[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,1991(3):90-93.
- [24] 陶炳炎,张建华.冬小麦苗情诊断专家系统(WWSDES)[J].南京气象学院学报,1992(3):396-405.
- [25] 李小福.池塘高产养殖设计专家咨询系统[A].东北工学院,中国科学院沈阳自动化研究所,中国科学院沈阳计算技术研究所,辽宁省信息中心.第十届全国数据库学术会议论文集[C].1992:5.
- [26] 高华援,李今松,刘墨祥.农业专家系统及其在甜菜中的应用[J].吉林农业大学学报,1993(S1):208-210.
- [27] 赵春江.一个基于模型的小麦管理专家系统(ESWCM)[A].中国园艺学会.第一届全国青年作物栽培作物生理学术会文集[C].中国园艺学会,1993:7.
- [28] 陆昌华,李国梁,王启明,等.鸡常见疾病专家系统的研究[J].计算机农业应用,1994(2):10-13.
- [29] 杨印生,张德骏.奶牛线性外貌评定专家系统的设计[J].农业工程学报,1995(2):32-36.
- [30] 周桂红,郑磊,黄丽华,等.农业专家系统生成工具的设计与实现[J].农业工程学报,1999(3):53-59.
- [31] 涂运华,王东辉,赵春江.基于 Windows CE 的 HPC/PDA 农业专家系统开发平台的研究与开发[J].高技术通讯,2000(10):28-31.
- [32] 淮晓永,熊范纶.一个智能型模糊专家系统开发工具——IFEST[J].模式识别与人工智能,2000,13(4):456-461.
- [33] 杨宝祝,赵春江,孙想,等.节水灌溉专家决策系统的研究与应用[J].节水灌溉,2002(2):17-19,23.
- [34] 杨静,杨盘洪.面向 Internet/Intranet 的山西省农业专家系统研究[J].太原理工大学学报,2001(3):230-233.
- [35] 王纪华,杨信廷,王北洪,等.基于 HPC 开发平台的农业专家系统知识库的构建[J].计算机与农业,2001(4):13-16.
- [36] 欧阳建权,钱跃良,李锦涛,等.基于 PDA 的农业专家系统的知识表示与推理策略[J].计算机科学,2001(11):40-43.
- [37] 杨宝祝,赵春江,李爱平,等.网络化、构件化农业专家系统开发平台(PAID)的研究与应用[J].高技术通讯,2002(3):5-9.
- [38] 陈立平,王东辉,赵春江,等.掌上电脑农业专家系统开发平台的研究与开发[J].农业工程学报,2002(3):142-145.
- [39] 王立平.大有可为的精准农业[J].中国农技推广,1997(6):17.
- [40] 王立平.精准农业——一种新型农业[J].农业信息探索,1998(2):48.
- [41] 李道亮,傅泽田.精准农业推动农机精准化[J].华夏星火,1998(11):62.
- [42] 金继运.“精准农业”及其在中国的应用前景[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):1-7.
- [43] 邝朴生.精准农业技术体系及实施概述[J].河北农业大学学报,1998,21(4):81-85.
- [44] 汪懋华.“精准农业”发展与工程技术创新[J].农业工程学报,1999,15(1):1-8.
- [45] 邝朴生,刘刚,邝继双.精准农业技术体系初探[J].农业工程学报,1999,15(3):1-4.
- [46] 罗锡文,张泰岭,洪添胜.“精准农业”技术体系及其应用[J].农业机械学报,2001,32(2):103-106.
- [47] 张利民,罗锡文.差分 GPS 定位技术在土壤耕作阻力测量中的应用[J].农业工程学报,1999,15(4):35-39.
- [48] 刘刚.精准农业与 GPS 农业应用[J].全球定位系统,2000,25(2):12-16.
- [49] 马友华,转可钦,Ewald Schnug.全球卫星定位系统在现代农业中的运用[J].中国农学通报,2000,16(2):40-42.
- [50] 邝继双.变量施肥智能空间决策支持系统 VRF-ISDSS——地理信息系统 Arc View GIS 在精细农业中的应用[J].河北农业大学学报,2000,23(3):91-94,97.
- [51] 程一松,胡春胜.高光谱遥感在精准农业中的应用[J].农业系统科学与综合研究,2001,17(3):193-195.
- [52] 姜城,金继运,张维理.TM 遥感与地块内冬小麦产量变异[J].遥感技术与应用,2001,16(1):23-27.
- [53] 张书慧,马成林,于春玲.应用于精确农业变量施肥地理信息系统的开发研究[J].农业工程学报,2002,18(2):153-155.
- [54] 韩树丰,何勇.作物需氮的遥感测量及变量施肥技术[J].农业工程学报,2002,18(5):28-33.
- [55] 高祥照,胡克林,郭焱,等.土壤养分与作物产量的空间变异特征与精确施肥[J].中国农业科学,2002,35(6):660-666.
- [56] 刘根深.GPS 节水灌溉系统的研究[J].农业工程学报,2000,16(2):24-27.
- [57] 张小超,王一鸣,方宪法,等.精准农业的信息获取技术[J].农业机械学报,2002,33(6):125-128.
- [58] 何勇,方慧,冯雷.基于 GPS 和 GIS 的精细农业信息处理系统研究[J].农业工程学报,2002,18(1):145-149.
- [59] 陈立平,赵春江,刘学馨,等.精准农业智能决策支持平台的设计与实现[J].农业工程学报,2002,18(2):145-148.
- [60] 郑文铎.数字农业——21 世纪的新型农业模式[J].世界科学,2000(1):38-39.
- [61] 欧阳涛,李群.论数字农业对中国农业发展的影响[J].湖南农业大学学报:社会科学版,2000,1(4):1-3.
- [62] 高亮之.数字农业与中国农业发展[J].计算机与农业,2001(9):1-3.
- [63] 曹卫星,李存东,李旭,等.基于作物模型的专家系统预测和决策功能的结合[J].计算机与农业,1998(2):8-10.
- [64] 朱艳,曹卫星,王其猛,等.基于知识模型和生长模型的小麦管理决策支持系统[J].中国农业科学,2004(6):814-820.
- [65] 严定春,朱艳,曹卫星,等.水稻群体生长指标动态的知识模型研究[J].中国农业科学,2005(1):38-44.
- [66] 郭新宇,赵春江,肖伯祥,等.玉米三维重构及可视化系统的设计与实现[J].农业工程学报,2007(4):144-148.
- [67] 杜克明,孙忠富,王迎春,等.基于 Web 的温室作物模拟系统的实现[J].农业工程学报,2006(8):256-259.
- [68] 孙忠富,张志斌,全乘风,等.温室番茄生产实时在线辅助决策支持系统的研制[J].农业工程学报,2001(4):75-78.
- [69] 陈波,熊北海,邵长虹.奶牛日粮配方养分诊断系统的应用[J].中国畜牧兽医,2008(9):78-81.
- [70] 熊北海,傅润亭,林兆辉,等.生猪及其产品从农场到餐桌质量溯源解决方案——以天津市为例[J].中国农业科学,2009(1):230-237.

- [71] 李道亮,傅泽田,马莉,等.智能化水产养殖信息系统的设计与初步实现[J].农业工程学报,2000(4):135-138.
- [72] 王鹏祥,苗雷,汤涛林,等.水产养殖自动化系统的防雷保护技术[J].渔业现代化,2009(5):23-26.
- [73] 郑火国,刘世洪,孟泓,等.粮油产品质量安全可追溯系统构建[J].中国农业科学,2009(9):3243-3249.
- [74] 陆昌华.畜禽及畜禽产品的溯源体系构建[J].中国家禽,2009(14):5-9.
- [75] 熊本海,马月辉,罗清尧,等.中国畜禽品种资源网络数据库系统的构建[J].畜牧兽医学报,2005(1):43-47.
- [76] 杨信廷,孙传恒,钱建平,等.基于流程编码的水产养殖产品质量追溯系统的构建与实现[J].农业工程学报,2008(2):159-164.
- [77] 杨信廷,钱建平,孙传恒,等.蔬菜安全生产管理及质量追溯系统设计与实现[J].农业工程学报,2008(3):162-166.
- [78] 林剑辉,孙宇瑞,曾庆猛,等.土壤圆锥指数、水分与容重耦合模型的试验比较——I.模型性能的统计检验与容重预测[J].应用基础与工程科学学报,2008(6):779-786.
- [79] 朱兆龙,何东健,李敏通.一种土壤团聚体稳定性评估系统[J].中国科学:信息科学,2010(S1):152-159.
- [80] 孟志军,付卫强,刘卉,等.面向土地精细平整的车载三维地形测量系统设计与实现[J].农业工程学报,2009(S2):255-259.
- [81] 乔晓军,张云辉,王成.便携式设施环境智能语音监控器[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2007(3):23-27.
- [82] 牛方,曲甘国,辉徐勇,等.基于Web Service的农业信息协同服务系统[J].农业网络信息,2009(9):28-32,41.
- [83] 周鹏,吴华瑞,赵春江,等.基于Nutch农业搜索引擎的研究与设计[J].计算机工程与设计,2009(3):610-612.
- [84] 赵春江,李辉,吴华瑞.农产品电子标签防伪系统逆向攻击模型[J].农业工程学报,2009(S2):97-103.
- [85] 顾静秋,吴华瑞,朱华吉.小城镇移动电子政务系统的设计与实现[J].计算机工程与设计,2010(1):98-101,113.
- [86] 何勇,彭继宇,刘飞,等.基于光谱和成像技术的作物养分生理信息快速检测研究进展[J].农业工程学报,2015(3):174-189.
- [87] 杨信廷.农产品物流过程产品跟踪与品质预警技术研究与应用[A].2014冷链物流科技创新和食品安全高层论坛暨北京制冷学会第九届冷藏链高级研讨会[C].2014:1-9.
- [88] 郑立荣,王俊宇,韩伟力,等.农业物联网体系架构与应用服务支撑平台[J].科技资讯,2016(7):168-169.
- [89] 李民赞,郑立华,安晓飞,等.土壤成分与特性参数光谱快速检测方法 & 传感技术[J].农业机械学报,2013(3):73-87.
- [90] 孟志军,赵春江,刘卉,等.面向农田信息采集的数字照片空间标识索引方法[J].农业工程学报,2011(4):196-200.
- [91] 罗锡文.农田作业机械智能导航控制技术与产品研发[J].中国科技成果,2014(11):19-20.
- [92] 罗锡文,廖娟,胡炼,等.提高农业机械化水平促进农业可持续发展[J].农业工程学报,2016(1):1-11.
- [93] 王秀,马伟,张睿,等.设施蔬菜滴灌注肥控制系统水肥均匀性试验[J].中国蔬菜,2011(22):108-111.
- [94] 何雄奎.大力推进中国农业航空植保产业发展[J].农机科技推广,2015(3):10-11.
- [95] 何勇,赵春江,吴迪,等.作物-环境信息的快速获取技术与传感仪器[J].中国科学(信息科学),2010(1):1-20.
- [96] 周超,孙传恒,赵丽,等.农产品原产地防伪标识包装系统设计与应用[J].农业机械学报,2012,43(9):125-130,172.
- [97] 姜凯,王秀,张骞,等.茄果类蔬菜嫁接装置设计与试验[J].农机化研究,2015(4):131-135,139.
- [98] 刘杰,于合龙,李道亮,等.基于物联网的水产品质量安全过程控制方法与系统研究[J].广东农业科学,2013(12):193-196.
- [99] 李锋,吴华瑞,朱华吉,等.小规模农产品加工企业联合优化召回模型[J].农业机械学报,2012(11):157-162.
- [100] 朱华吉,吴华瑞,马少娟.空间目标增量时空变化分类模型[J].武汉大学学报:信息科学版,2013(3):339-343.
- [101] 肖伯祥,郭新宇,陆声链,等.植物三维形态虚拟仿真技术体系研究[J].应用基础与工程科学学报,2012(4):539-551.