

农业信息技术重大科学研究成果专著

WHEAT PRODUCTION  
DIGITAL TECHNOLOGY

# 小麦生产 数字化技术

马新明 张娟娟 席磊 等著



科学出版社

# 小麦生产数字化技术

马新明 张娟娟 席磊等著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统总结了1997年以来,作者围绕小麦生产数字化栽培、信息化管理的研究目标,形成的以小麦生产为对象,可进行精确种植、精确诊断和精确管理的数字农业系列研究成果,着重介绍了数字农业技术的基本原理、各关键技术的实现方法和生产应用等理论与方法。全书共分7章,主要包括数字农业的意义、作用和关键技术,农业专家系统原理与小麦专家系统;农业模型原理与小麦模型系统;地理信息系统原理与基于GIS的测土配方施肥和作物潜力预测;农业遥感原理与土壤养分、小麦长势、病虫害等的遥感监测;作物虚拟可视化原理以及小麦生长虚拟与可视化系统;最后对数字农业的发展趋势进行了展望。

本书是一部小麦栽培学与计算机科学等信息技术有机结合的专著,可作为作物学、计算机科学与技术以及与之相关学科的科技人员、教育工作者、农技推广人员、农业管理人员及各类研究生等的专用教材和参考读物。

### 图书在版编目(CIP)数据

小麦生产数字化技术/马新明等著. —北京:科学出版社,2014.8  
ISBN 978-7-03-041640-7

I. ①小… II. ①马… III. ①小麦—栽培技术—数字化 IV. ①S512.1-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第185656号

责任编辑:李秀伟 景艳霞/责任校对:郑金红  
责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年8月第一次印刷 印张:18 1/2 插页:6

字数:430 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 作者简介

马新明，男，1962年12月生，河南省许昌市人，河南农业大学教授、博士，博士生导师，国家新世纪百千万人才工程人选，中国耕作制度研究会副理事长，享受国务院政府特殊津贴，河南省社会与农业农村信息化专家委员会主任委员；主持完成国家自然科学基金、国家863计划等重大项目。先后获得省部级科技进步奖二等奖9项，发表学术论文120余篇，出版学术著作9部，完成本书第一章、第七章撰写和全书的设计定稿工作。

张娟娟，女，1979年1月生，河南省博爱县人，河南农业大学讲师、博士。主持和参加河南省科技攻关、国家公益性行业(农业)科研专项等项目；发表学术论文20余篇，完成本书第三章、第五章撰写和全书的定稿工作。

席磊，男，1972年1月生，河南省新乡市人，河南农业大学副教授、硕士，硕士生导师，河南省社会与农业农村信息化专家委员会委员；参加完成国家863计划、国家科技支撑计划等重大项目。先后获得省部级科技进步奖二等奖3项，发表学术论文50余篇，软件著作权9项，编著教材6部，完成本书第二章、第六章撰写工作。

张浩，男，1980年5月生，河南省邓州市人，河南农业大学副教授、硕士，中国计算机学会(CCF)会员，参加完成国家科技支撑计划等课题，获河南省科技进步奖二等奖1项，发表学术论文20余篇，软件著作权5项，参编教材2部，完成本书的第四章撰写工作。

乔红波，男，1978年10月生，河南省新野县人，河南农业大学副教授、博士，硕士生导师。中国植物保护学会病虫测报专业委员会委员，主持国家自然科学基金，参与完成“十一五”国家科技支撑计划、973计划等项目，发表学术论文30余篇，参编教材1部，参与完成本书的第五章撰写工作。

许鑫，男，1984年7月生，河南省邓州市人，河南农业大学讲师、硕士，“挑战杯”河南省大学生课外学术科技作品竞赛优秀指导老师；参与完成国家粮食丰产科技工程等项目。发表论文5篇，软件著作权2项，参与完成本书第四章撰写工作。

## 前 言

小麦是世界上最古老的栽培作物之一，全世界有 35%~40% 的人以小麦为主食。小麦在我国的种植面积和总产量仅次于水稻和玉米，位居第三位。长期以来，各级政府高度重视小麦生产，随着科学技术的不断进步，灌溉面积的扩大、化学肥料投入的增加、农业机械化的发展、小麦生产技术的改进，以及在研究小麦生长发育规律与外界环境条件的关系及其控制调节措施方面的大量工作，极大地促进了小麦生产和发展。2013 年，我国冬小麦播种面积达到 2244 万  $\text{hm}^2$ ，单产达  $5154\text{kg}/\text{hm}^2$ 。在河南省小麦生产中，优良品种培育、高产栽培管理、水肥优化调控、病虫害防治等多项关键技术获得突破，高产田、超高产田连续涌现，并在国内率先实现百亩高产攻关田小麦平均亩<sup>①</sup>产 751.9kg 的高产典型，为国家粮食实现十连增以及河南粮食总产量实现连续 6 年超千亿斤<sup>②</sup>、连续 8 年创新高和连续 11 年粮食增产等作出积极的贡献。但从生产过程分析，小麦的生产仍然存在播种量大、肥水投入多和耕作管理粗放等问题。在小麦(及其他作物)生产中，如何既能实现粮食增产，满足全国新增 1000 亿斤粮食的需求和河南省粮食生产核心区建设 10 年规划要求，又能减少肥水过量投入，实现农业生产的生态文明；既能实现专业单项技术的不断创新，满足粮食生产不同环节的技术需求，又能通过高新技术的创新，实现专业技术的不断集成，满足小麦生产精确种植、精确诊断和精确管理发展的需求，因此，数字农业技术被广泛地认识和应用，并成为提高粮食生产管理规范化、智能化、精确化水平的要求，也成为提升农业资源利用效率、农业劳动效率和经营管理效率，实现“四化同步”发展的根本需要。

20 世纪 70 年代以来，随着科学技术水平的不断提升与发展，以及改造传统农业、发展现代农业的迫切要求，广大科技人员先后开展农业专家系统、作物模拟模型、决策支持系统、“3S”技术、虚拟可视化技术等信息技术的研究，并取得了相应的成果。进入 21 世纪以来，以上述关键技术为支撑发展的数字农业作为现代农业最前沿的发展领域，已经成为农业信息化发展的核心，也是农业信息化的最高表现形式和根本发展方向。其重点是对农业生产全过程进行数字化的表达与设计、控制与管理。综合利用相关技术，开展不同时空条件下的农业资源环境监测、农业生产管理决策、优化肥水运筹、综合病虫害防治等农事活动，可以极大地提高区域农业系统动态预测和管理决策的科学性与定量化水平，对农业增产、农民增收和农业生态文明的发展具有重要意义。

自 1999 年以来，围绕数字农业技术研究，我们先后得到了国家 863 计划“智能化农业专家系统应用示范工程河南示范区”(1999—2002)和“基于过程模型的小麦、玉米数字化可视化”(2008—2010)课题；国家农业科技成果转化资金项目“小麦栽培模拟优化决策系统在河南的示范推广”(2003—2005)；河南省高校科技创新人才支持计划和优秀人才支持计划“农业生产模拟与决策系统耦合平台的研发与示范”(2001—2003)、“小麦生产

① 1 亩 $\approx 667\text{m}^2$ 。

② 1 斤=500g。

虚拟系统研究与应用”(2006—2008)和“河南省作物生产数字化模型研究与示范”(2004—2006);河南省科技成果转化项目“优质专用小麦专家决策机理及数字模型耦合系统的研发与示范”(2006—2008)和“县域作物测土配方精确施肥平台集成与应用”(2012—2014)等科研课题的资助。经过多年研究,在小麦生产的数字化技术方面取得了一定成果。在专家系统方面,围绕河南优质小麦生产,收集了优质专用小麦生产领域的相关知识,通过对知识的形式化与规则化整理,建立了相应的知识规则,利用农业专家系统开发工具建立“河南优质专用小麦专家系统”。在模拟模型方面,依据物质平衡原理和“作物-土壤-环境-技术”系统原则,结合江苏省农业科学院研发的小麦栽培模拟优化决策系统(WC-SODS),根据河南实际土壤、气候、品种和栽培技术条件等的差异,通过田间试验,构建了适于河南小麦生产的变量施肥模型,并实现了系统开发与应用。在地理信息系统应用方面,基于现有的空间信息标准和农业信息标准,建立了农田信息的元数据描述标准,运用空间数据引擎技术实现了农田信息的一体化存储,并开发了基于GIS的作物生产潜力评价系统,设计了小麦测土配方施肥系统的不同版本。在遥感技术方面,研究了我国中部、东部地区5种土壤类型的高光谱特性,构建了土壤主要养分信息的高光谱估测模型;研究了3种不同质地、5种施肥水平和3个河南主推小麦品种的高光谱特征,构建了小麦主要长势指标的光谱监测模型;研究了两个小麦病虫害(蚜虫和白粉病)的遥感监测,为应用遥感技术监测上述病虫害提供了可能。在虚拟可视化方面,以大田试验为基础,构建了小麦植株的拓扑结构、主要器官的发生模型和可视化模型,开发了小麦生长数字化可视化系统。上述的关键技术与方法已在小麦生产中得到验证和推广应用,取得了较好的效果,这些研究成果为小麦生产数字化的实现提供了一定的技术支持。

《小麦生产数字化技术》一书是马新明团队多年从事小麦生产和信息化技术研究的积累与成果的总结,力图系统地介绍数字农业的意义、关键技术及所取得的相关科研成果的认识与实现途径,为数字农业的发展提供参考。全书共分7章。第一章由马新明执笔,重点介绍数字农业意义与作用、关键技术与应用;第二章由席磊执笔,重点介绍农业专家系统原理与小麦专家系统研发;第三章由张娟娟执笔,重点介绍农业模型原理与小麦模型系统;第四章由张浩和许鑫执笔,重点介绍地理信息系统应用原理和基于GIS的小麦生产潜力评价与测土配方施肥系统;第五章由张娟娟和乔红波执笔,重点介绍农业遥感原理和土壤养分、小麦长势与病虫害等的遥感监测;第六章由席磊执笔,重点介绍虚拟作物原理与小麦生长虚拟和可视化系统;第七章由马新明执笔,重点对数字农业发展过程进行总结和展望。全书由马新明设计,由马新明和张娟娟统稿、定稿。

在本书的编著过程中,作者参阅大量文献,所指导的一些研究生参加了部分研究工作,他们所完成的学位论文为本书提供了良好的基础素材。本书的出版得到河南粮食作物协同创新中心以及河南农业大学农学院、信息与管理科学学院等单位的相关老师、同事们的大力帮助,在此特向他们表示衷心的感谢。

由于数字农业关键技术的研究尚不够系统和完善,加之作者水平和能力所限,不足之处,恳请广大读者、专家、学者批评指正。

作 者

2014年5月2日

# 目 录

## 前言

第一章 数字农业与应用	1
第一节 数字农业的作用	1
第二节 数字农业关键技术与应用	4
参考文献	15
第二章 小麦生产专家系统	17
第一节 农业专家系统基本原理	17
第二节 农业专家系统开发工具	20
第三节 小麦专家系统研发与应用	63
参考文献	72
第三章 小麦生产模型与系统	74
第一节 小麦模型原理与技术	74
第二节 小麦变量施肥模型与系统	86
第三节 小麦模型系统的应用	101
参考文献	108
第四章 地理信息系统在小麦生产中的应用	110
第一节 地理信息系统结构与技术	110
第二节 基于 GIS 的农田信息存储与管理	115
第三节 基于 GIS 的小麦生产潜力评价系统	125
第四节 基于 GIS 的小麦测土配方施肥系统	149
参考文献	169
第五章 小麦生产遥感监测	171
第一节 农业遥感原理	171
第二节 土壤养分遥感监测	178
第三节 小麦长势遥感监测	198
第四节 两个小麦病虫害遥感监测	222
参考文献	230
第六章 小麦生长虚拟与可视化	232
第一节 小麦虚拟可视化方法与技术	232
第二节 小麦植株拓扑结构发生过程模拟	234
第三节 小麦器官形态发生模拟	246
第四节 小麦器官几何造型设计	256
第五节 小麦生长数字化可视化系统	259

---

参考文献.....	277
<b>第七章 数字农业的发展与展望.....</b>	<b>279</b>
第一节 数字农业技术的发展过程.....	279
第二节 数字农业发展趋势.....	284
参考文献.....	286

**彩图**



# 第一章 数字农业与应用

21 世纪以来，数字农业已成为农业现代化最重要的发展领域之一，而如何实现农业产前、产中、产后全过程管理决策的信息化是全面实现数字农业亟待解决的问题。综合利用农业专家系统、作物模拟模型与决策支持系统、“3S”技术、虚拟农业技术等数字农业技术，开展不同时空条件下的农业资源环境监测、农业生产管理决策、优化肥水运筹、综合病虫害管理等农事活动，可以极大地提高区域农业系统动态预测和管理决策的科学性与量化水平，对农业增产、农民增收和农业生态文明的发展具有重要意义。本章在总结已有数字农业概念的基础上，结合作者在数字农业方面所做的工作及其理解，对数字农业的概念进行了重新定义，概述了数字农业的主要内容及技术体系，并对数字农业涉及的关键技术及应用情况进行了分析和概述。

## 第一节 数字农业的作用

### 一、数字农业的含义

#### (一) 数字农业的概念

数字农业是继数字地球概念以后，基于数字地球技术在农业上的应用而提出的技术思想，其概念的外延应涵盖“信息农业”、“精准农业”、“虚拟农业”等概念的所有内容。关于数字农业的概念，最早是由美国国家科学院、美国国家工程院两院院士于 1997 年提出的，认为数字农业是指在地学空间和信息技术支撑下的集约化和信息化的农业技术。1998 年，时任美国副总统戈尔再次将其定义为，数字地球与智能农机技术相结合产生的农业生产和管理技术。随着国内对农业信息技术研究的深入，越来越多的专家学者都纷纷给数字农业赋予各自的定义。例如，唐世浩等(2002)认为，数字农业是以农业生产数字化为特色的农业，是数字驱动的农业，其主要目标是建成融数据采集、数字传输网络、数据分析处理和数控农业机械为一体的数字驱动的农业生产管理体系。陈立平等(2004)认为，数字农业是以现代信息技术和农业工程技术为支撑，用数字化技术对农业所涉及的对象和全过程进行数字化和可视化的表达与设计、控制与管理的现代农业高新技术体系，是一种全新的农业生产方式。梁勇和穆玉阁(2005)认为，数字农业是以计算机、多媒体技术和大规模存储技术为基础，以宽带网络为纽带，以海量农业信息为对象，运用“3S”技术对农业进行多分辨率、多尺度、多时空和多维空间的描述，使之最大限度地为人类的生存、可持续发展等服务。李树君(2008)则从数字地球的角度提出，数字农业是在数字地球技术的框架下，以有关标准和规范为指导，以各种信息获取技术为支撑，运用计算机网络技术和通信技术实现数据获取的自动化，解决海量数据的存储与分析问题，实现数据发布的网络化、预测决策的智能化，最终实现农业的信息化。农

业词典中从理论上对数字农业的定义是：将遥感、地理信息系统、全球定位系统、计算机技术、通信和网络技术、自动化技术等高新技术与地理学、农学、生态学、植物生理学、土壤学等基础学科有机地结合起来，实现在农业生产过程中对农作物、土壤从宏观到微观的实时监测，以实现对农作物生长、发育状况、病虫害、水肥状况以及相应的环境进行定期获取信息，生成动态空间信息系统，对农业生产中的现象、过程进行模拟，达到合理利用农业资源、降低生产成本、改善生态环境、提高农作物产品和质量的目的。

结合以往围绕数字农业所做的工作，我们认为数字农业是以大田耕作为基础，应用“3S”技术、农业模拟技术、决策支持技术、计算机技术等高新技术，对农业生产所涉及的对象和全过程进行数字化的表达、设计、控制和管理，进而实现对农业产前、产中、产后每个生产关键环节的数字化、智能化和信息化。它可以定位到每一块土地，使每一寸土地都得到最优化使用，可以对农作物、土壤状况实现从宏观到微观的监测预测，是对农作物生长发育状况以及环境要素的现状和动态进行分析、诊断、预测以及对各类耕作措施和管理方案进行决策支持的农业技术系统。

## （二）数字农业的主要内容

数字农业是农业信息化的核心，也是农业信息化的最高表现形式，重点是对农业生产对象进行全过程数字化的表达与设计、控制与管理。因此，数字农业的内容应包括产前、产中和产后等各个农业生产环节的关键技术的数字化。

### 1. 产前决策的数字化

主要包括农业生产产前生产资料的购置、产前基础农情信息的获取、农作物种子与化肥的定制、优化种植方案(适宜播种期、播种量的确定等)的推荐等。

### 2. 产中管理的数字化

主要包括农作物生长发育状况的预测、土壤水分状况与农田环境因素的实时监测、农作物长势与营养的实时诊断、农田肥水运筹与调控、农作物病虫害的发生与综合防治的实时决策等。

### 3. 产后服务的数字化

主要包括农作物收获期的确定、作物产量的实时测报、农业机械的跨区调度、农副产品供求信息的发布和交易等。

## （三）数字农业的技术体系

数字农业是一门集农业科学、地球科学、信息科学、计算机科学、数字通信和环境科学等多学科理论于一体的现代科学体系。自20世纪70年代中后期发展至今，数字农业的技术体系已基本形成。主要包括农业专家系统、农业模拟模型及决策支持系统、地理信息系统、遥感技术、全球定位系统、虚拟农业技术和物联网技术等。其中，农业模

拟模型是数字农业的核心技术，它将各种农业过程的内在规律与外在关系用数学模型表达出来，对农业生产中的现象和过程进行模拟，是实现不同农业阶段数字技术连接的纽带；决策支持与专家系统是数字农业的基础技术，为农业生产管理提供决策方案和支持；“3S”技术是数字农业的重要技术，通过对各类空间信息进行定位、收集、存储、统计分析和处理，为农业生产各个环节提供服务，也是数字农业的基础和核心；虚拟农业技术是虚拟现实技术向农业领域的延伸和发展，体现了可视化技术与数字模型的高度集成，具有满足对农业进行全方位数字化设计与调控需求的潜力。上述技术的不断发展与完善，推动着数字农业向前发展。图 1-1 为数字农业主要技术支撑与应用。

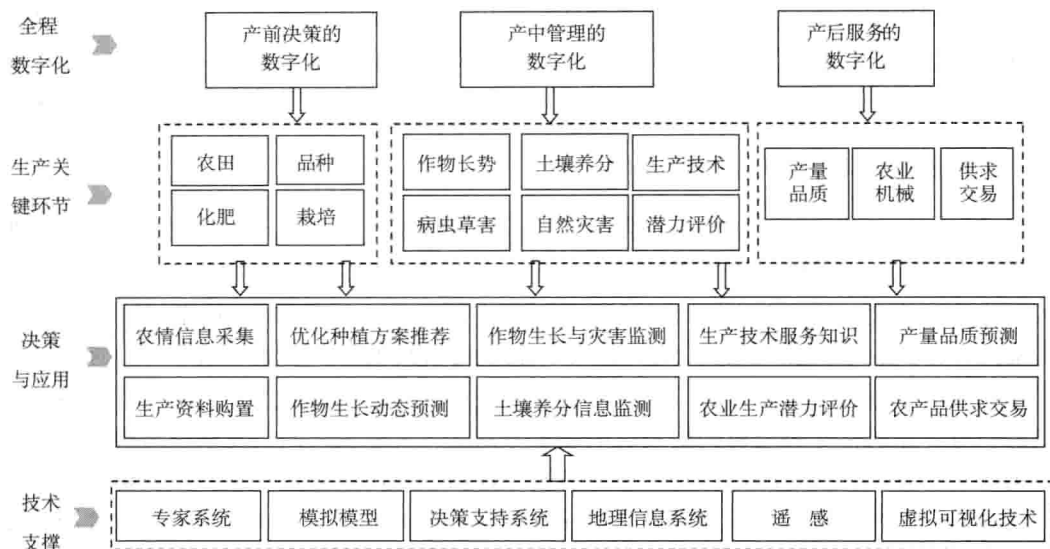


图 1-1 数字农业主要技术支撑与应用

## 二、数字农业的作用

数字农业作为国民经济和社会信息化以及“数字地球”的重要内容，已成为我国实现农业现代化的重要支撑性技术，对于提升农业管理决策、提高农业现代化水平以及实现农业的可持续发展具有重要的作用和意义。

### (一) 为农业生产管理提供信息支撑，提高决策支持水平

数字农业是基于农业专家系统、农业模拟模型与决策支持技术、“3S”技术、虚拟现实技术等先进科学技术，通过建立农业信息资源数据库，研发农业信息服务系统、农业决策支持系统等信息服务系统，可以对农业生产提供辅助决策支持。例如，农业资源与环境的综合评价分析、农业信息的综合分析、农业生产中的灾害风险评估等，在调用数据库中的基础信息和动态监测信息前提下，利用信息系统的分析、优化、模拟、预测和评价等功能，可以为农业生产管理者提供快速便捷的分析手段和优化方案，提高管理部门的决策支持水平，加速农业信息化进程。

## （二）促进传统农业向现代农业的转变，提高农业现代化水平

数字农业可以有效促进现代信息技术与传统农业的有机融合，对我国农业生产、信息服务以及农业资源环境等整个领域进行重新设计和改造，将极大地加速我国农业现代化的进程，促进农业信息化的跨越式发展，实现由传统、粗放和经验性的产业向智能、精准和数字化方向的现代农业转变，使传统农业发生革命性的变化。数字农业保持了与我国精耕细作传统的亲和性，其本质也是一种精耕细作型农业，但又与传统的精耕细作农业不同，传统的精耕细作农业是建立在世代相传的经验基础之上，是一种在经验指导下的精耕细作型农业。而数字农业是建立在现代科学技术基础之上，是在一系列最新科技成果指导下更高层次的精耕细作型农业，它能有效缓解我国人多地少的矛盾，最大限度地节约资源，提高资源利用效率，对实现农业增产和生态文明具有重要的现实意义。

## （三）促进我国农业的可持续发展

近年来，随着我国经济的不断发展，农业环境资源污染与破坏也越来越严重，给我国经济和农业的持续发展带来不利影响。数字农业的实施，实现了农业生产的定量化、区域化和时效化，使农业生产过程的管理更具有针对性，实现作物-技术-经济-环境的有机统一，使农业发展与农业环境资源治理得到更合理的协调。农业遥感、地理信息系统与农业模型技术的结合，将使我国对农业环境资源的动态监测工作更为完善，各种环境污染与破坏的情况将能得到更及时的发现与制止。依靠物联网、互联网与数据库等信息化技术，各级农业行政部门对农业环境资源数据、农产品生产数据和市场价格数据等更及时地掌控和了解，从而及时地制定或调整政策与对策，使我国农业沿着最合理的方向可持续发展。

## 第二节 数字农业关键技术与应用

现代科学技术的发展，尤其是农业专家系统、农业模拟模型、农业决策支持系统、地理信息系统、遥感、虚拟农业等技术的快速发展为数字农业的实现提供强有力的技术支撑。本节主要介绍数字农业各项技术的相关概念及应用领域，旨在使读者对这些技术的基础概念及应用发展情况有所了解 and 掌握。

### 一、农业专家系统

#### （一）农业专家系统概念

专家系统是一个运用知识进行推理的计算机程序。推理就是使用某种符号逻辑，从一些事实得到结论的过程；从功能上讲，可以把专家系统定义为“一个智能程序，它能对那些需要专家才能解决的应用难题提供专家水平的答案”；从结构上讲，可以把专家系统定义为“由一个专门领域的知识库，以及一个能获取和运用知识的机构构成的一个

问题求解系统”。总之，专家系统是一个智能程序系统，在这个系统中有大量、高水平领域专家的知识，有领域专家解决问题的思维方法。专家系统所处理的问题是依据已积累的知识来求得问题解答，一般没有准确的数学公式来表达，这就是专家系统与“一般问题求解”方法的不同之处。

农业是一个极其复杂的系统，在作物生产中存在大量随机的、模糊的不确定因素，同时各因素对农业生产的作用是复杂的、耦合的，很难用传统的数学模型来表示。农业专家系统是一个具有大量农业专家知识与经验的计算机程序系统，它应用人工智能技术，根据一个或多个农业专家提供的特殊领域知识、经验进行推理和判断，像人类专家一样解决农业中的复杂问题并进行决策。

## （二）农业专家系统应用

农业专家系统从产生到现在已有 40 余年的历史，其应用涉及不同的领域和方面。

### 1. 作物育种与知识管理

中国农业科学院作物科学研究所赵双宁等(1992)研制开发了“冬小麦新品种选育专家系统”，应用 20 世纪 70 年代亲本材料进行测试，其结果表明，测试结果与当年实际组配的杂交组合极为相似，“冬小麦新品种选育专家系统”具有再现著名育种家经验的功能。自此以后，该系统被广泛应用于地区级以上小麦育种单位的工作和农业大专院校的育种教学之中，成为育种工作者和育种教学者的好帮手。它可协助育种工作者更合理地进行亲本选配，组织配置，后代处理和选择，减少了育种过程的盲目性，减轻浩繁的事务，提高了工作效率和育种效果；同时应用该系统可对青年育种工作者进行知识培训，对继承、传播、发展著名育种家经验，提高作物育种水平具有一定的推动作用。

### 2. 作物灌溉与水分管理

作物灌溉与管理主要是对作物进行合理灌排，优化水分管理与作物产量的关系。中国科学院、水利部水土保持研究所于 2001 年研制开发了旱地作物需水量预报决策辅助系统。汪志农等(2001)在节水灌溉管理决策专家系统研究中，采用雄风 3.1 专家系统开发工具结合生产实际，分别建立了灌溉预报与节水灌溉决策、灌溉管理体制改革的山西旱情决策 3 个专家系统，取得良好的社会效益。这些灌溉管理专家系统的研发对作物高产和农田水分管理发挥着积极作用。

### 3. 作物施肥与养分管理

作物施肥与养分管理主要是指优化农田肥料用量、使用时期与作物产量和品质的关系。1985 年，中国科学院合肥智能机械研究所与安徽农业科学院土壤肥料研究所合作开发了“砂姜黑土小麦施肥专家系统”，并在安徽省淮北平原 10 余个县进行较大规模的推广应用，开始了农业专家系统在我国农业生产中的应用。1989 年，河南省也研发了小麦等农作物的计算机管理专家系统，并在全省 10 余个县推广应用，其中，当时的南

阳县(现在的宛城区)运用计算机专家系统,使小麦增产 9.8%~15%,玉米增产 12%~20%,棉花增产 9.9%~15%。

#### 4. 作物高产栽培与管理

作物栽培管理专家系统是在各个作物的不同生育期,根据不同的生态条件进行科学的农事安排,包括播种前的品种选择、种子准备、土壤整地、施肥量的确定、播种期和播种量的确定等;生产过程中的作物长势判断、作物营养丰缺诊断、追肥时期和追肥量的确定、灌溉时期和灌溉量的确定、作物病虫害和综合防治方法的确定等;收获期与农机具的准备等。1990~2002年,在国家 863 计划项目的支持下,我国研发了 5 个农业专家系统共性平台,建立了 22 个国家级示范区,累计示范推广面积达 7000 万亩,增产粮食 23.2 亿 kg,节约化肥 48.5 万 t,为农民增收节支约 19 亿元。1997~2004 年,河南农业大学马新明等团队成员研发了“河南省优质专用小麦专家决策系统”,通过推广应用,在滑县示范区示范推广面积 151 万亩,示范区亩均单产 421.4kg,比对照平均亩产 395.1kg 增加 26.3kg,增长 6.7%,取得了显著的经济效益。

#### 5. 作物病虫害的综合防治

作物病虫害综合防治专家系统是农业专家系统研究应用最早的一种专家系统。从功能上看,这些专家系统已从一般的病虫害诊断与防治,进一步扩展到病虫害发生的趋势预报和综合治理。从应用的寄主植物范围来看,已从粮食作物,拓展到棉花等经济作物,苹果、梨等林果植物和蔬菜等菜类作物。其中,以粮食作物应用最为突出,约占总用量的 30%。例如,1993 年, Gonzalez-Andujar 等报道的蚜虫识别专家系统 CAES,用于帮助非专业人员识别为害西班牙谷物的害虫;唐乐尘开发的杂草鉴别和防治对策计算机专家系统为人们提供了杂草鉴别、杂草生长特性、除草处方、农药特性等较全面的专家知识和功能。

#### 6. 水产养殖

该领域的专家系统主要从鱼种选择搭配、饲养管理、鱼病防治、鱼池建设等方面进行设计。目前,从四大家鱼到特种水产已开发的有 70 余个鱼种类软件。例如,中国农业大学农业工程研究院开发的“智能化水产养殖信息系统”等。2006 年,中国农业大学和天津农学院共同主持完成的市校合作项目“天津市淡水养殖网络化专家系统开发与示范”。该项目针对天津市水产养殖实际,开发出鱼病诊断专家系统,河蟹养殖专家系统,淡水虾养殖专家系统,远程专家在线咨询系统,特种水产品疾病诊断专家系统和甲鱼病诊断专家系统,青虾、南美白对虾全过程养殖专家系统,基于呼叫中心的渔业信息咨询系统,基于 PDA 的移动式鱼病诊断专家系统,水产养殖视频推送系统,池塘水质评价与预警决策支持系统。项目实施期间,在天津市 10 个区县推广应用,累计辐射推广面积达 60.6 万亩,实现亩增效益 110 元,取得显著的经济社会效益。

## 二、农业模拟模型及决策支持系统

### (一) 农业模拟模型及决策支持系统的概念

#### 1. 农业模拟模型相关概念

农业模拟模型是以系统学为基本原理,以数学为方法,将农业系统中各组成成分及其相互关系进行简化的数学表达,并通过计算机对模型求解或运行的过程(动态模拟仿真)。通过农业模拟模型可以详细地了解农业系统特性,达到认识模拟对象——真实系统的目的。为了方便建模,还出现各种专用的计算机模拟语言,如 CSMP、DYNAMO 和 STELLA 等。模拟模型中使用的数值变量可概括为状态变量、速率变量、驱动变量和辅助变量以及各种参数和常量。它所描述的对象要求定义明确、系统和环境边界明确、结构确定、可量化,模拟得到的信息对于理解农业实际系统的物理反应、生态反应和经济反应特别有效,并具有预测作用,人们可以从中得到很有用的见解。

根据系统理论和方法,对真实的农业系统进行数学抽象、构建数学模型,应用计算机使模型的运行程序化或进行模拟;通过改变信息的输入,观测模拟输出的变化,借以认识真实系统,这些就是农业系统模拟或农业模型研究的基本内容。农业系统模拟是对农业系统结构和功能及其发展规律探索的一种重要研究方法。对于时间长、费用高,或因条件限制不能实地进行,或具有风险而意义重大的某类农业科学试验,计算机模拟研究是十分重要的方法。

作物模拟是农业系统模拟的重要内容,是将作物、技术与环境作为一个整体,应用系统分析的原理和方法,综合作物生理学、生态学、农学、农业气象学、土壤肥科学等学科的理论 and 研究成果,对作物的生长发育、光合生产、器官建成和产量形成等生理过程及其与环境生态因子关系的实验数据加以理论概括和数量分析,建立相应的数学模型,然后在计算机上进行动态的定量化分析的过程。

#### 2. 农业决策支持系统相关概念

决策支持系统是一种高级计算机信息系统,是在 20 世纪 70 年代提出,以管理科学、运筹学、控制论和行为科学为基础,以计算机技术、仿真技术和信息技术为手段,辅助决策者以人机交互方式进行半结构化或非结构化决策,具有一定智能行为的人机交互的计算机应用系统。辅助决策功能是决策支持系统最大的功能特色。它是管理信息系统向更高一级发展而产生的先进信息管理系统。它为决策者提供分析问题、建立模型、模拟决策过程和方案的环境,调用各种信息资源和分析工具,帮助决策者提高决策水平和质量。

决策包括结构化决策、非结构化决策、半结构化决策 3 种类型,其中非结构化和半结构化决策一般用于一个组织的中级、高级管理层,其决策者一方面需要根据经验进行分析判断,另一方面也需要借助计算机为决策提供各种辅助信息,及时做出正确有效的论断。决策进程分为发现问题——形成决策目标、对方案结果的定量描述、对各种结果的定量评价和综合分析 4 个步骤。决策往往不可能一次完成,而是一个迭代过程,通常



需要借助计算机来完成。

农业决策支持系统是以计算机技术为基础，以农业系统为对象，支持和辅助农业生产者解决各种农业生产问题的知识信息系统。它是在农业信息系统、农业模拟模型系统和农业专家系统基础上发展起来的，是以多模型组合和多方案比较方式进行辅助决策的计算机应用的新技术。

## (二) 农业模拟模型及决策支持系统应用

### 1. 农业模拟模型应用

在研究和开发农业模拟模型的同时，大量学者都在从事模型验证和应用方面的研究，主要研究气候变化对农作物生产的影响、对农作物生产潜力的评价、农作物生产管理方案优化决策、农作物产量预报、农业资源的调查与管理、农业科学研究及农业政策分析等实际生产问题。

#### (1) 教育教学与知识培训

农业模拟模型是对农业生产要素——作物品种特性、农业生产环境和农业生产技术对农业生产发生作用的综合表达。可以作为教学工具让学生在较短时间内了解不同生产要素对农作物生产的影响强度和影响过程。通过对农作物生长模型的解剖，有助于学生了解农作物生长发育的各个阶段及其与环境和管理措施之间的关系。农业模拟模型也可以作为发展中国家和基层农业技术人员的培训工具。

#### (2) 农业生产潜力评价与管理

农业模拟模型是对实际农业生产系统的一种简化表达形式，可以被用来评价各种资源对农业生产力造成的影响。通过对特定区域光照、温度、水分和肥料对农作物生产能力影响的模拟研究，可以揭示该区域农作物的生产潜力，探索影响作物生产能力的障碍性因素和技术措施，同时，根据不同条件下的模拟结果，可以筛选出品种、播期、施肥、灌水和密度等方面的优化组合方案，减少农作物栽培方案优化中的田间试验年限、次数和处理数据。另外，在农作物品种区域试验中，可以根据各个品种的遗传特性参数分别在不同气候条件下进行模拟，从而真实地评价出该品种的生产潜力和生态适应性，提高试验结果的可靠性。

#### (3) 支撑农业专家系统的研发

农业模拟模型的机理性、系统性、普适性以及结果的数据化，使得基于模型的专家系统的应用范围和精确性等方面均优于基于知识和基于规则的专家系统，将农业模拟模型与专家系统相结合，已经成为农业专家系统开发的主要途径。例如，2005年，由河南农业大学马新明等团队成员研发的“基于数字模型的优质专用小麦专家决策机理与耦合系统”，就是将小麦模拟模型(WCSODS)和小麦生产智能专家系统紧密结合的产物，也是继美国棉花生产模拟决策系统(GOSSYM/COMAX)之后，我国研发的第一个基于模拟模型的农业智能决策专家系统。

#### (4) 农场经营与管理

美国、英国和澳大利亚等发达国家已经有相当数量的农场主或农业咨询公司在个人



计算机上操作农业模拟模型，制定农业生产与管理决策，其中包括施肥、灌水、收获期等年内农作物的田间管理决策和产量预报，以便据此调整农作物的布局和制定经营策略。

## 2. 农业决策支持系统应用

DDS可以辅助决策者做决策，提高决策者的决策技能和组织决策水平，这就决定了DDS作为一种先进的系统在农业生产中应用的广泛性。决策支持系统可以包括不同的层次，从世界级、国家级的农业宏观决策到县域甚至农场级别的农业生产管理决策，其应用也可以涉及不同的领域。

### (1) 粮食安全预警

由于粮食系统的复杂性，粮食生产、消费、存储等与自然条件、国内外市场、政治、经济有着密切的联系。单凭决策者个人的经验，往往很难精确地预测粮食的安全状态，而且会受到决策专家本人掌握信息的程度、专业知识、决策思想的影响，具有很大的局限性，因此，建立一个粮食安全预警决策支持系统是非常必要的。例如，1975年，联合国粮食及农业组织(FAO)已经建立了一个全球粮食和农业信息预警系统(GIEWS)，通过收集分析各区域粮食数据、卫星图片、粮食贸易信息等达到早期预警的目的。2008年，曹明振开发完成国家粮食安全预警决策支持子系统，可以实现我国粮食安全监测预警工作的电子化、信息化和网络化。

### (2) 农产品市场预测

农产品市场预测及供应链辅助决策支持系统是农业数字化和智能化的重要组成部分，它改变了过去农产品生产、供应、销售等方面基层领导者决策的盲目性和主观性，减少了决策的失误，对促进农业的持续发展、实现农业现代化具有重要意义。例如，王伊蕾(2004)开发了农产品供应链辅助决策支持系统，可以运用科学的手段解决长期以来在农产品市场中存在的一些问题，为农产品供应链提供智能化、个性化的决策支持。

### (3) 农业生产管理

将农业模拟模型与计算机技术相结合可以用于开发指导农业生产管理的决策支持系统，国内外在这方面已有较多的研究。国外相关技术研究已经相对成熟，部分已用于农场主的辅助管理和决策。我国在这方面起步较晚，但经过多年不懈的努力，已开发了一系列的农业决策支持系统。例如，江苏省农业科学院开发的小麦栽培模拟优化决策支持系统(WCSODS)(高亮之等，2000)、南京农业大学农业信息技术研究中心研制提出的小麦管理智能决策支持系统(IDSWM)(李旭等，1999)等可以对小麦的生长情况进行模拟预测，并已经在小麦生产中进行检验、评价和示范应用，取得较好的效果(马新明等，2006；江敏和易杰忠，2004)。

## 三、地理信息系统

### (一) 地理信息系统概念

地理信息系统是在计算机软硬件支持下，运用系统工程和信息科学的理论，科学管