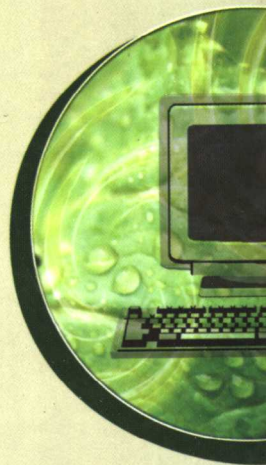


作物管理知识模型

Crop Management Knowledge Model

曹卫星 朱 艳 著



作物管理知识模型

曹卫星 朱 艳 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

作物管理知识模型/曹卫星, 朱艳著. —北京: 中国农业出版社, 2004.12

ISBN 7-109-09497-9

I. 作... II. ①曹... ②朱... III. 计算机应用-作物-田间管理 IV. S36-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 121641 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 赵立山

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 11.5

字数: 289 千字 印数: 1~2 000 册

定价: 35.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书运用系统分析原理和动态建模技术,以作物生育指标、环境因子、技术措施之间的定量化关系为主线,重点介绍有关作物管理知识模型构建的基本原理、方法和技术,突出模型的结构化途径、时空化规律、数字化算法、组件化设计,通过提炼和融合模拟模型与专家系统的优点,建立具备定量设计与辅助决策功能的作物管理动态知识模型,可用于生成不同条件下的作物生产管理推荐方案,支持作物生产管理的数字化和科学化,有助于推动农业生产管理决策支持系统的研究与应用,开拓数字农作和信息农业研究的新领域。本书内容主要为作者及其实验室成员在国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金重点项目、国家 863 高技术计划等项目的资助下,近年来所取得的研究成果、学术积累和工作思考等。本书主要面向农学类教育、科技、管理人员及研究生和高年级本科生。

序

随着信息科学和农业科学的不断发展和推动，农业信息技术的研究和应用日益受到人们的重视和认可，正引发着传统农业向信息农业和数字农业发展的新时代，信息科学技术革命的成果正在建设“现代农业”的进程中发挥着重要的作用。运用农业信息技术，可以对影响农业生产的众多复杂因素进行系统的分析和综合，建立农业生产管理辅助决策支持系统，对农业生产过程实现科学的动态预测和管理，从而通过生产管理的信息化与科学化，带动农业产业的现代化。

国外农业信息技术的发展，以作物生长模型的研究和应用为其突出代表之一。作物模拟模型可以动态模拟作物生长发育过程及其与环境和技术投入的关系，克服传统作物栽培研究中较强的时空局限性，为作物生长预测和调控提供有力的工具。它既有助于揭示作物生长过程机理，发展作物科学的知识创新研究，也可推动面向生产过程管理的应用研究和技术创新，支持科学的生产管理决策。然而，作物模拟模型难以全面表达作物栽培理论和技术方面的量化关系与规律，并直接实现智能化管理决策。农业专家系统的发展恰好弥补了作物模拟模型在推理决策方面的不足。在欧美、日本等发达国家，基于作物模拟模型和专家推理的农业决策支持系统的研究，为农业生产布局和管理决策提供了现代化的管理手段和技术支持，进一步结合 GIS、RS 和 GPS 技术，可辅助进行不同时空条件下的农业资源环境监测、精确生产管理及生产力分析等，用于提高农业生产管理决策的科学化和定量化水平，可以取得明显的经济、社会和生态效益。

与国外农业信息技术的发展动态相比,国内在农业专家系统的研究与应用方面较为成功。这些专家系统一般知识库庞大,推理功能较强,但模型库较弱,普适性较低。知识系统中往往包含了许多具有较强地域性和时间性的专家经验和知识规则,从而限制了不同条件下专家系统决策的普适性和准确性,降低了专家系统的通用性和灵活性。随着现代信息技术的快速发展,农业专家系统的研究呈现出由简单到复杂、静态到动态、规则到模型、经验到机理、定性到定量的发展趋势。其中,知识系统的智能化和定量化程度是农业专家系统成功的最重要前提,而知识模型的科学构建就成为农业专家系统开发水平的重要标志。因此,提高农业专家系统中知识系统的时空适应性和数字化水平,是智能农业和信息农业技术发展的必然要求。

基于信息和知识的作物生产管理辅助决策支持系统的研究,具有重要的应用价值和发展前景。由于农业生产过程管理仍然需要面对复杂、多变和不确定性因素影响等明显的系统特点,因此在进行作物生产过程管理实践中,还是要注意将基于信息技术的辅助决策支持系统进行完善和应用,进一步同农业科技推广人员和生产者田间实时信息采集和实地巡查观测的方法与实践经验结合起来,将能使信息技术为生产管理者提供一种先进的手段。

根据国内外农业信息技术的发展动态和特色,本书作者提出了运用系统建模方法来研究专家知识表达体系的学术思想,并先后获得国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金重点项目、国家 863 高技术计划等项目的资助,创立了具有时空规律的作物管理动态知识模型,具有综合的动态决策功能,数字化程度高、适用范围广,可用于生成不同条件下不同作物的生产管理方案,包括产量和品质目标的确定、品种选择、播期确定、基本苗与播种量的设计、氮磷钾肥运筹、水分管理指标、生育调控指标等,为实现作物管理知识表达的模型化和数字化以及作物生产决策的科

学化提供支持。本书作者通过多年来的探索和实践，在作物管理知识模型领域确立了创新的学术思想，积累了丰富的工作基础，取得了突出的研究成果。我相信，本书的出版对于推进农业专家系统和决策支持系统的研究与应用，开拓信息农学与数字农业研究新领域，将具有重要的学术意义和参考价值。

汪懋华

2004年8月于北京

前 言

农业生产系统受气象条件、土壤特性、品种性状、技术措施等不同因素的影响，具有显著的时空变异性、经验性及较低的定量性和规范性，使得农业生产管理专家难以综合考虑多因子互动、预测作物生长趋势、量化栽培管理技术。计算机和信息技术的快速发展为农业生产管理的定量化和信息化提供了新的方法和手段。其中，作物系统模拟模型和作物管理专家系统是国内外农业信息技术研究与应用的核心和典范，已经在生产上获得广泛的应用，产生了极大的社会、经济和生态效益。

作物系统模拟模型可以动态模拟作物生长发育和产量及品质形成过程及其与环境和技术的关系，从而克服了传统作物栽培研究中较强的地域性和时空局限性，具有系统综合和预测的功能，但难以直接进行生产系统的管理决策。而作物管理专家系统具有直接管理决策的功能，但由于采用了大量具有较强地域性和时间性的经验性知识规则和量化参数，因而难以对作物生长和生产系统进行动态模拟和设计，表现为较低的解释性和适应性。如何提高专家系统的完整性和解释性，改善专家系统的决策性和广适性，开拓数字农业原理在现代作物生产管理上的应用是农业专家系统和农业信息技术研究中面临的一个迫切需要解决的重大课题，也是信息农业和现代农业发展的必然要求。

为此，本书运用系统分析原理和动态建模技术来研究专家知识表达体系，以作物生育指标、环境因子、技术措施之间的量化关系为主线，重点介绍有关作物管理知识模型构建的基本原理、方法和技术，突出模型的结构化途径、时空化规律、数字化

作物管理知识模型

算法、组件化设计,通过提炼和整合作物模型与专家系统的优点,建立具有动态决策功能的作物管理知识模型,可用于生成不同条件下的作物生产管理方案,实现作物管理知识表达的模型化和数字化以及作物生产决策的标准化和科学化。书中的研究对象涉及小麦、水稻、棉花、油菜等不同的作物类型及其种植制度设计,具体的作物管理方案包括产量和品质目标的确定、品种选择、播期确定、基本苗与播种量的设计、氮磷钾肥运筹、水分管理指标、生育调控指标等不同方面。在内容编排及结构体系上兼顾研究性与应用性,科学性与知识性。本书内容可作为广大农学类科教人员和研究生的教学与科研参考书。希望本书的出版有助于填补国内外有关作物管理知识模型研究的空白,推动农业决策支持系统的研究和应用,开拓数字作物栽培和数字专家系统的新领域,为发展数字农作的理论与技术奠定基础。

本书的材料来源主要为作者及其实验室成员在国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金重点项目、国家 863 计划等项目的资助下,近年来所取得的研究成果、学术积累和工作思考等。尤其是作者所指导的多位博士研究生和硕士研究生直接参与了部分研究工作,所完成的学位论文为本书提供了良好的基础素材。在本书的准备和写作过程中,江苏省信息农业高技术研究重点实验室及作物生理生态研究所的部分教师和博士后给予了大力支持和帮助,并提出了宝贵的建议和意见。在此,作者一并表示衷心的感谢。

由于作物管理知识模型是一个新兴的交叉学科领域,其理论和技术尚有待进一步的充实和完善,加之受作者水平和能力的限制,书中的缺点和不足在所难免,恳请读者提出宝贵建议和指正。

作 者

2004 年 8 月

目 录

序 前言

第一章 作物管理知识模型概述	1
一、作物管理知识模型的产生、特点与作用	1
二、作物管理知识模型研制的基本原理	16
三、作物管理知识模型研制的方法与技术	20
四、作物管理知识模型系统的构件化程序设计	28
第二章 小麦管理知识模型	45
一、产量和品质目标	47
二、品种选择	63
三、播种方案设计	68
四、肥水运筹方案	78
五、生育指标动态	89
六、源库指标	104
七、植株养分指标动态	107
第三章 水稻管理知识模型	111
一、产量和品质目标	112
二、品种选择	124
三、播栽方案设计	132
四、肥水运筹方案	141

作物管理知识模型

五、生长指标动态	157
六、植株养分指标动态	164
第四章 棉花管理知识模型	170
一、产量目标和品种选择	171
二、播栽方案设计	181
三、肥水运筹方案	192
四、生育指标动态	202
五、养分积累指标	218
第五章 油菜管理知识模型	222
一、产量目标和品种选择	223
二、播栽方案设计	230
三、肥水运筹方案	236
四、生育指标动态	244
第六章 种植制度设计知识模型	252
一、作物生态适应性评价	253
二、复种潜力与熟制类型分析	264
三、作物布局设计	266
第七章 作物管理知识模型的应用前景	274
一、基于知识模型的作物管理决策支持系统 (KMDSSCM)	274
二、作物管理知识模型发展前景	286
变量 (缩写) 说明表	292
参考文献	316

第一章 作物管理知识模型概述

进入 21 世纪,以信息技术和生物技术推动的农业新科技革命已在世界范围内全面展开,并已取得了重大进展。将信息技术与农业技术相结合,用信息技术改造传统农业,以农业的信息化带动农业的现代化,对于提升农业生产系统的管理水平、生产效益和产业竞争力,具有重大的现实意义和应用前景。农业信息技术的研究和应用正在对传统的农业科技和农业生产产生深刻而广泛的影响,被认为是一个国家和地区农业现代化及社会经济发达水平的重要标志。

作物系统模拟模型和作物管理专家系统是国内外农业信息技术研究与应用的核​​心和典范,通过结合与集成其他关键技术而建立的作物管理决策支持系统,已经在国内外获得广泛的应用,并产生了极大的社会、经济和生态效益;同时也为农业信息技术的持续发展奠定了良好的研究基础,提供了科学的方法体系。在此基础上发展起来的作物管理知识模型则集中体现了作物生长模拟模型和作物管理专家系统的优势与功能,是数字化作物生产设计与管理决策的核心技术与智能支撑,有助于开拓数字农作技术的新领域,提升作物栽培学与信息农学研究与应用的水平。

一、作物管理知识模型的 产生、特点与作用

(一) 作物管理知识模型的产生背景

随着信息科学和农业科学的不断发展和推动,农业信息技术

的研究和应用日益受到人们的重视和认可，正在现代农业的发展进程中发挥着极其显著的作用。目前，传统农业已逐步转入一个新的精确农业和信息农业时代。运用信息技术，可以对复杂的农业生产成分及其相互关系进行系统的分析和综合，通过建立农业生产管理决策支持系统，对农业生产系统实现科学的动态预测和管理决策，从而以生产管理的信息化带动农业产业的现代化。其中，作物管理专家系统和模拟模型的发展为作物生产管理的现代化和信息化提供了新的方法和手段，在此基础上形成的农业生产管理决策支持系统也得到了迅速发展和广泛的推广应用，并进一步促进了作物管理知识模型技术思想和应用系统的创立和研制。

1. 作物生长模拟模型的发展和特点

作物生长模拟是将作物及其影响作物生长发育的环境和技术因子作为一个整体，应用系统分析的原理和方法，综合大量的作物生理学、生态学、农学、气象学、土壤学、植物营养学、系统学、计算机科学、数理统计等学科的理论体系与研究成果，对作物的阶段发育、光合生产、器官建成、同化物积累与分配以及产量与品质形成等生理过程及其与环境和技术因子关系的试验数据加以整理概括和量化表达，建立相应的数学模型，然后在计算机上对作物生长系统进行定量化的动态预测和模拟分析。因此，作物生长模型模拟的不仅仅是作物最后的产量与品质，而且是作物整个生育进程中不同生理生态过程的发生和演化动态；它以作物生育的内在规律为基础，综合作物遗传潜力、环境效应、技术调控之间的因果关系，是一种面向作物生育过程的生长模型或过程模型。

纵观作物生长模拟的发展历程，它经历了从定性的概念模型到定量的模拟模型的过程；从数量植物生理学中生理生态过程的模拟慢慢发展成为综合性的作物生长过程的模拟模型。20 世纪 60 年代以来，随着系统科学和计算机技术的发展及作物学知识的积累，作物模拟研究获得了很大的发展，作物生产系统的综合

分析和科学决策也成为现实。作物模型发展的动力主要来源于计算机技术的飞速发展, 作物学知识的大量积累, 管理决策技术的定量要求, 农业推广中的技术转移, 以及作物生产系统固有的独特性和变异性。

国际上有关作物生长模拟研究的发展可以概括为以下四个主要阶段。

(1) 幼年期: 20 世纪 50~60 年代, 生理生态过程的数量分析与模拟研究的诞生。这期间, 作物生理生态研究取得了显著进展, 计算机技术亦取得了快速进步, 因此作物模拟研究的兴起是作物生理研究深化与计算机软硬件发展的共同产物。60 年代, 荷兰和美国首先开始了作物生长模拟研究, 荷兰的 de Wit (1965) 和美国的 Duncan (1967) 等人相继发表了冠层光能截获与群体光合作用的模型, 成为作物生理生态过程模拟的经典之作。de Wit 和 Duncan 有关植物冠层光能截获和光合作用的数学模型, 是国际上最早的两个用完整程序编写、能在计算机上模拟作物群体生产过程的模型。他们的开拓性工作在国际上产生了重大影响。在此之前, 一些重要的作物生理过程及其与环境的数量关系已得到了阐明, 其中较具代表性的有 Monsi 与 Saeki (1953) 有关作物群体内光分布规律的研究, Hesketh (1963) 有关不同植物或作物的光合作用与光强关系的研究。

(2) 少年期: 70~80 年代中, 作物模拟研究迅速发展, 进一步趋向于系统化、机理化, 从不同生育过程的模拟到完整的生长模型, 作物模拟在深度与广度上同时得到了发展。科学家对一些重要作物生理过程的数量化研究日趋深入, 如 Thornley (1970、1971、1977) 关于作物呼吸过程模拟的研究, Chanter (1976) 关于生长曲线的概括性研究, Charles-Edwards (1976) 关于作物干物重分配模型的研究, 以及 Ritchie (1972) 关于蒸发模型的研究等。关于作物生长与产量模型的研究, 以荷兰和美国为代表, 特别是在 80 年代提出的 CERES、GOSSYM、SOY-

GRO、SUCROS 等作物模型都能完整地描述和预测作物生长及产量形成的全过程。

荷兰作物模拟研究的特点是强调作物生长的机理性和研究性。如 1970 年瓦赫宁根农业大学 de Wit 等人提出的作物模拟模型 ELCROS (Elementary Crop Growth Simulator), 可以根据作物的基本物理、生理、化学特性及常规气象资料来计算作物营养生长阶段的总生物量, 并首次模拟了作物的呼吸作用。1978 年, 他们提出了 BACROS (Basic Crop Growth Simulator) 模型, 加强了理论性和综合性。1982 年, van Keulen 在 BACROS 模型的基础上建立了 SUCROS (A Simple and Universal Crop Growth Simulator) 模型, 该模型以太阳辐射作为影响生长的主要因子, 以 CO_2 同化物向植株各器官的分配为基本生物学概念, 模拟了小麦叶、茎、根、粒的潜在干物质生产。此后 Penning de Vries 等 (1989) 又研制成 MACROS (Modules for Annual Crop Simulation)。荷兰的这些模拟模型多偏重于理论研究和假设模拟, 对生理生态过程具有较好的解释性和研究性。

美国研制的作物生长模型注重模型的综合性和预测性。例如, 由密西根州立大学 Ritchie 教授等在 80 年代初建立的 CERES (Crop - Environment - Resources Synthetic System) 系列模型, 在综合性与应用性方面都有所加强。它们不仅能模拟作物生长与发育的主要过程, 还能模拟土壤养分平衡 (矿化、硝化、反硝化、固氮、淋溶、吸收、利用等) 与水分平衡 (有效降水、径流、蒸发、蒸腾、土壤水分的垂流流动与渗漏等)。之后, CERES 模型在美国以外的许多国家, 特别是在发展中国家, 得到了广泛的验证, 并被用于农业技术推广和咨询指导, 成为目前世界上检验和应用最为广泛的作物模型之一。

在这一时期, 我国科学家也开始了作物模拟模型方面的研究工作, 虽然起步较晚, 但 80 年代以来进展很快, 在植物生理生态过程的模拟方面取得了可喜的成绩, 并初步提出了水稻等作物

的产量模型。

(3) 青春期：80年代后期到90年代初，作物模拟进一步向机理性和应用性方向发展。随着模型数量的增加，一方面对系统进行不断的分解和细化，另一方面强调系统的通用性与可靠性，因此对系统的机理性与通用性之间的矛盾表现出一定的困惑和失望。虽然在美、荷、英、澳、日和前苏联等国家，已研制成许多种作物的模拟模型及特定作物的不同模拟模型，并开始应用于实践，但有些生长模型不断扩展和细化，过分偏重于理论上或假说上对生长发育和产量形成等生理过程的解释而缺少必要的测试和验证。

(4) 成熟期：90年代中期始，模型被视为一种启发式的定量化工具，因而对其应用价值和局限性有了比较客观的认识。同时出现了模型的持续改良与示范应用，在指导作物管理、育种、施肥、灌溉等方面获得了成功的实践。90年代以来，许多研究还利用作物模型来探索全球气候变化的影响及农业生产可持续发展的策略等；目前，有些研究者开始在作物生长模拟模型的基础上进一步发展作物形态模型，并将其与虚拟显示模型相结合，试图构建可视化的虚拟作物生长系统。另外作物模型还开始与其他信息技术如专家系统、遥感、地理信息系统、网络技术等相结合，在信息农业的研究和应用中发挥了更大的作用。

尽管国际上的作物模拟研究存在着不同的学派，但近年来不同学派及不同国家的作物模拟研究逐步表现为相互合作、渗透、借鉴与综合的趋势。一般而言，比较理想的作物生长模拟模型应该具有以下几个特征，其中系统性和预测性是其最显著的两个方面。

(1) 系统性：对整个作物生长系统进行全面的定量描述和预测，包括作物阶段发育、器官建成、同化物积累与分配、产量和品质形成、土壤水分和养分动态及其与作物吸收和利用的关系。

(2) 动态性：系统应该包括受环境因子和品种遗传特性驱动的各个状态变量的时间变化及不同生育过程间的动态变化关系。

(3) 机理性：在经验性或描述性的基础上，通过进行深入的支持研究，模拟较为全面的系统等级水平，从而提供对主要生理生态过程的理解或解释。

(4) 预测性：通过正确建立系统的主要驱动变量及其与状态变量的动态关系，对不同系统提供可靠而准确的预测。

(5) 通用性：系统模型原则上适用于任何地点、时间和品种。

(6) 研究性：可利用作物生长模拟模型进行作物生理生态及管理调控方面的模拟研究，避免实物研究中干扰因素多、周期长、费用高等的不足。

由于作物模拟模型通过利用系统分析方法和计算机模拟技术，对作物生长发育过程及其与环境 and 技术的动态关系进行定量的描述和预测，因而具有较强的系统综合和动态预测的功能，克服了传统作物栽培研究中较强的时空局限性，为作物生长预测和管理调控提供了有力的量化工具。然而，作物模拟模型主要是处理和提供“土壤—作物—大气”系统的深层信息，但难以表达作物栽培理论和技术方面的量化关系，因此难以直接进行生产系统的智能化管理决策。农业专家系统的发展恰好弥补了作物模拟模型在推理决策方面的不足。在欧美、日本等发达国家，基于作物模拟模型和专家系统的农业管理决策支持系统为农业生产布局和管理决策提供了现代化的管理手段和技术支持，进一步结合GIS、RS和GPS技术，可辅助进行不同时空条件下的农业资源环境监测、精确生产管理 & 生产力分析等，从而极大地提高了农业生产管理决策的科学性和定量化水平，取得了显著的经济、社会和生态效益。

2. 农业专家系统的发展和特点

专家系统是一种能模拟人类专家运用知识和推理解决某一特