

• 华夏英才博士论文文库 •

作物系统模拟及智能管理

曹卫星 罗卫红 / 著



华文出版社

图书在版编目(CIP)数据

作物系统模拟及智能管理/曹卫星, 罗卫红著. - 北京: 华文出版社, 2000.11

ISBN 7-5075-1061-1

I. 作… II. ①曹…②罗… III. ①作物-生长发育-模拟②作物-生长发育-建立模型-管理决策系统 IV. S3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 76854 号

华文出版社出版

(邮编 100800 北京市西城区府右街 135 号)

网 址: <http://www.hwbs.com>

电子信箱: webmaster@hwbs.com

电话 (010) 83086853 (010) 83086663

新华书店经销

通县大中印刷厂印刷

850×1168 32 开本 8.75 印张 200 千字

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

*

定价: 25.00 元

序

21 世纪,人类将逐步进入知识经济的时代。人们将愈益广泛和深入地利用信息科学技术革命的成果来面对人口、资源、环境的压力,不断深化认识和揭示生物世界的奥秘和科学地调控利用自然资源和改善生存环境的能力,实现基于信息和知识的生产过程管理决策。农业动植物生长发育是一个十分复杂的过程。农业生产受到土地、气候、技术、作物等诸种因素的影响,表现为时空变异性大、经验性和地域性强、定量化和规范化程度低。过去一百多年以来动植物遗传育种、植物矿质营养机理及生理生态、植物病虫害防治科学技术的突破性成就,已经使人类系统地积累了生物系统生长发育与生产过程调控的知识,推动了基于现代数学、物理科学、生物科学、信息科学和系统科学的动植物生长模型与模拟的研究。人类已可能在相当好的程度上定量地描述动植物生长调控机理和生长过程,预测其生产潜力和认识基于可操作的主要调控参数。信息科学与农业科学的结合与交叉渗透,农业信息技术的研究、开发和应用,必将推动实现农业生产的信息化、知识化和智能化,并正引发着传统农业经营技术思想的革命和引导着人类进入信息农业的时代。

90 年代以来,国外、国内有关农业信息技术的研究工作已经取得了重大的进展,并在生产上获得了成功的应用,促进了持续农业和精确农业的发展。特别是作物生长模型及基于模型的管理决策支持系统具有较高的学术性和应用性,是作物信息技术研究的

突出代表。在作物模拟及信息农学快速发展的进程中,广大农业教育与科技人员及高校学生迫切需要了解和掌握有关农业系统模拟与管理决策方面的基本原理、方法和技术。然而,国外已有的有关作物生长模拟及管理决策的书籍,或者偏重于作物生长的数学分析和理论模型,或者偏重于作物生长系统的某些方面,缺少系统性、完整性和适用性。国内至今还没有专门论述有关作物生长模拟及决策系统基本原理和技术的专著或教科书。

本书着重将系统原理和信息技术应用用于作物生长发育的研究,以作物生长的技术-环境-产量动态关系为主线,结合作者多年来在作物信息技术领域的科研成果和学术积累,综合介绍有关作物系统分析和建模及基于模型的管理决策系统的基本理论、知识、方法和技术。在内容和结构上体现了较好的研究性与应用性,机理性与知识性,参考性与学习性,是适用于农学类教学和科研的重要参考书或教科书。它的出版对于推动我国作物生产系统与农业信息技术的研究和应用,加速作物智能栽培学及信息农学的建立,促进作物生产管理的科学化、信息化和智能化等具有重大的学术意义和应用价值。

中国工程院院士

汪懋华

2000年5月

前 言

农业信息技术是随着信息科学的快速发展和农业知识的丰富积累而建立起来的新兴的交叉学科领域,正在对传统的农业科技和农业生产产生深刻和广泛的影响。90年代以来,国外、国内有关农业信息技术的研究工作已经取得了重大的进展,并在生产上获得了成功的应用,促进了持续农业和精确农业的发展。其中,作物生长系统模型及作物生产决策支持系统作为农业信息技术的核心内容和基础成分,是农业信息技术成功的突出代表,已经在国内外获得广泛的认可,并继续显示出强大的生命力和发展态势。

在作物模拟及信息农学快速发展的进程中,我国的农业教育与科技人员及相关学科专业的学生迫切需要了解和掌握有关农业系统特别是作物生产系统的模拟模型及管理决策方面的基本原理、方法和技术,而国内至今还没有这方面的专著或教科书。本书的编写和出版旨在推动我国作物生长模拟及管理决策系统的研究和应用,推进作物智能栽培学的发展,实现作物生产系统的信息化和精确化。

本书综合运用系统原理和信息技术,以作物生长的

技术-环境-产量动态关系为主线,介绍有关作物模拟模型及决策支持系统的基本原理、方法和技术,注重以结构性途径建立基于生理生态过程的综合性作物生长模型,以生长模型和知识模型为基础建立管理决策支持系统,为作物生产管理的精确化、信息化、科学化奠定基础。在内容编排及结构体系上兼顾研究性与应用性,机理性与知识性,参考性与学习性。主要面向有关种植业领域的农业教育、科技、管理人员及高校农学类的研究生和高年级本科生,特别适用为作物学技术方面教学、科研参考书或教科书。

在本书的准备和写作过程中,南京农业大学作物生态研究室的教师和研究生给予了大力支持和帮助,并提出了宝贵的建议和意见。特别是王绍华、朱艳、刘铁梅、严美春等同志直接参与了部分章节的材料准备工作。除了所注明的参考文献外,书中所用素材主要来自于本实验室近年来在作物生长模拟及智能决策系统研究领域的学术论文、工作积累和认识体会等,这些工作主要得到国家教委跨世纪优秀人才基金及国家杰出青年科学基金的资助。此外,本书的出版得到“华夏英才基金会”的全额资助。作者一并表示衷心的和诚挚的感谢。

最后,由于作者水平有限,书中缺点、不足及错误之处在所难免,敬请读者提出宝贵建议和指正。

作者

2000年5月

作者简介

曹卫星，男，1958年8月27日生于江苏南通。1989年在美国俄勒冈州立大学作物科学系获博士学位，随后在美国威斯康星大学做博士后及科学家，至1994年回国工作。现任南京农业大学校长助理、教授、博士生导师、农业信息技术研究所所长、农业部作物生长调控重点开放实验室主任。主要从事作物生理生态、生长模拟及管理决策领域的科研和教学工作，尤其在作物环境生理及生长模拟等方面有较深入的研究和丰富的成果。提出了基于生理生态过程的小麦生长发育与产品形成的综合性机理模型以及基于作物-环境关系的生育指标及管理调控知识模型；研制了基于机理模型和知识模型的小麦管理智能化决策支持系统；建立了小麦小花发育与结实的生理调控机制及技术途径；阐明了不同类型小麦品种对增铵营养的生理反应及其与内源植物激素的关系；解析了马铃薯的生长发育与主要环境因子的机理关系。共发表学术论文110多篇。获得1996年度国家教委科技进步二等奖。入选国家杰出青年科学基金、国家教委跨世纪优秀人才、国务院政府特殊津贴、农业部有突出贡献的中青年专家、江苏省普通高校跨世纪学术带

头人、江苏省优秀学科带头人、南京农业大学特聘教授等。

罗卫红，女，1962年10月4日生于湖南江永。1996年荷兰瓦赫宁根农业大学理论生产生态系获得博士学位。1997年回国工作。现任南京农业大学农学系教授，博士生导师。主要从事作物生态、农业气象及作物生产的系统分析与模拟领域的科研和教学工作，尤其在农田微气象生态模拟研究及作物生长的系统分析与模拟方面有十多年的工作积累。在国内外核心期刊上发表学术论文10多篇，出版英文学术专著一部。

内 容 简 介

《作物系统模拟及智能管理》是得到“华夏英才基金会”全额资助出版的学术专著。

本书综合运用系统原理和信息技术,以技术-环境-生长的动态关系为主线,介绍有关作物模拟模型及决策支持系统的基本原理、方法和技术,注重以结构性途径建立基于生理生态过程的综合性作物生长模型,以生长模型和知识模型为基础建立智能化管理决策支持系统,为作物生产管理的精确化、信息化和科学化奠定基础。在内容编排及结构体系上兼顾研究性与应用性,机理性与知识性,参考性与学习性。

本书主要面向有关种植业领域的农业教育、科技、管理人员及高校农学类的研究生和高年级本科生,特别适用为作物信息技术方面的教学、科研参考书或教科书。

目 录

第一章 作物模拟模型的定义和作用

- 一、作物模拟模型的定义和类型…………… (1)
- 二、作物模拟模型的发展历程与特点…………… (2)
- 三、作物模拟模型的作用…………… (6)

第二章 作物系统水平与模型特征

- 一、作物生产系统的等级性和水平…………… (9)
- 二、作物模拟模型的特点…………… (12)

第三章 作物模拟原理与技术

- 一、作物模拟的原理…………… (16)
- 二、作物模拟的基本技术…………… (19)
- 三、作物模型发展的程序…………… (21)
- 四、作物生长系统的表示…………… (25)

第四章 作物阶段发育的模拟

- 一、阶段发育与器官发育的关系…………… (30)
- 二、阶段发育的模式…………… (31)
- 三、作物温光反应的模拟…………… (34)
- 四、生理发育时间与阶段预测…………… (44)

第五章 作物器官发育的模拟

一、器官发育模式·····	(48)
二、顶端原基的分化·····	(50)
三、叶片的出现与叶面积·····	(52)
四、分蘖动态与成穗·····	(59)
五、根系与茎秆的生长·····	(61)
六、籽粒发育与衰老·····	(63)

第六章 碳同化和物质积累的模拟

一、绿色面积指数·····	(70)
二、光能分布和截获·····	(72)
三、叶片和冠层光合作用·····	(75)
四、呼吸作用·····	(84)
五、同化物积累与生物量·····	(89)

第七章 同化物分配与产品形成的模拟

一、同化物分配与产量形成·····	(92)
二、氮分配与品质形成·····	(100)

第八章 作物与水分关系

一、土壤——植物——大气系统水分传输·····	(103)
二、土壤水平衡·····	(104)
三、水分效应因子·····	(114)

第九章 作物养分效应的模拟

一、土壤氮素动力学·····	(117)
二、养分吸收与分配·····	(124)

三、N、P、K 关系及养分效应因子	(130)
-------------------------	-------

第十章 作物气象环境的模拟

一、气象要素的日变化	(137)
二、作物冠层辐射平衡日总量	(142)
三、土温变化	(143)
四、基于历史资料的每日气象资料生成模型	(145)

第十一章 基于模型的作物管理决策支持系统

一、决策支持系统的定义和类型	(149)
二、基于生长模型的作物管理决策支持系统	(151)
三、基于知识规则的作物管理决策支持系统	(155)
四、基于知识模型的作物管理决策支持系统	(161)
五、基于知识模型和生长模型的作物管理决策支持系统 ..	(166)

第十二章 基于 3S 的作物生产空间信息系统

一、RS、GIS、GPS 的定义、特征与作用	(176)
二、基于 3S 的生产信息系统	(180)
三、3S 与模型的结合	(183)

第十三章 精确农作支持系统

一、精确农作的定义与特点	(190)
二、精确农作的支持技术	(193)
三、国外精确农作应用实践	(198)
四、国内精确农作应用前景	(201)

第十四章 作物智能栽培学的形成与发展

一、作物智能栽培学的形成和定义	(205)
-----------------------	-------

二、作物智能栽培学的基本特征	(207)
三、作物智能栽培学的主要内容	(208)
四、作物智能栽培学发展前景	(217)
 符号(缩写)说明表	 (224)
参考文献	(238)
主题索引	(261)

第一章 作物模拟模型的定义和作用

农业信息技术是随着信息技术及农业科学的发展而出现的一个新兴学科领域,作物系统模拟则是农业信息技术领域的研究热点。近 20 年来,作物模拟研究获得了重大发展,并已成功地应用于生产实践。本章首先介绍作物模拟模型的发展历程、定义和作用,为了解作物模拟模型的基本特点及技术原理奠定基础。

一、作物模拟模型的定义和类型

1. 作物模拟的定义

系统是一组相关成分的集合体。系统模型是对系统成分及其相互关系的一种简化的数学表达。作物模拟模型着重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和技术动态关系进行定量描述和预测。因此作物模型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。

作物模型的建立即建模是指作物模型研制的过程,模拟主要是指解析作物系统的结构、功能和行为,并进行模型运作的过程。因此广义的模拟包括模型建立和模拟试验两个主要内容。

作物生长模型具有较强的机理性、系统性和通用性,作物模型的成功开发和应用促进了对作物生育规律由定性描述向定量分析的转化过程,为作物生产决策系统的开发与应用奠定了很好的基

础,特别是为持续农业和精确农业的研究提供了科学的工具。

2. 作物模拟的类型

作物模型按不同的功能特征可分为经验模型与机理模型,描述模型与解释模型,统计模型与过程模型,应用模型与研究模型,单一模型与综合模型等。其中,前一类模型相对简单一些,经验性的成分多一些,注重模型的预测性和应用性。后一类模型则要复杂一些,机理性的成分多一些,强调模型的解释性和研究性。但总体上,所有模型从更微观的层次看都可认为是经验性模型,或者从更宏观的层次看是机理性模型。

二、作物模拟模型的发展历程与特点

1. 作物模拟的发展历程

作物模拟的发展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的生理生态过程模拟慢慢发展成为综合的作物生长模拟模型。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信息技术的发展,作物学的知识积累,管理决策的定量要求,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。

国际上有关作物模拟研究的发展可以概括为以下四个主要阶段。

(1)幼年期: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)及美国的 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拟,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、SOYGRO、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。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,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 模型,加强了理论性和综合性。1982 年, Van Koulén 在 BACROS 模型的基础上建立了 SUCROS 模型,该模型以太阳辐射作为影响生长的主要因子,以

CO₂ 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 Penmng de Vries 等 (1989) 又研制成 MACROS (Modules for Annual Crop Simulation, 即一年生作物的模拟模型)。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(作物-环境-资源综合系统)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、土壤水分的垂直流动与渗漏等)。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了一定的困惑和失望。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,过分偏重于理论或假说对生长发育和产量形成等生理过程的解释而缺少必要的验证。

(4)成熟期:90 年代中期始,模型被视为一种启发式的工具,