



全国高等农林院校“十一五”规划教材

温室作物生长 模型与专家系统

罗卫红 主编



 中国农业出版社



设施农业科学与工程 本科专业系列教材

设施农业栽培学——蔬菜分册

设施农业栽培学——果树分册

设施农业栽培学——观赏植物分册

农业设施设计基础

农业设施设计与建造

设施农业环境工程学

农业园区规划与管理

工厂化育苗原理与技术

温室作物生长模型与专家系统

本书采用出版物数码防伪系统
刮开涂层将16位防伪密码发短信至 95881280
免费查询 辨别真伪
详情请查询中国扫黄打非网
<http://www.shdf.gov.cn>
防伪、网络增值服务说明见书内“郑重声明”页

明码 7100 5955 7259 6291
密码

封面设计 贾利霞

ISBN 978-7-109-12060-0



9 787109 120600 >

定价：19.80 元

全国高等农林院校“十一五”规划教材

温室作物生长模型 与专家系统

罗卫红 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

温室作物生长模型与专家系统/罗卫红主编. —北京:
中国农业出版社, 2008. 5
全国高等农林院校“十一五”规划教材
ISBN 978-7-109-12060-0

I. 温… II. 罗… III. 作物—温室栽培—高等学
校—教材 IV. S316

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 044782 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 100125)

责任编辑 戴碧霞

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行
2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 13

字数: 219 千字

定价: 19.80 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

“设施农业科学与工程” 本科系列教材 编写委员会

主任委员 邹志荣（西北农林科技大学）

副主任委员（按姓氏笔画排列）

王秀峰（山东农业大学）

李天来（沈阳农业大学）

陈青云（中国农业大学）

郭世荣（南京农业大学）

委 员（按姓氏笔画排列）

朱世东（安徽农业大学）

吴凤芝（东北农业大学）

别之龙（华中农业大学）

邵孝侯（河海大学）

黄丹枫（上海交通大学）

崔世茂（内蒙古农业大学）

本书编写人员

主 编 罗卫红

副主编 李天来 陈青云

邹志荣 李亚灵

编 者 (按姓氏拼音排序)

陈青云 (中国农业大学)

戴剑锋 (南京农业大学)

李天来 (沈阳农业大学)

李亚灵 (山西农业大学)

罗卫红 (南京农业大学)

罗新兰 (沈阳农业大学)

杨振超 (西北农林科技大学)

张 洁 (河海大学)

张 智 (西北农林科技大学)

邹志荣 (西北农林科技大学)

总 序

设施农业是在相对可控的环境条件下,利用必要的设施和设备,实现集约化高效可持续发展的现代农业生产方式。随着现代设施设备和信息技术的不断更新,设施农业成为现代农业发展的典型代表。世界各国竞相投入,大力发展设施农业,提高本国的农业发展水平。我国目前的设施农业面积达到 250 万 hm^2 ,成为全球设施农业大国之一。但要成为设施农业强国,不断缩小与农业发达国家在农业技术装备水平和农产品国际竞争力方面的差距,仍需投入大量的人力物力,特别是要突破设施农业人才短缺对我国设施农业发展的瓶颈制约,开展以培养一大批优秀的设施农业专门人才和高素质劳动者的设施农业高等教育,势在必行。

2002 年,教育部颁布了新的专业目录,增加了“设施农业科学与工程”本科专业,培养学生掌握生物学、园艺学、农业工程的基本知识,对学生进行设施设计与建造、设施环境调控、设施设备开发与应用、设施农业生产经营与管理等方面的基本训练,使他们具有从事设施农业的技术推广与开发、工程设计、经营管理、教学与科研的基本素质和能力。设施农业学科迎来了发展的契机。

但由于设施农业学科属于新兴交叉学科,为了做好该学科的人才培养工作,还需开展大量的基础性学科建设工作,教材建设是其中之一。根据这种需要,中国农业出版社组织全国同行专家召开了教材建设研讨会,组建了“设施农业科学与工程”本科系列教材编写委员会。经讨论达成共识,本专业核心课程应包括设施农业栽培、设施农业工程和设施环境控制三部分内容,决定出版本专业系列教

材。这套教材以实施素质教育、培养学生的实践能力和创新能力为出发点,根据“设施农业”是一个包含生物、工程、环境三方面内容的新兴交叉学科的特点组织素材,在教材中,新知识和新方法相互渗透,相互融合,浑然一体。这套教材的出版,标志着设施农业学科的理论体系基本得以确立,也反映出该学科的最新发展水平。

这套教材的出版在国内外尚属首创,解决了新专业教学急需。教材的编写是根据各院校和编者的优势安排的,但由于缺乏可以借鉴的经验,错误和纰漏在所难免,恳请广大读者和同行专家批评指正。

邹志荣

2006年10月于西北农林科技大学

前 言

农业由于受自然条件制约和干扰，系统结构复杂，时空变异大，定量化难度大，一直被认为是弱势产业。加入WTO以后，我国农业直接面临国际市场的激烈竞争。以温室作物生产为主的设施农业，因具有技术和劳动力密集、高投入高产出的特点，在发展我国农村经济和提高我国农业国际竞争力中的作用越来越突出。但是在温室作物管理方面，我国定量化和标准化程度很低，不能充分发挥作物生产潜力、过量施肥和使用农药，不仅导致作物的产量和品质不高、作物生产的资源利用率低，而且造成环境污染，从而影响温室作物生产的经济效益和生态效益。

设施作物生产是关系到设施外气候—设施内环境—设施内作物—栽培管理技术的系统工程，需要多学科知识的融合才能解决设施作物生产所面临的问题。计算机技术、系统分析和模拟技术及人工智能技术的迅速发展及其在农业中的应用，为研究复杂的温室生产系统提供了有力的工具，使得温室生产系统各因子间关系的量化和调控成为可能。温室作物生长模型具有综合知识、量化关系、测验假说和动态预测的功能，专家系统则具有管理决策的功能。因此学习和掌握温室作物生长模型与专家系统的基本概念、基本结构、基本原理和方法以及建立温室作物生长发育模拟模型和专家系统的技术路线，有利于提高我国设施农业科学与工程专业的专业理论水平与知识的综合运用能力，为他们在生产和科研实践中学习和掌握利用信息技术手段解决温室作物生产中的问题奠定基础，以适应我国设施农业快速发展的需要。因此，迫切需要编写一部系统介

绍温室作物生长模型与专家系统方面的基本原理、方法和技术的教材。

本教材具体编写分工如下：绪论、第一章、第二章、第三章由罗卫红编写；第四章由罗新兰、李天来编写；第五章由罗卫红、戴剑锋编写；第六章由张洁编写；第七章由张智、邹志荣编写；第八章由张洁、李天来编写；第九章由罗卫红、戴剑锋、陈青云编写；第十章由张洁、杨振超、邹志荣、李天来、李亚灵、罗卫红、戴剑锋编写。全书由罗卫红统稿，书中的图、表、参考文献和思考题由戴剑锋统一整理。

本教材的编写得到了各位编者与同事的大力支持和帮助，并提出了宝贵的意见和建议。在此一并表示诚挚的感谢！

由于时间和作者水平的限制，书中缺点、不足及错误之处在所难免，敬请读者指正和提出宝贵建议。

编 者

2008年2月

目 录

总序

前言

绪论.....	1
第一章 作物生长模型的定义和作用.....	4
第一节 作物生长模型的定义和类型	4
一、有关作物生长模型的概念与定义	4
二、作物生长模型的类型	5
第二节 作物生长模型在设施农业中的作用	5
第三节 温室作物生长模型研究的任务与内容	7
复习思考题	8
第二章 作物管理专家系统的定义与作用	9
第一节 作物管理专家系统的定义和类型	9
一、有关专家系统的概念与定义	9
二、作物管理专家系统的类型	11
第二节 作物管理专家系统在设施农业中的作用	12
第三节 温室作物管理专家系统研究的内容与任务	13
复习思考题	13
第三章 温室作物生产系统分析	14
第一节 温室作物生产系统的等级水平	14
第二节 温室作物系统的结构	16
一、温室作物生产系统结构	16
二、温室作物生长发育系统结构	17
三、动态（力）模型的有关概念	18
第三节 建立温室作物生长模型的原则与步骤	20
一、温室作物生长模型的建模原则	20
二、温室作物生长模型的建模步骤	20

复习思考题	21
第四章 温室作物生育期的模拟预测模型	22
第一节 影响温室作物发育速率的因子	22
一、温度	22
二、光照	24
三、CO ₂ 浓度及土壤通气状况	27
四、水分和湿度	27
五、营养元素	27
第二节 发育尺度的种类	28
一、日历尺度或时钟时间尺度	28
二、有效积温尺度	28
三、生理发育时间尺度	30
第三节 发育速率的确定	37
第四节 温室作物生育期的模拟与预测	38
一、番茄生育时期的划分	39
二、生理发育时间的计算	39
三、模型检验方法	40
复习思考题	41
第五章 温室作物光合作用、呼吸作用和干物质生产的模拟	42
第一节 影响温室作物叶片光合作用的因子	42
第二节 叶片光合作用速率对环境因子的响应曲线	44
一、叶片光合作用速率对光合有效辐射的响应曲线	44
二、叶片光合作用速率对温度的响应曲线	45
三、叶片光合作用速率对 CO ₂ 浓度的响应曲线	46
第三节 太阳辐射在温室作物冠层中分布的模拟	46
一、叶面积指数的模拟	47
二、太阳辐射在温室作物冠层中分布的模拟	48
第四节 温室作物冠层光合作用速率的计算	50
第五节 温室作物呼吸速率的计算	52
一、温室作物维持呼吸的计算	53
二、温室作物生长呼吸的计算	53
第六节 温室作物冠层干物质生产的计算	55
复习思考题	56

第六章 温室作物干物质分配、器官生长和产量形成的模拟	57
第一节 影响温室作物干物质分配的因子	57
一、库强对温室作物干物质分配的意义	57
二、温度对温室作物干物质分配的影响	59
三、其他因素对温室作物干物质分配的影响	60
第二节 温室作物干物质分配的计算方法	61
一、分配系数模型	61
二、分配指数模型	63
第三节 温室作物叶面积形成的模拟与叶面积指数的计算	66
一、温室作物叶面积形成的模拟	66
二、温室作物叶面积指数的计算	70
第四节 温室作物产量形成的模拟	73
一、产量形成相关指标的确定	73
二、温室作物产量形成模拟	74
复习思考题	75
第七章 温室作物系统水分的模拟	76
第一节 温室作物系统中水分传输	76
一、土壤—植物—大气连续体系	76
二、土壤中水分的运动规律	78
三、植物体内的水分传输	81
第二节 温室作物系统中水分平衡	82
一、土壤贮水量	82
二、土壤水分平衡	83
三、蒸发蒸腾的计算	84
第三节 水分效应因子的定义与计算	87
一、水分的供需关系	87
二、水分胁迫的影响	88
复习思考题	90
第八章 温室作物系统养分关系的模拟	91
第一节 温室作物系统中的养分循环	91
一、养分循环的过程	91
二、温室作物系统中氮素循环	93
三、温室作物系统中磷素循环	95

四、温室作物系统中钾素循环	96
第二节 土壤、基质、营养液的养分平衡	98
一、土壤的养分平衡	98
二、基质的养分平衡	99
三、营养液的养分平衡	100
第三节 温室作物对养分的吸收与分配	101
一、温室作物对养分的吸收需求	101
二、温室作物对氮肥的吸收与分配	103
三、温室作物对磷肥的吸收与分配	104
四、温室作物对钾肥的吸收与分配	106
第四节 养分效应因子的定义与计算	107
一、养分效应曲线	107
二、养分效应因子	108
三、影响养分效应的因素	109
复习思考题	109
第九章 作物管理专家系统的基本结构与知识库内容	110
第一节 基于数据库的专家系统	111
一、系统结构与功能	111
二、数据库的内容	112
三、基于数据库的专家系统实例	114
第二节 基于知识规则的专家系统	119
一、系统结构与功能	119
二、知识库的内容与知识表示方法	120
三、基于知识规则的专家系统实例	121
第三节 基于生长模型的专家系统	122
第四节 温室作物管理专家系统的实现	124
一、Prolog 语言的基本语句	124
二、匹配	126
复习思考题	126
第十章 温室作物管理专家系统	127
第一节 工厂化育苗专家系统	127
一、工厂化育苗的生产工艺流程	127
二、适于工厂化育苗的温室作物种类	128
三、工厂化育苗前期的准备资料	129

四、工厂化育苗的环境控制	133
第二节 温室作物栽培管理专家系统	136
一、温室作物栽培管理专家系统的基本功能和作用	136
二、温室作物栽培管理专家系统的主要模块与设计	136
第三节 温室作物水分管理专家系统	138
一、节水灌溉理论研究进展	138
二、节水灌溉专家系统的研究进展	139
三、节水灌溉专家系统的基本结构	141
四、作物节水灌溉决策	147
第四节 温室作物养分管理专家系统	148
一、氮、磷、钾及微量元素管理	149
二、温室作物养分管理要点	155
三、几种典型温室蔬菜作物的需肥特性与养分管理要点	156
第五节 温室作物病虫害管理专家系统	159
一、采用专家系统进行病虫害管理的必要性	159
二、病虫害基本知识	160
三、温室病虫害作物管理专家系统	162
第六节 温室观赏植物花期调控专家系统	173
一、一品红花期调控专家系统	173
二、温室独本切花菊花花期调控专家系统	176
复习思考题	179
主要参考文献	180

绪 论

计算机技术、系统分析和模拟模型技术及人工智能技术的迅速发展，为定量研究复杂农业生产系统提供了有力的工具和技术支撑。20 世纪 60 年代荷兰和美国研制的作物冠层光合作用模拟模型和 70 年代美国研制的棉花害虫管理专家系统开创了将计算机技术、模拟模型技术和人工智能等信息技术应用于农业的新篇章。80 年代以来，作物生长模拟模型和作物管理专家系统的深入研究以及信息技术本身的突飞猛进，进一步促进了农业科学与信息技术的交叉、渗透与融合，并产生了“农业信息技术”这一新兴学科。“农业信息技术”学科的产生为用“信息技术”改造传统的农业产业奠定了理论基础、提供了技术支撑。作物生长模拟模型和专家系统在农业领域的成功应用是 20 世纪农业科学发展的一项十分重要的成就。在农业信息技术突飞猛进的今天，农业模型已被认为是“数字农业”的科学基础与核心技术以及通向农业信息化的桥梁，并成为国内外农业研究的重要领域。农业专家系统则是直接帮助农户实现农业生产管理标准化和智能化的有力工具。

20 世纪 80 年代，随着计算机和自动控制技术在设施作物生产过程中的逐渐应用和普及以及 70 年代末出现的能源危机，如何通过优化设施环境调控和作物管理来达到设施作物高产、优质和节能降耗的生产目标成为欧美等发达国家设施园艺领域研究的重点和热点问题。作物生长发育模拟模型可以定量描述设施—作物—环境—管理技术措施之间的关系，因而成为设施环境调控和作物管理优化研究的重要内容之一。80 年代末 90 年代初以来，国际上出现了多种设施作物生长模拟模型研究的报道。其中具有代表性的模型有温室番茄生长模型 TOMGRO 和基于光合作用的通用温室作物生长模型 HORTISIM。自 90 年代中期以来，不断有设施作物生长模型在设施环境调控和设施作物栽培管理中的应用研究报道。其中美国开发的 Greenhouse Care System、荷兰开发的 KASPRO 分别是将作物生长模型应用于温室花卉和蔬菜作物环境调控优化与管理的成功范例。随着互联网技术的发展和普及，基于 Web 的各类农业信息系统正在成为重要的研发与应用平台。如美国伊利诺伊大学开发的基于 Web 调用的作物模型模拟系统 OWSimu，丹麦农业大学开发的作物管理决策支持系统 Pl@nteInfo 等。用户可以通过 Internet 访问这些系统来咨询如何根据作物当前的生长状况来优化作物生产的管理与环境调控。欧美国家设施作物模拟

模型的研究成果与应用大大促进了这些国家设施环境调控与作物生产管理技术的发展及信息化水平的提高,基本实现了设施作物生产的数字化、标准化和智能化,达到了高产、优质、安全的设施作物生产目标。

欧美国家在温室作物生长发育模型的研发与应用方面的成果为我国开展相关研究提供了宝贵的方法和经验。我国在 20 世纪末开始了设施作物生长模型的探索研究,虽起步较晚,但近年来发展较快。到 2007 年底,我国已有关于温室番茄、黄瓜、甜瓜、生菜、菊花生长发育模型的研究报道。如南京农业大学近年来研究开发了基于作物光合作用和光温反应过程的温室番茄、黄瓜、甜瓜、菊花生长发育模拟模型系统;中国农业科学院等在消化吸收国外作物模型的基础上,研究开发了基于 Web 远程调用的温室番茄生长模拟模型系统。

近年来,随着信息技术领域中可视化和虚拟现实技术的发展及其在农业中的应用,作物生长模型的发展已经由对作物系统的抽象数字表达转向可视化的图像显示,使作物生长模型的模拟过程和结果直观形象、易于理解。国内外已经有关于玉米、菊花等作物虚拟生长模型的研究报道。这些虚拟生长模型目前可以描述在肥水供应充足条件下生长健康的单株或作物群体在不同生长时期的三维结构,但这些模型的参数多且获取困难,目前仍只停留在探索研究阶段,离实际应用尚有很大距离。尽管作物生长模型的可视化研究目前仍处于起步和探索阶段,但将作物生长的数字模型与可视化和虚拟现实技术相结合,建立既可以解释作物生长过程机理又可以直观显示作物生长过程的外观三维结构的“功能—结构”模型,是今后作物生长模型发展方向。

在作物生长模拟模型发展的同时,专家系统作为人工智能的一个重要分支也得到了迅速发展。自从 1965 年美国斯坦福大学计算机系研制了第一个专家系统(DENDRAL,该系统可以根据质谱仪测量数据来决定一个未知化合物的分子结构)以来,专家系统的研究迅速发展并渗透到包括农业在内的各个领域。世界上应用最早的农业专家系统是 1978 年美国伊利诺伊大学开发成功的大豆病害诊断专家系统(Plant/ds)。1982 年,美国又开发出了玉米螟虫虫害预测专家系统(Plant/cd)。1986 年 Science 发表了美国农业部和全国棉花委员会开发的基于模型的棉花生产管理专家系统 COMAX/GOSSYM。COMAX/GOSSYM 是美国开发的最为成功的农业专家系统之一。1983 年日本千叶大学开发了番茄病虫害诊断专家系统 MICCS。随后,千叶大学利用 MICCS 工具进一步开发了茄子等作物的病虫害诊断专家系统、花卉栽培管理决策支持系统、庭院景观评价系统等。日本东京大学也研制开发了番茄栽培管理专家系统及营养液管理专家系统。1985 年,中国科学院合肥智能机械研究所研制成功我国第一个农业专家系统“砂姜黑土小麦施肥专家系统”。该课题组在随后 10 余年