

农业模型学基础

FOUNDATION OF AGRICULTURAL
MODELING SCIENCE

高亮之 著

农业模型学基础

高亮之 著

版權所有



翻印必究

农业模型学基础

著者：高亮之

责任编辑：金之庆 李秉柏

出版发行：天马图书有限公司

香港上水新成区一百二十三号三楼

电话：二六七零六六三三

传真：二六七零一三八二

印刷数量：一千本

印刷：天马图书有限公司

开本：十六开

印张：二十一点六

字数：五九五千字

定价：精装本：四十五元(人民币)，(港币)

平装本：三十五元(人民币)，(港币)

版次：二〇〇四年七月第一版

二〇〇四年七月第一次印刷

ISBN 962 - 450 - 586 - 1/D·46363

作者简介

高亮之(1929.5-),福建长乐人,1946年上海沪江大学附中毕业。同年考入浙江大学农学院植物病虫害系,并投身于革命学生运动,1947年加入中共地下党,1948年赴皖西解放区,参加人民解放战争。1950年浙江大学农学院毕业。1956-1957年在北京大学大气物理系进修。历任南京农业学校教导副主任、华东农林干部学校三部副主任、团总支书记、华东农科所助理研究员、中国农科院江苏分院副研究员、南京市农科所副所长、江苏省农科院研究员、院长、党委书记、院学术委员会主任、院专家委员会主任、中共江苏省七届省委委员、中国农业气象研究会理事长、中国科协三、四届全国委员、江苏省科学技术协会三、四届副主席、江苏省农学会理事长、江苏省老科协副理事长、墨西哥国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)理事,并任中国农业大学、南京农业大学、南京气象学院兼职教授、博士生导师、美国俄勒冈州立大学客座教授。他被聘为国际《农业系统》杂志编委、日本《作物科学杂志》(国际性)编委。

高亮之教授是我国第一代农业气象学家,是我国现代农业气象学开创人之一。他在我国最早提出农业气象生态的观点与方法。50-70年代,他研究论述了长江流域发展双季稻的可能性,并研究解决双季稻生产中的关键技术,对我国长江流域双季稻的大面积发展起了积极作用。他研究我国水稻秋季冷害不实与水稻小穗问题,提出水稻安全齐穗期与适宜播栽期的求算方法,在全国各稻区普遍应用,为我国水稻稳产高产起到指导作用。他与助手一起研究揭示我国南方小麦湿害的机理,并提出防湿对策,后来得到大面积应用,推动了南方小麦产量的提高。80年代,他主持完成的中国水稻气候资源与气候生态区划研究,为发展我国水稻生产提供了科学依据。此成果在国际上受到广泛重视。

80年代后,他建立农业系统学的理论框架,提倡将农业作为整体进行研究。他在我国最早从事并积极倡导农业模拟与模型研究。他在国际上首次将作物模拟技术与栽培优化原理相结合。1984-1991年,他与助手一起研制完成我国第一个大型的水稻栽培模拟化决策系统。他提出的水稻“钟模型”在国内外得到广泛借鉴与引用。1993-2000年,他与助手一起研制完成小麦栽培模拟优化决策系统。水稻与小麦二个作物模型在全国十多个省、市得到大面积的推广应用,为我国粮食增产增效与农业信息化发挥了积极作用。

他的学术专著有:《江苏农业气候》、《水稻与气象》、《水稻气象生态》、《农业系统学基础》、《水稻栽培计算机模拟优化决策系统》、《农业模型学基础》等;参与写作《中国水稻栽培学》,作为副主编的著作有:《中国气候与农业》、《中国农业气象学》;有多本译著。先后共发表研究论文80余篇,在国际杂志上发表8篇,培养硕士生8名,博士生6名。几十年来,他为我国农业科技、农业气象、农业模型研究与应用培养了大批人才。曾获国家、省、部科技进步一等奖各一项,省科技进步二等奖一项,省、部科技进步三等奖三项和省科学大会奖一项。1991年获得国务院特殊津贴。

卢良恕序

当今世界已经进入信息时代。数字农业在全世界与我国都在加快发展。在这时候,出版高亮之先生所著的《农业模型学基础》一书是十分有意义的事。

高亮之先生另一部著作《农业系统学基础》,我曾经为它写过序言。该书在 1992 年出版发行,得到农业科学界的广泛好评。南京农业大学将它作为正式的教材。本书《农业模型学基础》是该书的姐妹作。

农业系统学的基本观点是将农业问题看作由农业环境、农业生物、农业技术与农业经济等要素组成的一个整体。而农业模型学则是为各种农业问题提供整体研究的方法。

农业模型学是国际上近三十多年来发展起来的先进的农业科学。农业模型的方法是农业科学研究在方法论上的重大突破。对当代迅速发展的数字农业来说,农业模型是它的重要的学术基础。

本书论述范围广泛,几乎涉及农业的各个方面。收集的资料概括了当代国际上主要的农业模型研究成果,是一本具有较高学术价值的专著。它的出版发行无疑将对我国农业科研、教育与生产都产生较大影响。

卢良恕
中国工程院院士
中国农业科学院研究员、教授
2002 年 10 月 21 日

汪懋华序

高亮之教授所著《农业模型学基础》一书,全面而详尽地论述了农业模型的原理与方法,是一部高水平的学术专著。

农业模型化(Agricultural Modeling)是在二十世纪60-70年代开始发展起来的农业科学研究的一种新的方法,至今只有三十多年的历史,因此是一门十分年轻的科学。它依靠电子信息技术,根据农业的各种过程的内在机理进行计算机模拟,建立各种类型的农业模拟模型、农业优化模型与农业决策模型。

农业模型是数字农业的重要的理论基础,是信息时代农业进一步发展的科学依托。

高亮之教授的著作是对近三十多年来国际上农业模型研究的全面总结,概括了国际上最重要的农业模型方面的专著与文献,介绍了国内外各种著名的农业模型。本书涉及的领域十分广泛,有:作物生理生态、作物栽培、作物育种、果树、蔬菜、花卉、植物保护、畜牧与牧草、农业环境资源、气候变化、农业遥感、地理信息系统、精确农业等。

本书是我国第一部系统地阐述农业模型学的学术著作,对我国农业科研、农业教育、农业生产管理等方面都会有较大帮助。

汪懋华

中国农业大学教授

中国工程院院士

2002年10月12

FOUNDATION OF AGRICULTURAL MODELING SCIENCE

PREFACE

Dr. D. A. Holt

Through our communication and cooperation over the years, I came to regard Liangzhi Gao as one of the world leading authorities on agricultural modeling and dynamic simulation. He and a few other modelers laid the foundation for digital agriculture as it is now emerging on the world scene. I first became aware of his modeling work and expertise in the 1970s, when I was involved in crop modeling at Purdue University. Later it was my privilege to work with Dr. Gao on consulting assignments in which we evaluated the plans and progress of various modeling projects related to the effect of global climate change on crops, especially rice.

I was also aware of Dr. Gao's successful efforts to foster international communication and cooperation by organizing major international meetings focused on applications of computers in agriculture. Most recently I reviewed his landmark work on wheat modeling and found it to be outstanding in both scientific validity and relevance to practical wheat production.

In this book, Dr. Gao not only summarizes his own modeling work but integrates it with the work of other leading practitioners of the art and science of agricultural modeling. He provides a fascinating history of agricultural modeling and its underlying sciences as disciplines and lays a solid mathematical, conceptual, and methodological foundation for modeling efforts. He then provides a wealth of detail and background from his own lifetime of experience and from the work of others around the world. He provides numerous examples of models and modeling approaches in many different agricultural disciplines and subject matter areas.

Dr. Gao's book is unusually thorough in its treatment of the subject of agricultural modeling. His keen insights into this important endeavor will be valuable not only to those who develop and use models to formulate and test biological and agricultural theories but also to those who develop and use models for purely practical purposes. It is safe to predict that this book will be the definitive work on crop modeling for many years into the future. I commend it to the reader without reservation.

D. A. Holt

Professor Emeritus of Crop Sciences, University of Illinois, USA

President of the American Society of Agronomy in 1989 – 1990

Senior Associate Dean, retired

Professor Emeritus of Crop Sciences

College of Agricultural, Consumer, and Environmental
Sciences, University of Illinois

Interim Director,

National Soybean Research Laboratory

Dr. D. A. Holt 序

通过我们多年的交流,我认为高亮之博士是世界上农业模型与动态模拟方面的领先性的权威学者之一。他与少数几位模型工作者奠定了现在正在世界范围内涌现的数字农业的基础。我最初是在上世纪 70 年代,当我在普渡大学参与作物模型研究时,知悉他在模型方面的工作。随后,我荣幸地与高博士一起接受各项咨询任务,对全球气候变化影响农作物(特别是水稻)的不同模型项目的计划与进展进行评估。

此外,我知道高博士在组织一些重要的农业应用计算机的国际会议,以发展国际间的交流与合作方面,得到成功。最近,我评阅了他在小麦模型方面的里程碑性的工作,发现该模型在科学正确性与对实际小麦生产的指导性两方面都是杰出的。

在这本书中,高博士不仅总结了他自己在模型方面的工作,并且结合了其他许多在农业模型的科学与技术方面领先性学者的工作。他介绍了农业模型研究的引人入胜的历史,以及与它有关的各种学科。他提供了农业模型的数学的、观念的、方法论方面的坚实的基础。他介绍了从他自己一生的工作经验,以及从世界上其他学者的工作中得到的大量的细节与背景;他提供了农业许多不同学科与不同主题领域的无数的模型或模型方法的实例。

高博士的书关于农业模型这个主题的处理非常完善。他对于这个重要领域的透彻的领会,不仅对那些为建立并测试生物学与农业原理而发展并应用模型的人们,并且对那些纯粹以应用为目的而发展并利用模型的人们,都将是有价值的。可以有把握地预期,这本书将在未来许多年内,是在作物模型方面一本权威性的著作。我无保留地向读者们推荐这本著作。

D. A. Holt

美国农艺学会(American Society of Agronomy)主席(1989 - 1990)

美国伊利诺大学农业、消费与环境学院副院长(退休)、作物科学荣誉教授、

国家大豆研究实验室主任(暂任)

作者自序

高亮之

自 20 世纪 60 年代荷兰的 C. T. de Wit 与美国的 W. G. Duncun 创建玉米光合作用的计算机模型以来,农业模型的研究至今已有 30 多年的历史。

30 多年,在科学发展的历程中,是非常短暂的时刻。但是在这 30 多年,农业模型研究的发展速度是惊人的。

它从一种作物的研究,发展到几乎所有主要作物的研究。

它从一种生理过程(光合作用)的研究发展到农作物几乎所有生长发育过程的研究。

它从作物模型研究发展到农业几乎所有领域的模型研究,包括:农业气候、土壤、水文、农业环境资源、农艺、园艺、农业虫害、病害、草害、畜牧业、水产业、林业、农产品加工、储藏、保鲜、市场、农业区划、农业政策、农业管理等。

它从极少数国家的研究,发展到几乎所有发达国家与重要发展中国家的研究。

农业模型研究发展如此之快,说明它确实是农业科学研究一种非常好的先进的研究方法。

与农业研究的传统方法(经验方法与统计方法)相比,农业模型研究的主要优点是:

1) 机理性:传统方法只知其然,而不能知其所以然;或者只知事物之间的定性关系,而不知其定量关系。农业模型研究要求揭示各种农业过程的内在机理与数量规律,包括农业动植物的生长发育机理以及与各种环境因素(气候、土壤、病虫害等)与经济因素的数量关系,在此基础上,选择或决定对策。

2) 系统性:农业,上自一个国家的农业,下至一块农田的生产,都是由农业环境、农业生物、农业技术、农业经济四大要素综合而成的十分复杂的系统。对于这样复杂的系统,传统方法只能研究农业的一个局部,而无法研究农业系统的整体。模型方法可以将农业作为整体来进行研究。

3) 开放性:对于一些规模很大的,或者时间很长的农业问题,例如全球气候变化对农业的影响这类问题,传统方法是很难入手的。模型方法是至今为止唯一可行的方法。

4) 效益性:不论过去或未来,农业实验方法都是农业研究的基础方法。农业模型研究仍然需要以农业实验为基础。但是农业实验往往是很费时与很费钱的。如果需要在较大的地区范围内说明问题,就需要许多实验点,费用必然更高。有些农业问题(如环境资源或林业问题)需要许多年的实验,是决策部门无法等待的。农业模型方法与实验方法的结合,可以非常有效地缩短时间、减低费用。

5) 先进性:农业模型研究本身就是一种涌现于信息时代的高新技术。它完全有可能与各种先进科学技术相结合,进一步推动农业科学走上当代科学技术发展的前沿,例如推动数字农业的发展,促进农业生物信息学与基因组学的发展。

6) 普及性:由于农业模型是属于农业信息技术的领域,它的研究成果完全有可能利用当代各种信息技术与信息网络传播到全世界,传播到农业的最基层。

我本人是在 1982 ~ 1983 年在美国 Oregon 州立大学任客座教授时开始农业模型研究的。当时 IBM 公司的 PC 机刚诞生。美国大学的师生们也正开始学习使用电脑。国际上已经有一些作物模型

问世。我阅读了大量文献,意识到作物与农业模型这种新的研究方法的突出优点,预见到它的宽广与深远的研究与应用前景。在 Oregon 州立大学,我与 D. Hannaway 博士合作,完成了苜蓿农业气候模拟模型(ALFAMOD)。1984 年在国内发表。这是我国最早一篇农业模型的论文。

我回国后,80 年代,在中国自然科学基金会与农业部的重点支持下,与金之庆、黄耀等,用了八年时间,完成了水稻模拟优化决策系统(RCSODS)。这是我国第一个大型的、综合性的、可以直接应用于农业生产的作物模型。它采用的作物模拟与优化栽培原理相结合的技术路线在国际上是创新的。RCSODS 的论文在国际与国内发表后,得到科学界的广泛重视。

90 年代,我与金之庆、冯利平、郑国清、马新明、曹宏鑫等一起,又用八年时间,完成了小麦模拟优化决策系统(WCSODS)。该系统有北方冬小麦、南方冬小麦与春小麦三种子系统,实际上覆盖了中国小麦的全部类型。

近十多年内,为了 RCSODS 与 WCSODS 的扩大推广,我们不间断地办了 20 次以上的全国或江苏省的培训班。目前这两个系统已经在全国十五个省市得到推广应用,为我国的粮食生产发挥了积极作用。

在研制水稻与小麦模型的同时,我研读了国内外与农业模型有关的几百篇文献,特别是近十年来的最新文献,掌握国际上农业模型研究的最新动向。

在这十多年里,我有幸结识许多国际上著名的从事农业模型研究的科学家。有:美国的 S. Loomis, J. Ritchie, D. A. Holt, J. W. Norman, D. Hannaway, G. Uehara, G. Hoogenboom, T. Carlson 等,荷兰的 C. T. de Wit, F. W. T. Penning de Vries, J. Goudrian 等,加拿大的 T. Hunt, 日本的崛江武等。我与他们就农业模型问题进行了深入探讨。

本书的完成就是依靠以上三方面的知识来源:一、众多的文献;二、自己在建立 RCSODS/WCSODS 中的亲身体验;三、与国内外科学家的探讨。

写作本书的目的是:帮助我国农业教学与科研人员更好地掌握农业模型研究的理论与方法,更好地推进我国农业模型研究,以促进我国农业现代化与数字农业的发展。

国际上已经有一些作物模型或农业模型的专著问世。(见第一篇参考文献)。它们有的是介绍某个国家(如美国、荷兰或英国的)农业模型科研成就,有的限于某个领域(如作物模型或光合模型)。与这些著作相比,本书的特点是:

1) 本书介绍世界各国的最新科研成就。本书所介绍的农业模型来自:中国、美国、荷兰、澳大利亚、英国、法国、加拿大、新西兰、日本、菲律宾、印度等十多个国家。

2) 本书覆盖了农业主要领域及其相关领域的模型研究成就,包括:气候、土壤、水文、微气象、主要农作物、作物栽培、作物育种、果树、蔬菜、花卉、农业病害、虫害、草害、草业、畜牧业、农业环境资源、林业、农业三 S 技术、全球气候变化等。

可以认为,在内容上覆盖面之宽是本书的一个特色。

本书是我另一本著作“农业系统学基础”(江苏科技出版社 1992 出版)的姐妹作。本书也以“基础”为名,其意义是:本书所介绍的只是“农业模型”这门科学的基础。农业模型学的更丰富内容还有待于今后几代人的努力。

本书共分二篇,共二十二章。

第一篇是总论。主要介绍农业模型学的学科基础、发展历史、基本原理、基本方法以及农业模型学与农业发展的关系。

第二篇是各论。分十五个方面分别介绍农业各个领域的模型研究的最新成果。

本书的章节系统如下:

章

—

1.

1)

A

(A)

枚举的内容用:(1),(2),(3)或①②③……表示。

本书内容采自大量的文献。不同文献中所用符号不一定相同。为尊重原文献,本书仍采用原来的符号。因此,同一符号在不同模型中可能会有不同的含义。

关于单位问题,本书基本上采用国际通用单位。但于是在中国发行,也采用一些中国所特有的单位,如“亩”等。

在运算符号方面,由于是用计算机写作,为方便与醒目起见,用*或·而不用×表示相乘。

关于参考文献,在第一篇末,列出该篇总的主要参考文献。第二篇的每一章末,都分别列出该章的主要参考文献。中文文献以第一作者姓名的笔划,外文文献以第一作者姓名的字母而排列次序。

本书中,外国科学家的名字以及国外的地名,一般都用英文。有不少专门科学名词,都有中、英文二种文字表达。

本书第二篇第八章中,玉米模型部分由郑国清写作。棉花模型部分由马新明写作。第十五章《农业模型与全球气候变化研究》经金之庆的修改与补充。

其余各章全部由我本人写作完成。

本书的写作过程中,得到我的同事与学生金之庆、李秉柏、黄耀、徐培文、冯利平、马新明、曹宏鑫、郑国清、郑有飞、陈玉泉、石春林、葛道阔、刘洪、曹燕东、单素贞等的许多帮助,并经他们认真校对。在此一并致谢。

本书在写作与出版过程中,得到我的妻子张立中、女儿高晓莹一家,儿子高晓东一家的鼓励与支持,使我深感慰藉。

本书写作完成后,得到我在农业科学界的朋友:卢良恕教授、汪懋华教授与美国 D. A. Holt 教授的审阅、指教与推荐。在此深表谢意。

本书写作过程,得到国外一些著名科学家赠予他们自己的许多研究论文,为本书充实了重要内容。我在(Acknowledgements)中表示感谢。

Acknowledgments

The author wishes to thank Dr. D. A. Holt (University of Illinois, USA) who kindly wrote a preface for this book.

The author wishes to gratefully acknowledge Dr. J. T. Ritchie (Michigan State University, USA) who provided the valuable book < Modeling Plant and Soil Systems > and many his own papers at his home in Texas ,2001.

The author also wishes to acknowledge:

Dr. G. Uehara (Hawaii University, USA)

Dr. G. Hoogenboom (University of Georgia, USA)

Dr. D. Hannaway (Oregon State University, USA)

Dr. C. Daly (Oregon State University , USA)

Dr. L. B. Coop (Oregon State University , USA)

Dr. J. Goudriaan (Wageningen University, The Netherlands)

Dr. E. A. Lantinga (Wageningen University , The Netherlands)

for presenting their own papers that made important contributions to this book.

目 次

卢良恕序	
汪懋华序	
Dr. D. A. Holt 序(英、中文)	
作者自序	
Acknowledgments	

第一篇 农业模型学总论

第一章 农业模型与农业模型学	(3)
一、模型与模型化	(3)
二、数学模型	(4)
三、农业模型	(6)
四、农业模型学	(7)
第二章 哲学 - 科学与农业模型	(8)
一、古代的智慧 - 数的哲学	(8)
二、近代哲学、科学的发展与数学 - 数学模型	(12)
三、当代科学与数学 - 数学模型	(13)
四、农业科学的发展与数学 - 数学模型	(13)
第三章 农业模型研究的发展过程	(15)
一、准备阶段	(15)
二、创始阶段:20 世纪 60 年代	(16)
三、奠基阶段:20 世纪 70~80 年代	(17)
四、发展阶段:20 世纪 90 年代到当代	(19)
第四章 农业模型的基本原理	(23)
一、系统性原理	(23)
二、客观性原理	(24)
三、机理性原理	(25)
四、优化性原理	(26)

五、应用性原理(或目的性原理)·····	(27)
六、通用性原理·····	(27)
七、预测性原理·····	(28)
八、综合性原理·····	(29)
第五章 农业模型的基本方法 ·····	(31)
一、农业模型目的性的确定·····	(31)
二、农业模型技术路线的确定·····	(32)
三、农业模型的总体结构·····	(33)
四、农业模型的计算机语言选择·····	(34)
五、农业模型的数学模型·····	(35)
六、农业模型中的核心模块·····	(36)
七、农业模型的数据库·····	(37)
八、农业模型的输入与输出·····	(40)
九、农业模型与专家经验·····	(41)
十、农业模型的核实(Verification)·····	(42)
十一、农业模型的校准(Calibration)·····	(43)
十二、农业模型的检验(Validation)·····	(43)
第六章 农业模型与农业科学发展 ·····	(48)
一、农业模型是农业科学在方法论上的新突破·····	(48)
二、数字农业与农业模型·····	(49)
三、农业模型是农业信息技术的基础·····	(50)
四、农业模型与未来农业科学的发展·····	(51)

第二篇 农业模型学各论

第一章 农业时间模型 ·····	(55)
一、时间单元·····	(55)
二、日历转换模型·····	(55)
第二章 农业气候模型 ·····	(59)
一、日长模型·····	(59)
二、太阳辐射模型·····	(62)
三、大气与土壤温度模型·····	(67)
四、降水模型·····	(71)
第三章 农业微气象模型 ·····	(74)
一、作物群体结构特征模型·····	(74)

二、作物群体辐射平衡模型·····	(78)
三、作物群体的湍流交换与风速模型·····	(85)
四、作物群体的热量平衡模型·····	(86)
第四章 农业水文模型 ·····	(89)
一、农田水文平衡模型·····	(89)
二、蒸发模型·····	(91)
三、CERES 系统中的土壤水分平衡模型·····	(93)
四、水分因子与土壤干湿二种情况·····	(100)
第五章 农业土壤模型 ·····	(102)
一、土壤氮模型·····	(102)
二、土壤磷模型·····	(107)
三、土壤钾模型·····	(108)
第六章 作物模型通论 ·····	(110)
一、作物模型的基本理论与方法·····	(110)
二、作物模拟模型·····	(112)
三、作物优化模型·····	(126)
四、作物模拟模型与优化模型的结合·····	(134)
五、作物栽培决策模型·····	(135)
第七章 作物模型各论 - 水稻、小麦模型 ·····	(136)
一、水稻模型·····	(136)
1. 荷兰 ORYZA 水稻模型系列·····	(136)
2. 美国 CERES - Rice 模型·····	(137)
3. 日本堀江武(T. Horie)水稻模型·····	(139)
4. 中国黄策、王天铎水稻模型·····	(140)
5. 中国 RSM 水稻模型·····	(141)
6. 中国 RICAM 模型:水稻生长日历模拟模型·····	(142)
7. 中国 RCSODS 模型:水稻模拟优化决策系统·····	(143)
二、小麦模型·····	(150)
1. 加拿大 Robertson 小麦生物气象模型·····	(151)
2. 英国 ARCWHEAT 小麦模型·····	(151)
3. 澳大利亚 O' Lerry 小麦模型·····	(153)
4. 美国 CERES - Wheat 模型·····	(155)
5. 中国史定珊等小麦模型·····	(160)
6. 中国张宇等小麦模型·····	(160)
7. 中国曹卫星等小麦发育期模型·····	(160)
8. 中国 WCSODS 小麦模拟优化决策系统·····	(163)

第八章 作物模型各论 - 玉米、棉花、大豆模型	(170)
一、玉米模型(作者:郑国清)	(170)
1. 荷兰的玉米模型 MACROS	(170)
2. 美国的 CERES - Maize 模型	(170)
3. 国外其他玉米模型	(171)
4. 中国的玉米模型	(171)
5. 玉米模型研究存在的问题及今后发展趋势	(174)
二、棉花模型(作者:马新明)	(175)
1. 美国的 GOSSYM/COMAX 棉花管理系统	(175)
2. 澳大利亚的棉花及其害虫模型(SIRATAC)	(179)
3. 我国棉花生产管理系统	(181)
三、大豆发育期模型	(186)
第九章 园艺模型	(191)
一、果树模型(以猕猴桃为例)	(191)
二、花卉模型(以百合花为例)	(194)
三、蔬菜模型	(196)
1. 香瓜(Muskmelon)模型	(197)
2. 马铃薯模型	(198)
3. 温室番茄模型	(202)
4. 脱毒大蒜模型 GMSODS	(203)
第十章 作物模型与作物育种	(206)
一、品种 - 环境相互关系的分析	(206)
二、作物模型与理想品种的优化设计	(208)
三、作物模型与品种适应性的分析	(210)
第十一章 农业植保模型	(215)
一、农业虫害模型	(215)
1. 水稻二化螟(<i>Chilo suppressalis</i> Walker)统计模型	(215)
2. 棉花棉铃虫(<i>Helicovera armigera</i> Hubner)统计模型	(216)
3. 虫害的幂指模型	(217)
4. 水稻白背飞虱(<i>Sogatella furcifera</i>)动态规划模型	(218)
5. 非洲蝗虫(<i>Oedaleus senegalensis</i>)模型	(221)
6. 玉米棉铃虫(Sweet Corn Earworm, Lepidoptera: Noctuidae)模型	(223)
二、农业病害模型	(226)
1. 水稻纹枯病(<i>Rhizoctonia soloni</i> Kuhn)统计模型(RSPM)	(226)
2. 葡萄灰霉病(<i>Botrytis cinerea</i>)的专家系统模型	(227)
3. 水稻纹枯病(<i>Rhizoctonia soloni</i> Kuhn)流行的模拟模型	(230)
4. 大麦黄矮病(Barley Yellow Dwarf Virus, BYDV)最近邻居法(Nearest Neighbour Approach)的模拟	(234)