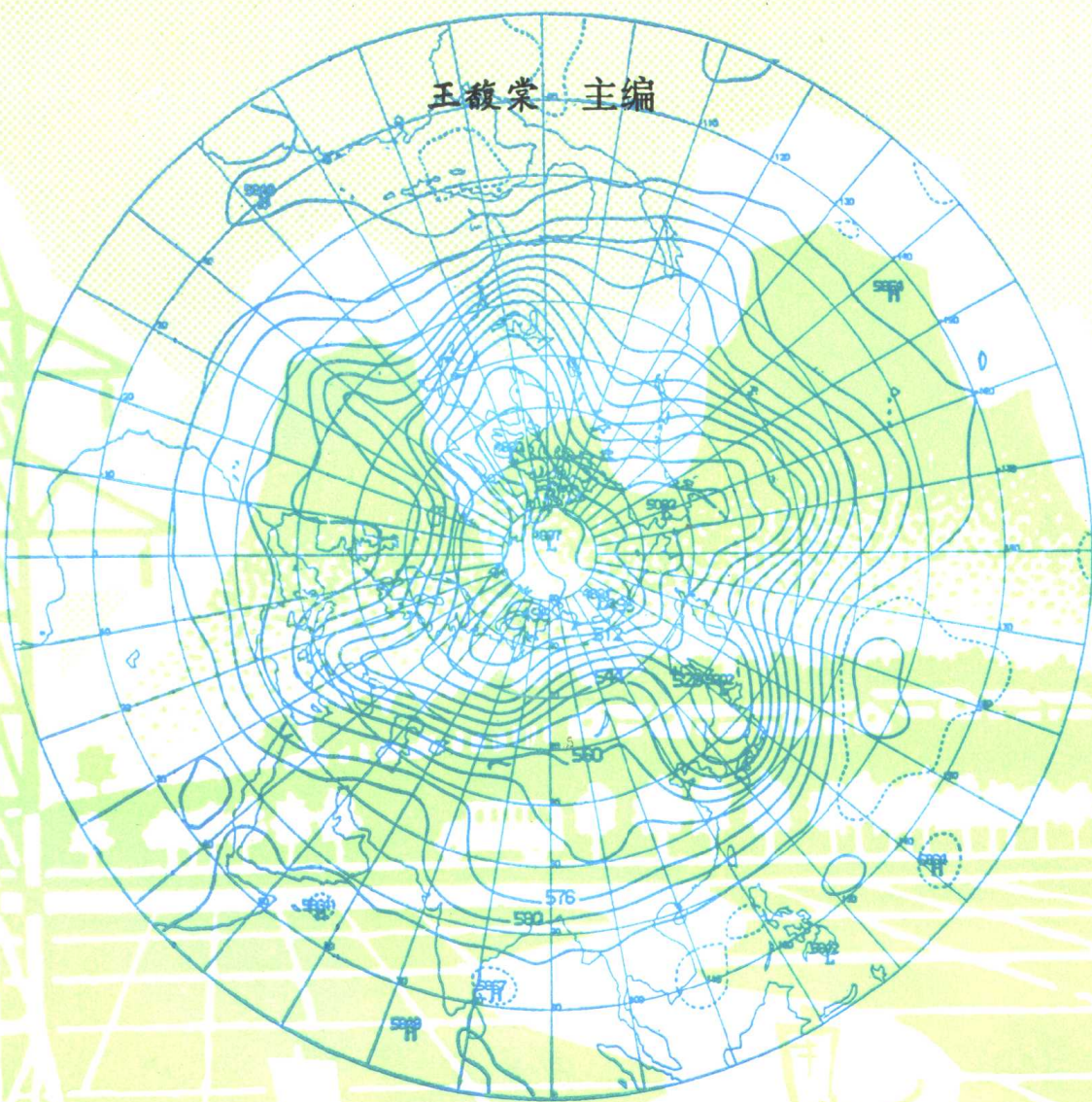


中国气象局“八五”重点项目
——短期气候预测理论和方法研究

气候变化对我国农业影响的研究

王馥棠 主编



气象出版社

中国气象局“八五”重点项目
——短期气候预测理论和方法研究

气候变化对我国农业影响的研究

王馥棠 主编

气象出版社

(京)新登字 046 号

内 容 简 介

本书从作物生长模拟试验和简化动力模式的研制(包括江南双季稻、东北春玉米和华北冬小麦),二氧化碳浓度增加对冬小麦、玉米、棉花和大豆生长直接影响诊断试验,江淮地区旱涝对农业生产影响的评估和黄淮海地区土壤水分变化规律对农业的影响等4个方面介绍了中国气象局“八五”重点项目“短期气候预测理论和方法研究”第三课题“气候变化对我国农业影响的研究”所取得的初步成果。这些成果均系立足于我国国情、以我国自己试验采集的第一手数据资料、针对当前国内外的需求和发展趋势进行的开创性研究结果。

全书由19篇研究报告编撰而成,可供气候、环境、农业和生态等诸领域的科研、教育和生产规划部门的有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化对我国农业影响的研究/王馥棠主编. —北京:气象出版社,1996.1

ISBN 7-5029-2103-6

I. 气… II. 王… III. 气候变化-气候影响-农业-中国-研究 IV. S162.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 00197 号

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路 46 号 邮编 100081)

责任编辑:顾仁俭 终审:纪乃晋

封面设计:曾金星 责任技编:陶 光 责任校对:崔 时

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:9.375 字数:228千字

1996年1月第一版 1996年1月第一次印刷

印数:1~2000

定价:10.00元

序

短期气候变化是指月、季和年际时间长度的气候变率和气候异常;短期气候预测则是根据现代气候动力学与统计学等方法,利用大型计算机对上述气候变率和异常的变化趋势进行科学的预测。短期气候预测目前已愈来愈受到各国政府和有关部门的重视,因为它直接关系到各国的社会—经济发展以及防灾减灾对策。旱涝、高温、冷害等灾害性气候都直接与短期气候异常密切相关。

我国位于世界气候的脆弱带,受季风进退异常和明显的年际变化及其它气候因子的影响,气候灾害频繁发生,并且近年来还有加剧的趋势。这些气候灾害对国计民生构成了严重的威胁,而且随着国民经济的持续发展,造成的损失越来越大。1991年江淮持续性特大洪涝灾害造成的经济损失为1024亿元,1994年我国的旱涝、台风等自然灾害造成的经济损失达1779亿元。尽早预测气候异常的发生和影响,防御和减缓气候灾害的威胁,不仅是气象界义不容辞的职责,也是国家和人民的当务之急。每年的汛期预报不仅国家十分重视,而且牵动全国人民的心。但是我国目前短期气候预测的水平还不是很高,预测业务主要是经验的、统计的,还没有可用于制作月、季、年气候预测的业务动力气候模式,特别是还没有建立经验、统计与动力相结合的综合业务预测系统。为了满足我国迅速发展的国民经济的需求,尤其是农业的需要,应迅速集中力量加快研究有理论依据的短期气候预测方法和系统。

为了争取在“九五”计划期间,将短期气候预测系统项目列入国家攻关项目,必须从科学与技术上作好准备和储备,中国气象局科教司在国家科委社会发展司的支持下,建立了“短期气候预测的理论和预测方法的研究”项目。这是中国气象局的重点研究项目,为期三年(1992~1995),实际上是为争取“九五”国家攻关项目所进行的预研究。整个项目包括四方面的内容:第一是研究中国近百年来气候变化的事实与规律及成因;第二是气候模式的研究,它包括大气模式,海洋模式和区域的气候模式以及气候诊断;第三是气候变化对农业和水资源的影响;第四是短期气候预测方法的研究。通过三年的努力,全体参与项目工作的同志完成了预定的目标和任务。我们将研究的主要成果分课题汇集成四本专集。由于篇幅和经费所限,这四本专集不可能包括所有的成果,尤其是一些资料、图集、程序软件等无法列入。

在三年的研究工作中,中国气象科学研究院科学管理处的同志做了大量组织工作,尤其是项目管理人员彭开秀同志付出的劳动和时间最多,她除了积极完成此项工作外,还参与编辑了三本《气候研究通讯》,在此对她的工作表示深切的谢意。另外也感谢科教司对我们工作的大力支持。

丁一汇于国家气候中心

1995年10月

前 言

我国是一个人口众多的农业大国,目前农业生产尚未超越“靠天吃饭”的发展阶段。任何气候变化都将直接影响农业生产的平稳和持续发展,进而对国民经济发展以及国计民生构成了严重的威胁。如果未来全球气候正像科学家们所预测的那样,将发生剧烈的变化,那么要想适应这种变化,减缓或减轻对农业生产的不利影响,必须在研究短期气候预测方法和系统的同时,开展气候变化对我国农业生产的影响研究,特别是探讨各种影响机理和行之有效的客观评估方法。这些影响评估和研究直接关系到我国十几亿人口的吃穿保障和本世纪末下世纪初的战略发展目标能否实现,具有重大和深远的现实意义。但我国在这方面的研究起步较晚,目前还缺乏连续性、系统性和可比性,评估方法和模型研究尤为薄弱,远不能满足农业生产和国民经济发展的需求,特别是考虑到我国农业生产的复杂性和多样性,更需加强研究气候变化对农业生产发展的影响,开展评估服务,以减少为此可能付出的巨大代价。

作为争取“九五”国家科技攻关项目的科技性预研究,本课题主要开展了四方面的研究:(1)作物生长模拟试验和简化动力模式的研制。完成了三种主要粮食作物(冬小麦、双季稻和春玉米)生长模拟田间试验(共5个点、8个年度),采集了大量生育过程、生物量、土壤水分以及同期气象观测和田间措施等资料;在引进、消化和借鉴国际先进的水稻模式(ORYZAI)和玉米模式(原苏联和美国的 CERES)基础上,设计并初步研建了我国自己的双季稻和春玉米(两套)简化生长动力框架模型,为评估气候变化对农业生产的影响提供了科学基础和定量计算模式;此外,还对 CERES-小麦模式在我国的可用性进行了深入的检验与分析。(2)CO₂ 浓度增加对冬小麦、玉米、棉花和大豆生长的直接影响诊断试验。设计并研制了比较先进的 OTC-1 型开顶式气室;对上述4种作物进行了不同 CO₂ 浓度和通气时间的直接影响诊断试验,包括对生育进程、器官生物量、子粒产量、光合作用速率、气孔阻力、叶片蒸腾以及 C₃ 和 C₄ 类作物影响的差异;还就 CO₂ 倍增对作物的影响进行了诊断与评估分析。(3)江淮地区旱涝对农业生产影响的评估。在收集、整理和筛选大量历史资料和文献数据基础上,以丰歉、饥饿等农业年景为指标,建立了近500年农业旱涝等级序列,类似地还建立了近百年和近40年的旱涝等级序列;分析了各等级序列的演变特征,评估了各个等级旱涝灾害对农业生产造成的经济损失;还完成了大旱大涝年农业影响的个例分析。(4)黄淮海地区土壤水分变化规律对农业的影响。首先建立了除黄淮海地区外,还包括内蒙古、新疆及西南部分地区共65个站组成的土壤水分数据库,数据库包括相应的作物生育资料、有关的气象资料和地下水位等资料;在此基础上,还分析了上述地区土壤水文特性和土壤湿度的时空变化规律,并给出了相应的分区。除上述四方面研究外,还开展了“气候变化对江西农业生产的影响研究”(江西)、“氮肥肥效的气候影响及优化施肥方案”(山东)以及“水稻干物质消长模拟与气候影响的研究”(湖南)等。课题组全体参与工作的30多位同志,经过三年半的努力,全部完成了预定的合同任务,达到了考核目标。本专集汇集了主要研究成果共19篇。限于经费和篇幅,先期已经发表于各种刊物上的论文以及尚未来得及整理撰文的成果均未收录于集

内。

气候变化对农业生产的影响是一个既复杂、难度又大的科研课题,是当前科学发展的前沿性热点之一。本课题所开展的研究仅涉及其中几个方面,所取得的成果也是很初步的。不足之处有待于今后进一步深入、补充和修正,也请各位读者予以指正。

本专集在编撰过程中,得到了项目组和中国气象科学研究院科管处的大力支持和帮助;沈阳农业大学农学系农业气象专业、江西省气象局农业气象中心、湖南省农业气象中心、山东省泰安农业气象试验站和中国气象科学研究院固城农业气象试验基地也都给予了热情有力的支持,特此表示衷心的感谢。

王馥棠
中国气象科学研究院
1995年11月

目 录

序

前言

第1部分 作物生长模拟试验和简化动力模式的研制

- 1.1 双季稻生长动态模拟模式的研究..... 高翔 王馥棠(1)
- 1.2 玉米生育和产量形成的简化综合动力模拟模式..... 杨继武等(9)
- 1.3 玉米生育的动力模拟模式..... 孙冷 杨继武 王馥棠(19)
- 1.4 DSSAT-小麦模式模拟效果分析..... 王信理等(27)
- 1.5 近几十年气候变化对江西农业生产的影响..... 王保生 黄淑娥(34)
- 1.6 双季水稻单株干物质消长的模拟模式及气候影响的研究.....
..... 汪扩军 李玉祥 刘发挥(39)
- 1.7 山东省旱作冬小麦氮肥肥效的气候影响与优化施肥探讨..... 李象山 王芳云(48)

第2部分 CO₂ 浓度增加对冬小麦、玉米、棉花和大豆生长直接影响的诊断试验

- 2.1 CO₂ 对冬小麦影响的诊断研究..... 王春乙 白月明 温民(55)
- 2.2 CO₂ 对棉花影响的试验研究..... 王春乙 白月明 温民(63)
- 2.3 OTC-1 型开顶式气室的使用性能评价..... 王春乙 郭建平 刘江歌(71)
- 2.4 CO₂ 浓度倍增对农业气候资源利用效率的影响..... 郭建平等(77)

第3部分 历史重大旱涝事件对我国农业生产的影响

- 3.1 江淮地区近500年农业旱涝等级序列的建立和气候分布特征.....
..... 薛桁 乔盛西 傅斌(82)
- 3.2 江淮地区古今旱涝经济损失的估算..... 乔盛西 傅斌 薛桁(92)
- 3.3 江淮地区近百年旱涝变化与农业收成稳定性的研究.....
..... 杨柏 张养才 李世奎(98)
- 3.4 江淮地区近40年农业旱涝等级序列和农业丰歉年景序列的建立.....
..... 马巧英 宋连春(105)
- 3.5 1978年江淮大旱的气候特征及其对农业生产的影响..... 李翠金(114)

第4部分 土壤湿度资料数据库的建立和土壤水资源对农业的影响

- 4.1 华北和西北地区土壤水分变化规律研究..... 毛飞 高素华(118)
- 4.2 我国部分地区土壤水文特性分析及水分分区..... 毛飞 高素华(127)
- 4.3 近30年宿县地区土壤水分变化及影响因子..... 高素华 毛飞(136)

双季稻生长动态模拟模式的研究

高翔 王毓棠

(中国气象科学研究院)

提 要

本文针对我国南方双季稻种植制度的特点,以早、晚稻的生物学特性为依据,从光合作用、呼吸作用、叶面积动态变化以及干物质分配转移等主要生理过程入手,将早、晚稻作为一个完整的系统,建立了能充分反映早、晚稻光温特性差异及其相互影响相互制约关系的双季稻生长发育动态模拟模式,经拟合检验,模拟效果良好。

关键词: 双季稻 模拟模式

1 引 言

作物生长模拟研究自本世纪中叶开始得到迅速发展。从水肥适宜下的一层模式发展到水分胁迫下的二层模式进而到水分和氮素营养胁迫下的三层模式,现在的模拟模型不仅涉及的作物种类繁多,内容上也不断扩充。近年来,研究在注重模拟机理性的同时更注重模式的直接应用;特别是,为适应气候变化影响评估研究的需要,增加考虑 CO_2 的浓度变化及草害、病虫害和农技措施等影响。目前比较完善的模式,不仅可应用于预测作物的产量潜力、指导农田管理,还可与不同的气候模式相嵌套模拟气候变化对农业生态系统的可能影响。

水稻是世界上三大粮食作物之一,它的模拟研究工作在各国开展得都较为深入广泛,但以往所研制的多为某一特定品种的单季稻生长模式^[1~5],而我国大范围的水稻种植区均为双季稻,且集中分布于长江以南,尤其是长江中下游地区。本文即针对该区域水稻种植制度的特点,拟在前人工作的基础上,根据田间试验资料建立双季稻生长模式,旨在对以往的单季稻模型进行改进,并为模型在该区域的推广和应用作一些有意义的探索和尝试。

2 试验概况

本模型所用资料取自江西靖安、湖南常德两地 1992~1993 年的水稻田间试验,共有 7 个品种,20 个样本,采用分期播种移栽法,每年分早、中、晚三期。各生物量的取样步长,靖安为旬,常德为候。逐日最高最低气温、降雨量、日照时数、太阳辐射总量等气象观测资料取自附近气象台(站)。

宏观上,将江西、湖南均视为双季稻区,忽略两地地理纬度、天气条件、时间和空间的差异所造成的影响,而采用现有的资料建立该区域的双季稻生长模式。

3 模拟思路和方法

生长模拟可简略地表述为以环境气象因子为输入变量,应用相应的数学模型模拟再现作物的生长发育和产量形成过程^[6]。本文在研制双季稻生长模拟模式时,主要考虑:

(1) 双季稻模型包括早稻和晚稻两个相互衔接的生长过程的模拟,但其生长过程机制基本相同。

(2) 早、晚稻在各自的生长过程中,环境气象因子(如光温)的变化过程恰好相反。它们的感温性和感光性差异也较大,由此决定了早、晚稻模式中部分参数明显不同,如生育期参数、比叶面积参数等。但生理特征参数,如呼吸系数、初始光能利用率等,早、晚稻是相同的。

(3) 早稻和晚稻之间是相互联系、互为制约的。早稻移栽期的推迟(与适宜期相比),或使用迟熟品种,不仅影响早稻的成熟和晚稻的移栽,而且最终将对早、晚稻(尤其是晚稻)的产量造成一定的影响。

(4) 水稻的生长过程是不连续的,存在着移栽的问题。目前国内大多数模式通常从移栽期开始模拟,采用以下两种有一定局限性的处理方法。一种令移栽时作物的发育阶段、初始生物量等于零,忽略了30天左右的秧田期对作物生长的贡献。另一种给定移栽时生物量和所处发育阶段的初始值(不为零),虽然考虑了秧田期的作用,但往往由于这个初始值难以精确定量而影响整个模拟效果。鉴此,本模型直接从播种开始模拟。笔者认为忽略返青对生长期的延误影响(根据文献资料^[7],约为0.1)造成的误差与上述两种处理所导致的误差相比相对较小,因此没有考虑移栽返青效应。

在不考虑水分和氮素营养的胁迫作用的生长条件下,光照、温度、日长以及品种特性是决定作物生长速率的主要因素。模型以天为步长,采用状态变量法对作物生长进行连续模拟,直至生长期终结。整个系统主要由发育期子模式、叶面积子模式、光合作用子模式、呼吸作用子模式、干物质分配和转移子模式等组成。

4 模式的研制

4.1 发育期子模式

采用文献^[4]的“水稻钟”模型,它可以较好地比较早晚稻感光性和感温性的差异。将水稻整个生育期以发育指数(系无量纲值)分为两个阶段(简称为DVS),DVS I = 0~1.0 为播种至抽穗;DVS II = 1.0~2.0 为抽穗至成熟,其中DVS II 为非感光阶段,可不考虑日长的影响。模型的数学表达式为

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{N} = e^K \cdot \left(\frac{\bar{T} - T_L}{T_O - T_L} \right)^P \cdot \left(\frac{T_U - \bar{T}}{T_U - T_O} \right)^Q \cdot e^{G(\bar{D} - D')} \quad (1)$$

其中 dM/dt 为特定生育期内的发育速度; N 为特定生育期的天数; T_L, T_U, T_O 分别为水稻发育的下限、上限和最适温度; $\bar{T}, \bar{D}$ 分别为该生育期内的平均温度和平均日长; D' 为临界日长,取13小时^[4]; K 为基本生长期系数; P 为增温促进系数; Q 为高温抑制系数; G 为感光系

数。

对上式积分或有限求和,且用逐日平均温度、逐日日长分别代替某个生育期的平均温度和平均日长,当累加值等于 1.0 时,表明该生育阶段结束。

参数的确定采用无约束条件下的单纯形寻优法^[9],根据最小二乘法原理,构造目标函数,使生育期的观测值与模拟值的差的平方和最小,可以一个或多个播期寻优。

4.2 叶面积子模式

叶面积的模拟目前多以经验模式为主。这些模型认为叶面积的扩展仅仅取决于所获得的碳水化合物多少,一般采用比叶面积参数通过叶片干重的增加来计算。Horie 提出了新的理论:在作物生长的早期阶段,当叶片之间互相不遮荫时,叶面积的扩展主要与温度有关,温度会影响细胞生长和分化的速率,这一事实是导致比叶面积可变性的主要原因^[10]。

为此,叶面积的模拟可分为两个阶段。第一阶段为当冠层未郁闭时,叶面积的生长可表示为有效积温的指数函数:

$$LAI_u = NL_{p,0} \cdot \exp(R_1 \cdot ts) \quad (2)$$

式中 ts 为指数生长阶段叶面积发育的有效积温, LAI_u 为出苗后达到 (ts) 时的叶面积指数 (m^2 叶面积 $\cdot m^{-2}$ 地上面积), N 为秧田期每平方米苗数(粗略值, 苗数 $\cdot m^{-2}$), $L_{p,0}$ 为出苗时单株初始叶面积指数 ($m^2 \cdot 单株^{-1}$), R_1 为叶面积相对生长率 [$(^\circ C \cdot d)^{-1}$], 取 0.006 ^[10]。

根据出苗后叶面积指数的自然对数与相应的有效积温之间的线性关系,从直线的斜率和截距可分别求出叶面积的相对生长率和出苗时单株的初始叶面积指数。此后,叶面积生长进入冠层郁闭,叶片开始相互重叠的第二阶段,可用比叶面积法来加以计算,并考虑叶片的枯死,即

$$LAI(t) = LAI(t-1) + SLA \cdot (W(t) - W(t-1)) \cdot (1 - FD) \quad (3)$$

$$FD = 0.0333 \cdot \exp(1.617504 \cdot DVS) \quad (DVS > 0.4) \quad (4)$$

$$SLA(\text{早稻}) = 0.002469858 - 0.000378171 \cdot \log(DVS)$$

$$SLA(\text{晚稻}) = 0.001883805 - 0.0008006937 \cdot \log(DVS)$$

式中 $LAI(t)$, $LAI(t-1)$ 分别为指数生长阶段以后第 t 天和 $t-1$ 天的群体叶面积指数 (hm^2 叶面积 $\cdot hm^{-2}$ 地上面积), $W(t)$, $W(t-1)$ 为相应的叶片干重 ($kg \cdot hm^{-2}$), FD 为黄叶率, DVS 为发育阶段, SLA 为比叶面积 (hm^2 叶面积 $\cdot kg^{-1}$ 叶面积)^[10]。

4.3 光合作用子模式

冠层的光合作用是计算作物生长速率的基础。光合作用三个最重要因素是叶片的光合作用-光反应曲线、叶片冠层所截获的辐射量和光在冠层中的分布。本模式采用一种概要模型^[10]来计算冠层光合作用日总量。假定一天内的辐射强度通量为正弦曲线,对叶片在时间(中午时的和日落间的三个时刻乘以 2,上午和下午相等)和空间(冠层分为三层)的光合作用瞬时速率进行积分。采用高斯积分法,各高斯积分点具有不同的权重。叶片光合作用速率,根据光照叶片和遮荫叶片各自的光合作用-光反应曲线和一天中此一时刻的和冠层分层的直射和漫射光量分别计算,并由受光叶面积和被遮荫叶面积进行加权。

叶片光合作用对所吸收光的反应,用总光合作用速率与所吸收辐射强度的负指数函数

来描述:

$$A_L = A_m(1 - \exp(-\epsilon I_a/A_m)) \quad (5)$$

式中 A_L 为单叶光合作用速率($\text{kg CO}_2 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{单叶} \cdot \text{h}^{-1}$); ϵ 为初始光能利用率[$\text{kg CO}_2 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{单叶} \cdot \text{h}^{-1}/(\text{J} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{单叶} \cdot \text{s}^{-1})$]; I_a 为到达叶片的光照强度($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{单叶} \cdot \text{s}^{-1}$); A_m 为实际条件下的单叶最大光合速率($\text{kg CO}_2 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{单叶} \cdot \text{h}^{-1}$), 是在标准条件下单叶光合作用最大速率 $PLMX$ 的基础上, 考虑叶片厚度和叶片温度(假定与气温相等)的影响而确定的。 $PLMX$ 取 $47 \text{kg CO}_2 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ [11], 叶片厚度以比叶重来表征。

4.4 呼吸作用子模式

同化作用所固定的碳水化合物, 一部分要为器官的生理作用提供能量, 即维持呼吸; 剩余部分用于合成体内的结构干物质, 转化过程中能量的损失用生长呼吸来表示。即

$$\begin{aligned} R_T &= R_M + R_G \\ R_M &= R_{m,r} \cdot Q_{10}^{(T_{av}-25)/10} \cdot W \\ R_G &= \beta \cdot DTGA \cdot R_{g,r} \end{aligned} \quad (6)$$

式中 R_T 为总的呼吸消耗($\text{kg CH}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), R_M 和 R_G 分别为维持呼吸消耗和生长呼吸消耗; $R_{m,r}$ 为标准温度(25°C)下的维持呼吸系数($\text{kg CH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), 抽穗前取 0.02, 抽穗后由于新陈代谢活动的衰减, 取 0.01^[4]。 Q_{10} 为呼吸作用的增温系数, 取 2.0, W 为群体干物重($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), T_{av} 为日平均温度; β 为 CO_2 与碳水化合物的转换因子($=0.682$), $R_{g,r}$ 为生长呼吸系数, $DTGA$ 为每日群体总的冠层 CO_2 同化速率($\text{kg CO}_2 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)。

4.5 干物质分配和器官生长

综合光合作用、呼吸作用子模式, 根据物质能量守恒原理可模拟群体干物质的积累。植株通过光合作用产生的干物质, 根据不同时期植株生长需求, 按一定的比例分配到根、茎、叶及储存器官(穗)中。由于茎叶具有暂时储存同化物的能力, 故储存器官的形成除来源于当时合成与分配的光合产物外, 还可能得益于原先储存于营养器官中而后再转移出来的可塑性物质。作物各器官的生长是以同化物在各器官中的分配和转移为基础的。环境气象因子变化过程的不同对早晚稻同化物分配的影响还有待进一步探讨, 这里没有考虑其分配模式的差异。各器官碳水化合物的分配模式与发育阶段的关系可通过对实际观测资料进行统计分析加以确定。即

$$WTTL(t) = WTTL(t-1) + \Delta W \quad (7)$$

$$\Delta W = \beta \cdot DTGA - R_T = \beta \cdot DTGA - (R_M + R_G)$$

$$W_j^t = W_j^{t-1} + F_j \cdot \Delta W - \beta_j \cdot W_j \quad (j=1,2)$$

$$W_3^t = W_3^{t-1} + F_3 \cdot \Delta W$$

$$W_4^t = W_4^{t-1} + F_4 \cdot \Delta W + \sum_{j=1}^2 \beta_j \cdot W_j \quad (8)$$

$$F_j = \Delta W_j / \Delta W, \sum_{j=1}^4 F_j = 1 \text{ 且 } F_j \geq 0 \quad (j=1, \dots, 4) \quad (9)$$

$$\beta_j = \Delta W_j / W_j \quad (j=1,2) \quad (10)$$

式中 $WTTL(t)$, $WTTL(t-1)$ 分别为第 t 天和 $t-1$ 天的群体总干重 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), ΔW 为 $t-1$ 到 t 时段内植株的干物质增量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), W_j 为各器官的干物重, F_j 为各器官的分配系数 ($j=1, \dots, 4$ 对应为叶、茎、根和穗), β_j 为叶、茎的转移系数 ($j=1, 2$)。

5 模型的有效性检验和结果分析

为了检验模型的有效性,对试验中的 10 个样本(早稻 5 个,晚稻 5 个)进行了计算(因篇幅所限,仅列出 1993 年江西靖安早稻第 1 期、晚稻第 3 期的结果)。

5.1 发育期的模拟

对主要发育期的模拟,效果较好。各播期的模拟误差为 1~2 天左右。这一方面说明对于复杂的、参数多的模型,其参数的确定,单纯形寻优法是一个有效快速、可行的方法。另一方面也说明随着对环境因子的全面考虑,模型的模拟效果将得到进一步提高。

表 1 不同品种生育期模型的参数值

类型	品种	总播期	年份	试验地点	模型参数						
					播种—抽穗				抽穗—成熟		
					K	P	Q	G	K	P	Q
杂籼	M1460 (早稻)	2	1992	江西靖安	-3.84	1.13	0.70	-0.13	-3.16	5.66	5.45
杂籼	优 1 华 2 (早稻)	1	1993	江西靖安	-3.81	1.87	1.08	-0.12	-3.10	5.74	5.25
籼	常 48 (早稻)	2	1993	湖南常德	-3.67	2.47	0.77	-0.09	-2.59	5.90	4.77
杂籼	汕优 63 (晚稻)	1	1992	江西靖安	-4.11	-15.94	-15.46	-0.16	-3.33	0.27	0.07
杂籼	威优 63 (晚稻)	1	1992	江西靖安	-4.07	-16.93	-15.27	-0.30	-3.30	0.32	0.04
籼	华赤 (晚稻)	1	1993	江西靖安	-4.14	-16.24	-13.78	-0.40	-2.88	1.13	0.62
杂籼	V-77 (晚稻)	2	1993	湖南常德	-4.09	-16.29	-14.65	-0.34	-3.25	0.36	0.21

根据表 1 中不同品种的参数值,可以识别早晚稻的基本营养生长性(K)、感温性(P 、 Q)与感光性(G)。例如,反映特定品种基本生长性的 K 值在早稻和晚稻之间差异明显;同一类型的水稻品种(杂交籼稻或籼稻),就感光性而言,作晚稻栽($G: -0.16 \sim -0.40$)均比作早稻栽($-0.09 \sim -0.13$)时强;不同生育阶段,低温促进参数 P 和高温抑制参数 Q 对早晚稻的影响不同。

5.2 叶面积指数的模拟

叶面积实测值和模拟值的动态变化曲线见图 1A。二者的变化趋势基本一致。最大叶面积的模拟值多数低于实测值,这可能与比叶面积的可变性有关。大部分实测值在抽穗后存在一迅速降低的趋势,而模式没有较好地反映,原因之一是黄叶率的估算不够完善。

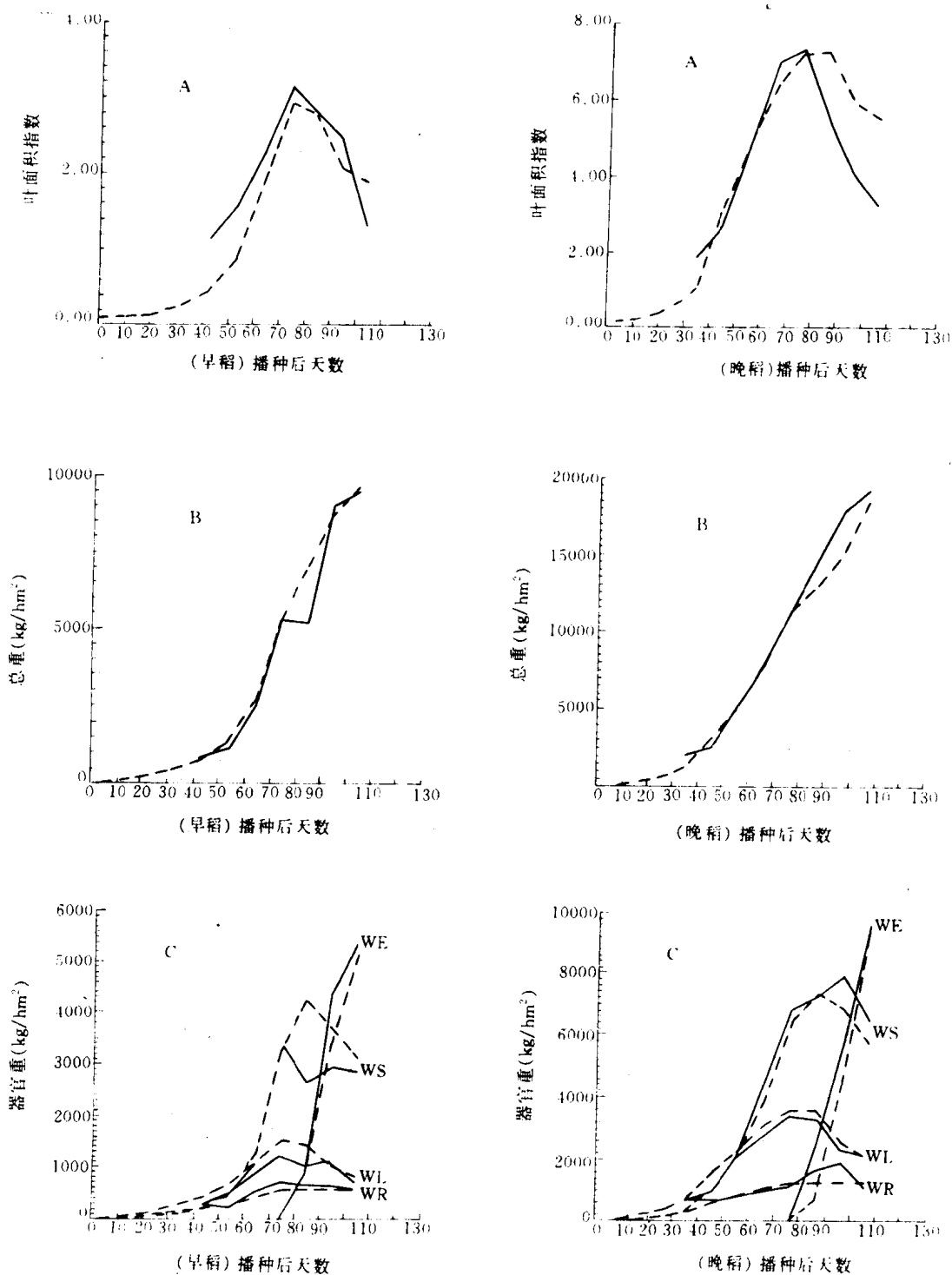


图1 模拟与实测的动态变化曲线

(A. 叶面积指数; B. 总干重; C. 各器官干重。WR 为根重, WS 为茎重, WL 为叶重, WE 为穗重。实线为实测值, 虚线为模拟值)

5.3 生物量的模拟

图 1B 为实测总干重与模拟总干重动态变化曲线,可以看出二者吻合较好。各播期最终总干重的模拟平均相对误差早稻为 7.39%,晚稻为 7.47%。另外,从多数模拟值小于实测值来看,模拟参数的确定还存在系统性偏差问题,有待于作进一步改进。

表 2 不同播期最终总干重模拟结果分析

年份	试点	作物	第一播期			第二播期		
			移栽期	成熟期	最终总干重	移栽期	成熟期	最终总干重
1992	江西	早稻	5月1日	7月16日	13895.6	5月8日	7月22日	14883.5
	靖安	晚稻	7月19日	10月16日	21309.9	7月26日	10月20日	17887.8
1993	湖南	早稻	5月3日	7月18日	8507.0	5月9日	7月22日	11454.9
	常德	晚稻	7月23日	10月15日	13346.5	7月28日	10月23日	13153.3

表 2 为早稻的不同移栽期对晚稻最终总干重的影响。以 1992 年江西靖安为例,早稻第二期比第一期晚移栽,但产量并没有出现减少,这与其生长后期气温较高有关。而晚稻迟移栽的却比早移栽的产量有所下降,因为随着移栽期的推迟,晚稻生长后期气温明显降低,对它的灌浆成熟不利,从而对最终产量也造成了不良的影响。湖南常德也呈现出类似的现象。

叶、茎、根、穗等器官干重模拟值与实测值的动态变化曲线见图 1C。生长前期叶重的模拟值较实测值偏大较多,这与移栽对生长的影响不无关系。茎重的模拟在抽穗以前效果较好,抽穗以后,实测值较模拟值有所偏大,尤其在播种后 90 天左右偏差达最大,这与茎中可塑性物质转移开始的时间有关。穗重的模拟误差较小,模拟值一般低于实测值,这可能与分配模式不完善有关,各播期最终穗干重的模拟平均相对误差早稻为 5.36%,晚稻为 5.50%。与其它器官相比,根的模拟误差较大,尤其是抽穗以后,因为模型中没有考虑抽穗后根中可塑性物质的转移。另外根的取样较困难,也是造成二者偏差的原因之一。

6 结 束 语

本文从主要生长生理过程入手,将早、晚稻作为一个完整的生产系统,建立了符合我国水稻栽培熟制特色的双季稻生长模式。模型不仅在参数上体现了早、晚稻之间的差异性,其模拟结果也揭示了二者的相互制约关系,同时还改进了以往从移栽开始模拟为直接从播种开始对水稻生长过程进行连续模拟。经初步拟合检验,效果良好,有一定的实用和推广价值。模型机理性较强,但仍包含一定的经验成分。

参 考 文 献

- [1] McMenamy, J. A. & J. O'Toole, Ricemod: A physiologically-based rice growth and yield model, *IR-RI. Res. Pap. Ser.*, 87, 33(1983).

- [2] Ritchie, J. T. & Alcocilja, E. C. , IBSNAT and the CERES-Rice model, Weather and Rice, IRRI, 271~281(1987).
- [3] 冯定原等,水稻生长和产量形成的数值模式,南京气象学院学报,10(2),201~210(1987)。
- [4] 高亮之等,水稻栽培计算机模拟优化决策系统,中国农业科技出版社,152(1992)。
- [5] 戚昌翰等,水稻生长日历模拟模型及其应用——生态因子与水稻产量形成的模拟与调控研究,江西农业大学学报(作物模拟模型专刊 2),95(1991)。
- [6] 王石立等,春小麦生长简化模拟模式的研究,应用气象学报,2(3),293~299(1991)。
- [7] 程式华等,用模拟模型预测水稻品种在南方稻区产量表现的初步研究,种子,(3),15~19(1990)。
- [8] Penningde Vries, F. W. T. , 王履棠译,植物生长与作物生产的模拟,科学出版社,1~161(1988)。
- [9] 韦鹤平编著,最优化技术应用,同济大学出版社,159~162(1987)。
- [10] kropff, M. J. , et al. , ORYZAI: A basic model for irrigateel law and rice production, Simulation and Systems Analysis for rice production, 89(1993).
- [11] Penningde Vries, F. W. T. , 朱德峰译,几种一年生作物生长的生态生理过程模拟,中国农业科技出版社,1~127(1991)。

玉米生育和产量形成的简化 综合动力模拟模式

杨继武 孙 冷 殷 红

(沈阳农业大学)

王馥棠

(中国气象科学研究院)

提 要

本文从玉米的生物学特性出发,以玉米群体与环境间的能量和物质转化与平衡为基础,建立了适合我国农业生产情况的玉米生育和产量形成的简化综合动力模拟模式。该模式由光合、呼吸、生长发育和产量形成等子模式组成。该模式简化了模拟时情报资料的输入,仅使用生长期逐旬的平均气温、日照时数、耕层土壤贮水量等常规农业气象情报资料及其它有关资料即可模拟玉米的生育和产量形成过程。该模式可用于定量鉴定气象条件对玉米生育和产量形成的利弊影响;也可用于分析气候变化对玉米生产的可能影响及对玉米生产实施农业气象保障时的计算;还可用于地区玉米产量的气象预测预报。使用沈阳农业大学玉米模拟实验资料确定了模式参数,并进行了实际模拟和沈阳地区玉米产量预测检验,效果很好。

1 引 言

综合动力模拟模式是研究外界生态环境条件与作物生育和产量数量关系的现代方法之一。国外从本世纪中叶就开始对作物生育和产量形成的动力模拟模式进行了系统研究。以荷兰 C. T. de Wit 为首研制的 ELCROS 模式公认是全面而深刻地考虑了作物的生理,是很完善而有理论价值的模式之一。而以美国的 W. G. Duncan 等人研制的 SIMCOT II 模式在其对各生理过程描述的详细程度,建立模式时使用的资料量和实际目的性方面著称。近 20 多年美国的 J. T. Ritchie 和 D. C. Godwin 等人研制的 CERES 系列模式,则很注重推广应用和软件开发。前苏联的 O. Д. Сиротенко 经过 10 多年的试验研究提出了农业生态系统的生产力动力模型,用相应的作物资料校正后,即可适用于各种粮食作物。前苏联学者 A. H. Полевой 等提出的模式注重了对综合动力模拟模式的简化,以及用于产量的气象预报和气象条件对作物影响的鉴定上。我国作物生育和产量形成综合动力模拟模式研究始于本世纪 80 年代,在借鉴国外经验的基础上,结合我国的实际情况,对水稻、小麦等作物生育和产量形成模拟模式作了研究,已经取得了一些成果。玉米是我国的主要作物之一,关于玉米综合动力模拟模式的研究却较少。

用系统的观点,从作物的生物学特性出发,以作物群体与环境间的能量和物质转化与平衡为基础,研制的作物综合动力模拟模式可较好地反映作物外界生态环境条件与作物生育和产量形成的数量关系,有明确的生物学意义。只要有模式中需要的生态环境条件和作物状

况资料以及其它有关资料,就可以用它来模拟作物生育和产量形成过程,鉴定外界生态环境条件对作物生育和产量的影响,预测作物生育和产量状况,并可与大气环流模式(GCM)对接,用于分析气候变化对作物生产的可能影响,还可用于对农业生产实施农业气象保障时的计算。

综合动力模拟模式需要考虑的因素很多,模式非常复杂,需要输入大量的外界生态环境条件及其它许多情报资料,并需要进行大量的模拟试验,获取足够试验资料用来确定模式参数和调试程序,影响了综合动力模拟模式的实际应用,因此需要研制简化的综合动力模拟模式。本文借鉴了 A. H. Полевой 作物动力-统计模拟模式的思路和方法,建立了简化的玉米综合动力模拟模式,大大简化了模拟时情报资料的输入,使之能够使用少量的常规旬气象资料及其它有关资料就可以模拟玉米生育和产量形成过程,保留了玉米综合动力模拟模式所具有的功能和优点,又克服了统计模式使用时的局限性。用沈阳农业大学玉米模拟试验资料,确定了模式参数,并经实际模拟和沈阳市玉米产量的预测检验,效果很好。

2 简化的玉米综合动力模拟模式方法

简化的玉米综合动力模拟模式由光合作用、呼吸作用、生长发育和产量形成等子模式组成,还包括原始农业气象资料变换子模式。

2.1 光合作用及资料变换子模式

产量形成是一系列生理过程复杂的总和。这些生理过程的强度决定于玉米的生物学特性、外界生态环境条件以及各生理过程之间的相互关系。但是,在作物产量形成中起主导作用的是光合生产过程。

叶片的光合作用强度可用下式表示:

$$\Phi_0^j = \frac{kbI^j}{k + bI^j} \quad (1)$$

式中 Φ_0 是在温度和水分条件适宜及实际光照条件下的光合作用强度 ($\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); k 是在光饱和、 CO_2 浓度正常情况下的光合作用强度 ($\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); b 是光合作用光曲线的起始斜率 [$(\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})(\text{cal}^{-1} \text{①} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min})$]; I 是玉米群体内的光合有效辐射辐照度 [$\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$]; j 是时间步长序号。

在个体发育中,叶子的光合作用活性取决于其日令和水热条件。

个体发育过程中实际环境条件下的光合作用强度可用下式表示:

$$\Phi_r^j = \Phi_0^j \alpha_\varphi^j \Psi_\varphi^j \gamma_\varphi^j \quad (2)$$

式中 Φ_0 是在温度和水分条件适宜及实际光照条件下的光合作用强度; Φ_r 是个体发育中实际环境条件下的光合作用强度 [$\text{mgCO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$]; α_φ 是光合作用的个体发育曲线; Ψ_φ 是日平均气温对光合作用的影响函数; γ_φ 是土壤温度对光合作用的影响函数。

在玉米个体发育过程中叶片的光合作用活性决定于叶片内部结构的变化即日令。玉米

① $1\text{cal}=4.1868\text{J}$ 。