

作物生长模拟模型的开发应用进展

李 军

(西北农业大学农学系,陕西杨陵 712100)

摘 要 论述了作物生长模拟模型的开发研究进展和模型的应用情况,并对作物生长模拟模型今后的研究提出了自己的见解

关键词 作物,生长模拟,生长模拟模型

中图分类号 S126, S501

作物生长模拟模型 (Crop Growth Simulation Model)是指能定量和动态地描述作物生长、发育和产量形成过程及其对环境反应的计算机模拟程序。作物生长模拟模型的开发研究与应用过程,称为作物生长模拟 (Crop Growth Modeling)。这是作物学科和计算机科学新兴的交叉研究领域。随着计算机技术的迅速普及,它在农业科研和生产上的应用日趋广泛。

1 作物生长模型开发研究进展

1.1 模型开发研究概况

本世纪六十年代中后期,美国和荷兰率先开展了作物生长模型开发研究。他们发表的论著多,水平高,开发的模型也最多。荷兰的作物模型开发研究以 DeWit C T^[1]和 Penning DeVries F W T^[2]为首,开发出了模拟作物营养生长过程的基本作物生长模拟器 BACROS和模拟一年生作物光温水生产潜力模型 MACROS。荷兰的模型研究注重对生物机理性和作物共性的描述,对作物的形态发育和阶段发育上的差异性描述相对薄弱^[3~5]。美国的作物模型开发研究则强调“气候、土壤、作物和管理”系统的综合性与模型的实用性,开发出了包括 CERES(作物与环境资源综合系统)系列模型和棉花模型 GOSSYM在内的单作物专用模型 30多个^[6~8],还开发出了包括 EPIC和 CROPSYST在内的多作物长时段通用模拟模型 10余个^[9~12]。此外,英、澳、加等国也相继开发出了一批作物模型,如 AFRCWHEAT、OZCOT和 SIMCROP-WHEAT等^[13~15]。

我国的作物模型开发研究开始于八十年代中期。已开发出的知名模型有高亮之^[16]的水稻种模型、戚昌瀚^[17]的水稻生长日历模型 RICAM、邹应斌^[18]的水稻苗情动态模拟模型 RSSM、潘学标^[19]的棉花生长发育模拟模型 COTGROW等。还有夏北成^[20]开发的评价小麦产量病虫害为害损失的麦田生态系统模拟模型。

至今全世界开发出的各种植物(包括大田作物、园艺作物、树木与森林、草原牧草)生长模型已愈百个^[6,7]。当前模型开发的主要工作是对原有模型进行验证、修改和补充,使其

收稿日期 1996-12-03

课题来源 UNDP C PR /91 /114项目资助

作者简介 李军,男,1964年生,讲师,硕士

不断升级换代。此外,通过对已有各种模型的分析比较和综合归纳,结合本国和本地的农业生产情况和作物试验资料,开发出新的作物生长模型

1.2 模型开发研究方法

1.2.1 模型开发步骤与所需条件 作物生长模型的开发步骤包括模拟系统的定义与分析、资料的获得与量化处理、数学模型的构造与程序编写、模型的测试与修正。模型开发者需要具备系统分析、数学模拟及计算机编程方面的技能,需要全面收集和深刻理解作物生理、生态、农业气象、土壤和农学等学科的详细试验数据和研究成果,作为模型开发的基本资料^[21, 22]。

1.2.2 建模的基本原理 作物生长模拟模型的建模原理是:假设作物生产系统的状态在任何时刻都能够定量表达^[1],该状态中的各种物理、化学和生理机制的变化可以用各种数学方程加以描述^[3],还假设作物在较短时间间隔(如 1 h)内物理、化学和生理过程不发生较大的变化,则可以对一系列的过程(如光合、呼吸、蒸腾、生长等)进行估算,并逐时累加为日过程,再逐日累加为生长季,最后计算出整个生长期的干物质产量或可收获的作物产量^[4]。

1.2.3 模型模拟的基本过程 因为作物生长发育进程受太阳辐射、温度和降水的控制,大多数作物生长模型以逐日气象数据输入驱动模型运行,步长为 1 d,以作物的单株作为基本模拟单位^[6],逐日进行作物基本生理生态过程的描述与计算,从播种开始直至作物成熟结束(见附图)。在对单株进行生长发育模拟时,分别模型植株在面积、体积上的扩大和质量的生长以及阶段发育和形态发育 4 个方面。然后,通过单位面积上的植株密度计算单位面积上的作物产量^[2, 7]。在计算作物的经济产量时,一些模型采用全生育期生物学产量与一定的经济系数之积来计算经济产量^[10],而另一些模型则描述了穗的分化、生长和籽粒灌浆时的干物质分配等生理过程,以穗粒数和单粒重来计算经济产量^[13]。作物生长和产量模拟中的难点是对作物生长持续期、生长速率以及由于水分、营养及极端温度引起的胁迫的模拟^[2]。

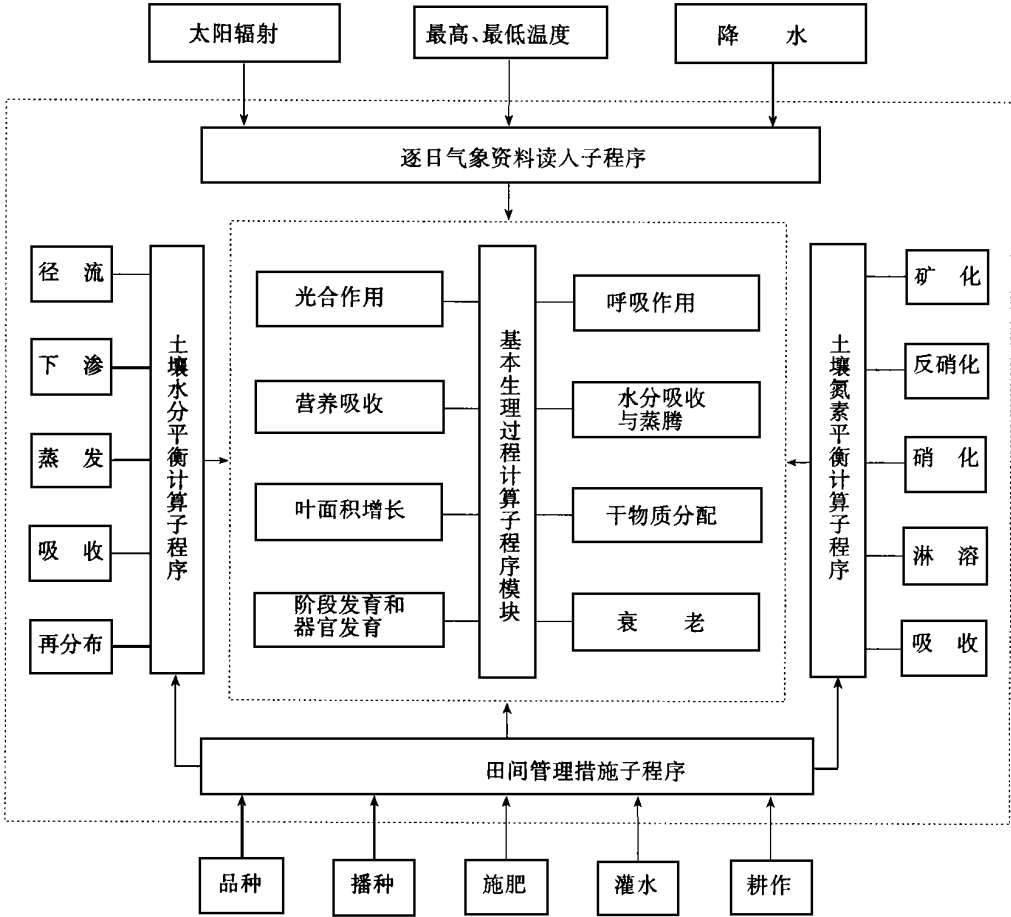
1.2.4 模型的模拟范围 已开发的绝大多数模型的模拟范围属田间水平(Field Level),适用于田间范围内生态条件相对一致的情况。对农场或较大范围的区域进行作物产量模拟时,则需要按照光、热、水、土等生态条件相对一致性进行分区模拟,然后加权计算全区域作物产量。后者称为区域水平(Reginol Level)的模拟^[23]。

1.3 模型的结构

作物生长模拟模型在结构上包括三部分:第一部分为气候、土壤、作物数据以及栽培管理措施输入模块;第二部分为主要生理生态过程的模拟模块;第三部分为模拟结果的数据或图形输出与分析模块^[8, 10]。

模拟模块是作物模型的核心部分。目前已开发的较完善的模拟模块包括如下成分:(1)光截获和光合作用模型,涉及冠层结构、辐射特性和叶片特性;(2)营养吸收和根系生长模型,涉及根系结构、土壤营养状况等;(3)干物质分配模型:干物质在源与库间的运输、贮藏及各器官间的分配;(4)水分吸收与蒸腾模型,涉及植株和土壤的水分平衡、植株对水分胁迫的反应;(5)生长和呼吸模型,干物质用于生长和呼吸的消耗;(6)叶面积增长模型,生育期间叶面积的动态变化所引起的光合面积的变化;(7)发育和器官形成模型:包括阶

段发育、形态发育和新器官(茎、叶、花、果、贮藏器官)的形成;(8)衰老模型:包括根、叶等器官的衰老与死亡对作物生长的影响;(9)田间管理模型:田间管理措施对光、温、水、肥的时空分布与数量改变对作物生长发育和产量的影响^[12, 21]。



附图 作物生长模型的结构与运算框图

将已开发的作物模型可以分为三个层次水平:第一层次的模型只含有基本生理过程模拟模块,只对温度和辐射有响应,可用于作物光温生产潜力模拟;第二层次的模型还包含了土壤水分平衡模拟子程序,除光温效应外,还可计算水分有效性对作物生长和产量的效应,可用于作物光温水生产潜力模拟;第三层次的模型又增加了土壤氮素平衡模拟子程序,包含了土壤氮素有效性、氮肥对作物生长和产量的效应以及氮素、水分和气候因素的交互作用,用于作物光温水氮生产潜力模拟^[2]。

2 作物生长模拟模型的应用

作物生长模拟模型反映的是作物生长和发育的基本生理生态机理和过程,被称为机

理模型或过程模型,与传统的反映因果关系的统计回归模型有显著差别^[6],它具有系统性、动态性、机制性与预测性,更重要的是它具有通用性,适用于任何地点、时间和品种,不受地区、时间、品种与栽培技术差异的限制^[22]。因而,作物生长模型在诸多领域得到了广泛的应用。

2.1 探查资源的生产潜力,优化作物栽培方案

作物生长模型可用于评价光、温、水、土等资源的生产潜力,揭示潜力开发中的障碍因素,较我国当前利用经验公式估算资源生产潜力的方法更准确快捷,可得到不同气候年型中的潜力值,在资源生产潜力评价中应用广泛^[6, 24, 35]。

利用作物生长模型,进行不同栽培措施下的产量模拟,可筛选出品种、播期、施肥、灌水、密度等措施的优化组合方案,减少或免去栽培方案优化中的田间试验年限和处理数目。在作物品种区域试验中,可根据品种的遗传特性参数,模拟不同气候年型、不同肥力水平和密度下的产量反应,真实的评价品种的生产潜力,提高试验结果的可靠性^[8]。

2.2 应用于基于模型的专家系统开发

将作物生长模型与专家系统结合,开发基于模型 (Model-based) 的专家系统,较基于知识和基于规则的专家系统精确性高,应用范围广,成为当前农业专家系统开发中的重要途径^[6]。如美国的棉花模型 GOSSYM 与专家系统 COMAX 结合形成棉花栽培管理决策支持系统,已广泛的应用于美国的 14 个植棉州的 300 多个农场中^[19]。我国的高亮之^[16]、戚昌瀚^[17]等人也将所研制的水稻生长模型与优化决策系统结合,应用于长江流域的水稻生产上。

2.3 研究和预测气候对农业生产的影响

作物生长模型可用来研究未来气候条件下温度、降水、CO₂浓度变化对作物布局和产量水平的影响,预测气候对人类食物供应状况的可能影响。如金之庆^[26, 27]等人利用 CERES 小麦模型和 CERES 玉米模型预测了未来温度、降水、CO₂浓度变化对我国小麦和玉米生产的影响^[26, 27]。

2.4 应用于农场经营管理和农业政策制订

美、英、澳等发达国家中的许多农场主应用作物生长模拟模型制订经济效益最佳的田间管理策略,评价气候与市场风险对作物产量和农场利润的影响,以便制订长期的经营策略。此外,美、英等国政府有关部门利用作物模型预测大范围的作物产量,评价作物生长中水土资源流失和污染情况,作为制订相关农业生产政策和农业资源规划管理的依据^[6]。

作物生长模型在教学、技术培训、科学研究等方面也有具体的应用^[6],可作为学生学习作物计算机管理的教学工具,也可作为农业技术推广中的培训工具,亦可用于评价科学研究项目和研究计划,在科研中用来验证有关作物生长发育的假说。

3 问题与对策

时至当前,作物生长模拟模型的开发尚无统一的方法和标准,各种模型对作物生理生态过程的量化描述繁简不一,参数取值差别较大,许多模型中采用了一系列的假设来描述未知的生理生态过程,使得模型模拟的精度下降。另外,由于模型运行所需大量的气候、土壤和作物特性资料不易得到,增加了模型应用的难度。上述原因导致了許多模型在生产上

与科研上不能得到广泛的应用。

针对上述问题,今后作物生长模型的开发和应用应加强以下方面的工作:

1)加强国际间的合作研究,组织人员协同攻关,推动可供全球范围应用的机理模型的开发工作,并能在模型开发方法上逐步取得一致。

2)大力开展作物模拟的支持研究,以不断深化对作物生理生态过程和机制的系统了解与量化描述,建立作物生理生态数据库,增进模型描述精度。

3)加强作物生长模型与专家系统和地理信息系统 GIS的结合,以增强模型的实际应用能力和扩大应用范围^[27]。

4)增加对磷、钾等营养元素平衡的模拟,并将病、虫、草害及自然灾害模拟模型与作物生长模型结合,以便提高模拟结果的真实性。

5)组建模型运行所需的气候、土壤和作物特性数据库,为模型使用者提供方便,以降低模型应用的难度。

参 考 文 献

- 1 DeWit C. T著;裴鑫德,李赋锦译.农作物同化、呼吸和蒸腾的模拟.北京:科学出版社,1987
- 2 Jones J W, Ritchie J. T. Crop growth modes. In Hoffman G J ed. Management of farm irrigation system. St. Joseph, MI: ASAE, 1991, 63~ 89
- 3 Penning De Vries F W 著;王馥棠译.植物生长与作物生产的模拟.北京:科学出版社,1988
- 4 范柯伦 H,沃尔夫 J 主编;杨守春,王涌涛,陈同斌等译.农业生产模型——气候、土壤和作物.北京:中国农业科技出版社,1990
- 5 宇振荣.作物生长模拟模型研究和应用.生态学杂志,1994,13(1): 69~ 73
- 6 Wisiol K, Hesketh J. D. Plant growth modeling for resource management (Vol. I). Boca Raton, Florida: CPC Press Inc, 1987
- 7 Ritchie J. T. Classification of crop simulation models. In Uhler P F, Carter G C. Crop modeling and related environment data: a focus on applications for arid and semiarid regions in developing countries. 1994, 3~ 14
- 8 Tsuji G Y. DSSAT (Version 3) user's guide. Hawaii: IBSNAT, 1994
- 9 Shaffer M J, Larson W E. NTRM, a soil-crop simulation model for nitrogen, tillage and crop-residue management, USDA-ARS Conservation Report, 1987
- 10 Williams J R, Jones C A, Dyke P T. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Trans of the ASAE, 1984, 27(1): 129~ 144
- 11 Stockle C O, Nelson R. Cropsyst cropping systems simulation model, user's manual (draft). Washington State University, 1995
- 12 Kiniry J R, Williams J R. A general, process-oriented model for two competing plant species. Trans of ASAE, 1991, 35(3): 801~ 810
- 13 Hearn A B O. ZCOT: a simulation model for cotton crop management. Agricultural systems, 1994, 44: 257~ 299
- 14 Hunt L A, Pararajasingham S. CROPSIM-WHEAT, a model describing the growth and development of wheat. Can J Plant Sci, 1995, 75: 619~ 632
- 15 Littleboy M, Silburn D M. PERFECT: a computer simulation model of productivity erosion runoff functions to evaluate conservation techniques. Brisbane: Queensland department of primary industries, 1989
- 16 高亮之,金之庆. RCSDS——水稻栽培计算机模拟优化决策系统.计算机农业应用,1993(3): 14~ 20
- 17 戚昌瀚,殷新佑,刘桃菊等.水稻生长日历模拟模型(RICAM)的调控决策系统(RICOS)研究.江西农业大学学报,1994~2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.

- 1994, 16(4): 323~ 327
- 18 邹应斌,唐秋澄,谢在希等.水稻苗情动态计算机模拟(IV):水稻苗情动态模拟与模拟栽培.湖南农学院学报, 1993, 19(增刊): 30~ 36
- 19 潘学标,韩湘玲,石元春. CO TGROW: 棉花生长发育模拟模型.棉花学报, 1996, 8(4): 180~ 188
- 20 夏北成.麦田生态系统的计算机模拟及最优控制.北京:北京大学出版社, 1990
- 21 Jones C A, Kiniry J R, CERES-maize, a simulation model of maize growth and development. College Station. Texas A & M University press, 1986
- 22 曹卫星.国外小麦生长模拟研究进展.南京农业大学学报, 1995, 18(1): 10~ 14
- 23 Moen T N, Kaiser H M. Regional Yield estimation using a crop simulation model: concepts, methods and validation. Agricultural systems, 1994, 46 79~ 92
- 24 Fedds R A, Kowalik P J, Zaradny H. Simulation of field water use and crop yield(simulation monographs), Wageningen A Halsted Press Book, 1978
- 25 Wilson D R, Muchow R C. Model analysis of temperature and solar radiation limitations to maize potential productivity in a cool climate. Field crops research, 1995, 43 1~ 18
- 26 金之庆,葛道阔,郑喜莲.评价全球气候变化对我国玉米生产的可能影响.作物学报, 1996, 22(5): 513~ 523
- 27 金之庆,方娟,葛道阔等.全球气候变化影响我国冬小麦生产之前瞻.作物学报, 1994, 20(2): 186~ 197
- 28 Papajorgj P, Jones J N. Exploring concepts for linking GIS and crop modes, Computers in Agriculture, proceedings of the 5th international conference. 1994, 508~ 602

The Progress in the Development and Application of Crop Growth Simulation Models

Li Jun

(Department of Agronomy, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract The progress in the development of crop growth simulation models in the world was summarized. The situation of model application in agriculture was discussed. The problems and future approaches in model development and application were presented.

Key words crop, growth simulation, growth simulation model