

文章编号:1674 - 7054(2010)01 - 0095 - 04

作物模拟研究进展

高峰, 刘爽, 赵光远

(吉林省松原市气象局, 吉林 松原 138005)

摘要: 作物模拟是农业信息技术的核心和基础, 有助于预测、调控作物的生长发育及对环境的反应。笔者着重介绍了作物生长模拟的概念、特征、国内外的研究进展以及存在的问题和今后的发展方向。

关键词: 作物模拟; 信息技术; 生理生态; 作物群体

中图分类号: S 5

文献标志码: A

农业信息技术的飞速发展使作物模拟知识越来越宽泛, 它涉及农业气象学、植物生理学、作物栽培学、作物生态学、土壤学、植物保护、农业资源环境、农业经济管理等诸多学科, 也使作物模拟在未来的农业发展中起着相当重要的作用。

1 作物模拟的概念和特征

作物模拟是农业信息技术的重要内容, 它将系统科学和计算机技术引入作物科学, 根据作物生理学和生态学原理, 通过对作物生长发育过程中获得的试验数据加以理论概括和数据抽象, 建立起关于作物物候发育、光合生产、器官建成和产量形成等生理过程与环境因子之间关系的动态数学模型。作物模型具有较强的系统性、客观性、机理性、优化性、应用性、通用性、预测性和综合性。作物模拟具有其他研究手段不可替代的作用, 它可以综合知识、理解和定量关系、测验假说、动态预测、支持决策等。

2 国外作物模拟的研究进展

2.1 模型公式的提出为作物模拟奠定了理论基础 1735年法国 Reaumur 积温学说^[1]的提出对农业模型模拟产生了深远影响; 1948年英国 Penman 提出了建立在能量平衡和空气动力学理论基础上的彭曼蒸散公式^[2], 为精确模拟水分和能量平衡做了铺垫; 1951年 Rabinowitch 提出光合作用对光通量密度与 CO₂ 密度响应的数学模型^[3], 模拟了叶片的光合作用; 1953年日本 Monsi 提出植物群落中光的分布公式^[4], 为研究光合作用和建立在其基础上的干物质积累和产量形成奠定了基础。随着植物生理生态研究的不断深入, 动态地模拟作物的生长发育过程及其与环境条件的关系成为可能。

2.2 荷兰与美国成为世界作物模拟研究的领路人 1965年, 荷兰 DE Wit^[5]在前人有关作物对光截获和转化叶片光合作用的研究基础上, 构建了作物冠层的光合作用模型; 1967年, 美国 Duncan^[6]发表了玉米叶面积与叶片角度对群体光合作用影响的模型。以上2种模型是世界上最早的用完整程序编写的模拟作物群体生产过程的模型, 它标志着作物模拟技术的诞生。早期的作物模型主要是对作物的具体生理过程进行模拟, 与农业生产实际相差甚远。

2.3 作物模拟研究的迅速发展阶段 进入20世纪七八十年代, 对作物的机理性研究更加深入, Thornley 关于作物呼吸过程模拟的研究; Ritchie 关于蒸发模型的研究; Chanter 关于生长曲线的概况性研究; Charles-Edwards 关于作物干物质分配模型的研究; 1982年 de Wit 提出作物生长4个层次水平。这些理论研究使作物模拟理论基础更加坚实。计算机硬件软件技术的不断成熟, 为其他学科的迅速发展提供了技

收稿日期: 2009 - 03 - 25

作者简介: 高峰(1971 -), 男, 吉林长岭人, 吉林省松原市气象局工程师。

术平台。伴随计算机技术的发展,作物模拟技术也得到了迅速的发展。1970年荷兰 de Wit 把呼吸作用引入作物模型,建立了完整的 ELCROS 模型^[7];在 ELCROS 的基础上,荷兰科学家又建立了 BACROS 模型(1978年 de Wit 等提出)、SUCROS 模型(1982年 Van Koulén 等建立)及 MACROS 模型(1989年 Penning de Vries 等建立)。以荷兰为代表的适于一般作物的机理性模型的建立,极大地推动了世界作物模拟技术的迅速发展。美国科学家在作物的模拟研究中则注重各种作物的生理特征,研究应用性强的单一作物模型。1971—1972年 Duncan 建立了 SIMCOT 模型,它以光合作用和呼吸作用为基础,模拟棉花的产量形成^[8]。在 SIMCOT 基础上,Baker 等建立了 GOSSYM^[9]模型,该系统进一步完善了对棉花系统动力学过程的模拟,该模型经改进、完善成为目前较好的棉花模型之一。以 Ritchie 教授为代表的数十位不同研究领域的美国科学家,在 20 世纪 70 年代中期以后陆续推出了针对不同作物的 CERES 系列模型^[10]。模型涵盖了玉米(CERES-maize)、小麦(CERES-wheat)、水稻(CERES-Rice)、大麦(CERES-barley)、高粱(CERES-sorghum)、粟(CERES-millet)等作物,模拟在不同环境条件下作物的生长发育过程,是当今世界公认的比较完善的作物模型。

在荷兰和美国作物模拟技术不断发展完善的同时,世界各国作物模拟技术也在悄然兴起,它从少数国家的研究发展成为世界范围内的研究。英国、澳大利亚、前苏联、日本以及丹麦、以色列、原西德等国家的科学家都开展了不同程度的作物模拟研究,先后建立了圆白菜、莴苣、糖用甜菜、三叶草、苜蓿、高粱、冬小麦、春小麦、大麦、玉米、冬黑麦、马铃薯和向日葵等多种作物的模拟模型,大大推动了作物模拟技术在世界范围内的研究和应用。

作物模拟技术国际间的推广和协作也日益加强,20 世纪 80 年代美国夏威夷大学组建国际农业技术转让的标准基点网络,在 IBSNAT 项目的支持下,建立了农业技术转让决策支持系统 DSSAT^[11],DSSAT 模拟模型可模拟 17 种不同的作物,CERES 等作物模型在发展中国家得到了广泛的验证和推广。荷兰与国际水稻研究所合作建立了 SARP,在 MACROS 模型基础上研制了 ORYZA 系列模型,后来经不断完善发展成系统性、应用性较强的水稻生长模拟模型 ORYZA2000^[12]。WOFOST 模型是在 SUCROS 模型基础上,由荷兰瓦根宁农业大学和世界粮食研究中心共同开发研制的模拟特定的土壤和气候条件下一年生作物生长的动态的、解释性模型^[13]。WOFOST 模型也不断完善,在土地评价、区域产量预报、风险分析和年际间产量变化及气候变化影响等方面得到了推广和应用。

2.4 作物模拟技术的机理性、应用性等方面逐渐走向成熟 进入 20 世纪 90 年代以后,在光合作用的模拟方面,已经深入到生物化学领域,对作物具体的生物学过程的模拟越来越精确。作物模拟技术与 3S 等其他技术的结合更加密切,作物模拟的应用范围不断扩大,广泛应用于气候和环境资源评价、农业生产决策等领域,作物模拟技术已经成为农业信息技术的核心。

3 我国作物模拟研究进展

我国的作物模拟研究虽然起步较晚,但发展较快。我国的作物模拟研究开始于 20 世纪 80 年代中后期,早期主要是引进、修改和验证国外模型。我国台湾省周天颖利用 CERES-Rice 建立了台中市水稻生产农业土地使用决策支持系统;中国农业大学利用虚拟现实技术进行作物的形态和株型模拟,进一步增强了作物生理生态建设和生长模拟结果的可视化表达;浙江农业大学的吕军等在作物生长模拟模型 MACROS 和田间水分平衡模型的基础上,引进并建立了农田水分平衡与作物生长动态耦合综合模拟模型。在吸收借鉴国外作物模型的基础上,我国科学家开发了适用于我国的作物模型。1983 年高亮之与美国学者合作建立了 ALFAMOD 苜蓿计算机模拟模型^[14],这是以中国科学家为主完成的第一个农业计算机模型^[15]。1986 年黄策、王天铎等建立了水稻群体物质生产的计算机模型^[16],这是我国最早提出的水稻模拟模型。1984—1988 高亮之等完成了水稻计算机模拟模型 RICEMOD^[17],提出了模拟发育期的水稻钟模型。1990 年高亮之等全面完成了水稻栽培模拟优化决策系统 RCSODS^[18],是国内影响较大、模拟效果较好的作物模型。国内有影响的水稻模拟模型还有许多,如华南农业大学骆世明等完成的水稻模拟模型 RSM、江西农业大学戚昌瀚等于 1986 年应用系统动力学原理成功研制的水稻生长日历模型 RICAM 等。1992 年中国农业大学潘学标结合中国棉花栽培研究成果研制成棉花生长发育模拟模型 COTGROW^[19]。

1999年冯立平建立了棉花的生长模拟模型COTSYS^[20]。在小麦作物的模拟模型研究中,南京农业大学的曹卫星等建立了基于过程的小麦生长发育模型^[21]。高亮之、金之庆等还组织构建了我国的系列作物模拟模型,如小麦栽培模拟优化决策系统模型WCSODS^[22]、棉花/玉米栽培模拟优化决策系统C/MCSODS^[23]、油菜栽培模拟优化决策系统OCSODS^[24]等。虽然作物模拟技术与先进国家相比有一定差距,但我国作物模拟工作者作出的不懈努力使我国的作物模拟技术体系正在走向成熟。

4 当前作物模拟研究面临的主要问题

模拟模型建立的若干生物生理学过程在基础理论上还不尽完善,具体的机理过程还有待于植物生理学家和植物营养学家做出定性和定量的研究,一些作物模拟还停留在经验模拟阶段,阻碍了作物模拟技术的发展和深入。

有些作物模拟模型结构复杂、参数众多,模型注重机理性,没有与具体的农业生产和耕作栽培技术相结合,模型的应用性较差。

在作物具体的模拟模型中往往有许多参数,这些参数代表当地的气候条件、土壤类型、作物品种、耕作方式、灌溉措施等,只有精确地测定这些参数并将其用于模拟模型,作物模拟才能有较高的应用价值。

目前,作物模拟研究处于第一、第二生产水平的较多,而具体的农业生产不仅受到光照和温度的制约,还要受到水分的限制,也会受到氮素不足、磷钾素不足、微量元素不足的限制,还会受到病虫草害和其他生物因子的限制和作用。

作物具体的生育期模拟、分蘖动态模拟、作物地下部分的模拟有待加强。

作物模拟模型的应用与具体的农业生产应用还有一定的差距,一些模型的决策支持系统不完善,模型的具体使用者除了政府机关外还应当包括广大农户,一些模型非专业人员应用功能性差,限制了模型的推广应用。

作物模拟模型的应用过程中要涉及天气预报条件,现有的天气预报能力有限,特别是中长期预报质量不高,这也影响了作物模拟的作用和效果。

精确农业要求量化病虫草害、农业气象灾害对作物模型的具体影响,在现有的技术水平条件下不能达到这种要求。

作物区域的应用模拟研究还有待于加强,对于突发性灾害等的作物模拟效果也较差,往往不能精确模拟。

5 作物模拟的发展趋势和今后努力方向

5.1 作物模拟与3S技术相结合 作物模拟与遥感技术相结合能够提高区域尺度作物模拟的精度,促进作物模拟技术的发展和應用;地理信息系统GIS为模型提供了大量的环境和品种参数也是模型运行结果的管理平台;作物模拟与全球定位系统GPS相结合能够实现模型使用空间的实时精确定位;3S技术与作物模拟技术相结合可以对大范围的作物长势进行实时动态监测,能够实时预测各种气候条件下微观作物发育过程和产量,能够为政府决策和农户管理提供技术支持。

5.2 作物模拟技术与现代网络技术的结合应用 国际信息高速公路的建成为我们了解世界农业经济发展构建了平台,通过互联网我们可以查阅世界作物模拟的最新研究成果;通过互联网我们可以了解世界范围内作物长势的遥感等监测信息;通过互联网我们可以向中国和世界的专家学者学习和请教作物模拟和农业生产方面遇到的突出问题;通过互联网我们也可以发表作物模拟或其他农业技术推广应用的有关信息与农户和政府进行沟通和交流。

5.3 作物模拟技术要求多学科的交流与合作 农业生产系统是一个复杂的系统,它的各个子系统间相互联系、相互作用,作物模拟技术是一项综合的技术,是建立在植物生理学、作物栽培学、植物营养学、土壤学、农业气象学、计算机科学、园艺学、植物保护学、农田水利学和数学等综合学科基础上的一门新技术,它的发展必然要求加强各相关学科的理论基础研究,深入研究有关作物生长发育的微观机理,站在其他学科研究成果的基础之上驾驭其他各领域知识。作物模拟技术要与专家系统相结合,博采众长,只有

这样,作物模拟技术才能不断进步,作物模拟的应用性才会更强。

5.4 作物模拟与大气环流模型 GCM 的结合 将气候模型与农业或作物模拟模型相结合的方法,是研究气候变化对农业影响的最好方法,它可以模拟未来的气候条件下对作物产量的影响,指导农业规划和作物布局,为农业决策提供科学依据。

参考文献:

- [1] 贡复俊. 积温的度量[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版, 1984(1):3-28.
- [2] 裴步祥. 蒸发和蒸散的测定与计算方法的现状及发展[J]. 气象科技, 1985(2):69-74.
- [3] 吴元中, 段项锁, 李临颖. 非直角双曲线光合模型的积分及参数灵敏度分析[J]. 应用气象学报, 1993(4):504-508.
- [4] 王进欣, 张一平, 王今殊. 植物群体受光结构与光截获研究综述[J]. 中国生态农业学报, 2000(3):13-16.
- [5] DE WIT C. T. Photosynthesis of Leaf Canopies [J]. Agricultural Research Report, 1965(663):57-88.
- [6] DUNCAN W. G. A model for Simulation Photosynthesis in Plant Communities [J]. Hilgardia, 1967, 38(4):1-32.
- [7] 王亚莉, 贺立源. 作物生长模拟模型研究和应用综述[J]. 华中农业大学学报, 2005(5):529-535.
- [8] 潘学标, 韩湘玲. 作物生长发育模拟模型研究[J]. 世界农业, 1993(9):3-15.
- [9] BAKER D N, LAMBERT J R, MCKINION J M. GOSSYM: A Simulator of Cotton Growth and Yield[M]. Carolina: South Carolina Agricultural Experiment Station Technical Bulletin, 1983.
- [10] 张宇, 赵四强. 国外作物生长模拟研究简介[J]. 气象, 1989(8):46-50.
- [11] 曹永华. 美国 CERES 作物模拟模型及其应用[J]. 世界农业, 1991(9):52-55.
- [12] BOUMAN B A M, KROPFF M J, TUONG T P, et al. ORYZA2000: modeling lowland rice[M]. Los Banos: International Rice Research Institute and Research Centre, 2001:235.
- [13] 邬定荣, 欧阳竹, 赵小敏, 等. 作物生长模型 WOFOST 在华北平原的适用性研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(5):594-602.
- [14] 高亮之, HANNAWAY D B. 苜蓿生产的农业气候计算机模拟模式—ALFAMOD[J]. 江苏农业学报, 1985, 1(2):1-11.
- [15] 张芳, 罗保华, 蒋兰翎. 计算机技术在现代农业中的应用[J]. 科技成果纵横, 2006(3):60-61.
- [16] 黄策, 王天铎. 水稻群体物质生产过程的计算机模拟[J]. 作物学报, 1986(1):1-8.
- [17] 高亮之, 金之庆, 黄耀, 等. 水稻计算机模拟模型及其应用之一 水稻钟模型——水稻发育动态的计算机模型[J]. 中国农业气象, 1989, 10(3):3-10.
- [18] 高亮之, 金之庆, 黄耀, 等. 水稻计算机模拟优化决策系统[M]. 北京:中国农业出版社, 1992.
- [19] 潘学标, 韩湘玲, 石元春. COTGROW: 棉花生长发育模拟模型[J]. 棉花学报, 1996, 8(4):180-188.
- [20] 冯利平, 韩学信. 棉花栽培计算机模拟决策系统(COTSYS)[J]. 棉花学报, 1999, 11(5):251-254.
- [21] 严美春, 曹卫星, 罗卫红. 小麦发育过程及生育期机理模型的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2):1-8.
- [22] 高亮之, 金之庆, 郑国清, 等. 小麦栽培模拟优化决策系统(WCSODS)[J]. 江苏农业学报, 2000, 16(2):65-72.
- [23] 郑国清, 段韶芬, 阎书波, 等. 玉米叶龄与器官发育模拟模型[J]. 玉米科学, 2003, 11(4):63-66.
- [24] 刘洪, 金之庆. 油菜发育动态模拟模型[J]. 应用气象学报, 2003(5):634-640.

Progresses of Simulation on Crop Growth and Development

GAO Feng, LIU Shuang, ZHAO Guang-yuan

(Songyuan Meteorological Bureau of Jilin Province, Songyuan 138005, China)

Abstract: Crop simulation is the foundation of agriculture information technology, and helpful for forecasting and regulating the response of crop growth and development to environment. In this paper, the conception, characteristic, research progresses, perspectives and some other questions in this field were introduced.

Key words: crop simulation; information technology; physiology and ecology; crop population