

我国农业气象业务引入作物 生长模型的前景

刘布春^{1,2} 刘文萍³ 梅旭荣¹ 李玉中¹

- (1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081;
2. 中国农业科学院研究生院; 3. 内蒙古河套大学)

提 要: 国外作物生长模型已广泛应用于农业生产及其相关领域。我国作物生长模型的应用研究也日益成熟。目前, 正从研究阶段向业务应用推广阶段转变。为了阐述作物生长模型在农业气象业务中的应用前景, 以 WOFOST 模型为例, 简要介绍了国外作物生长模型的核心模块、主要功能和应用现状。在此基础上, 分析了我国现行气象业务可为开展作物生长模型应用提供的数据支持, 存在的问题以及解决方案。指出作物生长模型在拓展当前我国农业气象业务领域和提升农业气象服务水平等方面前景广阔。

关键词: 农业气象 作物生长模型 WOFOST 模型

Prospects for Crop Growth Models Introduced into Agrometeorology Services in China

Liu Buchun^{1,2} Liu Wenping³ Mei Xurong¹ Li Yuzhong¹

- (1. Institute of Environment and Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081;
2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences; 3. Inner Mongolia Hetao University)

Abstract: The crop growth models have been applied widely to agricultural production and its relative areas. The application researches for the crop growth models have been grown up day by day in China. At present, they are being transformed from the research phase to the operational phase. In order to expound the prospects for crop growth models applied to the

agrometeorology services, and take WOFOST model as example, the core modules, the main functions and the present application situation of overseas crop growth models were briefly described. In this foundation, the data support, which the present meteorological services will be able to supply the crop growth models application, existing problems and their solutions, were analyzed. It was pointed out that the agrometeorological service domain will be expanded as well as agrometeorological service level will be promoted if the crop growth models are introduced into agrometeorological services in China. Additional, it is foreseen that the prospect of these aspects and so on was broad.

Key Words: agrometeorology crop growth model WOFOST model

引 言

作物生长模型,以其系统的观点,综合气候、作物、土壤、管理等因素模拟作物生长发育、水分、养分等动态过程。多年来已经被广泛应用于描述农业系统各组成成分、成分之间的动态关系以及可持续性研究^[1],并且在产量预报、风险评估,确定生长关键因子,播期决策,气候变化影响等方面发挥着重要作用。结合 GIS、RS 技术,来自小区或田间尺度上的作物生长模型实现了升尺度的区域化应用^[2]。我国在九五、十五期间深入开展了基于作物生长模型的区域产量预报^[3]、气候影响评估、农业气象灾害预警的国家攻关计划。在这些科研成果推广转化方面,中国气象局正在运作将作物生长模型引入并推广到国家和省(区)级水平上进行业务应用^①。在此过程中,除了需要业务技术软、硬件的支持外,数据支持尤为重要。下面将详细阐述现行条件下,气象部门已经开展的常规气象业务能够提供哪些数据,还有哪些不足?解决这些问题的可行性方案是什么?另外,可以预见,随着作物生长模型在农业气象业务上的应用,必将进一步拓展农业气象的业务领域和提升农业气象业务服务水平。同时,也会使作物生长模型在应用中得到进一步的检验、完善和发展。

1 作物生长模型的核心模块、主要功能和应用现状

目前,国外著名的农业模拟系统都以作物生长模型为核心。我国开发的一些作物模型也是在引进、学习消化国外模型的基础上建立起来的。这些模型的子模块有相似之处。下面就以 WOFOST 模型为例简要介绍作物生长模型的核心模块、主要功能和应用现状。

1.1 WOFOST 模型的核心模块及其主要功能

WOFOST 模型由作物发育、生长、蒸散、土壤水分平衡等几个主要模块组成。

发育模块在模拟作物达到的发育阶段的同时,对作物生长,水分利用动态过程都起着控制作用。

生长模块,通过模拟作物的光合、呼吸作用,净同化产物在各器官的分配等,模拟叶面积、各器官干物质积累动态,以及最终产量。

蒸散模块,模拟作物的蒸散动态,以修正作物在水分限制水平下,作物的生长动态。

土壤水分平衡模块,依据天气条件、土

① 王石立研究员,个人通讯。

壤特性、作物生长发育对水分的利用状况,模拟土壤中水分动态。

另外,如果选择3级水平的作物模拟,养分模拟模块还可以计算N、P、K在作物中的最终总含量。

1.2 WOFOST模型的应用现状

WOFOST模型起初是用于评价一年生作物的生产潜力的。之后又被广泛应用于产量风险分析,年际间的产量变异,生长关键因子的确定,播种期决策,气候变化影响评估,确定农业机械使用关键期等。此外,还用于灌溉和施肥的产量效益估算、产量预测等。以及用于森林、牧草的相关研究。

在区域应用方面,用于施肥效益的区域性评估;与GIS和RS结合,用于小流域灌溉和水土保持的战略评估,应对干旱风险的策略评估,国家级作物产量预测;用于分析欧盟土地利用的最佳配置和可行性方案。

在SYSNET(System Research Network)框架下,用于亚洲热带地区可持续资源管理的生态区域土地规划^①。

在JRC(Joint Research Centre)的MAR(Monitoring Agro-ecological Research)计划行动3中,用于欧盟区域和国家尺度的作物生长状况监测及产量预测^[4]。目前,以WOFOST为核心的CGMS已由MARS(Monitoring Agro-ecological research with Remote sensing and Simulation)计划成功地用于日常业务。JRC每月发布欧洲地区作物生长监测预测公报,包括欧盟15国及区域的气候概述、农业气象条件分析、卫星遥感监测和产量预测,为欧盟制订粮食进出口贸易政策等提供科学依据。

2 现行气象业务可为作物生长模型应用提供的数据支持以及存在的问题

按农业生产系统组成成分,作物生长模

型所需要的数据,可分为作物、气象、土壤、管理4大类数据。按功能分,有初始条件、驱动变量、参数确定3类数据。这里按后者分别阐述现行气象业务可为作物生长模型应用提供的数据支持和存在的问题。

2.1 驱动变量

现行气象业务完全可以提供WOFOST模型所需的6项驱动变量数据,即日最高气温、日最低气温、降水量、日照时数(或太阳辐射)、平均风速、相对湿度(或水汽压)。

2.2 初始条件

就WOFOST而言,现行农业气象监测业务除了可以直接提供播种日期、初始有效水含量的数据外,其它初始条件,包括最大根深、初始土壤表面积水量、最大表面积水量、初始根深的最大初始土壤湿度,降水的入渗率(或入渗率与雨强的函数),如果,地下水进入作物最大根深范围,还包括地下水深度、排水深度,需要通过与农业、水利部门合作,查询前人相关研究成果或在土壤水分观测业务中补充监测获得。

2.3 参数确定

作物生长模型应用于业务的可行性很大程度上取决于参数的可靠性。这些参数包括地理、气象、土壤和作物品种4类参数。其中地理和气象参数在气象常规业务中很容易获得。确定完善的土壤和作物参数需要做大量的工作。

农业气象常规观测业务,可以提供田间持水量、凋萎湿度2个土壤参数。而不能直

^① Boogaard H. L., van Diepen C. A., Rotter R. P., et al. WOFOST 7. 1 User's guide for the WOFOST 7. 1 crop growth simulation model and WOFOST Control Centre 1. 5. Technical document 52. DLO Winand Staring Centre, Wageningen. 1998.

接提供土壤饱和含水量, 饱和导水率, 最大入渗速率, 土壤临界空气含量等参数。如果引用欧洲的土壤参数值, 可以用常规土壤含水量的动态观测数据对这些参数的适应性加以验证和调整。

作物品种参数是所有参数中最的一类, 包括出苗所需的气温下限, 关键发育阶段所需要的有效积温。这些参数都可以通过不同品种相关的研究成果和农业气象发育期观测和气象数据计算而确定。通过现行农业气象观测不可以直接或间接计算的作物参数有: 初始植株干重、出苗时的叶面积指数、最大叶面积增长速率、关键发育期比叶面积、叶龄、消光系数、单叶光能利用率、叶片的最大 CO₂ 同化率、昼温和夜温对最大 CO₂ 同化率的减小系数, 各器官同化物转化效率、相对维持呼吸速率, 各器官干物质分配系数。另外还有水分胁迫下叶、茎、根的最大相对枯死率、初始根深、根的最大日伸长量, 以及营养器官和贮存器官单位干重中 N、P、K 的最大和最小含量。

3 目前我国作物生长模型的应用状况

在国外, 作物生长模型早已在诸多领域得到广泛应用。我国在九五、十五期间深入开展了基于作物生长模型气候影响评估、农业气象灾害预警的国家攻关项目计划。在这些科研成果转化推广方面, 中国气象局正在运作将作物生长模型引入并推广到国家和省(区)级水平上进行业务应用。

3.1 气候影响评估

九五期间“我国短期气候预测系统的研究”项目中, “气候异常对我国农业影响评估模型的研究”专题, 研制成了以江南双季稻^[5]、华北冬小麦^[6]、东北玉米^[7]、新疆棉花^[8]为主, 能够与短期气候预测业务系统相嵌套的评估气候变化对农业生产影响的动力

预测模型。随后在研究成果业务转化过程中已经建立了可以为业务使用的软件系统。这一系统与短期气候预测业务结合, 可以定量地评估气候变化对农作物生长发育影响的详细过程^[9], 为应对气候变化对农业生产产生的影响决策服务提供可靠的指导。

3.2 农业气象灾害预警

十五期间, 在国家科技攻关项目“农林重大病虫害和农业气象灾害的预警和控制技术项目”的资助下, 开展了基于作物生长模型的东北玉米冷害、华北小麦干旱和长江中下游地区小麦渍害等农业气象灾害预警新方法的研究。并正在开展与之相匹配的业务应用研究。

在基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究中, 确定了由作物对低温冷害响应的冷害指标。具体地, 把玉米抽雄期的早晚和减产分别作为玉米是否遭受低温冷害的初级指标和二级指标, 通过以气象因子驱动模拟玉米的生长发育和产量形成过程, 达到预测冷害的目的。区域化解决方案主要包括: ①应用 GIS 技术对气象要素进行一定分辨率的网格点空间插值; ②根据适宜播种期的农业气象指标, 加入适宜播期的计算模块解决了区域模型初始值的输入; ③按熟性划分东北玉米品种, 依据其空间分布建立区域内玉米的品种参数文件; ④用国家气候中心九五改进的区域气候模式 ReCCM_NCC 的预报结果作为气象要素的预报值, 根据全球气候耦合模式 CGCM 的预报结果再对区域气候模式进行时间上的积分和空间上的降尺度插值作为与作物模型模拟时空尺度相匹配的预报值^[10]。

在华北地区冬小麦干旱预测模型及其应用研究中, 建立了华北地区农业干旱预测模型, 提出了农业干旱概念, 并且定义了农业干旱预警指数和农业干旱指数, 区域验证结果表明模型对大范围区域农业干旱具有较好

的模拟能力,最为重要的是模型可以准确模拟出一定时段内农业干旱发生过程。并提出,利用该模式结合中长期天气预报,对未来 1 个月左右时间内农业干旱的发生发展进行有效预警,将为农业生产实践提供有力保证^[11]。

基于 WCSODS (小麦栽培模拟优化决策系统) 的小麦渍害模型及其在灾害预警上的应用研究中,对已有的作物模拟系统增加了土壤水对小麦光合生产、物质分配和叶片衰老影响的相应模块,实现了受渍害情况下小麦生长和产量的模拟。另外,把模型应用于长江中下游平原小麦渍害预警研究中,对大面积小麦单产试预报,取得了满意结果。提出小麦渍害模型可在研究区域小麦渍害预报业务中发挥作用^[12]。

4 我国作物生长模型应用的解决方案和可能前景

气象部门把作物生长模型引入到业务应用的最大的优势就是能够及时地获取驱动变量数据,最需要补充和完善的数据是土壤和作物品种参数。除了农业气象当前业务能够提供为数不多的参数外,通过收集前人研究成果,与农业部门和水利部门合作都可以获取相应的参数。另外,在一定的阈值范围内优化和校正国外作物模型品种参数也是可行的。有条件的,还可以有针对性地通过田间试验获取一些重要参数。

解决了以上问题,并基于气象部门相对高密度空间、长时间序列的观测,以及长、中、短期天气和气候预测可以完成作物生长模型多点应用的数据准备。

另外,气象部门已经开展的 GIS 和 RS 业务将为作物生长模型区域应用提供很好的条件。作物生长模型与 GIS 结合可以实现其由点到面的升尺度区域应用。对大范围作物生长监测的遥感信息与作物生长模型结

合,可以弥补作物生长模型局限于单点的不足;可以对作物参数和产量进行评估,以有效减少作物模型校准误差^[1]。

目前,我国农业气象业务已经尝试将作物生长模型应用于气候影响评估、农业气象灾害预警中。而开展区域产量预报是作物生长模型应用于农业气象业务的另一个重要分支。我国气象部门正式开展产量预报气象业务可以追溯到 20 世纪的 80 年代。所建立的产量预报模型以经验统计模型为主。随着监测手段和信息技术的逐步提高,产量预报准确率有了很大的提高,产量预报业务在为我国农业宏观决策的服务中发挥了非常重要的作用。但是,由于经验统计模型的生物学意义不够明确,在说明环境变量与作物生长发育的动态关系上是一个薄弱环节,势必不能对生产管理和调控提出进一步的量化建议。而应用作物生长模型于区域产量预报可以弥补统计模型在上述方面的不足。作物生长模型的本质是作物生长发育(包括最终产量形成)与天气、土壤等环境条件和管理水平的定量函数关系。因此,在满足模型所需要的初始条件、驱动变量、必要参数的条件下,作物生长模型的产量预报能力是毋庸置疑的。在区域产量预报方面,气象部门的相关业务能够提供长时间序列和大范围较高密度的气象资料,可以对模型进行校正。其次,把长、中、短期气象预测结果作为区域作物模型的输入,可以得到作物生长发育详细过程的预测结果,使产量预报结果提前得到逐步的订正。当然,预报的准确性一定程度上依赖于气象预报的准确性。另外,与 GIS、RS 结合一方面能实现作物模型由单点产量预报升尺度到进行区域产量预报,另一方面可以校准区域产量预报结果。

作物生长模型在灌溉和施肥的产量效益估算,土地利用、农业可持续性评价等方面的应用,在国内,还处于研究阶段。可以预见,随着这些应用研究的日趋成熟,相关成

果被推广到农业气象业务领域也是指日可待的事情。作物生长模型在农业气象业务领域的广泛应用必将进一步拓展农业气象业务领域和提升其服务水平。同时,也使作物生长模型在应用中得到了很好的检验、完善和发展。

5 结论与讨论

作物生长模型以发育模块为控制模块,控制着几个相对独立的核心模块。其主要功能是模拟不同天气、土壤、作物和管理条件下作物生长发育的详细过程。40 多年的发展和完善使作物生长模型得到广泛应用。将其应用于我国农业气象业务的过程中,其中很重要的一点是解决数据支持的问题。现行气象业务可以提供部分数据支持,尤其是在提供驱动变量——气象要素值上,气象部门具有绝对优势。但是,其余的数据特别是一些重要土壤和作物参数,需要与农业部门和水利部门合作的方式或补充监测获取。“九五”和“十五”开展的相关研究,使作物生长模型的区域化应用有了很好的解决方案,并进一步拓展了它的应用领域。可以预见,作物生长模型在气候影响评估、农业气象灾害预测和区域产量预报等方面应用有非常广阔的业务应用前景。

鉴于环境变量(如天气、土壤)和管理变量的非均匀性,在将假设环境均匀的小区水平的作物生长模型应用于更大空间尺度和更高级系统水平时,面临的最大问题是升尺度连接。尽管结合 GIS 和 RS 技术可以解决空间插值和模型部分校正,但是解决环境信息的时空变异,响应变量的空间归并,以及由于空间平均、时间变异和现有模型未考虑的新特性和新过程时所产生的偏差问题,仍然是作物生长模型区域应用和投入实际业务

应用需要重点关注的问题。另外,用作物生长模型作预测应用时,对长、中、短气候预测预报的过分依赖性也是值得研究的问题。

参考文献

- [1] Matthews R., Stephens W., Hess T., et al. Applications of Crop/Soil Simulation Models in Tropical Agricultural Systems [J]. *Advances in Agronomy*, 2002, 76: 32-108.
- [2] 刘布春, 王石立, 马玉平. 国外作物模型区域应用研究的进展 [J]. *气象科技*, 2002, 30 (4): 1-6.
- [3] 张宇, 庄立伟, 王建林. 我国国家级农业气象产量预报科研业务进展 [J]. *气象*, 1995, 21 (4): 3-7.
- [4] Supit I., A. A. Hooijer, C. A. van Diepen (eds.). "System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS [M]. Volume 1: Theory and Algorithms", EUR 15956, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 1994, 146 pp.
- [5] 裘国旺, 王馥棠. 气候变化对我国江南双季稻生产可能影响的数值模拟研究 [J]. *应用气象学报*, 1998, 9 (2): 151-159.
- [6] 冯利平, 孙宁, 刘荣花, 等. 我国华北冬小麦生产影响评估模型的研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11 (4): 73-76.
- [7] 尚宗波. 全球气候变化对沈阳地区春玉米生长的可能影响 [J]. *植物学报*, 2000, 42 (3): 300-305.
- [8] 潘学标, 李玉娥. 新疆棉花生产区域评估系统研究 [J]. *中国农业科学*, 2003, 36 (1): 37-43.
- [9] 马玉平, 王石立, 王馥棠. 作物模拟模型在农业气象业务应用中的研究初探 [J]. *应用气象学报*, 2005, 16 (3): 293-303.
- [10] 刘布春, 王石立, 庄立伟, 等. 基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究 [J]. *应用气象学报*, 2003, 14 (5): 616-625.
- [11] 刘建栋, 王馥棠, 于强, 等. 华北地区农业干旱预测模型及其应用研究 [J]. *应用气象学报*, 2003, 14 (5): 593-604.
- [12] 石春林, 金之庆. 基于 WCSODS 的小麦渍害模型及其在灾害预警上的应用 [J]. *应用气象学报*, 2003, 14 (4): 462-468.