

农作物生长动态监测技术综述

张红卫^{1,2,3}, 陈怀亮^{1,2}, 周官辉³, 葛红梅⁴

- (1. 中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450003;
2. 河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450003; 3. 河南省新乡市气象局, 新乡 453000;
4. 河南省辉县市气象局, 辉县 453600)

摘要: 本文对农作物生长的监测方法进行了较为详尽的叙述。在作物生长模型的叙述中, 重点对几个作物生长模型——荷兰 Wageningen 模型体系、美国 GOSSYM 模型和 CERES 模型、澳大利亚 APSIM 模型以及中国的水稻模型在机理性、应用性方面的优点与缺陷进行了介绍。在作物生长的遥感动态监测中, 重点介绍了基于叶面积指数 LAI 与生物量的国内外不同学者提出的研究方法与应用, 在对遥感方法与作物生长模型融合方法对作物生长监测的介绍中, 利用遥感反演的作物生长状态参数作为作物生长模型的参数输入, 进而达到提高作物生长模型对作物生长的动态模拟准确度的“强迫法”及通过减小遥感观测值与相应作物生长模型参数模拟值之间的差距进而对初始值或参数值进行估算的“同化法”进行了较为详尽的阐述。最后根据作物生长不同监测方法存在的长处与缺陷, 提出了未来作物生长的动态监测方法发展方向将以田间农业气象观测资料和 FY-3A、MODIS 等中分辨率极轨卫星数据(250m 分辨率)结合遥感、GIS 与作物生长模型技术方法, 开展农作物生长精细化动态监测与定量评价技术发展为趋势。

关键词: 农作物; 生长; 动态监测

1 引言

小麦、水稻和玉米是我国主要粮食作物, 其高产稳产是保障国家粮食安全的关键。随着我国粮食消费需求刚性增长、耕地减少、水资源短缺、气候变化等对粮食生产的约束日益突出, 我国粮食安全面临着严峻挑战。我国气象部门在利用遥感技术监测小麦长势、利用统计方法预报作物产量和农业气象条件分析评价方面取得长足进展, 为保障粮食丰收做出了重要贡献。但是目前我国对农作物生长动态监测方法虽多, 但连续性、动态性的监测效果不好, 对正确评估作物长势及年景展望贡献有限。首先, 地面作物观测的生长状况评定不能代表本地区作物的综合长势, 同时人为主观因素对生长状况的评定影响较大, 缺乏宏观的比较判别。遥感监测多以 1km 分辨率的极轨气象卫星资料为主, 精细化程度不高, 特别是对下垫面状况复杂区的水稻、玉米遥感监测尚不能业务实用, 而资源卫星资料价格昂贵、时效性差, 难以大范围业务化应用; 产量预测大多以简单的统计方法为主, 机理性不强, 作物生长模拟模型多以单点应用为主, 区域化应用局限性较多; 气象条件评价的定量程度和动态跟踪能力不够, 多以定性评述为主, 为粮食“高产、优质、高效、安全、生态”提供气象保障的能力远不能满足需要。

为了更好地研究作物动态生长过程中不同监测方法的实用性, 本文将在以前研究的基础上, 对作物生长不同监测方法进行较为详尽地介绍, 同时结合目前国内外在作物生长监测方面的研究发展, 提出未来作物生长过程中的动态监测思路。

2 作物生长的国内外监测方法研究现状

国内外针对农作物生长发育的监测主要有地面观测、遥感监测和模型模拟等技术和方法。地面人工或仪器观测是最直接和最基本的方法。经过近几十年的发展, 尤其经过近二十多年来田间精密观测、试验和分析测量仪器的研发和应用, 农作物生长发育地面观测取得了长足发展。但是, 农作物生长发育的地面现代化观测不但需要投入大量人力物力, 而且只能获取单点或局地的结果, 难以实现区域或大范围监测。

2.1 地面观测方法

基金项目: 2009 年国家公益性行业(气象)科研专项经费(GYHY200906022)资助。

作者简介: 张红卫(1966—), 男, 高级工程师, 研究方向为农业气象与遥感. Email: xxqxjzhw1966@163.com

在目前的作物生长监测方法中,地面观测是最直接、最快速的人工观测方法。作物的生长状况评定主要通过科技人员对作物生长的掌握情况及当地作物生长历史状况进行评定,作物的生长过程主要通过叶面积指数 LAI、干物重、密度、高度等生长要素的测定来进行动态观测,此方法由于采用取样观测,准确率较高,单点观测连续性较好,其过程中人为主观因素起主要作用⁰。但对区域大面积来说,此方法行不通。

2.2 作物生长模型方法

从上世纪 60 年代起,科技工作者对作物生理生态机理认识不断加深,结合计算机技术的迅猛发展,以数字模拟为主的作物生长模型的研究得到了飞速发展,并逐渐进入实用化阶段。由于作物生长模型是基于生理生态机理的,同时考虑作物生长的大气、土壤、生物等环境因素,使得作物生长动态模拟模型已成为作物生长研究有力的工具之一。作物生长模型集成了最新的科学研究成果,其在决策制定中所起的作用已逐渐为大家所认识,应用的领域也随着科技的发展不断扩大。

国内外科技工作者在近 40 年的作物生长模型研究中取得了丰硕的成果。不同的国家及科技工作者因出发点不同,开发了不同类型的作物生长模型。目前比较成熟且应用较多的主要有荷兰 WOFOST(World Food Studies)模型、美国的、澳大利亚、英国、苏联和日本等。下面以几个主要的作物模型为例介绍作物模型的发展历程及其主要特点。

2.2.1 荷兰作物生长模型 Wageningen 体系

荷兰作为作物模式最早的开创者,在此领域占有举足轻重的地位。最初在 Wageningen 进行,由 de Wit 开创作物生长模型研究,de Wit 学派的作物模型研究开始是从研究角度出发的,并在作物生产系统的 4 种生产水平的假设上进行的^[2]。

随着研究领域的不断拓展,de Wit 学派先后开发出了一系列模型。在 1965 年,de Wit 发表了“叶冠层的光合作用”文章奠定了作物生长动态模拟模型的基础^[3]。此后,以冠层光合作用为基础,开发出了只需改变作物参数就可应用于不同作物的系列模型。荷兰先后开发出的作物模型主要包括:ELCROS(Elementary Crop Simulator)模型^[4]、BACROS(Basic Crop growth Simulator)模型^{[5],[6]}、SUCROS(Simple and Universal Crop growth Simulator)模型^[7]、WOFOST(World Food Studies)模型^{[8],[9]}、MACROS(Modules of an Annual Crop Simulator)模型^[10]、LINTUL(Light Interception and Utilization)模型^[11]等。荷兰开发的作物生长模型的主要特征表现在解释性、机理性、通用性强。通过改换作物参数和土壤、气候数据库而适用于不同的作物生长模拟。模型主要考虑土壤、气候等因素的综合作用,随着农业生产技术的发展,后期模型允许对品种特性加以考虑,这样就使得模型动态适应性增强。后期研发的模型应用领域包括农业生态区划、区域产量预报、区域评估环境及社会经济变化对农业的影响等。这为作物生长模型在作物生长动态监测中的应用提供了强有力的技术支撑。

2.2.2 美国作物生长模型(GOSSYM 和 CERES)

20 世纪 70 年代初,美国农业部农业研究署主持开发了棉花生长模型 GOSSYM^[12]和大豆生长模型 GLYCIM^[13]。与此同时,在以 RITCHIES 教授为首的专家组领导下,采用系统工程原理,动力学方法和计算机技术构造的作物—土壤—大气系统的动态模拟模型 CERES。此后研究了适用于玉米、高粱、水稻、谷子、小麦、大麦等系列作物—环境的作物生长动态模型^{[14]-[18]}。由于 CERES 模型不受地域、气候和土壤类型等条件的限制,可以模拟作物在自然环境下的生长、发育和产量形成的动态过程,是目前世界上应用最广泛的作物模型之一。

基于大豆模型 SOYGRO、花生模型 PNUTGRO 和干菜豆模型 BEANGR,合并形成了 CROPGRO 系列模型,主要用于模拟豆类作物的生长、发育和产量形成过程^{[19]-[22]}。作为过程模型的 CROPGRO 模型设计结构允许用户通过修改作物特征参数而可以应用于其它作物。

另外,美国在作物生长模型的基础上开发了农业技术推广决策支持系统 DSSAT (Decision Support System for Agro-technology Transfer)^[23]。此系统包括了美国主要的作物生长模型 CERES 与 CROPGRO 系列模型,具有鲜明的应用特色。DSSAT 系列模型既有通用模块,又有不同作物自己的模块,模拟作物种类达 17 种之多。在考虑作物品性、土壤、气候和管理措施等因素的基础上,DSSAT 系统主要用于模拟季节变换、空间位置变换和不同管理措施对作物生长过程的影响。

2.2.3 澳大利亚作物生长模型(APSIM)

在把零散的研究结果集成到模型之中,以便把某一学科或领域的成果采用“即插即用”方法应用到别的学科或领域去,澳大利亚发展了 APSIM(Agricultural Production Systems Simulator)模型^[24]。APSIM 作为一个公用平台使得模型或模块之间更加容易进行对比。

APSIM 模型不同于其它作物生长模型的是突出土壤而非植被。模型中把天气和管理措施引起的土壤特征变量的连续变化被作为模拟的中心,而作物等植被在土壤中的生长只不过是使土壤属性发生改变。

另外,国外的作物生长模型还包括日本在借鉴了荷兰与美国的理论依据和研究方法,结合专家系统主要开发了为农业生产提供预测、指导和病虫害诊断等信息的模型^[25];加拿大建立了基于小麦作物模型的农业气候信息系统等等^[25]。目前在中国应用最广、效果最好的模型是荷兰 WOFOST(World Food Studies)模型和美国 CERES 作物生长模型。荷兰的作物生长模型注重机理性,而美国的作物生长模型强调实用性。

2.2.4 中国水稻生长模型(CCSODS 系列)

相比于国外的作物生长模型研究,我国起步晚近 20 年,并且研究水平较低、研究规模也小。80 年代之后在引进、修改和验证国外的作物模型的基础上,根据我国的实际情况建立了一些新的模型。高亮之等推出的水稻钟模型 RICEMOD 可以算是国内自己推出的首个作物模型^[26]。

目前在我国比较有影响且进行应用的作物生长模型是计算机模拟优化决策系统 CCSODS(Crop Computer Simulation, Optimization, Decision Making System)。该模型采用作物模拟技术与作物优化原理相结合的方式,机理性、通用性和综合性相对较强。在目前主要进行水稻、小麦、玉米和棉花 4 种中国的主要农作物模拟,以水稻模型 RCSODS 最为著名。

另外还有其它一些科研工作者进行了作物生长模型的研究,但单一的功能往往侧重于作物生育的某些方面,难以定量描述和预测作物生长发育的综合关系,难以应用于作物生长的动态模拟。

作物生长模型在作物生长动态模拟应用中仍不很成功。这主要是因为许多决策支持系统所包含的农业技术知识有限,强调理论性较多,实用性较少,从而造成作物生长动态模拟准确率不高。

就科研来说三个方面原因影响了作物生长模式的应用。一是决定作物产量变化天气条件,现有的天气预报精确是一个主要限制因素。二是缺乏准确的土壤和作物数据输入,因土壤和作物参数的空间变异性较大,没有足够精确的环境数据来运行和验证模型。三是生长模型本身大部分是单点模型,不能适用于大尺度的作物模拟,实际上的外界条件超出了模型边界条件的有效范围。

2.3 卫星遥感方法

实时、宏观、动态的特点使得卫星遥感监测成为大范围作物长势监测和产量预测的有效手段。作物生长过程中,目前研究较多的作物生长要素主要包括叶面积指数 LAI、生物量等。国内外对作物生长的动态监测也都是基于上述不同的特征进行研究的。

2.3.1 基于叶面积指数 LAI 监测

植物生长过程中的生理过程都收到植被冠层叶面积的影响,光合作用的强弱、呼吸作用的强弱,蒸腾的快慢等过程都与叶面积指数(LAI)大小相关,这样也就为植被冠层最初能量交换描述提供有用的结构化定量信息^[27]。因此,无论国内国外,在对植被冠层叶面积的研究上都投入了较多的精力,也取得了许多显著的成果。根据叶绿素本身特性及反射光谱特性,Wiegandetal 首次把叶面积 LAI 大小与光谱观测数据建立系,为高光谱遥感在反演植被冠层信息提供了可能^[28]。Mutanga 等发现在 400~700nm 光谱区间,叶绿素和其他色素的吸收决定了植被的反射光谱特性,而叶绿素含量的多少与叶面积 LAI 大小正常情况下呈线性正关系,光谱反射率则与 LAI 负相关^[29];在 700~1000nm 光谱区间的红外及近红外波段,植被结构对反射光谱影响较大,对光谱产生强烈反射,反射率与叶面积 LAI 呈正相关^[30]。基于上述研究,选择特定的光谱波段进行组合建立不同的植被指数就可以建立叶面积指数 LAI 与植被指数之间的关系。自从 1974 年 Rouse 提出了归一化差值植被指数 NDVI 之后^[31],不同的学者对充分利用红外、近红外光谱与植被叶面积指数 LAI 之间进行了许多有益的探讨与研究。Miller 采用比值植被指数 RVI、垂直植被指数 PVI 等反演 LAI,奠定了高光谱数据反演植被叶面积指数 LAI 的基础^[32];Patel 等利用植被反射光谱波形分析的红边参数反演 LAI^[33]。郑国清等对玉米一阶微分光谱(480nm)与 LAI 之间的关系进行了研究,发现其优于原始冠层光谱与叶面积 LAI

之间的关系^[34]。李映雪等研究了发现不同植被指数(高光谱植被指数 RVI、垂直植被指数 PVI、高光谱特征参数 P Area1100 都与 LAI 都显著相关^[35]。薛利红等研究了宽波段光谱植被指数与水稻叶面积指数 LAI 之间的幂函数和指数关系^[36]。Aparicio 等的研究表明, 叶面积指数 LAI 与植被指数 VI 之间的相关度受栽培措施、品种等因素影响较小等等^[37]。上述研究都说明了利用植被的光谱信息进行植被的叶面积反演是切实可行的。现在常用的几种植被指数主要有: 比值植被指数 RVI、差值植被指数 DVI、垂直植被指数 PVI 和归一化植被指数 NDVI 等, 它们分别表述如下:

(1) 比值植被指数 RVI(Ratio Vegetation Index): 1972 年由 Person 和 Miller 提出^[38]:

$$RVI = R_{NIR}/R_{Red} \quad (1)$$

式中, R_{NIR} 和 R_{Red} 分别是近红外波段和红光波段的反射率。

(2) 差值植被指数 DVI(differential vegetation index): 由 Jordan 1969 年提出^[39]。

$$DVI = R_{NIR} - R_{Red} \quad (2)$$

式(2)中, R_{NIR} 和 R_{Red} 符号含义同(1)式。

(3) 垂直植被指数 PVI(Perpendicular Vegetation Index): 1977 年 Richardson 和 Wiegand 基于“土壤线”的概念构建了“垂直植被指数(PVI)”^[40]。

$$PVI = \frac{R_{NIR} - aR_{Red} - b}{\sqrt{1 + a^2}} \quad (3)$$

式(3)中, a 、 b 均为土壤线性系数; R_{NIR} 和 R_{Red} 符号含义同(1)式。

(4) 归一化植被指数 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index): 1974 年, Rouse 提出归一化差值植被指数 NDVI, 将比值限定在(-1, 1)范围内^[31]:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}} \quad (4)$$

式(4)中, R_{NIR} 和 R_{Red} 符号含义同(1)式。

目前应用最广的植被指数为归一化植被指数 NDVI, 它不仅应用在植被生长动态监测上, 土壤含水量的监测也多基于 NDVI 的光谱特征进行反演。根据业务、研究的需要对 NDVI 进行不同的参数订正可以实现对植被生长动态监测的精确化。

2.3.2 基于生物量的监测

生物量是估算植被生长快慢和干物质积累的重要的生物物理参数之一, 生物量的估算主要通过植被 LAI 之间的关系实现, 这主要是因为叶面积指数 LAI 在不同的发育阶段是不同的, 占干物重的比例随着发育期而变化, 通过建立不同发育阶段叶面积指数与干物重的关系, 采用遥感反演得到的叶面积 LAI 信息进行植被生物量的反演也是可行的。Hansena 等采用光谱波段间隔方法(1nm), 基于高光谱(438~884nm)范围内反射率之间的关系构建了多种归一化光谱指数进行小麦地上鲜生物量的估算^[41]。Gitelson 研究了用红边位置的对数方程对生物量估算效果较好^[42]。唐延林研究了 RVI 和 NDVI 与水稻地上鲜、干重均显著相关, 不同的波谱比率(R_{990}/R_{550} 、 R_{800}/R_{550} 等)均与水稻、小麦、玉米的地上干物重存在显著关系^{[43]、[44]}。王渊等对不同光谱植被指数与油菜的生物量之间的关系进行了研究, 发现 RVI 效果好于 NDVI^[45]。王秀珍建立了高光谱估算地上鲜生物量的最佳模型^[46]。黄春燕等利用 550~750nm 波段的 NDVI、RVI 建立了生物量的多种线性与非线性函数关系^[47]。

从上述研究可以看出, 生物量具有与 LAI 相似的光谱监测波段, 只是冠层光谱变量和植被指数稍有不同。其它还有根据不同用途的植被状况监测, 例如植被含水量监测、叶绿素含量监测、植物 N 含量监测等。

2.4 遥感信息与作物生长模型的耦合应用研究进展

作物生长模型从土壤—植被—大气系统物质和能量的传输和转化理论出发, 综合了大气、土壤、作物

遗传特性和田间管理等因子对作物生长的影响,是一种面向过程、机理性的动态模型。作物生长模型单点应用效果较好,当发展到区域时,空间尺度的增大,地表、近地表环境的非均匀性增加了模型中一些宏观资料的获取和参数区域化方面的困难。

遥感监测具有实时、宏观、动态的特点,使得卫星遥感监测成为大范围作物长势监测和产量预测的有效手段。随着科技的发展、监测技术的提高,遥感监测必将成为越来越重要的作物生长监测手段。遥感作为一种大尺度的监测方法,对小范围下垫面状况准确率相对较低,混合像元的有效信息提取也一直是一个限制监测精度的技术难题。

卫星遥感技术能够监测植被宏观状况,反映环境因子对作物影响的综合作用的结果,作物生长模型能够利用环境因素模拟作物生长过程,揭示作物生长和发育的原因与本质。如何将二者结合,优势互补提高监测准确率是最近几年来国内外的研究热点。

就目前把遥感与作物生长模型结合的研究方法中,大致可以归结为“强迫”与“同化”两种方法。在过去的研究中,“强迫”法研究的相对较多,它主要是利用遥感反演的作物生长状态参数作为作物生长模型的参数输入,进而达到提高作物生长模型对作物生长的动态模拟准确度。“同化”法通过减小遥感“观测值”与相应作物生长模型参数模拟值之间的差距进而对初始值或参数值进行估算,在同化过程中,作物生长状态变量(叶面积指数 LAI)、作物冠层反射率等都可以作为同化变量。

在“强迫”法的研究中,Mass 对玉米进行地面辐射测量,对叶面积指数(LAI)和地表温度进行反演,进而确定作物水分胁迫系数,以此作为作物生长模型的参数输入,使得玉米地上生物量的模拟效果得到提高^[48];Delecalle 等利用的小麦 SPOT/HRV 遥感数据反演叶面积指数 LAI 值,利用统计内插法得到逐日叶面积 LAI 变化廓线,输入 ARCWHEAT 作物生长模型,进而改善了模型的产量预测能力^[49];Karvonen 等利用遥感数据反演的作物 LAI 输入农业气象模型 CROPWATN 模型进行产量模拟^[50];Carbone 利用遥感光谱数据对下垫面进行判别,并利用 GIS 技术进行作物种植空间划分,得出了与实际产量较为一致的模拟结果^[51]。在国内的研究中,宇振荣等利用作物冠层温度的反演进而推算作物水分胁迫系数,引入作物生长模型,完成了作物生长的动态监测及产量的滚动预报^[52];辛景峰利用 NOAA/AVHRR 数据反演得到的 NDVI 和 Ts 数据,在地理信息系统支持下建立了生育期遥感模式,发展并建立了 PS-X 遥感—作物生长复合模型进行区域产量估测^[53];林忠辉在 SUCROS 模型和冠层蒸腾-土壤蒸发的双源模型改进基础上,进行了水分胁迫状态下的夏玉米生长模拟,并利用 AVHRR 数据反演得到的夏玉米 LAI,在 GIS 支持下实现较大尺度的区域叶面积指数分布的模拟等等^[54]。

在“同化”法研究中,主要从冠层辐射传输模型、重新初始化/参数化变量的选择、优化初始变量的算法、优化比较对象的选择以及作物生长模型的区域化方法等方面进行作物生长模型与遥感光谱数据的结合开展研究,取得了一定的成果。Maas 等采用遥感反演得到的高粱和冬小麦叶面积指数 LAI,进行 GRAMI 作物生长模型相关参数与初始值的调整^[55]^[56];Clevers 等用地面和航空遥感数据调整了 SUCROS 模型的参数和初始值进行甜菜产量预测^[57];他还权重差异植被指数(WDVI)利用遥感光谱对光合有效辐射和 LAI 进行反演,调整了多个参数;Dente 通过调整小麦播种日期、土壤田间持水量等参数变量,将 CERES Wheat 模拟的叶面积指数值与利用 C 波段雷达数据反演的叶面积指数值之间的差异减少到较小范围,提高了 CERES Wheat 模型的预测能力^[58]。还有其它以叶面积指数 LAI 为结合点,实现了不同作物生长模型与遥感反演的 LAI 数据之间的同化等等^[59]^[61]。而在作物冠层反射率作为同化变量的“同化”法中,遥感数据不再用于反演冠层变量,而是以其辐射观测值本身直接去校准作物生长模型的某些关键过程或重新初始化、参数化作物生长模型等,达到优化模型的目的。Bouman 利用甜菜的地面辐射观测值调整作物生长模型中如出苗日期等一些敏感参数,或相对生长速率、光利用效率和最大叶面积指数等一些与品种有关的经验参数,达到改善作物生长模型的产量预测精度^[62];Guerif 等利用最优环境条件下作物生长所获得的试验数据校准作物模型,通过 LAI 将 SAIL 模型与 SUCROS 模型连接,利用作物和土壤的先前知识进行 SAIL 参数估算,减小模拟反射率和遥感探测反射率之间差异,对定苗数、播种~出苗的温度、LAI 等作物模型参数进行调整,使其能较好地模拟作物生长过程及预测产量^[63]。还有像 Moulin、Doraiswamy 等学者通过对遥感光谱与作物生长模型之间的联系进行参数调整从而到达最佳模拟效果^[64]^[65]。

在遥感与作物生长模型结合方面,我国起步相对较晚。近些年来国内学者在这一领域进行了有益的探索。宇振荣等^[66]、王纯枝等^[67]利用遥感信息估算作物冠层温度,通过冠气温差计算作物水分胁迫系数,并引入作物生长模型,实现了动态和连续的作物监测及产量预报;马玉平、王石立等也利用作物模型 WOFOST 与 MODIS 遥感信息的结合进行了华北冬小麦的产量预测^[68];郭建茂等利用作物模型 WOFOST 与 TM 资料的结合进行县级冬小麦产量预报研究^[69];杨沈斌等利用 ORYZA 水稻模型与卫星雷达资料结合,进行了产量预报研究^[70]。

3 不同监测方法存在的问题

3.1 作物生长的地面观测存在问题

- (1) 气候、土壤、作物以及生产水平有代表性的观测点选择问题。通常来说,不同的环境背景下需要选出能够代表其真正气候、土壤、当地生产水平的观测地段比较困难,目前大部分观测地点的选择上都存在人为主要判断为主而代表性相对偏差的现象。
- (2) 平行观测的问题。规范要求一方面观测作物环境的物理要素(包括气象要素、田间土壤湿度等);另一方面观测作物的发育期进程、生长状况、产量的形成。目前的观测点的选择都离气象观测点有一定距离,并且下垫面情况完全不同。气象观测点主要下垫面为覆盖物为草且未灌溉的自然状态,而作物生长地段多为以作物为覆盖物的灌溉地段,小气候差异比较显著,进行平行分析存在小气候差异问题。
- (3) 点面结合的问题。按要求采用点面结合的方法进行作物生长观测,但在实际操作过程中由于各种原因会造成选点的代表性不强而造成区域生长状况评定准确率偏低。
- (4) 农业气象观测人员问题,按要求保持相对稳定,这是为了减少和降低作物观测记录人为主观因素造成的误差。目前由于不同站点存在的实际问题,很难保证人员的相对稳定,这样也就造成了观测记录的代表性、准确性等一系列问题。
- (5) 观测地段问题。规范要求观测地段选择上要有一定的面积,目前由于种植方式的改变,真正意义上的规范要求很难做到,这样就会由于不同的管理方式造成作物生长的差别,从而影响观测地段的代表性。同时,作物产量的高、中、低的代表性由于人为因素判断存在误差。

3.2 作物生长模型存在的问题

作物模拟技术从农业生态系统的物质平衡、能量守恒原理以及物质能量转换原理出发,对作物光合、呼吸、蒸腾等重要生理生态过程及其与环境因子之间的关系进行数值模拟,是一种面向过程、机理性和动态性俱强的模型。作物生长模型正在从理论研究及单点试验向区域实际应用发展。但是,当基于单点的作物生长模型应用到区域研究时,模型就会遇到获取宏观资料的困难,而模型参数本身也存在区域尺度的问题,所以在业务化过程中还有相当难度。

3.3 遥感监测方面存在的问题

目前大部分作物生长动态监测多是基于极轨气象卫星的 1km 资料上,分辨率偏低。下垫面植被种类的多样性使得卫星监测精度难以大幅度提高。卫星遥感的监测精度受天气条件影响严重,天气条件的好坏直接影响下垫面状况的反演精度,使得遥感动态监测的效果受到严重影响。同时,资源卫星资料价格昂贵、时效性差也限制了其在作物生长动态监测应用中的有效性。虽然近年来基于遥感与作物生长模式的作物生长动态监测进行了一些研究,但主要都是基于作物叶面积指数 LAI 进行的,思路单一,方法收到限制,效果相对来说不能满足日常的业务应用需求。

4 作物生长监测方法未来发展方向

综合前面的论述,可以看出,任何一种单方面的监测方法都不能很好地解决作物生长动态监测准确性的问题。在我国,未来的监测技术将以 FY-3A、MODIS 等极轨卫星 250m 分辨率遥感资料为基础,将作物生长模拟和遥感、GIS 等技术相结合,辅以地面农业气象观测与调查,研究小麦、水稻和玉米等主要农作物生长基础参数遥感定量反演优化、作物生长精细化遥感动态监测评估、遥感与作物模型结合的作物生长动态区域化模拟、作物生长综合定量评价与产量综合预测优化集成等技术,对于提高区域农作物生长发育动态监测精细化程度和实时性,提升作物产量预测的动态性和机理性,增强作物生长定量评价的客观性和准

确性,促进主要农作物田间科学化管理,预防不利气象条件的影响,确保主要农作物增产丰收,保障国家粮食安全和粮食贸易具有重要意义。

利用田间农业气象观测资料和 FY-3A、MODIS 等中分辨率极轨卫星数据(250m 分辨率),寻求遥感、GIS 与作物生长模型结合技术方法,开展区域主要农作物生长精细化动态监测、定量评价、精确估产正在成为现代农业动态监测、预测和定量评价技术发展的趋势。

参考文献

- [1] 中国气象局. 农业气象观测规范[M]. 1993.6, 北京: 气象出版社.
- [2] Bouman B AM,van Keulen H, van Laar H H, et al . The'school of de Wit' crop growth simulation models : a pedigree and historical overview. *Agricultural Systems*, 1996, 52: 171-198.
- [3] de Wit C T. Photosynthesis of leaf canopies. *Agricultural Research Report 663*, PUDOC, Wageningen, The Netherlands. 1965. 1-57.
- [4] de Wit C T, Brouwer R, Penning de Vries F W T. The simulation of photosynthetic systems. In: Setlik I (ed.). *Prediction and Management of photosynthetic productivity*, Proceedings of the International Biological Program/Plant Production Technical Meeting, Trebon, PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 1970. 47-70.
- [5] de Wit C T, et al . Simulation of assimilation, respiration and transpiration of crops. *Simulation Monographs*, PUDOC, Wageningen, The Netherlands. 1978
- [6] Penning de Vries F WT, van Laar H H. Simulation of growth processes and the model BACROS. In: Penning de Vries F W T and van Laar H H (eds.), *Simulation of plant growth and crop production*. *Simulation Monographs*, PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 1982. 114 —135.
- [7] van Keulen H, Penning de Vries F WT, Drees EM. A summary model for crop growth. In: Penning de Vries F W T, van Laar H H (eds.), *Simulation of plant growth and crop production*. *Simulation Monographs*, PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 1982. 87-98.
- [8] van Keulen H ,Wolf J . Modeling of agricultural production: weather, soil and crops. *Simulation Monographs*, PUDOC. Wageningen , The Netherlands , 1986.
- [9] Hijmans R J. Guiking2Lens I M,van Diepen C A. User guide for the WOFOST 6. 0 crop growth simulation model. Technical document 12, DLO Winand Staing Centre ,Wageningen ,The Netherlands , 1994. 145.
- [10] Penning de Vries F W T, Jansen D M,ten Berge H FM, et al . Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. *Simulation Monographs*, PUDOC, Wageningen , The Netherlands ,1989. 271.
- [11] Spitters C J T, Schapendonk A H C M. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation, *Plant and Soil*, 1990,123: 193-203.
- [12] Baker D N, Lambert J R, McKinion J M. GOSSYM: A simulator of cotton crop growth and yield. *Tech. Bull.* 1089. South Carolina Agric Exp Stn, Clemson Univ, Clemson. 1983.
- [13] Ritchie J T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research*, 1972, 8: 1204-1213.
- [14] Ritchie J T, Otter S. Description and performance of CERES Wheat: Auser2oriented wheat yield model, USDA2ARS, ARS238, 1985. 159-175.
- [15] Jones C A, Kiniry J R. CERES2Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A & M University Press, College Station ,TX. 1986.
- [16] Ritchie J T, Alocijia E C, Uehara G. IBSNATPCERES Rice Model. *Agrotechnology Transfer*, 1986. 3: 1-5.
- [17] Otter2Nacke S J, Ritchie J T, Godwin D, Singh U. A User's Guide to CERES Barley2V2. 10. International Fertilizer Development Centre, Muscle Shoals, Alabama, USA, 1991.
- [18] Alagarswamy G, Ritchie J T ,Godwin D C, Singh U. A user's guide to CERES Sorghum. Michigan State University , ICRISAT , IFDC and IBSNAT Joint Publication, 1988.
- [19] Wilkerson G G, Jones J W, Boote KJ , et al .Modeling soybean growth for crop management. *Trans. ASAE*, 1983, 26: 63-73.
- [20] Boote KJ, Jones J W, Hoogenboom G, et al. PNUTGRO V1. 02, Peanut Crop Growth Simulation Model, User's Guide. *Fl. Agric. Exp. Sta, Journal No.* 8420. Univ. of Florida, Gainesville, 1989.
- [21] Hoogenboom G, White J W, Jones J W, et al. BEANGRO, a process oriented dry bean model with a versatile user interface. *Agronomy Journal*, 1994. 86(1): 182-190.
- [22] Hoogenboom G, Jones J W, Boote KJ. Modeling growth, development ,and yield of grain legumes using SOYGRO, PNUTGRO, and BEANGRO:A review.

Trans ASAE, 1992, 35 (6): 2043-2056.

- [23] Uehara G, Tsuji G Y. Overview of IBSNAT. In: Tsuji G Y, Hoogenboom G, Thornton P K (eds). Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1998. 1-7.
- [24] McCown R L, Hammer GL, Hargreaves J N G, et al. APSIM: a novel software system for model development, model testing, and simulation in agricultural systems research. *Agricultural Systems*, 1996, 50 255-271.
- [25] 刘其永. 作物生长模拟模型现状及发展趋势[J]. 福建电脑, 2008, 24(7): 54-55.
- [26] Gao L Z, Jin ZQ, Huang Y, et al. Rice clock model-a computer model to simulate rice development. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1992, 60: 1-16.
- [27] 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000, 123-144.
- [28] Wiegand C L, Gausman H W, Cuellar JA. Vegetation density as deduced from ERTS-1MSS response [A]. In: Third ETRS symposium[C], NASA-SP-351, Vol(1)A. Washington, DC:NASA, 1974, 93-116.
- [29] Mutanga O, Skidmore A K, Wieren S. Discrimination tropical grass (*Cenchrus ciliaris*) canopies grown under different nitrogen treatment using spectroradiometry [J]. *J. Photo. Rem.Sen.*, 2003, 57: 263-272.
- [30] Jago R A, Mark E JC, Curran P J. Estimation canopy chlorophyll concentration from field and airborne spectra [J]. *Rem. Sen. Environ*, 1999, 68: 217-224.
- [31] Rouse J W, Haas R H, Schell JA, et al.. Monitoring the vernal advancement of retro gradation of natural vegetation[R]. NASA/GSFC, TypeIII, Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1974, 1-371.
- [32] Miller J R. Quantitative characterization of the vegetation red edge reflectance: an inverted gauss ian reflectance model [J]. *Int. J. Rem. Sen.*, 1990, 11: 1775 -1795.
- [33] Patel N K, Patnaik C, Dutta S, et al.. Study of crop growth parameters using airborne imaging spectrometer [J]. *Int. J. Rem. Sen.*, 2001, 20: 2401-2411.
- [34] 郑国清,赵巧丽,乔淑,等. 玉米冠层光谱在农学参数上的应用研究[J].*中国农业科学*, 2007, 40(增刊 2): 58-62.
- [35] 李映雪. 基于冠层反射光谱的小麦氮素营养与籽粒品质监测[D].南京:南京农业大学, 2005.
- [36] 薛利红,曹卫星,罗卫红,等. 光谱植被指数与水稻叶面积指数相关性的研究[J].*植物生态学报*, 2004, 28 (1): 47-52.
- [37] Aparicio N, Araus J L, Villegas D, et al.. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in Durum wheat [J]. *Crop Sci.*, 2002, (42): 1547-1555.
- [38] Pearson R L, Miller D L. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of ttle productivity of the short-grass prairie [A]. In: Proceedings of the eight ll international symposium on remote sensing of environment [C]. Annu. Arbor. MI: ERIM, 1992, 2: 1357-1381.
- [39] Jordan C F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor [J]. *Ecology*, 1969, 50: 663-666.
- [40] Richardson A J, Wiegand C L. Distinguishing vegetation from soil background information [J]. *Photogram. Eng. Rem. Sens.*, 1977, 43: 1541-1552.
- [41] Hansena P M, Schjoerring J K. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression[J]. *Rem. Sen. Environ.*, 2003, 86: 542-553.
- [42] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al.. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. *Rem. Sen. Environ.*, 2002, 80: 76-87.
- [43] 唐延林,王秀珍,王珂.利用光谱法测定水稻生物物理参数及其光谱变量的相关性研究[J].*贵州大学学报(农业与生物科学版)*, 2002, 21(5): 327-331.
- [44] 唐延林,王秀珍,王福民,等.农作物 LAI 和生物量的高光谱法测定[J].*西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2004,32(11): 100-104.
- [45] 王渊,王福民,黄敬峰.油菜不同组分生物量光谱遥感估算模型[J].*浙江农业学报*, 2004, 16(2): 79-83.
- [46] 王秀珍,黄敬峰,李云梅,等.水稻地上鲜生物量的高光谱遥感估算模型研究[J].*作物学报*, 2003, 29(6): 316-321.
- [47] 黄春燕,王登伟,曹连莆,等.棉花地上鲜生物量的高光谱估算模型研究[J].*农业工程学报*, 2007, 23(3): 131-135.
- [48] Maas S J. Use of remotely sensed information in agricultural crop growth models [J]. *Ecological Modeling*, 1998, 41: 268-274.
- [49] Delecolle R, Guerif M. Introducing spectral data into a plant process model for improving its prediction ability[C]//Proceeding soft the 4th International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing. Aussois, France, January 18-22, 1988: 125-127.
- [50] Karvonen T, Laurila H, Memola J. Estimation of Agricultural Crop Production Using Satellite Information [M]. Husbandry: University of Helsinki, Department of Crop, 1991, Publication No. 26, 1-73.
- [51] Carbone G J, Narumalani S, King M. Application of remote sensing and GIS technologies with physiological crop models [J]. *Photogrametry Engineering and Remote Sensing*, 1996, 62(2): 171-179.
- [52] 宇振荣, Driessen P M. 基于遥感反演作物冠层温度的作物生长模拟和预报[J]. *中国农业大学学报*, 2003,8(增刊): 71-75.
- [53] 辛景峰. 基于 3S 技术与生长模型的作物长势监测与估产方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.

- [54] 林忠辉. 河北平原夏玉米生长与水分利用效率的动态模拟[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2003.
- [55] Mass S J. Using satellite data to improve model estimates of crop yield [J]. *Advances in Agronomy*, 1988, 80: 655-662.
- [56] Mass S J. Use of remotely-sensed information in plant growing simulation models [J]. *Advances in Agronomy*, 1991, 1: 17-26.
- [57] Clevers J G P W, Van Leeuwen H J C. Combined use of optical and microwave remote sensing data for crop growth monitoring[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 56: 42-51.
- [58] Clevers J G P W. A simplified approach for yield prediction of sugar beet on optical remote sensing data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 61: 221-228.
- [59] 赵艳霞, 秦军, 周秀骥. 遥感信息与棉花模型结合反演模型初始值和参数的研究[J]. *棉花学报*, 2005, 17(5): 280-284.
- [60] 闫岩, 柳钦火, 刘强, 等. 基于遥感数据与作物生长模型同化的冬小麦长势监测与估产方法研究[J]. *遥感学报*, 2006, 10(5): 804-811.
- [61] Dente L, Satalino G, Mattia F, et al. Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(4): 1395-1407.
- [62] Bounman B A M. The linking of crop growth models and multisensory remote sensing data [C]//*Proceeding of the 5th International Colloquium on Physical Measurements and Signature in Remote Sensing*, Courchevel, France, 1991, 319: 583-588.
- [63] Guerif M, Duke C. Calibration of the SUCROS emergence and early growth module for sugar beet using optical remote sensing data assimilation[J]. *European Journal Agronomy*, 1998, 9: 127-136.
- [64] Moulin S, Launay M, Guerif M. The crop growth monitoring at a regional scale based on the combination of remote sensing and process-based models [C]//*Proceeding of International Symposium on Crop Monitoring and Prediction at Regional Scales*. Tsukuba, Japan, 2001: 187-195.
- [65] Doraiswamy P C, Hollinger S, Sinclair T R, et al. Application of MODIS derived parameters for regional yield assessment [C]// *Proceeding Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology III*. 17-21 September, Toulouse, France, 2001: 1-8.
- [66] 宇振荣. 基于遥感反演作物冠层温度的作物生长模拟和预报[J]. *中国农业大学学报*, 2003 8(S1): 71-75.
- [67] 王纯枝. 作物冠层温度和旱情遥感监测及估产研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [68] 马玉平, 王石立, 张黎, 等. 基于遥感信息的华北冬小麦区域生长模型及模拟研究[J]. *气象学报*, 2005, (02): 204-215.
- [69] 郭建茂. 基于遥感与作物生长模型的冬小麦生长模拟研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007.
- [70] 杨沈斌. ASAR 数据与水稻作物模型同化制作水稻产量分布图[J]. *遥感学报*, 2009, 13(2): 282-290.