

定量遥感参数与作物肥水模型链接初探

王纪华, 赵春江, 黄文江, 杨宝祝, 王北洪, 杨信廷

(北京农业信息技术研究中心, 北京 100089)

摘要: 针对当前作物肥水模型和定量遥感参数在农业上应用的各自局限性, 提出通过完善定量遥感的输出接口和作物模型的输入接口, 将定量遥感参数与作物肥水模型进行链接, 通过建立不同生育时段订正的绿度指数和叶片氮素分段函数以及订正的湿度指数与耕层土壤、植株水分及产量品质函数, 使得生产上大范围、动态的肥水监测成为可能, 最后对应用链接模型通过不同肥水管理措施对作物产量和品质进行调控的前景进行了展望。

关键词: 遥感参数; 作物模型; 链接

中图分类号: TP79; S152.7 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2001)04- 0052- 07

作物水资源匮乏与大量施用化肥对农田生态环境的影响越来越受到人们的重视, 作物肥水的动态监测对于正确评价作物生长环境与受胁状况、诊断作物营养状况和预估作物产量具有重要意义, 因而肥水快速诊断技术以及节水省肥技术体系的建立成为农业领域研究的热点。近年来, 随着航天、航空定量遥感技术的进步, 使无破坏、大面积、快速获取农田肥、水信息成为可能。但在现阶段由于依靠定量遥感手段所能提供的遥感参数, 与作物管理实用模型所需的输入参数之间相差较大, 难以直接进行挂接应用。为此, 一方面需要遥感建模进一步面向农业的应用需求, 从浩繁的地表信息中提炼更为切实可行的参数, 改善自身的输出端口; 另一方面通过整理、完善或新建与遥感参数相关的作物模型, 为遥感参数的链接提供相容性更好的输入接口也是现阶段切实可行的重要途径。试就与作物肥水管理有关的遥感参数与作物模型链接的可行性及方法, 作一初步探讨。

1 定量遥感肥水模型及输出参数的研究进展

随着遥感技术的进步, 特别是高光谱分辨率成像光谱仪的问世, 促进了其在探测地表植被特征、特性方面的应用。20 世纪 90 年代以来, 国内外学者对农田肥、水状况的动态监测给予了较多的关注, 在航天、航空遥感数据与地面农田肥水定量关系模型的建立和组分反演方面做了大量的工作, 取得了很大的进展。Currsn P J、Carol A W、Horler D H 等总结了通过植物叶片的实验室内光谱测量探测其生理参数的可行性, 先后提出水分及氮、磷、钾在植被光谱中都有较好的体现^[1~ 3]。但由于上述研究均以干叶作为测试对象, 其结果直接加以简单推广已被证明是不合理的^[4]; 张仁华等^[5]建立了作物叶绿素含量遥感模型, 并被用来估算和监测植被氮素养分动态。但由于植株体内叶绿素与氮素水平之间的相关性表现复杂,

收稿日期: 2000- 12- 07
 基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000077900)
 作者简介: 王纪华(1958-), 男, 农学博士, 研究员, 主要从事作物栽培生理、农业遥感和信息农业研究工作。

又缺少不同生育时期及不同叶位的适用模型, 因此限制了其在作物养分管理上的应用。

目前用热惯量法监测土壤水分主要限于土壤 0~20 cm 表层, 对耕层(0~40 cm) 土壤水分的监测精度较低, 而对 40 cm 以下的深层水分几乎无能为力, 而该深度是土壤的水库所在, 不容忽视。若用遥感资料直接与深层土壤水分建立反演模型, 往往效果较差, 生产上需要将遥感湿度指数进一步处理, 将处理之后的参数与土壤水分模型链接, 建立以遥感数据资料动态监测土壤水分的复合链接模型。Kramer P J^[6]较早地认识到了测定冠层植株含水状况的重要性。自 Tanner C B^[7]提出以冠层温度指示植物水分亏缺以来, 冠层温度法成为诊断作物水分状况的一个重要手段。但这类诊断方法仍受到环境状况的强烈影响, 仅用温度差还不足以说明作物水分状况在时间和空间上随环境的巨大变化。一些学者提出植被在 0.97, 1.45 和 1.90 μm 附近的光谱反射率吸收峰反映着植物的水分状况^[8], 王纪华等^[9]报道了利用叶片光谱反射特征吸收峰(吸收面积与吸收深度) 定量冬小麦水分含量的方法, 但该方法采用了离体测定, 在大田群体应用上尚不成熟。

2 作物肥水模型的特点及其局限性

作物模型一直是植物数学模型研究的重点, 作物模型研究的主要目的在于揭示作物生态系统内各个环境因子对作物生长发育的影响以及环境因子之间相互影响的规律, 并用以模拟预测作物生长发育、产量形成过程及指导作物生产的最优化栽培管理。国外许多学者已成功地建立了许多作物肥水模型, 其中荷兰学者研究特点是强调作物模型的生物机理, 一般比较注重作物的共性, 理论性和机理性强, 偏重于提出新的理论、假说或见解, 对生理生态过程具有较好的解释性和研究性, 但数学参数过多, 使得预测性和实用性较差。美国学者提出的 SIMCOT^[10]模型、CORNMOD^[11]模型, 特别是 Ritchies J T^[12]领导建立的 CERES 模型, 综合考虑了气象因子、土壤水分和土壤氮素对作物生长的影响, 模拟的环境条件已经基本接近作物生长实际环境条件, 注重作物的个性, 能完整地描述和预测特定作物的生长及产量形成的整体特点, 但在作物生理生态过程模拟方面仍然比较简单, 其结构性、机理性、适用性有待进一步加强和提高。中国学者高亮之等^[13]提出的水稻栽培优化决策系统(RCSDOS) 和 Cao W X 等^[14]建立了小麦发育的模拟模型体现了中国特色。以上研究由于作物模型建立的数据源, 主要依赖于田间调查及室内生理、生化的离体测定, 没有真正达到理想的作物模型应具有的系统性、动态性、机理性、预测性、通用性、适用性、灵活性和研究性等特点。现有的作物肥、水模型难以与遥感参数进行链接的主要原因: 一方面是由作物模型的复杂性所决定的; 另一方面与作物模型追求参数的复杂化不无关系, 如水肥管理指标参数由 20 世纪五六十年代的叶色、形态诊断, 发展到七八十年代的简易形态生态诊断; 进入 90 年代发展为更复杂的生理生化诊断。相反, 对于直接反映作物水分状况且比较稳定的植株含水率的变化规律及其与土壤含水率的关系、叶片含水与叶温及植株受胁状态的关系、不同作物的不同生育阶段叶绿素含量与氮素形态的关系等, 却缺乏足够的研究和现成的模型可供应用。

3 定量遥感肥水参数与作物模型的链接

遥感的优势在于多尺度、多角度、多波段、多时相地提供大范围的对地观测数据, 使我

们有可能及时获取地表特征信息——NDVI、亮度指数和地表辐射温度等,并通过遥感模型和先验知识介入的遥感定量反演,进一步获取地表特征参数——地表反射率、叶面积指数(LAI)、叶绿素含量、地面组分温度和土壤水分含量等。但当遥感参数应用于作物管理时,就需要与作物模型很好地链接起来,使其与作物生长发育阶段、作物长势及环境因素有机结合。

3.1 定量遥感肥水参数与作物模型链接的可行性

3.1.1 遥感参数输出端口的改进 为了反演更多的地表特征参数和提高反演精度,将气象数据等非遥感信息引入模型是常见的做法。例如用通常的遥感方法估算土壤水分仅得到土壤表层信息,往往需要辅作作物根层土壤水分背景数据。申广荣等^[15]通过在遥感获取的地表土壤含水量及冠层温度参数中引入气象资料,使土壤水分与蒸散相关联,所提出的作物缺水指数(CWSI)参数更易与作物模型链接,不仅提高了对作物旱情的监测精度,也开拓了作物生长监控新的领域。由热量平衡原理推出的作物缺水指数模型定义为:

$$CWSI = 1 - E_d / E_p$$

式中: E_d 为实际蒸散即日蒸散; E_p 为潜在蒸散,其中 $E_d = E_i \times 2Ne / (\pi \sin(\pi / Ne))$, Ne 为根据每一区域的纬度及赤纬求得; E_i 为瞬时蒸散, $L_m E_i = R_n - G - H$, L_m 为气化潜化常数, R_n 为净辐射, $R_n = (1 - \alpha) Q + \varepsilon_a \sigma T_a^4 - \varepsilon_s \sigma T_s^4$; G 为土壤热通量, $G = (0.1 - 0.042 h) R_n$ 或 $G = (1 - C_v) R_n$; H 为显热通量, $H = \rho C_p (T_c - T_a) / (r_{ac} + r_{bh})$, ρ 为空气密度, $\rho = 1.29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, C_p 为空气比热, $C_p = 1008 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, r_{ac} 为空气动力阻力, r_{bh} 为剩余阻力, $r_{bh} = 4 / u$, u 是摩擦速度。

采用彭曼方法计算的潜在蒸散 E_p :

$$E_p = \Delta / (\Delta + r) \times R_n + \Delta / (\Delta + r) \times f(u) \times 0.750062(e_b - e_a)$$

式中: Δ 为饱和水汽压与温度关系曲线的斜率, r 为干湿球表常数, $f(u)$ 为风速和月平均最高气温(T_{\max})、月平均最低气温(T_{\min})的函数, e_b 为饱和水汽压, e_a 为实际水汽压。

该模型已成功的应用于黄淮海平原旱情监测中,通过遥感数字图象获得的数据和地面气象站资料估算农田蒸散而计算作物缺水指数来监测旱情,实践表明该方法基本达到了准确、适时监测旱情的目的。

3.1.2 作物模型输入接口的改进 迄今已有大量的作物模型研究,但能直接应用遥感参数的尚不多见。例如目前的遥感技术虽然不能提供直接的氮素形态遥感参数,但可用精度较高的叶绿素含量参数,根据叶绿素与氮素之间的相关关系,即可采用遥感手段监测氮素的动态。然而,不同作物或作物生长的不同阶段,其叶绿素与氮素之间的对应关系不尽相同,需要建立更为具体的分段函数模型加以描述,如生育期的分段函数(返青后春一叶一春三叶、起身一挑旗和挑旗一成熟)以及每一片叶的生长阶段(叶片扩张阶段、展叶定型阶段和成熟衰老阶段),并通过分段函数模型将遥感叶绿素参数链接到作物肥水模型中。目前尚待整理和急需建立完善的链接模型如图1所示。

3.2 定量遥感肥水参数与作物模型的链接

为了实现遥感参数与作物模型的链接,一方面需要通过大量的多年、多点的试验资料,通过模拟验证,建立通过验证的作物模型;另一方面,由航天、航空遥感得到的数据,经过处理,得到可以与相应作物模型链接的遥感参数,然后将此遥感参数与通过验证的作物模型进行链接,建立含有遥感参数的遥感—作物链接模型,并对建立的模型用大量的试验数据进

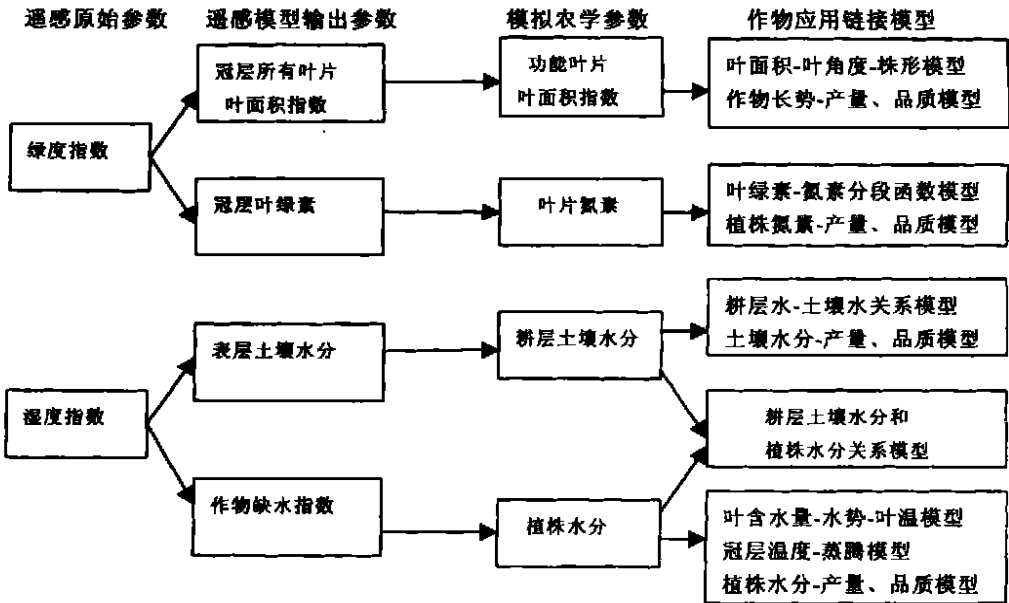


图 1 作物应用链接模型示例

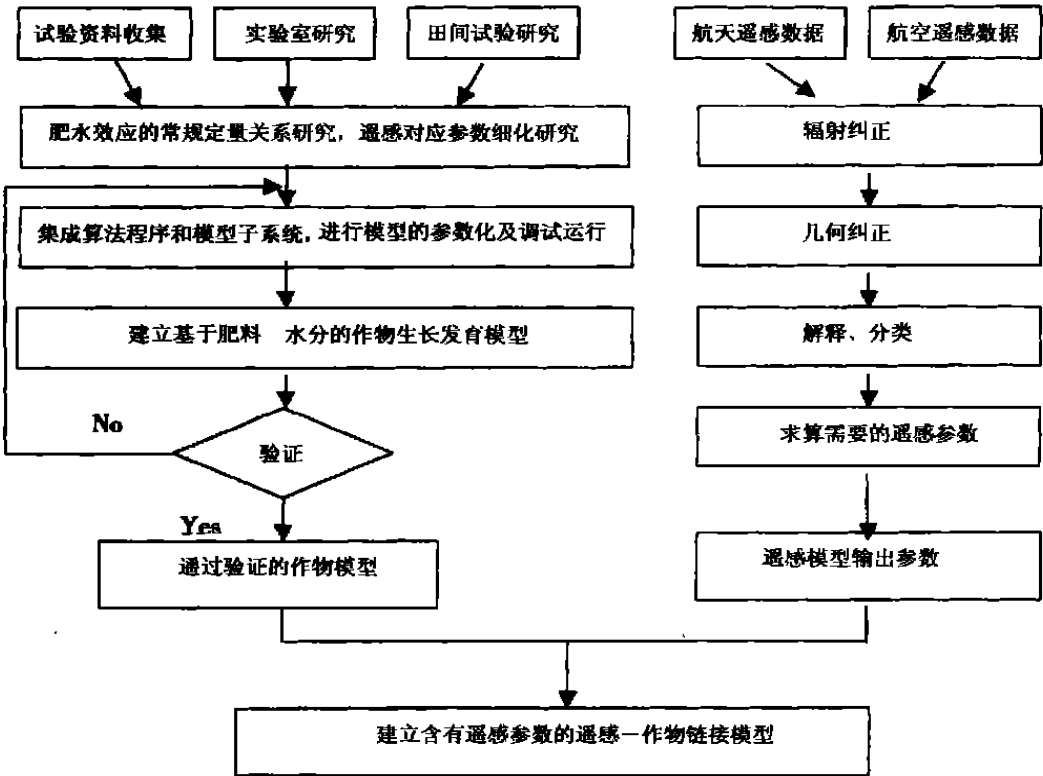


图 2 遥感参数与作物模型链接流程图

行验证。以作物肥水管理为例,其主要流程见图2。

3.3 关于亟待完善和新建模型的探讨

3.3.1 叶面积指数 由于农学上不同作物或同种作物不同株形品种,其栽培管理上的最适叶面积指数因叶角度而异。对于改进了输入接口的作物模型,在利用遥感所得到的叶面积指数进行作物长势决策及产量预测时,应考虑叶角度的影响,在某生长时期所测叶面积指数与该生育时期标准叶面积指数相差较小时,应充分考虑叶角度,对于叶倾角较大的品种,可以允许相对较大的叶面积指数,反之对于叶倾角较小的品种,必须严格控制叶面积指数,具体应用可以用叶倾角对叶面积指数进行订正。

3.3.2 叶绿素与养分管理 冠层叶绿素指数(叶绿素)是遥感模型的一个重要输出参数,但在应用时须充分考虑其与对应的作物模型参数(功能叶片氮素)之间的数量关系,通过寻找功能叶片氮素与冠层叶绿素之间在不同生育时期的分段函数关系,给予必要的订正后建立遥感模型与作物模型之间的链接模型,达到利用遥感得到的叶绿素含量来表示植株的氮养分含量,进行作物长势的动态监测和调控,用以指导生产决策。如我们对小麦的研究结果表明:在返青期叶绿素与叶片含氮量之间呈弱的正相关,随生育进程相关程度增加,至拔节后期达到显著,到灌浆期达到极显著。

3.3.3 土壤含水量与水分管理 表层土壤水分参数和作物缺水指数也是遥感模型的重要输出参数,反映了地表冠层的水分状况,与农学意义上的土壤含水量及作物水分含量之间尚有一定的距离,须要建立其与对应的农田耕层土壤水分和植株水分之间的分段函数,达到以遥感动态监测的土壤表层水分含量和作物缺水指数来反映耕层和植株水分含量,进而动态监测耕层及植株水分,根据分段函数关系,提出针对不同生育时期的灌溉决策。

3.4 应用前景展望

农业遥感技术应用的农学基础研究是提高遥感资料应用效果的关键,它不仅能提高农业技术人员对遥感技术应用的认知,而且为高新技术产品的开发提供科学资料。如浙江农业大学王珂等^[16]在水稻遥感估产农学机理研究的基础上建立的水稻光谱数据处理系统,能很快地从田间测得的光谱资料计算出水稻氮素含量、叶绿素含量、叶面积系数和生物量等,对水稻长势进行监测和估测产量。通过建立含有遥感参数的遥感—作物链接模型,来动态监测植株的长势长相,提高肥水资源利用效率并通过调节肥水对作物产量和品质进行调控。北京农业信息技术研究中心近年来将定量遥感(RS)、农业专家系统(ES)与地理信息系统(GIS)及全球卫星定位系统(GPS)相结合,在国内率先建立了精准农业示范基地,抓住相关领域中起关键作用的地表时空多要素:地面温度、土壤水分、作物叶面积、作物叶绿素含量、作物缺水指数、作物氮素指数等,深入开展尺度效应、信息转换、定时反演方法、数据融合和多维GIS数据模型等研究,形成一套实用的定量遥感反演系统,使这些要素的遥感定量精度上一个台阶,为我国精准农业提供技术支持,同时在北京郊区县和禹城遥感试验场为重点的华北地区进行链接模型验证和应用示范研究,用以指导调控水肥管理,提高肥水资源利用效率,及对作物长势、产量和品质的调控能力。

参考文献:

[1] Curran P J. Remote Sensing of foliar chemistry[J]. Remote Sensing Environ, 1989, 30: 271-278.

- [2] Carol A W, John D A, David L P. An evaluation of imaging. Spectrometry for estimating forest canopy chemistry[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10(8): 1293– 1316.
- [3] Horler D H, Barber J P, Ferns D C. Red edge measurements for remotely sensing plant chlorophyll content [J]. Advanced Space Research, 1983, 3: 273– 277.
- [4] Banninger C. Changes in canopy leaf area index and biochemical constituents of a spruce forest as measured by the AIS 2 Airborne Imaging Spectrometer[J]. Remote Sensing, 1989, 4: 2085– 2089.
- [5] 张仁华, 孙晓敏, 朱治林. 作物叶绿素含量遥感模型及利用陆地卫星所做的区域二维分布[J]. 植物学报, 1997, 39(9): 821– 825.
- [6] Kramer P J. Water Relations of Plants[M]. New York: New York Press, 1983.
- [7] Tanner C B. Plant temperature[J]. Agron J, 1963, 50: 210– 211.
- [8] Penuelas J, Filella I, Biel C, *et al.* The reflectance at the 950~ 970 nm region as an indicator of plant water status[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14: 1887– 1905.
- [9] 王纪华, 赵春江, 郭晓维, 等. 光学检测方法在小麦水分诊断及受胁迫机理研究中的应用[A]. 见: 两高一优农业与农业创新[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 306– 310.
- [10] McKinion J M, Baker D N, Hesketh J D, *et al.* Application of the GOSSYM/ COMAX system to cotton crop management[J]. Agric Syst, 1989, 31: 55– 65.
- [11] Baker C H, Horrocks R D, CORNMOD. A dynamic simulation of corn production[J]. Agric Syst, 1976, (1): 55– 77.
- [12] Ritchie J T. The CERES Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development[M]. Texas: A and M University Press, 1986.
- [13] 高亮之, 金之庆, 黄 耀, 等. 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.
- [14] Cao W X, Moss D N. Modeling phasic development in wheat: an integration of physiological components [J]. Journal of Agricultural Science, 1997, 129: 163– 172.
- [15] 申广荣, 田国良. 作物缺水指数检测旱情方法研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 123– 128.
- [16] Wang Ke, Shen Zhangquan, Wang Renchao. Effects of nitrogen on the spectral reflectance characteristics of rice leaf and canopy[J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1998, 24(1): 93– 97.

Preliminary Studies on the Interlinkage Between the Remote Sensing Parameters and the Crop Fertilizer and Moisture Models

WANG Jī hua, ZHAO Chūn jiāng, HUANG Wēi jiāng,

YANG Bāo zhū, WANG Bēi hōng, YANG Xīn tīng

(Beijing Agricultural Information Technology Research Center, Beijing 100089, China)

Abstract: To solve the limitations of crop models and quantificational remote sensing parameters in agricultural applications, this paper suggests improving the export interface of quantificational remote sensing and the import interface of crop models and constructing relative chlorophyll content and the leaf nitrogen content, humidity index and the plowing level soil moisture, plant water content and yield quality to make wide and dynamic inspection and diagnosis possible in agricultural production. It also studies the prospects on the control of the crop yield and quality by the application of fertilizer and water management measures under the guidance of interlinkage models.

Key words: Remote sensing parameters; Crop models; Interlinkage