

农业信息系统支持下的 玉米遥感估产模型研究*

刘湘南 黄方

(东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

提 要 在县级农业信息系统的支持下, 分析了玉米遥感估产机理, 提出了遥感获取玉米估产因子的原理与方法, 确定了探测玉米生长参数及评价玉米生态环境的遥感指数。在此基础上, 分区、分阶段建立了玉米遥感综合估产模型。

关键词 农业信息系统 信息复合 玉米遥感估产模型 遥感估产机理

1 引 言

玉米是三大粮食作物之一。及时、准确、经济地预报玉米产量, 对于制定宏观经济政策, 保证地区间粮食产、运、销的正常运行和指导农业生产等均具有非常重要的意义。国内外研究表明^[1~2], 农作物产量预报基本上可分为以下几种方法: (1) 根据气象资料与相应时期农作物产量进行回归分析, 构建气象——产量模型; (2) 根据农作物生物学参数组建农学估产模型; (3) 利用遥感数据计算植被指数(VI)建立 VI——产量模型; (4) 把遥感信息(可见光、热红外)与农学参数及生态环境因子等非遥感信息结合起来, 建立遥感综合估产模型。

玉米遥感估产是一项以遥感信息为主体, 同时需要其它信息与背景数据支持的复杂系统工程, 因此, 把遥感与地理信息系统技术集成起来, 依靠遥感信息与非遥感信息组成遥感综合估产模型是完成这项工作的最佳策略。本文在建立研究区农业信息系统的基础上, 利用其空间分析工具和多层次数据的辅助, 对玉米遥感综合估产模型进行了研究。

2 农业信息系统的设计与建立

2.1 研究区概貌

本研究以吉林省梨树县作为试验区。梨树县位于吉林省西南部, 是松辽平原重点玉米生产县。其地形东南高, 西北低, 南部为低山丘陵, 中部为波状平原, 北部为平原洼地, 海拔 110~500 m 之间; 土壤种类从南到北依次为灰棕壤、棕壤、黑土、黑钙土, 土质肥沃, 有机质含量较高; 处于温带半湿润季风气候区, 年均温 5.8℃, 最热月 22~25℃, 最冷月 -15~-18℃, 无霜期 135~150 d, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 2900~3100℃。年降雨量地区差异较大, 西部风沙区为 350 mm, 而东部低山丘陵区则达 700 mm 以上, 降雨集中于夏季, 尤以 7、8 两月为主, 这对玉米生产非常有利。总之, 梨树县具有发展玉米生产的优势与潜力。但亦存在洪涝、干旱、风沙、雹灾、霜冻及低温冷害等影响玉米生长发育的农业气象灾害。

* 国家“八五”科技攻关“重点产粮区主要农作物遥感估产”课题的部分成果。

2.2 系统结构

以玉米遥感估产为主要目标的农业信息系统,基本硬件环境为高档微机,并配置图形数字化仪、扫描仪、磁带机、绘图仪及大屏幕监视器等空间数据输入、输出设备,并能与遥感图像处理系统进行数据交流。主要软件系统为 PC ARC/INFO、ARCVIEW 及有关统计分析软件。该系统由 4 大功能模块组成,即数据采集模块、数据库模块、数据分析、模拟与应用模块和结果生成模块。

2.3 数据采集与建库

根据数据来源,该系统中的数据可分为以下几大类:

2.3.1 卫星遥感数据 以 Landsat-TM 和 NOAA-AVHRR 作为大面积玉米遥感估产的基本信息源,这些数据首先经过遥感图像处理系统的处理,再与农业信息系统中有关专题数据层进行复合,以提取必要的信息。

2.3.2 样地实测数据 根据综合估产区划和采样框架,在研究区内布设若干样地,进行准同步地物波谱测试和相应的农学参数及生态环境因子的量测,其主要项目包括玉米冠层反射光谱、冠层红外温度、叶面红外温度、品种、植株密度、地面覆盖度、叶面积指数、地上生物量、叶绿素含量、产量以及气温、气压、风向风速、空气湿度、地温、土壤类型、土壤含水量、土壤有机质含量等。

2.3.3 历史统计数据 包括试验区历年玉米播种面积、历年单产、总产、化肥投入量、品种以及气象、农业自然灾害等时间序列数据。

2.3.4 专题背景图件 主要是行政区划图、玉米综合估产区划图、土壤类型图、土地利用类型图、地貌类型图、气候区划图、玉米分布图和历史产量分级统计图等。

2.3.5 数字地形模型 地形是玉米遥感估产中一个基本因子,数字地形模型是农业信息系统中非常重要的组成部分。研究区数字地形模型(DTM)的建立是通过数字化等高线,经内插而生成的。

3 基于遥感的玉米估产参数获取原理与方法

3.1 玉米遥感估产机理分析

玉米遥感估产的实质是建立遥感数据与玉米生长参数之间的关系模型,即从玉米产量形成过程中的生物——物理学意义出发,探索遥感信息与玉米产量信息之间的相互关系。

玉米产量受许多因素的影响,如品种、土壤、化肥、气象、耕作水平以及灾害等。玉米估产模型必须全面考虑这些因素及其关系。但是如果一视同仁地对待这些因子,模型构建将会变得异常复杂,甚至不可操作。事实上,可以把这些因子或过程分为两大类:一类是玉米本身的生理因素,它们表征为一系列生物学参数,如叶面积指数,地上生物量,叶绿素浓度等,这些参数是玉米产量形成的物质基础,决定玉米产量可能达到的最高上限;另一类是玉米生长的生态环境条件,如水分、养分、温度、光照以及灾害等,它们对最终产量的形成起限制作用。玉米产量就是在这两类因素的共同影响下形成的。因此,建立遥感估产模型的首要任务,就是如何根据遥感数据来获取这些参数。

3.2 玉米生物学参数的遥感探测

3.2.1 叶面积指数与遥感信息的关系 叶面积指数是决定玉米产量形成的一个群体指标,它与光谱信息之间存在明显的关系。由于光谱植被指数是根据目标物的反射光谱来计

算的, 叶面积指数越大, 地面覆盖度越高, 植被指数也越大。因此, 目前国内外许多研究均采用光谱植被指数来探测叶面积指数^[3~4]。根据梨树样点 4 块样地 1994 年的实测数据, 得到光谱植被指数与叶面积指数之间的关系模型(表 1)。

由表 1 可以看出, PVI 、 $WDVI$ 、 $SAVI$ 及 $TSAVI$ 与叶面积指数之间的相关系数较高, 模拟效果较好。将计算出的叶面积指数与样地实测数据对比, 其精度如表 2 所示。

3.2.2 地上生物量与遥感信息的关系

地上生物量(干物质重量)是作物经济产量形成的重要物质基础, 它同样可作为玉米估产参数之一。根据 1993~1995 年研究区样地实验数据, 选取 RVI 、 PVI 、 $WDVI$ 、 $SAVI$ 及 $TSAVI$ 与玉米地上生物量建立模型, 结果如表 3 所示。

表 1 几种植被指数与 LAI 的回归模型($LAI = A \{ \exp(B \cdot VI) \}$)

Table 1 The relationship between LAI and VI

植被指数	模型系数		相关系数
	A	B	
RVI	1.073	0.324	0.724
PVI	2.237	1.104	0.940
$NDVI$	0.854	1.579	0.854
$WDVI$	1.357	0.460	0.960
$SAVI$	2.124	0.988	0.905
$TSAVI$	2.541	0.867	0.917
TVI	3.084	2.012	0.887

表 2 几种主要植被指数预测 LAI 的精度

Table 2 Predicting accuracy of models

植被指数		07- 05- 1994	07- 22- 1994	08- 08- 1994	08- 26- 1994	09- 15- 1994
PVI	实测值	1.80	2.24	2.93	3.44	2.41
	预测值	1.64	2.38	3.07	3.58	2.60
	精度	91.1%	94.1%	95.4%	96.1%	92.6%
$WDVI$	实测值	1.91	2.38	3.32	3.57	2.07
	预测值	1.72	2.12	3.52	3.73	1.99
	精度	90.0%	89.1%	94.3%	95.7%	96.1%
$SAVI$	实测值	2.01	2.27	2.24	3.28	2.75
	预测值	2.17	2.45	2.38	3.44	2.98
	精度	92.6%	92.6%	94.0%	95.3%	92.3%
$TSAVI$	实测值	1.84	2.30	3.01	3.23	2.80
	预测值	1.92	2.51	2.94	3.07	2.98
	精度	95.8%	91.6%	97.6%	95.0%	93.9%

表 3 几种主要植被指数与地上生物量关系模型 $DM = c / [1 + \exp(a + b \cdot VI)]$ (kg/hm^2)

Table 3 Models relationship between VI s and biomass

植被指数	模型系数			相关系数
	c	a	b	
RVI	20670.9	8.371	- 2.123	0.924
PVI	19343.7	1.241	- 9.240	0.905
$WDVI$	19161.8	3.341	- 2.0714	0.947
$SAVI$	17643.6	1.834	- 6.254	0.950
$TSAVI$	19863.8	5.602	- 10.255	0.912

3.2.3 叶绿素浓度与遥感信息的关系

叶绿素浓度是玉米光合产量形成的关键。由于叶子色素特别是叶绿素浓度决定了叶片在可见光波段的反射光谱特征, 因此, 运用如下几个参数来探测叶绿素浓度的变化:

$$RCI = TM_2/TM_3$$

$$NDCI = (TM_2 - TM_3)/(TM_2 + TM_3)$$

式中, TM_2 、 TM_3 与 Landsat TM 数据对应的波段范围一致。

根据实验所测光谱数据及其同步获取的叶绿素浓度数据, 初步分析后选定模型, 并进行回归分析, 结果如下:

叶绿素 A 估算模型:

$$Ya = 4.218(RCI) - 6.927 \quad r = 0.893$$

$$Ya = 8.824(NDCI) + 0.853 \quad r = 0.935$$

叶绿素 B 估算模型:

$$Yb = 1.081(RCI) - 0.913 \quad r = 0.817$$

$$Yb = 2.095(NDCI) + 0.577 \quad r = 0.910$$

总叶绿素估算模型:

$$Y_{总} = 5.282(RCI) - 9.632 \quad r = 0.899$$

$$Y_{总} = 11.404(NDCI) + 1.157 \quad r = 0.862$$

3.3 玉米生态环境条件的遥感模拟

研究表明^[5], 许多环境因子, 如净辐射、水汽压、温度、大气水分状况等都影响玉米产量的形成。问题的关键是如何建立遥感信息与这些因子之间的关系。在此, 我们引入 Idse-Jackson^[6] 提出的作物水分胁迫指数(crop water stress index, *CWSI*)。*CWSI* 是以作物叶面温度与空气温度之差($T_c - T_a$)为基础而建立起来的一个能综合反映作物-土壤-大气系统特征的参数, 它从能量平衡方程入手, 视作物-土壤-大气系统为一整体, 把光合作用、蒸腾作用、太阳辐射、大气状况、土壤水分等有机地结合在一起, 来系统揭示作物生长发育过程中受生态环境条件胁迫的强弱。

CWSI 的计算较为复杂, 涉及冠层温度、空气温度、水汽压等多个因素, Jackson 等人提出的方法, 需要多个不易用遥感信息得到的参数, 因而难以在大尺度上推广实施。在此, 我们运用 VIT 梯形(植被指数/温度梯形)方法求算 *CWSI*^[7]。我们试以 *CWSI* 的大小来代表生态环境条件对玉米生长发育影响的强弱。

4 农业信息系统支持下的玉米遥感综合估产模型的生成

4.1 模型选择

尽管玉米产量形成过程非常复杂, 影响因素众多, 然而, 从遥感估产的角度看, 玉米产量由两大类因子决定: 一是玉米长势, 它表征为叶面积指数、地上生物量和叶绿素含量等生物学参数; 另一是生态环境对玉米生长发育的综合胁迫作用。这样, 玉米遥感估产模型同样应该由两部分组成, 一是由生物学参数所决定的潜在产量 Y_p , 如果在整个玉米生长过程中, 所需的各项生态环境条件都能得到充分满足, 即不受任何灾害的侵扰, 那么玉米最终产量将是其潜在产量, 事实上这是不可能的。另一部分是由 *CWSI* 所综合反映的环境状况对潜在产量的影响 Y_a , 因此, 玉米遥感综合估产模型可表述为:

$$Y = Y_p - Y_a$$

式中 Y_p 是叶面积指数、地上生物量及叶绿素含量等变量的函数, 如前所述, 它们可通过光谱植被指数 *PVI*、*NDCI* 来获取; Y_a 则是 *CWSI* 的函数, 它的计算除了冠层红外温度外, 还涉及气温、风速、相对湿度、水汽压差等参数。据前人^[8]的一些研究成果, 将玉米单产

遥感综合估算模型表述为:

$$Y = a + b \ln(\Sigma PVI) + c(NDCI) - d \cdot \exp(\Sigma CWSI)$$

式中 a 、 b 、 c 、 d 为试验常数。

4.2 分区估产模型

梨树县空间范围较大, 生态环境条件的地域分异明显, 如果仅仅建立一个模型显然是不符合实际情况的。因此, 首先在农业信息系统的支持下, 根据温度、水分、地形、土壤、化肥投放及历年产量等背景数据生成单产分级图, 将梨树县划分为 3 种单产类型, 即三个估产单元, 然后运用信息复合及统计分析软件的相关模块, 分别建立每一类型区的单产模型, 结果如下:

类型 I 区, 包括蔡家、双合、东河、太平、三家子和叶赫等乡镇, 其估产模型为:

$$Y_1 = 13664.7 + 182.3 \ln X_1 + 803.7 X_2 - 152.4 \exp(X_3)$$

类型 II 区, 包括河山、小城子、金山、万发、白山、梨树、郭家店、杏山、喇嘛甸、十家堡、孟家岭、石岭、小宽、沈洋、胜利和大房身等乡镇, 其估产模型为:

$$Y_2 = 12474.3 + 262.3 \ln X_1 + 538.7 X_2 - 206.5 \exp(X_3)$$

类型 III 区, 包括刘家馆子、孤家子、四棵、林海、国营农场、泉眼岭、团结、榆树台、董家等乡镇, 其估产模型为:

$$Y_3 = 11564.5 + 198.3 \ln X_1 + 707.2 X_2 - 93.1 \exp(X_3)$$

上述估产模型中, X_1 为玉米从抽雄至乳熟期的 ΣPVI 值; X_2 为灌浆末期的 $NDCI$ 值; X_3 则为拔节至灌浆期的 $\Sigma CWSI$ 值, 单位为 kg/hm^2 。

4.3 分阶段模拟模型

遥感估产的重要特征之一是依据反映作物长势的遥感信息作为预报依据, 因而较之统计、气象等预报方法显得更加客观, 更加重视预测对象本身。由于遥感信息具有周期性、实时性, 它可以每隔一段时间获取作物长势信息及生态环境数据来建立预报模型, 进行产量估算, 所以能够实现分阶段预报产量。分阶段进行产量预测, 一方面可向政府部门及时提供动态产量数据; 另一方面能够揭示玉米遥感估产机理, 找出最佳估产因子, 回答究竟哪个时段的哪些因子对遥感估产模型精度起决定作用。

选取 PVI 、 $TSAVI$ 、 $NDCI$ 、 $CWSI$ 等遥感参数与产量建立关系, 采用多种回归优选得到玉米不同生长阶段的产量预报模型, 结果如表 4 所列。

表 4 玉米遥感阶段估产模型 (kg/hm^2)

Table 4 Maize yield estimation models of three stages

估产单元	生长阶段	模型表达式	复相关系数
I	苗期	$Y_1 = 9389.4 + 176.5 X_1$	0.871
	拔节孕穗期	$Y_2 = 8356.1 \exp(X_2) - 10.2 X_3$	0.924
	灌浆成熟期	$Y_3 = 7248.6 \exp(X_4) - 12.4 X_5$	0.918
II	苗期	$Y_1 = 9407.7 + 206.4 X_1$	0.920
	拔节孕穗期	$Y_2 = 9250.1 \exp(X_2) - 11.4 X_3$	0.933
	灌浆成熟期	$Y_3 = 8766.3 \exp(X_4) - 20.1 X_5$	0.876
III	苗期	$Y_1 = 9765.1 + 196.1 X_1$	0.895
	拔节孕穗期	$Y_2 = 8135.3 \exp(X_2) - 8.3 X_3$	0.927
	灌浆成熟期	$Y_3 = 7384.6 \exp(X_4) - 12.7 X_5$	0.936

注:表中 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 为三个阶段的产量预测结果, X_1 为苗期末的 PVI 值; X_2 为拔节孕穗期的 $\Sigma TSAVI$ 值, X_3 为拔节孕穗期的 $\Sigma CWSI$ 值, X_4 为灌浆期末的 $NDCI$ 值, X_5 为灌浆成熟期的 $\Sigma CWSI$ 值。

参 考 文 献

- 1 王乃斌, 等. 大面积小麦遥感估产模型的构建与调试方法的研究. 环境遥感, 1993, 8(4): 250~ 259.
- 2 徐希孺. 环境监测与作物估产的遥感论文集. 北京: 北京大学出版社, 1991. 40~ 51.
- 3 Major D J. Accuracy and sensitivity analyses of SAIL model predicted reflectance of maize. Remote Sensing of Environment, 1989, 29: 25~ 37.
- 4 徐希孺. 混合像元的因子分析方法及其在大范围冬小麦播种面积估算中的应用探讨. 科学通报, 1989, 12: 946~ 949.
- 5 宋凤斌, 等. 吉林玉米栽培. 北京: 北京农业大学出版社, 1991. 112~ 156.
- 6 Jackson R D. Canopy temperature and crop water stress. Adv. Irrig., 1982, (1): 43~ 85.
- 7 刘湘南, 等. CWSI 理论及其在玉米遥感监测与估产中的应用. 东北师范大学学报, 1995, (3): 98~ 102.
- 8 郑兴年, 等. 河南省商丘县小麦单产模型试验研究. 见: 陈沈斌. 小麦、玉米和水稻遥感估产技术试验研究文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 106~ 115.

STUDY ON MAIZE YIELD ESTIMATION MODEL BY REMOTE SENSING WITHIN AN AGRICULTURAL INFORMATION SYSTEM

Liu Xiangnan Huang Fang

(College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024)

ABSTRACT

The integration of remote sensing and geographical information system technology is an optimal method for maize yield estimation. In this study, a county agricultural information system has been established, which supports various data capture, information complex and spatial analysis. Based on the system, maize yield estimation mechanism is explored with remote sensing, whereby maize yield factors can be derived from remote sensing indices. Some relative models between vegetation index (PVI , RVI , $NDCI$, $WDVI$, $TSAVI$, etc.) and Leaf Area Index (LAI), chlorophyll concentration and biomass are developed. Crop Water Stress Index ($CWSI$) is calculated to indicate the stress of maize growing conditions. Therefore, with the aid of the system, PVI , $NDCI$ and $CWSI$, which respectively stand for maize biological parameters and imitate its ecological environment, are two categories index in a comprehensive yield estimation model. Then, considering the difference of maize growing environment in Lishu county, not only three yield classes of maize are determined but also three yield estimation models for each class are developed. Moreover, yield estimation models for each maize growing stage are discussed in this paper.

Key Words: Agricultural information system; Information complex; Maize yield Estimation Model by remote sensing; Yield estimation mechanism with remote sensing

(收稿日期: 1996- 01- 12; 改回日期: 1997- 05- 18)