

# 用气象卫星资料估算吉林省主要农作物产量

晏明<sup>1,2</sup> 刘志明<sup>3</sup> 晏晓英<sup>1</sup>

(1 吉林省气象科学研究所, 长春 130062; 2 吉林省农业区划研究所, 长春 130062;  
3 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

**摘要** 净第一性生产力 ( $N_{pp}$ ) 分析是全球变化研究中广为利用的方法, 利用气象卫星资料获得年际植被指数 ( $I_v$ ) 估算  $N_{pp}$ , 建立不同作物的  $N_{pp}$  与其产量的关系模型, 即可实现对粮食总产和不同作物产量的估算。文中介绍了应用净第一性生产力遥感 (NPP-RS) 模型对吉林省粮食总产和主要作物产量进行估算的方法。采用 NPP-RS 模型, 对 1995~2000 年吉林省的粮食总产及主要农作物玉米、水稻产量进行了动态估算。对粮食总产估产的平均相对误差为 13.6%, 玉米的平均相对误差为 17.6%, 水稻的平均相对误差为 6.7%。要提高用此方法进行遥感估产的精度, 还需要对当年的种植制度、种植结构的变化有所了解, 注意当年的灾情, 增加灾害影响系数。

**关键词** 植被指数 NPP-RS 模型 估产

## 引言

农作物产量信息与国家的经济建设、人民生活有很重要的关系。20 世纪 80 年代前期我国开展了农作物遥感估产研究。当时所用资料主要是陆地卫星资料<sup>[1]</sup>。1984 年开始, 国家气象局组织北方 11 省(市) 利用 NOAA 气象卫星资料开展了北方冬小麦估产试验研究。“八五”期间, 农作物遥感估产研究对象以小麦、玉米、水稻为主, 对其种植面积、长势和产量开展了监测预报<sup>[2]</sup>。

目前国内对粮食产量的估算有以下几种方法: 一是国家统计局设在各地的农业调查大队用抽样统计方法获得各种粮食作物的播种面积、单位面积产量, 最后计算出全年粮食总产。这种方法人力、物力、财力消耗巨大。二是由气象模型计算粮食产量, 大都是采用积分回归模型, 其趋势项代表社会经济计量因子, 而波动项代表气象因子。在某种程度上, 用气象模型对单产进行估算还是比较准确的, 但无法获得面积信息, 因此很难精确计算总产。三是遥感方法, 目前, 普遍采用的方法都是对单一作物进行遥感估产, 首先用遥感方法建立单产模型, 用像元分类方法, 计算出种植面积, 最后估算总产。

吉林省适宜种植的作物有几十种。但卫星遥感估产的对象应该是涉及国计民生的主要农作物, 即粮食作物。这些主要农作物被种植于有限而分散的耕地上, 还与其它作物套种、轮作、换茬, 形成极其复杂的种植业景观。这与美洲、澳大利亚等地区大面积种植, 作物相对单一的情况不同, 也与我国冬小麦区估产不同。吉林省作物生长季节地面绿色植被成份复杂, 各种作物混杂生长, 引起地面绿色信息变化的因素较多, 利用遥感信息估产要有新的思路。

应用遥感模型对全省粮食总产进行估算, 按以前的思路必须首先计算每种粮食作物的单位面积产量以及每种作物的播种面积, 需要巨大的资金和人力, 在目前条件下, 很难获得粮食总产。本研究采用 NPP-RS 模型, 即用遥感统计模型计算净第一性生产力  $N_{pp}$ <sup>[3]</sup>。绕过单位面积产量和播种面积的计算, 直接计算总产。

通常采用 2 种方法进行作物产量的估算:

- (1) 计算面积的变化率与单产变化率, 从而推算总产量的变化率;
- (2) 应用 NPP-RS 模型估算全省粮食总产。

第 1 种方法的优点是具有各主要产区产量估算的灵活性, 但该方法估算总产量是间接进行的, 存在

“误差累计”。第 2 种方法利用总量遥感模型直接预报总产,流程简单,运行方便,但是由于总量模型的一级预报参数是生物量,再用收获指数推出作物产量,同样存在误差问题。本文主要介绍用总量遥感模型直接预报总产的实践步骤。

### 1 估算粮食总产的 NPP-RS 模型

#### 1.1 NPP-RS 模型估算粮食总产的理论基础

遥感图像上的植被信息主要来自于植被冠层对太阳光谱的反射强度,植物叶片的叶绿素含量多少是量度光合作用能力以及干物质积累程度重要指标。植被在近红外波段光谱反射比的大小,正反映了植被叶绿素的含量以及将来干物质的结果,即植被遥感信息直接指示植物活生物量以及干物质的积累。不同光谱通道的信息,可以与植被的不同要素或状况有各种不同的相关性。因此,这些遥感数据经过分析运算往往可能提供更好的植被信息。

NOAA 气象卫星 AVHRR 资料的第 1、第 2 通道可反映植被的光谱信息,可以计算出植被指数 ( $I_v$ ),即

$$I_v = (A_{ch2} - A_{chl}) / (A_{ch2} + A_{chl}) \quad (1)$$

其中  $A_{chl}$ 、 $A_{ch2}$  为 AVHRR 第 1、第 2 通道的反射率。采用  $I_v$  在一定程度上有助于减少外界因素,如太阳高度角、大气状态和非星下点观测带来的误差。

干物质是叶面光合作用的产物,叶面积指数是关系到最终形成的干物质重量的重要参数。某一时期的  $I_v$  与此时的叶面积指数  $L_a$  有下列关系:

$$I_v = 1 - \exp(-kL_a) \quad (2)$$

式中  $k$  是与植被种类有关的常数。某一时期的叶面积指数  $L_a$  与干物质积累  $D_m$  有下列关系:

$$L_a = aD_m / (1 + bD_m) \quad (3)$$

根据式(1)~(3)可以推算出  $D_m$  与  $I_v$  有如下关系:

$$D_m = -\ln(1 - I_v) / [ak + b\ln(1 - I_v)]$$

其中  $a$ 、 $b$  为常数。

作物各个时期的干物质通常与作物最后经济产量成正比。通过以上分析,可以用  $I_v$  的全年积分值来估算作物总干物质重量,进而得到全省粮食总产信息。

#### 1.2 植被指数的最大值合成方法

为了计算全省的粮食总产量,需要全年的  $I_v$  值

或作物生长季的  $I_v$  值,但要获得全省所有植被生长过程的  $I_v$  是非常困难的,主要是云的影响。为了获得无云  $I_v$  资料,采用最大值合成的方法。在一旬内取最大值可进一步消除太阳高度角、卫星视角的影响以及消除云的影响。10 天内最大植被指数 ( $T_v$ ) 计算方法如下:

$$T_v = \max[I_v(t)]$$

式中  $t$  代表天数 ( $t = 1, 2, 3, \dots, 10$ ),  $I_v(t)$  是第  $t$  天的植被指数。由于采用求最大值的方法,有云或大气混浊时  $I_v$  值很低,这种处理方法对于多数情况可以消除云的影响,但在多雨季节,很难获取 10 天内的晴空数据。如某一旬云的存在屏蔽了部分或全部的植被信息,这一旬卫星观测到的  $I_v$  值很低,为了保证这一旬有相对合理的  $I_v$  数据,必须滤去云的影响,我们采用 3 点平滑方法,滤去噪声,获得新的每旬的  $N_{T_v}$ ,即:

$$N_{T_v} = \max\left\{\frac{T_v(N+1) + T_v(N-1)}{2}, T_v(N)\right\}$$

式中  $N$  代表以 10 天(1 旬)为时间序列的序号,一年 36 个旬。

#### 1.3 NPP-RS 模型描述

根据 NPP-RS 模型估算总产量,可以减少中间过程,且方便快捷。

植被的生产能力是指植被借助于太阳的光能通过光合作用同化二氧化碳制造有机物质的能力,通常分为总第一性生产力和净第一性生产力。总第一性生产力 ( $G_{pp}$ ) 是绿色植物在单位时间和单位面积上植被所累积的全部有机物质,总量包括夜间植物呼吸作用消耗掉的有机物质 ( $R_{sa}$ );  $N_{pp}$  是指绿色植物在单位时间和单位面积上积累的有机物质的总量,即总第一性生产力与植物呼吸作用消耗掉的有机物质之差,用公式表示为:

$$N_{pp} = G_{pp} - R_{sa}$$

植被的  $N_{pp}$  与叶面积指数 ( $L_a$ ) 有密切关系,而  $I_v$  又能灵敏地反应叶面积指数的变化。由  $L_a$ 、 $I_v$  可计算  $N_{pp}$ 。

先计算出一年(或作物生长季)内的  $N_{T_v}$  积分值  $Y_v$  和旬平均值  $\bar{Y}_v$ ,即

$$Y_v = \int_1^{36} N_{T_v}(t) dt$$

$$\bar{Y}_v = \frac{Y_v}{36}$$

每个像元内一年的  $Y_v$  是一年内绿色植物借助太阳能同化  $CO_2$  制造有机物的量度,用气象卫星资料计算  $N_{pp}$  的模型为:

$$N_{pp} = A[1 - \ln(1 - B \times \overline{Y_v})]$$

式中  $A, B$  为常数。对于省内任一区域(县以上)通过像元统计,可以计算出  $N_{pp}$ 。再由当年核实的区域粮食总产量  $S_{Y1}$ ,推出粮食总产量在当年  $N_{pp1}$  中所占的比例系数:

$$R = S_{Y1} / N_{pp1}$$

假如第二年耕作制度没有变化,由第二年计算出的  $N_{pp2}$  和前一年的比例系数  $R$  即可计算第二年

的粮食总产量  $S_{Y2}$ :

$$S_{Y2} = N_{pp2} R$$

## 2 估产方法的试验

### 2.1 粮食总产的估算

粮食产量与全年的净第一性生产力是有密切关系的,作为一种遥感估产方法的检验,我们应用 NPP-RS 模型估算 1995~2000 年吉林省的粮食总产,平均相对误差为 13.6%,结果见表 1(下列各表中的粮食、玉米、水稻总产及面积数据取自文献 [4])。

表 1 用 NPP-RS 模型估算吉林省粮食总产

	$N_{pp}$	粮食总产	系数	1995 年		1996 年		1997 年		1998 年		1999 年		平均 误差
				估算	误差	估算	误差	估算	误差	估算	误差	估算	误差	
1995 年	177254	1992.4	0.01124											
1996 年	188694	2326.6	0.01233	2120.9	9									9.0
1997 年	184818	1808.3	0.00978	2077.4	-15	2278.8	-26							20.5
1998 年	189136	2506.0	0.01325	2125.9	15	2332.0	7	1849.8	0.26					16.0
1999 年	201847	2305.0	0.01142	2268.8	2	2488.8	-8	1974.1	0.14	2674.5	-16			10.0
2000 年	174151	1850.0	0.01062	1957.5	6	2147.3	-16	1703.2	0.08	2307.5	-25	1988.8	-8	12.6
平均					9.4		14.2		0.16		20.5		8	13.6

注:产量单位为  $10^4$  吨,误差为相对误差(%),下同。

### 2.2 粮食总产的动态估算

利用 NPP-RS 模型对吉林省粮食总产进行动态估算,依 1.3 节所述方法,分别取  $N_{pp}$  的积分至 7 月

末和 8 月末,依次在 7 月末和 8 月末做出当年的作物总产量估算(见表 2、3)。

表 2 对粮食总产的动态估算(7 月末)

	$N_{pp}$	粮食总产	系数	1995 年		1996 年		1997 年		1998 年		1999 年		平均 误差
				估算	误差	估算	误差	估算	误差	估算	误差	估算	误差	
1995 年	146727	1992.4	0.01358											
1996 年	155396	2326.6	0.01497	2110.3	9									9.0
1997 年	155486	1808.3	0.01163	2111.5	-17	2327.6	-29							23.0
1998 年	169721	2506.0	0.01477	2304.8	8	2540.7	-1	1973.9	21					10.0
1999 年	162939	2305.0	0.01415	2212.7	4	2439.2	-6	1895.0	18	2406.6	-4			8.0
2000 年	154795	1850.0	0.01195	2102.1	-14	2317.3	-25	1800.3	3	2286.3	-24	2190.3	-18	16.8
平均					10.4		15.3		14		14		18	13.4

表 3 对粮食总产的动态估算(8 月末)

	$N_{pp}$	粮食总产	系数	1995 年		1996 年		1997 年		1998 年		1999 年		平均 误差
				估算	误差	估算	误差	估算	误差	估算	误差	估算	误差	
1995 年	169444	1992.4	0.01176											
1996 年	174486	2326.6	0.01333	2052.0	12									12.0
1997 年	172067	1808.3	0.01051	2023.5	-12	2293.7	-27							19.5
1998 年	184429	2506.0	0.01359	2168.9	13	2458.4	2	1938.3	23					12.7
1999 年	189923	2305.0	0.01214	2233.5	3	2531.7	-10	1996.1	13	2581.1	-12			9.5
2000 年	168741	1850.0	0.01096	1984.4	-7	2249.3	-22	1773.5	4	2293.2	-24	2048.5	-11	13.6
平均					9.4		15.3		13.3		18		11	13.5

### 2.3 主要农作物的产量估算

在了解当年某种作物的种植面积和粮食作物的种植总面积后(如果不能获得当年的资料,可以假定当年与上年的种植面积数相差不大,而上年的数据代替当年的数据),计算出此类作物占当年粮食作

物播种面积比例,利用此方法获得的比例系数和用 NPP- RS 模型作出的粮食总产估算值,可得到当年某一作物的产量估算。对玉米产量的估算结果见表 4,其平均相对误差为 17.6%。对水稻产量的估算结果见表 5,其平均相对误差为 6.7%。

表 4 玉米产量估算

	面积比例	总 $N_{pp}$	玉米 $N_{pp}$	玉米总产	系数	1995 年		1996 年		1997 年		1998 年		平均 误差
						估算	误差	估算	误差	估算	误差	估算	误差	
1995 年	65.53	177254	116155	1478.5	0.01273									
1996 年	68.46	188694	129180	1753.4	0.01357	1644.5	6							6.0
1997 年	68.32	184818	126268	1260.3	0.00998	1607.4	- 28	1713.5	- 36					32.0
1998 年	67.88	189136	128386	1924.7	0.01499	1634.4	15	1742.2	9	1281.3	33			19.0
1999 年	67.61	201847	136469	1692.6	0.01240	1737.3	- 3	1851.9	- 9	1362.0	20	2045.7	- 21	13.3
平均							13		18		26.5		21	17.6

表 5 水稻产量估算

	面积比例	总 $N_{pp}$	水稻 $N_{pp}$	水稻总产	系数	1995 年		1996 年		1997 年		1998 年		平均 误差
						估算	误差	估算	误差	估算	误差	估算	误差	
1995 年	11.86	177254	21022	296.9	0.01412									
1996 年	11.98	188694	22606	347.4	0.01537	319.2	8							8.0
1997 年	12.61	184818	23306	376.2	0.01614	329.1	13	358.2	5					9.0
1998 年	12.87	189136	24342	385.5	0.01584	343.7	11	374.1	3	392.9	- 2			5.3
1999 年	13.24	201847	26725	405.9	0.01519	377.4	7	410.8	- 1	431.3	- 6	423.3	- 4	4.5
平均							9.8		3		4		4	6.7

### 3 估产结果分析

此种估产法是在假定全省的粮食总产量与  $N_{pp}$  比例关系不变的前提下,但实际上每年全省的作物种植结构和作物生长期气候条件对  $N_{pp}$  均有较大影响。这种方法估产的误差主要有 3 种可能:①实际统计资料不够准确(即政策性误差);②在农作物生长过程中产量形成的关键时期,作物受到灾害影响,丰产不丰收;③种植结构、作物品种改变影响转换系数。因而提高用此方法进行遥感估产的精度,还需要对当年的全省种植制度、种植结构的变化有所了解。要注意当年的灾情影响,增加灾害影响系数。

1997 年大旱年和 1998 年的洪涝年均使估产结果出现较大误差,尤其 1997 年的估算误差较大,表现在用其它年份的资料估算 1997 年的产量误差较大,且用 1997 年的数据估算其它年份的误差也较大。1997 年为特大干旱年,而且是春夏连旱,直至 8 月 20~22 日,全省出现了 63.5 mm 的过程雨量,基

本解除了旱情;到 9 月份西部地区降雨量只有 9 mm 左右,相当于同期作物需水量的 20%,发生了明显的秋旱,对作物成熟有一定影响;一些地方出现干旱、高温逼熟现象,造成粒重下降,产量降低。另外,当年 9 月 11~15 日各地先后出现早霜,初霜日较常年早 7~10 天左右,造成了产量估算的较大误差。这些将有待于进一步做更细的工作,探讨不同作物在作物不同生育阶段灾害的影响权重,以提高遥感估产的精度。

### 参考文献

- 1 钱拴,王建林. 农业气象作物产量预报的特点与思考. 气象科技, 2003, 31(5): 257-261
- 2 孙九林. 中国农作物遥感动态监测与估产总论. 北京: 中国科学技术出版社, 1996
- 3 肖乾广,陈维英,盛永伟,等. 用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 遥感资料估算中国的净第一性生产力. 植物学报, 1996, 38(1): 35-39
- 4 吉林省统计局. 吉林统计年鉴 1995-2001 年. 北京: 中国统计出版社, 1995-2001

## Estimating of Main Crop Yields in Jilin Province Using Meteorological Satellite Data

Yan Ming<sup>1,2</sup> Liu Zhiming<sup>3</sup> Yan Xiaoying<sup>1</sup>

(1 Jilin Institute of Meteorological Sciences, Changchun 130062; 2 Jilin Institute of Agricultural Divisions of Jilin Province, Changchun 130062; 3 College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024)

**Abstract :** Net primary productivity ( $N_{pp}$ ) is one of useful indexes in global change studies. Utilization of remote sensing data from meteorological satellites is an objective way to estimate  $N_{pp}$ . Using the processed annual normalization vegetation index,  $N_{pp}$  values can be estimated from an experimental model (NPP-RS). The relationship between each crop's  $N_{pp}$  and yields was then determined. The total yields can be assessed by the  $N_{pp}$  value. The total yields and the yields of main crops from 1995 to 2000 in Jilin Province were estimated. The mean relative error is 13.6% for total yields, and 17.6% and 6.7% for maize and rice, respectively.

**Key words :** normalization vegetation index, NPP-RS Model, yield estimation