

用气象卫星数据对冬小麦进行估产的试验

肖乾广 周嗣松 陈维英 张丽霞 贾常恭

(卫星气象中心)

肖淑招 孟宪钺 赵忠凯 张桂宗

(天津气象科学研究所)

1986年2月14日收到

卫星遥感估产是遥感学科的重要内容,国外以往都是用资源卫星进行这方面的研究和业务工作,用气象卫星进行作物估产的研究只是近年来的事.遥感估产难度最大的是播种面积的估算.用资源卫星的影像进行目视解释精度不高,用监督分类法对于成片的单一作物可以得到较高精度的结果,但对于不成片的混种作物,也很难得到高的精度,并且由于云的影响,很难保证取得所需的资料,即使得到了资料,计算机处理的机时费用也相当高.因此,人们就希望用价廉、量多的气象卫星 AVHRR (先进的甚高分辨率辐射仪)资料来估算冬小麦的播种面积.卫星气象中心与河北省气象科学研究所进行了“用气象卫星估算冬小麦产量的可行性研究”之后,认为是可行的.随后,河北省气象科学研究所和天津气象科学研究所用 1985 年的 NOAA 卫星 AVHRR 资料在求面积和估算产量方面做了大量试验工作,取得一定的成效.本文是在天津的应用情况.

一、NOAA 卫星作为资源卫星使用的可行性

NOAA 卫星的仪器比资源卫星的仪器多,大多用于气象探测,其中 AVHRR 主要用于表面(云面、陆面和海面)探测,主要探测通道选在窗区,这个仪器和资源卫星 MSS 某些通道相似.表 1 是两种仪器的比较.

从表 1 中我们可以看出 NOAA 卫星 AVHRR 第一、二通道和资源卫星 MSS 第五、七通道相似,其光谱响应曲线如图 1 所示.从图 1 中可以看出能量的主要部分几乎完全一致. AVHRR 第二通道包含冬小麦的反射信息,比 MSS 第七通道要完整.图 2 是冬小麦的反射率与波长的关系.

AVHRR 第一、二通道, MSS 第五、七通道是植被监测的两个主要通道. AVHRR 第一通道和 MSS 第五通道对土壤反射率很高,而后者即 AVHRR 第二通道、MSS 第七通道对植物反射率很高.假如只从光谱角度来看两者完全可以进行互换.由于资源卫星每 18 天才能对地球同一目标观测一次.在对植物生长过程的观测有很大困难,主要是地球上平均 50% 地区有云,往往得不到冬小麦主要生长过程的资料,并且资源卫星的扫描区只有 185 公里,探测范围也非常有限, NOAA 卫星除了分辨率低于资源卫星外,其它优点多于资源卫星.我国在 1983 年已经建成 NOAA 系列卫星的北京地面接收站(1988 年前

表1 NOAA/AVHRR 和 LANDSAT/MSS 的比较
Table Comparison of NOAA/AVHRR and Landsat/MSS

项 目	LANDSAT/MSS	NOAA/AVHRR
轨道倾角(度)	98.91--99.1	99.092
高 度(公里)	916.6	833
每天轨道数(圈)	14	14.2
过赤道时间	09:30	07.30降轨 _{NOAA-8} 19.30升轨 02.30降轨 _{NOAA-9} 14.30升轨
轨道周期(分)	103.5	102
纬度覆盖范围	80°N--82°S	90°N--90°S
重复周期(天)	18	1
地面覆盖(公里)	185	最大3000
视场角 (FOV) (度)	±5.78	±56
瞬时视场角(FOV)(毫弧度)	0.086	1.39--1.51
星下点地面分辨率(米)	79	1100
通道数及频率范围(微米)	0.5--0.6	0.58--0.68
	0.6--0.7	0.725--1.10
	0.7--0.8	3.55--3.93
	0.8--1.1	10.5--11.5 (11.5--12.5)

将建成广州、乌鲁木齐站)。在北京的 NOAA 卫星地面接收站的数据,地面覆盖范围是以北京为中心半径 2500 公里的一个圆。它覆盖了绝大部分中国领土,我国冬小麦的主要产区河北、山东、山西、河南、皖北、苏北、陕西、甘肃、新疆都在它的覆盖范围内。NOAA 卫星是太阳同步卫星,它是双星运行,对于农业估产来说,每天可得到 1 至 2 条轨道的 AVHRR 数据,这对于冬小麦估产是非常有利的。由于 NOAA 卫星有这些优点,目前美国农业估产已由主要使用资源卫星转向主要使用 NOAA 卫星,资源卫星作为辅助手段,全球估产则使用 AVHRR GAC 资料(4 公里分辨率)。

二、NOAA 系列卫星冬小麦估产的光谱理论

作物(冬小麦)的遥感估产,主要包括三个部分:(1)用遥感资料来对作物进行分层,(2)用遥感资料计算作物种植面积,(3)监测作物长势,估算单产。由面积和单产计算出总产。要完成上述任务,需要建立一系列植被光谱模型,把植被叶面积指数与卫星遥感的反射太阳辐射联系起来。再用卫星测值去反演植物长势。由于卫星辐射测量需要地面样点来标定,而且预报结果也需要地面样点资料来检验,所以卫星遥感估产必须与地面样点资料配合。

卫星测量的辐射值实际上是目标(冬小麦)对太阳辐照度的双向反射辐照度。而双向分布函数由于入射角和视角的不同而有很大变化。植被所处地面往往是倾斜的,而且又不是理想的朗白表面;大气条件随时都在变化,为了真实地反映植被的本来面目,必须进

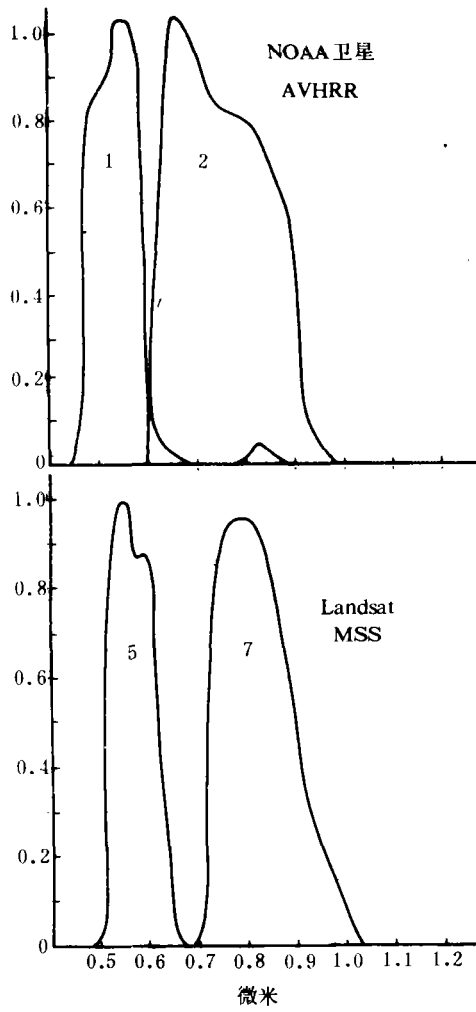


图 1 AVHRR 与 MSS 光谱响应对比

Fig. 1 Response Comparison of AVHRR and MSS Spectrum

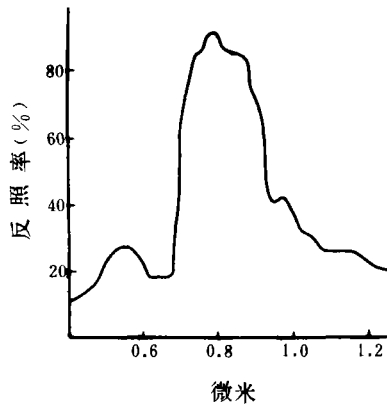


图-2 小麦的反照率与波长的关系

Fig. 2 Relation Between the Wheat Reflectance and Wave-Length

行一系列校正处理,计算出从地面反射辐射中被大气削弱了多少,卫星测值中又加入了多少大气信息。

1. NOAA 卫星遥感资料的分析判读技术

用 NOAA 卫星 AVHRR 的测值(反照率)进行目标数字转换,对于图片而言,就是从景象到影像的转换。数字到目标转换的目的是用数字等级(相当于图片灰度等级)代表目标的不同状态,以便尽可能的反映目标的精细结构。我们把这个过程称为 NOAA 卫星数字识别或数字分析(如经过数字到模拟量的转换可以得到 NOAA 卫星影像),这些都是通过计算机来完成的。NOAA 卫星在植被监测中,目视影像很难得到更多的信息(主要是分辨率低于资源卫星),而使用数字资料可以获得很多有用的信息。主要是数字资料使目标特定部分更为突出,便于分析、判读。用 NOAA 卫星 AVHRR 资料对地面监测的通道不如资源卫星 MSS 多。所以假彩色合成色调没有 MSS 那么丰富。在大面积的定性分析可用 AVHRR 三通道合成影像。但很难从它提取出面积和长势信息,主要使用数字资料分析技术来监测植被生长情况,提取面积信息,用局部数字变换代替密度分割技术。

卫星接收的辐射信息中既有植被信息又有土壤信息,如何突出植被,这是 NOAA 卫星遥感估产中首先要解决的问题。我们采用近红外通道和可见光通道的反照率的线性组合和非线性组合来突出植被。采用这些组合的另一个目的是消除部分大气的影响,同时还可消除因太阳高度角不同引起的人射辐射造成的不良效果。

2. 处理流程如图 3 所示

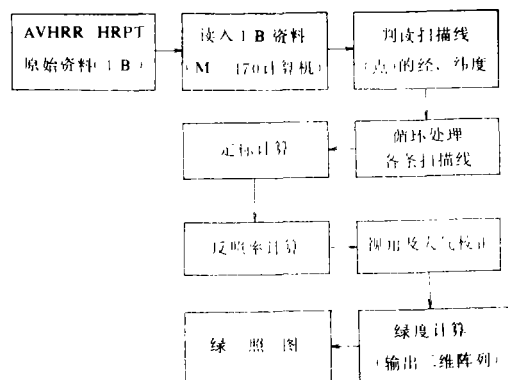


图 3 计算机处理流程图

Fig. 3 Diagram of Computer Processing

3. 地面光谱观测对 NOAA 卫星作物估产的支持

NOAA 卫星 AVHRR 资料(即 1B 资料)通过上述处理后,可在计算机宽行打印机上打印出绿度按经纬度分布的二位阵列,解译这样的定量资料,需要地面光谱观测资料来支持。所以地面光谱特性的资料,是 NOAA 卫星遥感数据分析和判读的基础。如能事先把作物的绿度与时间变化的关系找出来,对于为解译 NOAA 卫星资料提供理论依据,无疑是相当必要的。下面是目前 NOAA 卫星在农业遥感中广泛采用的绿度模式。

$$G_1 = \frac{CH_2}{CH_1} \quad G_2 = \left(\frac{CH_2}{CH_1}\right)^{1/2}$$

$$G_3 = \frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1} \quad G_4 = \left[\frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1}\right]^{1/2}$$

$$G_5 = \left(\frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1} + 0.5\right)^{1/2}$$

$$G_6 = \left(\frac{CH_2}{CH_1}\right)^2 \quad G_7 = \log\left(\frac{CH_2}{CH_1}\right)$$

$$G_8 = CH_2 - CH_1$$

其中 CH_1 表示 AVHRR 第一通道的反照率, CH_2 表示 AVHRR 第二通道的反照率。

这些绿度模式中那几种适合于冬小麦遥感测产中单产计算, 那几种模式可用来计算面积, 需要由地面光谱观测找出上述绿度模式之异同。图 4 是与 AVHRR 第一、二通道相似的地物光谱仪的波段对华北地区 1982 年冬小麦生长过程的观测结果。横坐标为冬小麦生长期, 纵坐标为绿度。

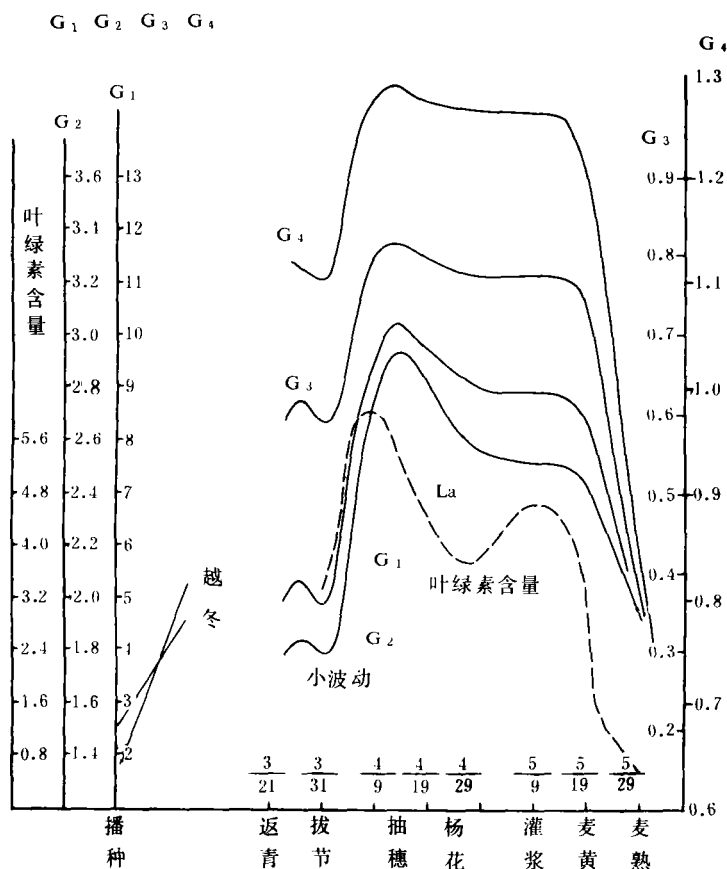


图 4 G 值与叶绿素含量的时间剖面

Fig. 4 Time Profile of Chlorophyll Content and Ratio of G

从图4的曲线中可以看出, G_1, G_2 模式的绿度~时间剖面与叶绿素~时间剖面相近似。而 G_3, G_4 模式的绿度~时间剖面与叶绿素~时间剖面相关性很小。 G_3, G_4 在一定时间内接近饱和, 这时的绿度值主要不反映叶绿素含量, 但反映一定面积上有无冬小麦, 这块土地上的绿度值之和与这块土地上的播种面积成比例。因此, 我们用 NOAA 卫星 AVHRR 资料作成 G_3, G_4 模式的绿度值提取冬小麦面积信息。 G_1, G_2 绿度模式主要反映冬小麦长势信息, 用 AVHRR 资料作成 G_1, G_2 模式的绿度值提取产量信息。这里遥感的产量是生物量, 由于生物量与经济产量具有很高的相关性, 因此我们可以推算出经济产量。

三、NOAA 卫星 AVHRR 资料在天津估产中的应用

为了说明 NOAA/AVHRR 资料在冬小麦估产中的应用。我们使用 1984 年 4 月 29 日, 1985 年 4 月 11 日和 5 月 24 日天津市范围内的 NOAA/AVHRR 绿度值资料, 和各区县的积温资料, 以及由各观测基点实测取得的冬小麦产量资料由土地利用现状 1:1 万求积图求算出的各种植被面积, 对天津市县级冬小麦产量进行了估产试验。

为了排除外界环境的干扰。取得资料的一致性, 本试验采用以县为单位的平均绿度值。 G_1 模式的平均绿度值用 A 表示, G_3 模式用 L 表示。内容包括单产预报模式的建立和种植面积的求算。

1. 单产—绿度值预报模式的建立

G_1 模式绿度值主要反映了冬小麦长势的好坏, 因此可用历史资料的绿度值 A 与产量 Y 求相关, 建立预报回归方程:

$$\hat{Y} = a_0 + \sum a_i A_i$$

然而绿度值不但与小麦的长势有关, 还和生育期有着密切关系。在小麦乳熟以前, 同一地区的绿度值随着小麦的生长发育而增加。所以应用此方程时, 必须取得一致时相, 要求预报当时的冬小麦生育期与建立此方程的生育期相同, 这样就给使用带来不便。为此使用时要对方程中的 A 值进行订正。

因为温度是决定小麦生育期的主要因素, 故本试验使用积温来订正绿度值 ΔA :

$$\Delta A' = f(\Sigma T) = K \cdot \Delta A / 100^\circ\text{C}$$

式中 K 值为建立方程时的积温值与预报时积温值的差值。 $\Delta A / 100^\circ\text{C}$ 表示每增减 100°C 积温时, 绿度的增减值, 可用历史资料求得。

其具体作法如下:

①利用天津市 1984 年 4 月 29 日各县绿度值 A_i 与单产值 Y_i 建立预报模型:

$$Y = -2511 \cdot 1148 + 2422 \cdot 5166A \quad (1)$$

此方程经显著性检验, $\alpha = 0.001$, 剩余标准差 $s = 11.558$ 公斤。

②用 1985 年 4 月 11 日和 5 月 24 日的绿度值和积温值求算 $\Delta A'$:

$$\Delta A' = (T_a - T_b) [(A_1 - A_2) / (T_1 - T_2)] \times 100$$

式中的 A_1, A_2 分别为 1985 年 4 月 11 日和 5 月 24 日 G_1 模式中的 A 值; T_1, T_2, T_a 分别为 1985 年 5 月 24 日、4 月 11 日和 1984 年 4 月 29 日大于 10°C 的积温; T_b 为预报当年取得最近 NOAA/AVHRR 资料日期的大于 10°C 的积温。

③ 求算结果

分别将 1985 年 4 月 11 日和 5 月 24 日的 A' 值和 $\Delta A'$ 代入下式:

$$\hat{Y} = -1511 \cdot 1148 + 2422 \cdot 5166(A' + \Delta A') \quad (2)$$

得出两次单产预报结果, 5 月 24 日预报值准确率较高, 可达 90% 以上。根据各县单产预报值, 并以种植面积为权重, 算出全市总产预报值 37154.5 万公斤, 误差 1.3%, 全市单产预报值为 155.5 公斤/亩, 误差 -1.3%。

2. 总绿度值的修正

由于 4、5 月份, 田间除了麦苗以外, 树林、杂草、蔬菜已开始生长, 此时所获得的绿度值不仅反映了小麦的长势, 还包括了这些植被的状况, 因此要提高小麦估产的准确率, 必须扣除这些植被的绿度值。在求算 G_1 模式中的平均绿度值 A 时, 首先把各县的总绿度值 ΣM_i 减去树木、杂草、蔬菜的绿度值 C_i , 其求法如下:

$$C_i = \sum_{n=1}^3 D_{in} \quad (3)$$

式中, i 为县的序号 1, 2, 3, ……。 n 为树、草、菜, 序号 1, 2, 3。

求 D_{in} 值时, 先找出大面积成片的树林, 草场和菜园(图 5), 并计算这些地块的总绿度值, 然后换算每万亩树林、草场、菜园占有的绿度值 (D_n /万亩), 最后根据:

$$D_{in} = S_{in} D_n / \text{万亩} \quad (4)$$

求出 D_{in} 值。 S_{in} 分别为各县树木、杂草、蔬菜的面积。

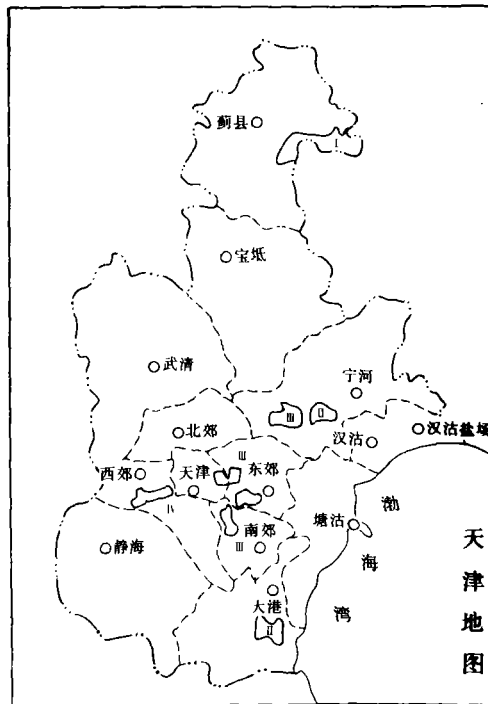


图 5 天津地图

Fig. 5 The Map of Tianjin

下面用实例来说明总绿度值的修正。

①根据天津市土地利用现状 1:1 万求积图查出蓟县北部 7.035 万亩的树林地带(图 5 中 I), 在宁河县和大港区找出 8.9 万亩的草场(图 5 中 II), 在东郊区和西郊区找出 6.7 万亩菜地(图 5 中 III)。

②由天津市 1984 年 4 月 29 日的绿度表, 求 D_n /万亩。

$$D_1/\text{万亩} = \frac{\text{图斑 I 的总绿度值}}{\text{树林面积}} = \frac{42.7}{7.035} = 6.07/\text{万亩}$$

$$D_2/\text{万亩} = \frac{\text{图斑 II 的总绿度值}}{\text{草场面积}} = \frac{21.2}{8.9} = 2.39/\text{万亩}$$

$$D_3/\text{万亩} = \frac{\text{图斑 III 的总绿度值}}{\text{蔬菜面积}} = \frac{16.9}{6.7} = 2.52/\text{万亩}$$

③根据(3)、(4)式, 求出 1984 年 4 月 29 日各县总绿度修正值 C_i 。

3. 建立修正后的单产预报模式

①求 1984 年 4 月 29 日各县的小麦平均绿度值 A_i 。

$$A_i = (\Sigma M_i - C_i)/E_i$$

式中, ΣM_i 为各县的总绿度值; E_i 为各县像元数(不包括空白点)。

②运用 1984 年 4 月 29 日的 A_i 与单产值 Y_i 建立回归方程。

$$\hat{Y} = -1404 \cdot 03 + 1533 \cdot 1A \quad (\alpha = 0.01) \quad (5)$$

③用同法求出 1985 年 5 月 24 日各县的 A' 值和积温订正值 $\Delta A'$, 代入(5)式得出单产预报值 \hat{Y} 。

计算结果: 县级的单产预报准确率为 93% 以上, 比未扣除树木, 杂草, 蔬菜等植被绿度值进行估产, 准确率提高 3%。

4. 冬小麦种植面积的计算

G_3 模式中的绿度值 L 主要反映绿色植物的覆盖面积 S , 它们之间的关系为:

$$S = B \cdot L \quad (6)$$

B 为系数, 可用历史资料的 S 值和 L 值得求。对冬小麦而言, S 即冬小麦种植面积。麦苗对土壤的覆盖程度, 不仅取决于种植面积, 还要看小麦的长势, 为此使用方程(6)时, 必须对 L 值进行订正。即:

$$L = L' \pm \Delta L' \quad (7)$$

由于 G_3 模式中的绿度值反映小麦长势, 故:

$$\Delta L' = f(A) = Q \cdot \Delta L \quad (8)$$

(8) 式中的 Q 值为建方程时的 A 值与预报时 A 值的差值; ΔL 表示增减一个 A 值时 L 的增减值, 可用历史资料求得。

其具体作法如下:

①利用天津市 1984 年各县冬小麦种植面积 S_i 与 1984 年 4 月 29 日 G_3 模式的 L 值, 求 B_i 。

$$B_i = S_i/L_i$$

②用 1985 年 4 月 11 日和 5 月 24 日的 L 值和 A 值求算 $\Delta L'$,

$$\Delta L' = (A_a - A_b) \frac{L_1 - L_2}{A_1 - A_2}$$

式中: L_1 、 L_2 分别为 1985 年 5 月 24 日和 4 月 11 日的 L 值; A_1 、 A_2 、 A_a 、 A_b 分别为 1985 年 5 月 24 日、4 月 11 日、1984 年 4 月 29 日和预报当时的 A 值。

③ 求算 S

把(7)(式)代入(6)式得:

$$S = B \cdot (L' + \Delta L') \quad (9)$$

分别将 1985 年 4 月 11 日和 5 月 24 日的 L' 及订正值 $\Delta L'$ 代入(9)式, 求出各县的 S 值。两次计算结果比较一致, 平均误差在 4% 以下。换算全市面积为 237.54 万亩, 误差为 2.4%。

四、结 论

- ① 采用该方法进行冬小麦估产最好在拔节到乳熟期间进行。
- ② 树林、草场、蔬菜种植较多的地区, 必须进行总绿度值的修正, 否则预报准确率很低。
- ③ 估产范围越大, 利用本法预报越准确。
- ④ (6) 式中的系数 B 与所在自然环境、生产条件有关, 使用时须注意修正。
- ⑤ 卫星资料受大气、太阳高度角等影响, 往往表现不稳定, 可用水面的反射率来校正。本研究证实, NOAA/AVHRR 资料应用于冬小麦估产不仅可行, 而且比其它卫星资料经济、简便、及时。

Productivity estimate using meteorological satellite

Xiao Qianguang Zhoucिसong Chen Weiying

Dian Chonggong Zhang Lixia

(Satellite Meteorological Centre)

Xiao Shuzhao Meng Xianyue Zhao Zhongkai Zhang Guizong

(Institute of meteorology, Tianjin)

Abstract

The NOAA is a special meteorological satellite. The first and second channels of the AVHRR (the sensor of NOAA) are much similar to the fifth and seventh channels of the resource satellite MSS, and their corresponding spectral response curves are much alike. The AVHRR'S first channel has a higher reflectivity from soil, and the second channel is highly reflected by vegetation. By virtue of its wide sensitivity range, multiple reception orbitals, economical and convenient, it has been used in the W.S.A. in the agricultural estimation.

According to the characteristic spectra from the vegetation, and through the digital exchange of the measured values on the first and second channels of the NOAA/AVHRR, We established a series of green models which can be used in making agricultural estimation satisfactorily.

As experimentally showed that these green models highly correlated to the yield of crops. This has been presently becoming the main information sources for yield estimations. With the forecast of the yield of winter wheat in Tianjin area as an example, this paper gave an account of the application of the NOAA/AVHRR data in working out the yield estimation. It included the establishment of the regression equation and the method for calculating the plantation area.