

用 NOAA 气象卫星 AVHRR 的定量资料 计算冬小麦种植面积的两方法*

肖乾广

(国家气象局卫星气象中心)

1987年12月15日收稿

摘 要

本文提出了用 NOAA 气象卫星 AVHRR 的定量资料计算冬小麦种植面积的方法,即绿度指数法和单通道法。绿度指数法是根据冬小麦在特定生育期内绿度值基本上保持为常数的特点,用几块已知样地的种植面积,推算整体种植面积;单通道法是只使用 AVHRR 第二通道的反射率来计算冬小麦种植面积。这两种方法的优点在于不需考虑大气削弱的订正处理问题,从而使计算得以简化。

关键词 绿度指数 冬小麦面积 麦土比 单通道 数字图像

前 言

遥感估产中有三个关键问题,一是用遥感资料分层——用遥感影像(或数字图像)按产量水平进行排队,以便分层建立遥感估产模型;二是种植面积的計算及单产模式的建立;三是作物长势的动态监测。国内外有关单位用 Landsat MSS 和 TM 影像进行分层已经成功,对于面积的计算通常也是用 MSS, TM 影像。Landsat 纯遥感估产的模式,虽然已经取得很大进展,但仍不够完善,主要是大气校正没有很好解决。Landsat 由于资料获取的周期长,因此,几乎不可能实现植物长势的动态监测。从 1985 年开始,国家气象局卫星气象中心与河北省和天津市气象科学研究所合作,开展了完全使用气象卫星资料进行这三个方面研究的工作。研究表明,用气象卫星资料完全可以进行分层和作物长势的动态监测。用气象卫星资料建立纯遥感单产模式的研究也取得了一定进展,用 Landsat 计算种植面积的业务在美国已投入运行。其精度可达 90% 以上,但对于象西欧那样的小块插花种植的土地,面积计算精度还不到 80%。假如把用 Landsat 资料计算种植面积的方法简单地搬到气象卫星资料上来用,那么得出的结论是:用气象卫星不可能计算出种植面积。原因是气象卫星的 AVHRR 资料星下点分辨率为 1.1km, 在一个像元内既有作物,又有空地、道路、河流、村庄等,无法使用像元分类法计算种植面积。本文提出两种使用 AVHRR 资料计算作物面积的方法。可用于平原地区的冬小麦遥感估产。

* 文中所列地面资料由天津市气象科学研究所肖淑招、北京市农林科学院张桂芝等提供,特此铭谢。

一、冬小麦的光谱特性及 NOAA/AVHRR 资料的提取

(一) 冬小麦的光谱特性

冬小麦的光谱特性如图 1 所示。从图中可以看出,冬小麦在近红外波段有高的反射率。NOAA/AVHRR CH₂ 的光谱响应在 0.725—1.1 μm,用该通道可以获得冬小麦的生长信息。图 2 是 AVHRR CH₁, CH₂ 的光谱响应。

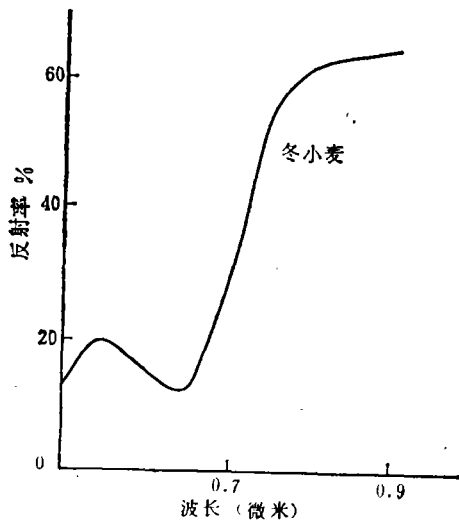


图 1 冬小麦的光谱特性

Fig. 1 Spectrum characteristics curve of winter wheat

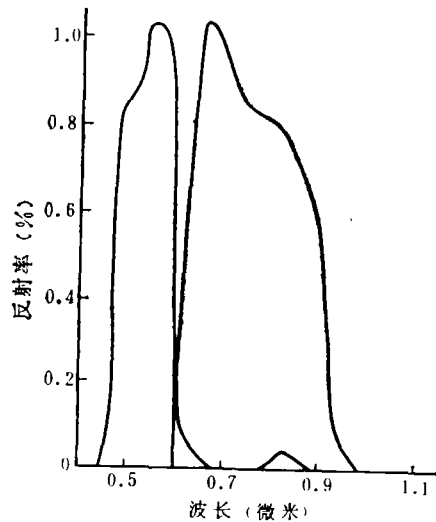


图 2 AVHRR CH₁ 和 CH₂ 的光谱响应

Fig. 2 Spectral response curves of CH₁, CH₂ for NOAA/AVHRR

(二) NOAA/AVHRR 资料的提取

严格的 AVHRR 各个通道的计算公式为:

$$NS_r(z, \phi; \theta', \phi') = \left[\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(\lambda) \cdot \{E(z, \lambda) \cdot R(z, \phi; \theta', \phi', \lambda) \times [I(\theta', \lambda) + L_{path}(z, \phi; \theta', \phi', \lambda)]\} \cdot d\lambda \right] / \left[\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I(\lambda) d\lambda \right] \quad (1)$$

其中, NS_r : 带宽为 r 的每个通道的归一化值; $I(\lambda)$: AVHRR 光谱响应; λ_1, λ_2 : 带宽为 r 的波长上、下限; $E(\lambda)$: 每个象元的入射辐射; $R(\lambda)$: 目标反射率; $I(\lambda)$: 大气透过率; L_{path} : 大气程辐射; θ' : 卫星高度角; z : 太阳高度角; ϕ : 太阳方位角; ϕ' : 卫星方位角。

在实际工作中,并不对每一参量进行计算,而是用仪器定标方法得到一个综合反照率。并假定在星下点太阳高度角近似等于 90° , 这样反照率唯一与程辐射有关,从而使(1)式简化^[1]。

二、用 NOAA/AVHRR 资料计算面积的方法

(一) 用绿度指数计算冬小麦种植面积

1. 数学物理模型

绿度指数的定义为:

$$G = [(CH_2 - CH_1)/(CH_2 + CH_1)] \times 20 \quad (2)$$

其中, CH_1, CH_2 为 AVHRR 第一、二通道的反照率。研究表明, 冬小麦遥感估产中使用绿度指数比使用反照率好。因为绿度指数与单产的相关性很高, 与 AVHRR 第二通道反照率的相关性却很低, 这是由于绿度指数的计算不仅消除了部分大气影响, 同时也消除了部分太阳高度角以及卫星视角的影响。在冬小麦生长过程中, 绿度指数的变化如图 3 所示。从图中可以看到, 在拔节以后的一段时间内, 绿度指数的变化很小。对于特定地点, 气象卫星遥感的绿度指数值, 只与像元内冬小麦占的比例有关, 而与长势无关。我们根据这一规律提取像元内冬小麦的种植面积信息。假定 L_a 为单产水平相同的层 (由 AVHRR 数字图像确定, 图 4), 在该层内有 A 个 AVHRR 数字图像像元, 在 L_a 层内有 k

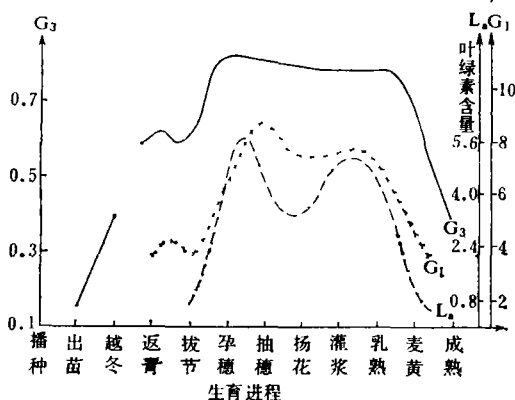


图 3 绿度指数随时间变化的曲线

Fig. 3 Time profile curves of green index

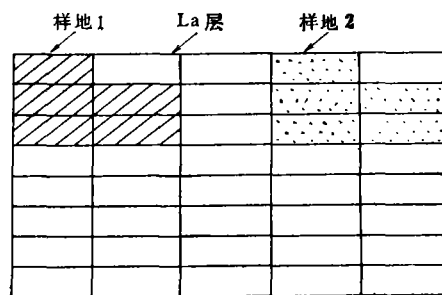


图 4 AVHRR 数字图像

Fig. 4 Digital image of NOAA/AVHRR

块样地, 在每个样地内各有 i, j, \dots 个 AVHRR 数字图像像元, 那么对于样地 1, 任意像元的绿度指数值为

$$G(t) = \alpha + bG_s(t) \quad (3)$$

这里, α 为像元中的麦土比; G_s 为满像元都是冬小麦时的长势绿度值; a, b 为常数。卫星遥感的每个像元绿度指数值, 既决定麦土比, 又决定长势绿度值, 当 $\alpha = 0$ 时, 这里的 G_s 为裸地指数。在通常情况下, NOAA/AVHRR 数字图像的像元绿度值由两种信息构成: 长势信息和面积信息。从图 3 可知, 对于特定地区和特定年份, 在拔节至灌浆的生长时期, G 近似等于一常数。在这段时间提取面积信息最佳。

对于样地 1, 有 i 个像元, 每个像元的绿度指数为:

$$G_2 = a\alpha_2 + bG_{i_2}(t) \quad (5)$$

.....

$$G_i = a\alpha_i + bG_{i_i}(t) \quad (6)$$

前面已经假定,在一层内,生长绿度值为

$$G_{i_1} \doteq G_{i_2} \doteq G_{i_3} = \dots G_{i_i} \quad (7)$$

那么,第一样地内

$$\bar{G}_{1\#} = a\bar{\alpha}_{1\#} + bG_i \quad (8)$$

同样,第二样地内

$$\bar{G}_{2\#} = a\bar{\alpha}_{2\#} + bG_i \quad (9)$$

由多个样地的已知 α_i 和 G_{i_i} , 可求出 a , b (α_i 由其它遥感手段抽样得到, G_{i_i} 由 AVHRR 数字图像计算)。

对于整个 L_n 层内

$$\bar{G}_A = a\bar{\alpha}_A + bG_i \quad (10)$$

由于层内 $G_i =$ 常数, 故

$$\bar{G}_A - \bar{G}_{1\#} = a\bar{\alpha}_A - a\bar{\alpha}_{1\#} \quad (11)$$

$$\bar{G}_A - \bar{G}_{2\#} = a\bar{\alpha}_A - a\bar{\alpha}_{2\#} \quad (12)$$

.....

$$\bar{G}_A - \bar{G}_{i\#} = a\bar{\alpha}_A - a\bar{\alpha}_{i\#} \quad (13)$$

通常在层内选 2 到 3 个样地即可, 那么

$$\bar{\alpha}_A = \frac{1}{a}[\bar{G}_A - \bar{G}_{i\#}] + \bar{\alpha}_{i\#} \quad (14)$$

样地的平均绿度值和整个 L_n 层的平均绿度值相等, 那么样地的麦土比即可代表整个层的麦土比。 $\bar{\alpha}_{i\#}$ 可用 Landsat TM 影像抽样得到或用彩色红外影像及其它方法得到。

2. 计算结果

按此方法用陆地卫星影像抽样、计算了 1986 年山东、河北、河南的冬小麦种植面积, 山东 41532.5km², 河北 27329.9km², 河南 49430.4km²。统计局上报的面积, 山东为 42582.4 km², 河北 25664.1km², 河南 50661.6km², 分别相差 2.5%, 6.0%, 2.5%。

(二) 用 NOAA/AVHRR 近红外通道计算冬小麦的种植面积

1. 物理数学模型

假定对于某一层内(区域), 如图 5 所示, AVHRR 的像元 P 为混合像元, 分别由冬小麦和土壤组成, 图中用 1, 2 表示。假定 AVHRR CH₂ (近红外通道) 对两种目标满像元时的反照率分别为 R_1 , R_2 , 在该像元内, 冬小麦面积和总面积的比值为 α , 即

$$\alpha = \frac{S_1}{S_{\#}} \quad (15)$$

近红外通道的反照率为:

$$R_{\#} = R_1\alpha + (1 - \alpha)R_2 \quad (16)$$

整理后可以得到

$$\alpha = \frac{R_{\text{混}} - R_2}{R_1 - R_2} \quad (17)$$

数字图像像元面积为^[2,3]:

$$S_p = 2b^2 \frac{\Delta L}{\rho} \left[A' \sin \frac{\Delta B}{2} \cos B_m - B' \sin \frac{3}{2} \Delta B \cdot \cos 3B_m + C' \sin \frac{5}{2} \Delta B \cos 5B_m + D' \sin \frac{7}{2} \Delta B \cos 7B_m + \dots \right] \quad (18)$$

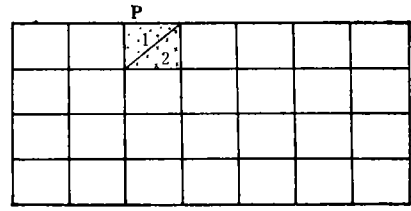


图 5 AVHRR 数字图像

Fig. 5 Digital image of NOAA/AVHRR

其中, $\Delta B = B_2 - B_1$; B_1, B_2 是数字图像像元纬度的上、下限; $B_m = \frac{B_1 + B_2}{2}$; $\Delta L = L_2 - L_1$; L_1, L_2 是数字图像像元的经度上、下线; b 为地球短半轴, $b = 6356.863\text{km}$; $R = 57.295779$; $A' = 1.003363606$, $B' = 0.11240275$, $C' = 0.000016989$, $D' = 0.00000002$ 。只要从卫星接收的数值图像每个像元提取出 $R_{\text{混}}$ 值(实际上只能得到这个值), R_2, R_1 用别的方法得到, 每个像元的 α 值即可计算出来, 对于每个像元作这样的处理后, 就可以计算出冬小麦的种植面积。假定只有冬小麦, 而无土壤信息, 则

$$R_2 = 0, \quad R_{\text{混}} = R_1 \quad (19)$$

在这种方法中, 最关键的问题是如何得到 R_1, R_2 (满像元的反照率)。方法有二, 一曰卫星法, 即在 A 层内如能找到满像元冬小麦和满像元土壤的 R_1, R_2 值并代入(17)式, 即可计算出每个像元的麦土比; 一曰地物光谱观测法, 用地物光谱仪测得 R_1, R_2 值。在实际工作中第一种办法很难实现, 主要是不能找到满像元冬小麦及满像元土壤的 AVHRR CH₂ 的反照率, 第二种办法则是可以实现的。 R_1 用地物光谱仪数据, R_2 用播种前 AVHRR CH₂ 的反照率值。在引用(17)式时 AVHRR $R_{\text{混}}$ 的值最好选在冬小麦拔节至灌浆期。

以上具体分析了一个像元。在实际运用中, 每一层内有无数个像元, 要把每个像元的 α 求出来, 才能得到完整的面积。我们令 R_i 为 A 层内 i 个混合像元 AVHRR CH₂ 的反照率, 在 A 层内 R_1, R_2 为常数(由于分层时已考虑到产量水平一致), 那么

$$R_1^{\text{混}} = R_1 \alpha_1 + (1 - \alpha_1) R_2 \quad (20)$$

$$R_2^{\text{混}} = R_1 \alpha_2 + (1 - \alpha_2) R_2 \quad (21)$$

.....

$$R_1^{\text{混}} + R_2^{\text{混}} + \dots = (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots) R_1 + [(1 - \alpha_1) + (1 - \alpha_2) + \dots] R_2 \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^i R_i^{\text{混}} = \sum_{i=1}^i \alpha_i \times R_1 + i R_2 - R_2 \sum_{i=1}^i \alpha_i \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^i R_i^{\text{混}} - i R_2 = \sum_{i=1}^i \alpha_i \times (R_1 - R_2) \quad (24)$$

$$\sum_{i=1}^i \alpha_i = \left[\sum_{i=1}^i R_i^{\bar{R}_2} - iR_2 \right] / (R_1 - R_2) \quad (25)$$

故有:

$$\bar{\alpha}_i = \frac{\bar{R}_i^{\bar{R}_2} - R_2}{R_1 - R_2} \quad (26)$$

这里 $\bar{\alpha}_i$ 为 A 层内 i 个混合像元的平均值, 知道 R_1 , R_2 以及 A 层国土面积并求出 $\bar{\alpha}_i$ 之后, 冬小麦的种植表面为已知。在分别求得各层的冬小麦面积之后, 整个冬小麦面积很容易求得。下节是以天津四个冬小麦主产区(蓟县、宝坻、武清、静海)为例, 用公式(26)计算的冬小麦种植面积。

2. 计算结果

用 RS-II 型地物光谱仪测得 1987 年 4 月 28 日到 5 月 3 日 13 个样点所对应的 AVHRR CH₂ 的反照率(相当于满像元)分别为 46.3%, 38.5%, 32.3%, 46.9%, 39.2%, 32.7%, 42.9%, 40.5%, 35.6%, 46.2%, 45.6%, 36.3% 和 32.9% (测量不同产量水平的反照率), 取这 13 个数的平均值 39.6% 作为 R_1 , 而 1987 年 1 月 25 日上述四县 NOAA/AVHRR CH₂ 的 \bar{R}_2 为 13.0% (冬小麦尚未返青, 基本上代表裸土), 而 1987 年 5 月 3 日 NOAA/AVHRR CH₂ 四个县 R_2 的平均值为 24.46%, 将上面的值代入(26)式, 计算出这四个县的 $\bar{\alpha} = 0.43$, 这四个县国土面积为 3013.03 km², 故四个县冬小麦的种植面积为 1295.60km², 用 Landsat TM 影像等方法计算的面积为 1250.54km², 相对误差 3.5%。

参 考 文 献

- [1] 肖乾广, NOAA/AVHRR 绿度计算中反照率的大气削弱订正, 全国冬小麦遥感综合测产文集, 气象出版社。
 [2] 肖乾广、陈维英、王威, NOAA/AVHRR 在中国松花江洪水监测中的应用, 遥感信息, (4), 1987。
 [3] 肖乾广、肖淑招等, 用气象卫星数据对冬小麦进行估产的试验, 环境遥感, 1(4), 1986。

Two methods in Calculating winter wheat area with NOAA/AVHRR Digital Data

Xiao Qianguang

(Satellite Meteorology Center, National Meteorological Administration, P. R. China)

Abstract

The green index method and the single channel method are presented in this paper to calculate the Area of winter wheat with the NOAA/AVHRR digital data. The first one is featured by the use of the characteristics that the green index of winter wheat in a peculiar growth period is basically a constant. By selecting such a period, the total Area of winter wheat can be derived from the area of several sample segments. The second one uses only reflectivity of the second channel of AVHRR to calculate the winter wheat area. The advantage of both methods lies in the unnecessary for atmospheric attenuation correction of the vegetation index and reflectivity.

Keywords green index winter wheat area wheat-bare soil ratio single channel digital image