



# 基于 GIS 的黄淮海平原旱灾遥感监测研究 ——作物缺水指数模型的实现

申广荣<sup>1</sup> 田国良<sup>2</sup>

(1. 浙江大学农业遥感与技术应用研究所, 杭州 310029; 2. 中国科学院遥感所, 北京 100101)

**摘要:** 研究黄淮海平原旱灾监测中作物缺水指数模型实现的方法, 特别是以与遥感图象相同的分辨率来计算作物缺水指数采取的对气象数据的处理, 以及在 GIS 的支持下, 对矢量格式的地形图及遥感图象的不同处理, 以实现图象、图形、数据的一体化。从而得到所需的研究区旱情分布图等不同形式的结果。实时监测表明: 本方法精度高, 可靠性强, 基本上达到了准确、实时监测干旱的目的。

**关键词:** 作物缺水指数; GIS; 遥感监测; 线性插值; 最优插值;

## Remote sensing monitoring of drought in Huanghe, Huaihe and Haihe plain based on GIS —— the calculation of crop water stress index model

SHEN Guang-Rong<sup>1</sup>, TIAN Guo-Liang<sup>2</sup> (1. Department of Soil Science, Shanxi Agricultural University, Taiyuan, Shanxi 030801, China; 2. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

**Abstract:** An exploring work was conducted on the meteorological data measured at 63 different stations in the Huanghe, Huaihe and Haihe (HHH) plain and NOAA-AVHRR image. The crop water stress index (CWSI) was calculated every 1.1 km in adaptive spatial resolution of NOAA-AVHRR image. A linear interpolation was developed and optimum interpolation was selected to process the meteorological data. With the aid of GIS and the different processing to remote sensing image in raster data structure and map graph in vector data structure, the remote sensing image, map graph and ground station meteorological data were unified. "The Drought Distribution in HHH Plain" and other results were obtained. The result on ground experiments showed that the goal of drought monitoring could be reached with satisfied accuracy and quickness.

**Key words:** crop water stress index; GIS; remote sensing monitoring; linear interpolation; optimum interpolation.

文章编号: 1000-0933(2000)02-0224-05 中图分类号: Q142 文献标识码: A

干旱是世界范围内普遍发生的一种自然现象, 其波及的范围较广, 危害也较严重。在我国重点粮、棉、油、产区——黄淮海平原, 干旱时有发生, 尤其是春旱频繁, 严重制约着本地区粮食及农业生产。因而, 准确、实时地监测黄淮海平原各地旱情, 对防御、减轻干旱危害, 指导农业生产具有重要的意义。

目前, 干旱的预报及监控大都是定性的且是趋势预报<sup>[1]</sup>。“七五”期间, 中国科学院遥感所田国良等人在河南省北部用气象卫星 NOAA-AVHRR 数字图象和各个县气象站资料外推整个县的气象资料来估算农田蒸散和水分, 可根据作物缺水指数半定量地给出土壤旱情分布图。其估算的精度取决于地表气象数据

基金项目: “八五”国家科技攻关项目: “遥感技术应用专题”85-724-01-4 专题: “黄淮海平原旱灾遥感监测研究评价”的部分内容。

万方数据

收稿日期: 1997-02-25; 修订日期: 1998-03-29

确定外推的范围<sup>[2]</sup>。用县(市)气象站的资料来代替整个县(市)的气象资料,对于平原地区,一般面积不大的县是比较合适的,而对于面积较大的县,由于气候差异,精度就会受到影响。

“八五”期间,作者参加的国家“八五”攻关项目“黄淮海平原旱灾遥感监测研究”,正是采用在此基础上发展的作物缺水指数模型来监测旱情。本文研究在 GIS 的支持下,作物缺水指数模型实现的方法,并进行了实时监测,效果良好。

1 模型的实现

作物缺水指数(CWSI)根据能量平衡原理,从考虑土壤水分和农田蒸散发出来实时监测旱情。它充分利用遥感现代技术,其中一些物理量由遥感图象反演得到,一些来自气象局的日报、旬报气象数据及地面实测数据,需在 GIS 的支持下,与研究区地形图结合,按遥感图象分辨率逐点计算 CWSI,最后计算结果与地形图迭加得出所需的旱情分布图等各种形式的结果。由此可见,作物缺水指数(CWSI)模型的实现是复杂的,涉及图象、图形、数据的一体化处理,其计算精度关系旱灾监测的真实程度,计算速度关系着能否实时地监测旱情。

1.1 气象数据的处理

本研究所采用的作物缺水指数(CWSI)模型以遥感图象为一个重要的数据来源,其空间分辨率是 1.1km,对于研究区南北跨度从北纬 32°至 41°,东经 112°至 121°为东西界的黄淮海平原,除去山东半岛及黄淮海平原地形图边界以外的点,有 420×420 个象素点。本模型的另一个重要的数据来源为气象数据,从中国气象局获得,但全区只能获得 63 个台站的有关数据。如果由此外推台站所在地及邻近地区的气象数据,精度就难以保证。为最大程度地与实际的旱灾情况相符,并与遥感图象相适应,以 1.1km 的空间分辨率即每隔 0.02°(经、纬度)计算 CWSI,这就要求在每一个点有相应的各种数据,故选用了最优插值法对气象数据插值,将区域中没有原始值的“空白”点填上。用最优插值需一些辅助数据,就是多年平均的历史数据。但从黄淮海平原覆盖的省、市(县)气象局得到的多年月平均气象资料仅有 210 个台站。这样仍需进行插值计算,因而建立了一个确定气象数据初值的线性插值模型。

1.1.1 线性插值 在数学上,插值方法很多。现借助于数值天气预报的思想,根据气象要素场的统计特性,考虑研究区中每个区域又可近似为一个平面,且各相邻台站间的距离不超过 150km,以数学上的抽象,每个台站的经度、纬度、某一气象要素值构成了它的三维坐标。因而,3 个台站构成了一个平面,由平面方程便可确定此平面上任一点的气象要素值。

假设  $x_i, y_i, z_i$  分别代表  $i$  台站的经度、纬度、气象要素值; $x, y$ , 是欲插值台站的经纬度,  $z$  为欲求的气象要素值,那么平面方程为:

$$A(x - x_1) + B(y - y_1) + C(z - z_1) = 0$$

其中:

$$A = \begin{vmatrix} Y_{12} & Z_{12} \\ Y_{13} & Z_{13} \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} X_{12} & Z_{12} \\ X_{13} & Z_{13} \end{vmatrix} \quad C = \begin{vmatrix} X_{12} & Y_{12} \\ X_{13} & Y_{13} \end{vmatrix}$$

且

$$\begin{aligned} x_{12} &= x_2 - x_1 & x_{13} &= x_3 - x_1 \\ y_{12} &= y_2 - y_1 & y_{13} &= y_3 - y_1 \\ z_{12} &= z_2 - z_1 & z_{13} &= z_3 - z_1 \end{aligned}$$

令  $D = \begin{vmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_{12} & Y_{12} & Z_{12} \\ X_{13} & Y_{13} & Z_{13} \end{vmatrix}$

由(1)式即可求出: $Z = (D - Ax - By)/C$

显然,其数学计算是不难的,关键是由于对于某一台站( $x, y, z$ )如何确定它所在的平面。虽然距离越小,台站间的气象要素值越接近,但是如果单纯选择离台站( $x, y, z$ )距离最近的 3 个台站,就又可能得到一个不包含台站( $x, y, z$ )的平面。如果就这样进行运算,试验结果证明,误差还是比较大的,也与模型本身的意义不

符。因而,考虑在以被插值点 $(x,y,z)$ 为原点的坐标系内,4个象限内各找一个距离 $(x,y)$ 最近的点形成四边形的点坐标)所形成的直线的斜率之间的关系,即可最后确定出离 $(x,y)$ 最近又包含 $(x,y)$ 于三角形内的3个点。

1.1.2 最优插值<sup>[3,4]</sup> 在本模型的实现中,对气象数据的处理就是应用不规则分布的测站上气象要素的观测资料,通过插值法给出规则网格点上的气象要素值,作为整个作物缺水指数模型的基础数据,无疑,精度是首先要求保证的。最优插值理论广泛应用于气象要素场的客观分析及数值天气预报和气象站网的设计中。这种方法的优点是各已知点的内插权重不是预先确定的而是根据它们对内插点所做“贡献”的大小,以一定的数学方法求取的,用这种方法挑选的权重来进行内插所造成的内插标准误差比作任意选择的权重进行内插所造成的内插标准误差都小,因而,从统计意义上来说,是均方内插误差最小的线性插值方法,且此插值模型要求的测点数量较少,少于8个(甚至更少),但它要求测站分布合理即:各测站均匀分布于格点周围。

最优插值归纳为:

$$\sum_{i=1}^n P_i(Z_i^{ob} - Z_i^G) + Z_k^G = Z_k^i$$

的计算,实际上先给定一个初始估计场(通常称为预备场),然后格点分析场是由格点估计值加订正值得到;订正值是周围各测站观测值偏离估计值的加权和。本文是用多年的月平均值取得格点上的和测站上的预备场 $Z_k^G, Z_i^G(i=1,2,\cdots,n)$ 。上面的线性插值正是为得到各网格点上的这些预备值,也即初始值而做的, $Z_i^{ob}$ 是周围各测站的实时观测值。

根据最优插值法的思想及大多数相邻台站间的距离不超过150km,权重的计算可简为:

$$\sum_{j=1}^n P_i U_{ij} = \mu_{ki}(j=1,2,\cdots,n)$$

其中

$$\mu_{ij} = \mu(r) = \exp(-r/a_1)$$

式中 $a_1$ 取1500km。 $r$ 是台站间的标量距离。本文中采用空间直角坐标系并利用空间直角坐标系与大地坐标的关系来计算标量距离:

$$XX = a \cos Y / w \times \cos X = N \cos Y \cos X^{[5]}$$

$$YY = a \cos Y / w \times \sin X = N \cos X \cos Y$$

$$ZZ = a(1 - e^2) / w \times \sin Y = N(1 - e^2) \sin Y$$

其中, $Y$ :大地纬度, $X$ :大地经度。 $N=a/w=a/(1-e^2\sin^2x)^{1/2}$ 且 $a=6378245.00\text{m}, e^2=0.00669342162297$ 是相对于我国曾采用过的克拉索夫斯基椭球而言的。

本研究对每个格点选用4个测点,采用在以每个格点 $K$ 为原点的四个象限内各选一点且以距离为原则进行最优插值,用此方法及所编相应软件计算对已有观测值的最优插值分析值并与其实测值对照,对所有分析过的站的逐日绝对误差求均值,其温度的平均绝对误差是0.08,而风速是0.02,可见最优插值其精度是足以得到保证的。

1.2 遥感图象处理

作物缺水指数模型要用到NOAA-AVHRR数字图象定量反演地表反射率和温度以及太阳总辐射,也就是直接从AVHRR图象与GIS相结合估算农田蒸散,进而监测干旱,以减少对实测数据的依赖性,充分发挥遥感快速、动态、综合、宏观的优势。本研究所需要做的是将经过图象预处理及大气订正的整幅NOAA-AVHRR数字图象与黄淮海平原地形图进行较严格的配准,然后反演相应通道的反射率、温度、总辐射。将两个图象配准的技术通常是用目视的方法,先定出两个图象中所共有的控制点(地标)的位置,然后将一个图象为数据源,使其与另一相匹配。本研究是从所提供的北纬39.90°~41.06,东经110.93°~121.07°的整幅图象中提取黄淮海平原每一个位置的灰度值。然后转换为有关的物理量。首先将得到的图象

转换到统一的坐标系上,综合考虑,以纬度,经度变化步长为  $0.02^{\circ}$  为标准。但有时所得到的图象资料大致近似为  $0.01^{\circ}$ ,为了准确,对这种步长为  $0.01^{\circ}$  的图象也要进行适当的变换,以便使得图象与气象数据变化步长一致。其次根据黄淮海平原每一个点的经纬度坐标去图象中找对应的行列号象元取值即可。

事实上,对经过变换后的图象的配准与从图象的灰度值转换有关的物理量是同时进行的。从图象上与黄淮海平原对应的某一点取出灰度值,根据其物理量意义上的对应关系,将灰度值变为物理量以统一的栅格文件格式存于各自的数据文件中,以待取用。

1.3 图形处理及结果输出

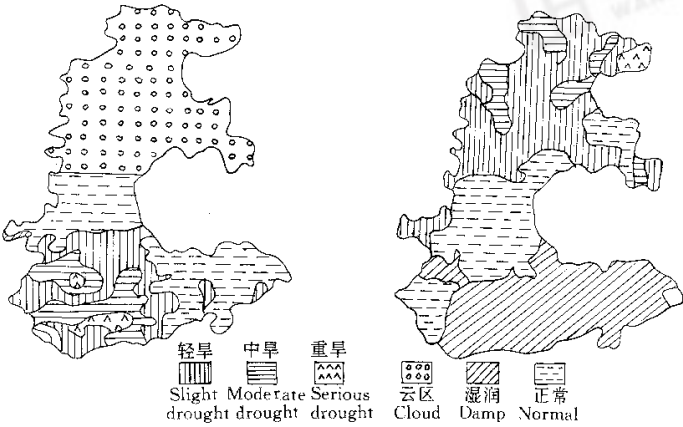
通过上面对气象数据、遥感图象的处理等准备工作,就可以  $1.1\text{km}$  的空间分辨率逐点计算 CWSI,结果以与气象数据、遥感图象等中间结果统一的栅格格式存放。所需的黄淮海平原地形图、边界图及各县县界图在 GIS 的支持下,通过手扶数字化仪输入计算机,形成矢量格式文件,在 GIS 的支持下,要将其转换为栅格文件,以便于与 CWSI 计算结果迭加,依据旱情分级标准通过 GIS 将其转换为黄淮海平原旱情分布图(象),可由彩色打印机输出。另外还可得到本区各县旱情等级的比例和受灾面积统计表等形式的结果。

2 实时监测

作物缺水指数模型涉及的因素多,原始数据来源不同,结构各异,模型实现计算量大。因而充分利用 GIS,对所有数据进行有效的管理组织。实时监测时分两步进行即:预处理和实时处理。首先对实时气象数据进行最优插值所需要的初始数据处理好,以所需要的统一格式分别存贮在不同的文件中,将所需要的各种图形输入计算机以备最后结果输出使用。实时运行时,对来自中国气象局的旬报或日报实时气象数据在读取的同时并调好相应的预处理得到的初始数据文件对其进行最优插值,然后除对其以统一的格式存放在各自的文件中外,还可以成图供有关部门了解本研究区某气象要素的分布情况,服务于与气象要素有关的行业。对于遥感图象,经过坐标变换后,形成一幅新的图象,并将由此计算出相应的物理量与气象数据文件相同的格式存放。这样,从得到 NOAA-AVHRR 图象 1,2,4,5 波段经过大气订正后的 4 幅图象及研究区部分台站的气象数据开始运行到最后以各种形式输出结果,大概需要  $16\text{h}$ ,从而达到了及时提供决策依据,实时监测旱情的目的。

3 结果与讨论

采用上面所述方法计算了 1992 年 4 月 4 日的 CWSI,并与实测值进行比较,其平均绝对误差是  $0.057$ ,平均相对误差  $6\%$ 。在 1993 年春季进行了两次实时监测:1993-04-26 和 1993-05-09(图 1),得到的黄淮海平



万方数据

图 1 黄淮海平原旱情分布图

Fig. 1 The drought distribution in Huanghuaihai Plain

原旱情分布图象表明,整个研究区旱情的分布及变化趋势与实际情况是吻合的;本区各县旱情等级的比例和受灾面积与实际情况基本一致。

可见本研究采用的旱情监测中作物缺水指数模型实现的方法是可行的,基于气象要素的分布特性选用并发展的对气象数据处理的各种插值方法,精度高,可靠性强,虽然计算量大,但着重考虑了相应处理软件的编制,数据组织及监测的方法,减少了实时运行时对原始数据的处理时间,因而保证了速度;为准确、实时有效地监测旱情奠定了牢固的基础。在 GIS 的支持下,输出结果清晰明了。

需要指出的是,最后得到的 CWSI 分布图有气象数据插值的痕迹,即:从一个等级到另一个等级变化整齐的块状。其原因是因为最优插值时已知测值点的台站分布稀疏,可通过增加插值点(从地方台站获取数据,或者对 CWSI 结果直接改进)如用数学上卷积的方法进行平滑等方法)改进以求取得更完美结果。

4 结论

本研究从作物缺水指数模型的特点出发,采用对气象数据的各种插值方法,精度高,可靠性强,为充分利用遥感图象并与 GIS 相结合准确地监测旱情奠定了基础。模型的实现方法及实时监测过程是遥感图象、GIS 相结合的一种应用,实现了图象、图形、数据的一体化,为实时、有效地监测旱情,输出结果形式多样提供了可能,但作为一种方法,整个过程有待进一步完善使其系统化、工具化,真正应用于旱情监测中。

参考文献

[ 1 ] 吉中礼. 干旱趋势预报及监控. 干旱地区农业研究,1995,13(2)  
[ 2 ] 田国良. 黄河流域典型地区遥感动态研究. 北京:科学出版社,1990  
[ 3 ] 张玉玲,等. 数值天气预报. 北京:科学出版社,1986  
[ 4 ] 杨贤为. 最佳内插法在气象站网设计中的应用. 气象学报,1990,3:48  
[ 5 ] 陈 健,晁定波. 椭圆大地测量学. 北京:测绘出版社,1983

