

文章编号: 1000-2022(2004) 01-0073-06

## 陕西渭北东部干旱遥感监测模型研究

李星敏<sup>1</sup>, 郑有飞<sup>1</sup>, 刘安麟<sup>2</sup>, 张树誉<sup>2</sup>, 邓凤东<sup>2</sup>

(1. 南京气象学院 环境科学系, 江苏 南京 210044; 2. 陕西省农业遥感信息中心, 陕西 西安 710015)

**摘要:** 利用研究区域 2001 年 NOAA-16 卫星遥感资料和有关气象资料, 根据作物生长发育季节, 使用逐步回归的统计方法进行因子筛选, 用选出的因子建立研究区域不同季节干旱遥感监测模型。用建立的模型对 2002 年该区春季干旱进行监测, 结果表明: 模型土壤湿度监测结果与地面观测结果较为一致, 模型对该区干旱具有较好的监测能力。

**关键词:** 卫星遥感; 逐步回归方法; 干旱监测; 模型

**中图分类号:** P412.27      **文献标识码:** A

陕西渭北东部地处黄土高原, 属干旱半干旱地区, 素有“十年九旱”之称。干旱给工农业生产和人民生活带来很大影响, 干旱严重时, 不但使农作物大幅度减产, 而且给人畜饮水带来困难。因此, 对干旱进行动态监测, 及时准确地反映旱情发生的范围、程度及其发展变化, 为各级政府制定合理的防旱、抗旱措施提供科学依据, 具有重要意义。

遥感监测的干旱通常是指农业干旱, 其本质是土壤水分含量太低, 无法满足植被(作物)对水分的要求。所以干旱遥感监测的本质是监测土壤水分含量, 通过土壤含水量的多少和分布来反映干旱的程度和分布范围, 对农业生产具有直接的指导作用。

常规的土壤水分监测, 主要采用称重法和中子仪探测法等, 这些方法由于测点少, 代表性差, 难以实现大范围、实时、动态监测。气象卫星运行周期短, 时间、空间分辨率较高, 能为实时动态的遥感干旱监测提供有效的数据来源, 还具有大范围、宏观、动态监测的优势。

陕西省地形复杂多样, 北部为陕北黄土高原, 中部为“八百里秦川”的关中平原, 南部为秦巴山地, 土壤资源丰富, 地域差异较大; 植被类型多样, 农作物的种植制度在陕北、关中、陕南各不相同。由于气候条件差异, 农作物发育进程和土壤性质不同, 有必要根据陕西省的实际情况建立干旱遥感监测模型。

目前常用的干旱遥感监测方法主要有热惯量法<sup>[1]</sup>、亮温法<sup>[2]</sup>、植被供水指数法<sup>[3]</sup>、差值植被指数法<sup>[4]</sup>、缺水指数法<sup>[5]</sup>等。这些方法物理意义清楚, 为干旱遥感监测提供了依据。本文从遥感信息的综合性角度出发, 选择陕西“旱腰带”地区, 筛选出与土壤水分有关的遥感资料和气象要素, 建立土壤水分与遥感、气象和非气象因子之间的关系模型, 取得了较好的监测效果。

收稿日期: 2002-11-27; 改回日期: 2003-03-06

基金项目: 科技部预警研究类项目(2001DIB20095)

作者简介: 李星敏(1968-), 女, 甘肃酒泉人, 硕士生, 从事应用气象研究工作。

# 1 资料的来源与处理

## 1.1 卫星遥感资料的选择与处理

在农业气象观测中,地面土壤湿度在每月的 8 日、18 日、28 日观测。如果能选到测墒日的遥感晴空资料是最理想不过的,但实际上,测墒时巧遇晴空的机会是不多的,尤其是在夏半年。因此,本文选择陕西省 2001 年研究区域内测墒日前后 3 d 之内(即 4 月 8 日、4 月 17 日、5 月 1 日、5 月 6 日、6 月 5 日、6 月 30 日、7 月 4 日、7 月 30 日、8 月 10 日、8 月 21 日、9 月 8 日、10 月 28 日、11 月 5 日、11 月 20 日、11 月 24 日)的 NOAA-16 卫星的晴空资料,应用中国气象局卫星气象中心研制的“极轨气象卫星接收处理系统”软件将实时接收的数字化的 HRPT(高分辨图像传输)资料经过分类编辑、质量检验、确定定标系数、定位数据计算等工作生成 1A.5 数据进行定标处理,经过太阳高度角订正、临边变暗订正,使用等角投影后形成局地数据集(\*.ldf)。白天通道 1~3 为反射率(0.1%)、通道 4~5 为亮度温度(0.1 K),经过图像配准后从局地数据集中读取各测墒点的 5 个通道的遥感资料。在读取资料的过程中剔除有云资料。

## 1.2 气象资料的选择与处理

选择与上述卫星资料相对应的韩城、合阳、澄城、白水、蒲城、大荔、富平、渭南、华阴、潼关、旬邑、永寿、咸阳等气象观测站的日平均温度、日最高温度、日最低温度、0 cm 日平均地温、日日照时数、日相对湿度、日平均风速,各资料均取一位小数。

## 1.3 其他资料

包括研究区内各地面气象观测站的经度、纬度、海拔高度,以及韩城、蒲城、大荔、渭南、旬邑、永寿、咸阳等地 10 cm、20 cm、50 cm 的土壤相对湿度。

# 2 模型的建立

## 2.1 动态逐步回归自变量选择

从上述遥感资料的局地数据集中读取韩城、蒲城、大荔、渭南、旬邑、永寿、咸阳等农气测墒点的 NOAA-16 卫星各通道的资料(3×3 点平均),并选取对应日期的日平均温度、日最高温度、日最低温度、0 cm 日平均地温、日日照时数、日相对湿度、日平均风速,以及各测墒点的海拔高度  $H$ 。用卫星各通道资料计算出的比值植被指数  $G_1$ ( $G_1 = V_{CH2}/V_{CH1}$ )、比值植被指数的平方  $G_2$ 、差值植被指数  $G_3$ ( $G_3 = V_{CH2} - V_{CH1}$ )、比值植被指数的开方  $G_4$ 、比值植被指数的对数  $G_5$  等作为自变量,对应旬的土壤相对湿度作为因变量,利用逐步回归方法<sup>[6]</sup>建立因变量和自变量之间关系模型。

卫星在摄取地面信息时受到很多因素的影响,为了寻找与模型建立最有关系的自变量,先使用 4 月 8 日、4 月 17 日、5 月 1 日、5 月 6 日的资料用逐步回归方法进行模型因子的选择,以后每加入一个时次的资料进行逐步回归,就得到一组自变量,这样可以清楚地看到每加入一个时次的资料后所选择的回归因子的变化情况。

从回归结果(表略)可以看出,在每次的逐步回归过程中,模型选择的自变量是不同的。有的回归过程,虽然复相关系数达到了 0.96,但回归方程的因子很多,不适于实际应用。因此:(1)可以根据季节或植物生长的时段分段建立模型;(2)对回归方程的自变量进一步分析,考虑实际应用,剔除回归过程中没有或较少涉及的因子;(3)在回归过程中,NOAA-16 卫星白天 CH3 资料、归一化植被指数(NDVI)、空气相对湿度是最频繁出现的因子。土壤相对湿度与大气相对湿度有密切的关系(实际上,土壤含水量越多,蒸发进入大气中的水分越多,大气相对湿

度越高), 土壤湿度的大小在 NOAA-16 卫星白天资料的 CH1、CH2、CH3 波段上有明显的反映。

## 2.2 不同时段土壤水分监测模型的建立

在动态逐步回归分析的基础上, 选择通道 1(CH1)、通道 2(CH2)、通道 3(CH3)、通道 4(CH4)、通道 5(CH5) 的资料、归一化植被指数( $I_{NDV}$ )、比值植被指数( $G_1$ )、差值植被指数( $G_3$ )、日最高气温( $T_{max}$ )、0 cm 地温( $T_0$ )、大气相对湿度( $f$ )、海拔高度( $H$ ) 等 12 个因子作为自变量分别与 10 cm、20 cm 土壤相对湿度建立春、夏、秋季和全年模型(表 1)。

表 1 各季各层次土壤湿度监测模型

Table 1 The modeling of soil moisture monitoring at different levels in various seasons

时段	深度	复相关系数	模型
春季	10 cm	0.995 41	$f_{soil} = -5.198 8V_{CH1} + 6.223 4V_{CH3} - 1.343 8V_{CH4} + 0.528 4f + 365.69$
	20 cm	0.995 41	$f_{soil} = -3.769 5V_{CH1} + 4.477 8V_{CH3} - 1.355 7V_{CH4} - 1.202 8T_0 + 442.8$
夏季	10 cm	0.977 13	$f_{soil} = 2.198 9V_{CH3} - 1.563 5V_{CH4} + 0.874 1f + 435.92$
	20 cm	0.980 38	$f_{soil} = 1.535 6V_{CH3} + 1.512 8I_{NDV} + 1.166 8f - 47.84$
秋季	10 cm	0.984 86	$f_{soil} = -1.994 1V_{CH2} + 1.445I_{NDV} + 0.488f + 0.010 5H + 63.45$
	20 cm	0.991 32	$f_{soil} = -14.081 6V_{CH4} + 16.108 9V_{CH5} - 11.753 8I_{NDV} - 1.645 7G_3 + 0.377 5f + 0.021 2H - 535.81$
全年	10 cm	0.947 73	$f_{soil} = 1.490 2I_{NDV} - 0.560 9T_0 + 0.940 5f + 0.009 6H + 8.55$
	20 cm	0.951 07	$f_{soil} = 1.389 5I_{NDV} - 0.781 2T_{max} + 0.789 1f + 0.011 3H + 27$

模型复相关系数在 0.95 以上, 模型中出现最多的因子是空气相对湿度, 且在夏半年的模型中出现了  $I_{NDV}$ , 表明空气湿度、夏半年植被的生长与土壤相对湿度有明显的相关关系。

## 3 模型误差分析

从模型的相关系数、 $F$  值的大小、平均绝对误差、相对误差来比较模型拟合的结果(表 2)。

表 2 各模型拟合效果

Table 2 Fitting results of each model

深度	季节	相关系数	$F$ 值	绝对误差	相对误差 / %
10 cm	春季	0.995	540.74	6.65	19.1
	夏季	0.977	225.28	11.70	23.6
	秋季	0.985	233.98	9.32	14.2
	全年	0.948	198.50	12.03	22.8
20 cm	春季	0.995	540.93	6.53	16.5
	夏季	0.980	263.87	11.50	21.2
	秋季	0.991	255.79	7.08	10.3
	全年	0.951	213.21	11.70	20.9

从表 2 可以看出, 各季节 20 cm 的土壤相对湿度的拟合误差小于 10 cm 的拟合误差, 春季、秋季模型的绝对误差都在 10 以内, 复相关系数在 0.98 以上,  $F$  值远大于 95 % 的置信水

平, 夏季模型拟合也好于全年。因此不同的季节使用不同的模型, 精度明显高于全年使用一个模型, 建立的回归模型是有意义的。

比较实测值与模型计算值, 可以看出计算结果与观测值的变化趋势是一致的(图 1, 其中夏秋季的比较图略)。

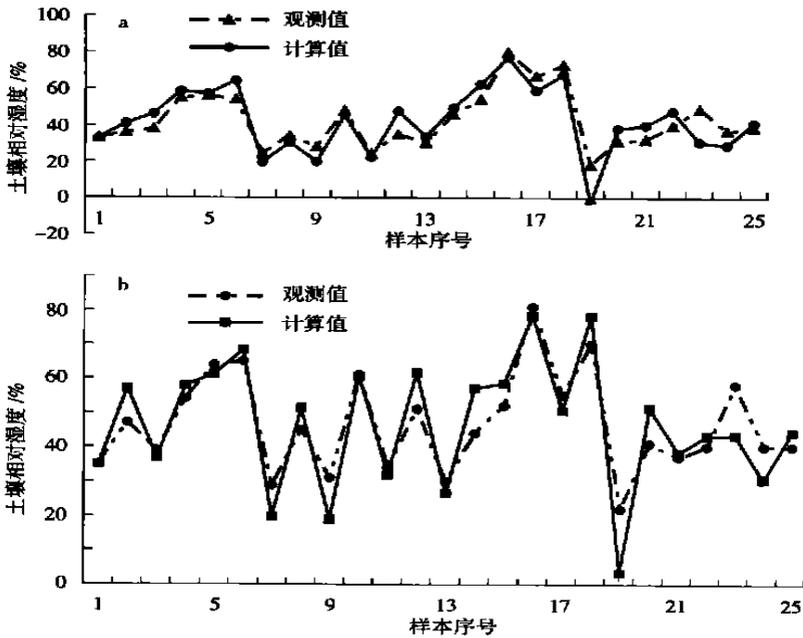


图 1 春季观测值与计算值的比较 a. 10 cm; b. 20 cm

Fig. 1 Comparison of observational and calculational values  
a. 10 cm; b. 20 cm

## 4 模型中参数的确定

上述建立的土壤水分监测模型中涉及到大气相对湿度( $f$ )、0 cm 地温( $T_0$ )及海拔高度( $H$ )。其中除春季 20 cm 的模型外, 大气相对湿度在其他模型中均涉及到, 可见它在土壤水分的遥感监测中的重要性。但如何将气象观测值  $f$ 、 $T_0$  插值到与遥感资料相对应的分辨率(1.1 km)上却是比较困难的。

### 4.1 大气相对湿度分布的获得

最优插值理论是广泛应用于气象要素场的客观分析方法。该方法的优点是各已知点的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, 此插值模型要求观测点的分布比较均匀。

最优插值可以归纳为对  $\sum_{i=1}^n P_i(Z_i^{ob} - Z_i^c) + Z_k^c = Z_k^a$  的计算。先给定一个初始估计场(通常称为预备场), 格点分析场  $Z_k^a$  是由格点估计值  $Z_k^c$  加订正值得到的; 订正值是周围各测站观测值偏离估计值的加权和。本文采用多年日平均值取得格点和观测站上的预备场  $Z_k^c$ ,  $Z_i^c$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ),  $Z_i^{ob}$  是周围各测站的观测值。通过上述计算可得到大气相对湿度的分布。

### 4.2 春季地表面温度的反演

地表温度是利用卫星遥感资料反演气象要素研究中较多涉及的要素之一<sup>[7-9]</sup>, 主要使用亮

温法、亮温与高程法、亮温与通道 2 反射率法、通道 4 与通道 4、5 之差的方法建立反演回归方程, 或者根据亮温与温度的关系, 先求出某一地区的比辐射率, 再使用卫星资料推算地表温度。

王鹏新等<sup>[10]</sup>使用卫星过境时的地表温度, 与 AVHRR 的红外波段的亮度温度进行线性相关分析、多元线性回归分析和通径分析, 最终得出了适合关中地区地表温度( $T_{LS}$ ) 反演的公式:

$$T_{LS} = T_{CH4} + 3.63(T_{CH4} - T_{CH5}) + 0.87.$$

其中,  $T_{CH4}$ 、 $T_{CH5}$  分别表示 AVHRR 通道 4、5 的亮度温度( )。经检验, 该式达到极其显著的水平。

## 5 遥感监测试验

2002 年入春以来, 陕西省各地降水偏少, 3 月中旬旱象开始露头, 并不断发展, 对夏收作物的生长造成了影响。利用上述模型对 2002 年 4 月 21 日接收的 NOAA-16 卫星的晴空遥感资料进行监测试验。首先利用极轨气象卫星接收系统接收的遥感资料, 应用中国气象局卫星气象中心研制的“极轨气象卫星接收处理系统”软件将遥感资料进行分类编辑、质量检验、确定定标系数等工作生成 1A. 5 数据, 经过定标处理、太阳高度角订正、临边变暗订正、等角投影后形成包含陕西省全省的局地数据集(\*.ldf)。其中通道 1~3 为反射率(0.1%)、通道 4~5 为亮度温度(0.1 K)。用 C 语言设计程序, 将局地数据集文件分成各通道数据文件, 与准备好的气象资料一同利用模型进行运算, 将运算结果(小于 255)转成(\*.bmp)图像文件, 选取图像上容易识别的地点(如榆林红碱淖、潼关附近黄河拐弯处等)进行图像的配准, 叠加地理边界, 根据灰度与土壤相对湿度的对应关系, 对图像进行密度分割: 0~40 赋红色, 41~50 赋黄色, 51~60 赋浅棕色, 60 及以上赋绿色。2002 年 4 月 21 日遥感资料经上述处理后形成的图像表明: 监测区域大部分地区土壤相对湿度在 40%~50% 之间, 南部部分地区在 40% 以下。对照 4 月 18 日的测墒点的墒情和图像灰度(图像灰度取测墒气象站所在经纬度附近  $3 \times 3$  像元的平均值), 区域中 87% 的站点测得的 20 cm 土壤相对湿度与计算结果一致(表略), 在该时次的监测中 20 cm 模型的监测效果好于 10 cm 模型的监测效果(监测图像略)。

## 6 结论与讨论

(1) 对于地形复杂、下垫面不均一的地区进行干旱遥感监测时, 分区域监测效果好于全区使用一种模型和方法进行监测的结果。

(2) 在区域干旱遥感监测模型建立的过程中, 当遥感监测资料与大气相对湿度、地表温度等气象要素结合建立干旱遥感监测模型时, 监测效果好于单用遥感资料建立的模型。用逐步回归方法筛选因子, 结果表明: 空气湿度、夏半年植被生长状况与土壤相对湿度有明显的相关关系。

(3) 逐步回归筛选因子的方法为建立干旱遥感监测模型提供了一种思路, 而且建立的模型在 2002 年 4 月下旬的旱情监测中取得了较好的监测效果, 逐步回归方法筛选出的自变量具有一定的实际意义。但由于统计方法建立的模型物理意义不明确, 所以参与统计建模区域的计算结果较好, 而建模区域以外的计算结果不好。另外统计模型也存在不稳定性, 如计算 2002 年 7 月上中旬的土壤湿度时就出现这样的问题, 因此, 应用具有清楚物理意义的模型来进行干旱遥感监测值得深入研究。

## 参考文献:

- [1] 肖乾广, 陈维英, 盛永伟, 等. 用气象卫星监测土壤水分的实验研究[J]. 应用气象学报, 1994, 5(3): 312-318.
- [2] 罗秀陵, 薛琴, 张长虹, 等. 应用 NOAA/AVHRR 资料监测四川干旱[J]. 气象, 1996, 22(5): 35-38.
- [3] 刘丽, 刘清, 周颖, 等. 卫星遥感信息在贵州干旱监测中的应用[J]. 中国农业气象, 1999, 20(3): 43-47.
- [4] 居为民, 孙涵, 汤志成. 气象卫星遥感在干旱监测中的应用[J]. 灾害学, 1996, 11(4): 25-29.
- [5] 申广荣, 田国良. 作物缺水指数监测旱情方法研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 123-128.
- [6] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [7] 傅华, 周毅. 夏半年南疆地区地温特征及反演模式探讨[C]//谢金南. 西北卫星遥感技术应用. 北京: 气象出版社, 1999: 236-240.
- [8] 张晓煜, 王连喜, 李风霞, 等. 利用 AVHRR 资料反演宁夏温度[C]//谢金南. 西北卫星遥感技术应用. 北京: 气象出版社, 1999: 241-244.
- [9] 兰措, 刘萍. 利用 NOAA 卫星资料反演青南地区地表温度[C]//谢金南. 西北卫星遥感技术应用. 北京: 气象出版社, 1999: 245-251.
- [10] 王鹏新, 龚健雅, 李小文. 条件温度植被指数及其在干旱监测中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2001, 26(5): 412-418.

# A Research on a Remote Sensing Drought Monitoring Model in the East Part of Weibei in Shaanxi Province

LI Xing-min<sup>1</sup>, ZHENG You-fei<sup>1</sup>,  
LIU An-lin<sup>2</sup>, ZHANG Shu-yu<sup>2</sup>, DENG Feng-dong<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental Sciences, NIM, Nanjing 210044, China;

2. Remote Sensing Information Center for Agriculture of Shaanxi Province, Xi'an 710015, China)

**Abstract:** This paper establishes a remote sensing drought monitoring model for the investigated region based on the data of NOAA/AVHRR in 1991 and the meteorological observation data by applying a stepwise regression method. The data are obtained on clear days. The model has been used to monitor the spring drought in 2002, and results show that not only the spatial pattern but also the the degree of drought accord with the observations of soil relative humidity.

**Key words:** satellite remote sensing; stepwise regression method; drought monitoring; model