

在 GIS 支持下用 NOAA/AVHRR 数据 进行旱情监测*

武晓波 阎守邕 田国良 王世新 肖春生

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 旱灾是影响农作物生产的一种重大自然灾害,它对中国北方春小麦生产的影响极大。本文介绍了一个应用遥感、GIS 技术对黄淮海平原春小麦的旱情进行监测的系统及其方法。它综合使用了 NOAA/AVHRR 数据、地面气象资料和地图,选用作物缺水指数(CWSI)模型和热惯量模型对旱情进行监测。监测结果分别用分县的旱情等级分布图和相应不同等级的旱情面积、面积比例数统计表来表示。该系统自 1994 年起投入运行 3 年,监测结果与实测数据比较,平均精度为 83.6%。

关键词 NOAA/AVHRR, 遥感, GIS, 旱灾监测

1 前 言

旱灾作为影响农作物生产的重大气候灾害之一,气象部门对它的监测非常重视,各地的气象台站很早就开展了土壤水分在内的农业气象观测。遥感技术出现以后,它获得的数据很快被应用于土壤水分的监测和研究。如 Schmugde, Dobson, 田国良等人应用微波和合成孔径雷达数据进行土壤水分监测的研究^[1-3]。Price, Jackson, 马霁乃, 田国良等人应用 NOAA/AVHRR 数据计算热惯量、作物蒸散进行土壤含水量模型的研究^[4-6]。他们的工作揭示了土壤水分与遥感数据之间存在的内在联系,为利用遥感数据进行土壤水分监测作了理论准备。

用遥感数据进行实时、大面积、高精度的农作物旱情监测的技术难点在于数据量大、空间数据处理以及数据的快速处理能力。到 90 年代初,计算机、地理信息系统的发展已能够提供解决上述三大难题的关键技术。在计算机领域,微机所用 Intel 386 芯片的运算速度已达到 33M/s,内存 4M,硬盘 100M。1995 年时,芯片已从 386 升级为 586,运算速度可达 133M/s,内存 16M,硬盘 1G。在地理信息系统领域,国内许多相关研究机构和高校都已经开发出了较成熟的软件系统。其中,中国科学院遥感应用研究所开发的 GCODE 软件具有良好的空间数据分析

处理功能。

2 监测原理

李克让等人对干旱的概念及划分方法做过深入研究^[7]。本文针对黄淮海平原春小麦的生长,把土壤水分即土壤中含水量的多少作为衡量干旱程度的标准。在春小麦不同的生长期,采用不同的方法估算土壤水分。初春季节的返青期,使用热惯量法。返青结束到成熟期,使用作物缺水指数法。

2.1 热惯量法

土壤热惯量反映了土壤的热特性。根据隋洪智等人的研究^[8],它与土壤表层水分之间存在着良好的线性关系,适用于裸土或低覆盖率条件下土壤水分的估算。

热惯量的定义表达式为:

$$P = \sqrt{\rho c \lambda} \quad (1)$$

其中, P 为热惯量 ($\text{Jm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{s}^{1/2}$); ρ 为密度 (kgm^{-3}); c 为比热容 ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$); λ 为热导率 ($\text{Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$)。

根据隋洪智等人得出的结论,在不考虑土壤类型的情况下,

$$W = -61.058 + 0.0812P \quad (2)$$

其中, W 为土壤重量含水率。

土壤热惯量 P 由 NOAA/AVHRR 数据由下式

* 国家“8·5”重点科技攻关项目 85-724-01-04 “黄淮海平原旱灾遥感监测”。

收稿日期: 1997-10-17; 收到修改稿日期: 1998-03-17

计算

$$P = 2Q(1 - A) / \Delta T \quad (3)$$

其中, Q 为总辐射 (Jm^{-2})。

$A = 0.52A_{ch1} + 0.474A_{ch2}$, A_{ch1} , A_{ch2} 分别为 AVHRR 第 1, 2 通道的反射率。

$\Delta T = T_{ch42} - T_{ch41}$, T_{ch42} , T_{ch41} , 分别为 AVHRR 第 4 通道午后和夜间的红外辐射温度。

2.2 作物缺水指数 (CWSI) 法

作物缺水指数 CWSI (Crop Water Stress Index) 是通过作物冠层温度反映作物根系范围内的土壤水分信息的一个量。作物冠层温度可由 NOAA / AVHRR 数据经反演得到。它由 Jackson 提出^[9]后, 张仁华、田国良等人对此模型作了研究和改进。本文使用田国良等人提出的计算模型。

作物缺水指数的定义式为:

$$CWSI = 1 - Ed / Ep \quad (4)$$

其中, Ed , Ep 分别为日蒸散与日潜在蒸散, 单位为 mm / d。

Ed , Ep 的计算详见文献 [10]。

3 数据处理流程与系统结构

以上述监测模型为核心, 我们建立了黄淮海平原旱情监测系统 HHHHMS。监测模型需要气象台观测数据和 NOAA / AVHRR 图像两类数据。为了把旱情监测结果以县级行政单元为单位表示出来, 系统还需要第 3 类数据——地图。

气象台的观测数据是以 ASCII 文本格式提供的。它包括黄淮海地区 68 个台站所测得的 13 个气象要素值:

- (1) 最高气温 ($0.1^{\circ}C$);
- (2) 最低气温 ($0.1^{\circ}C$);
- (3) 日平均气温 ($0.1^{\circ}C$);
- (4) 日平均风速 ($0.1m / s$);
- (5) 日平均比湿 ($0.1g / kg$);
- (6) 日平均相对湿度 (%);
- (7) 日降水量 ($0.1mm$);
- (8) 日平均云量 (0.1 成数);
- (9) 日平均气压 ($0.01kPa$);
- (10) 14 时比湿 ($0.1g / kg$);
- (11) 14 时相对湿度 (%);
- (12) 14 时风速 ($0.1m / s$);
- (13) 14 时气温 ($0.1^{\circ}C$)。

为便于利用数据库管理系统 FOXBASE 对其进行管理和用 C 语言对其进行访问, 进入系统后将其转换为 DBF 格式。由于系统对区域的旱情监测是通过把整个区域划分为 $2.2km \times 2.2km$ 大小的网格, 估算每一个网格的土壤水分来实现的, 所以必须把离散的观测数据插值成为栅格数据才能参加 CWSI 模型的运算。系统所用的插值方法为最小二乘法结合趋势面法。插值一次在 386 机器上约需 45min, 在 486 机器上只需 12min。CWSI 模型需要 8 个气象要素: 最高气温、最低气温、平均气温、14 时气温、平均风速、14 时风速、14 时湿度及饱和水汽压。其中,

$$14 \text{ 时湿度} = (\text{日平均气压} \times 14 \text{ 时比湿} \times 0.01) / 622$$

饱和水汽压 = 14 时湿度 / 14 时相对湿度
完成全部插值在 386 机器上需 6h, 在 486 机器上需 1h40min。

HHHMS 需要使用 NOAA / AVHRR 第 1, 2, 4, 5 通道的数据。由于大气层的存在, 携带由地表信息的电磁波在被遥感器接收之前, 其强度、波谱、空间分布、方向和极化等都会有所改变。所以, 遥感数据在应用之前必须进行大气影响的订正。系统中对 NOAA / AVHRR 原始数据的大气订正采用了秦益等人的研究结果^[11, 12]。

县界地图在进入系统前所进行的一系列处理由 GIS 软件完成。我们使用了中国科学院遥感应应用研究所地理信息系统研究室研制的 GCODE。此外, 系统中的像图配准、监测结果的栅格化、县界叠加及旱情分布图输出模块也是从 GCODE 中移植过来的。

图 1 简要说明了系统的功能结构以及对 3 类数据的处理流程。其中虚线以下部分不属于 HHHHMS。它是系统建立时需要利用的 GIS 软件的功能。

HHHMS 是按数据驱动原则设计的。假定使用者非常了解 HHHHMS 的工作原理和数据处理的步骤。图 1 表明用户可通过界面运行任何一个模块。各模块之间是通过数据连接的, 相互不可直接调用。由于数据处理的顺序性, 使用时模块的调用也要按一定的顺序进行。

使用热惯量模型时, 按以下顺序操作:

- (1) 调用‘大气订正’模块对 NOAA / AVHRR 原始数据进行 TOVS 法大气订正;
- (2) 调用‘像图配准’模块把订正后的图像配准到县界图上;
- (3) 调用‘参数反演’模块把图像灰度值反演为

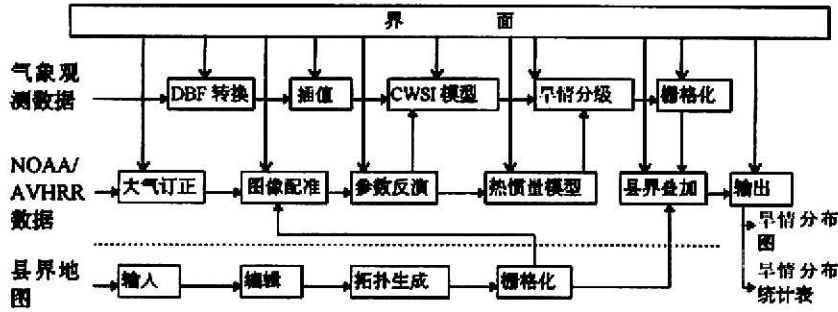


图1. HHDMS数据处理流程与功能结构图

Fig.1 Sketch of data processing and function module of HHDMS

地面物理参数;

(4) 调用‘热惯量模型’模块使用得到的地面物理参数估算土壤水分;

(5) 调用‘早情分级’模块把估算出的土壤水分值按一定标准划分为不同的早情级别(见4、早情划分与结果输出);

(6) 调用‘栅格化’模块把早情级别数据转换为栅格图形数据格式;

(7) 调用‘县界叠加’模块栅格化后的早情级别数据叠加到县界图上;

(8) 调用‘输出’模块生成并输出早情分布图和早情分布统计表。

使用 CWSI 模型时,按以下顺序操作:

(1) 准备 NOAA/ AVHRR数据。按“使用热惯量模型”操作的前3步进行;

(2) 调用‘DBF转换’模块把原始气象台站观测数据转换为 DBF格式;

(3) 调用‘插值’模块把 CWSI模型所需要的8个气象要素插值到平面上;

(4) 调用‘CWSI模型’模块使用准备好的 NOAA/AVHRR数据和气象数据估算土壤水分;

(5) 以下操作同“使用热惯量模型”。

4 早情划分与结果输出

按照国家气象局早情分级标准,系统中以 20cm 深土壤湿度 w 占田间持水量 w_f 百分比来区分早情。因它与 CWSI 存在如下线性关系:

$$w / w_f = 1.018 - 0.678CWSI$$

所以也可直接用 CWSI 值进行划分。热惯量模型直接计算出重量含水率,与 w / w_f 值划分法相同。标准如下。

早级	w / w_f	CWSI
----	-----------	------

重旱	< 0.4	> 0.913
中旱	0.4—0.5	0.765—0.913
轻旱	0.5—0.6	0.617—0.764
正常	0.6—0.8	0.322—0.616
湿润	> 0.8	< 0.322

分级图像经栅格化成为二进制栅格文件,与县界叠加分析后可生成县的早情分级分布图。同时可计算出每个县各早情级别的像元数,与该县总像元数相比,可得出各早级面积分布比例,它与该县小麦播种面积相乘,可得到各早级分布的面积。把各早级分布的面积与比例数作为监测结果记入数据库。早情分级分布图和监测结果数据可随时打印输出。

图2是1994年4月13日HHDMS输出的黄淮

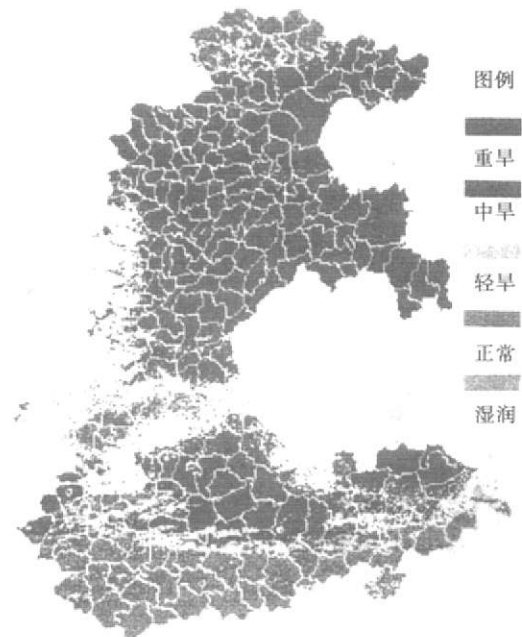


图2 HHDMS输出的早情分布图

Fig.2 Drought distribution map output by HHDMS

海平原旱情分布图。

5 结果评价及展望

利用黄淮海平原地区不同测站相近日期土壤水分占田间持水量百分比实测值检验了监测结果的精度。根据该地区 49 个站测量值,分别对 1994 年的 5 次监测结果进行验证,结果如表 1。

表1 监测精度表

Table 1 Precision table of monitoring

省市	日期				
	3月4日	3月26日	4月13日	4月30日	5月8日
北京	84.0	86.0	85.0	88.0	85.0
天津	88.0	88.8	82.5	85.0	87.2
河南	90.6	87.5	83.1	88.8	86.2
安徽	83.3	80.6	86.6	83.3	83.3
江苏	80.0	有云	75.0	81.5	80.0
山东	81.4	85.7	82.8	82.8	85.7
河北	85.7	80.0	84.2	87.1	85.7

其平均精度为83.6%。

系统性能方面,监测一次,包括图表输出,在 386 机器上,用热惯量模型需 2h,用作物缺水指数模型需 8h。在 486 机器上,用不同模型分别需 1h 和 3h。

通过这次研究,我们认为,在 GIS 技术支持下,使用 NOAA/AVHRR 数据,结合较好的模型,对较大区域内农作物的旱情进行动态监测是可行的。HHHDMS 虽然已被农科院区划所用来向农业部汇报黄淮海地区的旱情,但它仅仅是一个研究性的应用软件,还有许多可改进之处。如在操作方面,对用户要求较高。通过提高其自动化程度,可以降低对用户的要求,使其使用更加方便。

HHHDMS 今后的发展,主要在两方面进行。首先,从适用地域方面,通过增加和改进模型,希望它能适用于全国。其次,从气象卫星的应用方面,我们希望抽出其框架,形成一个气象卫星应用支持系统。结合不同的应用模型,就可成为不同的应用系统。这两方面的工作正在进行,预期不久将有较大进展。

致谢

本研究得到了国家“8·5”重点科技攻关项目“遥感技术应用”的支持。秦益、余涛、隋洪智、李付琴、丁纪等参加了研究工作。在此向以上各位表示衷心感谢。

作者简介

武晓波,1965年生,1986年毕业于长春地质学院,1989年在中国科学院遥感应用研究所获“地图学与遥感”专业硕士学位。主要从事遥感、地理信息系统开发及其应用。

参考文献

- 1 Thomas Schmudge et al, Passive Microwave Soil Moisture Research. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1986, GE-24(1).
- 2 M. C. Dobson, F. T. Ulaby. Active Microwave: Soil Moisture Research. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1986, GE-24(1): 23—36.
- 3 田国良等. 机载合成孔径雷达图像监测土壤水分的初步分析. 黄河流域典型地区遥感动态研究. 北京: 科学出版社, 1990, 102—111.
- 4 J. C. Price. On the analysis of Thermal Infrared Imagery: The Limited Utility of Apparent Thermal Inertia. *Remote Sensing of Environment*, 1985, 18: 59—73.
- 5 Jackson, R. D., Hatfield, J. L. Reginato, R. J., Idso, S. B., Pinter, p. J. Estimation of Daily Evapotranspiration from one Time-of-day Measurement. *Agric. Water Mgt* 1983, 7: 351—362.
- 6 马嵩乃, 薛勇. 土壤含水量遥感信息模型的研究. 黄河流域典型地区遥感动态研究. 北京: 科学出版社, 1990, 133—139.
- 7 李克让等. 华北平原旱涝气候. 北京: 科学出版社, 1990.
- 8 隋洪智等. 热惯量方法监测土壤水分. 黄河流域典型地区遥感动态研究. 北京: 科学出版社, 1990, 122—131.
- 9 Jackson R. D., S. B. Idso, R. J. Reginato, P. J. Pinter, Jr. Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resource Research*, 1981, 17, (4): 1133—1138.
- 10 田国良等. 用 NOAA / AVHRR 数字图像和地面气象站资料估算麦田的蒸散和土壤水分. 黄河流域典型地区遥感动态研究. 北京: 科学出版社, 1990, 161—175.
- 11 秦益, 田国良. NOAA / AVHRR 图像大气影响校正方法研究及软件研制. *环境遥感*, 1994, 9, No.1, pp.11—21.
- 12 秦益, 田国良. NOAA / AVHRR 图像大气影响校正方法研究及软件研制. *环境遥感*, 1994, 9(2): 81—91.

Using NOAA/AVHRR Data to Monitor Drought with GIS Technique

Wu Xiaobo Yan Shouyong Tian Guoliang Wang Shixing Xiao Chunsheng

(Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences Beijing 100101)

Abstract Drought is a major kind of natural disaster that severely influences agricultural production, especially on the growing spring wheat in boreal China. This paper introduces a method and software which use Remote Sensing and GIS technique to monitor drought of spring wheat in Great East Plain of China. This method applies thermal inertia model and CWSI model to estimate soil moisture with NOAA/AVHRR data and meteorological observation data. Under the support of GIS technique, monitoring result is presented by a map which expresses the spatial distribution of different drought levels, as well as a statistic form which shows the area and percentage of various drought degrees in each county. This software system has been operated for three years since 1994. Tested and verified by observation data, the monitoring result has 83.6% precision in average.

Key words Remote sensing, GIS, NOAA/AVHRR, Drought monitoring