

# 基于 MODIS 数据的山东省土壤墒情遥感 动态监测与分析

马建威<sup>1</sup>, 黄诗峰<sup>2</sup>, 胡健伟<sup>3</sup>, 章四龙<sup>3</sup>, 李小涛<sup>2</sup>

(1. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;

2. 中国水利水电科学研究院遥感中心, 北京 100048;

3. 水利部水利信息中心, 北京 100053)

**摘 要:**干旱灾害是我国主要的自然灾害之一。近年来,连续性、极端干旱灾害时有发生,对我国粮食安全、饮水安全和生态安全造成严重威胁。土壤墒情是旱情监测的重要指标,遥感技术具有观测范围广、实时性强以及成本低廉等优势,可以广泛应用于土壤墒情监测。本文分析了土壤墒情与地表参数 *NDVI*(归一化植被指数)和 *LST*(地表温度)的关系,建立了基于 *NDVI* 和 *LST*、并考虑土壤类型的土壤墒情遥感监测模型。利用该模型,基于 MODIS 遥感影像和地面实测墒情,对 2010 年 10 月到 2011 年 5 月山东省旱情进行了动态监测。监测结果显示:山东省的旱情经历了不断加重,再到逐渐缓解,然后又局部加重,最终全部缓解的过程,干旱核心区为鲁南地区,与实际情况一致。

**关键词:**MODIS;土壤墒情;山东省;干旱;遥感监测

中图分类号: TP79;X833

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)03-0029-05

## 1 引言

干旱灾害是我国主要的自然灾害之一。由于我国幅员辽阔、地形复杂,局地性或区域性的干旱灾害几乎每年都会出现。据统计,近十几年,我国干旱灾害频繁发生,影响范围不断扩大,损失增长趋势明显,连续性、极端干旱灾害时有发生,对我国粮食安全、饮水安全和生态安全造成严重威胁,成为制约我国经济发展主要因素之一<sup>[1]</sup>。

土壤墒情监测分析是抗旱工作的耳目和参谋,在历年的抗旱工作中发挥了重要作用,也取得了巨大的经济效益和社会效益。传统的土壤墒情监测方法是基于测站的点监测方式,只能获得少量的点上数据,再加上人力、物力、财力等因素的制约,难以迅速而及时地获得大面积的土壤水分和作物信息,使得大范围的旱情监测和评估缺乏时效性和代表性。而遥感旱情监测方法则是面上的监测,具有监测范围广、空间分辨率高、信息采集实时

性强和业务应用性好等特性,可有效弥补地面观测系统成本高、空间覆盖率低和观测滞后的缺点,能够为各级减灾部门提供及时高效的决策支持服务。随着卫星遥感技术的迅速发展,干旱遥感监测模型实用化程度越来越高,遥感技术已成为旱情监测重要支撑手段。

本文基于 MODIS 数据,计算 *NDVI* 和地表温度,结合地表实测数据、土壤类型数据,构建土壤墒情反演模型。并应用该模型对 2010 年 10 月到 2011 年 5 月发生在山东省的旱情进行动态监测。

## 2 研究区和数据

2010 年冬至 2011 年春,我国北方冬麦区发生严重干旱,山东省是重旱区之一。本文选择山东省作为研究区。

开展土壤墒情遥感监测主要涉及两方面数据:遥感影像数据与地面墒情实测数据。

收稿日期:2012-07-11

基金项目:水利部“948”项目“土壤墒情卫星遥感实时监测分析系统技术引进”(201015);水利部公益性行业科研专项“灾难性洪旱回溯模拟及对策评估关键技术研究”(201001078)

作者简介:马建威(1988-),男,河南濮阳人,硕士,研究方向遥感和生态环境等方面的应用研究。E-mail:jw.hu@mwr.gov.cn



## 2.1 遥感影像

本文选用美国的 EOS/MODIS 卫星遥感影像作为山东省土壤墒情遥感反演的数据源。MODIS 影像具有波段多(36 个)、空间分辨率适中(其中 2 个波段为 250m, 5 个是 500m, 其余 29 个波段是 1 000m)、时间分辨率高(在双星运行时可达 0.5d)、扫描宽度大(2 230km)且可免费接收等突出特点,是土壤墒情遥感监测的最为常用的数据源之一。

根据 2011 年山东省旱情发生发展过程,本文收集了 2010 年 10 月 22 日、2011 年 2 月 21 日、2011 年 3 月 10 日、2011 年 3 月 30 日、2011 年 4 月 11 日、2011 年 5 月 12 日 6 个时段的 MODIS Level 1B 空间分辨率为 1km 的影像数据(MOD021KM)以及与之对应的 MOD03 地理定位数据。

根据土壤墒情反演的需要,论文对获取的遥感影像进行了大气校正,以及归一化植被指数(NDVI)和地表温度(LST)的计算。其中地表温度算法采用 MODIS 标准地温反演算法,即 Wan 和 Dozier 提出的广义分裂窗算法,计算公式如下<sup>[2]</sup>:

$$LST = \left( A_1 + A_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + A_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \right) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} + \left( B_1 + B_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + B_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \right) (T_{31} - T_{32}) + C \quad (1)$$

式中:  $\varepsilon = 0.5(\varepsilon_{31} + \varepsilon_{32})$ ;  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{31} - \varepsilon_{32}$ ; 发射率  $\varepsilon_{31}$ 、 $\varepsilon_{32}$  根据土地覆盖类型从查找表中获得;  $T_{31}$  和  $T_{32}$  是 31 和 32 两个通道的亮温;  $C$ 、 $A_i$ 、 $B_i$ ,  $i=1, 2, 3$  由一系列查找表给定。这些查找表可通过多种地表和大气条件的大气辐射传输模拟的线性回归得到。进而经过镶嵌、投影、裁剪等操作后得到研究区的 NDVI 和 LST。

## 2.2 地面墒情实测数据

地面墒情实测数据对于土壤墒情遥感反演必不可少,是模型率定的重要依据。本文收集了山东省 2010 年 10 月至 2011 年 5 月土壤含水量实测资料,并根据各测站土壤田间持水量,将土壤绝对含水量转换为土壤相对含水量。

## 3 土壤墒情反演方法

20 世纪 80 年代以来,遥感监测土壤水分的研究得到迅速和全面的发展,研究涉及地面遥感、航空遥感和卫星遥感;所使用波段从可见光、(近、中远)红外、热红外到微波遥感,监测日趋多样化<sup>[3]</sup>;方法主要是热惯量法、植被指数法、温度-植被指数法、基于能量平衡的蒸散法和微波遥感法等。微波遥感法被认为是监测

土壤墒情的最佳途径,但是其容易受粗糙度和植被的影响,其广泛应用受到了一定的限制,且进行大范围土壤墒情监测时,精度有待提高<sup>[4]</sup>。本文选择 NDVI-LST 特征空间法进行土壤墒情遥感反演。

Carlson 等利用 SVAT 模型研究了土壤含水量和植被覆盖率及地表温度的关系,证明了可以利用 LST 和植被覆盖率(FVC)估算土壤含水量(SM)<sup>[5]</sup>:

$$SM = \sum_{i=0}^{i=2} \sum_{j=0}^{j=2} a_{ij} FVC^{(i)} LST^{*(j)} \quad (2)$$

式中:  $a_{ij}$  为多项式系数;  $LST^*$  为归一化地表温度:

$$LST^* = \frac{LST - LST_o}{LST_s - LST_o} \quad (3)$$

式中:  $LST$  为地表温度;  $LST_s$  为最大地表温度;  $LST_o$  为最小地表温度。

在实际应用中,植被覆盖率很难直接得到,但与 NDVI 有一定关系。Carlson 等说明了土壤含水量和 NDVI 及 LST 之间存在称为“特征空间”的关系,如图 1 所示<sup>[6]</sup>。

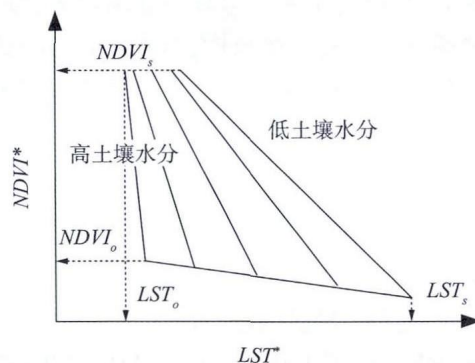


图 1 NDVI-LST 特征空间

Fig.1 NDVI-LST space

Lambin 等曾从蒸腾、蒸发以及植被覆盖度的角度,对特征空间进行了较为明确的阐述和分析<sup>[6]</sup>。基于 NDVI-LST 特征空间, Sandholt 等在研究土壤含水量时发现 NDVI-LST 特征空间中有很多等值线,如图 2 所示<sup>[7]</sup>。

在此基础上,利用 MODIS 数据和地面观测研究了实时反演土壤含水量,通过大量的实验和分析,发现基于归一化植被指数和地表温度的多元回归可以很好地反演土壤含水量,但要考虑土壤类型的不同,分类进行多元回归<sup>[8-11]</sup>。

$$SM = \sum_{i=0}^{i=2} \sum_{j=0}^{j=2} a_{ij} NDVI^{*(i)} LST^{*(j)} \quad (4)$$

其中:  $NDVI^* = \frac{NDVI - NDVI_o}{NDVI_s - NDVI_o}$  为归一化 NDVI;  $NDVI_s$  是



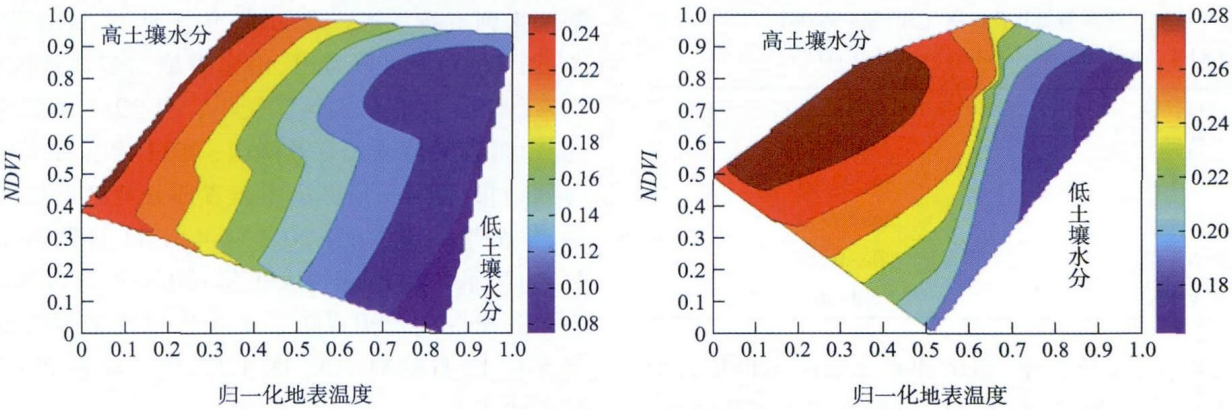


图2 NDVI-LST 特征空间中 等值线  
Fig.2 The contour plotting of NDVI-LST space

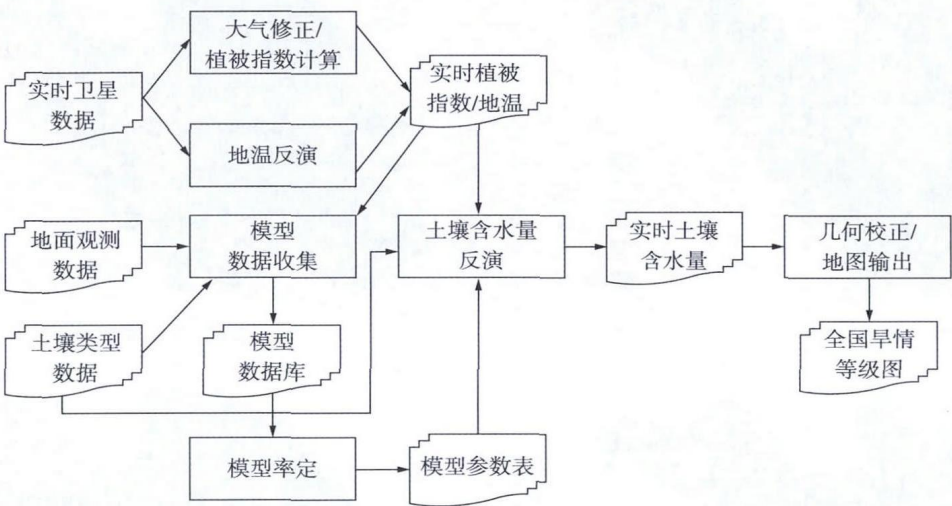


图3 旱情监测技术流程图  
Fig.3 Flow chart of the drought monitoring

最大  $NDVI$ ;  $NDVI_0$  是最小  $NDVI$ ;  $SM$  为 0~40cm 土壤平均相对含水量。

图 3 为本次研究的技术流程图。在完成植被指数计算和地表温度反演后,进行模型数据收集:如果对应的时间(天)有地面观测,对每个地面站点,计算它与每个遥感像元的距离,从而寻找到与地面站点对应的遥感像元,然后把站点编码,时间,站点对应的土壤类型、植被指数、地表温度,和站点土壤水分含量整合成一条记录,添加到记录文件中。其中距离计算采用 Vincenty 的算法,该算法可以达到厘米级别的精度<sup>[12]</sup>。在完成模型数据收集后,根据公式(4),按照土壤类型的不同,分土壤类型建立土壤水分反演模型。然后根据建立的土壤水分反演模型,利用计算得到的地表温度和植被指数,结合土壤类型图,反演得到土壤水分分布图。在此基础上,根据水利行业标准 SL 424-2008

中的干旱等级划分标准(如表 1 所示),进一步进行旱情等级划分和统计。若研究当天只有遥感数据而没有对应的地面观测数据,则选择最临近日期的已率定的模型参数进行土壤水分反演,从而保证了旱情监测的时效性。

4 结果分析

利用 NDVI-LST 特征空间法,对山东省 2010 年 10 月 22 日、2011 年 2 月 21 日、2011 年 3 月 10 日、2011 年 3 月 30 日、2011 年 4 月 11 日、2011 年 5 月 12 日六个时段的土壤墒情进行了反演,结果分别如图 4 (a~f)所示。从 2010 年 10 月 22 日土壤墒情反演结果(图 4(a))看,此时山东省绝大多数地区墒情为正常状态,显示旱情刚刚发展;其后,由于山东省大部分地区长达 140 多天无有效降雨,2011 年 2 月 21 日的反演



表1 干旱等级划分标准 (SL 424-2008)  
Table1 Standard of classification for drought severity

旱情等级	土壤平均相对含水量 $SM/\%$ (0~40cm)
湿润	$SM>60$
轻度干旱	$50<SM<60$
中度干旱	$40<SM<50$
严重干旱	$30<SM<40$
特大干旱	$SM<30$

结果(图 4(b))显示鲁中、鲁南和鲁北地区出现特大干旱;2011 年 2 月 25~2 月 28 日,山东省连续多日降雨,

旱情得到有效缓解。在 2011 年 3 月 10 日的旱情等级图(图 4(c))上可以看出,山东省绝大多数地区墒情为正常状态,仅有个别地区受旱;自 2011 年 2 月 28 日起,山东省又持续无有效降雨,2011 年 3 月 31 日遥感监测结果(图 4(d))显示山东省部分地区出现轻旱;其后,旱情进一步发展,2011 年 4 月 11 日监测结果(图 4(e))显示鲁南出现特大干旱;2011 年 5 月 8~10 日,山东省出现大范围降雨,山东省旱情基本缓解,2011 年 5 月 12 日监测结果(图 4(f))显示全省绝大部分地区墒情正常。

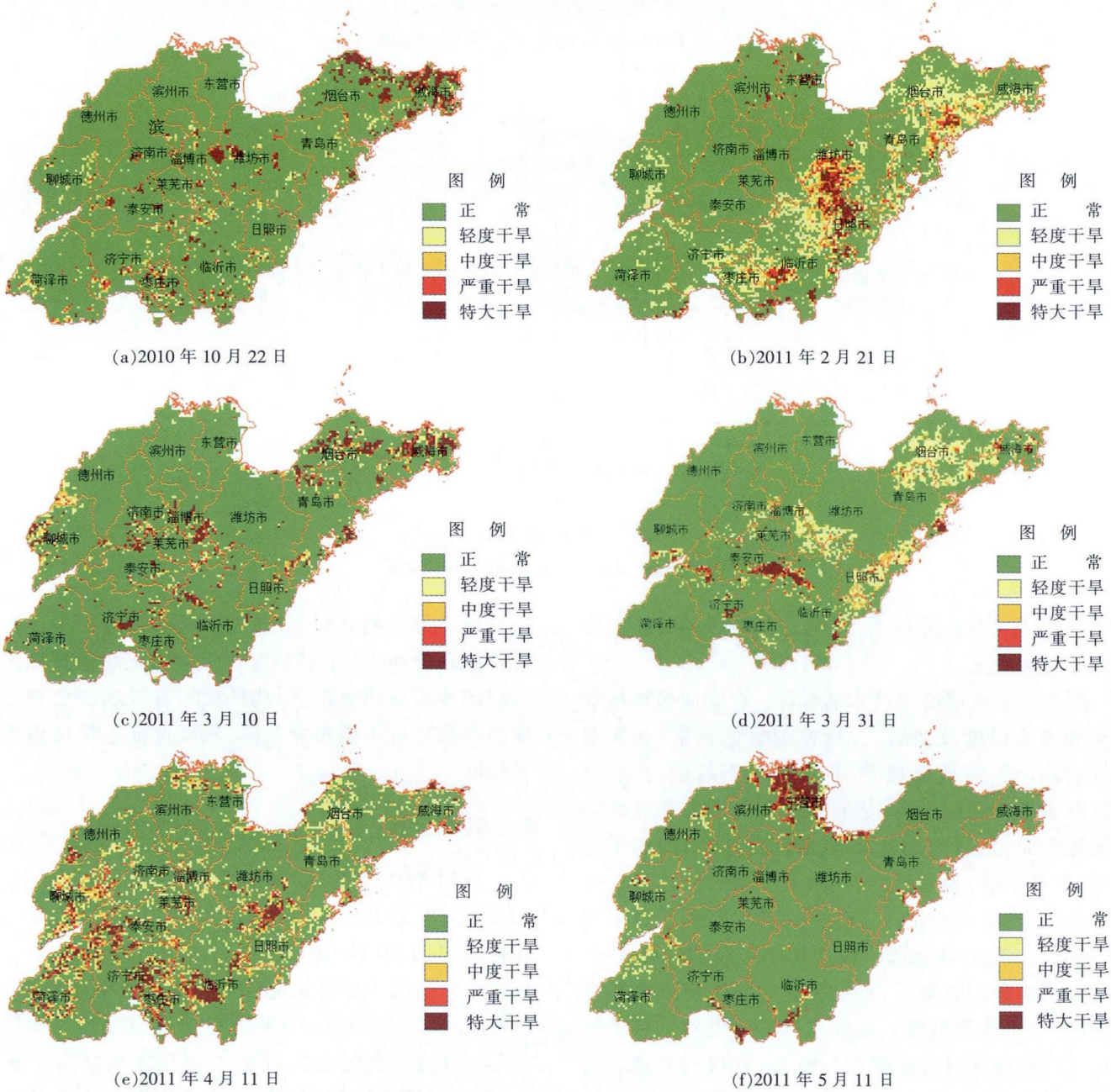


图 4 山东省不同时间旱情等级图  
Fig.4 The maps of classification for drought in Shandong province



为了进一步分析山东省 2011 年春季旱情发生发展过程,本文计算了不同时间不同等级受旱面积占全省土地的比例(图 5),从中可以发现:2011 年 2 月 21 日,旱情最为严重,轻旱以上面积比例为 22.3%,约占全省面积的 1/4;在 2011 年 2 月 25~28 日连续多日降雨后,2011 年 3 月 10 日,全省轻度干旱以上面积比例仅为 12%,全省旱情有效缓解;2011 年 4 月 11 日,山东省部分地区再次受旱,全省特大干旱面积比例为 5.5%,主要分布于鲁南地区;2011 年 5 月 12 日,正常面积所占比例为 93.5%,全省旱情基本解除。

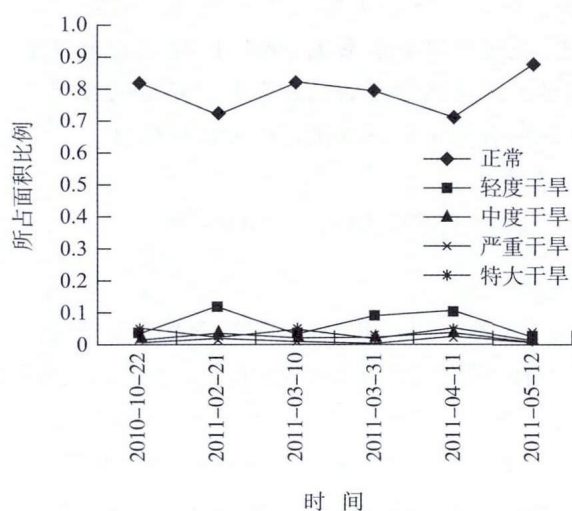


图 5 山东省不同时间不同旱情等级所占比例图

Fig.5 The scale map of classification for drought in Shandong province

可以看出山东省的旱情发展变化,该变化与实际旱情发展基本一致<sup>[13]</sup>。

## 5 结论与讨论

本文以 MODIS 数据为基础,建立了考虑土壤类型的 NDVI-LST 土壤墒情反演模型,对 2010 年 10 月到 2011 年 5 月发生在山东省的旱情进行了动态监测。监测结果显示:2011 年山东省春季干旱经历了不断加重,再到逐渐缓解,然后又局部加重,最终全部缓解的过程,干旱核心区为鲁南地区,与实际情况一致。研究结果表明文中所建土壤墒情反演模型,由于充分考虑了地表实测墒情数据和土壤类型的差异,其监测结果与实际情况较为符合,可有效的用于区域旱情动态监测。

由于受云层影响,可用于土壤墒情监测的 MODIS 数据时相尚不够多,难以对旱情进行逐日监测。本文对山东省 2011 年旱情监测,只选用的 6 个时相的 MODIS 影像,对山东省旱情主要过程点进行了监测,

今后要在模型中考虑薄云去除技术,以提高遥感监测的频次。另外,本文采用 MODIS 数据作为旱情监测数据源,其空间分辨率较低(1km),监测精度尚需进一步提高,以后的工作中,可考虑选用空间分辨率更高的 HJ-1A/B 遥感影像进行旱情遥感监测。对于我国长江以南地区,由于其长年少晴多云雨,本文提出的方法应用受到了一定的限制。在这种情况下,应考虑用雷达数据来弥补光学遥感数据的缺失。雷达具有全天候、全天时、不受云雨影响的成像能力,保证了遥感数据的获取。基于光学和雷达数据融合来反演土壤水分,吸收各数据的优点,建立更为有效的旱情监测模型,从而提供更准确和更具时效性的旱情监测是我们另外一个研究点。

### 参考文献:

- [1] 齐述华. 干旱监测遥感模型和中国干旱时空分析[D]. 中国科学院研究生院(遥感应用研究所),2004. (QI Shuhua. Drought Monitoring Models with Remote Sensing and Spatial-temporal Characteristics of Drought in China[D]. Graduate University of Chinese Academy of Sciences(Institute of Remote Sensing Application Chinese Academy of Science),2004. (in Chinese))
- [2] WAN Zhengming, Dozier J. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space[J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1996, 34(4):892-905.
- [3] 刘志明,张柏,晏明,等. 土壤水分与干旱遥感研究的进展与趋势[J]. 地球科学进展, 2003(4):576-583. (LIU Zhiming, ZHANG Bai, YAN Ming, et al. Some research advances and trends on soil moisture and drought monitoring buy remote sensing[J]. Advance in Earth Science, 2003(4):576-583. (in Chinese))
- [4] 高峰,王介民,孙成权,等. 微波遥感土壤湿度研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2001(2):97-102. (GAO Feng, WANG Jiemin, SUN Chengquan, et al. Advances in study on microwave remote sensing of soil moisture [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2001(2): 97-102. (in Chinese))
- [5] Carlson T, Gillies R, Perry E. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. Remote Sensing Reviews, 1994(9):161-173.
- [6] Lambin E F, Ehrlich D. The surface temperature-vegetation index space for land cover and land-cover change analysis[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(3):463-487.
- [7] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of soil moisture status[J]. Remote Sensing of Environment, 2002(79):213-224.
- [8] WANG Lingli, QU John J, ZHANG Silong, et al. Soil moisture retrieval using EOS MODIS and ground measurements in the eastern China. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(6):1413-1418.

(下转第 42 页)



- [3] 孙中任,甄凡玉,赵雪娟. MapGIS 数据与 Surfer 数据相互转换的实现[J]. 地质与资源,2008,17. (SUN Zhongren,ZHEN Fanyu,ZHAO Xuejuan. A mutual conversion method between MapGIS data and Sufer data[J]. Geology and Resources,2008,17. (in Chinese))
- [4] 陈欢欢,李星,丁文秀. Surfer 等值线绘制中的十二种插值方法简介[J]. 工程地球物理学报,2007(4). (CHEN Huanhuan,LI Xing,DING Wenxiu. Twelve interpolation methods of surfer contour drawing[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics,2007(4). (in Chinese))
- [5] 北京清流科技发展有限公司. Conmas[EB/OL]. <http://www.conmas.net/conmas/conmas.aspx>,2009. (Beijing QingLiu Technology Development Co. Ltd., Conmas[EB/OL]. <http://www.conmas.net/conmas/conmas.aspx>, 2009. (in Chinese))

## Groundwater Information Management and Service System Based on WebGIS for Shanxi Province

NIU Xinyan<sup>1</sup>, WANG Zhenghua<sup>2</sup>, LI Wenwei<sup>2</sup>, ZHANG Yinghan<sup>1</sup>

(1. Beijing Qingliu Technology Development Co. Ltd., Beijing 100073, China;

2. Hydrology and Water Resources Surveying Bureau of Shanxi Province, Taiyuan 030001, China)

**Abstract:** Combined with real business needs in Shanxi Province, In construction of the Shanxi Groundwater Information Management and Application Service System Based on WebGIS, according to the operation needs in Shanxi Province, the advanced technology and design concept were used for groundwater analysis, which can solve the common problems in the groundwater informatization construction. The system running is good in production application, which is a useful exploration and practice for construction of groundwater business management and analysis system in China.

**Key words:** groundwater; WebGIS; control point; cutting; small area-weighted

(上接第 33 页)

- [9] HAO Xianjun. Estimation of Live Fuel Moisture and Soil Moisture Using Satellite Remote Sensing[D]. George Mason University,2006.
- [10] WANG Lingli. Remote Sensing Techniques for Soil Moisture and Agricultural Drought Monitoring[D]. George Mason University,2008.
- [11] Soriano M. Estimation of Soil Moisture in the Southern United States in 2003 Using Multi-satellite Remote Sensing Measurements[D]. George Mason University,2008.
- [12] Vincenty T. Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations [J]. Survey Review,1975,23 (176):88-93.
- [13] [http://news.iqilu.com/shandong/yaowen\[EB/OL\]](http://news.iqilu.com/shandong/yaowen[EB/OL]).

## Dynamic Remote Sensing Monitoring and Analysis of Soil Moisture in Shandong Province Based on MODIS Data

MA Jianwei<sup>1</sup>, HUANG Shifeng<sup>2</sup>, HU Jianwei<sup>3</sup>, ZHANG Silong<sup>3</sup>, LI Xiaotao<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Remote Sensing Technology Application Center, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China;

3. Water Resources Information Center, MWR, Beijing 100053, China)

**Abstract:** Drought disaster is one of main natural disasters in China. In recent years, continuity and extreme drought disasters occur frequently, which seriously threaten food security, water safety and ecological security. Soil moisture is a important factor of drought monitoring. Remote sensing technology can be widely used in the soil moisture monitoring with its advantages of large observation range, powerful real-time performance and low cost. In this paper, the relationship between soil moisture, normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) was analyzed, and a remote sensing monitoring soil moisture model was set up based on NDVI and LST. In the end, based on MODIS image and ground measured data, a dynamic monitoring of soil moisture was carried out in Shandong Province from October 2010 to May 2011. The results show that the drought in Shandong Province began in October 2010, then became more and more serious; Due to raining, the drought, eased a little in the end of February 2011, soon became serious again; In may 2011, the drought basically disappeared. The most serious area of drought is the south Shandong Province. The monitoring results agree with the actual situation.

**Key words:** MODIS; soil moisture; Shandong Province; drought; remote sensing monitoring