

# 基于 MODIS 数据的福建省干旱遥感动态监测分析\*

潘卫华 陈家金 陈 惠 张春桂 李丽纯

(福建省气象科学研究所 福州 350001)

**摘 要** 干旱是影响社会发展和农业生产的重要因素之一,利用 MODIS 数据和气象资料,结合福建省的地形、气候和植被覆盖条件,分别反演出 2004 年和 2006 年的归一化植被指数(NDVI),借助分裂窗法成功反演了两个时相的地表实际温度( $T_s$ ),并建立了基于植被供水指数算法(VSWI)的干旱监测模型。结果表明,对于植被覆盖率高的福建省,利用 VSWI 进行遥感干旱监测是可行的,MODIS 数据可很好地满足大范围的实时动态监测。福建省地表干旱存在着较明显的南北区域差异,东南沿海比中西部严重,从两个时相的对比来看,干旱有加重的发展趋势,而经济发展和城市化进程是引起干旱程度加剧的重要因素。

**关键词** MODIS 地表干旱 动态监测 遥感 福建省

**中图分类号**:S127 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3990(2008)04-1015-05

## Dynamic monitoring of drought in Fujian Province from MODIS remote sensing data

PAN Wei-Hua, CHEN Jia-Jin, CHEN Hui, ZHANG Chun-Gui, LI Li-Chun

(Institute of Meteorological Science, Fujian Province, Fuzhou 350001, China)

**Abstract** Drought is an important influencing factor on the progress of society and agriculture. Using MODIS remotely-sensed and meteorological data for 2004 ~ 2006, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and landscape temperature ( $T_s$ ) of Fujian Province were retrieved by split-windows algorithm relating to a number of factors including topography, climate and vegetation cover. A drought monitoring strategy was subsequently established by Vegetation Water Supply Index (VWSI) model. The results show that VWSI drought monitoring model application is feasible in Fujian Province, which has plentiful vegetation resources. Equally, MODIS remotely-sensed data can be used to monitor continuously large scale drought in Fujian Province. Moreover, the study reveals observable differences in drought between North and South Fujian Province, and the degree of drought on the southeast coast of Fujian is more severe than that in the midwest. Noticeably, drought in Fujian Province is worsening with the passing of time, aggravated by economic development and urbanization.

**Key words** MODIS, Drought, Dynamic monitoring, Remote sensing, Fujian Province

(Received Sept. 30, 2007; accepted Dec. 27, 2007)

近几十年来,干旱已成为世界性的重大自然灾害现象,严重影响了人类社会、经济的可持续发展,并威胁着人类赖以生存的自然环境。全球有 1/2 的土地面积为干旱、半干旱地区,干旱的影响几乎遍及全世界,以季风区和干旱区最为突出。干旱是区域水分收支或供需不平衡形成的水短缺现象,自然界导致干旱发生的因素众多且十分复杂,其形成和发展与很多因素有关,如区域的降水、蒸散和地质条件等。目前,国内外已开展了大量关于干旱监测方面的研究,许多学者利用降水、气温等气象资料,利用数学方法建立各种指标来研究干旱<sup>[1-3]</sup>。

近些年来,随着遥感技术的快速发展,其实时、宏观、周期性的特点使干旱监测方面的研究取得了长足的进步,并由此形成了多种监测方法,如热惯量法、植被供水指数法、距平植被指数法、条件植被指数法等<sup>[4-6]</sup>。相比较传统的卫星遥感数据,MODIS 数据在监测干旱上有 NOAA-AVHRR, Landsat TM 无法比拟的优势,其高时间分辨率、高光谱分辨率、适中的空间分辨率等特点使其在干旱监测中具有突出的优势<sup>[7,8]</sup>。

福建省虽然是我国暴雨高频区之一,但水资源在时空分布上极不平衡,干旱发生比较频繁,活动

\* “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAD04B03)、福建省科技厅重点项目(2006Y0009)和福建省气象局项目(200610)资助  
潘卫华(1980~),男,汉,硕士,主要研究方向为遥感应用和生态环境研究。E-mail: panwh@tom.com  
收稿日期:2007-09-30 接受日期:2007-12-27

季节与成灾范围广泛。据相关资料统计,福建省大约每平均 25 年中就有特旱 1 年,重旱 2 年,中旱 5 年,造成严重的国民经济损失。此外,有研究表明长期干旱已成为诱发森林火灾的主要因素之一,这对森林覆盖率居全国之首的福建省而言值得高度关注。为此,本文以 MODIS 资料为数据源,结合福建省植被覆盖度高的特点,采用植被供水指数法,对福建省地表干旱分布和程度进行了遥感监测,并通过不同时相影像分析,对比了不同年景干旱区域的转移和变化,为动态监测和防治干旱提供科学依据。

## 1 研究区概况和数据预处理

### 1.1 研究区概况

福建省地处东南沿海,气候温暖宜人,雨量充沛,属亚热带海洋性季风气候,但降水分布却极不均匀,旱涝已成为影响福建省经济发展的制约因素之一。由于降水量存在明显的阶段性,且北部沿海和南部沿海降水量周期不同,旱涝情况也存在动态振荡变化,并有干旱加重的趋势<sup>[9,10]</sup>。近年来随着经济的快速发展,由于干旱引起的经济损失也日益严重,值得引起重视。

### 1.2 MODIS 数据预处理

研究选取 2004 年 12 月 5 日和 2006 年 11 月 11 日两幅 MODIS 晴空影像资料作为数据源。由于 MODIS 资料自身的原因,在对影像进行分析应用前必须对数据源进行预处理。MODIS 数据预处理包括 Bowtie Effect(“蝴蝶结”效应)处理、条纹处理、数据定标、几何精校正、投影变化和融合等。MODIS 具体预处理操作包括以下 4 步:(1) Bowtie 处理:MODIS 数据经过辐射校正后生成的 L1B 产品存在着独特的 BOWTIE 现象,使 MODIS 边缘数据无法使用,必须在几何校正前予以去除,利用软件所提供的 BOWTIE 校正工具包予以处理。(2) 几何校正:利用 ENVI 软件提供的 Georeference MODIS 1B 校正方法进行,利用 MODIS 数据自身头文件所携带的经纬度坐标信息进行校正。采用重采样,地面经纬度投影进行地面校正处理。(3) 大气校正:利用最暗像元法进行影像的相对辐射校正,使两幅影像有比较接近的大气状况影响。(4) 研究区提取:利用福建省地理信息数据对研究区进行提取,得到涵盖整个福建省的研究区域,并导入 ENVI 软件中进行图像的相关处理。

## 2 研究方法

目前利用遥感监测干旱的方法主要是热惯量

法和植被供水指数法。热惯量法需求气象资料较多且难以获得,而植被供水指数法利用植被指数、地表温度与土壤湿度的关系来进行干旱监测,所需资料较少,适宜大范围、快速地进行干旱监测。由于植被指数提供了绿色植被的生长状况和覆盖度信息,而地表温度则反映了土壤湿度状况,两者的有机结合使得信息互补,为区域土壤湿度监测提供了依据。此外,降水量的多寡是干旱程度的重要指标之一,而植被指数与降水量有一定的相关性;土壤温度还受水分的影响,热惯量随土壤含水量的增加而增大,通过观测地表温度可进而估测土壤湿度,因此可以利用植被指数对降水量进行估测进而评价区域的干旱程度<sup>[11]</sup>,用于宏观的干旱监测<sup>[12]</sup>。

### 2.1 归一化植被指数

归一化植被指数 (NDVI) 是遥感应应用领域用来定性和定量评价植被覆盖及其生长活力最常用的植被指数。NDVI 可使某些与波段正相关的噪声及直接辐射或漫射辐射发生变化,使云、云阴影、太阳角和视角、地形、大气等的影响最小化,还能在一定程度上消除定标和仪器误差的影响。MODIS 植被指数是在 AVHRR 植被指数的基础上改进设计的,并具有较高的空间分辨率,可反映详细的地表植被信息<sup>[13]</sup>。考虑到 MODIS 采用在轨定标,可提供高精度的定标结果,整体上比 AVHRR 性能稳定。输入无云并经过大气校正的 MODIS 数据,利用植被指数计算公式求取:

$$NDVI = (B_2 - B_1) / (B_2 + B_1) \quad (1)$$

式中,  $B_1$ 、 $B_2$  分别为 MODIS 第 1、2 波段,空间分辨率为 250 m。2004 年和 2006 年福建省归一化植被指数图见图 1 和图 2。

### 2.2 地表温度反演

Qin 等<sup>[14]</sup>提出了两因素地表温度反演分裂窗算法进行 MODIS 数据的地表温度求取,覃志豪等<sup>[15]</sup>针对中国实际情况提出了利用 MODIS 数据的地表温度反演算法。研究中利用覃志豪提取的分裂窗算法对两幅影像进行了地表温度反演,具体反演过程如下:①要反演真实地表温度,必须首先求取 MODIS 第 31 和 32 波段的亮度温度,计算公式为:

$$T_s = A_0 + A_1 T_{31} - A_2 T_{32} \quad (2)$$

式中,  $T_s$  为地表温度 (K),  $T_{31}$  和  $T_{32}$  分别为 MODIS 第 31 和 32 波段的亮度温度,  $A_0$ 、 $A_1$  和  $A_2$  是分裂窗法的参数。②分别对  $T_{31}$  和  $T_{32}$ ,  $A_0$ 、 $A_1$  和  $A_2$  进行计算,其求取公式为:

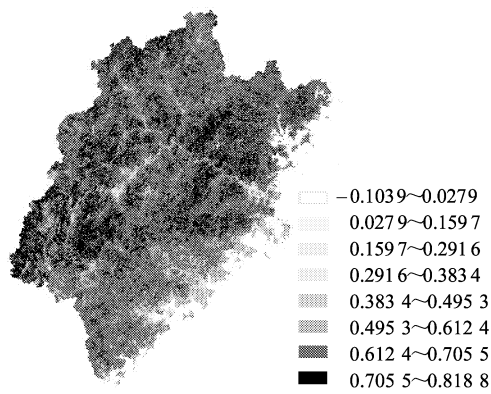


图1 2004年福建省归一化植被指数图

Fig. 1 NDVI image of Fujian Province in 2004

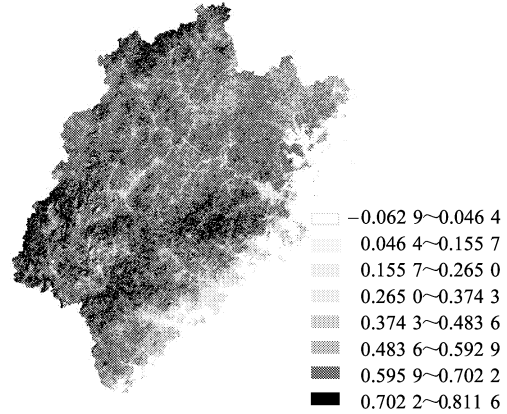


图2 2006年福建省归一化植被指数图

Fig. 2 NDVI image of Fujian Province in 2006

$$A_0 = a_{31} D_{32} (1 - C - D_{31}) / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) - a_{32} D_{31} (1 - C_{32} - D_{32}) / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) \quad (3)$$

$$A_1 = 1 + D_{31} / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) + b_{31} D_{32} (1 - C_{31} - D_{31}) / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) \quad (4)$$

$$A_2 = D_{31} / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) + b_{32} D_{31} (1 - C_{32} - D_{32}) / (D_{32} C_{31} - D_{31} C_{32}) \quad (5)$$

式中,  $a_{31}$ 、 $b_{31}$ 、 $a_{32}$ 、 $b_{32}$  是常量,  $C_i$  和  $D_i$  分别是根据大气透过率和地表辐射率来进行求取的,  $T_{31}$  和  $T_{32}$  为 31 和 32 波段对应的星上亮度温度, 利用如下公式进行求取:

$$T_{31} = K31.1 / \ln(1 + K31.2 / \text{rad}31) \quad (6)$$

$$T_{32} = K32.1 / \ln(1 + K32.2 / \text{rad}32) \quad (7)$$

$$\text{rad}31 = \text{scale}31 (\text{band}31 - \text{offset}31) \quad (8)$$

$$\text{rad}32 = \text{scale}32 (\text{band}32 - \text{offset}32) \quad (9)$$

式中,  $K31.1 = 729.541636$ ,  $K31.2 = 1304.413871K$ ,  $K32.1 = 474.684780$ ,  $K32.2 = 1196.978785K$ ,  $\text{rad}31$  和  $\text{rad}32$  分别为 MODIS 第 31~32 波段的热辐射强度 ( $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot m^{-1}$ );  $\text{band}31$ 、 $\text{band}32$  分别为 MODIS 第 31、32 波段的 DN 值;  $\text{scale}31$  和  $\text{offset}31$  为 MODIS 第 31 波段的辐射定标常量, 可从 MODIS 数据集的属性数据中查出;  $\text{scale}32$  和  $\text{offset}32$  为 MODIS 第 32 波段的辐射定标常量, 也可从 MODIS 数据集的属性数据中查出。通过以上一系列反演算法, 最终得出利用 MODIS 数据对福建省地表温度的遥感制图 (图 3, 图 4)。利用气象站实测数据与遥感反演结果进行回归相关分析, 确定误差范围, 并进行相应系数的调整, 最后得出与实测地表温度最接近的反演结果算法。

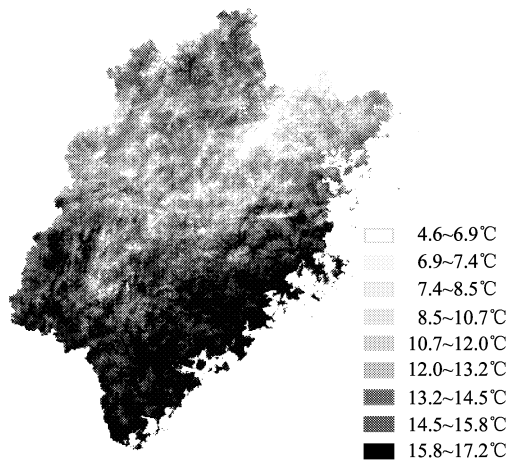


图3 2004年福建省地表温度分布图

Fig. 3 Land surface temperature pattern of Fujian Province in 2004

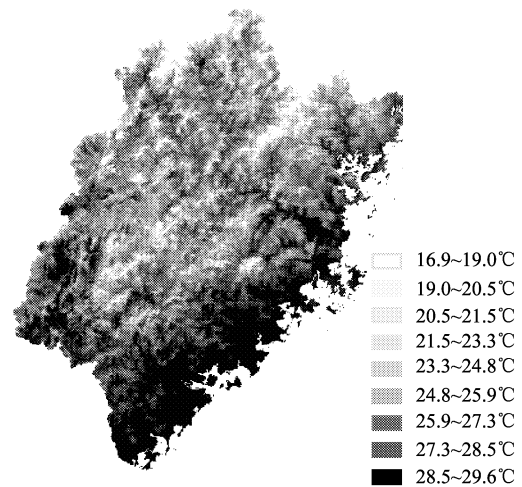


图4 2006年福建省地表温度分布图

Fig. 4 Land surface temperature pattern of Fujian Province in 2006



### 2.3 植被供水指数法的干旱监测

植被供水指数法(VSWI)表征了作物供水正常时,卫星遥感的植被指数和作物冠层温度在一定生长期内的相互关系;当作物遇到干旱或供水不足生长受到影响时,卫星遥感的植被指数数值就会降低,而作物冠层的温度也由于叶面气孔封闭而升高。利用遥感反演出来的 NDVI 值和地表温度  $T_s$  结果,根据国家卫星气象中心提出的植被供水指数的定义如式(10):

$$VSWI = T_s / NDVI \quad (10)$$

式中,  $T_s$  为植被的冠层温度,  $NDVI$  为归一化植被指数,  $VSWI$  为植被供水指数,表示植被受旱程度的相

对大小。利用公式(10)分别将两个时相的  $T_s$  和  $NDVI$  导入 ENVI 软件中进行处理,反演出两个时相的 VSWI 干旱监测图。由于福建省土壤湿度观测站数量明显偏少,利用仅有的福州、晋江农业气象试验站的观测数据,并结合福建省多年的干旱发生频次统计资料,将福建省的地表干旱分为湿润(<300)、正常(300~500)、轻微缺水(500~800)、一般缺水(800~1 000)和严重缺水(>1 000)5个等级,具体分布见图5、图6。

### 3 结果分析

利用植被供水指数监测算法对福建省的地表干旱状况进行了遥感监测,从 MODIS 数据反演出的

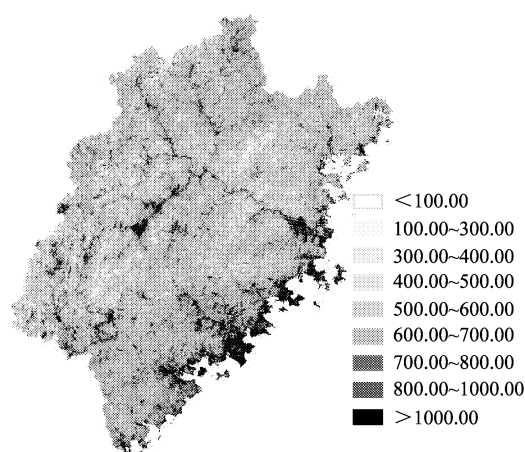


图5 2004年福建省地表干旱分布图

Fig.5 Land drought distribution of Fujian Province in 2004

结果可以看出,福建省的干旱分布存在南北分布不均的特征,南部地区由于地表温度偏高,植被覆盖度相对北部地区偏低等原因,造成了其 VSWI 数值明显比北部高。从图5、图6可以看出,干旱程度的分布和地表温度的分布在趋势上有着较为明显的相关性。此外,东南沿海区域的干旱程度比中西部地区明显偏高,这主要是由于福建省的大中城市主要集中在沿海区域,城市化进程一方面减少了植被覆盖,减少了地表涵养水分的能力,另一方面城市建筑、水泥路面不断取代原有的天然地表覆盖,造成地表径流加快,不利于水分渗透。此外,水泥、沥青等建筑地表明显比天然地表覆盖辐射率高,形成局部地表高温。这从福建省多年统计的旱情统计资料分析也可得到验证,福建省的秋冬旱年平均发生次数为0.53~0.17次,平均发生小旱0.27次,中旱0.31次,大旱0.24次,特旱0.19次,且从具体的小旱~特旱的地理分布区域上看均为南部明显多

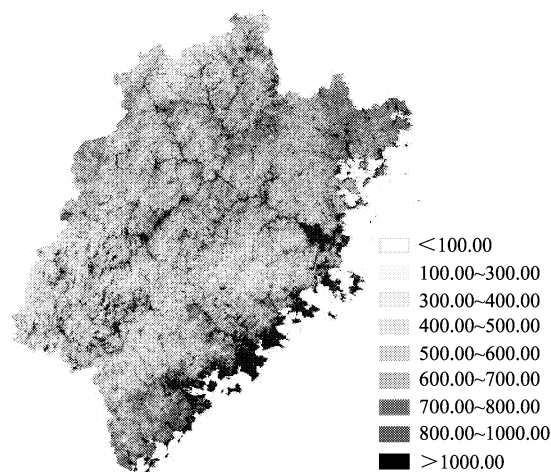


图6 2006年福建省地表干旱分布图

Fig.6 Land drought distribution of Fujian Province in 2006

于北部地区。

从干旱分布图的地表景观上分析,干旱程度等级高的区域主要集中在城镇区域。由于福建省山地多,城镇主要沿主要河流水系而建,具有明显的水系状,这在中西部地区表现尤为明显。相比较,植被覆盖率高的山区则表现为无旱。由此可见,城市化进程及其带来的地表覆盖的改变是引起福建省地表干旱分布不均的主要原因。此外,南北区域、山区和平原的温差效应也是引起地表干旱不均匀的重要原因。总的来看,利用 MODIS 资料,应用植被供水指数法的干旱模型可很好地对福建省的地表干旱状况进行遥感监测,及时科学地对地表的干旱分布和发展趋势进行动态分析。

### 4 小结

通过利用 MODIS 数据对福建省地表干旱的遥感监测分析,发现植被供水指数法在监测土壤地表水分有着较好的可操作性,对大面积的地表干旱分

布状况和变化趋势能进行方便及时的动态监测,这对在目前气象信息实时同步采集和数据共享程度仍较低的情况下,用遥感方法监测旱情是非常可行的。如果能够加大气象信息采集的密集度,将使监测结果更为可靠。由于研究采用有代表性时相为数据源对地表进行干旱监测,若能将其业务化用于日常监测,将有利于对地表干旱的实时监测和分析。此外,福建省实地的土壤湿度观测站点需要进一步加密,有利于遥感监测精度的提高。

从对两个时相的地表干旱监测结果分析,福建省的主要地表干旱特征一是地表湿度分布存在较明显的南北差异,北部区域地表湿度比南部区域高。二是由于福建省城市群的布局结构状况,城市密集的东南沿海区域地表干旱程度比中西部地区严重。三是城市化进程的深入和全球气候变暖等大环境的影响,福建省的地表干旱程度有加重的趋势。

### 参考文献

- [1] 薛晓萍,张承旺,张丽娟,等. 区域农业生产脆弱性及干旱诊断分析[J]. 自然灾害学报,2006,15(5):107-114
- [2] Alley W. M. The palmer drought severity index: Limitations and assumptions[J]. Journal of Climate and Applied Meteorology,1984,23(7):113-132
- [3] Karl T. R., Knight R. W., Easterling D. R. Indices of climate change for the United States[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc.,1996,77(2):279-292
- [4] 陈维英,肖乾广,盛永伟. 距平植被指数在1992年特大干旱监测中的应用[J]. 环境遥感,1994,9(2):106-110
- [5] 李晓兵,王瑛,李克让. NDVI对降水季节性和年际变化的敏感性[J]. 地理学报,2000,55(增刊):82-89
- [6] 杨胜天,刘昌明,孙睿. 黄河流域干旱状况变化的气候与植被特征分析[J]. 自然资源学报,2003,18(2):136-141
- [7] 谭德宝,刘良明,鄢俊洁,等. MODIS数据的干旱监测模型研究[J]. 长江科学院院报,2004,21(3):11-15
- [8] 刘良明,胡艳,鄢俊洁,等. MODIS干旱监测模型各参数权值分析[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2005,30(2):139-142
- [9] 蔡学湛,张容焱. 东南沿海地区旱涝气候准周期振荡特征及其变化趋势[J]. 热带地理,1997,17(4):371-377
- [10] 高建芸,邓自旺,周晓兰,等. 基于EOF和小波分析的福建近40年旱涝时空变化特征研究[J]. 热带气象学报,2006,22(5):491-497
- [11] Eklumdh L. Estimating relations between AVHRR NDVI and rainfall in East Africa at 10-day and monthly time scales[J]. International Journal of Remote Sensing,1998,19:563-568
- [12] Liu W. T., Kogan F. N. Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index[J]. International Journal of Remote Sensing,1996,16:1327-1340
- [13] Kogan F. N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous area[J]. International Journal of Remote Sensing,1990,11:1405-1420
- [14] Qin Z., Olmo G. D., Kamieli A., et al. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-AVHRR data[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(D19):22655-22670
- [15] 覃志豪,高懋芳,秦晓敏. 农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法——以MODIS数据为例[J]. 自然灾害学报,2005,14(3):64-71