

基于多光谱数据的植被水分反演及其在旱情评估中的应用分析

王丽涛¹, 王世新¹, 周 艺¹, 刘文亮^{1,2}, 王福涛^{1,2}

1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039

摘 要 植被作为干旱的承载体, 其含水量的变化反映了旱情的时空分布以及受旱程度。文章从监测原理、植被水分表征以及遥感数据反演模型等三个方面, 开展了基于多光谱遥感数据的植被水分反演方法研究。以 2010 年春季西南四省为应用案例, 进行了植被水分的反演和时空分析, 并与气象数据进行了相关性分析。结果表明: 在 2010 年旱情中, 降水对植被水分变化具有一定的影响; 然而由于植被吸收降水的过程是一个滞后的过程, 因而降水的变化对植被水的影响也存在一定滞后效应。在上述分析基础之上, 从时间和空间尺度对植被水分在旱情监测和评估中的应用进行了评价。通过时间合成以及与其他数据(如历史数据)的结合, 可克服多光谱数据的自身不足, 提高多光谱遥感数据在旱情监测和评估的应用性。

关键词 多光谱遥感; 植被水分; 旱情监测

中图分类号: TP75 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)10-2804-05

引 言

水是万物之源、生命之本, 也是植物生长过程中不可或缺的重要物质之一。植被水分是植被健康, 尤其是农作物生长状况的重要评价指标, 在火灾监测、旱灾监测和生态安全监测诸方面也都起着重要的作用。传统野外采样实测的方法存在着时效性差、代表范围有限、需要大量人力物力的缺点, 难以实现实时、大范围的动态监测。随着遥感技术的不断发展, 利用遥感手段进行植被水分监测, 弥补了传统方法的不足, 为实时、快速、大范围的动态监测和区域评估提供了重要的数据源。利用遥感反演植被水分的研究开始于 20 世纪 70 年代后期。根据传感器数据源特征, 可分为光学遥感监测方法^[1]、红外遥感监测方法^[2]和微波遥感监测方法^[3]。利用多光谱光学遥感数据进行植被水分监测可根据可见光到短波红外与植被特征的相关性, 建立适当的模型, 从而进行植被含水量反演的方法。对此研究人员进行了大量研究和实践, 同时在旱灾评估、火险评价等方面也得到了一定应用^[4,5]。

干旱是影响我国工农业生产和社会经济发展的主要自然灾害之一。遥感数据因其自身特点, 在旱灾监测、旱情评估中发挥了重要作用, 为抗旱救灾提供了实时、动态的旱情评估数据。目前, 应用较为广泛的旱情遥感监测评估方法, 主

要有基于土壤热惯量的旱情监测方法^[6,7]、基于土壤波谱特征的旱情监测方法^[8,9]、基于蒸散模型的旱情监测方法^[10,11]和基于植被指数的旱情监测方法^[12,13]等。其中, 植被含水量作为重要的植被状态指数, 在旱情监测与评估中得到了一定应用。

本文以 2010 年初西南地区发生的大旱为案例, 利用多光谱遥感数据进行植被含水量的提取和时序分析, 并结合台站的气象数据, 对植被含水量在旱情监测中的应用进行了分析。

1 数 据

中分辨率成像光谱仪(moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS)是 Terra 和 Aqua 卫星上搭载的主要传感器之一, 拥有 36 个波段的光谱观测数据, 这些数据有助于深入理解全球陆地、海洋和低层大气内的动态变化过程。MODIS 500 m 数据集中有 7 个波段(图 1), 包括了植被状态、水分监测所需的红、近红以及短波红外波段; 同时, 其全球 1~2 d 的重复覆盖周期以及 2 330 km 的扫描幅宽, 使得监测具有较高的时间周期和较大的空间覆盖范围。因此, 在本文中选用了 MODIS 数据作为植被水分监测的遥感数据源。

同时, 为分析基于遥感数据的植被水分含量在旱情评估

收稿日期: 2010-12-14, 修订日期: 2011-03-07

基金项目: HJ-1 卫星数据应用研究专题(2009A02A08)和中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX2-YW-Q03-07)资助

作者简介: 王丽涛, 1979 年生, 中国科学院遥感应用研究所助理研究员, e-mail: wanglt@irsa.ac.cn

中的应用, 本文使用了国家气象局气象数据共享服务网提供的地面监测气象数据。从西南四省分布的气象台中挑选了(分布尽量均匀) 28 个站点(图 2), 并以选择的 28 个气象站点经纬度为中心, 在遥感数据中分别提取 28 个 3×3 的区域作为样区, 用以植被水分数据与气象数据的时序分析, 进而分析其在旱情监测中的应用。

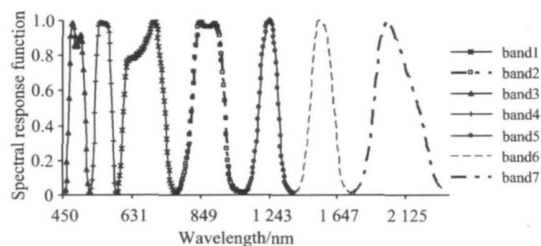


Fig. 1 Band ranges and spectral response functions of MODIS bands 1~7



Fig. 2 The map of sampling weather stations

2 植被水分监测方法

2.1 植被水分遥感监测原理

绿色植物的光谱特征主要取决于它的叶子。在可见光波段内, 植被叶片光谱特性主要由各种色素的支配, 其中叶绿素起着最重要的作用。由于色素强烈吸收, 叶片的反射和投射很低。在以 450 nm 为中心的蓝波段及以 670 nm 为中心的红波段叶绿素强烈吸收辐射能(> 90%) 而呈吸收谷(图 3)。在近红外波段内, 植被光谱特征取决于叶片内部的细胞结构。而在短波红外波段内(1 300 nm 以外), 植被光谱特征受叶片含水量的影响, 叶片的反射率与叶内含水量呈负相关关

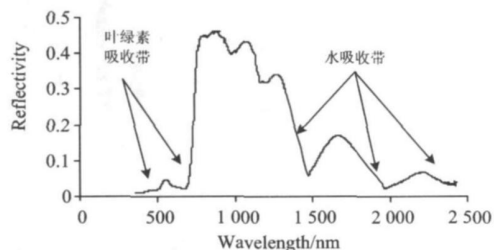


Fig. 3 The spectral curve of green vegetation leaf

系, 即叶片反射率是叶内水分含量及叶片厚度的函数。由于叶子细胞间及内部的水分含量, 绿色植被的光谱反射率受到以 1 400, 1 900 和 2 700 nm 为中心的水吸收带的控制, 而呈跌落状态的衰减曲线(图 3)。其中 1 400 和 1 900 nm 处的两个吸收带是影响叶片短波红外波段光谱响应的主要谱带^[14]。

通过大量实测数据分析, 研究人员发现在近红外波段植被液态水的吸收可以忽略不计, 在短波红外波段植被液态水的吸收很弱, 而这两个波段均位于植被冠层的高反射区, 因而利用近红外波段与短波红外波段的光谱信息可以很灵敏地反应植被含水量。基于这一特征, 研究人员利用遥感数据构建了多个水分指数, 如归一化差值水分指数(normalized difference water index, NDWI)、湿度胁迫指数(moisture stress index, MSI)、全球植被水分指数(global vegetation moisture index, GVMI)等^[4, 5, 15]。通过实际应用, 也证明上述指数与植被含水量表征值之间具有较好的相关性。

2.2 植被冠层水分表征量

在植被水分指数监测旱情应用中, 植被含水量的表征对旱情监测应用效果也有很大地影响。在植被水含量定义方面, 研究人员提出过很多的评价指标, 如 RWC(relative water content), SWD(specific water density), FMC(fuel moisture content), EWT(equivalent water thickness)等。

等效水层厚度(EWT)被定义为植被水分含量(鲜重与干重的差值)与叶面面积的比值, 其公式如下

$$EWT = \frac{FW - DW}{A} \quad (1)$$

其中, FW 为叶片鲜重, DW 为叶片干重, A 代表叶片面积。由于 EWT 在分析中被认为具有较好的物种独立性, 在大范围的植被水分监测和旱情评估应用得到广泛的应用^[2, 6, 16]。因此, 在本文中选用了 EWT 作为植被冠层含水量的表征量。

2.3 植被水分遥感反演模型

全球植被水分指数(global vegetation moisture index, GVMI)是 Ceccato 等基于近红外和短波红外两个波段提出的一个植被水分指数, 用于反演植被含水量(见图 4)^[16]。

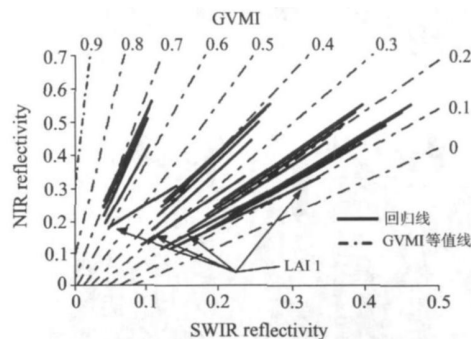


Fig. 4 The regress lines of GVMI in the ranges of near infrared and shortwave infrared

由图 4 中的回归线获得 GVMI 计算公式如下

$$GVMI = \frac{(NIR + 0.1) - (SWIR + 0.02)}{(NIR + 0.1) + (SWIR + 0.02)} \quad (2)$$

其中, NIR 表示遥感近红外波段的反射率数据, SWIR 表示

遥感短波红外波段的反射率数据。在此指数基础之上, Cee-cato 等利用 LOPEX' 93 植被光谱实验数据, 建立了 GVM1

$$EWT = \frac{-(ad + c - d(GVMI + 0.13)) + \sqrt{(ad + c - d(GVMI + 0.13))^2 - (4cd(a + b - GVMI - 0.13))}}{2cd} \quad (3)$$

其中, a , b , c 和 d 为反演常数, $a = 1.53$, $b = -1.40$, $c = -0.000099$, $d = 0.000517$ 。该公式在基于遥感数据(包括 MODIS 数据)的植被水分反演的实际应用中也取得了较好的效果^[4]。

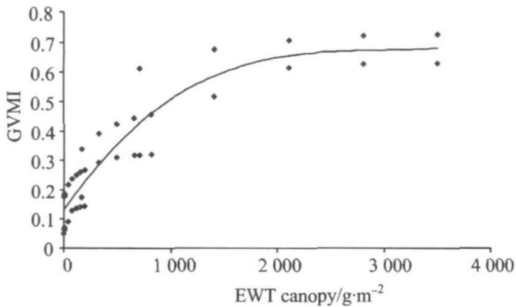


Fig 5 The fitting plot map between GVM1 and EWT

3 监测结果与应用分析

3.1 EWT 监测结果

利用西南四省(云南、四川、广西、贵州)2010年1月1日至4月10日的MODIS 500 m 遥感数据集(包含了可见光至短波红外的7个波段数据), 经过辐射校正、几何校正、去云处理以及水体剔除提取等预处理, 根据 EWT 反演公式(3)计算了每日的植被冠层含水量。

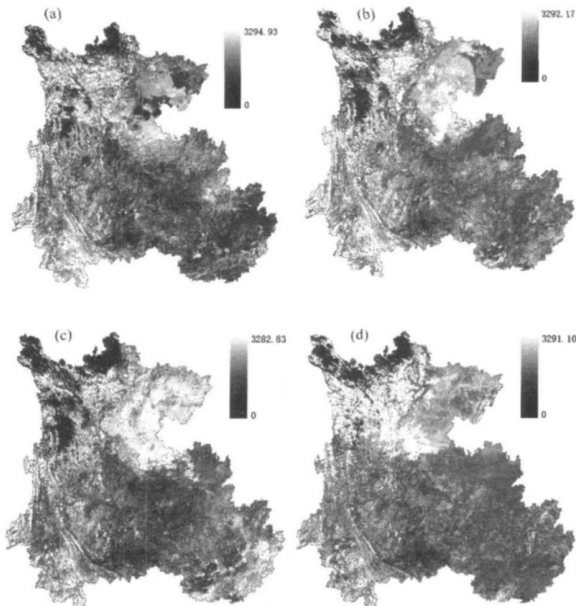


Fig 6 The ten-day data of vegetation water content in the region of Southwest China

(a): The first ten-days in Jan, 2010; (b): The first ten-days in Feb, 2010; (c): The first ten-days in Mar, 2010; (d): The first ten-days in Apr, 2010

由于可见光-红外数据的穿透力较差, 易受到云的影响,

指数和 EWT 值之间的模型关系(如图 5)^[4]。

通过数值分析, 推导出 EWT 的计算公式如下

难以表征云下的植被含水量。为获取某一时期内西南地区植被水分的时空分布数据, 在分析中采用有效值平均的方法进行了旬数据合成, 用以表征植被冠层含水量的时空分布。

在获取的 2010 年 1 月上旬至 4 月上旬的 10 期植被含水量分布数据(如图 6)中, 仍有少量像元区域为云所覆盖, 难以获取植被水分数据。同时, 在 2010 年 1 月上旬至 4 月上旬中存在部分区域 EWT 值异常, 经分析认为是由于该地区为非(低)植被覆盖区(如积雪覆盖等), 从而导致 EWT 数值异常。如在四川北部的稻城、石渠、若尔盖等地, 海拔高, 气温低(2010 年 1 月至 4 月中旬平均气温在 0℃以下)。2010 年 1 月上旬至 4 月上旬期间, 该地区为积雪所覆盖, 因此获得 EWT 数据值异常。对于异常值, 在分析统一做归零处理。

3.2 EWT 数据的时序分析

结合 28 个气象站的气象数据, 对 MODIS 数据反演的 EWT 值进行了时序分析。由于, 在四川北部的稻城、石渠、若尔盖等三个气象站附近的数据出现异常值, 因此数值未参与分析。

Table 1 The statistics of meteorological data analyzed

	旬平均 气温/℃	旬平均气温 距平/℃	旬降水 总量/mm
最大值	24.0	1.0	20.9
最小值	-10.2	-0.5	0
平均值	1.14	0.19	0.87

降水是影响植被水分吸收的重要因素之一, 同时也是早情的主要指示因子。对 25 个站点的旬降水量与相应样区的 EWT 旬值, 进行相关分析。分析结果表明, 其值之间的相关性并不是很高, 最大值为 0.63。但是, 通过对比 EWT 值与降水量的时序值发现(如图 7), EWT 峰值比降水量峰值有所滞后, 并且滞后期基本一致。由此可推知, 降水对植被水有一定的影响; 然而由于植被吸收降水的过程是一个滞后的过程, 因而降水的变化对植被水的影响不会马上表现出来, 在时间上有延迟。这一现象在已有研究中有证实。

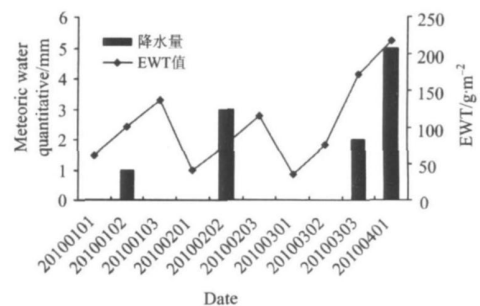


Fig 7 The temporal map of EWT and precipitation

气温也是影响植被蒸腾作用的重要环境因素之一。长期的气温距平值较高,会导致大量水汽蒸发。在分析中,使用了台站的旬平均气温和旬平均气温距平数据与 EWT 值做相关性分析。其结果表明, EWT 值与旬平均气温、旬平均气温距平存在较弱的相关(< 0.4)。这可能是由于春季气温较低,并 2010 年 1 月至 4 月的旬平均气温距平值变化较小也较低(最大值 1,最小值-0.5,平均值 0.18),对植被蒸腾和含水量影响作用较小,在 2010 年西南旱情发展未起主导作用。

3.3 EWT 在旱情监测中的应用分析

旱灾是影响我国的主要自然灾害之一,频发于各个历史时期,如 2010 年初的西南地区大范围旱情,就严重影响了当地社会的生产、生活,特别是云南、贵州、广西、四川等省受旱灾影响较大、发生范围较广、持续时间较长、损失较重。旱情的发生会导致植被水分(尤其是冠层含水量)的缺失,因此植被水分的变化直接反映了旱情作用植被的影响程度。在旱情监测,尤其是农作物旱情监测中植被含水量方法得到了一定的应用中。

然而,由上述的 EWT 监测结果和时序分析中可知,基于多光谱遥感数据的植被水分反演数据应用在旱情监测中,由于受到数据本身穿透力差等特点的限制,易受到云等环境因素的影响,造成局部地区的数据缺失。通过短时期内(如以旬为单位)合成,可有效降低云的影响。基于植被水分的旱情监测是通过植被水分的亏缺来反映旱情的发展,因此在空间上,基于多光谱的 EWT 数据进行旱情监测难以在非植被覆盖区域得到应用。此外,从图 4 可以看出,在 EWT 相同的组内 GVM1 回归线大致平行的,但是叶面积指数为 1 的回归线呈现出比较大的差异。这是由于在地表植被覆盖稀疏地区,对太阳光谱的反射受裸土的影响比较大,导致回归线向裸土反射特征的方向偏转。因此,利用多光谱遥感数据进行植被水分(EWT)反演时,存在一定的适用范围,即在地表植被覆盖较低时,地表反射率受裸土影响较大,其反演精度受到较大影响^[16]。因此,在植被水分反演和旱情监测评估的实际应用中,通常会应用其他方法(如 SANI 指数^[17])剔除土壤背景的影响。

利用植被水分来进行旱情评估的实际应用时,在小范围针对特定植被(如农作物)的旱情评估中,通过与土壤水分相关分析,利用值域区间的划分确定旱情等级。然而在大范围

旱情监测中,复杂的地表下垫面(土壤、植被)使得用植被含水量数值区间划分很难直接对应旱情等级。为此,在分析旱情监测中可以引入天气气候研究中的“距平”概念,通过与常年平均植被含水量的对比分析,来反映出当前植被的缺水状况。其公式如下

$$AEWT = \frac{EWT - EWT_{mean}}{EWT_{max} - EWT_{min}} \quad (6)$$

其中, EWT 为某区域当前植被含水量数值, EWT_{mean} 为某区域历史同期的植被含水量均值, EWT_{max} 为某区域历史同期的植被含水量最大值, EWT_{min} 为某区域历史同期的植被含水量最小值, AEWT 为植被含水量的“距平值”。这里假设常年均值为植被正常生长状况的含水量。当 AEWT 值为负时,说明当前植被含水量欠缺,发生一定程度的旱情,当负值越大说明旱情越严重。

4 结 论

植被水分是植被重要生理指标之一,影响着植被生长的健康程度,而植被缺水状况可直接反映出植被的受旱程度。基于此植被水分可应用于旱情监测,尤其是农作物受旱程度的评估。本文利用 MODIS 遥感数据反演了 2010 年春季西南地区的植被含水量 EWT,通过 EWT 旬数据与气象数据的时序分析以及 EWT 在旱情监测中的应用分析,认为基于遥感数据反演的 EWT 在特定范围内可以在一定程度上反映旱情的发展和时空分布。

但是,由于受到遥感数据本身以及环境因素(云、大气、植被生长等)的影响,基于遥感数据反演的植被冠层含水量在旱情评估和监测中也存在一些不足:

(1) 由于可见光-红外遥感的穿透力较差,容易受到云的干扰,难以反映云下植被情况;

(2) 该方法在高植被覆盖度区域具有相对较好的应用效果,但是在非植被或低植被覆盖度区域难以反映旱情的程度与发展;

(3) 在大范围的旱情分析与评估中,单期植被含水量数据难以直观反映旱情的空间分析。

利用历史数据计算的 EWT 距平值,可直接反映植被的缺水状况,在一定程度上解决了这一难题,可在大空间范围内较直观地反映出旱情的分布。

References

- [1] Tugrul Yilmaz M, Raymond Hunt E Jr, Jackson Thomas J. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(5): 2514.
- [2] Sepulcre-Cantó G, Zarco-Tejada P J, Jiménez-Muñoz J C, et al. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 136(1-2): 31.
- [3] Hornbuckle Brian K, England Anthony W, Anderson Martha C, et al. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 138(1-4): 180.
- [4] Ceccato P, Gobron N, Flasse S, et al. Remote Sensing of Environment, 2002, 82: 198.
- [5] Gao B C. Remote Sensing of Environment, 1996, 58(3): 257.
- [6] Zhang R H, Su H B, Li Z L, et al. Science in China (Series D), 2001, 44(2): 112.
- [7] Zhang R H, Sun X M, Li Z L, et al. Science in China (Series D), 2003, 46(4): 344.
- [8] LI Zhen, GUO Hua-dong, SHI Jian-cheng(李震,郭华东,施建成). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2002, 6(6): 481.
- [9] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. Remote Sensing of Environment, 2002, 79: 213.
- [10] Jackson R D, Idso S B, Reginato R J, et al. Water Resources Research, 1981, 17(4): 1133.

- [11] ZHANG Chang-chun, WANG Xiao-yan, SHAO Jing-li(张长春, 王晓燕, 邵景力). Resources Science(资源科学), 2005, 27(1): 86.
- [12] Goward S N, Xue Y K, Czajkowski K P. Remote Sensing of Environment, 2002, 79: 225.
- [13] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. Remote Sensing Environment, 2002, 79: 213.
- [14] ZHAO Ying-shi, et al(赵英时, 等). Remote Sensing Application Principles and Methods(遥感应用分析原理与方法). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2003. 366.
- [15] Hunt E R Jr, Rock B N. Remote Sensing of Environment, 1989, 30: 43.
- [16] Ceccato P, Gobron N, Flasse S, et al. Remote Sensing of Environment, 2002, 82: 188.
- [17] Palacios-Orueta A, Khanna S, Litago J, et al. Proceedings of the First International Conference of Remote Sensing and Geoinformation Processing. Trier, Germany, 2006. 207.

Vegetation Water Content Retrieval and Application of Drought Monitoring Using Multi-Spectral Remote Sensing

WANG Li-tao¹, WANG Shi-xin¹, ZHOU Yi¹, LIU Wen-liang^{1,2}, WANG Fu-tao^{1,2}

1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract The vegetation is one of main drying carriers. The change of Vegetation Water Content (VWC) reflects the spatial-temporal distribution of drought situation and the degree of drought. In the present paper, a method of retrieving the VWC based on remote sensing data is introduced and analyzed, including the monitoring theory, vegetation water content indicator and retrieving model. The application was carried out in the region of Southwest China in the spring, 2010. The VWC data was calculated from MODIS data and spatially-temporally analyzed. Combined with the meteorological data from weather stations, the relationship between the EWT and weather data shows that precipitation has impact on the change in vegetation moisture to a certain extent. However, there is a process of delay during the course of vegetation absorbing water. So precipitation has a delaying impact on VWC. Based on the above analysis, the probability of drought monitoring and evaluation based on multi-spectral VWC data was discussed. Through temporal synthesis and combined with auxiliary data (i. e. historical data), it will help overcome the limitation of data itself and enhance the application of drought monitoring and evaluation based on the multi-spectral remote sensing.

Keywords Multi-spectral remote sensing; Vegetation water content; Drought monitoring

(Received Dec. 14, 2010; accepted Mar. 7, 2011)