

条件植被温度指数干旱监测方法的研究与应用

Researches and Applications on Drought Monitoring Approach of Vegetation Temperature Condition Index

王鹏新/WANG Peng-xin¹, 孙 威/SUN Wei²

1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083

2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094

1. School of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. School of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China

[摘要] 综合应用归一化植被指数 (NDVI) 和土地表面温度 (LST), 提出了条件植被温度指数 (VTCI) 的概念, 并将其用于干旱监测。VTCI 的定义既考虑了区域内 NDVI 的变化, 又强调了 NDVI 值相等时 LST 的变化, 可解释为 NDVI 值相等时 LST 差异的比率。分别以陕西关中平原地区和美国大平原南部地区为研究区域, 应用 AVHRR 和 MODIS 卫星遥感反演的 NDVI 和 LST 产品, 以及累计降水量和降水偏差数据, 证实了条件植被温度指数是一种近实时的干旱监测方法。

[关键词] 条件植被温度指数; 干旱监测; 土地表面温度; 植被指数

[中图分类号] S16, S127

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)04-0056-03

Abstract: Based on remotely retrieved normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST), vegetation temperature condition index (VTCI) is developed for monitoring drought occurrence at a regional scale. For the VTCI definition, it is not only related to NDVI changes in a given region, but also related to LST changes of pixels with a given NDVI value. VTCI can be physically explained as the ratio of temperature differences among the pixels which have the same NDVI values. Two areas, namely, Guanzhong Plain of Shaanxi Province, China and the southern region of the Great Plains, USA are selected for the study. The composited NDVI and LST products retrieved from AVHRR and MODIS remotely sensed data, and cumulative precipitation data are used to develop and validate the VTCI drought monitoring approach. The results indicate that VTCI is a near-real time drought monitoring approach.

Key Words: vegetation temperature condition index; drought monitoring; land surface temperature; vegetation index

CLC Numbers: S16, S127

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)04-0056-03

1 前言

干旱通常表现为一种缓慢的自然灾害, 且随着时间和空间的变化而变化。干旱并不像大多数自然灾害一样使人们聚集, 而是使人们生活离散。干旱能使农作物欠收甚至绝收, 危及到一个地区的粮食安全和可持续发展, 甚至影响人们的日常生活。

传统的干旱监测是用点上的数据来监测干旱的程度及范围, 其中应用最多的是气象数据, 另外还可以应用水文、社会经济等数据。而应用遥感技术监测干旱则属于面上的监测, 并且充分地利用了地物表面的光谱、时间、空间和方向(多角度)信息^[1-5, 7]。植被指数是通过红光和近红外波段光谱特性及其简单组合比值或线性组合实现对植被状态信息的表达。从农业生产考虑, 干旱是在水分胁迫下, 作物及其生存环境相互作用而构成的一种旱生生态环境。农作物的生长、发育及其产量形成与环境因素有密切的关系。影响作物生产的因素很多, 主要有气候、土壤、水肥条件、天

气、生产水平和人类活动等。在这些因素中, 对某一地区来说, 在连续几年的时间尺度内, 可以认为气候、土壤、水肥条件、生产水平及人类活动处于相对不变的状态, 只有天气变化是不可控制的, 它对作物生长有短期的效应。因此, 植被指数的时空变化与干旱有一定的相关性。土地表面温度是控制地球表面大多数物理、化学和生物过程的重要参数。植物冠层温度升高是植物受到水分胁迫和干旱发生的最初表征。这是因为植物叶片气孔的关闭可以降低由于蒸腾所造成的水分损失, 进而造成地表潜热通量的降低。根据能量平衡原理, 地表能量必须平衡, 从而导致地表感热通量的增加; 感热通量的增加又可以导致冠层温度的升高。从作物生理学来讲, 一般冠层温度的升高基本上是由于植物蒸腾量的变化, 而蒸腾量的改变是由于土壤水分的改变而导致气孔开度的变化, 所以干旱胁迫导致的蒸腾降温功能减弱引起冠层温度升高。因此, 土地表面温度可用于干旱监测。

收稿日期: 2005-07-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(40571111、40371083), 国家高技术研究发展计划课题(2003AA209080), 教育部科学技术研究重点项目(105013), NASA 项目(NASA Contract NAS5-31370)

作者简介: 王鹏新, 男, 北京市海淀区清华东路 17 号中国农业大学信息与电气工程学院, 副教授, 主要从事定量遥感及应用研究;
E-mail: wangpx@cau.edu.cn

目前,国内外对干旱的研究多采用点上的监测方法,并在实践中得到广泛的应用。随着遥感技术和计算机科学与技术的发展,面上的干旱监测则变得越来越重要。因此,利用遥感技术进行大范围面上的干旱监测,对促进农业生产和区域可持续发展具有重要的现实意义,将成为干旱监测的热点和前沿。本文综合应用多时段卫星遥感数据的反演产品——归一化植被指数(NDVI)和土地表面温度(LST)对条件植被温度指数(VTCI)的干旱监测方法进行了进一步研究,根据VTCI与降水量的相关性对VTCI进行了验证。

2 研究区域与数据处理

研究区域分别位于陕西省关中平原地区和美国大平原地区(the Great Plains)。由于这两个地区年降水的变率较大,对这些地区的干旱进行监测显得尤为重要。

研究区域——关中平原地区位于黄土高原的南端,地势平坦,耕地集中连片,土壤以土为主,土层深厚,土质肥沃。属暖温带半湿润森林草原气候,年平均气温12~14℃,年平均降水量540~750 mm,干燥度<1.3,无霜期160~230 d。然而,由于年内降水分配不均,作物在全生育期间呈现不同程度的水分不足现象。一般来说,关中平原地区春旱、伏旱出现的机率高。

研究区域——大平原地区——位于美国大平原南部,包括了整个俄克拉荷马州(Oklahoma)和德克萨斯州(Texas)的大部分地区。研究区域覆盖了德克萨斯州的10个气候区(Climatic Region),从高原(High Plains)到低起伏平原(Low Rolling Plains),从Edwards高原(Edwards Plateau)到Upper Coast。研究区域的土地利用以草地和农田为主,稀树大草原(Savannas)和稀疏植被覆盖地等为辅。

在关中平原研究区域,我们选择1999~2003年每年5月上旬白天过境的NOAA-AVHRR卫星遥感数据。为了对AVHRR数据进行几何校正,本文分两步进行:①对像素畸变进行校正;②采用传统的几何校正法——多项式校正法。经过校正后的AVHRR影像的空间分辨率为1.1 km,投影方式为兰勃特等面积斜轴方位投影,投影中心纬度为30°N、经度为105°E。用经过大气校正、辐射校正和定标后的AVHRR数据,将第1、2波段的数字值(DN)转化为地表反射率,第3、4、5波段的数字值转化为地表辐射亮度,然后采用中心波长技术计算第3、4、5波段的亮度温度,再分别计算NDVI和LST^[2],最后采用最大值合成技术分别生成每年5月上旬的NDVI和LST最大合成值产品。

在大平原研究区域,我们选择Terra-MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer)16 d NDVI和LST合成影像(产品)进行相关研究。合成影像的时间为2001年5月25日至6月9日,影像的空间分辨率为4.63 km。MODIS NDVI产品是基于Terra-MODIS地表反射率生成的,而地表反射率是经过分子散射、臭氧和气溶胶校正,并用BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function)模型调整为星下点和标准太阳天顶角下的反射率。MODIS LST产品用分窗口算法生成,经过了辐射校准、去云处理、大气温度和水汽校正^[6]。我们从NASA EOS数据网关(<http://redhook.gsfc.nasa.gov/~imswww/pub/imswelcome/>)免费获得美国大陆(the continental US)MODIS 16 d NDVI(MOD13A2)和LST产品(MOD11B1)^[8]。LST产品的空间分辨率为4.63 km。MOD13A2 NDVI产品的空间分辨率为0.93 km,经过处理再生成空间分辨率为4.63 km的NDVI产品。影像的几何校正采用整数化的正弦地图投影(Integerized Sinusoidal Map Projection),中心经度为80°W,然后获得研究区域的NDVI和LST产品。

研究区域的地面实测气象数据从陕西省气象局和美国国家气候数据中心获得,包括气象站的海拔、经纬度、旬(月)降水量及降水偏差。本研究所选择的气象站必须至少有30年的数据记录。

我们以每个气象站所在像素为中心的3×3像素方阵的NDVI和LST平均值作为该气象站所在地的NDVI和LST值。这是因为3×3像素方阵能够满足地面定位的要求,以及能获得相同的降水量。同时仅选择LST的均方根小于1.7 K和NDVI的方差小于0.005的像素方阵进行有关统计分析。以所选研究区域为研究对象,用线性相关分析的方法研究降水量和VTCI的关系。

3 结果与讨论

3.1 条件植被温度指数的定义

条件植被温度指数(Vegetation Temperature Condition Index, VTCI)的定义为:

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI,max} - LST_{NDVI}}{LST_{NDVI,max} - LST_{NDVI,min}}$$
 (1)

其中:

$$\begin{aligned} LST_{NDVI,max} &= a + b \cdot NDVI_i \\ LST_{NDVI,min} &= a' + b' \cdot NDVI_i \end{aligned}$$
 (2)

式中,LST_{NDVI,max}、LST_{NDVI,min}分别表示在研究区域内,当NDVI_i值为某一特定值时的土地表面温度的最大值和最小值。a、b、a'、b'为待定系数,可通过绘制研究区域的NDVI和LST的散点图近似地获得。VTCI是在NDVI和LST的散点图呈三角形区域分布的基础上提出的,是在假设研究区域内土壤表层含水量应从萎蔫含水量到田间持水量的基础上进行干旱监测的,适用于区域尺度的干旱监测。式(1)中,分子为研究区域内NDVI为某一特定值的所有像素中LST的最大值与其中某一像素LST值的差值,分母为该条件下LST最大值与最小值的差值。LST_{max}被认为是“热边界(warm edge)”,在此边界上土壤水分的有效性很低,干旱程度最严重;LST_{min}被认为是“冷边界(Cold Edge)”,在此边界上土壤水分不是植物生长的限制因素。VTCI的取值范围为[0,1],一般地说,VTCI的值越小,干旱程度越严重,VTCI的值越大,干旱程度越轻或者没有旱情发生。

应用VTCI进行干旱监测的最重要的一点是判别所选研究区域是否满足下述2个条件:①NDVI值的动态变化范围要大;②土壤表层含水量的动态变化范围应从萎蔫含水量到田间持水量。NDVI的变化范围可以从遥感数据计算得到,而对土壤表层含水量变化范围的判别较为困难。对于研究区域环境背景,如气象条件、地表覆盖类型、土壤属性、水系分布和灌溉状况以及作物栽培和管理措施等的充分了解,有助于判别是否满足该条件^[2,9]。

3.2 应用单时段卫星遥感数据的干旱监测结果

在美国大平原研究区域,应用2001年5月25日至6月9日Terra-MODIS16 d的NDVI和LST合成值产品确定的热边界和冷边界分别为^[9]:

$$\begin{aligned} LST_{NDVI,max} &= 341.66 - 40.66 \times NDVI_i \\ LST_{NDVI,min} &= 297.0 \times NDVI_i \end{aligned}$$
 (3)

对整个研究区域来说,VTCI与2001年5月的降水量间存在着显著的相关关系(表1)。当降水量较高时,VTCI值较大,干旱的程度越轻。VTCI与2001年4月和5月的累计降水量间也存在着显著的相关关系。上述分析表明,VTCI不仅与最近的降水有

表1 美国大平原地区VTCI与降水量间的线性相关系数
Tbl. 1 Linear correlation coefficients between monthly cumulative precipitation and VTCI in the Great Plains, USA.

累计降水时间(月)	1	2	3	6	9	12
降水量	0.638	0.653	0.448	0.318	0.198	0.288
降水偏差	0.518	0.432	0.111	0.274	0.060	0.162

注:累计降水时间从2001年5月起向前累计。

关,而且与前几个月的降水有关,说明了 VTCI 是一种较好的干旱监测方法。

在传统的基于点观测数据的干旱监测方法中,某一特定时段的降水偏差是一个重要的干旱监测参数,因此,我们研究了累计降水偏差与 VTCI 间的关系。线性相关分析表明(表 1), VTCI 分别与 2001 年 5 月的降水偏差和 2001 年 4 月和 5 月的累计降水偏差密切相关,而 VTCI 分别与 3、6、9 和 12 月的累计降水偏差间的相关性均不显著。上述对比分析证实了 VTCI 是一种近实时的干旱监测方法。

在关中平原的研究区域,利用单时段卫星遥感数据的干旱监测结果见参考文献[2]。

3.3 应用多时段卫星遥感数据的干旱监测结果

在关中平原研究区域,选择 1999 年至 2003 年 5 月每年上旬白天过境的 NOAA-AVHRR 卫星遥感数据,首先应用最大值合成技术分别生成每年 5 月上旬的 NDVI 和 LST 最大值合成产品;再对 5 年的 NDVI 最大值合成产品进行最大值合成,生成多年 NDVI 最大值合成产品;最后对 5 年的 LST 最大值合成产品进行最小值合成,生成多年 LST 最大值-最小值合成产品。应用多年 LST 最大值合成产品和 LST 最大值-最小值合成产品,与 NDVI 最大值合成产品确定的热边界和冷边界分别为:

$$\begin{aligned}LST_{NDVI,max}&=350.29-52.75\times NDVI_i\\LST_{NDVI,min}&=305.14+0\times NDVI_i\end{aligned}\quad(4)$$

VTCI 与累计降水量间的相关分析结果表明,VTCI 与最近 2 旬累计降水量间的相关系数较大,说明了 VTCI 是一种近实时的干旱监测方法。

应用 1999 年和 2003 年 5 月上旬的 NDVI 和 LST 最大合成值产品,研究了整个区域干旱的空间分布特征和干旱程度的年际间差异。从区域分布来看,关中平原地区东部的旱情比西部的旱情严重,2003 年的旱情比 1999 年的旱情严重。关中平原地区 42 个气象站 4 月下旬和 5 月上旬的累计降水距平的统计结果为:1999 年的平均累计降水距平值为 13.1 mm,标准差为 13.3 mm;2003 年的平均累计降水距平值为 1.8 mm,标准差为 14.8 mm。从累计降水距平的统计结果可以看出,2003 年的平均累计降水距平值低于 1999 年的平均累计降水距平值,说明 2003 年的旱情相对严重。

4 结论与研究展望

理论上,条件植被温度指数的干旱监测方法可解释为 NDVI 值相等时 LST 差异的比率,分子为研究区域内 NDVI 为某一特定值的所有像素中 LST 的最大值与其中某一像素 LST 值的差值,分母为该条件下 LST 最大值与最小值的差值。VTCI 的取值范围为[0,1],VTCI 的值越小,干旱程度越严重;TCI 的值越大,干旱程度越轻或没有旱情发生。

基于单时段和多时段的卫星遥感数据,根据 VTCI 与累计降水量和累计降水距平间的相关性,说明了 VTCI 不仅与近期的降

水有关,而且与前几个月的累计降水有关,证实了 VTCI 是一种近实时的干旱监测方法。

VTCI 是一种综合应用 NDVI 和 LST 产品的干旱监测方法,具有时域性和地域性,最好用于植物生长期间的干旱监测。应用 VTCI 最重要的一点是确定 NDVI 和 LST 特征空间的热边界和冷边界。我们的系列研究成果表明,应用多时段的 NDVI 和 LST 合成值产品确定的热边界和冷边界较为合理,干旱监测结果具有可比性。

未来的遥感干旱监测研究应集中在以下几个方面:对遥感干旱的确切含义进行理论解释和定义;建立量化的遥感干旱监测指标;完善干旱影响的评估方法;实现干旱监测的业务化运行,为我国北方干旱半干旱地区的农业生产和区域可持续发展提供科学依据和技术支持。

参考文献(References)

- [1] 韩丽娟,王鹏新,王锦地,等.植被指数——地表温度构成的特征空间研究[J].中国科学(D辑),2005,35:371-377.
- [2] 王鹏新,龚健雅,李小龙.条件植被温度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),2001,26:412-418.
- [3] GILLIES R R, CARLSON T N, CUI J, et al. A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurement of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18: 3 145-3 166.
- [4] KOGAN F N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas [J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 11: 1 405-1 419.
- [5] KOGAN F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection [J]. Advances in Space Research, 1995, 15: 91-100.
- [6] VAN LEEUWEN W J D, HUETE, A R, LAING T W. MODIS vegetation index compositing approach: a prototype with AVHRR data [J]. Remote Sensing of Environment, 1999, 69: 264-280.
- [7] LOZANO-GARCIA D F, FERNANDEZ R N, GALLO K P, et al. Monitoring the 1988 severe drought in Indiana, USA using AVHRR data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16: 1 327-1 340.
- [8] WAN ZHENG-MING, LI ZHAO-LIANG. A physics-based algorithm for retrieving land surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35: 980-996.
- [9] WAN ZHENG-MING, WANG PENG-XIN, LI XIAO-WEN. Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25: 61-72.

(责任编辑 胡春华)

·读者·作者·编者·

我社与《光明日报》联合举办“我与科协”征文活动

为庆贺中国科学技术协会第七次全国代表大会召开,我社与《光明日报》等新闻媒体联合举办“我与科协”征文活动,诚望各界人士踊跃投稿,讲述自己与科协交往互动中记忆深刻且有意义的往事,以及所经历的科协促进社会进步或改变个人命运的生动、感人的故事。征文体裁不限,限 1 000 字以内,5 月 20 日截稿。投稿请寄“北京市海淀区学院南路 86 号科技导报社征文办公室(邮编:100081)”,并注明姓名、性别、工作单位、职务、职称、联系办法等;也可发送电子邮件(附件形式,Word 文档)至征文邮箱:zw@cast.org.cn。征文设一等奖 5 名、二等奖 10 名、纪念奖若干名,活动结束后本刊将公布获奖名单并向获奖者颁发奖品和证书。

(本刊编辑部 供稿)