

基于条件植被温度指数的干旱监测研究

苏 涛¹, 王鹏新^{1*}, 许文宁¹, 苏 伟¹, 刘东升¹, 刘翔舫¹, 武洪峰²

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 黑龙江农垦科学院科技情报研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要: 以黑龙江军川农场为研究区域, 应用 Landsat TM 卫星遥感数据计算和反演归一化植被指数和地表温度, 采用条件植被温度指数(VTCI)的方法对该区域进行土壤表层水分监测。通过与同一时期的 LST 和 NDVI 模型的反演结果进行对比, 结果表明: VTCI 与该模型的纹理特征相似, 干旱的分布规律几乎一致。应用土壤表层含水量数据对干旱监测结果进行验证, 验证结果表明 VTCI 与土壤表层含水量有较好的线性相关性, 进一步证实了 VTCI 是一种实时的干旱监测方法。

关键词: VTCI; 反演; 土壤表层含水量; 干旱监测

中图分类号: S423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0208-06

干旱是影响我国农业发展的重要因素之一, 给国民经济带来巨大损失。为防范旱灾而进行的土壤水分监测一直是人们关心的问题。遥感技术具有宏观、快速、动态、经济的特点, 可以代替常规的监测方法^[1,2], 实现大面积、动态监测。

在植被光谱的红光和近红外波段中, 包含了绝大部分的植被信息, 两波段的不同组合称为植被指数。根据实际情况, 通过选取不同的植被指数, 可以监测不同的地物特征。当植被受水分胁迫时, 反映植被生长状况的植被指数会发生相应变化, 这种变化可间接地反映土壤水分状况, 用于判断作物的受旱程度。基于这个原理, 国内外的研究工作者已经开发出了条件植被指数^[3]、条件温度指数^[4]、距平植被指数^[5]等干旱监测方法。王鹏新等^[6,7]分析了距平植被指数、条件植被指数、条件温度指数和归一化温度指数等方法的优缺点, 在前人研究的基础上, 提出了条件植被温度指数(VTCI)的干旱监测方法, 探讨了其应用前景。杨鹤松等^[8]把 VTCI 成功地应用于华北平原的干旱监测中, 随后王鹏新等^[9]对植被指数和地表温度的几种方法进行对比分析, 得出 VTCI 更适合于区域级的干旱监测。

2007 年黑龙江省遭受了 50 年不遇的旱灾, 以军川农场为例, 有一些大田作物甚至出现了绝收的现象, 因此对军川农场的旱情进行剖析显得尤为重要。本文利用条件植被温度指数的方法, 并结合黑龙江军川农场地面样本数据, 建立土壤水分反演模型, 对农场进行旱情监测, 为农场的有关决策提供指导。

1 研究区域与数据处理

1.1 研究区域

军川农场位于黑龙江省萝北县城东南, 跨萝北、绥滨两县。东与绥滨农场和绥滨县新富乡接壤, 西与萝北县团结、苇场两乡为邻, 南靠普阳农场, 北与名山、江滨两场交界, 农场区域南北长 28 km, 东西宽 27 km, 土地总面积 594 km²。其中, 耕地 30 330 hm², 牧地草原 551 hm², 水面 3 008 hm², 可垦荒地 10 394 hm²。农场位于北纬 47°20′30″~47°35′30″, 东经 131°5′~131°25′之间, 地处中高纬度, 属寒温带大陆性季风气候。全年平均气温 2.3℃, 农场冬季虽然寒冷干燥, 但作物生长季节却雨量充沛, 热量充足, 日照时间长, 地势平坦, 土壤肥沃, 是发展农业生产的有利条件。但是, 旱情时有发生, 例如 1992 年, 大豆的产量减少了三成, 只有 1 221 kg/hm²。

1.2 遥感影像的选择与处理

根据地面实地调查的时间和天气情况, 选用 2007 年 9 月 25 日的 Landsat TM 影像, 轨道号为 115/027。该影像无云, 满足本研究的要求。

TM 原始遥感影像经过预处理才能应用, 一般要进行辐射校正和几何纠正。首先进行辐射校正, 再进行大气校正; 其次进行几何纠正, 就是在已经辐射校正好的图像上选取若干控制点, 采用多项式纠正法, 投影为高斯-克吕格投影, 对图像进行几何纠正。

1.3 野外观测数据的获取

考虑到观测和采样的农田应具有一定的代表

收稿日期: 2008-11-15

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2006BAD10A01); 国家自然科学基金项目“近实时定量遥感干旱监测方法的研究”(40571111)

作者简介: 苏 涛(1968—), 男, 河北人, 在读博士, 主要从事定量遥感及其在农业中的应用研究。

* 通讯作者: 王鹏新(1965—), 男, 陕西礼泉县人, 副教授, 博士生导师, 主要从事定量遥感及其在农业中的应用研究。

性,在观测地点的布设时遵循下面的原则:首先,应选择同类较大块的农田,且与田边的距离至少大于 30 m,尽量减少其它作物的干扰;其次,以均匀分布为原则选取样地;第三,代表不同地貌、地势和地形条件下的作物生长状况;最后,要求交通便利。

按照以上原则,在黑龙江军川农场范围内,选取 39 个大豆和玉米的采样点,并在每个采样点中,用 TSC II 型土壤水分快速测试仪采用垂直垄向观测的方法,不间断地测定垄上和垄间的土壤表层含水量(0~10 cm、0~20 cm)各 20 个点左右,使用便携式 GPS 测量样点坐标。

1.4 计算方法与分析

1.4.1 地表温度和植被指数的计算 Landsat TM 第 6 波段的光谱范围是 10.4~12.5 μm,主要接受地面长波辐射,可以用来计算地表温度(LST)^[10]。利用 TM 影像反演地表温度的方法较多,丁凤等^[11]利用不同的方法进行反演与试验分析。由于波段 6 的波谱范围太窄,一般利用 Plank 公式计算地面物体的亮度温度 T_0

$$T_0 = \frac{K_2}{\ln(\frac{K_1}{L_6} + 1)}$$

(1)

式中, L_6 是地表在 TM 第 6 波段的光谱辐射亮度; K_1 和 K_2 为计算常系数,其中, $K_1 = 607.76$, $K_2 = 1\,260.56$ 。

地表温度 T_s 的反演方法为

$$T_s = \frac{T_0}{\epsilon^{1/4}}$$

(2)

式中, ϵ 表示比辐射率。 ϵ 的计算采用经验公式^[12]

$$\epsilon = 1.009 + 0.047 \ln I_{NDVI}$$

(3)

通过以下公式就可以计算出归一化植被指数(NDVI)的值。

$$I_{NDV} = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$$

(4)

式中, I_{NDV} 为归一化植被指数; ρ_4 为 TM 第 4 波段(近红外波段)的反射率; ρ_3 为 TM 第 3 波段(红光波段)的反射率。

1.4.2 条件植被温度指数的计算 条件植被温度指数(VTCI)干旱监测方法是在 NDVI—LST 的散点图呈三角形的区域分布的基础上提出来的^[6,7,13],其计算公式为:

$$I_{VTC} = \frac{T_{SNDVI_{i,max}} - T_{SNDVI_i}}{T_{SNDVI_{i,max}} - T_{SNDVI_{i,min}}}$$

(5)

其中:

$$T_{SNDVI_{i,max}} = a + b \cdot I_{NDV_i}$$

(6)

$$T_{SNDVI_{i,min}} = a' + b' \cdot I_{NDV_i}$$

(7)

式中, $T_{SNDVI_{i,max}}$, $T_{SNDVI_{i,min}}$ 分别表示在研究区域内,当 I_{NDV_i} 值等于某一特定值时的所有像素的地表温度的最大值和最小值; T_{SNDVI_i} 表示某一像素的 NDVI 值为 I_{NDV_i} 时的地表温度; a, b, a', b' 为待定系数,通过对研究区域内的 NDVI 和 LST 作散点图近似获得。式(6)和式(7)被称为 VTCI 的冷边界和热边界。

2 结果与分析

2.1 冷边界和热边界的确定

利用混合分类方法对军川农场作物进行分类,提取土地利用信息。首先,利用基于像素的分类方法获取初步的玉米、大豆、水稻、林地、居民点用地、沼泽地、沙地等信息;再利用面向对象的分类方法,对初步信息提取结果进行基于分割图斑的局部统计分析,减轻基于像素分类结果中的椒盐效应,得到最终的比较精确的分类结果。由于我们研究的对象是大豆和玉米作物大田的干旱监测,因此在研究过程中只针对大豆和玉米作物。

根据公式 1 至 7 和 TM 影像,获得 NDVI—LST 的散点图(图 1),确定有关的冷边界和热边界为

$$T_{SNDVI_{i,min}} = 13.8 + 0 \times I_{NDV_i}$$

(8)

$$T_{SNDVI_{i,max}} = 23.5 - 10.32 \times I_{NDV_i}$$

(9)

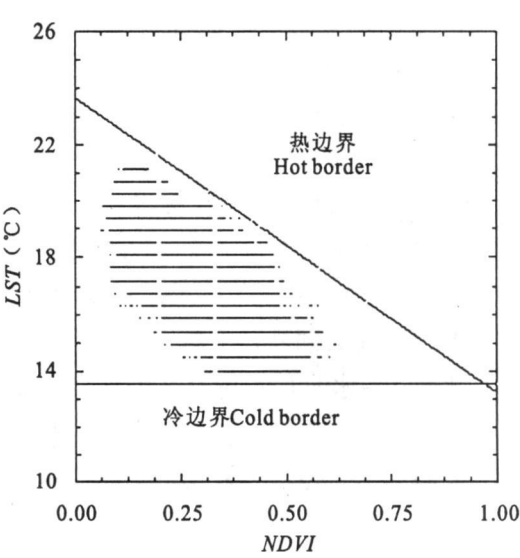


图 1 NDVI—LST 散点图

Fig. 1 Scatter plot of NDVI and LST

2.2 干旱的区域分布

把公式(8)、(9)代入公式(5)中,就可以获得研究区域的干旱区域分布图(图 2)。

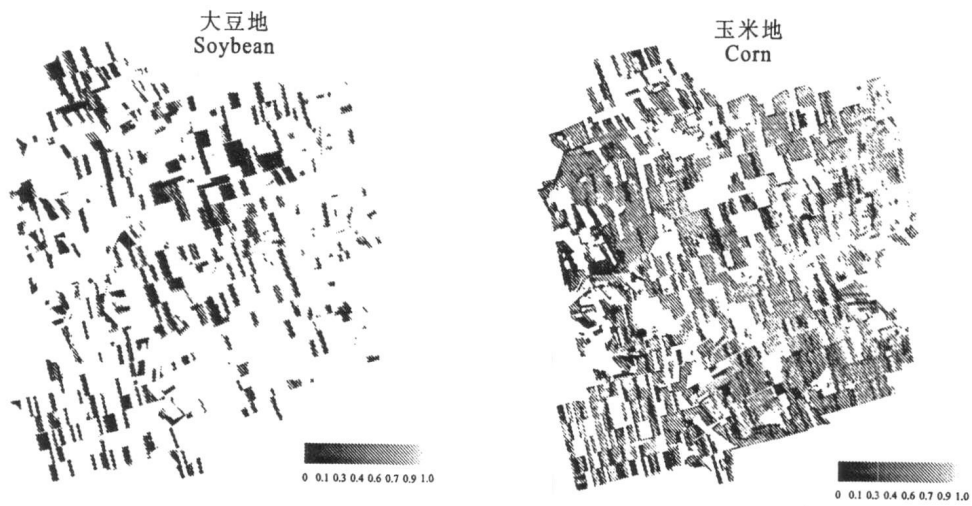


图 2 大豆、玉米地的 VTCI 干旱监测结果

Fig. 2 The result of the VTCI drought monitoring for soybean and corn field

由图 2 可见,从总体上可以看到,研究区域中大豆地 VTCI 值较小,而 VTCI 值越小,则表示旱情越严重,因此可以看出大豆地旱情要比玉米地的旱情严重;从分布上看,农场西北和中部偏北方的大豆地旱情相当严重,对于玉米地而言,农场南部和西部的旱情严重。通过现场的调查发现,玉米的覆盖度要比大豆的大,当植被覆盖度增大时,一方面它可以遮蔽土壤,减少土壤水分的蒸发;另一方面却增加了叶面的蒸腾作用,其结果导致土壤水分的下降^[14,15]。9 月下旬正是玉米大豆即将收获的季节,玉米、大豆的枝叶枯黄,作物蒸腾作用大大减小,根据卢敬华等^[15]的研究成果,在这个时期,植物覆盖度较高时,能够保护和减少表面土壤水分的蒸发,使土壤水分能够维持在一定的水平上,所以玉米的旱情要比大豆轻。

2.3 土壤水分反演模型的对比分析

VTCI 的定义既考虑了区域内 NDVI 的变化,又考虑了在 NDVI 值相同条件下 LST 的变化,但是对于 VTCI 模型来说必须满足土壤表层含水量从萎焉含水量到田间持水量的条件^[7]。2007 年黑龙江省遭受了 50 年不遇的旱灾,VTCI 模型能否在这种旱灾的环境下准确地反演土壤水分,是本小节说明的主要内容。

2.3.1 LST 和 NDVI 构建单因子模型 为了说明 VTCI 模型的可行性,选用 LST 和 NDVI 构建单因子模型作为对比,对军川农场的土壤水分进行反演,结果发现,0~10 cm 的土壤含水量与 LST 具有较好的相关性,其相关系数达到 0.62,而 0~20 cm 的土壤水分与 LST 几乎没有相关性,其相关系数仅为 0.07;0~10 cm 土壤含水量与 NDVI 具有较好的相关性,

其相关系数达到 0.58,而 0~20 cm 的土壤水分与 NDVI 具有弱相关性,仅为 0.19。以上说明了用 LST 和 NDVI 可以较好地反演 0~10 cm 处的土壤水分。

通过多元线性回归分析,建立的土壤含水量(0~10 cm)与 LST 和 NDVI 间的回归模型为:

$$W = 15.12 + 0.01 I_{NDV} - 0.42 T_s \quad (10)$$

经过计算,相关系数为 0.65,大于土壤含水量与 LST 和 NDVI 的相关系数,说明该模型能够比较好地反演土壤表层含水量(0~10 cm)。由于 0~20 cm 处的土壤水分与 LST 和 NDVI 的相关性较弱,因此,多元线性回归分析只适合反演 0~10 cm 处的土壤水分。

2.3.2 VTCI 模型 根据相同测点的土壤表层(0~10 cm 和 0~20 cm)含水量数据,进行 VTCI 与土壤表层含水量的相关性分析。其分析结果显示,VTCI 与土壤表层(0~10 cm)含水量间的相关系数为 0.58,与土壤表层(0~20 cm)含水量间的相关系数为 0.72。土壤含水量(0~10 cm)与 VTCI 间的回归模型为:

$$W = 5.05 + 9.79 I_{VTCI} \quad (11)$$

土壤含水量(0~20 cm)与 VTCI 间的回归模型为:

$$W = 6.31 + 8.76 I_{VTCI} \quad (12)$$

这表明 VTCI 与土壤表层含水量(0~10 cm 和 0~20 cm)有较好的相关性,VTCI 能够较好地反映出地表的干湿变化。

2.3.3 两模型的对比分析 通过对 VTCI 影像和 LST-NDVI 模型(公式 10)监测结果(土壤表层 0~10 cm)进行比较,两图的纹理特征相似,干旱的分布规律几乎一致。为了进一步说明 VTCI 模型的可行

性与准确性,对 LST-NDVI 模型与 VTCI 反演的土壤表层(0~10 cm)水分进行差值分析(图 3)和两模型的预测值与地面观测值的比较分析(图 4),从图中可以看出,差值图与两模型反演结果的分布规律基本一致,对于玉米地,LST-NDVI 模型反演的结果几乎都大于 VTCI 反演值,仅在西部有一部分值小于 VTCI 反演值,而这一部分区域恰恰是玉米地旱情严重的地区,通过对其预测值与地面观测值的散点图比较分析,可知 LST-NDVI 模型玉米的预测结果几乎都大于地面观测值,VTCI 模型监测值的精度较

高;对于大豆地,LST-NDVI 模型反演的结果几乎都小于 VTCI 反演值,只有在东部,旱情较轻的区域,有一部分区域的差值为正,通过对其预测值与地面观测值的散点图比较分析,可知 LST-NDVI 模型的预测结果比 VTCI 模型的预测结果小。利用数理统计的有关概念,对两种模型的预测值与地面观测值的差值(绝对值)进行分析计算,VTCI 模型的平均值为 0.735,方差为 0.947,标准偏差为 0.973,而 LST-NDVI 模型的平均值为 1.030,方差为 1.755,标准偏差为 1.325,表明 VTCI 模型具有较好的准确性。

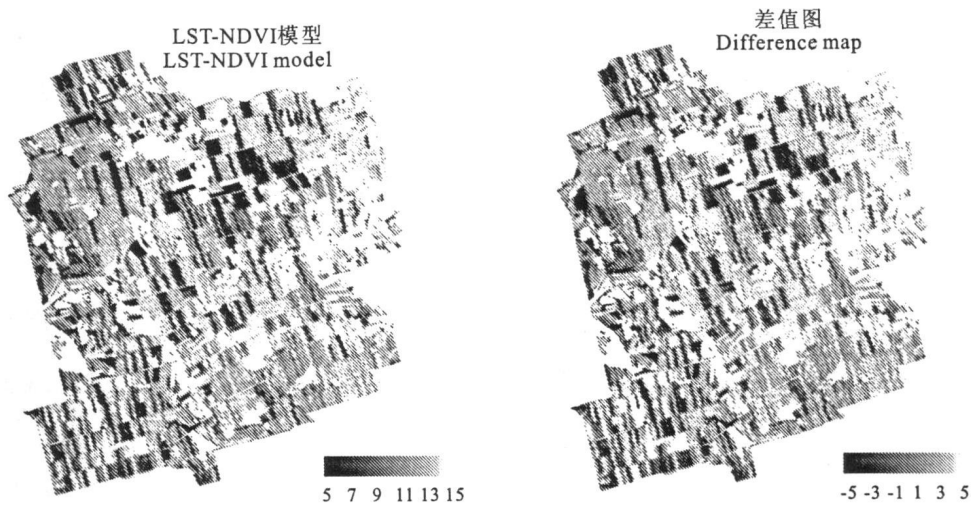


图 3 LST-NDVI 模型反演土壤水分分布和其与 VTCI 反演水分的差值图
Fig.3 The spatial distributions of soil surface moisture based on LST-NDVI retrieval model and the difference map between LST-NDVI and VTCI retrieval models

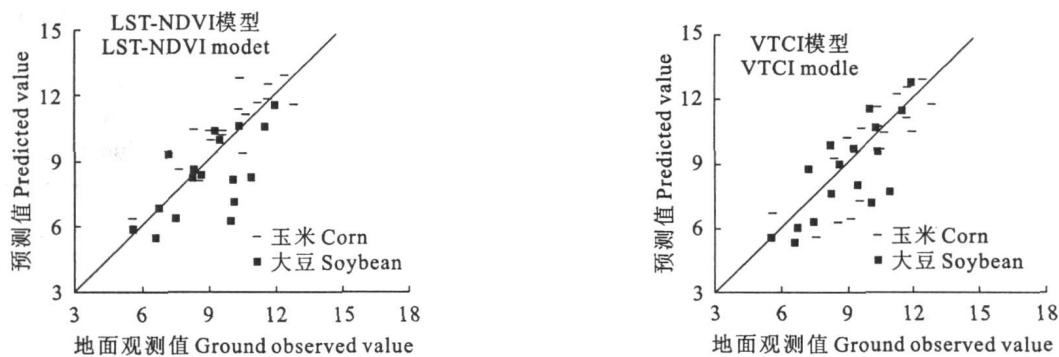


图 4 两模型的预测值与地面观测值的比较
Fig.4 The comparing maps of forecast and observation value for two models

通过以上分析得出:对于旱情较轻的地区(如玉米地),LST-NDVI 模型监测结果的值偏大,VTCI 模型监测值的精度高;对于旱情较重的地区(如大豆地),VTCI 反演水分的值偏大,根据公式(11),可以看出,在旱情较重的大豆地,由于正处在收获期,大豆的植被覆盖很小,使 VTCI 的变化有些异常,从而

造成 VTCI 反演水分值的变化,其模型监测值的精度降低。总体上看,VTCI 在反演土壤表层(0~10 cm)水分时,由于地块的旱情轻重不同,其监测值的精度有一定变化,但通过数理统计分析,表明其精确度较高,优于 LST-NDVI 模型;VTCI 与 0~20 cm 处土壤表层水分具有密切相关性,相关系数达到 0.72,而

LST-NDVI 模型与其不相关,这是 VTCI 的优势所在;VTCI 综合考虑了 NDVI 和 LST 的变化,具有明确的物理解释,而 LST-NDVI 模型只是经验模型。因此,VTCI 模型能够较好地实时监测军川农场的旱情。

3 结 论

利用条件植被温度指数进行干旱监测,采用例如 NOVAA-AVHRR 和 MODIS 短周期的遥感影像已经是一种有效的途径。在本文中,尝试采用 Landsat TM 卫星遥感数据,利用 VTCI 对军川农场的大豆和玉米地进行干旱监测,通过 VTCI 与土壤表层含水量(0~10 cm 和 0~20 cm)的相关性分析,表明该模型与土壤表层含水量有较好的相关性,能够较好地反映出某一时间的地表干湿变化。为了进一步说明 VTCI 模型在军川农场监测旱情的可行性与准确性,引入 LST 和 NDVI 构建的对比模型,通过分析两模型分别与土壤表层含水量的相关性和两模型反演土壤水分差值图,以及有关数理统计的计算分析,表明 VTCI 较好地反映农场的旱情,是实时监测旱情的一种方法。

VTCI 干旱模型的缺点是对研究区域选择的要求较高。通过采用两种模型对军川农场的大豆地和玉米地的土壤表层含水量进行反演,发现对于植被覆盖度较大的玉米地,VTCI 反演的结果正常,监测的精度高,但是对于处在成熟期、植被覆盖度小的大豆地,VTCI 反演的结果出现了异常,VTCI 值普遍偏大。因此,在采用 VTCI 干旱模型时,首先要判断不同的地貌类型的适用性,这样才能避免反演结果异常现象的发生。

参 考 文 献:

- [1] 王鹏新,魏益民.旱地农业可持续发展的道路[M].西安:世界图书出版公司,1998.
- [2] Palmer W C. Meteorological drought. Research paper No. 45[R]. Washington D C: US Department of Commerce Weather Bureau, 1965, 58.
- [3] Kogan F N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas [J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 11: 1405-1420.
- [4] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection [J]. Advances in Space Research, 1995, 15: 91-100.
- [5] 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):106-112.
- [6] 王鹏新,龚健雅,李小文.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(5):412-418.
- [7] 王鹏新,WAN Zheng-ming,龚健雅,等.基于植被指数和土地表面温度的干旱监测模型[J].地球科学进展,2003,18(4):527-533.
- [8] 杨鹤松,王鹏新,孙 威.条件植被温度指数在华北平原干旱监测中的应用[J].北京师范大学(自然科学版),2007,43(3):314-318.
- [9] 王鹏新,孙 威.基于植被指数和地表温度的干旱监测方法的对比分析[J].北京师范大学(自然科学版),2007,43(3):319-323.
- [10] 刘志武,雷志栋,党安荣,等.遥感技术和 SEBAL 模型在干旱区蒸发量估算中的应用[J].清华大学学报(自然科学版),2004,44(3):421-424.
- [11] 丁 凤,徐涵秋.TM 热波段图像的地表温度反演算法与试验分析[J].地球信息科学,2006,8(3):125-130.
- [12] Van de Griend A, Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(6): 1119-1131.
- [13] Wan Zhengming, Wang Pengxin, Li Xiaowen. 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(1): 61-72.
- [14] 程 宇,陈良富,柳钦火,等.基于 MODIS 数据对不同植被覆盖度下土壤水分监测的可行性研究[J].遥感学报,2006,10(5):783-788.
- [15] 卢敬华,陈 伟.植被覆盖与土壤水分的动力学模型[J].成都气象学院学报,1998,13(3):209-216.

A study on drought monitoring based on the vegetation temperature condition index

SU Tao¹, WANG Peng-xin^{1*}, XU Wen-ning¹, SU Wei¹,
LIU Dong-sheng¹, LIU Xiang-ge¹, WU Hong-feng²

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, East Campus, Beijing 100083, China;
2. Information Institute of Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Harbin, Heilongjiang 150036, China)

Abstract: Landsat TM images are used to calculate and retrieve normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST). Vegetation temperature condition index (VTCI) drought monitoring approach is applied to monitor droughts and to retrieve surface soil moisture in Junchuan fam of Helongjiang Province in Northeast China. Soil surface moisture retrieval methods based on NDVI—LST and VTCI models are developed and compared, and the results show that the spatial distributions of soil surface moisture are similar for the two models. The drought monitoring results are validated by using ground measured soil surface moisture. The results indicate that a good linear correlation between VTCI and soil moisture at surface layers (0~10 cm and 0~20 cm) respectively, and further confirm that VTCI approach is a real time drought monitoring approach.

Keywords: VTCI; retrieval; surface soil moisture; drought monitoring

(上接第 187 页)

Effects of soaking seeds with different chemical substances on wheat germination and seedling growth under water stress

YUAN Xue-liang, YANG Chun-lei, ZHOU Jian-bin^{*}
(College of Resources and Environment, Northceat A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: An experiment using PEG₆₀₀₀ to induce water stress was carried out to evaluate the effects of seed soaked with different chemical substance on the germination and seedling growth of wheat. The results were as follows; Soaking seeds with GA increased significantly the germination potential, germination index and the height of wheat plants, but soaking seeds with MnSO₄ and with chemical substances including MnSO₄ reduced the germination ratio and germination index. Using PP₃₃₃ or MnSO₄ alone to soak seeds enhanced significantly the dry weight of wheat root, while the mixing of them depressed the dry weight of root. In case of water stress, soaking seeds with chemical substance was helpful to the growth of wheat height. The treatment of GA+MnSO₄ improved the dry weight of root and shoot under water stress, indicating soaking seeds with GA+MnSO₄ could play an important role in raising healthy wheat seedlings.

Keywords: water stress; soaking seeds with chemical substance; germination of wheat seed; seedling growth