

基于地表温度和植被指数的农业干旱遥感监测方法

柳钦火¹, 辛景峰^{1,2}, 辛晓洲¹, 田国良¹, 杨贵军¹

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. 中国水利水电科学研究院遥感中心, 北京 100044

[摘要] 农业旱灾是人类面临的最主要自然灾害之一, 对我国农业生产影响非常大。土壤含水量是农业干旱监测的重要指标, 通过遥感地表温度 (LST) 与植被指数 (NDVI) 结合, 可以估算土壤湿度, 监测农作物旱情。重点研究了 LST/NDVI 特征空间中干湿边的提取方法, 通过 14 年全国 NOAA/ AVHRR 的 8 km 合成数据集分析发现, 在 LST/NDVI 特征空间中, 曲线斜率与实测土壤湿度显著相关 ($R=0.78$, $P<0.01$), 干边的截距和斜率与湿边有比较稳定的关系, 但干湿边存在较大的空间和时间变异性。将全国分为 6 个区, 分别确定 LST / NDVI 特征空间, 根据特征空间干湿边参数反演土壤湿度, 在土壤湿度分布图和全国耕地分布图基础上, 进行旱情分级, 得到全国耕地旱情分布图, 可以为农业抗旱救灾提供快速宏观的信息服务。

[关键词] 农业干旱; 土壤湿度; 表面温度; 植被指数; LST/NDVI 特征空间; 干湿边

[中图分类号] S127, TP79

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)06-0012-07

Monitoring Agricultural Drought by Vegetation Index and Remotely Sensed Temperature

LIU Qinhua¹, XIN Jingfeng^{1,2}, XIN Xiaozhou¹, TIAN Guoliang¹, YANG Guijun¹

1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences; State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing 100101, China
2. Remote Sensing Center, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China

Abstract: Agricultural drought is one of major natural disasters and has devastated impacts on agriculture. Generally, soil moisture is a key indicator of agricultural drought, which can be estimated based on the relationship between remotely sensed surface temperature (LST) and vegetation index (NDVI), and be used to evaluate crop drought. Specifically, the dry and wet edges in LST/NDVI feature space are identified using 14 years NOAA/NASA Pathfinder AVHRR Land data over China and an algorithm is proposed for the regional estimate of soil moisture. Results show that the slope of the relationship between LST and NDVI (LST/NDVI slope) is significantly correlated to in situ soil moisture ($R^2=0.78$, $P<0.01$), and the intercept and slope of dry edge have a consistent relationship with those of wet edge, but the dry and wet edges show great spatial and temporal variations. In this paper, the mainland of China is divided into 6 zones, and the parameters of LST/NDVI space are determined for each zone. Then, the soil moisture is obtained by inversion using the proposed method. Based on the arable land map and drought grade, the drought distribution map for arable land is produced, which may be used in quick macroscopic agricultural information services for drought relief.

Key Words: agriculture drought; soil moisture; land surface temperature; vegetation index; LST/NDVI feature space; dry and wet edge

CLC Numbers: S127, TP79

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)06-0012-07

收稿日期: 2007-02-01

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-338-2), 国家自然科学基金项目(40371087), 国家重大基础研究项目(2000077903), 科技部社会公益项目(2000DIB10084)

作者简介: 柳钦火, 男, 中国科学院遥感应用研究所, 研究员, 主要研究方向为遥感辐射传输机理、多角度遥感与定量遥感应用等;

E-mail: qhliu@irsa.ac.cn

0 引言

中国是一个旱灾频繁的国家,干旱可以出现在任何季节,有春旱、夏旱、秋旱和冬旱。在有些年份,干旱可以持续两季或更长,称为连旱。春夏以及春夏秋旱常发生在华北,春夏旱情主要发生在东北地区,冬春旱出现在西南和南部地区,全年干旱出现在西北地区。干旱对食物安全、社会经济发展造成灾难性的影响,对自然环境产生严重的破坏。因此,加强干旱的监测,充分做好防灾、减灾工作具有十分巨大的现实意义。遥感技术是获取陆地表面信息的有利工具,它与传统学科相结合,优势互补,可以提供区域、大陆乃至全球的旱情信息,在旱灾综合防治决策、水资源规划管理以及水环境保护等方面发挥重要作用,有利于实现水资源合理配置、水资源的可持续利用。

土壤湿度是干旱的指标之一,是气候、水文、生态、农业等领域的主要参数。它在地表与大气界面的水分和能量交换中起重要作用。植被指数(NDVI)提供了绿色植被的生长状况和覆盖度信息,而地表温度(LST)反映了土壤湿度状况,二者的结合使信息互补,为区域土壤湿度监测提供了潜力。在遥感观测数据中,植被指数与地表温度具有很强的负相关性,这一现象在多种植被类型和传感器上得到验证。Goward 和 Hope^[1]利用 AVHRR 数据发现 LST/NDVI 关系随土壤湿度变化。Nemani 和 Running^[2]在针叶林地区利用 NOAA 数据根据 LST 和 NDVI 相关直线的斜率计算冠层阻力以估测土壤有效水分;Carlson 等^[3]利用航空数据,根据 LST/NDVI 的关系估测作物冠层和裸土温度,并利用边界层模型(boundary layer model)估测土壤含水量;Price^[4]利用 NOAA 数据通过地表温度与植被指数的关系估测区域蒸散;Smith 和 Choudhury^[5]利用 TM 图像研究 LST/NDVI 关系,认为 LST/NDVI 斜率与土壤水分有效性的关系受植被类型影响;Nemani 等^[6]研究了植被类型、灌溉、图像窗口对 LST/NDVI 斜率的影响;Friedl 和 Davis^[7]利用航空数据研究土地覆盖类型、日变化对 LST/NDVI 关系的影响;Moran 等^[8]利用植被指数和地表温度(温差)估测作物水分状况,认为植被指数/地表温度(温差)为梯形,并提出了适宜部分植被覆盖的水分亏缺指数(WDI)。Carlson 等^[9]根据航空数据研究图像空间分辨率对植被指数与遥感地表温度特征空间干边的影响,认为像元尺度的增加不影响 LST/NDVI 关系和干边。Gillies 等^[10]根据航空数据利用 LST 与 NDVI 的三角形方法估测土壤有效水分含量。Goetz^[11]研究了不同分辨率(AVHRR、TM、SPOT、航空、地面数据)下 LST/NDVI 斜率与土壤湿度的关系;Boegh 等^[12]利用 LST/NDVI 关系估测蒸腾速率;Sandholt 等^[13]基于植被指数和地表温度的关系,提出了估测土壤表层水分状况的干旱指数——温度植被干旱指数(TVDI)。Goward 等^[14]研究影响 LST/NDVI 关系的

因素,提出了估测土壤湿度的回归方程。

本文利用 NOAA/ AVHRR 数据开展中国旱情监测的研究。首先分析 LST/NDVI 特征空间在不同区域和季节的变化,其次将全国分为 6 个区进行特征空间建立、干边斜率确定以及所有像元土壤湿度确定,最后根据土壤湿度划分干旱等级,得到全国旱情图。

1 方法

1.1 LST/NDVI 特征空间

对于一个区域来说,若地表覆盖类型从裸土到密闭植被冠层,土壤湿度由干旱到湿润,则该区域每个像元的植被指数和地表温度组成的散点图呈现为梯形^[8],图 1 表示了植被指数与地表温度的关系。对于裸土,表面温度的变化与表层土壤湿度变化密切相关。因此,点 A 表示干燥裸露土壤(低 NDVI, 高 LST),而点 B 表示湿润裸露土壤(低 NDVI, 低 LST)。一般情况下,随着植被覆盖度的增加,表面温度降低;点 D 表示干旱密闭植被冠层(高 NDVI, 相对高 LST),土壤干旱,植被蒸腾弱;点 C 表示湿润密闭冠层(高 NDVI, 低 LST),土壤湿润,植被蒸腾强。AD 表示干边,表示低蒸散,干旱状态;BC 表示湿边,代表潜在蒸散,湿润状态。说明某一区域某一时段内 NDVI 与 LST 的理论特征空间,区域内每一像元的 NDVI 与 LST 值将分布在 ABCD 4 个极点构成的 LST/NDVI 特征空间内,LST/NDVI 特征空间可以被看作是由一组土壤湿度等值线组成(图 2^[8])。

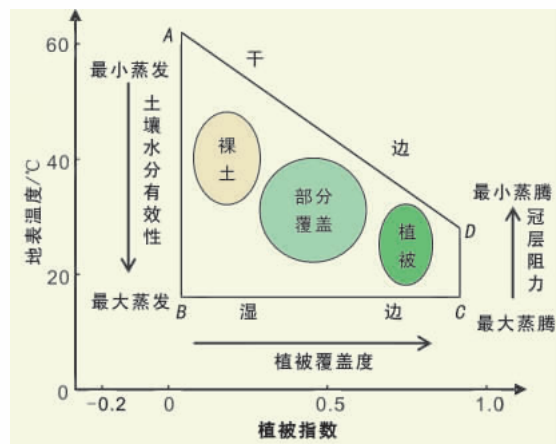


图 1 植被指数与地表温度特征空间

Fig. 1 Illustration of normal LST/NDVI space

实际上,对于局部地区来说,在一幅图像中,由于茂密植被面积小,像元数少,且土壤含水量接近,冠层温度差异小,所以,某一时刻某一区域的遥感图像,其散点图常为三角形^[3-4],这说明该区域缺少上下边界条件。梯形的 AD 边称为干边,理论上土壤相对含水量等于 0;BC 边称为湿边,其土壤湿度为田间持水量,即土

壤相对含水量等于 100%^[3,10]。一般情况下,由遥感图像获得的散点图不能覆盖由干到湿的整个范围,干边土壤相对含水量不等于 0,湿边土壤相对含水量不等于 100%。否则,在土壤湿度低时,估测值比实际值低;而在土壤湿度高时,估测值比实际值高。LST/NDVI 特征空间得到了理论模型的论证和田间数据的支持^[3,8-10],在此基础上 Sandholt 等^[13]提出了温度植被干旱指数(TVDI)的概念。TVDI 由植被指数和表面温度计算得到,只依靠图像数据。TVDI 的定义为

$$TVDI = \frac{T - T_{\max}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (1)$$

式中, T 为陆地表面温度; $T_{\min}$ 为特征空间最低温度,即湿边; $T_{\max} = a + b \cdot NDVI$, 为某一 NDVI 对应的最高温度,即干边, a 和 b 为系数, 由线性拟合得到; NDVI 为植被指数。

1.2 土壤湿度反演

为了估算每个像元的土壤湿度状况, 首先建立 LST/NDVI 斜率与土壤相对含水量的定量关系

$$RSM = a_1 + a_2 \sigma \quad (2)$$

式中, RSM 为土壤相对含水量, σ 为 LST/NDVI 直线斜率, a_1 和 a_2 为系数。

其次确定 LST/NDVI 特征空间的干湿边, 根据干边的斜率由式(2)计算得到干边对应的土壤湿度。然后根据每个像元到干湿边的距离和干湿边的土壤湿度值(图 2), 有

$$\frac{RSM_w - RSM}{RSM_w - RSM_D} = \frac{T - T_w}{T_D - T_w} \quad (3)$$

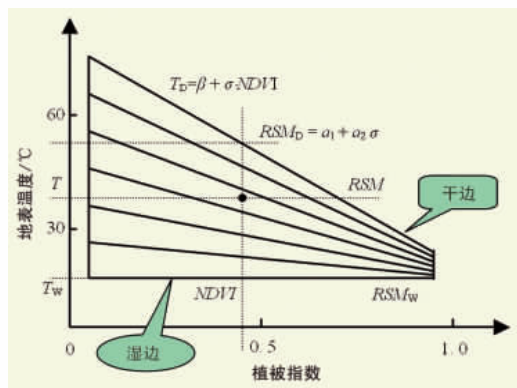


图 2 LST/NDVI 特征空间与土壤湿度计算
Fig. 2 LST/NDVI characteristic space and the calculation of soil moisture

根据式(3), 土壤相对含水量计算如下

$$RSM = RSM_w - \frac{T - T_w}{T_D - T_w} (RSM_w - RSM_D) \quad (4)$$

式中, RSM 表示某一像元土壤相对含水量, RSM_w 是湿

边上最大土壤相对含水量 ($RSM=100\%$), RSM_D 是干边上最小土壤相对含水量, $RSM_D = a_1 + a_2 \sigma$; T 是某像元的地表温度估测值, T_w 是湿边代表的最低地表温度, T_D 是某 NDVI 下的最高地表温度, $T_D = b_1 + b_2 \cdot NDVI$, NDVI 是植被指数观测值, b_1 和 b_2 是利用最小二乘法线性拟合确定干边的回归系数, b_2 代替式(2)中的 σ 用于计算 RSM_D 。

1.3 干湿边确定

为了获得每个观测站点所对应的 LST/NDVI 斜率, 采用以站点为中心的 9×9 窗口提供的像元来进行线性拟合, 从而得到 LST/NDVI 斜率参数。对于近 5 万组数据, 只能采用数据自动处理方法。利用 MATLAB 计算软件, 采用最小二乘回归方法来拟合 LST 和 NDVI 的关系。在数据自动处理过程中, 首先根据每个文件的云标识层筛选剔除云斑干扰像元, 其次, 检查 NDVI 有效范围是否大于 0.2, 在满足条件后进行线性拟合, 若每个观测值剩余残差均小于 1.5 倍标准误差或观测值剩余残差均小于 2°C , 则线性拟合系数作为 LST/NDVI 的关系参数, 计算终止。否则, 剔除剩余残差大于 1.5 倍标准误差的异点像元后进行迭代计算, 直到连续两次迭代计算之间的 LST/NDVI 斜率和 R^2 的变化小于 10%, 或者观测值剩余残差均小于 1.5 倍标准误差, 又或者观测值剩余残差均小于 2°C 为止。如果观测点所在窗口 50% 的像元受云影响, 或者 NDVI 范围小于 0.2 又或者剔除异点像元后有效像元数小于 25% 窗口像元总数, 则停止计算, 该观测点不能提供有效 LST/NDVI 参数。

在 LST/NDVI 特征空间中, 当 NDVI 较大时, 像元数通常较少, 即达到密闭冠层的像元较少。这些像元的土壤湿度处于某种状态, 难以保证此 NDVI 下存在由干到湿的不同状态。同样地, 当 NDVI 较小时, 像元数也较少。像元的直方图(不同 NDVI 下像元的频率分布)呈现中间高, 两端低。因此, 在线性拟合干边时, 应将两端的像元剔除, 各为像元总数的 1%。有时像元的直方图曲线出现中间低的情况, 热边呈现凹形, 这时, 除了剔除两端各 1% 的像元外, 还应剔除中间部分像元, 然后进行线性拟合获得干边参数。为了提高线性拟合的精度, 有时还要进一步剔除异点像元, 总之, 像元的直方图是确定干湿边的辅助工具。

利用最大值和最小值方法获得 NDVI 对应的最高温度和最低温度, 作为 LST/NDVI 特征空间的冷热边。该方法获得的冷热边直观、清晰, 宜于线性拟合, 数据处理和显示快速。而利用散点图确定干湿边时, 边界不清楚; 不能利用拟合等方法确定线性参数, 只能主观目视确定, 且数据量大, 有时达到数百万个像元, 数据处理和显示缓慢。因此, 当最大值和最小值方法能够正确、快速确定干湿边参数时, 不需要参考散点图。但是,

有时利用最大值和最小值方法提取的冷热边像元比较分散,形状不规则,或对干湿边的参数存在怀疑时,应参考散点图进行修正。特别是对于冷边,一些温度过低的零星像元影响湿边的确定。

2 数据

本研究基于由 Goddard Distributed Active Archive Center 提供的亚洲地区 NOAA/NASA 探险者 AVHRR 陆地数据集(NOAA/NASA Pathfinder AVHRR Land Data Set),该数据集为 1981 年 7 月至 1994 年 9 月 10 天合成 8 km 空间分辨率遥感图像,覆盖整个亚洲大陆,每个文件包含 12 个数据层(5 个 AVHRR 通道、NDVI、太阳天顶角、扫描角、相对方位角、云标识、质量控制标识和观测时间)以及 4 个辅助数据层(纬度、经度、海拔高度、陆地/海面标志)。反射率数据经过瑞利散射和臭氧吸收校正,温度数据为大气顶层亮温,云标识由 AVHRR 的 CLAVR 算法产生,卫星扫描角较大的像元没有采用,只有星下点两边扫描角 42 以内的像元被用来进行数据合成。由于有些时次的图像残缺,经内插方法进行数据处理来补充缺失,这样共有 474 旬数据。

土壤湿度数据来源于全国 102 个固定农业气象观测站,时间段为 1981 年至 1994 年。土壤湿度为 20 cm 旬资料,每月的 8 日、18 日、28 日进行 3 次观测。同时获得的数据还有田间持水量,由此得到各站点相应的土壤相对含水量(RSM),并用它表示土壤水分有效性^[3],以减少土壤质地的影响。

本文收集了 1983–1994 年华北地区主要观测站的日气象资料,包括气温、总云量、降水量、0 厘米地温、日照时数等。由于遥感数据时间分辨率为旬,所以气象数据也转换为以旬为单位。

中国耕地分布数据采用 1 km Albers 等积圆锥投影数字地图(4 950 列×4 090 行),制作日期为 1998 年 5 月 1 日。植被覆盖类型分区参照中国植被区划图。

3 结果

3.1 土壤湿度与斜率的关系

用 102 个测点的 1982–1993 年观测数据分析了土壤湿度与 LST/NDVI 斜率的关系。LST/NDVI 斜率用站点所在地 9×9 个像元窗口内所有像元进行最小二乘回归模拟得出。结果表明,该斜率与实测土壤湿度存在显著的相关关系($R^2 = 0.78$, $P < 0.01$),如图 3 所示。

$$RSM = 103.61 + 1.836\sigma \quad (5)$$

式中 σ 是 LST/NDVI 斜率。

3.2 分区对干湿边的影响

对于经纬度变化范围较大的区域,不同地方的气象与植被条件有较大的不同,所以 LST/NDVI 特征空间的参数也会有较大的差别。为了解区域大小对干湿

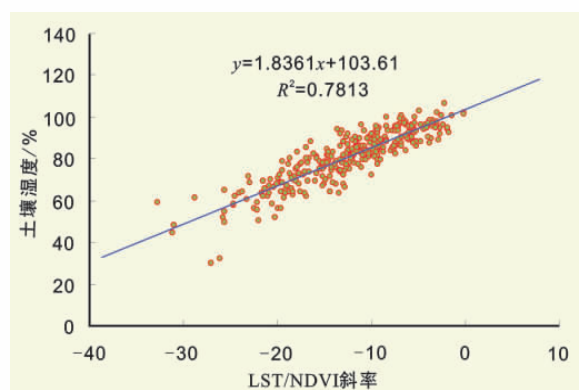


图 3 LST/NDVI 斜率与土壤湿度的相关关系

Fig. 3 Relationship between LST/NDVI slope and soil moisture

边的影响,笔者将全国分别作为 1 个区域和分为 4 个区域、8 个区域确定 LST/NDVI 特征空间的干湿边参数,并利用该参数进行土壤湿度反演,通过与地面实测值对比分析来判断适宜的区域大小。选取 1993 年第 12 旬和第 21 旬进行研究分析发现,将全国作为 1 个区域进行干湿边参数提取相对容易、干湿边明显易于确定。相反,按 8 个区分别确定干湿边参数比较困难、干湿边有时不明显,特别是面积比较小的区域,由于地表状况缺乏足够的变异性而产生不规则 LST/NDVI 特征空间,从而增加了确定干湿边参数的难度。另一方面,分不同区域提取的干边和湿边有很大的不同,这主要是因为各地的气象条件(如太阳辐射、气温、风速和湿度等)有较大的差异。所以,对全国进行适当分区,并按分区分别确定干湿边参数有利于提高土壤湿度估测精度。

3.3 土壤湿度反演结果

首先确定 LST/NDVI 特征空间参数,根据干边的斜率利用式(2)确定干边对应的土壤湿度。然后根据式(4)计算每个像元相应的土壤湿度,得到土壤湿度图像。按观测点坐标位置从遥感反演的土壤湿度图中提取土壤湿度值,并与地面实测值进行对比分析,见表 1。

表 1 土壤相对含水量实测值与反演结果的标准误差
Table 1 Standard deviation between satellite data and ground observation data

旬	点数	平均值	标准误差	相对误差/%
1986 年 5 月下旬	81	75.1	14.6	19.4
1986 年 8 月下旬	85	75.4	16.3	21.6
1990 年 8 月下旬	80	77.6	13.5	17.4
1993 年 4 月下旬	78	72.5	13.7	18.9
1993 年 7 月下旬	80	79.7	12.3	15.5
1993 年 8 月下旬	74	81.1	14.0	17.3

为了利用遥感反演的 LST/NDVI 斜率来估算土壤湿度,将土壤湿度与 LST/NDVI 斜率按区、按旬进行回

归分析, 建立 LST/NDVI 斜率与土壤湿度的回归方程, 并分析回归方程系数的时空变异, 最后得到由 LST/NDVI 斜率反演土壤湿度的关系式。通常 4-10 月农作物主要生育期期间土壤湿度与 LST/NDVI 斜率的关系相对稳定, 因此, 利用此期的平均值表示 LST/NDVI 斜率(σ)与土壤湿度的通用关系, 得到其经验公式, 土壤湿度 $RSM=a+b\sigma$ 。此表达式将用于确定 LST/NDVI 特征空间干边的土壤湿度, 进而计算图像中每个像元的土壤湿度。

3.4 旱情等级

由于中国地域广阔、气候差异分明、土地覆盖类型

复杂, 有必要将全国划分为几个区域进行土壤湿度反演。分区的大小与遥感图像的分辨率有关, 考虑到 NDVI 范围、像元总数、地表属性变异性以及可操作性, 以 1 km 空间分辨率图像为基础, 笔者将全国农业区域划分为 6 个分区作为土壤湿度反演的基本单元。这 6 个分区为: ① 东北地区; ② 华北地区; ③ 华中和华南地区; ④ 内蒙地区; ⑤ 新疆地区; ⑥ 西藏和青海地区。区域的划分有利于对受灾区域进行重点监测, 提高遥感监测的时效性。将全国分为 6 个区, 分别确定 LST/NDVI 特征空间。根据特征空间参数, 反演土壤湿度, 得到土壤湿度图。按土壤湿度进行旱情分级, 并与全国耕地分

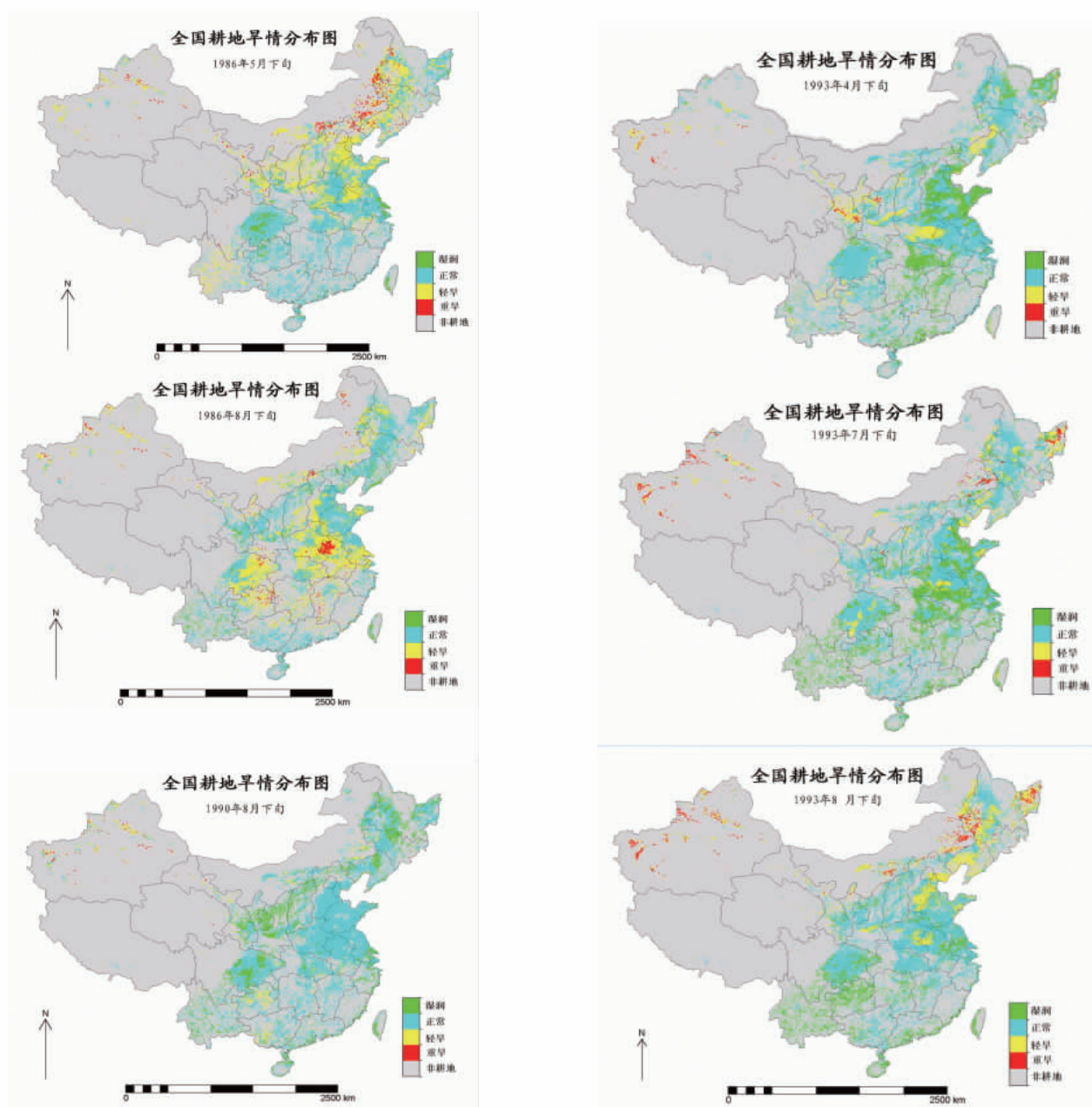


图 4 全国耕地旱情分布图

Fig. 4 Farmland drought distribution map in China

布图进行叠加,得到全国耕地旱情分布图。

根据土壤湿度分布图和全国耕地分布图,按照土壤旱情分级标准生成全国耕地旱情分布图,可以直观地反映全国旱情分布情况和严重程度。根据农业旱情等级划分标准,土壤相对含水量 $<40\%$ 为重旱; $40\%\sim 50\%$ 为中旱; $50\%\sim 60\%$ 为轻旱; $60\%\sim 80\%$ 为正常; $80\%\sim 100\%$ 为湿润。由于土壤湿度估测误差在 14% 左右,以土壤相对含水量 10% 为间隔来划分轻旱、中旱和重旱无实际意义,且与正常、湿润 20% 的间隔不一致。因此,笔者将旱情划分为4级:土壤相对含水量 $<40\%$ 表示重旱; $40\%\sim 60\%$ 为轻旱; $60\%\sim 80\%$ 为正常; $80\%\sim 100\%$ 为湿润。图4为全国耕地旱情分布图。

由图4可以看出,1986年5月下旬华北、东北、西北大部分地区出现轻旱或重旱,华中、华南以及西北部分地区发生轻旱。到8月份,东北旱情部分缓解,而华中地区旱情趋于严重,部分地区出现重旱且面积扩大。1990年西部和西北部分地区为轻旱或重旱,华南和华中有部分地区轻旱,而华北和东北地区土壤湿度正常或湿润。在1993年,西北和东北地区4月下旬土壤湿度比较正常,7月下旬旱情加重,到8月份受旱区域继续扩大、加重。而华中和华南情况正相反,遭受旱情影响的区域逐渐缩小,以至消失。经查历史旱情资料,1986年全国大部分地区确实发生了严重干旱,受旱面积在 $3\,000\text{万 km}^2$ 以上,而1990年和1993年受旱面积较小、较轻,该结果与年降水量数据也基本吻合。

在土壤湿度估测和耕地旱情监测的基础上,根据不同土地利用类型的需水量和由气象、水文等资料提供的供水量,结合当前土壤湿度分布情况,可以进行缺水预报、损失评估、水资源调配。

4 结论与讨论

土壤含水量是农业干旱监测的重要指标,通过遥感技术监测土壤含水量,建立旱情遥感监测模型,对农业生产、生态环境、资源配置和社会经济等方面具有重要的实际意义。本文利用1981年至1994年 8 km 空间分辨率、 10 d 合成的NOAA/AVHRR数据集以及对应时段全国102个固定农业观测站的 20 cm 土壤湿度资料,研究了土壤湿度与LST/NDVI斜率的定量关系、探讨了LST/NDVI特征空间干湿边的定义、分析了干湿边的时空变化规律,在此基础上提出了土壤湿度估测的新方法,并利用该方法进行了土壤湿度反演与验证,进而对全国旱情进行了监测与分析,得到不同时期的全国旱情分布图。

本文提出了LST/NDVI斜率与土壤湿度的定量关系,由于遥感反演数据与地面观测数据存在时空匹配问题,在LST/NDVI斜率的线性回归拟合、LST/NDVI斜率与土壤湿度的线性回归拟合过程中,采用了阈值的

方法剔除干扰异点像元来提高精度。虽然阈值的确定以大量的实测数据为依据,但阈值的设置应考虑时间、空间的变化,阈值的有效范围还有待深入探讨。

由于地面观测站点基本位于农田,土壤湿度一般较高,土壤湿度 $<40\%$ 的数据较少, $<20\%$ 的数据更少。因此,本文提出的LST/NDVI斜率与土壤湿度的定量关系适于较高土壤湿度的情况,将其外推至低土壤含水量情况可能存在差异。在低土壤含水量情况下LST/NDVI斜率与土壤湿度的定量关系如何,有待进一步探讨。

本文只对 8 km 空间分辨率的NOAA/AVHRR 10 d 合成数据进行了研究分析,其结果对于高空间分辨率的NOAA/AVHRR, Terra/MODIS, Landsat/TM, SPOT/HRV等数据仍需要进一步的研究。

本文沿用文献中提到的土壤水分有效性(soil moisture availability),即土壤相对含水量建立了LST/NDVI斜率与土壤湿度的定量关系。笔者认为利用土壤有效含水量更合理、效果会更好。土壤有效含水量=(实际含水量-萎蔫含水量)/(田间持水量-萎蔫含水量)。遥感反演土壤湿度与地面实测值很接近,但仍有个别地点产生较大误差,由于采用的是历史资料,无法进行地面验证、调查分析其原因。

在今后的工作中,应对以下几个方面进行研究:①利用 1 km NOAA/AVHRR和TERRA/MODIS数据产品对本方法进行验证,对全国旱情进行实时监测与预报;②利用土壤有效含水量与LST/NDVI斜率进行相关分析,建立土壤有效含水量的估测模型;③在不同地区、不同季节选取有代表性的地段与卫星进行同步观测,分析土壤湿度范围、土地覆盖类型、植被覆盖度等对该模型的影响;④集成现有遥感监测模型和方法,建立干旱遥感监测与预报实用系统。

参考文献(References)

- [1] GOWARD S N, HOPE A S. Evapotranspiration from combined reflected solar and emitted terrestrial radiation: preliminary FIFE results from AVHRR data [J]. Advances in Space Research, 1989, 9 (7): 239-249.
- [2] NEMANI R R, RUNNING S W. Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal IR AVHRR data [J]. Journal of Applied Meteorology, 1989, 28: 276-284.
- [3] CARLSON T N, PERRY E M, SCHMUGGE T J. Remote estimation of soil moisture availability and fractional vegetation cover for agriculture Field [J]. Agriculture and Forest Meteorology, 1990, 52: 45-49.
- [4] PRICE J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration[J]. IEEE transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1990, 28: 940-948.
- [5] SMITH R G, CHOUDHURY B J. Analysis of normalized difference and surface temperature observations over

- southeastern Australia [J]. International Journal of Remote Sensing, 1991, 12 (10): 2021–2044.
- [6] NEMANI R, PIERCE L, RUNNING S, *et al.* Developing satellite-derived estimates of surface moisture status[J]. Journal of Applied Meteorology, 1993, 32 (3): 548–557.
- [7] FRIEDL M A, DAVIS F W. Sources of variation in radiometric surface temperature over a tallgrass prairie [J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 48: 1–17.
- [8] MORAN M S, CLARKE T R, INOUE Y, *et al.* Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 49: 246–263.
- [9] CARLSON T N, GILLIES R R, SCHMUGGE T J. An interpretation of methodologies for indirect measurement of soil water content [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1995, 77: 191–205.
- [10] GILLIES R R, CARLSON T N, GUI J, *et al.* A verification of the "triangle" method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the Normalized Difference Vegetation Index(NDVI) and surface radiant temperature[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18 (15): 3145–3166.
- [11] GOETZ S Z. Multisensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site [J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18 (1): 71–94.
- [12] BOEGH E, SOEGAARD H, HANAN N, *et al.* A remote sensing study of the NDVI-TS relationship and transpiration from sparse vegetation in the Sahel based on High-Resolution Satellite Data[J], Remote Sensing of Environment, 1999, 69: 224–240.
- [13] SANDHOLT I, RASMUSSEN K, ANDERSEN J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 79: 213–224.
- [14] GOWARD S N, XUE Y, CZAJKOWSKI K P. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements—An exploration with the simplified simple biosphere model[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 79: 225–242.

(责任编辑 王士泉)

科技导报社 2007 年广告刊例

《科技导报》是中国科学技术协会学术会刊,1980年由杨振宁、李政道等华裔科学家倡议在美国创刊,主要发表国内外科学和技术各学科专业原创性学术论文,同时刊登阶段性最新科研成果报告,快速报道国内外重大科技新闻,全方位、高密度、大容量提供各类科技信息,是一份有影响、有特色、有品位的高层次、高水平、高质量学术期刊。

《科技导报》曾荣获全国科技期刊(综合类)一等奖、全国“双奖期刊”,入选“中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)”、“国家期刊方阵”、全国“百刊工程”和“中国核心期刊(遴选)数据库”。

《科技导报》以“刊登原创学术论文,报道前沿科技成果;涵盖科技各个领域,关注重大科技问题;重视理论研究创新,鼓励学术观点争鸣;促进中外科技交流,探索强国兴邦道路”

为办刊宗旨,以“处理来稿周期短,报道成果时效强;探究问题起点高,研讨思路视野宽;提出对策着眼远,争鸣学术气氛浓;刊载信息密度大,排版印刷质量好”为办刊特色,主要读者对象为高等学校和科研院所自然科学领域一线科技人员以及研究生。

《科技导报》设有卷首语、本刊专稿、专题稿件、研究论文、综述文章、研究报告、学术争鸣、实验技术、科技评论、科技报道、科学家之声、科技动态、信息发布等 15 个栏目。

《科技导报》热忱欢迎各有关单位刊登广告,我们将为您提供优质服务。

《科技导报》全刊彩色印刷,各版面广告价位如下(多版广告价格优惠):

版位	封二 (四色铜版纸印刷)	封三 (四色铜版纸印刷)	封底 (四色铜版纸印刷)	内文版 (四色轻涂纸印刷)
价格(元)	11000	10000	12000	5000

开户银行:工商银行百万庄支行

户名:科技导报社

账号:0200001409089017271

联系电话:(010)62103114(传真)

通讯地址:北京市海淀区学院南路 86 号

邮政编码:100081

联系人:马武田

电子信箱:mawutian@cast.org.cn