

文章编号: 1007-4619(2003)05-0420-08

# 利用温度植被旱情指数(*TVDI*) 进行 全国旱情监测研究

齐述华, 王长耀, 牛 铮

(中国科学院 遥感应用研究所遥感信息科学开放实验室, 北京 100101)

**摘 要** 利用 NOAA-AVHRR 资料提取的归一化植被指数(*NDVI*) 和陆地表面温度(*LST*), 构建 *NDVI-T<sub>s</sub>* 特征空间, 依据该特征空间设计的温度植被旱情指数作为旱情指标, 对中国 2000 年 3 月和 5 月各旬的旱情进行了研究。研究结果表明在 2000 年 3 月和 5 月的重旱区主要分布在中国西北地区, 在华北和华南的部分地区也有较大范围的分布, 3 月和 5 月的全国重旱面积分别为  $67.2 \times 10^4 \text{ km}^2$  和  $126.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ ; 通过与各气象站测定的表层 10cm 土壤重量含水量( $\theta$ ) 数据进行相关性研究表明, 利用综合了植被覆盖信息和陆地表面温度信息的 *TVDI* 旱情指标能够较好地反映表层土壤水分变化趋势, 作为旱情评价指标是合理的; 对 *TVDI* 随 *NDVI* 和 *T<sub>s</sub>* 变化的敏感性评价结果表明, 以陆地表面温度为基准的旱情指标相对比以植被指数为基础的旱情指标更合理。

**关键词:** 温度植被旱情指数; *NDVI-T<sub>s</sub>*; 特征空间; 旱情; *NDVI*; *T<sub>s</sub>*

**中图分类号:** TP79/S3      **文献标识码:** A

## 1 引 言

一个大流域的水文模型需要大量分布式数据作为模型的输入, 因为模型所需要的多数变量是具有一定的空间分布规律的。遥感是获得陆面分布式信息最经济的技术手段, 其中土壤水分状况是水文模型所关注的一个非常重要的变量之一, 因而有必要研究利用遥感信息研究获取土壤水分状况信息。NOAA-AVHRR 遥感数据由于其自身的特点在大面积旱情监测方面具有其很大的优势。利用遥感手段监测大范围旱情的研究在国内也已经取得很大的进展<sup>[1-3]</sup>。这些研究采用的旱情指标或者是建立在陆面温度基础上, 或者建立在植被指数基础上, 或者从实际蒸散和潜在蒸散的比值着手进行。在植被覆盖条件下, 利用土壤表现热惯量法进行土壤水分状况评价存在很大的限制, 而利用 *NDVI* 作为水分胁迫指标又表现出一定的滞后性<sup>[4]</sup>。相比之下温度作为水分胁迫指标具有更高的时效性<sup>[5]</sup>。以冠层或叶片辐射温度信息作为旱情评价指标早在 20 世纪 80 年代初期就得到广泛的应用<sup>[6,7]</sup>。然而, 在应用遥感

手段进行旱情监测时, 如果单独以遥感获得的陆面温度作为指标, 在植被覆盖不完全条件下, 较高的土壤背景温度会严重干扰旱情信息<sup>[8]</sup>。

为了消除土壤背景的影响, 有必要利用光谱植被指数和陆面温度的复合信息来评价区域旱情。Price<sup>[9]</sup>和 Carlson<sup>[10]</sup>发现当研究区域的植被覆盖度范围较大, 以遥感资料得到的 *T<sub>s</sub>* 和 *NDVI* 为横纵坐标得到的散点图呈三角形; Moran 等<sup>[8]</sup>发现散点图呈梯形。事实上, 结合遥感陆面温度(*T<sub>s</sub>*) 和光谱植被指数已经应用于多方面的研究。如 Moran 等<sup>[8]</sup>结合光谱植被指数和陆面温度研究遥感估算蒸散量; Prihodko 等<sup>[11]</sup>和 Boegh 等<sup>[12]</sup>发现 *T<sub>s</sub>/NDVI* 斜率与地表蒸散速率有一定函数的关系, 并且可以用来计算气温; Boegh 等<sup>[12]</sup>根据对各种植被类型的 *NDVI-T<sub>s</sub>* 线性关系, 将遥感获得的 *T<sub>s</sub>* 数据分解为稀疏植被条件下的叶温和土壤温度; Nemani 和 Running<sup>[13]</sup>建立 *T<sub>s</sub>/NDVI* 斜率与气孔阻力及蒸散之间的联系; 利用 *T<sub>s</sub>/NDVI* 斜率评价土壤水分状况的研究也不少<sup>[4,5,14-16]</sup>, 然而国内利用 *NDVI-T<sub>s</sub>* 特征空间进行土壤水分状况评价的研究很少。

本文利用 NOAA-AVHRR 资料, 结合分布于全国

收稿日期: 2002-06-23; 修订日期: 2002-06-27

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G200077900) 和中国科学院知识创新工程重大项目——中国陆地和近海生态系统碳收支研究(KZCX1-SW-01) 资助。

作者简介: 齐述华(1973—), 男, 2001 年 7 月毕业于中国农业大学土壤学专业, 现为中国科学院遥感应用研究所在读博士生, 主要研究方向为农业遥感。

各地气象台站测定的土壤含水量数据, 试图对温度植被干旱指数作为旱情指标进行全国旱情监测的可行性分析评价。

## 2 原理和方法

遥感辐射温度受多方面因素相互作用的影响, 如植被覆盖度、蒸散量、地表热特性( 导热性和热容)、净辐射、地表粗糙度和风速等<sup>[4]</sup>。由于植被覆盖度与光谱植被指数存在一定关系, 而植被覆盖度决定了传感器接收到土壤背景和植被冠层可见光和热红外信息, 从而影响遥感获取的辐射温度。由于蒸散很大程度上控制冠层温度, 在一定的净辐射条件下, 当蒸散量越少, 感热量越大, 冠层温度就越高。另外蒸散量同时受 3 方面的因素控制, 即气象条件、植被生长状况和土壤可利用水量。生态系统在一定气象条件下, 当土壤水分不能满足潜在蒸散时, 用于改变周围环境温度的感热量增加, 冠层温度升高, 气孔阻力增大, 进一步抑制蒸散。显然土壤水分状况与表面温度之间不存在直接的关系, 但土壤水分无疑是影响植被冠层温度的重要因素。从这个意义上, 一定植被覆盖条件下的冠层温度能够间接反映土壤供水情况。

Sandholt 等<sup>[4]</sup> 利用简化的  $NDVI-T_s$  特征空间提出水分胁迫指标, 即温度植被旱情指数, 在该简化的特征空间, 将湿边(  $T_{s\text{-min}}$  ) 处理为与  $NDVI$  轴平行的直线, 旱边(  $T_{s\text{-max}}$  ) 与  $NDVI$  成线性关系。该简化的  $NDVI-T_s$  特征空间见图 1。由图 1 描述的  $NDVI-T_s$  特征空间计算  $TVDI$  表达式为:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s\text{-min}}}{a + bNDVI - T_{s\text{-min}}} \quad (1)$$

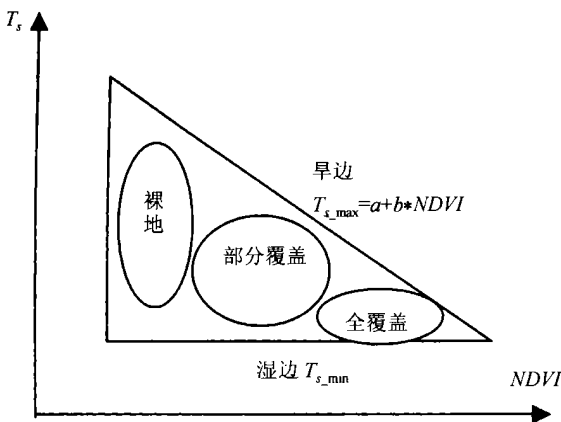


图 1 简化的  $T_s-NDVI$  特征空间

Fig. 1 Simplified  $T_s-NDVI$  space (Sandholt et al., 2002)

事实上, 在不同的植被覆盖度条件下,  $NDVI-T_s$  特征空间中最低温度(  $T_{s\text{-min}}$  ) 是不同的, Moran 等<sup>[8]</sup> 在假设  $NDVI-T_s$  特征空间呈梯形的基础上, 从理论上计算梯形四个顶点坐标的研究结果也说明了这点。因此文中在将  $NDVI-T_s$  特征空间简化处理为三角形的同时, 对  $T_{s\text{-min}}$  和  $T_{s\text{-max}}$  同时进行线性拟合, 拟合结果表示为:

$$T_{s\text{-min}} = a_1 + b_1 * NDVI$$

$$T_{s\text{-max}} = a_2 + b_2 * NDVI \quad (2)$$

这样可以由下式计算温度植被旱情指数:

$$TVDI = \frac{[T_s - (a_1 + b_1 * NDVI)]}{[(a_2 + b_2 * NDVI) - (a_1 + b_1 * NDVI)]} \quad (3)$$

式中  $a_1, b_1, a_2$  和  $b_2$  分别是旱边和湿边拟合方程的系数。此外为了减少不同气候类型区的气候条件对陆面温度的影响, 文中分别对 3 个农业气候区进行研究(图 2)。这三个气候区分别是: 东部季风农业气候区,  $ACR I$ ; 西北干旱农业气候区,  $ACR II$ ; 青藏高寒农业气候区,  $ACR III$ 。最后形成全国旱情等级分布图。利用布置在全国各地气象站实测的表层土壤湿度数据对  $TVDI$  作为旱情监测指标的效果进行检验评价。

## 3 数据获取与数据处理

由于拔节期和抽穗期是小麦生长的两个关键期, 本文利用 2000 年 3 月和 5 月按旬合成的  $NDVI$  数据和 4, 5 通道亮温数据研究全国旱情分布。采用的数据来自于 Chiba University 的“Twenty-year Global 4-minute AVHRR  $NDVI$  Dataset”数据集和 4, 5 通道的热红外亮温数据集, 该数据集的空间分辨率为  $8\text{km} \times 8\text{km}$ 。  $NDVI$  由经过大气校正的可见光(  $0.58-0.68\mu\text{m}$  ) 和近红外波段(  $0.725-1.1\mu\text{m}$  ) 反射率获得, 以最大值合成法(  $MVC$  ) 按旬合成, 有效去处云的影响<sup>[17]</sup>, 并排除观测天顶角大于  $42^\circ$  的像元数据, 这样的合成过程能够有效减小由于二向性反射产生的角度效应<sup>[18]</sup>, 况且, 观测角对于经大气校正的  $NDVI$  的影响是相对很小的<sup>[17-19]</sup>。具体合成过程参见数据说明网站<sup>[20]</sup>。同时取相应时间经过辐射校正的 4, 5 通道亮温值<sup>[21]</sup>。

利用 Josef 等<sup>[22]</sup> 得到的 4, 5 通道地表比辐射率与  $NDVI$  关系计算地表比辐射率, 在此基础上利用劈窗算法计算陆地表面温度, 劈窗算法在一定程度上减小了太阳高度角<sup>[23]</sup> 和大气中水汽<sup>[24]</sup> 对热红外

信息的影响。

为了对  $TVDI$  作为旱情指标作出评价, 利用各气

象站观测的土壤湿度数据与  $TVDI$  进行相关性分析。

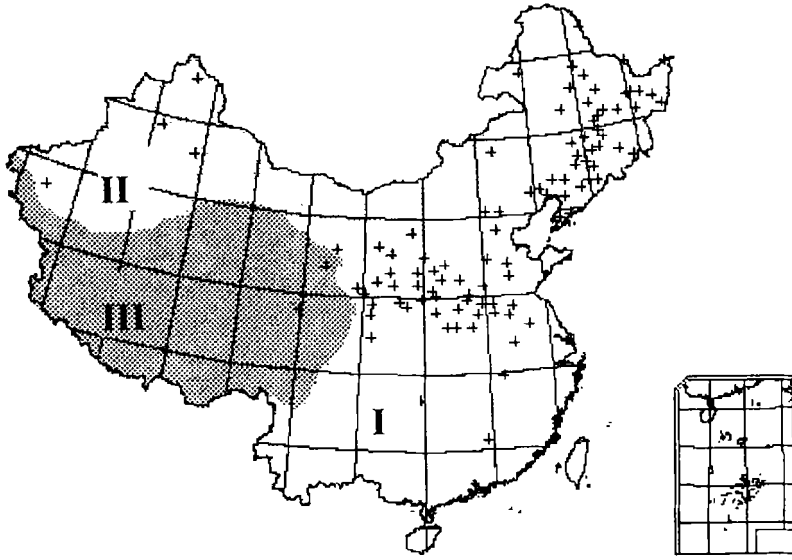


图 2 全国农业气候分区(国家气象局, 1994)及其气象站点在全国的分布情况

Fig. 2 The agricultural climatic regions (Central Weather Bureau of China, 1994) and the distribution of the topsoil moisture observation stations

文中图像处理过程由 PCI 图像处理软件完成。处理过程如下:

- (1) 根据  $NDVI$  和比辐射率之间的经验关系, 计算两个热红外通道的地表比辐射率;
- (2) 利用 NOAA-AVHRR 影像的两个热红外通道, 根据 Becker 等<sup>[25]</sup> 提出的劈窗算法反演陆地表面温度;
- (3) 在 PCI 环境下编程提取 3 个气候区中不同  $NDVI$  下的最大和最小陆地表面温度, 并分别保存于文本中;
- (4) 利用上一步骤中提取的数据, 对  $NDVI$  和  $T_s$  拟合, 获得旱边和湿边方程;
- (5) 根据(3)式计算  $TVDI$ , 形成全国  $TVDI$  分布图;
- (6) 根据  $TVDI$  等级划分形成全国旱情分布图;
- (7) 提取气象站点位置  $TVDI$  值, 对  $TVDI$  和土壤湿度进行相关性分析。

## 4 结 果

### 4.1 不同时相的 $NDVI-T_s$ 特征空间

利用  $NDVI$  数据集和劈窗算法计算的陆地表面温度, 在 PCI 环境下编程以较小的  $NDVI$  步长提取

不同  $NDVI$  条件下各旬不同气候区中的最大陆地表面温度和最小陆地表面温度, 得到的  $NDVI-T_s$  特征空间见图 3。由图 3 比较 3 月份和 5 月份的  $NDVI-T_s$  特征空间可以看出: 在同一气候区中, 5 月份最大  $NDVI$  大于 3 月份的  $NDVI$ , 这种趋势在气候二区表现非常明显, 3 月份气候二区中最大的植被覆盖度也是很低的, 几乎可以认为是裸地, 在这种情况下, 由于  $NDVI-T_s$  特征空间本身的要求, 利用  $TVDI$  作为旱情指标可能存在很大局限性;  $NDVI-T_s$  特征空间中的  $T_{s-min}$  随着  $NDVI$  的变化而变化, 也即这种将湿边描述成与  $NDVI$  轴平行的直线会给结果带来一定的误差。

利用  $NDVI-T_s$  特征空间中的相应最大和最小陆地表面温度, 回归拟合获得 2000 年 3 月和 5 月各旬不同气候区的旱边和湿边方程, 在拟合 3 月份干湿边方程时, 没有考虑  $NDVI$  小于 0 的数据点, 在拟合 5 月份干湿边方程时, 没有考虑  $NDVI$  小于 0.2 的数据点, 由此得到的旱边和湿边方程见表 1。从表 1 可以看出, 各旬的  $NDVI-T_s$  特征空间中的旱边的斜率小于 0, 说明随着植被覆盖度的增加, 陆地表面温度最大值越小; 相反湿边的斜率基本上大于 0, 说明随植被覆盖度的增加, 陆地表面温度最小值有增加趋势。

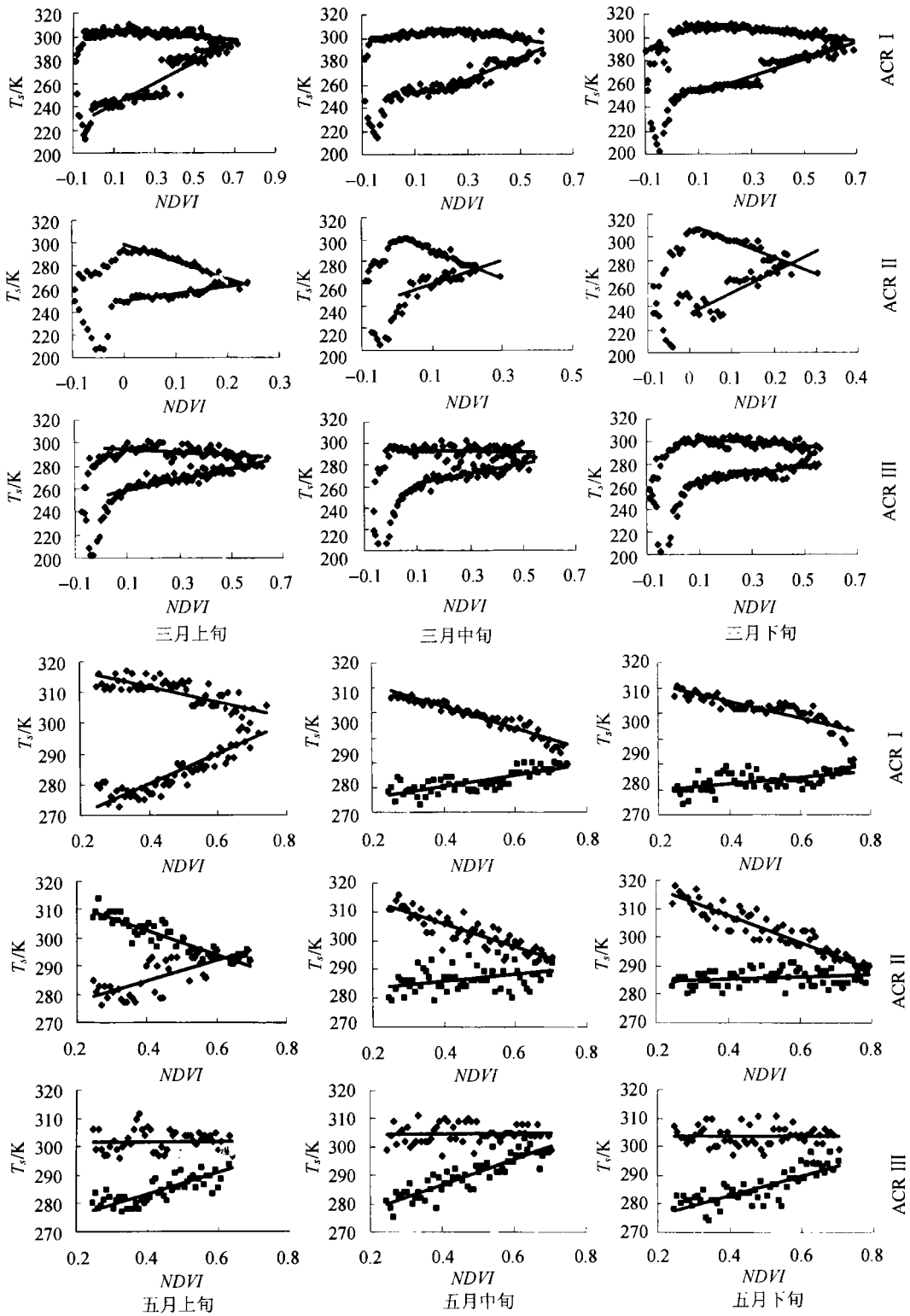


图 3 2000 年 3 月和 5 月各旬不同气候区的  $NDVI-T_s$  特征空间

Fig. 3 The Extracted maximum and minimum  $T_s$  from  $NDVI-T_s$  space with a small  $NDVI$  interval for every agricultural climatic region in every ten days in March and May in 2000

表 1 2000 年 3 月和 5 月各旬全国各气候区  $NDVI-T_s$  特征空间中的旱边和湿边Table1 The dry and wet edges in  $T_s-NDVI$  space estimated by linear regression for every ten days of March and May in 2000

时间	农业气候区	旱边	湿边	
3 月	上旬	ACR I	$T_{smax} = -12.327NDVI + 305.73$	$T_{smin} = 89.721NDVI + 233.08$
		ACR II	$T_{smax} = -148.88NDVI + 298.51$	$T_{smin} = 62.921NDVI + 249.17$
		ACR III	$T_{smax} = -12.357NDVI + 295.62$	$T_{smin} = 47.84NDVI + 254.01$
	中旬	ACR I	$T_{smax} = -30.642NDVI + 313.66$	$T_{smin} = 92.331NDVI + 253.97$
		ACR II	$T_{smax} = -126.32NDVI + 303.09$	$T_{smin} = 108.54NDVI + 248.63$
		ACR III	$T_{smax} = -3.6179NDVI + 294.25$	$T_{smin} = 45.974NDVI + 258.21$
	下旬	ACR I	$T_{smax} = -23.528NDVI + 313.9$	$T_{smin} = 72.491NDVI + 244.67$
		ACR II	$T_{smax} = -145.59NDVI + 311.05$	$T_{smin} = 177.97NDVI + 234.54$
		ACR III	$T_{smax} = -16.032NDVI + 303.88$	$T_{smin} = 33.466NDVI + 261.69$
5 月	上旬	ACR I	$T_{smax} = -24.966NDVI + 322.03$	$T_{smin} = 49.236NDVI + 260.53$
		ACR II	$T_{smax} = -41.596NDVI + 319.27$	$T_{smin} = 36.882NDVI + 270.26$
		ACR III	$T_{smax} = 0.6843NDVI + 301.66$	$T_{smin} = 38.872NDVI + 267.98$
	中旬	ACR I	$T_{smax} = -44.361NDVI + 330.1$	$T_{smin} = 22.615NDVI + 271.1$
		ACR II	$T_{smax} = -40.654NDVI + 322.23$	$T_{smin} = 11.939NDVI + 281.23$
		ACR III	$T_{smax} = 1.0281NDVI + 304.11$	$T_{smin} = 45.273NDVI + 268.48$
	下旬	ACR I	$T_{smax} = -33.459NDVI + 328.14$	$T_{smin} = 12.483NDVI + 277.2$
		ACR II	$T_{smax} = -47.949NDVI + 326.83$	$T_{smin} = 3.482NDVI + 283.9$
		ACR III	$T_{smax} = -0.5706NDVI + 303.95$	$T_{smin} = -0.5706NDVI + 303.95$

## 4.2 全国旱情等级分布图

根据(3)式,利用旱边和湿边方程,分别计算不同时间不同气候区各像元的  $TVDI$  值,以  $TVDI$  作为旱情分级指标,将旱情划分 5 级,分别是:湿润( $0 < TVDI < 0.2$ ),正常( $0.2 < TVDI < 0.4$ ),轻旱( $0.4 < TVDI < 0.6$ ),干旱( $0.6 < TVDI < 0.8$ )和重旱( $0.8 < TVDI < 1.0$ )。由此得到的 2000 年 3 月份和 5 月份各旬全国的旱情分布见图版 I 图 4。由图版 I 图 4 可以看出 3 月和 5 月重旱区主要分布在中国的西北地区,在华北、华南、西南也有部分分布,3 月和 5 月重旱面积分别达到  $67.2 \times 10^4 \text{km}^2$  和  $126.1 \times 10^4 \text{km}^2$ ,分别占全国土地面积的 37%和 46%。

## 4.3 $TVDI$ 作为旱情指标的验证性评价

利用分布于全国各地的 99 个气象站(分布情况见图 2)收集的表层 10cm 土壤湿度数据与相应位置的  $TVDI$  数据进行相关性分析。虽然,该研究中采用的  $8\text{km} \times 8\text{km}$  空间分辨率 NOAA-AVHRR 数据与

气象站点上数据在空间上难以对应,但考虑到设置的气象观测站点能够代表相应地区的气候特点,所以利用气象站观测数据进行验证是可行的。以土壤湿度为横坐标,  $TVDI$  为纵坐标,  $TVDI-\theta$  散点分布见图 5,由图 5 发现  $TVDI$  与土壤表层含水量之间表现显著的相关性,随着土壤湿度增大,温度植被旱情指数呈现明显的减小趋势,对各旬的  $TVDI$  和土壤湿度的线性拟合结果经过  $t$  检验发现线性回归方程都达到显著,这说明温度植被指数能够反映土壤水分状况变化趋势,作为旱情评价指标是有一定的合理性。但是数据点的相对离散,说明以表层土壤含水量验证  $TVDI$  的做法存在一定的问题,因为遥感提取的旱情信息应该包含整个作物根系层的土壤水分状况信息,此外从土壤物理学的角度分析,土壤含水量的绝对值大小并不能充分说明土壤的供水状况,还与土壤质地和土壤结构等土壤物理性质有关,况且,点观测数据与  $8\text{km} \times 8\text{km}$  分辨率像元数据的相关性分析也不可能达到很高的相关水平。

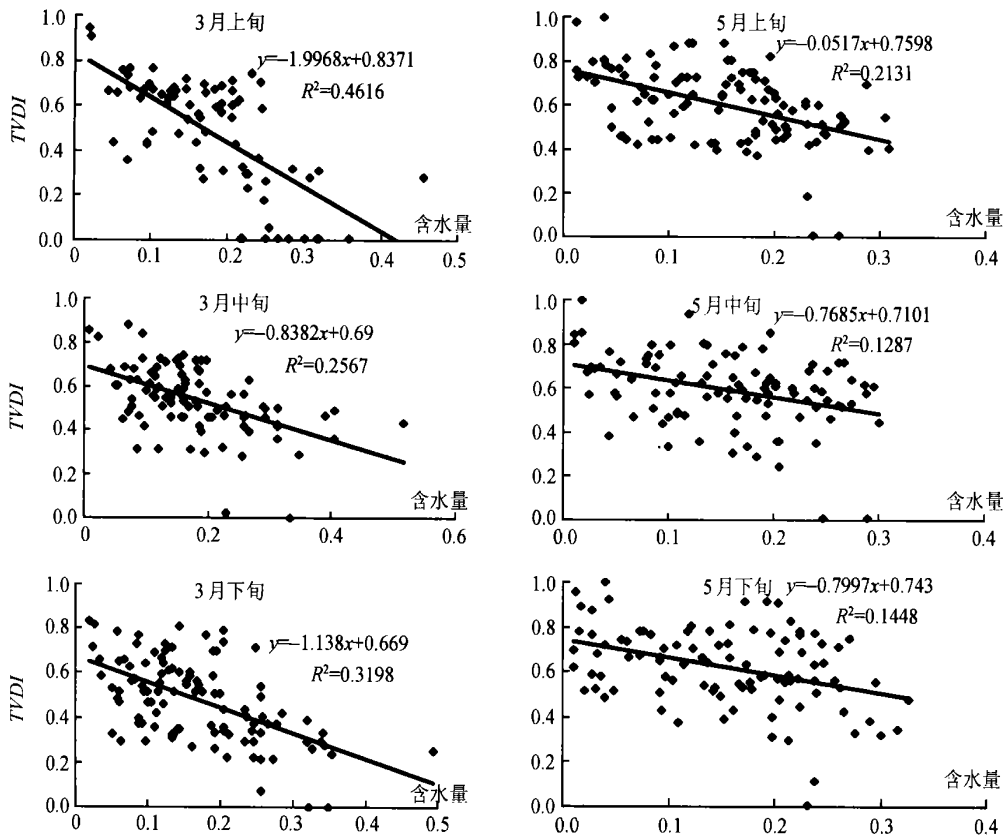


图 5 表层土壤含水量和温度植被干旱指数关系

Fig. 5 Relations between TVDI and topsoil moisture for every ten days in March and May in 2000 in China

#### 4.4 植被指数和陆地表面温度在旱情监测中的应用评价

由前文知道, 目前利用遥感监测旱情的方法主要是利用植被指数和陆地表面温度构建的旱情指标进行<sup>[3, 6, 7]</sup>。经过对 TVDI 作为旱情指标的验证性评价, 在肯定其作为旱情指标的有效性之后, 有必要对 NDVI 和  $T_s$  对旱情的敏感性作出分析, 以确认它们所包含干旱信息的相对大小。文中以 3 月份和 5 月

份上旬第一农业气候区为例进行分析, 分别以 NDVI 和  $T_s$  为横坐标, 以 TVDI 为纵坐标, 以第一气候区的数据作图(图 6、图 7)。从图 6、图 7 可以看出, 随着温度的升高, TVDI 有明显的增大趋势, 而从 TVDI-NDVI 散点分布图来看, 旱情与 NDVI 不存在明显的关系。可以认为, 与陆地表面温度相比, 植被指数反映旱情的能力相当有限的。

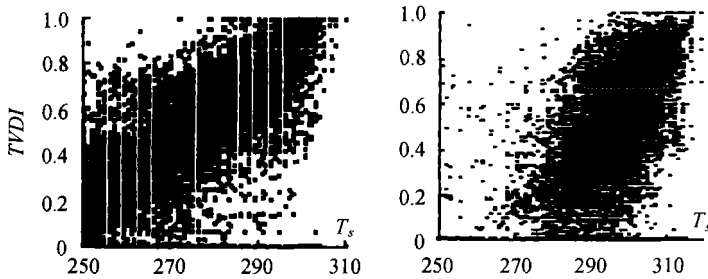


图 6 2000 年 3 月和 5 月上旬第一气候区的 TVDI 与陆面温度的关系图

Fig. 6 The TVDI- $T_s$  scatterplot for ACR I on the first ten days in March and May in 2000

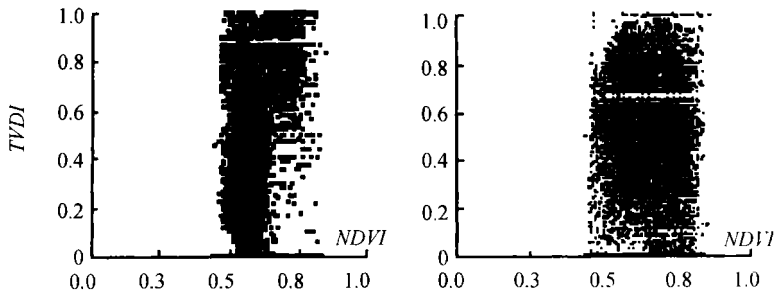


图 7 2000 年 3 月和 5 月上旬第一气候区的  $TVDI$  与  $NDVI$  的关系图

Fig. 7 The  $TVDI$ - $NDVI$  scatterplot for ACR I on the first ten days in March and May in 2000

## 5 结论与讨论

文中采用 2000 年 3 月和 5 月各旬  $8\text{km} \times 8\text{km}$  空间分辨率的 NOAA-AVHRR 数据, 在获得  $NDVI$  和  $T_s$  后, 构建  $NDVI$ - $T_s$  特征空间。以  $NDVI$ - $T_s$  特征空间为基础, 建立反映旱情的  $TVDI$ 。利用  $TVDI$  对 2000 年 3 月和 5 月各旬的旱情进行评价, 并利用气象站观测的表层土壤湿度数据对该旱情指标进行验证。结果表明,  $TVDI$  与土壤湿度显著相关, 用来评价旱情是合理的。

在肯定  $TVDI$  作为旱情指标的有效性的前提下, 分别对  $TVDI$  依  $NDVI$  和  $T_s$  的敏感性进行了定性评价, 表明  $TVDI$  随  $T_s$  的变化而变化的规律很明显, 而  $TVDI$  与  $NDVI$  的关系很不明显。说明相对  $NDVI$ ,  $T_s$  更能反映旱情, 以它为基础的旱情指标更合理。以结合  $NDVI$  和  $T_s$  构建的  $TVDI$  和基于  $T_s$  的旱情指标在区域旱情监测的优越性比较研究有待进一步研究。

由于卫星视角影响传感器接受到的信息量, 从而影响图像反映的植被生长状况信息, 这样本研究中没有考虑视角对  $NDVI$  和  $T_s$  影响会给结果带来一些误差。此外, 在计算陆地表面温度的过程中, 在较广大的范围采用同一个计算公式, 也会给温度反演带来误差, 文中将全国按照三个气候大区分别进行, 在一定程度上可以减少温度反演误差所引起的偏差。

## 参考文献 (References)

[ 1 ] Sui H Z, Tian G L, Li F Q. The Application of a Dual-layer Evapotranspiration Modeling in Drought Monitoring with Remote Sensing [ J ]. *Journal of Remote Sensing*, 1997, 1(3), 220—224. [ 隋洪智, 田国良, 李付琴. 农田蒸散双层模型及其在干旱遥感监测中的应用 [ J ]. 遥感学报, 1997, 1(3), 220—224.]

[ 2 ] Shen G R, Tian G L. Remote Sensing Monitoring of Drought in Huanghe, Huaihe and Haihe Plain based on GIS—Calculation of Crop Water Stress Index Model [ J ]. *ACTA Ecological Sinica*. 2000, 20(2): 224—228. [ 申广荣, 田国良. 基于 GIS 的黄淮海平原旱灾遥感监测研究作物缺水指数模型的实现 [ J ]. 生态学报, 2000, 20(2): 224—228.]

[ 3 ] Feng Q. A Research on Monitoring Drought System for China with Remote Sensing Technology [ D ]. *Postdoctoral Dissertation of IRSA in CAS*, 2001. [ 冯强, 2001. 中国干旱遥感监测系统的研究 [ D ]. 中国科学院遥感应用研究所博士后出站报告 [ D ]. 2001.]

[ 4 ] Sandholt I., Rasmussen K, Andersen J. A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status [ J ]. *Remote Sens. Environ.* 2002, 79(2): 213—224.

[ 5 ] Goetz, S J. Multisensor Analysis of  $NDVI$ , Surface Temperature and Biophysical Variables at a Mixed Grassland Site [ J ]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(15): 71—94.

[ 6 ] Idso S B, Jackson R D, Pinter P J. Normalizing the Stress-Degree-Day Parameter for Environmental Variability [ J ]. *Agric. & Forest. Meteorol.* 1981, 24: 45—55.

[ 7 ] Jackson R D, Idso S B, Reginato R J. Canopy Temperature as a Drought Stress Indicator [ J ]. *Water Resour. Res.*, 1981, 17: 1133—1138.

[ 8 ] Moran M S, Clarke T R, Inoue Y. Estimating Crop Water Deficit Using the Relation between Surface-Air Temperature and Spectral Vegetation Index [ J ]. *Remote Sens. Environ.* 1994, 49(3): 246—263.

[ 9 ] Price J C. Using Spatial Context in Satellite Data to Infer Regional Scale Evapotranspiration [ J ]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1990, 28: 940—948.

[ 10 ] Carlson, T N, Gillies R R, Peny E M. A Method to Make Use of Thermal Infrared Temperature and  $NDVI$  Measurements to Infer Surface Soil Water Content and Fractional Vegetation Cover [ J ]. *Remote Sensing Review*, 1994, 52: 45—59.

[ 11 ] Pihodko L, Goward S N. Estimation of Air Temperature from Remotely Sensed Surface Observations [ J ]. *Remote Sens. Environ.*, 1997, 60(3): 335—346.

[ 12 ] Boegh E, Soegaard H, Hanan N. A Remote Sensing Study of the  $NDVI$ - $T_s$  Relationship and the Transpiration from Sparse Vegetation in

- the Sahel Based on High-Resolution Satellite Data[ J ] . *Remote Sens. Environ.* , 1999, **69**( 3 ): 224—240.
- [ 13 ] Nemari, 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**( 4 ): 276—283.
- [ 14 ] Goward, S N, Xue Y, Czajkowski, K P. Evaluating Land Surface Moisture Conditions from the Remotely Sensed Temperature/Vegetation Index Measurement: A Exploration with the Simplified Biosphere Model[ J ] . *Remote Sens. Environ.* , 2002, **79**( 2 ): 225—242.
- [ 15 ] Friedl M A, Davis F W. Source of Variation in Radiometric Surface Temperature over a Tallgrass Prairie[ J ] . *Remote Sens. Environ.* , 1994, **48**( 1 ), 1—17.
- [ 16 ] Smith R C 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.
- [ 17 ] Holben B. Characteristics of Maximum-Value Composite Images from Temporal AVHRR Data[ J ] . *Int. J. Remote Sens.* , 1986, **7**( 11 ): 1417—1434.
- [ 18 ] Ghar J, Huang F. Effect of Atmospheric Correction and Viewing Angle Restriction on AVHRR Composites[ J ] . *Can. J. Remote Sens.* , 1994, **20**( 2 ): 132—137.
- [ 19 ] Lee T Y, Kaufman YJ. Non-Lambertian Effects on Remote Sensing of Surface Reflectance and Vegetation Index[ J ] . *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* , 1986, GE—24: 699—708.
- [ 20 ] Pathfinder Data Set Description[ S ] , <http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN-DOCS/LAND-BIO/Pathfinder-Data-Desc.html>
- [ 21 ] Pathfinder Data Set Description-Brightness Temperature[ S ] , <http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN-DOCS/LAND-BIO/btemp.html>
- [ 22 ] Josef C, Hung L, Jing C. Multi-Temporal, Multi-Channel AVHRR Data Sets for Land Biosphere Studies——Artifacts and Corrections [ J ] . *Remote Sens. Environ.* , 1997, **60**( 1 ): 35—57.
- [ 23 ] McClain E P, Pichel W G, Walton C C. Comparative Performance of AVHRR-Based Multi-channel Sea Surface Temperatures[ J ] . *J. Geophys. Res.* , 1985, **90**( 11 ): 587—601.
- [ 24 ] Sobrino J A, Coll C, Caselles V. Atmospheric Correction for Land Surface Temperature Using NOAA-11 AVHRR channel 4 and 5[ J ] . *Remote Sens. Environ.* , 1991, **38**( 1 ): 19—34.
- [ 25 ] Becker F, Li Z L. Toward a Local Split Window Method over Land Surface[ J ] . *Int. J. Remote Sens.* , 1990, **11**( 3 ): 369—393.

## Evaluating Soil Moisture Status in China Using the Temperature/Vegetation Dryness Index( *TVDI* )

QI Shu-hua, WANG Chang-yao, NIU Zheng

( *LARSIS, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China* )

**Abstract:** Land surface temperature derived from brightness temperature dataset and *NDVI* dataset were used to construct the *NDVI*/ $T_s$  space, from which a dryness index—temperature/vegetation dryness index ( *TVDI* ) was suggested. The dryness index that combines the land surface temperature with vegetation spectral index is computationally straightforward because it is based on the information derived from satellite data only. Using the *TVDI*, the surface moisture status in China in March and May in 2000 was studied. The results showed that the severe drought was mainly distributed in North-western China and part of North China and South China; the severe drought area enlarged from about  $67 \times 10^4 \text{ km}^2$  in March to  $126 \times 10^4 \text{ km}^2$  in May. *TVDI* spatial pattern was compared with the measured topsoil moisture from the observatories around China with the linear regression method. A negative linear correlation between *TVDI* and the measured soil moisture was found, thus *TVDI*'s validity in evaluating drought was verified. Afterward, the sensitivity of *TVDI* to *NDVI* and  $T_s$  was evaluated. The results show that the *TVDI* are more sensitive to the land surface temperature than to *NDVI* and land surface temperature have more drought information than *NDVI* which lead to the conclusion that dryness indexes based on land surface temperature are more reasonable than the ones based on *NDVI*.

**Key words:** *TVDI*; *NDVI*/ $T_s$  space; drought; *NDVI*;  $T_s$



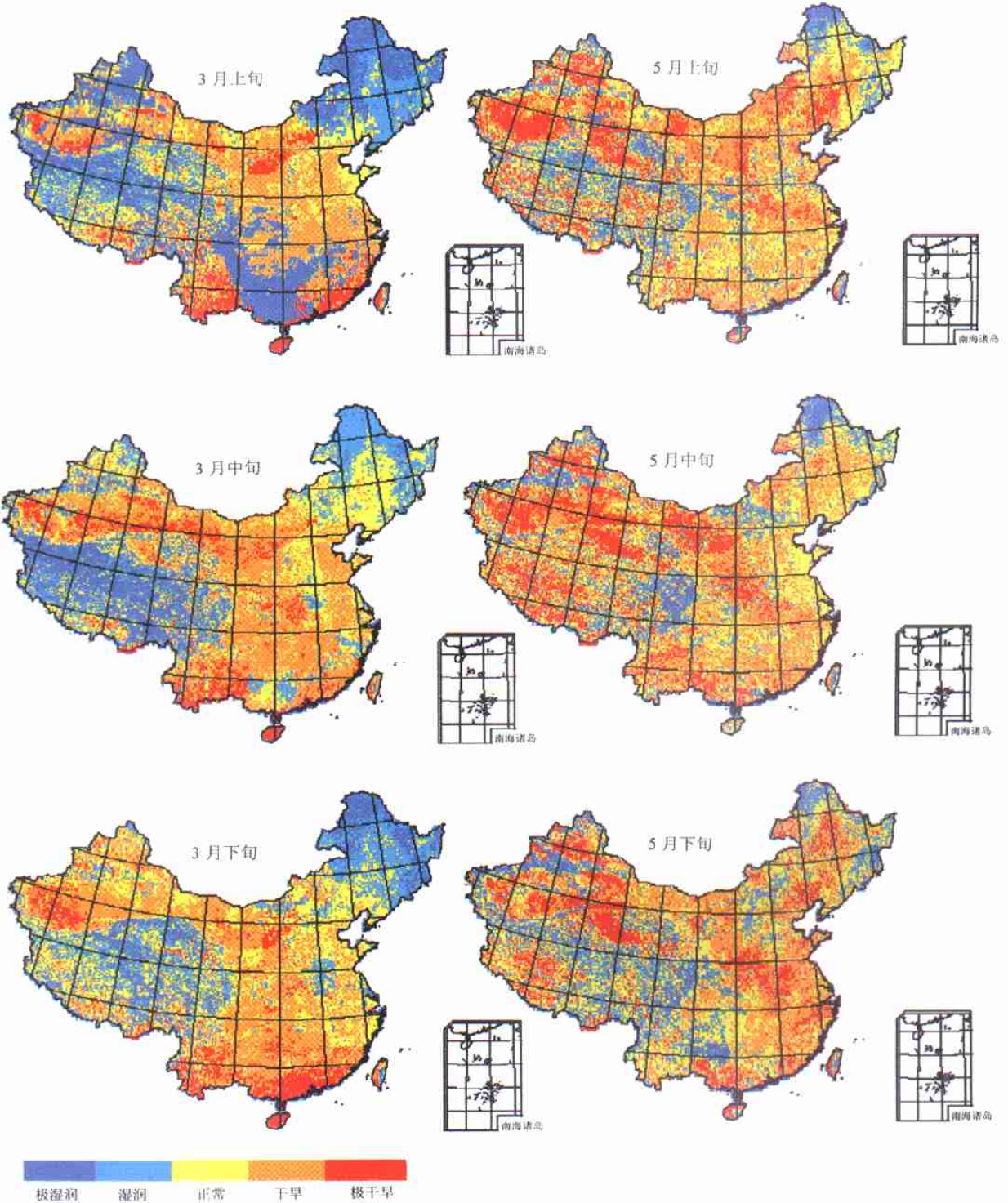


图 4 2000 年 3 月和 5 月各旬旱情等级分布图