

沙莎,郭 锐,李耀辉,等. 我国温度植被旱情指数 TVDI 的应用现状及问题简述[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 128 - 134, [SHA Sha, GUO Ni, LI Yaohui, et al. Introduction of Application of Temperature Vegetation Dryness Index in China[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(1): 128 - 134], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0128

我国温度植被旱情指数 TVDI 的应用现状及问题简述

沙莎¹, 郭 锐¹, 李耀辉¹, 韩 涛², 赵艳霞³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730020; 3. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘 要: 植被指数和地表温度是 2 类常见的遥感干旱监测方法, 它们分别利用植被受旱时植被指数降低和植被冠层温度升高这 2 种重要的生理表现来监测干旱。但植被指数对干旱指示具有一定滞后性, 地表温度监测干旱时易受土地背景等影响。基于特征空间的温度植被旱情指数 (TVDI) 综合了植被指数和地表温度监测干旱的特点, 物理意义明确, 克服部分单独使用植被指数或地表温度的缺点, 是目前干旱研究和业务应用中使用最广的遥感干旱指数之一。本文介绍了 TVDI 的原理、计算方法、应用中的改进及 TVDI 干旱监测方法, 旨在为 TVDI 的研究及应用提供一些参考。

关键词: 特征空间; TVDI; 计算; 改进

文章编号: 1006 - 7639(2014) - 01 - 0128 - 07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0128

中图分类号: P461

文献标识码: A

引 言

干旱灾害是我国最严重的自然灾害之一, 严重持续的干旱直接影响农业生产、社会经济^[1], 还会造成河水断流、绿洲减少、土地荒漠化、沙尘暴增多、地面沉降等多种衍生灾害^[2-4]。土壤湿度是气候、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^[5]。传统的田间实测法难以获取大范围内的土壤水分数据, 土壤水分模型法计算土壤湿度需要大量数据支持且参数复杂难以确定^[6]。1960 年代末国内外学者揭开了遥感方法估算土壤水分的新篇章, 遥感方法具有快速、及时、宏观等优势, 可进行大范围土壤水分的估算。遥感监测土壤水分的方法主要包括热惯量法^[7-8]、植被指数法^[9-10]、地表温度法^[11]、特征空间法^[12-13]、微波遥感法^[14]等, 热惯量法对资料要求较为苛刻, 植被指数法具有明显的滞后性, 地表温度法

难以克服土壤背景温度和植被覆盖度的影响, 而将植被指数 (NDVI) 和地表温度 (LST) 相结合的方法是广泛使用的方法。温度植被旱情指数 (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI) 是 Sandholt 等^[12]提出的一种基于 NDVI - LST 特征空间的土壤水分监测方法, 具有一定的物理意义, 较单独使用 NDVI 或者 LST 能够提供更加准确、丰富的干旱信息^[15-16], 并且受传感器^[17]和影像分辨率^[18]的影响不大。我国相关领域的学者使用 TVDI 指数进行了国家级、区域级、省级、市级等不同空间尺度上的土壤水分反演、旱情监测、作物产量估计^[19-20]等相关研究。虽然 TVDI 是一种使用广泛的遥感干旱监测方法并且具有一定的物理意义, 但 TVDI 受众多因素的影响, 在实际应用中具有诸多不确定性。学者们对 TVDI 进行了一系列的改进, 进一步提高了 TVDI 监测干旱的能力。为了了解 TVDI 指数在我国的应用情况及 TVDI 的计算及改进方法, 本文阐述了

收稿日期: 2013 - 06 - 28; 改回日期: 2013 - 12 - 11

基金项目: 公益性行业 (气象) 科研专项项目 (GYHY201006023)、国家科技支撑计划 (2009BAC53B02)、科技部农业科技成果转化资金项目 (2011GB24160005) 及农业部 948 项目 (2011 - G9) 共同资助

作者简介: 沙莎 (1985 -), 汉, 辽宁沈阳人, 助理工程师, 硕士, 主要从事 GIS、遥感的气象应用研究. E-mail: nuist_shasha@126.com

TVDI 的原理,并详细介绍了 TVDI 的计算方法和改进及利用 TVDI 进行干旱监测等,旨在为 TVDI 的计算及应用提供一些参考。

1 特征空间监测干旱的原理

降水过少导致水分短缺至一定水平后,植物将会产生生理反应:植被指数降低、叶面温度升高。虽然许多学者指出 NDVI 与作物水分状态密切相关,但它受到地理位置、气候类型、作物品种及分布等众多因素的影响而难以统一、定量地描述作物受旱的程度,且难以排除病虫害、灌溉等因素的影响,在时间上具有较强的滞后性,对突发干旱事件的反应不是很好。LST 的变化是大气—土壤—植被系统内物质(水分)和能量(热量)交换的结果,可以反映表土含水量的变化^[21]。当作物受到干旱胁迫时,叶片气孔关闭,叶片表面温度升高,植被这种热反应比 NDVI 对干旱胁迫的反应要敏感的多,但是不同植被类型表层温度不同,如植被覆盖大的林区往往较农作物具有较低的表层温度,不能用同一种温度变化来描述不同植被的水分胁迫状况,另外 Moran 等^[22]指出较高土壤背景温度会严重影响基于 LST 的干旱信息,尤其是低植被覆盖地表。将 NDVI 和 LST 结合起来是十分有必要的,这样可以克服单独使用 NDVI 或者 LST 所带来的诸多局限,能够提供更加准确、丰富的干旱信息。

NDVI - LST 的特征空间主要被用来估算蒸散^[23]和土壤湿度^[12,18]。NDVI - LST 特征空间呈现三角形^[24-25]或者梯形^[26-27]的空间分布特征。Goward 和 Hope^[28]利用 AVHRR 数据发现 LST 与 NDVI 间存在十分好的关系并随土壤湿度变化。Nemani^[29]、Goetz^[17]研究发现 LST 与 NDVI 的斜率与作物水分指数、土壤水分呈负相关,LST/NDVI 在干旱发生时增大。LST 与 NDVI 的斜率与土壤水分的负相关关系是特征空间中的重要统计特征。Sandholt 等^[12]认为 NDVI - LST 的特征空间中有一系列土壤湿度等值线,这些等值线是不同水分条件下 LST 与 NDVI 的斜率,据此提出了 TVDI 的概念(图 1)。

三角形的特征空间如图 2 所示,A 和 B 分别表示干燥裸土和湿润裸土。随着地表植被覆盖度的增加,地表温度开始下降。C 点表示植被完全覆盖,土壤水分充足,这时候的蒸散阻力最小,所以 AC 表示土壤水分的有效性很低,地表蒸散小,被认为是 NDVI - LST 特征空间的热边界(干边);BC 表示土壤水分充足,不是植被生长的限制因素,地表蒸散等于潜

在蒸散,被认为是 NDVI - LST 特征空间的冷边界(湿边)。

TVDI 被定义为:

$$TVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} LST_{min} &= a_1 + b_1 NDVI, \\ LST_{max} &= a_2 + b_2 NDVI \end{aligned} \quad (2)$$

式(1)、(2)中 LST 为任意像元的地表温度;LST_{min}和 LST_{max}分别为一定 NDVI 对应的最低和最高地表温度,可以通过线性回归分析提取干湿边来确定,a₁、b₁、a₂、b₂为待定系数。TVDI 在[0,1]之间,在特征空间中 TVDI 是具有一定 NDVI 像元的地表温度距湿边最小地表温度的相对距离(图 1 中:h/H),以此表征土壤湿度的相对大小,值越大越靠近干边,表示土壤湿度越小,反之表示土壤湿度越大。TVDI 方法必须保证研究区域具有区域代表性,地表覆盖从裸土变化到植被完全覆盖(图 2),土壤表层含水量从凋萎系数到田间持水量的变化,即研究区需要足够大。

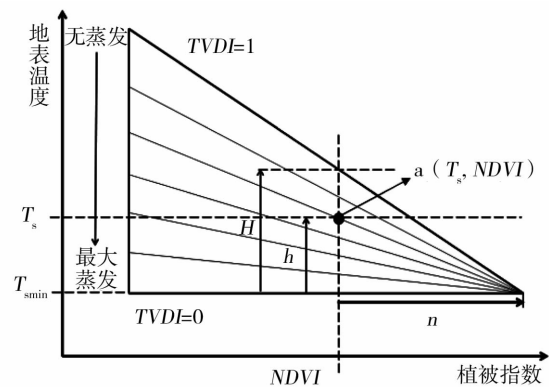


图 1 TVDI 特征空间原理示意图

Fig. 1 The principle of TVDI spectral feature space

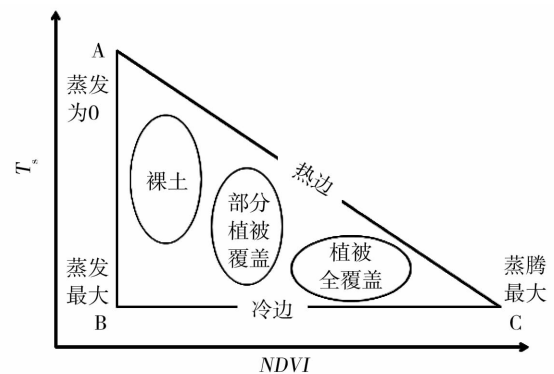


图 2 NDVI 和 LST 构成的三角形区域分布示意图

Fig. 2 The triangle distribution sketch map composed of NDVI and LST

从 TVDI 原理图 1 来看,特征空间中干边上 LST 随 NDVI 的增加而降低,湿边上 LST 为常数而不随 NDVI 发生变化。总结现有的研究结果来看:1) 绝大多数研究中干边上 NDVI 与 LST 都呈现显著的负相关关系,这说明当植被受到水分胁迫时,地表温度随着植被覆盖度的增加而降低;2) 大多数研究中湿边上 NDVI 与 LST 呈现正相关或者不相关,以两者的正相关关系居多。在实际应用中将湿边简化为水平直线可能是不太合理的。

2 TVDI 的计算

2.1 特征空间中 NDVI 范围的确定

NDVI 对土壤背景的变化较为敏感,当 $NDVI < 0$ 时,地表主要为水体或雪,可以认为地表湿度为 100%,当植被覆盖度 $< 20\%$ 时,NDVI 值对区域内的植被难有指示意义,当植被覆盖度 $> 80\%$ 时,NDVI 值增加延缓而呈现饱和状态,对植被检测灵敏度下降,因此大多数研究中选取 0.2 ~ 0.8 范围内的 NDVI 进行特征空间干湿边的拟合。

在 NDVI - LST 特征空间中,当 NDVI 较大或较小时,像元数通常较少,这些像元的土壤湿度处于某种状态,难以保证此 NDVI 下存在由于干到湿的不同状态,像元的直方图(不同 NDVI 下像元的频率分布)常呈现中间高、两端低的形态,两端像元并不是真正的干湿边,因此不能用于干湿边的拟合。柳钦火^[5]、张顺谦^[30]等使用直方图确定了合理的 NDVI 范围拟合干湿边。笔者在近期的研究中也发现特征空间的形状与像元直方图有着紧密的联系。像元的直方图是确定干湿边的重要辅助工具。

2.2 干湿边的提取

由特征空间原理可知,计算 TVDI 的关键是干湿边的拟合,最常用的干湿边提取方法是:对于一组 NDVI 和 LST 遥感影像,取一定的步长(如 0.01 或 0.02),从合理的 NDVI 范围内求取每一 NDVI 对应的陆地表面温度的最高、最低值,用最小二乘法拟合地表温度的最高、最低值分别得到干、湿边方程。现有研究大多数采用单组遥感影像进行特征空间的拟合,孙威等^[31]在使用另一种特征空间遥感监测方法——条件植被温度指数(VTCI)时使用了 1999 ~ 2003 年同一时期的多组遥感影像拟合了特征空间,结果表明使用同期多组遥感影像拟合计算的 VTCI 更有优势。同样的,也可以用历史多组遥感影像来进行 TVDI 的干湿边拟合,以获得更好的监测效果。

3 TVDI 的问题及改进

虽然利用 NDVI - LST 特征空间可以改善单独使用 LST、NDVI 带来的一系列问题,但是这些问题的存在仍然影响了 TVDI 对土壤水分估计的精确性,主要存在以下问题:

1) 云对 NDVI、LST 的估算有着十分重要的影响,去云效果直接影响了 TVDI 的计算;

2) 研究区内地形起伏^[32]、南北纬度跨距的差异^[33]对 LST 的影响会带来 TVDI 计算的误差;

3) NDVI 在低值区易受到土壤背景因素的影响,而在高值区对高覆盖植被反应不够敏感,这使低值和高值区域 TVDI 的计算存在一定误差;

4) 不同的植被覆盖条件下 NDVI - LST 特征空间中最低温度随着植被覆盖度而不同^[22],因此植被种类也会给 TVDI 带来一定的误差;

5) 植被自身生理特征对特征空间干边拟合的影响。

针对以上问题,学者们根据研究区特点提出了各种对 LST、NDVI 拟合方法的改进方法。

3.1 云影响的去除

降低云对 TVDI 拟合影响的手段主要包括:1) 扩展云掩膜数据。赵杰鹏等^[33]在对新疆进行土壤水分模型研究时发现对 MODIS 云掩膜产品向外扩展 4 个像元能够提高边缘区 LST 的反演精度;2) 降低时间分辨率。由于云的存在,大区域单日反演的地表温度在很多地区都会低于实际温度,使反演的 TVDI 值偏低,通过 NDVI、LST 进行最大(最小)值合成能够有效地降低云对 NDVI 及 LST 的影响,并能保证较好的空间连续性。

3.2 对 LST 的改进

下垫面与大气间湍流形式的热交换,使地表温度在一定程度上受到气温的影响:在研究区内地形有明显起伏时,随着高程增加,气温降低,地温也降低,不经过高程订正,高程高区地表温度低,这会造成对该区域土壤湿度的高估;在研究区纬度跨度较大的情况下,气温随纬度增加而降低,因此高纬地区地表温度偏低,也会造成对该区域内土壤湿度的高估。因此对 LST 的改进主要包括高程和纬度等的订正,其中在已有的应用中对 LST 进行高程订正更常见。订正公式为:

$$T' = T + mH \quad (3)$$

$$T' = T + aL + b \quad (4)$$

式(3)、(4)中 T' 为订正后的 LST, T 为订正前 LST, H 、 L 分别为高程和纬度, m 、 a 、 b 为订正系数,其

中 m 常取 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ^[32],也有学者^[33]研究表明新疆地区 m 的最优取值为 $0.3\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$;赵杰鹏等^[33]取纬度订正系数 a 、 b 分别取 $0.3\sim 0.5$ 、 $-20\sim -12$;Li 等^[34]认为河北省 LST 随纬度变化并在 $38^{\circ}\sim 39^{\circ}\text{N}$ 出现峰值, 37.94°N 以北地区纬度每增加 1° 气温降低 0.9431 K ,并以 37.94°N 为界订正了以北地区的 LST,式(4)中 a 、 b 分别取值为 0.9413 、 35.78 。

3.3 对 NDVI 的改进

除用最大值合成法(MVC)降低云对 NDVI 的影响外,对 NDVI 的改进还主要包括以下几方面:1)用 EVI^[30,35-37]取代 NDVI,降低 NDVI 易于饱和对 TVDI 的影响,结果表明由 EVI-LST 构建的 TVDI 更具优势;2)用土壤调整植被指数(Soil Adjusted Vegetation index,SAVI)^[38-40]替代 NDVI 来降低土壤背景的影响;提高对高密度植被的敏感性;3)用土地利用类型分区构建 TVDI 特征空间减少植被类型对特征空间的影响^[38,41]。

3.4 真实干边的“还原”

理论上在 NDVI-LST 特征空间中,干边上像元的土壤水分为 0,然而植被自身对外界强烈的变化有一定的自我保护机制,当地表温度高至一定程度时,即达到模拟干边的温度时,植被为了避免高温造成体内水分过多流失,将关闭所有气孔,停止水分蒸腾^[33],此时土壤湿度不会因为高温迅速减少,而会保持暂时基本稳定,这就是说位于拟合干边上像元的土壤水分是随着 NDVI 变化的,在 NDVI 低值区(如沙漠地区),干边上的土壤水分可能接近 0,而 NDVI 高值区即使在拟合干边上的像元,它的土壤水分含量也不可能为 0,高植被覆盖区拟合干边和真实干旱的差距较大(图 3)。 ϕ 是蒸散量估算中的

一项关键参数,它反映了地表蒸散的有效阻抗,可基于特征空间三角形法对其进行遥感估算。Jiang^[23]、Stisen^[43]等认为,每个 NDVI 所对应干边上 ϕ 最小值($\phi_{i,\min}$)为其湿边上 ϕ 最大值(ϕ_{\max})与 NDVI 之间的非线性关系(图 3)。因此,赵杰鹏等^[33]参考对蒸散量估算关键参数 ϕ 的改进对“拟合干边”进行了还原:

$$TVDI(C) = TVDI_i - C\left(\frac{NDVI_i - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}\right)^2 \quad (5)$$

其中, C 为用于校正模拟干边到真实干边的校正系数,主要反映不同时间段最小蒸散值的变化对干边的影响,它与时间段内的降雨和蒸散状况有关,一般情况降雨量越大, C 的取值应该越大,在新疆地区, C 值取 $0.3\sim 0.8$ 有较好的拟合效果。 $TVDI_i$ 、 $NDVI_i$ 、 $TVDI(C)$ 分别为像元 i 校正前的温度植被旱情指数、归一化植被指数、校正后的温度植被旱情指数,在其研究中, $NDVI_{\min}$ 、 $NDVI_{\max}$ 分别取值为 0.1 和 0.9 。经过改进后新疆地区的土壤水分估算精度有显著的提高。

4 TVDI 监测干旱的 2 种途径

用 TVDI 评价干旱程度的方法包括 2 类。第一类为以 TVDI 指数的分级来表征干旱程度,国内常见的 TVDI 分级见表 1,其中最常见的是将 TVDI 分为 5 级,序号 1 所列的分级标准最为常用,序号 7 给出的 TVDI 分级使用了密度分割法。从表 1 中看到 TVDI 的分级标准较为混乱,在不同区域、不同时间内 TVDI 的分级标准有很大差异,对同一研究区用不同的 TVDI 分级标准评价的旱情差别较大,难以确定合理的 TVDI 干旱等级。

另一类方法包括 2 种:1)通过建立土壤相对湿度与 TVDI 的拟合关系^[51],推算面上的土壤相对湿度,对其分级后进行干旱监测和评价;2)通过确定特征空间中 LST 与 NDVI 斜率与土壤水分的关系及 TVDI 指数来建立土壤湿度的估算式^[5,52]。第一类和第二类的第二种方法是大家常用的方法,第二种第二类方法较不常见,下面对该方法进行详细介绍。

如图 1 中对 a 点土壤相对湿度(RSM)估算,首先建立 LST 与 NDVI 斜率与土壤相对湿度的定量关系:

$$RSM = a_1 + a_2\sigma \quad (6)$$

式中 RSM 为土壤相对湿度, σ 为 LST 与 NDVI 的斜率(图 1 中为 h/n), a_1 、 a_2 为系数。

其次确定 NDVI-LST 特征空间的干湿边,根据干边的斜率由式(6)计算得到干边对应的土壤相对湿度。

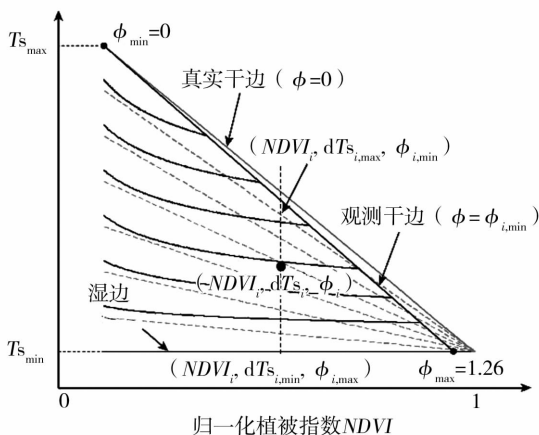


图 3 地表温度和植被指数的散点分布图^[42]

Fig. 3 Illustration of the conceptual T_s -NDVI scatter plot^[42]

表 1 常用的 TVDI 分级标准
Tab. 1 The classification of TVDI in common using

序号	TVDI 分级
1	湿润(0~0.2)、正常(0.2~0.4)、轻旱(0.4~0.6)、干旱(0.6~0.8)、重旱(0.8~1.0) ^[44-45]
2	极湿润(0~0.2)、湿润(0.2~0.4)、正常(0.4~0.6)、干旱(0.6~0.8)、极干旱(0.8~1) ^[45] 极湿润(0~0.1)、湿润(0.1~0.4)、正常(0.4~0.6)、干旱(0.6~0.9)、极干旱(0.9~1.0) ^[16]
3	水域(0~0.2)、湿润(0.2~0.4)、正常(0.4~0.6)、缺水(0.6~0.8)、干旱(0.8~1.0) ^[46]
4	正常(0~0.4)、轻旱(0.4~0.6)、干旱(0.6~0.8)、重旱(0.8~1.0) ^[47]
5	湿润(0~0.3)、偏湿(0.3~0.5)、正常(0.5~0.6)、偏旱(0.6~0.75)、干旱(0.75~1) ^[48]
6	返青期:无旱(0.69~1.00)、轻旱(0.47~0.68)、中旱(0.25~0.46)、重旱(0.00~0.24) ^[49] 生长中后期:无旱(0.61~1.00)、轻旱(0.41~0.60)、中旱(0.21~0.40)、重旱(0.00~0.20) ^[50]
7	无旱(0~0.66)、轻旱(0.66~0.70)、中旱(0.70~0.75)、重旱(0.75~0.80)、特旱(0.8~1) ^[29] 无旱(0~0.67)、轻旱(0.67~0.74)、中旱(0.74~0.8)、重旱(0.8~0.86)、特旱(0.86~1) ^[37] 1(0~0.18)、2(0.18~0.25)、3(0.25~0.30)、4(0.30~0.35)、5(0.35~0.41)、6(0.41~0.47)、 7(0.47~0.53)、8(0.53~0.6)、9(0.6~0.66)、10(0.66~0.75)、11(0.75~1) ^[50]

然后根据每个像元到干湿边的距离和干湿边上的土壤相对湿度值(图 1),有:

$$\frac{RSM_w - RSM}{RSM_w - RSM_D} = \frac{T - T_w}{T_D - T_w} \quad (7)$$

根据式(7),土壤相对湿度计算如下:

$$\begin{aligned} RSM &= RSM_w - \frac{T - T_w}{T_D - T_w} (RSM_w - RSM_D) \\ &= RSM_w - TVDI (RSM_w - RSM_D) \\ &= aTVDI + b \end{aligned} \quad (8)$$

(8)式中, $a = -(RSM_w - RSM_D)$,对某一特定特征空间 a 、 b 是常数, RSM 表示某一像元的土壤相对湿度, RSM_w 是湿边上最大土壤相对湿度($RSM_w = 100\%$), RSM_D 是干边上最小土壤相对湿度,由式(6)计算。这种土壤湿度反演方法认为干边上的土壤相对湿度并不为 0,因此除了需要计算 TVDI 外还需要确定干边上的最小土壤相对湿度,较第一种直接建立 RSM 与 $TVDI$ 拟合关系的方法更为复杂一些。

通过(8)式的化简来看,这 2 种方法的实质一样: RSM 与 $TVDI$ 之间是一元线性关系,差别在于第一种方法中,干、湿边上的土壤相对湿度直接由 $TVDI$ 和 RSM 的统计关系确定;第二种方法中,湿边上土壤相对湿度为 100%,干边上土壤相对湿度由 RSM 与 LST 与 $NDVI$ 直线斜率 σ 的统计关系确定。因此 2 种方法确定的干、湿边上的土壤相对湿度可能不同,而与干边土壤相对湿度为 0、湿边土壤相对湿度为 100%的理论值也可能不同。

总的来说第二类方法通过直接或者间接的方法

建立起了 $TVDI$ 与 RSM 的统计关系,将 $TVDI$ 直接转化为 RSM ,结合 RSM 定量化的分级标准,能够提供更加精细化的空间土壤水分状况。这类方法较直接对 $TVDI$ 分级后进行干旱监测的方法更加应该提倡应用。

5 总结

国外学者揭示了 LST 与 $NDVI$ 直线斜率与土壤湿度的负相关关系,Sandholt 在此基础上定义了温度植被旱情指数($TVDI$),相关研究表明 $TVDI$ 不受传感器及空间分辨率的影响。 $TVDI$ 在我国不同领域中土壤水分估计和旱情监测中得到了广泛的应用,总结国内现有 $TVDI$ 的应用来看:1)在特征空间中 $NDVI$ 常选取 $[0.2 \sim 0.8]$ 的范围进行干湿边的拟合;2)主要通过对 $TVDI$ 分级的方式实现土壤水分估计和旱情监测,但是分级标准难以确定,没有统一的分级标准;3) $TVDI$ 干边上 LST 与 $NDVI$ 呈现显著的负相关关系,湿边上 LST 与 $NDVI$ 大多呈现显著正相关关系, $TVDI$ 的干边拟合程度高于湿边;4)用高程和纬度订正 LST 、 EVI 替代 $NDVI$ 、土壤调整植被指数($SAVI$)替代 $NDVI$ 、分区建立特征空间是最常用的几种对 $TVDI$ 的改进方法。

随着遥感技术的飞速发展,已经积累了长序列的遥感资料,而由 $TVDI$ 计算方法来看单组遥感影像计算得来的 $TVDI$ 反映的是一幅遥感影像上的土壤湿度的相对空间分布情况,可能难以与同期历史的土壤湿度状况进行比较,一些研究也表明使用历史遥感资料建立 $TVDI$ 特征空间可一定程度上提高

TVDI 表征土壤水分状况的效果,因此今后可以考虑用历史长序列的遥感数据建立 TVDI 指数,并与单组图像计算得来的 TVDI 结合起来进行干旱研究。此外,国内大部分学者通过已有的 TVDI 分级标准直接评价土壤水分状况,而 TVDI 的这种分级指标较为混乱,存在一定的主观性。而 TVDI 与 RSM 具有良好的统计关系,今后应该在计算 TVDI 的基础上,通过用历史资料建立的 TVDI 与 RSM 相关关系来确定客观的 TVDI 干旱等级标准,进一步提高 TVDI 监测干旱的能力。

参考文献:

- [1] 张强,张良,崔显成,等. 干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战[J]. 地球科学进展,2011,26(7):763-774.
- [2] 宋连春,邓振镛,董安祥. 全球变化热门话题丛书-干旱[M]. 北京:气象出版社,2003.
- [3] 徐启运,胡敬松. 我国西北地区沙尘暴天气时空分布特征[J]. 应用气象学报,1996,7(4):479-482.
- [4] 张强,胡隐樵,曹晓彦,等. 论西北干旱气候的若干问题[J]. 中国沙漠,2000,20(4):358-362.
- [5] 柳钦火,辛景峰,辛晓洲,等. 基于地表温度和植被指数的农业干旱遥感监测方法[J]. 科技导报,2007,25(6):12-18.
- [6] 肖继东,姚坤,师庆东,等. 利用温度植被干旱指数反演伊犁博州地区土壤湿度[J]. 沙漠与绿洲气象,2009,3(3):12-16.
- [7] Watson K M. The Effect of Final State Interactions of Reaction Cross Sections[J]. Physical Review, 1952, 88(5):1163-1171.
- [8] Rosema A, Verhoef W, Noorbergen H, et al. New forest light interaction model in support of forest monitoring[J]. Remote Sensing of Environment, 1992,42(1):23-41.
- [9] Kogan F N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas[J]. International Journal of Remote Sense, 1990,11(8):1405-1419.
- [10] 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.
- [11] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection[J]. Advances in Space Research, 1995,15(11):91-100.
- [12] 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(2):213-224.
- [13] 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.
- [14] 孙丽,陈焕伟,赵立军. 遥感监测旱情的研究进展[J]. 农业环境科学学报,2004,23(1):202-206.
- [15] Chen J, Wang C Z, Jiang H, et al. Estimating soil moisture using Temperature-Vegetation Dryness Index (TVDI) in the Huang-huai-hai(HHH) plain[J]. International Journal of Remote Sensing,2011,32(4):1165-1177.
- [16] Han Y, Wang Y Q, Zhao Y S. Estimating Soil Moisture Conditions of the Greater ChangBai Mountains by Land Surface Temperature and NDVI[J]. IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing,2010,48(6):2509-2515.
- [17] Goetz S J. Multi-sensor Analysis of NDVI and Surface Temperature and Biophysical Variables as a Mixed Grassland Site[J]. International Journal of Remote Sensing,1997,18(1):71-94.
- [18] 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(3):191-205.
- [19] 金川,秦其明,朱琳. 基于 TVDI 的作物产量损失评估模型[R]. 2007 年环境遥感学术年会-自然灾害遥感专题研讨会,2007. 443-450.
- [20] 赵梓淇,李国春,姜鹏. FY-3A 卫星数据在辽宁省西部地区旱情监测的应用研究[J]. 现代农业科技,2011(10):267-270.
- [21] 高磊,覃志豪,卢丽萍. 基于植被指数和地表温度特征空间的农业干旱监测模型研究综述[J]. 国土资源遥感,2007(3):1-7.
- [22] 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(3):246-263.
- [23] Jiang L, Islam S. Estimation of surface evaporation map over southern Great Plains using remote sensing data[J]. Water Resources Research, 2001,37(2):329-340.
- [24] Nemani R R, Running S W. Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal Thermal-IR AVHRR data[J]. Journal of Applied Meteorology, 1989,28(4):276-284.
- [25] Moran M S, Rahman A F, Washburne J C, et al. Combining the Penman-Monteith equation with measurements of surface temperature and reflectance to estimate evaporation rates of semiarid grassland[J]. Agricultural and Forest Meteorology,1996,80(2):87-109.
- [26] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration[J]. Geoscience and Remote Sensing, 1990,28(5):940-948.
- [27] Carlson T N, Perry E M, Schmugge T J. Remote estimation of soil moisture availability and fractional vegetation cover for agricultural fields[J]. Agricultural and Forest Meteorology,1990,52(1):45-69.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 张顺谦,冯建东. 四川盛夏伏旱的 MODIS 遥感监测方法[J]. 高原山地气象研究,2012,32(1):51-55.
- [31] 孙威,王鹏新,韩丽娟,等. 条件植被温度指数干旱监测方法的完善[J]. 农业工程学报,2006,22(2):22-26.
- [32] 冉琼,张增祥,张国平,等. 温度植被干旱指数反演全国土壤湿度的 DEM 订正[J]. 中国水土保持科学, 2005,3(2):32-36.
- [33] 赵杰鹏,张显峰,廖春华,等. 基于 TVDI 的大范围干旱区土壤

- 水分遥感反演模型研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(6): 742-750.
- [34] Li H J, Li C Q, Lin Y, et al. Surface temperature correction in TVDI to evaluate soil moisture over a large area[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2010(8): 1141-1145.
- [35] 卢远, 华璿, 韦燕飞. 利用 MODIS 数据进行旱情动态监测研究[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(3): 55-58.
- [36] 杨曦, 武建军, 闫峰, 等. 基于地表温度-植被指数特征空间的区域土壤干湿状况[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1205-1216.
- [37] 闫娜, 李登科, 杜继稳, 等. 基于 MODIS 产品 LST/NDVI/EVI 的陕西旱情监测[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(4): 178-182.
- [38] 陈艳华, 张万昌. 植被类型对温度植被干旱指数(TVDI)的影响研究——以黑河绿洲区为例[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(6): 700-706.
- [39] 伍漫春, 丁建丽, 王高峰. 基于地表温度-植被指数特征空间的区域土壤水分反演[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 148-154.
- [40] 赵丽花, 杜培军, 逢云峰, 等. 基于温度植被旱情指数的徐州市郊干旱遥感监测[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 110-114.
- [41] 易佳, 杨世琦, 田永中, 等. 基于温度植被特征空间的夏季重庆土壤干湿状况与土地利用关系研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22): 183-189.
- [42] 舒云巧, 李红军, 雷玉平. 基于静止卫星的河北平原实际蒸散量遥感估算[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1151-1156.
- [43] Stisen S, Sandholt I, Nrgaard A, et al. Combining the triangle method with thermal inertia to estimate regional evapotranspiration Applied to MSG-SEVIRI data in the Senegal River basin[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(3): 1242-1255.
- [44] 康为民, 罗宇翔, 向红琼, 等. 贵州格斯特山区的 NDVI-Ts 特征及其干旱监测应用研究[J]. 气象, 2010, 36(10): 78-83.
- [45] 姚春生, 张增祥, 汪潇. 使用温度植被干旱指数法(TVDI)反演新疆土壤湿度[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(6): 473-478.
- [46] 吴孟泉, 崔伟宏, 李景刚. 温度植被干旱指数(TVDI)在复杂山区干旱监测的应用研究[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 30-35.
- [47] 易永红, 杨大文, 刘志雨, 等. 多时相中分辨率卫星影像在 2006 年川东和重庆旱情监测中的应用研究[J]. 水利学报, 2008, 39(4): 490-499.
- [48] 宋春桥, 游松财, 刘高焕, 等. 基于 TVDI 的藏北地区土壤湿度空间格局[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 569-576.
- [49] 冯蜀青, 殷青军, 肖建设, 等. 基于温度植被旱情指数的青海高寒区干旱遥感动态监测研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 141-145.
- [50] 李正国, 王仰麟, 吴健生, 等. 基于植被/温度特征的黄土高原地表水分季节变化[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4563-4575.
- [51] 闫峰, 王艳姣, 武建军. 基于 Ts-NDVI 特征空间的春旱遥感监测——以河北省为例[J]. 干旱区地理, 2009, 32(5): 769-775.
- [52] 范辽生, 姜纪红, 盛晖, 等. 利用温度植被干旱指数(TVDI)方法反演杭州伏旱期土壤水分[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 230-234.

Introduction of Application of Temperature Vegetation Dryness Index in China

SHA Sha¹, GUO Ni¹, LI Yaohui¹, HAN Tao², ZHAO Yanxia³

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China; 2. Northwest Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China; 3. Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: Reducing of vegetation index and rising of surface temperature are two kinds of important physiological performance of plants when they are under severe drought stress, so remote-drought indices based on vegetation index (VI) and land surface temperature (LST) are commonly used in drought monitoring. Indices based on vegetation index are difficult to exclude the influence of irrigation, pest and the flood disasters, and due to their larger lag time, they are difficult to monitor drought events which occurred suddenly. The land surface temperature is rising rapidly under the condition of water deficiency, so the indices based on land surface temperature (LST) can detect drought events, but it can't distinguish water stress conditions under different vegetation cover and it's easy to be influenced by the surface heat exchange and soil background temperature. The temperature vegetation drought index (TVDI) based on spectral feature space combined the vegetation index and land surface temperature, its physical meaning is more definite and it is well defined. TVDI could overcoming the deficiency of using VI and LST only, there for it is widely used to estimate evapotranspiration and soil moisture. For well understanding the application situation of TVDI in our country and the method to calculate and improve it, this paper expounded the principle of TVDI firstly, and then gave a detail introduce about the calculation and improving methods as well as the way of monitoring drought based on TVDI, etc. The aim is to offer some reference for the calculation and application of TVDI.

Key words: NDVI-LST spectral feature space; TVDI; calculate; improvement