

# 基于 TVDI 指数的安徽省伏旱动态监测与时空演变的研究

吴明业<sup>1</sup>, 张庆国<sup>2\*</sup>, 徐丽<sup>2</sup>, 宋瑞祥<sup>1</sup>

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; 2. 安徽农业大学理学院, 合肥 230036)

**摘要:** 利用 2012 年 153 期到 241 期的 Terra/Modis 8 d 合成的地表温度 (LST) 产品数据 MOD11A2 和 16 d 合成增强植被指数 (EVI) 数据 MOD13A2, 构建 LST-EVI 特征空间, 并依据该特征空间计算的土壤湿度分布状况, 验证了 LST-EVI 特征空间三角形分布的基本特征。结果表明: 总体来看, 2012 年安徽省伏旱主要发生在两个时段 (6 月上旬到中旬以及 7 月中旬到 8 月上旬), 两个时段持续时间都不长, 并没有造成严重灾情, 到 8 月上旬开始缓解, 8 月中旬基本结束。本研究为利用遥感数据对伏旱进行动态监测提供了方法和依据。

**关键词:** 温度植被干旱指数; 伏旱; LST-EVI 特征空间; 遥感; 安徽省

中图分类号: S16

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)04-0669-06

## Dynamic monitoring and spatial-temporal change of summer drought in Anhui Province based on the TVDI

WU Mingye<sup>1</sup>, ZHANG Qingguo<sup>2</sup>, XU Li<sup>2</sup>, SONG Ruixiang<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

**Abstract:** The LST-EVI characteristic space was built using MOD11A2 and MOD13A2, two types of data that were generated by Terra/Modis 8 days' land surface temperature (LST), Terra/Modis 16 days' enhanced vegetation index (EVI) from the 153th day to the 241th day of 2012, respectively. According to the temperature vegetation drought index (TVDI), representing the monitoring index of soil moisture, calculated by the characteristic space, soil moisture distribution of every 8 days in Anhui province from June to August, 2012 was retrieved. The essential features of triangular distribution of LST-EVI characteristic space were confirmed. The results showed that the summer drought in Anhui province often occurs in two periods of time (the first third of June to the middle third of July, and the middle third of July to the first third of August) in general. The time of these two periods was not long enough to cause an unacceptable damage. The drought was fade away from the first third of August to the middle third of August. The study provided a method and theory basis to carry through drought dynamic monitoring using the remote sensing data.

**Key words:** temperature vegetation drought index; summer drought; LST-EVI characteristic space; remote sensing; Anhui province

安徽省地处暖温带和北亚热带之间的过渡区, 气候复杂, 气象灾害频繁发生。与其他灾害相比, 安徽省出现的旱灾出现较多, 持续时间一般较长, 且影响范围大, 危害严重。特别是在夏季梅雨结束后 (一般是从七月中旬到八月底), 长江中下游地区处于副热带高压的控制下, 空气中流下沉, 不利于

降水的发生, 同时因为天气炎热, 地表水分的蒸发量很大, 伏旱时常发生。

传统上对于干旱及土壤墒情的监测还主要以人工实测为主, 工作量大, 得到的数据覆盖面有限, 难以满足对旱情全方位、多时向的监测要求。随着遥感技术的进步, 利用遥感数据进行区域旱情的监测

收稿日期: 2014-01-08

基金项目: 国家自然科学基金 (70271062, 40771117) 和安徽省高校自然科学研究重点项目 (KJ2010A121) 共同资助。

作者简介: 吴明业, 硕士研究生。E-mail: wmylovea3@163.com

\* 通信作者: 张庆国, 博士, 教授。E-mail: qgzhang@ahau.edu.cn

越来越受到关注,这可以在一定程度上弥补传统方法的不足,完善旱情的监测体系,为抗旱减灾提供决策支持。

NASA 对 MODIS 数据在全世界范围内实行免费接收的政策,是不可多得得廉价且实用的数据资源。MODIS 数据涉及了范围颇广的波段(36个波段)、数据分辨率也比 NOAA-AVHRR 提高了一大步,再加上因为 Terra 和 Aqua 上的 MODIS 数据在时间更新频率上配合良好,每天最少可以得到2次白天和2次黑夜的数据更新。这样一系列的优势使得 MODIS 数据具有非常高的对地球科学综合研究和对陆地、大气与海洋进行区别研究的价值,甚至对实时的地球观测和应急处理,如森林和草原火灾监测与救灾都有很高的利用前景。

利用植被指数和地表温度信息研究区域地表水分状况等陆地表面变化过程是目前遥感应用的一个重要方向。Sandholt 等<sup>[1]</sup>利用简化的 NDVI-Ts 特征空间提出水分胁迫指标 TVDI;齐述华等<sup>[2]</sup>利用 MODIS 植被指数和陆地表面温度产品得到了 TVDI、DTVDI 和 AVDI 3 个干旱评价指标并利用实测土壤含水量数据检验发现当监测范围较大,区域内地形复杂时,TVDI 评价干旱最为合理;王纯枝等<sup>[3]</sup>利用 MODIS 数据产品提取了黄淮海地区的 TVDI,并与相应的土壤湿度实测数据验证,认为 TVDI 方法能很好的反映地表 10~20cm 土壤水分状况适用于黄淮海平原作物生长季的土壤湿度动态监测;吴梦泉等<sup>[4]</sup>建立了复杂山区的温度植被干旱指数(TVDI)并结合当地气象局信息和野外同步观测的表层土壤温度、湿度数据对其进行定量验证认为 TVDI 与土壤湿度显著相关,可以用来对大区域干旱进行监测;向大亨等<sup>[5]</sup>分别选用 FY-3/MERSI 数据和 MODIS 数据计算了温度植被干旱指数(TVDI),并分析了监测结果的相对精度;刘玉琴等<sup>[6]</sup>、陈斌等<sup>[7]</sup>、张喆等<sup>[8]</sup>和王海等<sup>[9]</sup>用 TVDI 分别对不同地区进行了干旱监测,认为 TVDI 可有效监测研究区域的干旱情况。

MODIS 传感器具有很高的时间分辨率,其在干旱的动态监测方面拥有显而易见的优势。本文利用 MODIS 植被指数和陆地表面温度产品建立了安徽省全部区域 NDVI-Ts 空间,并由此提取出 2012 年 6 月份到 8 月份该地区每 8 天的温度植被干旱指数(TVDI),并在此基础上分析了 2012 年安徽省伏旱的分布和时空演变规律。

## 1 原理和方法

可以利用 TVDI 反演土壤湿度的根本原因是水分蒸发和植被蒸腾对地表温度具有降低作用。遥感图像中一个像元的 TVDI 值取决于 Ts-NDVI 空间的情况,而地表蒸发与植被蒸腾作用影响着 Ts-NDVI 空间的特征。植被覆盖、土壤湿度、地表热特征及粗糙度、大气动力与入射辐射等都对 Ts-NDVI 空间有影响<sup>[10]</sup>,传感器类型、分辨率及外界环境风速、气压等因素对空间影响较小<sup>[11]</sup>。土壤水分是 Ts-NDVI 空间的主要影响因素,NDVI 能很好的反映植被状况,以 Ts-NDVI 特征空间为基础得到的 TVDI,能很大程度上反映土壤的湿度状况。

如果研究区域植被覆盖包括从裸土到全覆盖,土壤湿度从极干旱到极湿润的各种情况,以遥感数据获得的 Ts 和 NDVI(或 EVI)为纵坐标的散点图呈三角形<sup>[12]</sup>,这是 Ts-NDVI 特征空间的基本特征。温度植被干旱指数(TVDI)就是在这个基础上发展出来的土壤湿度监测方法,其基本表达式如下所示:

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

式中,  $T_s$  为任意像元的地表温度,本研究中采用 Modis 的 LST 数据;  $T_{s_{\max}} = a_1 + b_1 \times EVI$  为某一 EVI 值对应的最高地表温度,是特征空间的干边,  $a_1$ ,  $b_1$  为干边拟合方程的系数;类似的,  $T_{s_{\min}} = a_2 + b_2 \times EVI$  为某一 EVI 值对应的最低地表温度。EVI 为增强植被指数,矫正了土壤背景和气溶胶散射的影响,本研究就是选用 EVI 和 LST 数据构建的 Ts-EVI 特征空间。将  $T_{s_{\min}}$  和  $T_{s_{\max}}$  的拟合代入(1)式就得到了 TVDI 的表达式:

$$TVDI = \frac{LST - (a_2 + b_2 \times EVI)}{(a_1 + b_1 \times EVI) - (a_2 + b_2 \times EVI)} \quad (2)$$

TVDI 的取值在 0~1 之间,一个地区 TVDI 值越大,表明该地区土壤水分越缺乏。本文利用 MODIS 植被指数和陆地表面温度产品建立了安徽省全部区域 Ts-EVI 空间,并由此提取出 2012 年 6 月份到 8 月份该地区每 8 d 的温度植被干旱指数(TVDI),再根据这一系列的 TVDI 分布图找出安徽省伏旱的分布和演变规律。

## 2 数据来源和数据处理

研究区域为安徽省全境,选用的数据为北纬 28°~35°,东经 113°~120°。研究区域逐日的晴空资料难以获取,所以本文选用的事 MODIS 标准产品中 8 d 合成的地表温度 MOD11A2 与 16 d 合成的植被指数 MOD13A2,资料来源: <http://ladsweb.nascom>。

nasa.gov/data/search.html。

MOD11A2 是 8 d 合成空间分辨率为 1 km 的地表温度产品。它的地表温度数据是利用分窗算法对 modis 传感器 31、32 通道亮温计算获得的, 其中的通道亮温值根据辐射亮度和 0.1 k 阈值亮温的查找表确定<sup>[13]</sup>。结果为 8 d 内晴空日地表温度的平均值。

MOD13A2 是 16 d 合成的空间分辨率为 1 km 的植被指数产品。它的波段反射率经过 BRDF 模型订正大气吸收、分子散射等效应, 并校正为星下点和标准太阳高度角下的 Terra MODIS 卫星地表反射率, 采用最大值合成 (MVC)、最小视角合成 (MV-MVC)、限定视角范围合成 (TV-MVC) 等策略合成为最终的植被指数 (NDVI) 和增强植被指数 (EVI) 结果<sup>[14]</sup>。本文采用的就是其中的增强植被指数。

在 2012 年 5 月 30 日-9 月 2 日期间获取的每期 MOD13A2 图像对应两期的 MOD11A2 图像。假定 MOD13A2 合成时段内地表的植被变化不大, 其合成的 EVI 值可以代表 16 d 内任意一天的 EVI 值; MOD11A2 是 8 d 内晴空日地表温度的平均值, 用这个平均值代表这 8 日的地表温度。用这 2 组计算 TVDI, 通过以上假定, 解决由于使用合成的 EVI

和 LST 数据所导致的获取时间上的不一致。

遥感数据获取之后, 作图幅拼接和投影变换之后, 在 IDL/ENVI 环境中, 以 0.01 的 EVI 阈值为步长构建 LST-EVI 特征空间并计算温度植被干旱指数 (TVDI)。在建模过程中, 利用 ENVI 的掩膜技术, 去除地表温度的过低点 ( $0^{\circ}\text{C}$  以下)。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同时相的 LST-EVI 特征空间

利用 MODIS 温度和植被指数数据产品, 得到安徽省伏旱主要发生时段的 LST-EVI 特征空间分布 (如图 1)。从图 1 可以看出, 每一期的特征空间中干边和湿边形状相似。不同时相特征空间都有一个共同特点: 随着 NDVI 值的增加, 地表温度的最大值和最小值逐渐趋于一点, 基本上是呈现三角形分布的, 特别是在  $EVI > 0.1$  的时候, 这种现象十分明显; 从不同时相特征空间的形状有所差异, 点的离散程度也不相同, 这可能与不同 NDVI 值对应的像元数量的不同有关; 图 1 中很明显的反映出最大地表温度总是出现在  $EVI = 0.2$  附近, 且伏旱发生主要时段内  $EVI < 0.2$  的像元数量要远远少于  $EVI > 0.2$  的像元数量。说明研究时段内安徽省裸土比例较小。

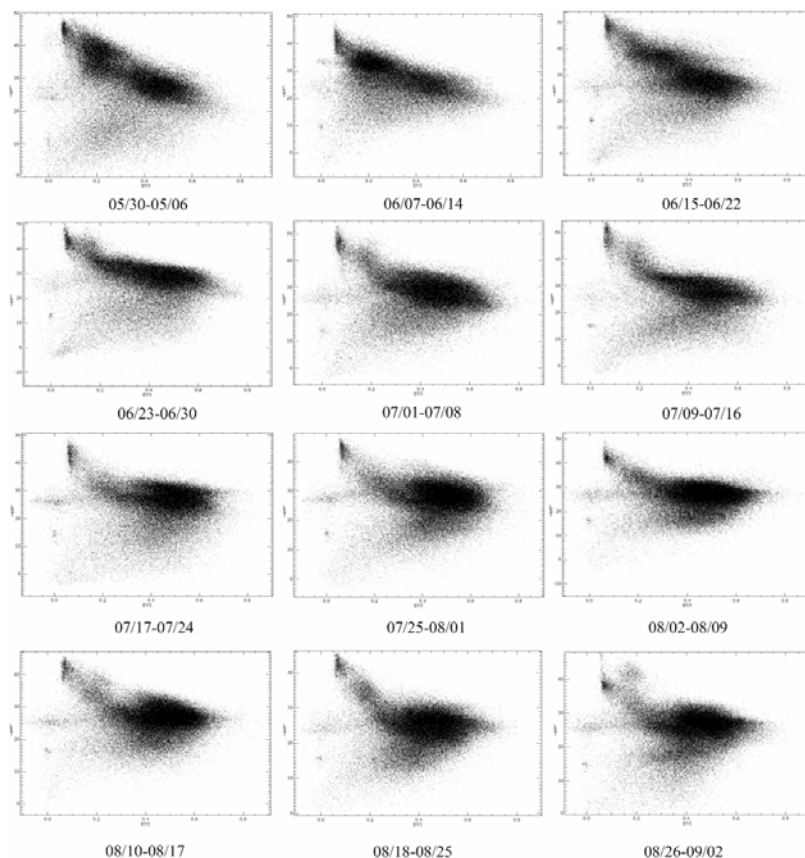


图 1 2012 年 5 月 30 日-9 月 2 日每 8 d 的 LST-EVI 特征空间

Figure 1 LST-EVI spatial pattern of scattered points for every 8 days from May 30th to September 2nd in 2012

### 3.2 特征空间干湿边的确定

利用 LST-EVI 特征空间中相应的  $T_{\max}$  和  $T_{\min}$  就可以拟合出干边和  $i$ , 但是特征空间中的最大和最小地表温度并非完全在一条直线上, 而如何选择像元拟合  $i$  方程式计算 TVDI 的关键。研究表明<sup>[15-16]</sup>: 当植被覆盖度小于 15% 左右时, 因植被覆盖度很低, 其 NDVI 很难指示区域的植被生物量; 当植被覆盖度在 15%~80% 之间增加时, NDVI 值随植物量增加呈线性迅速增加; 当植被覆盖度大于 80% 时, NDVI 值增加延缓呈现饱和状态, 对植被描述的敏感性下降。因此 NDVI 更适于监测植被发育中期或中等覆盖度的变化。EVI 是加入蓝色波段以增强植被信号

的植被指数, 在这一点上与 NDVI 类似。

综上所述, 本文在拟合干湿边方程时不考虑  $NDVI < 0.2$  的值, 而选择处于植被覆盖度较高, 像元数量所占比例较多的 EVI 对应的点 (选取  $0.2 < EVI < 0.8$  的像元) 拟合干湿边方程。分别计算了 2012 年 5 月 30 日到 9 月 2 日每 8 d 的 LST-EVI 特征空间的干湿边方程 (表 1)。从表 1 可以看出, 每期 LST-EVI 特征空间中的干边斜率小于 0, 而湿边斜率都大于 0。这表明受干旱胁迫的区域 (干边), 随着植被覆盖度增加, 地表温度有减小的趋势; 而无水分胁迫的区域, 随着植被覆盖度的增加, 地表温度/冠层温度有增加的趋势。

表 1 2012 年 5 月 30 日-9 月 2 日每 8 d LST-EVI 特征空间干边和湿边方程

Table 1 The dry and wet edges in LST/EVI space estimated by linear regression for every 8 days from May 30th to September 2nd in 2012

时间 Time	干边 Dry edge	湿边 Wet edge
05/30-06/06	$LST = -18.3096EVI + 323.295$ $R^2 = 0.815279$	$LST = 13.2144EVI + 263.050$ $R^2 = 0.382009$
06/07-06/14	$LST = -19.0346EVI + 325.698$ $R^2 = 0.851947$	$LST = 8.08801EVI + 270.468$ $R^2 = 0.372437$
06/15-06/22	$LST = -19.1464EVI + 330.477$ $R^2 = 0.822340$	$LST = 20.5008EVI + 258.932$ $R^2 = 0.631417$
06/23-06/30	$LST = -20.8054EVI + 325.926$ $R^2 = 0.901132$	$LST = 18.1209EVI + 254.232$ $R^2 = 0.419045$
07/01-07/08	$LST = -17.1077EVI + 326.781$ $R^2 = 0.792814$	$LST = 9.39474EVI + 263.634$ $R^2 = 0.438568$
07/09-07/16	$LST = -19.0168EVI + 328.087$ $R^2 = 0.800478$	$LST = 13.6187EVI + 263.804$ $R^2 = 0.660120$
07/17-07/24	$LST = -15.5216EVI + 322.041$ $R^2 = 0.829727$	$LST = 13.8883EVI + 260.531$ $R^2 = 0.318577$
07/25-08/01	$LST = -15.0940EVI + 322.764$ $R^2 = 0.877341$	$LST = 15.8795EVI + 262.116$ $R^2 = 0.536224$
08/02-08/09	$LST = -13.1317EVI + 322.593$ $R^2 = 0.635303$	$LST = 13.9885EVI + 263.267$ $R^2 = 0.395800$
08/10-08/17	$LST = -14.3725EVI + 320.006$ $R^2 = 0.833041$	$LST = 13.3223EVI + 267.983$ $R^2 = 0.514781$
08/18-08/25	$LST = -14.4441EVI + 319.253$ $R^2 = 0.862410$	$LST = 9.87138EVI + 267.805$ $R^2 = 0.449189$
08/26-09/02	$LST = -15.9989EVI + 321.832$ $R^2 = 0.706331$	$LST = 5.73554EVI + 271.163$ $R^2 = 0.259113$

### 3.3 安徽省土壤湿度等级分布图

利用干边和湿边方程, 根据式 (2), 分别计算不同时间各像元的 TVDI 值, 以 TVDI 值作为不同土壤湿度的分级指标, 根据宋春桥的分类方法<sup>[17]</sup>, 将土壤的湿度状况分为 5 类: 湿润 ( $0 < TVDI \leq 0.2$ )、偏湿 ( $0.2 < TVDI \leq 0.4$ )、正常 ( $0.4 < TVDI \leq 0.6$ )、偏旱 ( $0.6 < TVDI \leq 0.8$ )、干旱 ( $0.8 < TVDI \leq 1.0$ )。由此得到 2012 年 5 月 30 日-9 月 2 日 (伏旱最可能发生的时段) 安徽省土壤湿度状况分布图, 如图 2 所示。除了 6 月 23 日-6 月 30 日、7 月 1 日-7 月 8 日这两个时段, 因为全省大面积区域被云层覆盖, 出图效果较差之外, 其余时段的出图效果良好。从

图中可以看出, 6 月上中旬旱情主要发生在阜阳和淮北以及大别山区, 滁州、蚌埠境内也有分布; 7 月中旬, 全省性的旱情开始爆发, 全省大部分地区都出现了旱情; 到 7 月下旬, 淮河以北地区旱情依然持续, 江淮之间地区旱情有所缓解; 8 月上旬开始, 全省总体干旱情况逐步好转, 涡阳、濉溪、宿州以及肥东、长丰仍持续干旱; 8 月中旬开始全省旱情基本结束。

## 4 小结与讨论

从 12 个时相的土壤湿度等级分布来看, 2012 年安徽省伏旱的发生和发展分为两个阶段: 6 月上

旬到中旬、7 月中旬到 8 月上旬, 第一阶段的旱情主要分布在淮河以北地区和大别山区, 受影响较大的县有: 阜阳、界首、利辛、太和、临泉、亳州、萧县、濉溪以及霍山; 第二阶段的旱情为全省范围

的旱情, 长江以北大部分地区均受影响, 此外宣城、郎溪、宁国受影响也较大。总体而言, 两个阶段持续的时间都不长, 所以并没有造成重大灾情。

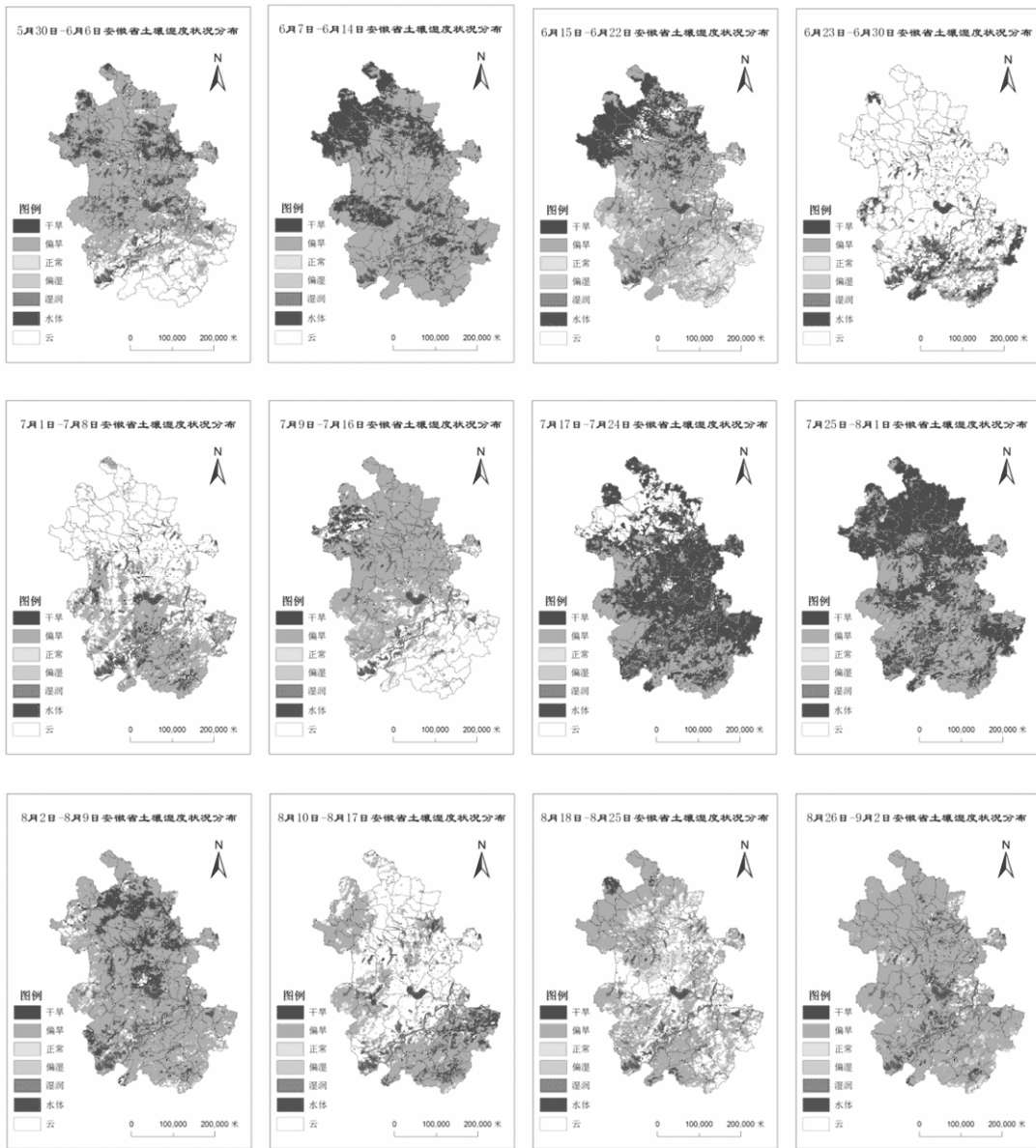


图 2 2012 年 5 月 20 日-9 月 2 日每 8 d 安徽省土壤湿度状况分布图

Figure 2 Distribution map of soil moisture classified by TVDI calculated in Anhui province for every 8 days from May 30th to September 2nd

利用 MODIS 地表温度产品和增强植被指数产品反演出了安徽省伏旱易发时段多个时相的温度植被干旱指数, 最终得到的土壤湿度状况分布图的效果基本令人满意, 可以与实测的土壤墒情数据配合使用, 为干旱实时监测提供便利, 这在目前气象信息实时同步采集和数据共享程度较低的情况下, 显得尤为重要。多个时相的 LST-EVI 特征空间全部都呈三角形分布, 进一步验证了 LST-VI 空间的分布

特征。然而本文所述方法在监测干旱发生发展规律时还存在一系列问题, 这在以后的研究中需要进一步探讨。

首先是缺乏地面观测数据的实证比对, 尽管 TVDI 被证明是目前干旱遥感监测中运用比较好的方法, 但是在进行特定时间, 特定地点的干旱监测时还是需要足够实测数据证明方法的正确性。

其次, TVDI 法干旱监测对植被覆盖的要求比

较高,本研究的是安徽省伏旱的分布,相关区域和相应时间的植被覆盖基本满足条件。但是如果研究的是其他区域或其他时间的干旱情况,本方法的使用需要慎重,因为如果植被覆盖度不高的情况下,盲目使用此方法往往不能得到理想的结果。

另外,MODIS的植被指数产品和地表温度产品受天气状况影响较大,特别是云量较多的时候往往难以得到成图较好的结果,最终的土壤湿度分布的出图效果也会受到影响。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 齐述华, 李贵才, 王长耀, 等. 利用MODIS数据产品进行全国干旱监测的研究[J]. *水科学进展*, 2005, 16(1): 56-61.
- [3] 王纯枝, 毛留喜, 何延波, 等. 温度植被干旱指数法在黄淮海平原土壤湿度反演中的应用研究[J]. *土壤通报*, 2009, 40(5): 998-1005.
- [4] 吴梦泉, 崔伟宏, 李景刚, 等. 温度植被干旱指数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.
- [5] 向大亨, 刘良明, 韩涛. FY-3 MERSI 数据干旱监测能力评价[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2010, 35(3): 335-338.
- [6] 刘玉琴, 沙晋明, 王德生. 基于 TVDI 的福州地区土壤干湿状况遥感监测[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2013, 8(4): 75-80.
- [7] 陈斌, 张学霞, 华开, 等. 温度植被干旱指数(TVDI)在草原干旱监测中的应用研究[J]. *干旱区地理*, 2013, 36(5): 930-937.
- [8] 张喆, 丁建丽, 鄢雪英, 等. 基于温度植被干旱指数的土库曼斯坦典型绿洲干旱遥感监测[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(8): 2172-2178.
- [9] 王海, 杨祖祥, 王麟, 等. TVDI 在云南 2009/2010 年干旱监测中的应用[J]. *云南大学学报: 自然科学版*, 2014, 36(1): 59-65.
- [10] 闫峰, 王艳娇. 基于 Ts-EVI 特征空间的土壤水分估算[J]. *生态学报*, 2009, 29(9): 4884-4891.
- [11] 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(223): 225-242.
- [12] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 1990, 28(5): 940-948.
- [13] Wan Z M. MODIS land-surface temperature algorithm theoretical basis document(LST ATB-D) [M][J]. Version 3.3, ContactNumber: NAS5-31370, 1999: 4.
- [14] Huete A, Justice C, Van Leeuwen W. MODIS vegetation index(MOD13) algorithm theoretical basis document [M]. Version 3, 1999.
- [15] 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.
- [16] 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): 地球科学*, 2005, 35(4): 371-377.
- [17] 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]. *地球科学进展*, 2011, 20(5): 569-576.