

基于 TVDI 指数的冬小麦旱情动态研究

——以河北省邢台市为例

刘公英¹, 申海凤¹, 胡佳¹, 史晓瑞¹, 商彦蕊^{1,2}

(1. 河北师范大学, 河北 石家庄 050024; 2. 河北省环境演变与生态建设重点实验室, 河北 石家庄 050024)

摘要: 以重大干旱年份 2010 年为例, 采用冬小麦生长期的 MODIS 数据, 提取邢台市归一化植被指数 (NDVI) 和地表温度数据 (LST), 计算温度植被干旱指数 (TVDI), 制定农业干旱监测等级, 利用该指标对邢台市 2010 年重大旱情进行分析, 并利用降水数据和 20 cm 土壤湿度数据进行结果验证。结果显示: 利用 MOD11A2 数据反演的地表温度与实测地表温度对比平均误差为 0.295℃, 反演结果能够代替实地温度进行计算; 利用实测 20 cm 深度土壤相对湿度数据与该地区计算的 TVDI 值做线性拟合, 拟合度 R^2 最高为清河县站点 0.722, 最低是任县站点 0.598, 整体效果较好; 从验证结果来看, TVDI 能够较好地反映出邢台市整体的实际旱情。邢台市 2010 年冬小麦主要生长阶段中返青拔节阶段整体旱情等级较高, 而且出现大面积重旱区域, 进入抽穗阶段重旱区域减少, 正常或湿润区域范围扩大, 整体旱情减轻。

关键词: 干旱监测; 归一化植被指数; 地表温度; 温度植被干旱指数; 邢台市

中图分类号: S512.1+1; S165+.22 **文献标志码:** A

Investigation on dynamic changes of drought of winter wheat by TVDI index —Taking the Xingtai in Hebei province as an example

LIU Gong-ying¹, SHEN Hai-feng¹, HU Jia¹, SHI Xiao-rui¹, SHANG Yan-rui^{1,2}

(1. Hebei Normal University, Shijiazhuang, Hebei 050024, China;

2. Hebei province key laboratory of environmental evolution and ecological construction, Shijiazhuang, Hebei 050024, China)

Abstract: Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) is an effective method for monitoring the dynamic changes of drought, and based on land surface soil moisture retrieval from optical and thermal-infrared remote sensing data. In 2010, TVDI was calculated by Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) data, that were derived from the MODIS data of winter wheat growing period in Xingtai county. We used TVDI for evaluate severe drought, and obtained a consistent result in comparison with the data of precipitation and soil moisture. The result showed that the deductive temperature of ground surface could be used as the actual value, considering the average error was 0.295℃ by a comparison between measured temperature and temperature retrieval from MOD11A2 data. There was a superior linear fitness between local TVDI value and relative humidity in 0~20 cm layer, with the maximal and minimal R^2 were 0.722 of Qinghe and 0.598 of Renxia. These results suggest that TVDI can effectively reflect the actual drought in Xingtai county.

Keywords: drought monitoring; NDVI; LST; TVDI; Xingtai Country

干旱是长期影响人类生产生活的自然灾害之一。近年来, 随着全球气候变暖趋势的增加, 干旱的影响程度也逐年增大, 尤其是对农业生产的影响越来越受到有关灾害组织部门的关注。在我国, 农业旱灾是发生范围最广、次数最多、影响最严重的灾害^[1]。

传统的旱情监测是一些学者利用降水、土壤、气温等气象数据, 应用数学方法建立模型来进行研究, 但是这些方法准确性、代表性较差, 均不能对大范围的干旱灾害进行动态监测^[2]。鉴于此, 遥感技术开

收稿日期: 2014-06-17
基金项目: 国家自然科学基金项目“区域农业旱灾适应性评价模型与风险防范模式研究”(41171402)
作者简介: 刘公英(1988—), 女, 河北阳原人, 硕士研究生, 主要从事资源开发与减灾研究。E-mail: liugongying526@163.com。
通信作者: 商彦蕊(1963—), 教授, 主要从事资源开发与减灾研究。E-mail: shangyanrui@126.com。

始出现,而且由于其具有快速、宏观、动态、经济等特点使得遥感干旱监测技术迅速得到了广泛的应用^[3],并取得了较好的成果。运用遥感影像监测干旱的方法很多,常用的基于植被指数的有:距平植被指数^[4]、条件植被指数^[5]等;基于温度指数的有:热惯量法^[6]、条件温度指数法^[7]等。但是两种方法都有一定缺陷,如果植被覆盖度小那么旱情较高可能就是受到土壤背景温度的干扰^[8]。因此,为了消除土壤背景的影响,一些学者提出植被指数是反映绿色植被的生长状况和地表的植被覆盖度,而地表温度能揭示出土壤湿度情况,将这两种信息结合起来使信息互补进行研究,能够较好地反映区域旱情。温度植被干旱指数(TVDI)则是这二者的结合,既考虑了植被指数(NDVI)的影响,同时也考虑了相同NDVI下地表温度(LST)的变化,因此受到广泛应用。例如齐述华^[9]对中国 2000 年 3 月和 5 月的旱情进行研究得出 TVDI 评价旱情是合理的。王纯枝等^[10]对黄淮海平原土壤湿度进行反演研究得出结论 TVDI 可以反演农田地表的土壤湿度,而且适用于研究特定年内某一时期某一区域的干旱程度。李春强等^[11]利用卫星反演得到温度植被干旱指数对河北省冬小麦的主要旱情进行了监测。张友静等^[8]提取 NDVI 和 LST 构建二者的特征空间,计算 TVDI 对区域地形复杂、地表类型多样的小花间流域旱情进行监测,结果能够反映当地旱情。由此看出 TVDI 不仅能够较好地监测旱情,而且几乎不受地域范围的限制,是一种理想的干旱监测模型。本文运用 MODIS 遥感影像资料,采用温度植被干旱指数(TVDI)模型对邢台市 2010 年冬小麦越冬期后的主要生育阶段干旱状况进行动态监测,以及及时准确地反映旱情发生的范围、程度和发展变化趋势,并为旱情监测提供方法,给决策提供引导、支持的依据。

1 研究区概况

邢台市位于河北省南部,113°52'E ~ 115°49'E、36°50'N ~ 37°47'N 之间,太行山脉南段东麓。市域总面积 12 439 km²,西部为山区、丘陵,中东部为平原,地势西高东低,山区、丘陵约占全市面积的 31.97%,68% 以上为平原地区。属于暖温带半干旱季风气候区,大陆性季风气候显著。年均温为 12℃ ~ 13℃。年平均降水量约 500 ~ 600 mm,主要集中在夏季,春季降水量为 60 ~ 70 mm,约占全年降水量的 10%。邢台市的河流属于海河流域子牙河和黑龙港两大水系,均为季节性降水,6—8 月份水量最

丰富,但是冬小麦的生育期是 10 月到次年 6 月,河流供水时间与冬小麦的生育期需水时间不一致。

邢台市最初的农作物包括小麦、水稻、玉米、棉花、大豆、谷子等,自六七十年代由于水利设施的改善,逐渐形成了以冬小麦—夏玉米为主的农业种植模式。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与数据处理

2.1.1 数据来源 利用 NASA 网站提供的 MODIS 数据,包括 8 天合成的 1 km 分辨率的地表温度产品 MOD11A2 和 16 天合成的 250 m 分辨率的植被指数产品 MOD13Q1。16 天数据的选取包括 2010 年 2 月 27 日—3 月 6 日、3 月 7 日—3 月 22 日、3 月 23 日—4 月 7 日、4 月 8 日—4 月 23 日、4 月 24 日—5 月 9 日和 5 月 10 日—5 月 25 日的六期遥感影像产品,涵盖了冬小麦生育期中返青—拔节、拔节—抽穗、抽穗—灌浆三个生长阶段。

2.1.2 数据处理 利用 ENVI 软件先将 MOD11A2 产品合成为 16 天产品,合成原则是如果两景 8 天的数据都有值则取平均值,只有一景的情况下直接取其值为合成后的值,合成后利用 ArcGIS 软件对其 LST—Day 波段进行拼接、投影,并利用邢台市的矢量图进行研究区的裁剪,得到研究区域的 LST 产品,投影采用 Geographic Lat/Lon,基准面为 WGS—84;对 MOD13Q1 数据先进行重采样得到 1km 分辨率数据,然后对其 NDVI 波段进行拼接、投影和裁剪,投影参数与处理 MOD11A2 数据参数一样,最后得到计算所需的研究区域 NDVI 产品。

2.2 TVDI 指数方法

目前的许多研究表明归一化植被指数(NDVI)与地表温度(LST)之间存在着负相关关系。Price^[12]、Gillies^[13]、Carlson^[14]等研究发现研究区域的植被指数和地表温度的散点图呈现三角形的关系。Sandholt^[15]基于其他学者提出的植被指数和地表温度的关系建立了温度植被干旱指数模型(TVDI),

$$TVDI = (T_s - T_{smin}) / (T_{smax} - T_{smin})$$

$$T_{smin} = a_1 + b_1 \times NDVI$$

$$T_{smax} = a_2 + b_2 \times NDVI$$

式中, T_{smin} 是指研究区内某一时期的同一 NDVI 值对应的最低陆地表面温度, T_{smax} 是该 NDVI 值所对应的最高陆地表面温度, a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 是待定系数, T_s 为该研究区内任意地表温度值,TVDI 值为[0 -

1],TVDI 值越大越接近 1,表明干旱程度越重,TVDI 值越接近 0 表明干旱越轻或者没有发生干旱。利用公式分别将经过遥感图像处理所得到的不同时间段的 NDVI 和 LST 数据导入 ENVI 软件中进行运算,计算出不同时间的 TVDI 干旱监测图,并将邢台市的地表干旱监测图分为五个等级,分别是湿润(0 ~ 0.2)、正常(0.2 ~ 0.4)、轻旱(0.4 ~ 0.6)、中旱(0.6 ~ 0.8)和重旱(0.8 ~ 1.0)。

3 实证分析

3.1 结果验证

3.1.1 LST 反演结果验证 为了检验反演结果的精度,采用 3 月上旬的实测气象数据与反演结果进行比较和验证。实测数据选择了 8 个气象站点,分别是巨鹿、临西、南宫、平乡、清河、内丘、任县和沙河。根据实际测量数据的具体位置取得了反演温度图上相应位置 9×9 个象元的平均值来进行比较,如表 1 所示。比较发现,经过反演的地表温度与选取区域内 8 个气象站点的实测数据对比分析,平均误差为 0.295℃,表明反演的温度结果与实测值比较接近,在目前遥感反演地表温度的误差范围之内^[16],这说明利用此种方法反演出的地表温度较为准确,能够代替实地温度进行计算。

表 1 实测值与反演温度对比验证/℃

Table 1 Comparison between the measured values and the temperature retrieval			
测试站点 Test site	实测地表温度 Measured surface temperature	反演结果 Inversion results	误差 Error
巨鹿 Julu	0.80	1.29	0.49
临西 Linxi	0.90	0.85	0.05
南宫 Nangong	0.60	0.85	0.25
平乡 Pingxiang	0.80	1.39	0.59
清河 Qinghe	0.90	1.27	0.37
内丘 Neiqiu	0.90	1.13	0.23
任县 Renxian	1.00	1.11	0.11
沙河 Shahe	1.20	0.93	0.27

3.1.2 降水数据验证 邢台市每年 3—5 月份是冬小麦的主要生长季节,需水关键期,恰赶上是全年干旱少雨的季节。2010 年春季整体降水偏少,返青~拔节阶段八个气象站点平均降水量为 13.35 mm,拔节~抽穗阶段为 12.00 mm,抽穗~灌浆阶段平均降水达到 35.50 mm,时间分布不均,主要集中在抽穗~灌浆阶段,图 1 为邢台市八个气象站点 2010 年冬小麦三个主要生长阶段降水及各个阶段水分亏缺量

数据,其中需水量是由公式 $W_e = K_c \times ET_0$ 计算得到, K_c 为作物系数,邢台地区冬小麦不同生长阶段作物系数不同,本文选用陈玉民、郭国双^[17]研究中邢台临西逐月的 K_c 作为不同时期冬小麦系数的参考, ET_0 为潜在蒸散量,采用 FAO 推荐的 P-M 公式计算得到逐旬的潜在蒸发量,进而求得各个生长阶段的冬小麦需水量。从图中可以看出返青~拔节阶段整体需水亏缺量冬小麦主要种植区平原区较山地丘陵区域大,旱情较重;拔节~抽穗阶段整个区域的亏缺量较上一生长阶段高,水分缺口大,对灌溉的依赖性最高,由于大量水利设施的修建,大大增加了灌溉量,而且平原地区的灌溉率整体高于山地丘陵区,冬小麦主要种植区域旱情减轻;抽穗~灌浆阶段需水量最大,亏缺量也最大,整体看来平原丘陵地区比山地亏缺量小,将 TVDI 结果图与之对比,结果较为一致。

3.1.3 20 cm 土壤湿度验证 由于气象站点的限制,本文分别选取了邢台市东部清河县、中部巨鹿县和任县以及西部内丘县 4 个气象站点的实测 20 cm 深度土壤相对湿度数据与该地区计算的 TVDI 值做线性拟合并分析。

从图 2 可以看出清河、巨鹿、任县、内丘这 4 个气象观测站点的 20 cm 土层土壤相对湿度与对应的 TVDI 值之间均呈现负相关关系,即土壤湿度越大,旱情等级越低,拟合度 R^2 最高为清河县站点 0.722,最低是任县站点 0.598,整体拟合效果较好。

从以上验证结果来看,利用 TVDI 对邢台市旱情进行监测能较为准确地反映出邢台市的实际旱情。

3.2 冬小麦主要生育阶段干旱动态分布

邢台市冬小麦越冬期过后生长发育阶段大概起止时间划分为:2 月 27 日—4 月 7 日为返青~拔节阶段,4 月 8 日—4 月 23 日为拔节~抽穗阶段,4 月 24 日—5 月 25 日这一时期为抽穗~灌浆阶段。

从图 3 中 2010 年越冬期后的主要生育阶段 TVDI 结果整体分析,4 月中旬之前旱情等级较高,重旱范围所占比重大,进入 4 月中下旬,旱情开始缓解,重旱范围缩小,正常或湿润面积扩大。进一步分析各个生长阶段的旱情,冬小麦返青~拔节阶段,图(a)的遥感影像分析结果表明东部平原区旱情最重,大部分地区存在重旱,丘陵和山地以中旱、轻旱为主,只有山地最西侧出现小面积的正常区域;图(b)的 TVDI 结果显示比上一阶段整体旱情严重,重旱范围扩大,并向丘陵和山地转移;图(c)中资料表明冬小麦的主要种植区即平原地区旱情大部减轻,平

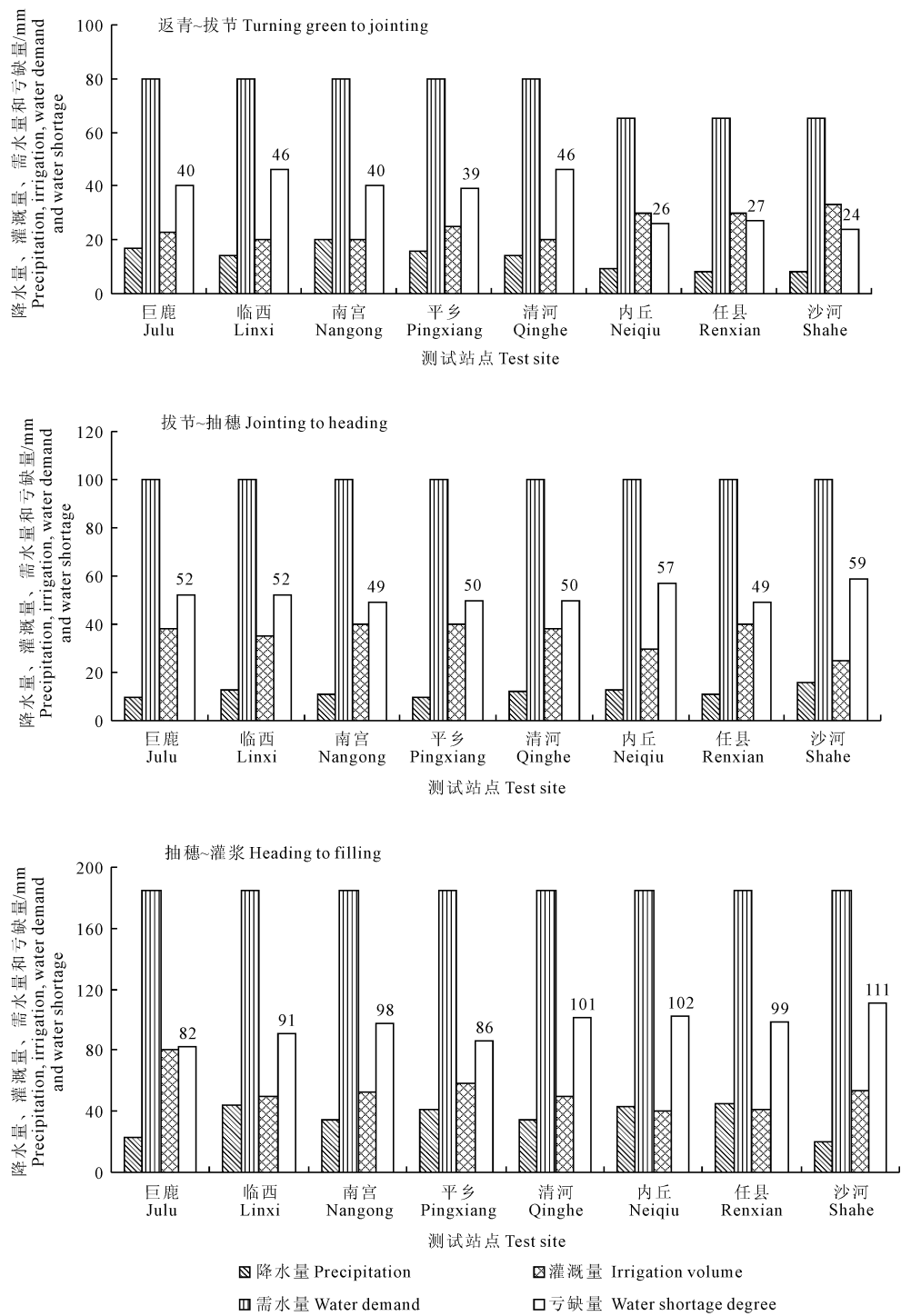


图 1 2010 年返青到灌浆阶段冬小麦水分亏缺量

Fig.1 Amount of water deficit from reviving to filling stages of winter wheat in 2010

原东侧小部分区域旱情解除,但是西部丘陵山地旱情加重,由中旱转为重旱,正常区域面积较上一阶段缩小;进入拔节~抽穗阶段,图(d)中 TVDI 显示旱情开始有了大面积的缓减,不存在集中成片的大范围重旱区域,正常或湿润区域的范围扩大,冬小麦主要种植区大部分地区不存在旱情,其他地区主要是轻旱或中旱;5月进入抽穗~灌浆阶段,图(e)TVDI

结果显示:旱情继续缓减,整体看来,重旱主要集中在山地一侧,平原西侧冬小麦主要种植区接近正常水平,其他地区不同程度地受到中旱或轻旱的影响;图(f)的 TVDI 结果与上一阶段相差不大,依然是冬小麦主要种植区接近正常,但是平原区东侧出现了小面积的重旱区域,西部山地的重旱区域相对减小,由中旱代替。

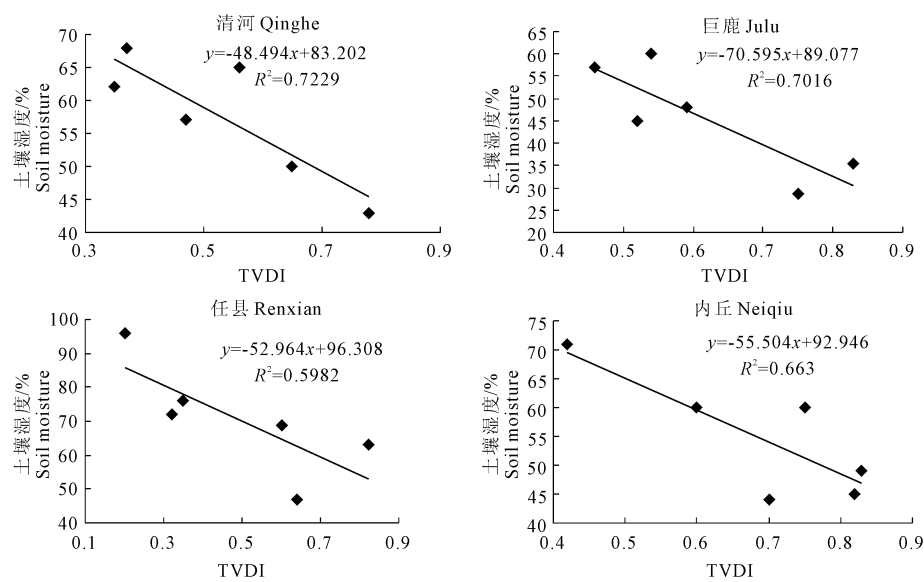


图 2 TVDI 值与土壤湿度的相互关系
Fig.2 Relationships between TVDI and soil moisture

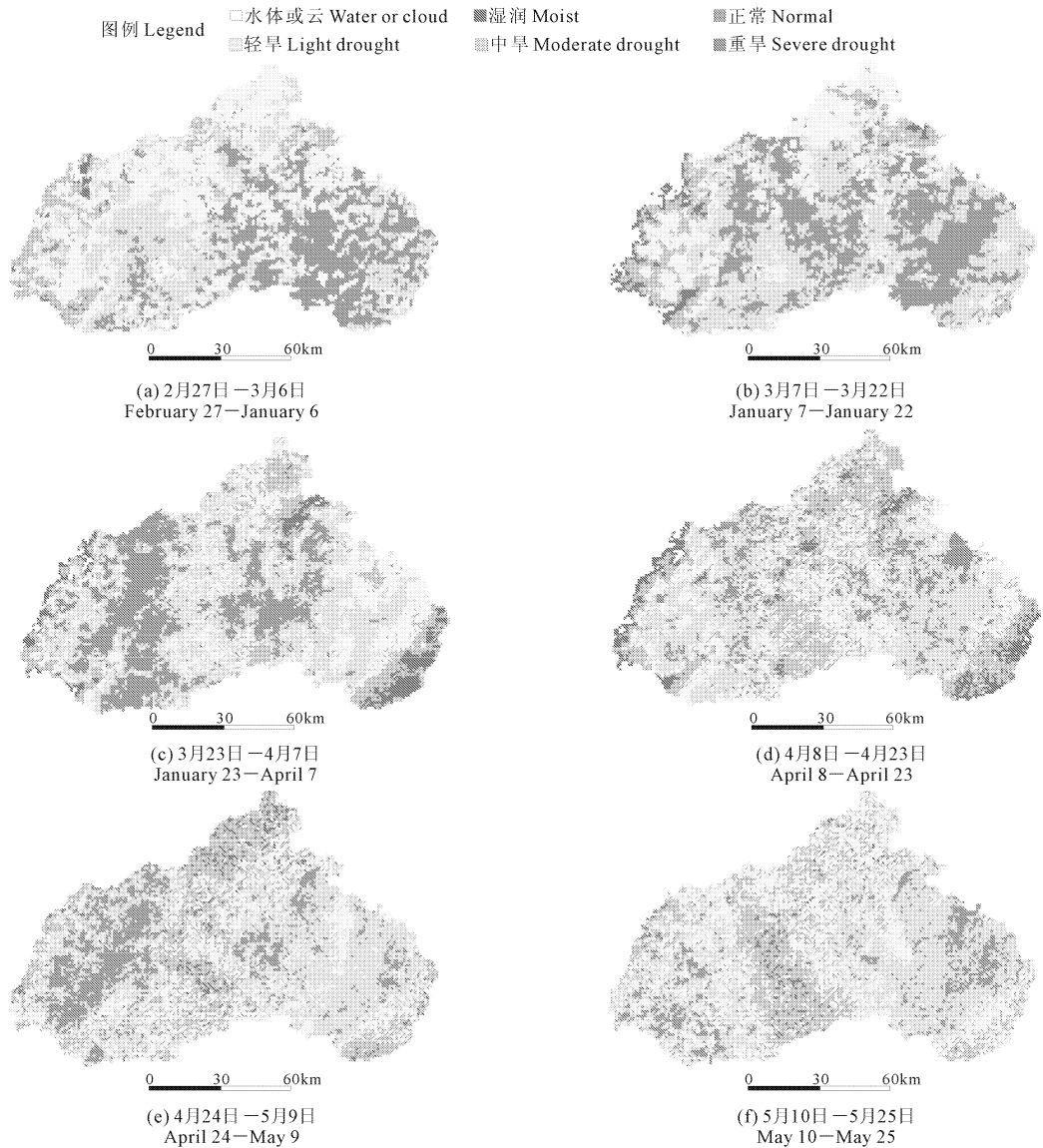


图 3 2010 年邢台市冬小麦返青至灌浆阶段 TVDI 结果
Fig.3 The TVDI result from the reviving to filling stage of winter wheat in Xingtai, 2010

由 MODIS 数据的 NDVI 和 LST 反演结果可以看出:在冬小麦返青、拔节、抽穗阶段的干旱状况呈现分布不均衡的特征,旱情由东部平原逐渐向西部山地丘陵转移,这一时期主要是受自然降水的影响;拔节阶段是冬小麦的需水关键期,从分析结果可以看出冬小麦主要种植区的低平原区已趋于正常或变为湿润;灌浆阶段冬小麦主要种植区也显示正常,总体来说这两个阶段的冬小麦主要种植区受旱程度大大减轻,主要是人工灌溉的影响,由于邢台市的主要河流水系集中在东部平原区,除自然降水外平原区还修建了多处水窖等集水设施,而丘陵和山地的水利基础设施较差、地表水资源不足,投入的人力物力较少,所以干旱程度逐渐加重。

4 结论与讨论

本文利用温度植被干旱指数模型对邢台市冬小麦主要种植区的地表干旱状况进行遥感监测,并结合邢台市的同期气象资料对干旱监测结果进行分析评价,结果表明:利用 MOD11A2 数据对邢台市的地表温度进行反演,结果与实际温度误差较小,可以参与计算;TVDI 遥感监测结果与实际旱情比较吻合;选取代表性站点将其 TVDI 值与 20 cm 土壤湿度进行线性拟合分析,拟合度较高,说明该方法可以对邢台市干旱进行监测。本文应用 TVDI 对邢台市 2010 年春季冬小麦主要生长阶段旱情进行监测结果显示,返青~拔节阶段整体旱情等级较高,而且出现大面积重旱区域,进入抽穗阶段整体旱情逐渐减轻,此后重旱区域减少,正常或湿润区域范围扩大。

农业旱灾监测是旱灾系统研究中的首要步骤,为后期防灾减灾的顺利进行提供参考及指导作用。TVDI 综合了地表的温度和植被信息^[18],可以反映出一个地区旱情程度的高低。这为以后能及时对邢台市冬小麦的干旱进行监测、预测提供了方便。但是由于采用的 MODIS 数据分辨率与地面实际情况会有一些差异,对实际旱情监测会有一定的影响;影响旱情的因素是复杂多样的,在今后的研究中,可以与其他遥感植被监测指数进行对比分析以取得更好的效果;而且由于监测站点的限制,结果验证也会存在一些问题,需要进一步提高验证精度。

参考文献:

- [1] 商彦蕊.农业旱灾研究进展[J].地理与地理信息科学,2004,20(4):101-105.
- [2] 杨绍镔,闫娜娜,吴炳方.农业干旱遥感监测研究进展[J].遥感信息,2010,1:103-109.
- [3] 杨世琦,高阳华,易佳.干旱遥感监测方法研究进展[J].高原山地气象研究,2010,30(2):75-78.
- [4] 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(2):106-112.
- [5] Tucker C J, Cloughy B J. Satellite remote sensing of drought conditions[J]. Remote Sensing of Environment, 1987,23:243-251.
- [6] 马春锋,王维真,吴月茹,等.基于 MODIS 数据的黑河流域土壤热惯量反演研究[J].遥感技术与应用,2012,27(2):197-207.
- [7] 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.
- [8] 张友静,陈晨,鲍平勇,等.小花间流域旱情监测模型分析[J].干旱区地理,2009,32(6):880-885.
- [9] 齐述华,王长耀,牛铮.利用温度植被旱情指数(TVDI)进行全国旱情监测研究[J].遥感学报,2003,7(5):420-428.
- [10] 王纯枝,毛留喜,何延波,等.温度植被干旱指数(TVDI)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.
- [11] 李春强,李红军.TVDI 在冬小麦春季干旱监测中的应用[J].遥感技术与应用,2008,23(2):161-165.
- [12] Price. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration[J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1990,28:940-948.
- [13] Gillies, Carlson, Gui, Kustas, and Humes. 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.
- [14] Carlson. An overview or the "triangle method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery[J]. Sensors, 2007,(7):1612-1629.
- [15] Sandholt, Rasmussen, Andersen. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture atatus[J]. Remote Sensing of Environment, 2002,(79):213-224.
- [16] 张福存,李净,吴立宗,等.基于 MODIS 数据的黑河流域地表温度反演研究[J].水土保持研究,2011,18(6):42-47.
- [17] 陈玉民,郭国双.用空气饱和差推算作物需水量[J].农田水利与小水电,1983,6:8-11.
- [18] 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.