

韩 刚, 李瑞平, 王思楠, 等. 基于多尺度遥感数据的荒漠化草原旱情监测及时空特征[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(6): 1301-1308.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.06.015

基于多尺度遥感数据的荒漠化草原旱情监测及时空特征

韩 刚¹, 李瑞平¹, 王思楠¹, 田 鑫¹, 胡勇平¹, 樊爱霞², 孙 燕³

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古水利水电勘测设计院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 包头市鑫港工程监理有限公司, 内蒙古 包头 014030)

摘要: 本研究以 Landsat8/ETM+ 与 MODIS 遥感数据作为数据源, 利用 TVDI 模型对乌审旗土壤含水率进行遥感监测。首先通过时空尺度推演方法将 Landsat8/ETM+ 反演的 30 m 空间分辨率 TVDI 对 MODIS 反演的 1 km 空间分辨率 TVDI 进行空间尺度推演, 然后与单独利用 MODIS 数据监测含水率结果以及野外含水率实测数据进行对比分析, 最后采用 TVDI 时间推演方法获得 TVDI 月合成数据监测乌审旗旱情时空分布状况。结果表明: 多尺度遥感模型对 MODIS 反演的 TVDI 进行空间尺度推演, 使得 TVDI 空间分辨率提高, 土壤含水率监测精度得到提高, 并可获得高时间、高空间分辨率 TVDI 数据, 最终实现高频率的区域土壤干旱状况动态监测。采用时空推演方法获得的 TVDI 月合成数据监测乌审旗旱情时空分布状况与研究区实际状况极为相符, 此方法对于进一步服务该区域农牧业生产具有重要意义。

关键词: 多源数据; TVDI; 含水率; 旱情监测

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)06-1301-08

Study on drought monitoring and spatial and temporal characteristics of desertification grassland based on multi-scale remote sensing data

HAN Gang¹, LI Rui-ping¹, WANG Si-nan¹, TIAN Xin¹, HU Rong-ping¹, FAN Ai-xia², SUN Yan³

(1. Water Conservancy and Civil Engineer College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. Inner Mongolia Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Hohhot 010020, China; 3. Baotou Xin Port Engineering Supervision Co., Ltd, Baotou 014030, China)

Abstract: In this paper, Landsat8/ETM+ and MODIS remote sensing data were used as data sources, and TVDI model was used to monitor soil moisture content in Wushen County. TVDI of 30 m spatial resolution inverted by Landsat8/ETM+ was used to deduce TVDI of 1 km spatial resolution inverted by MODIS using the spatial scale deduction method, and with the use of MODIS data alone monitoring soil moisture content and field moisture content of the measured data for comparative analysis. Finally, TVDI monthly synthetic data which obtained by time deduction method were used to monitor the temporal and spatial distribution of drought in Wushen County. The experimental results showed that the multi-scale remote sensing model made a spatial scale deduction of TVDI inversion of MODIS, which improved the spatial resolution of TVDI, improved the monitoring accuracy of soil moisture content and obtained high temporal and spatial resolution TVDI data, and finally achieved high frequency monitoring of the regional soil drought. The temporal and spatial distribution of drought in Wushen County was consistent with the actual situation of the study area. This method showed great significance to further serve the agricultural and livestock production in this area.

Key words: multi-source data; TVDI; moisture content; drought monitoring

收稿日期: 2017-06-01

基金项目: 内蒙古自治区科技计划项目(20140153); 内蒙古自治区水利科技项目(NSK201403)

作者简介: 韩 刚(1990-), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事水利遥感信息技术研究。(Email) 1475470765@qq.com

通讯作者: 李瑞平, (E-mail) nmglrp@163.com

土壤水分是反映荒漠化土地环境演变的重要因子, 是监测土地退化的重要指标, 也是气候环境、生态状况以及农牧业生产等领域的主要参数, 在区域荒漠化土地的发生、演变以及农牧业生产力等方面扮演着不可替代的角色^[1-2]。由于土壤含水率在时空分布上变化极大, 传统

的土壤含水量监测方法野外采集数据慢,消耗人力物力多,仅限于单点代表性差等缺点,难以满足大范围实时监测的需求,从而限制了它的应用范围。遥感方法监测土壤含水量的优势在于能以不同的时空尺度不断地观测地表状况,提供地表特征信息,具有监测范围广、速度快、成本低,能够长期对研究区域的地表特征信息进行动态观测。这对于传统的以少数离散点为基础的对地观测手段是一场革命性的变化。

目前,通过国内外广大学者及有关科研工作人员不懈地努力,在土壤水分遥感监测理论和实践方面均取得了一定的成绩^[3-9]。地表温度的时空变化受大气、环境状况的影响比较大,单一利用温度建立植物缺水指标并不理想,而植被指数对植物水分变化的反映也具有一定的滞后性。LST-NDVI 特征空间综合地表温度和植被指数信息,可增加对土壤含水量状况的理解,是近年来被广泛应用的土壤含水量估算模型。Mallick 等^[10]采用 MODIS 数据提取了 TVDI 指数,对 0~5 cm 土层深度的土壤含水量进行了遥感监测。Rahimzadeh-bajgiran 等^[11]利用 MODIS 数据构建了加拿大草原的 LST-NDVI 特征空间并求取了 TVDI,将其与对应时间内的土壤含水量进行回归拟合,最终得到了加拿大草原土壤含水量的空间分布结果。王秀君等^[12]利用 Landsat TM 数据提取 TVDI 指数,与实测体积含水量进行回归分析,取得了较好的拟合精度。然而,这些研究采用单一尺度的遥感数据进行定量遥感反演,均未充分考虑遥感数据的时空效应问题。Landsat 系列数据空间分辨率较高,比 MODIS 数据受到混合像元的影响小很多。但 Landsat 影像数据获取周期为 16 d,与周期为 1 d 的 MODIS 影像数据相比较,在实际研究应用中会产生较大的限制。本研究采用空间尺度推演方法对研究区 TVDI 进行空间尺度转换,并对 TVDI 进行时间尺度的推演,拟拓展 Landsat 和 MODIS 影像数据应用范围以及提高遥感数据利用率。

乌审旗地处毛乌素沙漠腹部,近年来,干旱灾害发生频率越来越高,牧草和畜产品减少,草地退化和荒漠化加剧,人畜饮水困难,生命受到威胁。作为生态脆弱区,乌审旗是中国北方半干旱区域生态变化研究的重点区域,具有很强的代表性。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况及研究数据

乌审旗处于内蒙古自治区最南端,鄂尔多斯市

的西南部,是毛乌素沙漠的主体部分。全旗面积为 11 645 km²,包括 5 个镇、1 个苏木。地势由西北向东南倾斜,海拔为 1 300~1 400 m,大部分为沙地、滩地、梁地相间,属温带大陆性季风气候。年平均气温 6.8 ℃,年平均风速 3.4 m/s,年降水量 350~400 mm,年蒸发量 2 200~2 800 mm。

1.1.1 遥感数据 Landsat 系列数据:2016 年 4 月 21 日、2016 年 8 月 27 日和 2016 年 9 月 28 日的 6 景 Landsat8 影像数据以及 2016 年 7 月 2 日的 2 景 Landsat7 影像数据。MODIS 数据产品:2016 年 4 月-10 月的日合成 MOD11A1 温度产品,8 d 合成 MOD11A2 温度产品以及 16 d 合成 MOD13A2 植被指数产品。利用 ENVI 软件对上述影像数据进行辐射定标、几何纠正、大气纠正等处理,Landsat8/7 的热红外波段空间重采样分辨率为 30 m,计算得到所需植被指数和地表温度等资料。

1.1.2 土壤含水率数据 为了使野外采样点可以充分代表乌审旗区域,参照土地利用类型图、荒漠化程度分布图等资料,结合研究区行政区域空间分布及道路交通状况,在研究区预选出 24 个样区。然后,在野外借助手持 GPS 导航功能在 24 个样区布设了 120 个样点,每个样区中各子样点之间的间距大致为 1 km。考虑到不同深度的土壤含水率分布状况,每隔 10 cm 深度对土壤含水率进行 1 次采样,总共 3 个深度达到 30 cm。逐点用土钻采集 0~10.0 cm、10.1~20.0 cm、20.1~30.0 cm 3 个样品,刮去样本点土壤表层的浮土后迅速封装。野外试验采样于 2016 年 4 月~10 月进行,采样点分布状况如图 1 所示。

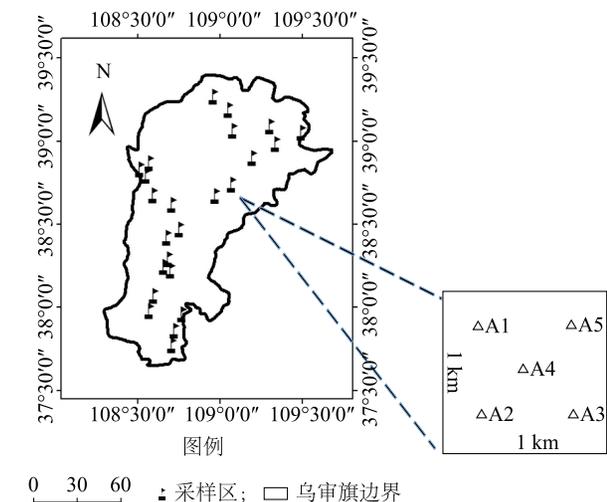


图 1 采样方案设计图

Fig.1 Sampling scheme design

1.2 研究方法

1.2.1 温度植被干旱指数法 研究发现植被指数和地表温度呈显著的负相关关系,土壤水分条件和植被覆盖情况变化较大时,以遥感数据反演出的植被指数和地表温度为 X、Y 坐标的散点图呈三角形(图 2)。

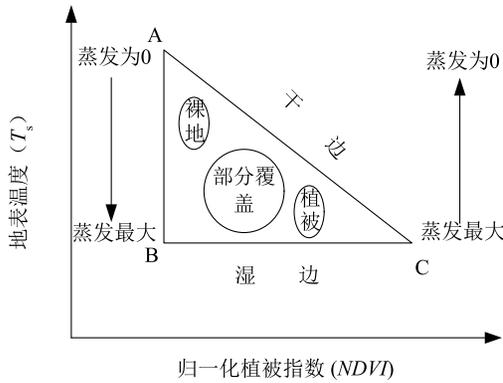


图 2 Ts-NDVI 特征空间

Fig.2 The feature space of Ts-NDVI

在植被指数和地表温度的三角形特征空间中,可以提取到干边、湿边方程:

$$\begin{cases} T_{S \max} = a_1 + b_1 \cdot NDVI \\ T_{S \min} = a_2 + b_2 \cdot NDVI \end{cases} \quad (1)$$

式中: $T_{S \max}$ 为干边, $T_{S \min}$ 为湿边, 分别由植被指数和最高、最低地表温度进行线性拟合得到; a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 是干边、湿边拟合方程系数。

TVDI 依靠图像数据由植被指数和地表温度计算得到,其定义为:

$$TVDI = \frac{T_S - T_{S \min}}{T_{S \max} - T_{S \min}} \quad (2)$$

TVDI 的取值范围为 0~1, 与土壤表层含水量成呈负相关, 与干旱程度呈正相关。即: TVDI 值越大, 土壤湿度越低, 相对干旱程度越严重; 相反, 相对干旱程度越低^[13]。

1.2.2 多尺度遥感模型的构建与实现 多尺度遥感模型的空间分辨率转换流程(图 3)。

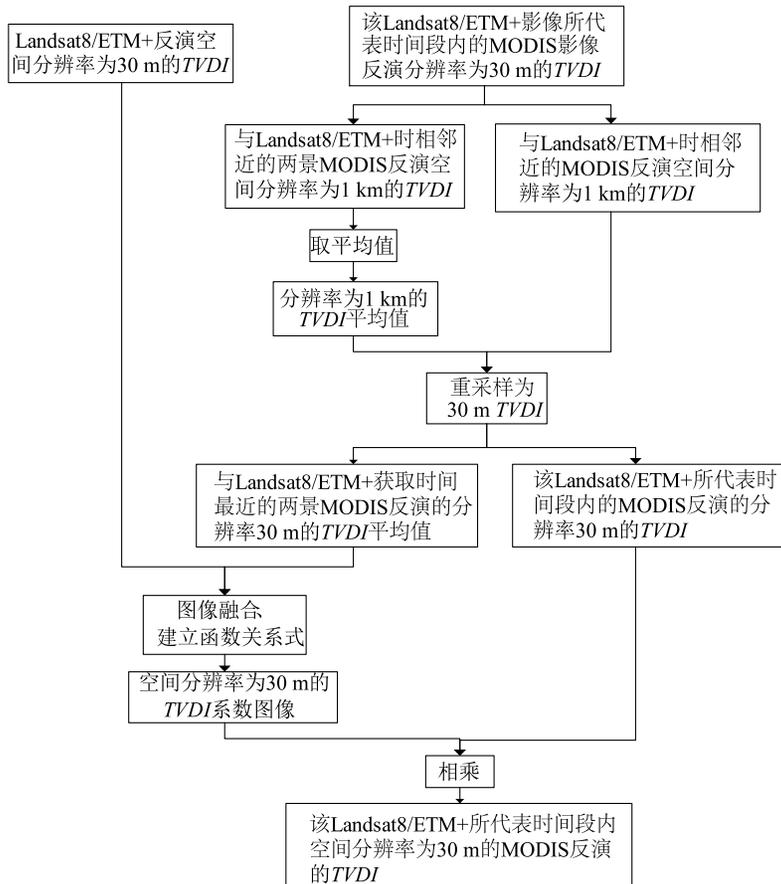


图 3 多尺度遥感模型的空间分辨率转换流程

Fig.3 Spatial resolution conversion process for multi-scale remote sensing models

(1)由 MODIS 影像反演的 $TVDI_{MODIS}$ 推演 Landsat8/ETM+影像反演的 $TVDI_{Landsat}$ 时,先找到与 Landsat8/ETM+影像获取时间前后相邻 2 d 的两景分辨率为 1 km 的 MODIS 数据反演的 $TVDI_{MODIS1}$ 与 $TVDI_{MODIS2}$ 数据,然后取二者的平均值 $\overline{TVDI_{MODIS1\ km}}$,并利用双线性内插法将其重采样为 30 m 分辨率的 $\overline{TVDI_{MODIS30\ m}}$ 。

(2)先把 Landsat8/ETM+影像同一天邻近时间内 MODIS 数据反演的 1 km 分辨率的 $TVDI$ 图像数据利用双线性内插法重采样为 30 m。

(3)将 Landsat8/ETM+数据反演的分辨率为 30 m 的 $TVDI$ 与其前后邻近 2 d 的 2 景不同 MODIS 数据反演的分辨率为 1 km 的 $TVDI$ 图像数据平均值进行数据融合,建立两者的函数关系式,便可得到与其时间相对应的空间分辨率为 30 m 的系数图像。

(4)将该时段内重采样 30 m 的 MODIS 数据反演的其他 $TVDI$ 乘以该系数图像,便可以获得由 MODIS 数据反演的 30 m 分辨率 $TVDI$ 数据,公式如下:

$$TVDI = \frac{TVDI_{Landsat30\ m}}{TVDI_{MODIS30\ m}} \times TVDI_{MODIS30\ m} \quad (3)$$

式中, $TVDI_{Landsat30\ m}$ 为由 Landsat8/ETM+数据反演的 30 m 分辨率 $TVDI$, $\overline{TVDI_{MODIS30\ m}}$ 为与 Landsat8/ETM+影像获取时间邻近的两景 MODIS 数据反演分辨率为 1 km 的 $TVDI_{MODIS1}$ 与 $TVDI_{MODIS2}$ 数据的平均值,经过重采样生成分辨率 30 m 的 $TVDI$, $TVDI_{MODIS30\ m}$ 为 Landsat8/ETM+影像所代表时间内 MODIS 数据反演的重采样为 30 m 分辨率 $TVDI$ 图像数据。

根据上述多尺度遥感模型的空间分辨率转换流程,便可以将 Landsat 影像数据所代表时段内 MODIS 数据产品反演的 $TVDI$ 图像数据空间分辨率从 1 km 提高到 30 m。

1.2.3 TVDI 的时间序列推演 在前人研究的基础上,利用不同时空分辨率的 MODIS 产品数据及其对应时间内可利用的 Landsat8/ETM+数据构建多尺度模型,经过时空尺度推演方法获取 2016 年 4-10 月 30 m 分辨率的 $TVDI$ 月合成数据,并对其在旱情监测方面的应用进行分析。下面以获取 2016 年 4 月份的 $TVDI$ 月合成数据为例:

(1)为了降低某一期系数图像存在偶然误差的影响,现将由前面多尺度模型推演的 4 期 30 m 分辨率的系数图像进行平均值计算,得到 30 m 分辨率的

平均系数图像。

(2)通过 matlab 编程将 2 个时相 8 d 合成分辨率为 1 km 的地表温度数据 MOD11A2 合成为 1 个时相 16 d 合成分辨率为 1 km 的地表温度数据,并与 16 d 合成分辨率为 1 km 的植被指数数据 MOD13A2 构建 LST-EVI 空间,计算获得 16 d 合成分辨率为 1 km 的 $TVDI$ 数据并重采样成空间分辨率为 30 m 的 $TVDI$ 数据。

(3)将上述获得的 2 组数据进行乘法运算,便可获取 30 m 分辨率的 16 d 合成的 $TVDI$ 数据,matlab 编程将 2 个时相 16 d 合成的 $TVDI$ 数据合成为 1 个时相 32 d 合成的 $TVDI$ 数据,便获得了 4 月份的 $TVDI$ 月合成数据。

(4)同理,对于 2016 年其他月份的 $TVDI$ 月合成数据可用上述方法获得,并参照干旱等级划分标准将研究区 $TVDI$ 划分为 5 个等级:0~0.20(湿润)、0.21~0.40(正常)、0.41~0.60(轻度干旱)、0.61~0.80(中度干旱)、0.81~1.00(重度干旱)^[14]。

2 结果与分析

2.1 TVDI 验证与分析

以 2016 年 4 期 Landsat8/ETM+数据为例, $TVDI$ 模型在不同时期、各深度的相关系数以及相对误差分析见表 1,趋势图见图 4。

表 1 TVDI 法拟合值与实测值的相对误差分析

Table 1 Relative error analysis between fitting values and measured values of TVDI method

土层深度	平均相对误差 (%)			
	4 月	6 月	8 月	9 月
0~10.0 cm	8.97	15.98	10.46	10.85
0~20.0 cm	9.89	16.54	11.02	13.06
0~30.0 cm	10.26	17.32	12.27	13.22
10.1~20.0 cm	10.95	18.03	10.92	15.94
20.1~30.0 cm	13.34	18.97	12.93	14.23
各层平均	10.68	17.37	11.52	13.46

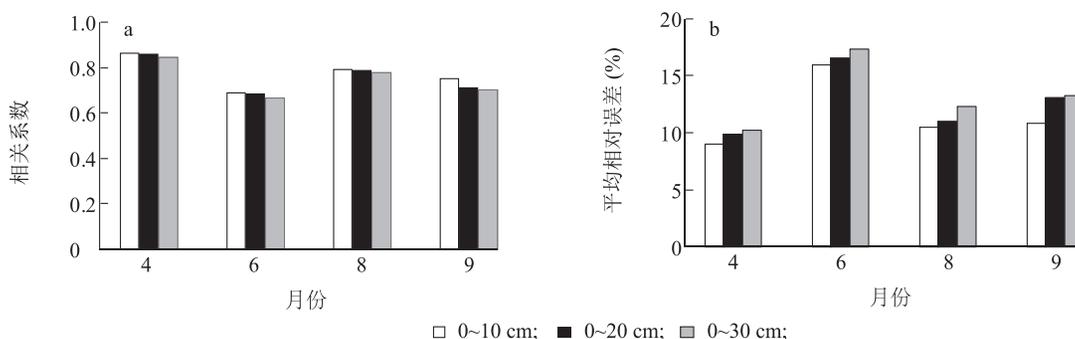
通过观察并分析表 1 与图 4 能够得到:

(1)筛选出的最优模型中,不同时期的每个土层深度(0~10 cm、0~20 cm、0~30 cm)的相关系数均大于 0.654,相关性较好。其中,6 月份的各土层深度的相关系数为 0.650 左右,平均相对误差为

17.37%,而其他3期数据相关系数均大于0.70、平均相对误差分别为10.68%、11.52%、13.46%,可以看出6月份的各土层深度的相关系数仍比其他月份低,平均相对误差相对较大。

(2)各月份的相关系数随着土层深度的增加而呈现出整体降低趋势,而平均相对误差随着土层深

度的增加而整体呈现出上升趋势,但各土层间变化较缓。同时,考虑到遥感卫星探测深度,野外实际土层采样以及土壤水分特征和沙丘植被土壤水分利用特点^[15-16]等因素,确定0~30 cm土层深度作为该区域最佳遥感监测深度。



a:相关系数;b:相对误差。

图4 TVDI最优模型各深度相关系数及相对误差的变化分析

Fig.4 Analysis of correlation coefficient and relative error of TVDI method optimal model at different depths

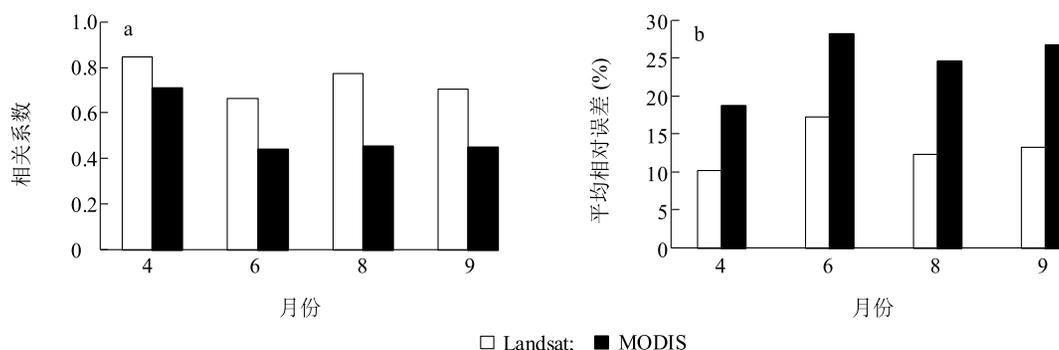
(3)4月份、8月份、9月份各土层深度的相关系数均大于0.709,属于高度相关。然而各月份之间整体相关性无太大变化,这说明TVDI在本研究区内可以适合不同时期植被覆盖度的土壤表层含水率监测。

2.2 Landsat8/ETM+与MODIS结果的比较

为了更进一步比较Landsat8/ETM+与MODIS数据监测0~30 cm土层含水率的差异,分别对二者监测0~30 cm土层含水率精度进行定量比较。

由图5可以看出,不同时间的Landsat8/ETM+

数据监测0~30 cm土层含水率相关系数为0.6~0.9,并且平均相对误差小于MODIS数据,这说明Landsat8/ETM+数据监测0~30 cm土层含水率精度高于MODIS数据的监测精度。Landsat8/ETM+数据空间分辨率较高,土壤含水率平均相对误差较小,整体分布也更接近于研究区实际情况;而MODIS数据空间分辨率较低,受混合像元影响较大,导致土壤含水率平均相对误差较大,整体分布与研究区实际情况大致相似,部分区域会存在较大偏差。



a. 相关系数;b:相对误差。

图5 遥感监测0~30 cm土层含水率相关系数与平均相对误差变化比较

Fig.5 Correlation coefficient and average relative error change comparison of soil moisture content in depth of 0-30 cm monitored by remote sensing

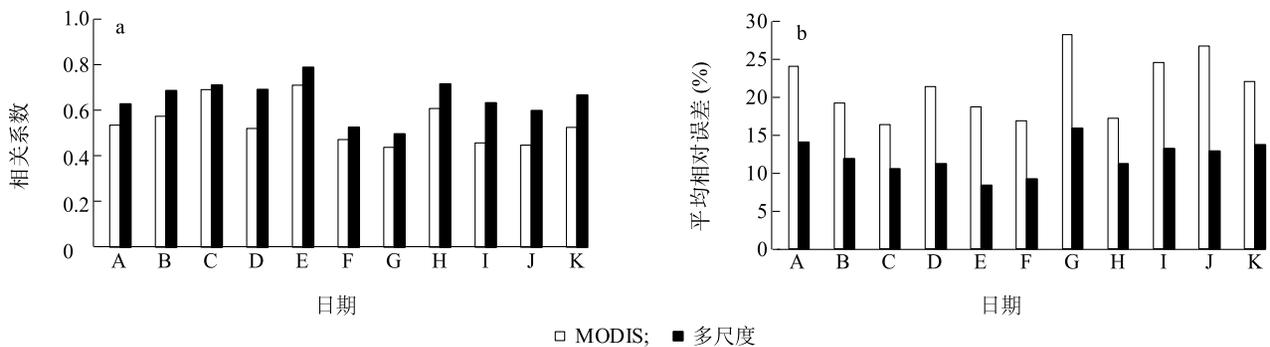
整体来看,除个别低洼部分受8月份降雨影响干旱状况变化较大外,MODIS和Landsat8/ETM+数据反演的TVDI监测研究区内0~30 cm土层含水率的结果可以较好地反映研究区干旱状况,与实测土壤含水率对比分析,其平均相对误差分别为13%与24%左右。TVDI监测0~30 cm土层含水率精度较高,该模型在本研究区域内具有较好的适应性与稳定性。

2.3 多尺度模型验证与分析

分析图6可知,空间尺度转换后的30 m分辨率的TVDI与对应时相0~30 cm土层的野外实测含水率线性回归分析得到的相关系数分别为0.627、0.684、0.710、0.693、0.789、0.526、0.495、0.715、0.632、0.597、0.665,单一MODIS反演的TVDI与对应时相0~30 cm土层的野外实测含水率线性回归分析得到的相关系数分别为0.535、0.573、0.690、0.518、0.710、0.473、0.438、0.607、0.454、0.447、0.526,空间尺度转换后的 $TVDI_{1\text{ km}}$ 与野外实测含水率相关性优于单一MODIS反演的TVDI。TVDI模型监测0~30 cm土层含水率的相对误差分别为14.02%、11.94%、10.51%、11.23%、8.34%、9.24%、15.86%、11.22%、13.28%、12.91%、13.63%,平均相对误差为12.02%,单一MODIS反演的TVDI监测

0~30 cm土层含水率的相对误差分别为24.02%、19.26%、16.45%、21.36%、18.69%、16.83%、28.23%、17.26%、24.58%、26.74%、22.01%,平均相对误差为21.40%。由此可知,空间尺度转换后的30 m分辨率的TVDI监测0~30 cm土层含水率精度高于单一MODIS反演的1 km分辨率TVDI。

单一MODIS反演的1 km分辨率TVDI监测研究区域中0~30 cm土层含水率误差极大值一般大部分集中于土地利用/覆盖类型复杂,反差较大的边界以及过渡区域,这些区域在单一MODIS反演的1 km分辨率TVDI中被忽略或者被夸大,混合像元产生的空间尺度效应极为明显,最终导致遥感技术在监测区域土壤含水率的精度有所降低。而本研究使用的多尺度遥感模型结合Landsat8/ETM+反演的30 m空间分辨率 $TVDI_{\text{Landsat}}$ 对MODIS反演的1 km空间分辨率 $TVDI_{\text{MODIS}}$ 进行空间尺度推演,将两者优势有效结合在一起,使得MODIS反演的TVDI空间分辨率得到提高,尺度效应有所改善。同时,多尺度模型使得MODIS数据在监测0~30 cm土层含水率精度有所提高。今后通过利用MODIS多时相及Landsat较高分辨率优势结合时空尺度推演模型,实现高频率的区域土壤干旱状况动态监测。



a.相关系数;b.相对误差。A:2014年5月;B:2014年9月;C:2015年4月;D:2015年9月;E:2016年4月;F:2016年5月;G:2016年6月;H:2016年7月;I:2016年8月;J:2016年9月;K:2016年10月。

图6 多源数据与MODIS监测0~30 cm土层含水率对比图

Fig.6 Comparison chart of soil moisture content in depth of 0-30 cm monitored by multi-source data and MODIS

2.4 TVDI的时间序列推演

研究区范围较大且气象站点少,获取时间连续的土壤含水率数据比较困难,这给研究区的TVDI月合成数据验证带来了不便。利用不同时空分辨率的MODIS产品数据及与其对应时间内可利用的

Landsat8/ETM+数据构建多尺度模型,经过时空尺度推演方法获取2016年4-10月的TVDI月合成数据,参照干旱等级划分标准将研究区TVDI划分为5个等级,并对其在旱情监测方面的应用进行分析。利用ENVI与Arcgis软件对2016年4-10月TVDI月

合成数据进行统计、整理,便可以获得各旱情等级统计状况(表2)。

分析表2可知,内蒙古乌审旗在4、5月份相对于其他时间段干旱状况较为严重,此时该区域农牧作物处于刚刚种植或生长初期,作物对土壤水分的需求较强但降水稀少而导致土壤含水率较低,监测旱情状况与实际状况相符。6月份干旱面积逐渐扩大,而研究区的农牧作物处于生长拔节期,对水分需求更为强烈,并且此时蒸散量随着气温的增加亦有所增加,使土壤水分更为匮乏,导致干旱状况更加恶

化。7、8月份为北方地区降雨旺季,长时间的强降水使得土壤水分急剧增加,干旱面积迅速减少,土壤湿润和正常面积达到最高值。9、10月份降水量减少,并伴随着水热状况以及农作物、天然植被的生理变化,土壤含水率逐渐减少,研究区干旱面积又逐渐增加。这说明多源遥感数据结合时空推演方法反演TVDI监测乌审旗旱情时空分布状况与实际极为相符,此方法对于进一步服务该区域农牧业生产具有重要意义。

表2 乌审旗2016年4-10月干旱土地面积(hm²)

Table 2 Drought land area of Wushen County from April to October in 2016

时间	旱情等级					异常值
	0~0.20	0.21~0.40	0.41~0.60	0.61~0.80	0.81~1.00	
2016年4月	16 406.55	72 535.59	282 954.51	753 100.11	28 082.79	468.00
2016年5月	17 013.42	62 942.67	380 621.07	648 708.93	43 317.81	943.65
2016年6月	17 132.04	27 479.43	305 024.22	758 537.55	44 746.83	627.48
2016年7月	18 264.06	258 944.85	599 636.97	263 577.33	12 911.13	213.21
2016年8月	18 141.48	405 840.51	557 100.63	143 248.41	19 705.05	736.47
2016年9月	20 716.83	70 515.99	398 307.33	635 714.46	27 712.62	580.32
2016年10月	19 879.74	42 284.70	324 677.34	719 810.91	46 262.52	632.34

3 讨论

本研究以Landsat8/ETM+与MODIS遥感数据作为数据源,利用TVDI模型对乌审旗进行土壤含水率遥感监测。通过时空尺度推绎方法将Landsat8/ETM+反演的30 m空间分辨率 $TVDI_{Landsat}$ 对MODIS反演的1 km空间分辨率 $TVDI_{MODIS}$ 进行空间尺度推演,使得MODIS反演的TVDI空间分辨率得到提高,并与单独利用MODIS数据的监测含水率结果以及野外含水率实测数据进行对比分析,最终验证时空尺度推绎方法构建多尺度遥感模型的性能。得出如下结论:

(1)相关系数随着土层深度的增加而呈现出整体降低趋势,而平均相对误差随着土层深度的增加而整体呈现出上升趋势,但各土层间变化较缓。同时,考虑到遥感卫星探测深度,野外实际土层采样以及土壤水分特征和沙丘植被土壤水分利用特点等因素,确定0~30 cm土层深度作为最佳遥感监测深度。

(2)Landsat8/ETM+反演的30 m空间分辨率 $TVDI_{Landsat}$ 结合多尺度遥感模型对MODIS反演的1 km空间分辨率 $TVDI_{MODIS}$ 进行空间尺度推演,将两者高分辨率、多时相等优势有效结合在一起,使得MODIS反演的TVDI空间分辨率提高,尺度效应得到改善,土壤含水率监测精度有所提高,进而获得由MODIS数据反演的高时间、空间分辨率TVDI数据,最终实现高频率的区域土壤干旱状况动态监测;

(3)采用多源遥感数据结合时空推演方法获得的2016年4-10月的TVDI月合成数据监测乌审旗旱情时空分布状况与研究区实际状况极为相符,此方法对于进一步服务该区域农牧业生产具有重要意义。

本研究采用多尺度数据结合时空尺度推演方法合成TVDI数据,在一定程度上降低了低分辨率MODIS数据在地表状况复杂条件下的尺度效应问题,提高了TVDI监测区域相对含水率精度。问题在于多尺度模型监测区域干旱状况时对MODIS数据与Landsat数据质量和时间方面要求较高,而较大

研究区域内可利用的 Landsat 数据依然较少,这就给多尺度遥感模型应用带来了极大困难。在今后工作中,应重点探索更多的可方便获取的高分辨率遥感数据来补偿 Landsat 数据的缺少。

参考文献:

- [1] 蔡达鹏,徐涵秋.利用植被覆盖度—地表温度特征空间提取厦门市土壤湿度信息[J].遥感技术与应用,2008,23(3):278-283.
- [2] JACKSON T, MANSFIELD K, SAAFI M, et al. Measuring soil temperature and moisture using wireless MEMS Sensors[J]. Measurement, 2007, 41(4):381-390.
- [3] PATEL N R, ANAPASHSHA R, KUMAR S, et al. Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TV-DI) to infer soil moisture status[J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(1):23-39.
- [4] 郑有飞,刘茜,王云龙,等.能量指数法在黑龙江干旱监测中的适用性研究[J].土壤,2012,44(1):149-157.
- [5] 莫伟华,王振会,孙涵,等.基于植被供水指数的农田遥感监测研究[J].南京气象学院学报,2006,29(3):396-401.
- [6] 杨树聪,沈彦俊,郭英,等.基于表观热惯量的土壤水分监测[J].中国生态农业学报,2011,19(5):1157-1161.
- [7] 武彬,张清,李希灿,等.VIIRS-TVDI法反演干旱区农田土壤湿度[J].干旱区地理,2016,39(4):861-867.
- [8] 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.
- [9] 王秀君,陈健.基于LST-EVI特征空间的土壤水分含量反演[J].遥感技术与应用,2014,29(1):46-53.
- [10] MALLICK K, BHATTACHARYA B K, PATEL N K. Estimating volumetric-surface moisture content for cropped soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(8):1327-1342.
- [11] RAHIMZADEH-BAJGIRAN P, BERG A A, CHAMPAGNE C, et al. Estimation of soil moisture using optical/thermal infrared remote sensing in the Canadian Prairies[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013, 83(3):94-103.
- [12] 王秀君,陈健.基于LST-EVI特征空间的土壤水分含量反演[J].遥感技术与应用,2014,29(1):46-53.
- [13] 韩刚,李瑞平,岳胜如,等.基于地表温度—植被指数特征空间的荒漠化草原表层土壤含水量反演[J].四川农业大学学报,2015,33(4):385-391.
- [14] HUETE A, DIDAN K, MIURA T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices[J]. Remote Sensing of Environment, 2002(83):195-213.
- [15] 张军红.毛乌素沙地油蒿群落土壤水分分布与动态[D].北京:中国林业科学研究院,2013.
- [16] 王翔宇,张进虎,丁国栋,等.沙地土壤水分特征及水分时空动态分析[J].水土保持学报,2008,22(6):222-227.

(责任编辑:陈海霞)