

# 基于 MODIS 的郑州市土壤水分反演

高攀<sup>1,2</sup>, 王纪军<sup>2</sup>, 宋轩<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 河南郑州 450003; 2. 郑州大学水利与环境学院, 河南郑州 450000)

**摘要** 为了较好地研究郑州市土壤水分的空间分布及动态变化特征, 分别在高植被覆盖度期采用温度植被干旱指数模型, 在低植被覆盖度期采用表观热惯量模型反演郑州市土壤水分, 结果表明, 郑州市土壤水分的空间分布, 北部区域高于南部, 西部高于东部, 海拔高的山地高于平地, 山区的垂直变化明显; 使用此种方法获取的地表土壤水分信息可以表征地表土壤水分的空间分布趋势。

**关键词** 遥感; MODIS 数据; 温度植被干旱指数; 热惯量; 土壤水分反演

中图分类号 S152.7 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)05-0006-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.05.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Soil Moisture Retrieval in Zhengzhou City Based on MODIS

GAO Pan<sup>1,2</sup>, WANG Ji-jun<sup>2</sup>, SONG Xuan<sup>1,2</sup> (1. CMA/Henan Key Laboratory of Agro-meteorological Safeguard and Applied Technique, Zhengzhou, Henan 450003; 2. School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450000)

**Abstract** In order to study the spatial distribution and dynamic change characteristics of soil moisture in Zhengzhou, the models of temperature and vegetation drought index were adopted in the period of high vegetation coverage, and the apparent thermal inertia model was used to retrieve the soil moisture of Zhengzhou City in the period of low vegetation coverage. The results showed that the spatial distribution of soil moisture in Zhengzhou City was higher than the south in the northern part and higher than the east in the west part. The elevation in the mountainous area was higher than that in the plain. The vertical variation of the mountainous area was obvious. The surface soil moisture information can be used to characterize the spatial distribution of surface soil moisture distribution.

**Key words** Remote sensing; MODIS data; Vegetation drought index; Thermal inertia; Soil moisture retrieval

土壤水分是气候、植被、地形及土壤因素等自然条件的综合反映, 直接影响地表的热量和水量平衡, 受到水文、气象和生态环境等多个学科的关注<sup>[1]</sup>。土壤水分的遥感监测在 20 世纪 60 年代末主要利用其与光谱反射率的关系以及微波土壤水分反演土壤水分。70 年代以后, 开始利用地面、航空等平台以及可见光等多波段相结合进行土壤水分的遥感反演。80 年代以后, 土壤水分的遥感监测产生了热惯量模式、土壤水分光谱法、基于温度和植被指数等的干旱指数模型法等方法。吴盼等<sup>[2]</sup>基于 MODIS 数据, 计算出青藏高原全年温度植被干旱指数 TVDI, 并分析了 TVDI 与土壤含水量的相关性。陈涛等<sup>[3]</sup>基于 MODIS 数据与同时相的土壤水分观测资料, 创建了那曲东部土壤水分遥感监测模型。袁志杰<sup>[4]</sup>以山西省晋中市为例, 基于 MODIS 等多源数据, 运用温度植被指数模型(TVDI)和表观热惯量模型(ATI)2 种方法互补反演出晋中每月土壤水分。

郑州市作为河南省省会, 面积广阔, 而土壤水分观测站点稀少, 全区目前有观测数据的土壤水分站点 16 个, 因此常规观测手段很难全面了解土壤水分以及旱情分布情况, 通过遥感手段开展相关观测是目前较为有效的解决方法。开展遥感土壤水分监测, 关键是要选择合适的反演模型, 提高反演精度。因此, 笔者基于 MODIS 数据, 在植被覆盖度较高的时期, 采用植被干旱指数法来反演土壤水分, 在植被覆盖度较低的时期, 采用表观热惯量法进行郑州市土壤水分反演,

保证土壤水分遥感监测的连续性, 旨在为研究郑州市土壤水分的空间分布提供理论依据和数据支持。

## 1 研究区概况与数据来源

**1.1 研究区概况** 郑州市位于河南省中部, 地理位置界于 112°42'~114°13'E、34°16'~34°58'N, 总面积 7 446 km<sup>2</sup> (图 1)。属于暖温带大陆性季风气候。郑州总的地势为西南高、东北低, 呈阶梯状下降。主要土壤类型有褐土、潮褐土、棕壤土、红黏土和潮土等。

**1.2 遥感数据来源** 使用的 MODIS 数据来源于美国 USGS 站点 16 d 合成的 1 km 分辨率的 MOD13A2 数据和 8 d 合成的 1 km 分辨率的 MOD11A2 数据。由于 USGS 2016 年 1、7、8、10 月数据异常, 研究使用 2016 年 2、3、4、5、6、9、11、12 共 8 个时期的影像。

## 2 基于温度植被干旱指数模型的土壤水分反演

**2.1 温度植被干旱指数** 温度植被干旱指数(temperature-vegetation dryness index, TVDI)是基于地表温度( $T_s$ )和归一化植被指数(NDVI)用于土壤水分监测的表征相对干旱程度的指数, 该指数由 Sandholt 等<sup>[5]</sup>提出。TVDI 越大, 土壤水分越低, TVDI 越小, 土壤水分越高<sup>[6]</sup>。TVDI 计算公式:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{T_{smax} - T_{smin}} \quad (1)$$

式中,  $T_{smin}$  表示最小地表温度, 对应的是湿边;  $T_s$  是任意像元的地表温度;  $T_{smax} = a + bNDVI$  为某一 NDVI 对应的最高温度, 即干边,  $a$ 、 $b$  是干边拟合方程的系数。

## 2.2 关键参数的获取

**2.2.1 植被指数.** 植被指数表征绿色植被覆盖度, 最常用的是归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI), 其计算公式:

**基金项目** 中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室开放研究基金项目(AMF201610)。

**作者简介** 高攀(1990—), 女, 河南南阳人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤墒情。\* 通信作者, 副教授, 博士, 博士生导师, 从事农业基础科学研究。

**收稿日期** 2018-06-24; **修回日期** 2018-06-29

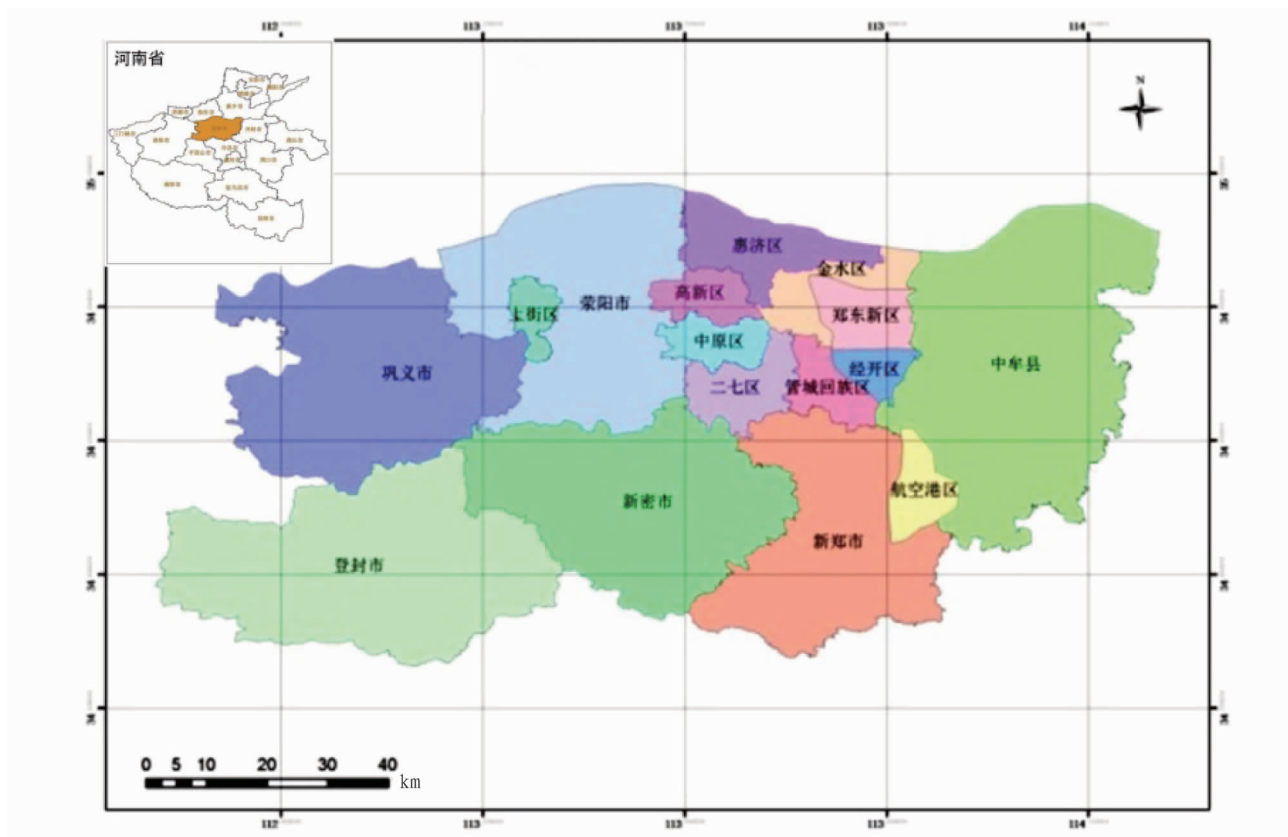


图 1 郑州市地理位置

Fig. 1 Geographical location of Zhengzhou City

$$NDVI = \frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1} \quad (2)$$

其中,NDVI 为归一化植被指数;CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub> 分别为 MODIS 的红光和近红外波段的反射率。

**2.2.2 地表温度。**地表温度是用来反映地表物理过程中的关键指标,由于遥感反演无法得到精确的地表温度,一般情况下,使用反演的冠层温度近似地代替地表温度。该研究采用针对 MODIS 探测仪特性而设计的白天/夜间 MODIS 地表温度获取方法<sup>[7]</sup>,即:

$$T_s = 1.034 6T_{31} + 2.577 9(T_{31} - T_{32}) \quad (3)$$

式中, $T_s$  为冠层温度; $T_{31}$ 、 $T_{32}$  分别为 MODIS 的 31、32 波段的亮温。

**2.2.3 地表温度与植被指数的关系。**植被指数能够反映绿色植被的覆盖度状况,地表温度能够反映土壤的水分信息,将二者的信息进行结合,能够为一定区域内的土壤水分监测提供依据。研究表明,地表温度( $T_s$ )和植被指数(NDVI)之间存在密切的负相关关系<sup>[8]</sup>。提取郑州市区域内相同 NDVI 下的所有不同像元对应的所有地表温度中的最大和最小温度,获得 2016 年 4、5、9、11、12 月的地表温度与植被指数的关系,即  $T_s$ /NDVI 的特征空间。

**2.2.4 干湿边的确定。**利用  $T_s$ /NDVI 特征空间关系中相应的最大和最小陆地表面温度,通过回归拟合分别得到 2016 年 4、5、9、11、12 月 5 个月的干湿边方程(表 1)。

**2.2.5 郑州市温度植被干旱指数分布。**根据式(3),分别得

到 5 个时期郑州市的 TVDI 分布,并以温度植被干旱指数(TVDI)值对土壤水分含量进行分级(图 2)。

表 1  $T_s$ -NDVI 特征空间的干边和湿边方程Table 1 Dry and wet edge equations of  $T_s$ -NDVI feature space

时间 Time	干边 Dry edge	湿边 Wet edge
2016-04	$y = -9.904 13x + 306.941$	$y = -3.831 39x + 293.133$
2016-05	$y = -6.033 40x + 305.198$	$y = -3.568 40x + 293.812$
2016-09	$y = -2.438 82x + 309.055$	$y = -6.354 68x + 303.372$
2016-11	$y = -3.759 31x + 292.207$	$y = 3.908 21x + 285.331$
2016-12	$y = -2.804 04x + 289.695$	$y = -0.091 18x + 284.640$

### 3 基于热质量模型的土壤水分反演

**3.1 土壤热惯量** 土壤热惯量反映了土壤的热特性,与土壤水分关系密切。同一类型的土壤土壤水分越高,热惯量越大,二者之间存在明显的正相关关系<sup>[9]</sup>。由于真实的热惯量不易获得,通常用能反映真实热惯量相对大小的表观热惯量(ATI)来表征。根据作物生长规律可知,2、3、6 月植被覆盖度较低,此时期采用热惯量模型反演土壤水分较为适合。该研究采用 Cosh 等<sup>[10]</sup>的方法计算表观热惯量,即

$$ATI = C \frac{1 - \alpha_0}{\Delta LST_0} \quad (4)$$

式中,ATI 为表观热惯量; $C$  为太阳辐射校正系数; $\alpha_0$  为宽波段反照率; $\Delta LST_0$  为午间地表温度与午夜地表温度的温差, K。其中, $C$  的计算公式:

$$C = \sin\theta\cos\varphi(1 - \tan^2\theta\tan\varphi^2) + \cos\theta\cos\varphi\cos^{-1}(-\tan\theta\tan\varphi) \quad (5)$$

式中, $\theta$ 为地理纬度; $\varphi$ 为太阳赤纬。

**3.2 关键参数的获取** 宽波段反照率 $\alpha_0$ 采用Liang<sup>[11]</sup>的方法,计算公式:

$$\alpha_0 = 0.16\alpha_1 + 0.291\alpha_2 + 0.243\alpha_3 + 0.116\alpha_4 + 0.112\alpha_5 + 0.081\alpha_7 - 0.0015 \quad (6)$$

式中, $\alpha_i(i = 1, 2, 3, 4, 5, 7)$ 为MODIS各波段的反射率。

日间地表温度与午夜地表温度的温差 $\Delta LST_0$ 的计算公式:

$$\Delta LST_0 = \Delta LST_{0,d} - \Delta LST_{0,n} \quad (7)$$

式中, $\Delta LST_{0,d}$ 为日间地表温度, $\Delta LST_{0,n}$ 为午夜地表温度, $K_0$ 。

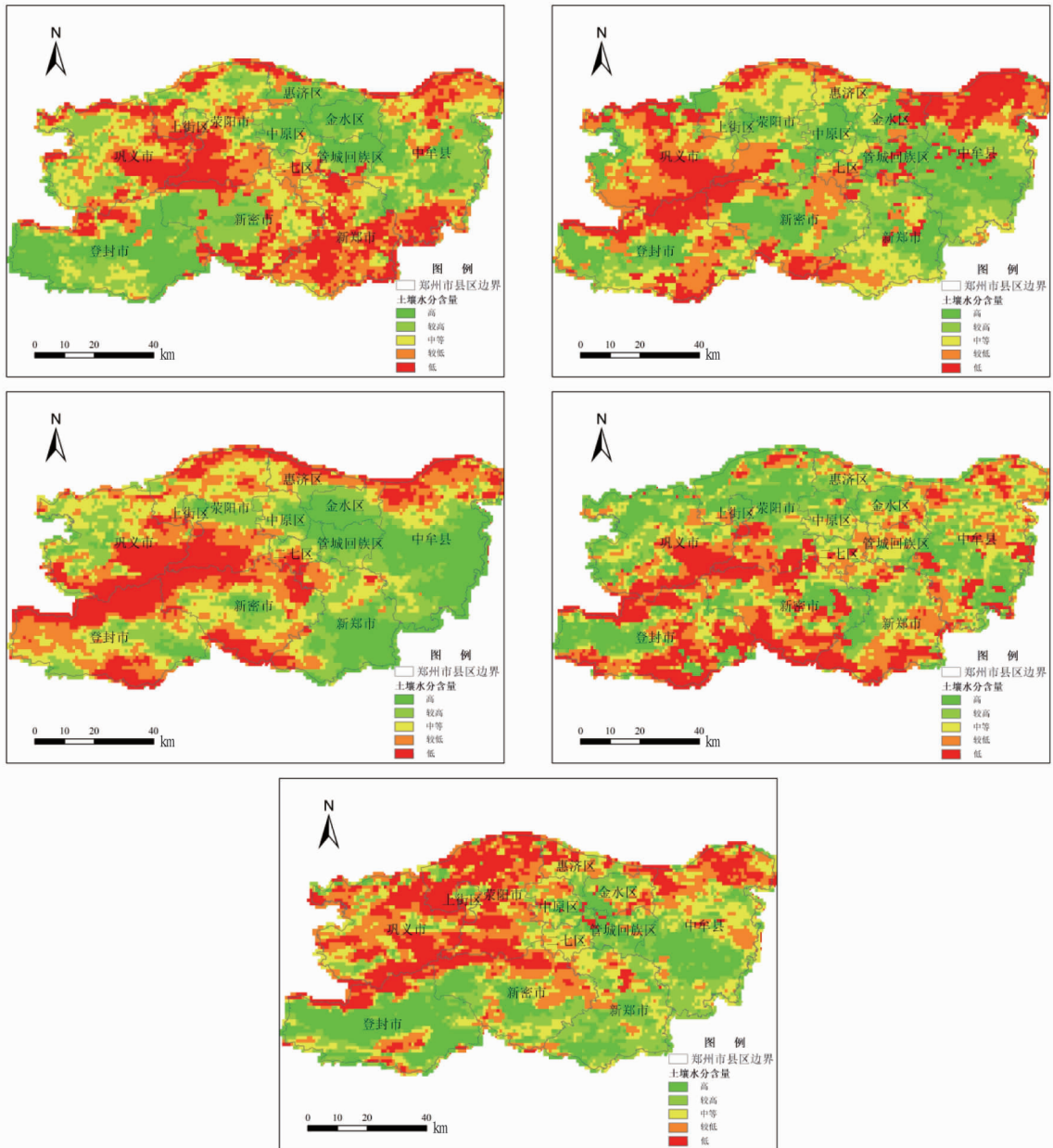


图2 2016年4、5、9、11、12月郑州市TVDI分布

Fig. 2 Distribution of TVDI in Zhengzhou in April, May, September, November and December of 2016

**3.3 郑州市表观热惯量分布** 基于式(5)、(6)和(7),反演得到了郑州市2016年2、3和6月3个月的表观热惯量ATI分布,并以ATI值对土壤水分含量进行分级,结果见图3。

#### 4 结论

该研究利用MODIS影像反演2016年8个月郑州市地表土壤水分,结果表明,根据遥感获取的信息分析郑州市土壤水分的空间分布与气象资料、年降水量分布规律和年平均相

对水分分布规律相吻合,可以用来分析郑州市土壤水分的空间分布。在作物生长的不同时期,选择使用植被干旱指数法和热惯量法来反演土壤水分,可以保证土壤水分连续的不间断的有效监测。MODIS数据的空间分辨率为1 000 m,遥感反演图像较为精细,能够满足地市级一般业务服务需求,且具有高时间分辨率和高光谱分辨率的优势,可以进一步加入实测数据对反演结果进行订正之后,只需要在晴空条件下,

获取一景白日过境的 MODIS 卫星数据,即可实现对地表土

壤水分的快速判别,方便土壤水分遥感监测业务化运行。

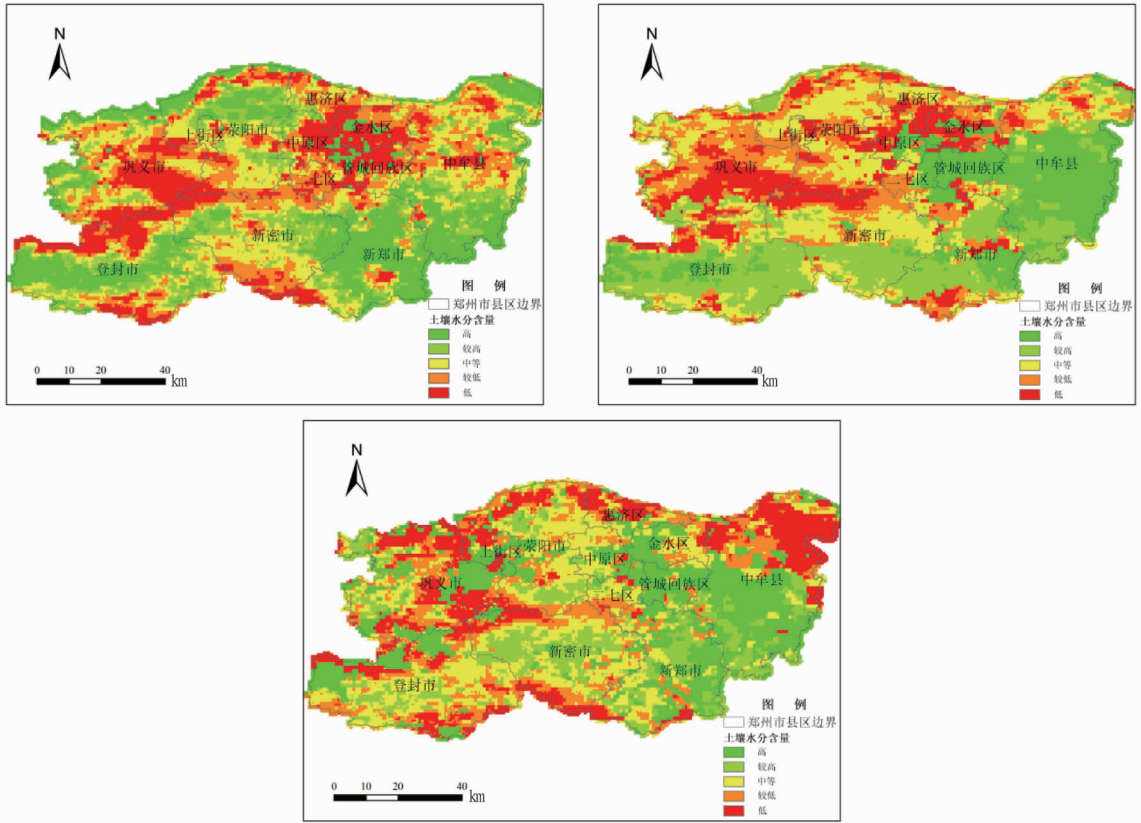


图3 2016年2、3和6月郑州市ATI分布

Fig. 3 ATI distribution in zhengzhou in February, March and June of 2016

### 参考文献

- [1] 张克新,刘普幸,霍华丽,等. 河西走廊敦煌绿洲天然胡杨林土壤水分空间变化特征研究[J]. 水土保持研究,2010,17(5):109-113.
- [2] 吴盼,冯雨晴,梁四海,等. 基于 GLDAS 与 TVDI 降尺度反演土壤含水量[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2016,52(3):265-270.
- [3] 陈涛,卓嘎,拉巴. 那曲东部土壤水分 MODIS 遥感反演研究[J]. 土壤通报,2017,48(2):298-303.
- [4] 袁志杰. 基于 ATI 模型和 TVDI 模型的晋中土壤水分遥感反演研究[D]. 太谷:山西农业大学,2015.
- [5] 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(2/3):213-224.
- [6] 田苗,王鹏新,孙威. 基于地表温度与植被指数特征空间反演地表参数的研究进展[J]. 地球科学进展,2010,25(7):698-705.
- [7] WAN Z M, LI Z L. A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1997,35(4):980-996.
- [8] NEMANI R 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.
- [9] 裴浩,范一大,乌日娜. 利用气象卫星遥感监测土壤含水量[J]. 干旱区资源与环境,1999,13(1):73-76.
- [10] COSH M H, JACKSON T J, MORAN S, et al. Temporal persistence and stability of surface soil moisture in a semi-arid watershed[J]. Sensing of environment,2008,112:304-313.
- [11] LIANG S L. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms[J]. Remote sensing of environment,2000,76(2):213-238.