

# 利用地面遥感仪器对土壤水分的监测试验

王小平<sup>1</sup>, 张谋草<sup>2</sup>, 郭海英<sup>2</sup>, 王宁珍<sup>2</sup>, 黄斌<sup>2</sup>

(1. 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020;  
2. 甘肃省西峰农业气象试验站, 甘肃 庆阳 745000)

**摘要** 在陇东黄土高原对西峰农业气象试验站内的裸地、生长茂盛的小麦、玉米地、草地4类地物进行了CE312热红外辐射计及CE313可见光、近红外辐射计的同步观测和土壤水分的实测, 试验观测数据的初步分析结果表明, 热红外辐射计各通道的亮温变化与土壤水分的变化呈非线性相关, 由于影响各地物亮温的因素较为复杂, 主要表现为对裸地的监测效果较好, 在有植被覆盖的情况下关系不明显。此外通过比较各地物亮温与植被指数发现二者有较好相关性。实践证明, 利用地面遥感监测土壤水分从理论上是可行的, 可进一步通过亮温和植被指数来建立试验区的土壤水分监测模型。

**关键词** 土壤水分; 亮温; 植被指数; 干旱监测

中图分类号: TP79

文献标识码: A

## 引言

在干旱遥感监测中, 土壤水分监测一直是个难点。利用热红外波段对其监测是一个主要方向, 在这方面利用NOAA卫星、TM及MODIS卫星遥感资料监测的工作已经开展了很多<sup>[1-12]</sup>。随着定量遥感的发展, 地面遥感由于具备不受大气影响, 传感器的波段特点与卫星遥感的波段近似, 可根据需要选择观测时间的特点, 故卫星遥感监测干旱有必要结合地面遥感进行综合分析, 进一步提高其反演精度。本文从实际应用角度出发, 利用法国生产的CE312热红外和CE313可见光、近红外地物波谱仪进行了土壤水分监测的试验研究, 并结合传统土钻取土, 讨论了地面遥感与实测土壤水分的关系, 以期为提高卫星遥感监测土壤水分的精度提供基础试验依据。

## 1 试验区概况

2004年地面遥感试验区选在西峰农业气象试验站, 中心点位置为: 35°43.615'N、107°37.306'E, 面积250 m×250 m, 海拔为1400 m。西峰农业气象试验站位于陇东黄土高原的董志塬, 试验区内种

植了各种农作物, 如小麦、玉米、黄花菜等, 植被覆盖以农作物为主, 其物候期和下垫面体现了黄土高原地区的状况, 具典型代表性。区内地势平坦, 土质为黄绵土, 试验区周围20 m内无高大建筑物。试验时间为5月底至6月初, 该时段试验区刚好处于干旱期, 土壤水分蒸发变化较明显。

## 2 基本原理和工作方法

### 2.1 监测原理

高于绝对零度的物体, 一定存在分子热运动, 并向空间辐射能量。物体温度越高, 辐射能量就越大, 因为热红外辐射计测得的辐射能量主要就由地物温度和辐射所决定。水是一种单介质物体, 热特性接近极点, 所以它对土壤热辐射的影响极大。不管何种土壤, 其热辐射能量都随含水量的增加而下降<sup>[1-2]</sup>, 白天下垫面温度的空间分布能间接反映土壤水分的空间分布, 即水分含量少的土壤, 其下垫面温度较高, 反之温度较低, 热红外法就是利用这一原理, 用热红外通道资料反演地表温度, 然后再间接去监测旱情的。本次试验利用CE312热红外辐射计获取地物表面发射的红外辐射数据, 通过现

收稿日期: 2005-08-17; 改回日期: 2005-10-14

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项“中国干旱气象灾害监测预警方法研究”(2005DIB5J195); 兰州干旱气象研究所启动项目“利用地面遥感监测土壤水分的试验研究”共同资助

作者简介: 王小平(1975-), 女, 山西保德人, 硕士, 主要从事干旱气候和生态环境变化遥感监测研究. E-mail: wangxp@gisma.gov.cn

场黑体定标反演出地物亮度温度,通过 CE313 可见光、近红外辐射计各通道观测值计算了各类地物的反射率和植被指数。

## 2.2 仪器介绍

CE312 热红外辐射计和 CE313 可见光、近红外地物波谱仪都是由法国 CIMEL 电子公司生产的最新精密便携式地物波谱仪。CE313 有 5 个波段,分别位于 0.45  $\mu\text{m}$ 、0.55  $\mu\text{m}$ 、0.66  $\mu\text{m}$ 、0.85  $\mu\text{m}$  和 1.65  $\mu\text{m}$ ,可以用来测量地物的反射光谱特征。CE312 应用热红外波段测量地物的热辐射,可换算出测量目标的亮温及辐射率,具有很高的灵敏度。它配备了 8~14  $\mu\text{m}$  之间的 4 个光谱波段,分别是 8~14  $\mu\text{m}$ 、11.5~12.5  $\mu\text{m}$ 、10.5~11.5  $\mu\text{m}$ 、8.2~9.2  $\mu\text{m}$ 。这些波段和 MODIS 的第 29、31、32 及 FY、NOAA 卫星的热红外通道近似,可进一步将地面遥感与卫星遥感建立关系。

## 2.3 工作方法

本试验目的在于探讨热红外辐射和土壤水分之间的关系,寻求利用地面遥感辐射计监测土壤水分的新途径。在所选取的典型像元内,利用热红外辐射计 CE312 进行整点地面观测,同步进行土壤水分的测量,进行验证。

观测试验时间选在 2004 年 5 月 27 日至 6 月 2 日,为期一周。观测目标选择西峰农业气象试验站内的裸地、小麦地、玉米地和草地 4 类不同性质样地进行,其中小麦的生长发育期为开花—乳熟期,玉米的生长发育期为七叶期。测量前对每一块样地都灌水,观察不同土壤水分条件下热红外辐射的变化。土壤水分测定方法为传统的土钻法,根据中国气象局规范进行。每块样地的测量深度为 50 cm,间隔 10 cm,每次土钻取土做 3 个重复,并进行连续的日变化观测;同步用地面遥感辐射计进行观测。

## 3 初步试验及结果分析

对试验区所选 4 类样地进行土壤水分的测量和地面遥感仪器的同步观测,计算了地物各波段的高度温度、反射率及归一化植被指数等相关参数。将这些参数与实测土壤水分进行统计,取得一些初步结果。

### 3.1 不同地物辐射亮温与实测土壤水分的关系

由于在观测期间前半段为多云并有降水出现,资料可用性差,选择了 5 月 31 日和 6 月 1 日的资料

进行分析。辐射亮温的计算根据普朗克函数法进行,并利用美国生产的黑体 MIKRON M340 进行辐射定标。结果发现 CE312 不同通道反演的亮温值只有细微差别,故在统计时选择了 F1 通道的亮温,即 8~14  $\mu\text{m}$  波段的反演结果。统计结果发现,亮温与土壤水分之间的关系较为复杂,并非简单的线性关系,加之土壤水分的日变化受诸多因素的影响,其线性相关较差,二者的多项式拟合关系较好。总体看,裸地亮温与其相对湿度关系较明显,有植被覆盖的情况下亮温和土壤湿度的关系影响因素较为复杂,二者关系表现不明显。此外,玉米地和草地在 20~30 cm 处亮温和湿度表现出一定关系,其他层位无明显关系。部分结果见表 1。

表 1 土壤水分与亮温的变化趋势统计

Tab.1 The trend of the change on the soil moisture and the brightness temperature

下垫面	测量深度 (cm)	函数形式 [y 相对湿度(%) x 亮温(K)]	R <sup>2</sup> 值	样本数
裸地	0~5	$y = 0.0388x^2 - 23.119x + 3499.2$	0.3959	9
	10~20	$y = 0.0474x^2 - 28.386x + 4326.3$	0.5807	9
	20~30	$y = 0.0489x^2 - 29.138x + 4424.3$	0.2425	9
	30~40	$y = 0.0359x^2 - 21.695x + 3351.2$	0.4758	9
	40~50	$y = 0.0241x^2 - 14.589x + 2276.6$	0.4444	9
小麦地	0~5	$y = 0.0076x^2 - 4.6352x + 769.97$	0.0423	9
	10~20	$y = -0.0137x^2 + 8.1792x - 1141.2$	0.1019	9
	20~30	$y = 0.0352x^2 - 20.599x + 3076.9$	0.1481	9
	30~40	$y = 0.0184x^2 - 10.868x + 1666.5$	0.065	9
	40~50	$y = 0.0206x^2 - 11.942x + 1786.6$	0.143	9
玉米地	0~5	$y = -0.043x^2 + 25.157x - 3615.3$	0.0627	9
	10~20	$y = -0.014x^2 + 8.1786x - 1094.9$	0.1473	9
	20~30	$y = 0.0038x^2 - 2.5277x + 510.63$	0.5508	9
	30~40	$y = 0.0227x^2 - 13.395x + 2057.9$	0.1296	9
	40~50	$y = 0.0393x^2 - 23.186x + 3496.3$	0.2288	9
草地	0~5	$y = -0.0489x^2 + 28.169x - 3965.9$	0.3743	9
	10~20	$y = -0.0398x^2 + 23.29x - 3310.1$	0.1687	9
	20~30	$y = -0.1517x^2 + 89.308x - 13039$	0.5664	9
	30~40	$y = -0.0407x^2 + 23.9x - 3419.6$	0.1389	9
	40~50	$y = -0.0601x^2 + 35.433x - 5138.3$	0.2413	9

### 3.2 各类地物反射率变化与土壤水分的关系

反射率与土壤含水量,地表粗糙度和植被覆盖度有关,统计了 5 月 27 日、31 日、6 月 1~2 日 4 类观测地物的反射率和实际测量土壤水分的结果发现,裸地表层土壤水分与反射率有一定关系,但在植被覆盖情况下为植被下垫面的综合信息,二者之间

的相关性较差,其相关系数均  $< 0.5$ ,其反射率不能直接反映土壤水分。

### 3.3 各类地物的辐射亮温与地温、气温的关系

对各类地物的亮温和当天的气温及不同层位的地温进行统计的结果发现,所观测 4 类地物亮温的日变化趋势与 0 cm 地温的变化趋势相似。其中,裸地的亮温值与 0 cm 地温的变化很相似,但比 0 cm 地温稍偏低;另外 3 种有植被覆盖的地类所反演亮温值均  $< 0$  cm 地温,其反映的主要是植被冠层温度。从图 1 中可知,玉米地亮温较高,草地居中,而

小麦地最小。这与植被覆盖度有一定关系。其中小麦地的覆盖度最大,为 90%;草地居中,为 60%;玉米地植被较稀疏,其发育处于七叶期,覆盖度只有 30%,故亮温值不只是玉米的还有裸露地表的贡献。当天的气温日变化较为缓和,趋势和地温变化相关。20 cm 以下的深层地温变化基本上很小。从各类地物亮温值的变化来看,影响亮温变化的因素较多,可能主要是以下几个因素:当天气温;地表温度;土壤水分含量;植被指数;反射率等。

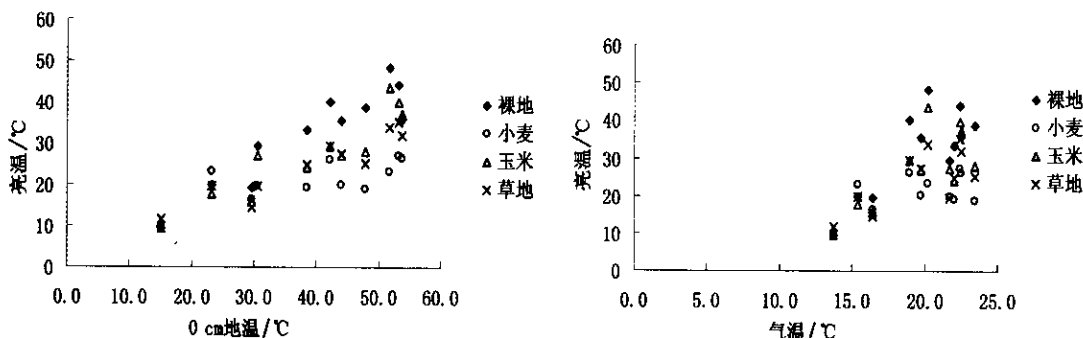


图 1 4 类地物的亮温值与气温、地温的关系

Fig. 1 The relation between the brightness temperature and the air, ground temperature

### 3.4 亮温、植被指数与土壤水分的关系

植被指数的计算采用归一化植被指数  $NDVI$ ,其定义是  $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ ;式中  $NIR$  和  $R$  是植被近红外和可见红外波段的光谱反射率,基本对应 CE313 中心谱宽为 850 nm 和 650 nm 两个通道。本文利用上式计算了所观测 4 类地物的归一化植被指数  $NDVI$ ,并利用 CE312 反演了试验地物的亮温。对植被指数和亮温及各层的土壤湿度进行了回归分析(表 2)。

表 2 土壤水分与植被指数、亮温的多元回归结果

Tab. 2 Multi-regression analysis among the soil moisture,  $NDVI$  and brightness temperature

深度(cm)	多元回归分析	相关系数
0~5	$Y_1 = 37.037 - 13.383X_1 - 0.0554X_2$	0.745
5~10	$Y_2 = 25.756 - 7.810X_1 - 0.0137X_2$	0.784
10~20	$Y_3 = 27.888 - 1.469X_1 - 0.0247X_2$	0.451
20~30	$Y_4 = 37.104 - 0.159X_1 - 0.0607X_2$	0.723
30~40	$Y_5 = 16.911 + 3.436X_1 - 0.0102X_2$	0.562
40~50	$Y_6 = 20.616 + 1.861X_1 - 0.0103X_2$	0.223

其中  $Y$  为土壤湿度,  $X_1$  为  $NDVI$ ,  $X_2$  为亮温。从式中可以发现,植被指数与土壤水分间存在负相关关系,亮温与土壤水分间存在负相关性,30 cm 以上 3 者的关系较好,深层相关性较差。此外,植被指数和亮温之间存在负相关性。

## 4 小 结

(1)此次试验研究取得的初步结果表明,应用地面遥感监测土壤水分的变化是可行的,地面遥感辐射计所测得的植被指数和亮温与土壤湿度间存在一定关系,均能反映土壤湿度信息,可将其应用于干旱监测。

(2)初步研究结果发现,热红外辐射计土壤水分监测对裸地的监测效果较好,对植被覆盖区亮温与湿度的关系影响因素较复杂,热红外辐射对其变化不够敏感,监测效果不理想。

(3)对各通道所反演辐射亮温值的分析表明:对于裸地主要和地表温度有关,对植被覆盖度不同的植被,包含 2 部分,主要是植被的冠层温度和部分地表的贡献;此外反演亮温值与植被指数具有较好的负相关性,植被指数与土壤含水量存在负相关,故

进一步可利用亮温和植被指数来建立试验区的土壤水分监测模型。

(4)本研究只是初步试验,由于试验时间及天气等原因影响,获取的数据有限,分析结果不是很理想,还有待以后进一步获取长时间序列资料进行分析。此外,在分析过程中存在诸多误差源,如土壤水分测量过程中的误差,运算过程中带来的误差,天气及地形影响带来的误差等等,本结果只是初步的,还有待进一步研究与提高。但本研究充分说明了在遥感实际应用过程中,地面遥感对提高遥感数据定量化的必要性。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Watson K , Rowen L C , Offield T W. Application of Thermal Modeling in the Geologic Interpretation of IR Images[ J ]. Remote Sens Environ , 1971 , 3 : 2017 - 2041.
- [ 2 ] Watson K , Pohn H A. Thermal Inertia Mapping from Satellites Discrimination of Geologic Units in Oman [ J ]. J Res Geol Surviv , 1974 , 2 ( 2 ) : 147 - 158.
- [ 3 ] 隋洪智,田国良,李建军,等.热惯量法监测土壤水分[ A ].田国良主编.黄河流域典型地区遥感动态研究[ M ].北京:科学出版社,1990.122 - 131.
- [ 4 ] 余涛,田国良.热惯量法在监测土壤表层水分中的研究[ J ].遥感学报,1997,1(1) 24 - 31.
- [ 5 ] 张仁华,实验遥感模型及地面基础[ M ].北京:科学出版社,1996.148 - 174.
- [ 6 ] 乔平林,张继贤,燕琴,等.利用 TM6 进行土壤水分的监测研究[ J ].测绘通报,2003,7:14 - 18
- [ 7 ] 王鹏新, WAN Zheng - ming, 龚健雅,等.基于植被指数和地表面温度的干旱监测模型[ J ].地球科学进展,2003,18(4):527 - 533.
- [ 8 ] 陆家驹,张和平.应用遥感技术连续监测地表土壤含水量[ J ].水科学进展,1997,8(3) 281 - 287.
- [ 9 ] 杨宝钢,丁裕国.考虑植被的热惯量法反演土壤湿度的一次试验[ J ].南京气象学院学报,2004,27(2) 218 - 223.
- [ 10 ] 肖乾广,陈维英,盛勇伟,等.用气象卫星监测土壤水分的试验研究[ J ].应用气象学报,1994,5(3) 312 - 318.
- [ 11 ] 郭锐,陈添宇,雷建勒,等.用 NOAA 卫星可见光和红外资料估算甘肃省东部农田区土壤湿度[ J ].应用气象学报,1997,8(2) 212 - 218.
- [ 12 ] 郭锐,陈添宇,陈乾,等.用 NOAA 气象卫星资料对甘肃省河东地区土地覆盖分类[ J ].高原气象,1995,14(4) 467 - 475.
- [ 13 ] Idso S B , Schmugge T J , Jackson RD , et al. The utility of surface temperature measurement for the remote sensing of surface soil water status [ J ]. Geophy RES , 1975 ( 80 ) 3044 - 3049.
- [ 14 ] 刘良云,张兵,郑兰芬,等.利用温度和植被指数进行地物分类和土壤水分反演[ J ].红外与毫米波报,2002,21(4):269 - 273.
- [ 15 ] Michel Legrand, Christophe Pietras, Gerara Brogniez et al. A High - Accuracy Multiwavelength Radiometer for In Situ Measurement in the Thermal Infrared. Part I : Characterization of the instrument [ J ]. Journal of atmospheric and oceanic technology , 2000 , 7 : 1203 - 1214.

## A Test on the Monitoring of Soil Moisture with CE312 Infrared and CE313 Visible and Near Infrared Radiometers

WANG Xiao - ping<sup>1</sup> , ZHANG Mou - cao<sup>2</sup> , GUO Hai - yin<sup>2</sup> , WANG Ning - zhen<sup>2</sup> , HUANG Bin<sup>2</sup>

( 1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster , Institute of Arid Meteorology , CMA , Lanzhou 730020 , China ;  
2. Xifeng Agrometeorological Experimental Site of Gansu Province , Qingyang 745000 , Gansu , China )

**Abstract** : A test on the soil moisture monitoring with the CE312 thermal infrared radiometer and CE313 visible and near infrared radiometers was conducted at Xifeng Agrometeorological Experimental Site on the loess plateau in the east part of Gansu province. Four kinds of samples , the bare area , the wheat field , the maize field and the grassland , were selected to monitor the soil moisture synchronously with above remote sensing instruments , and carry out observation at the same time. The result indicates that the change of the brightness temperature of each channel of the CE312 is connected with the change of the soil moisture , especially they are more sensitive to the moisture of bare area and not sensitive to that of vegetation covering area , the correlation is nonlinear and its impact factor is complex. The comparison between the brightness temperature and vegetable index showed that there is a good correlation. The test proved that the ground remote sensing is available for monitoring soil moisture and the model could be set up according to the relation between the brightness temperature and vegetable index in further practice.

**Key words** : soil moisture ; brightness temperature ; vegetable index ; drought monitoring