

王卫东, 赵青兰, 权文婷. FY-3 VIRR 数据在陕西省干旱监测中的应用 [J]. 陕西气象, 2015 (2): 15-18.

文章编号: 1006-4354 (2015) 02-0015-04

# FY-3 VIRR 数据在陕西省干旱监测中的应用

王卫东, 赵青兰, 权文婷

(陕西省农业遥感信息中心, 西安 710014)

**摘 要:** 干旱是影响陕西省社会发展和农业生产的主要气象灾害之一。利用具有两个热红外通道的风云三号气象卫星扫描辐射计一级数据, 先使用分裂窗算法反演得到地表温度, 再利用归一化植被指数 (NDVI) 和地表温度计算温度植被干旱指数 (TVDI), 从而来监测陕西省的土壤干旱程度。结果表明, 反演得到的 TVDI 能较好地反映陕西省干旱分布状况, 延安、关中、陕南等区域的 TVDI 反演结果与实际旱情更为接近。

**关键词:** FY-3 VIRR; 温度植被干旱指数; 土壤相对湿度

**中图分类号:** P407

**文献标识码:** A

我国第二代极轨气象卫星风云三号气象卫星 (FY-3) 发射成功, 可以更方便地获取高质量的卫星遥感数据, 基于 FY-3 数据的应用研究成为热点之一。基于遥感植被指数和地表温度信息研究区域地表水分状况等陆表变化过程, 是目前遥感和陆表过程研究的前沿方向。FY-3 目前有三颗卫星在轨运行, 分别是 A 星、B 星、C 星 (简称 FY-3A、FY-3B、FY-3C)。FY-3 的星载遥感仪器主要有可见光红外扫描辐射计 (VIRR) 和中分辨率光谱成像仪 (MERSI)。王颖等利用 FY-3A MERSI 数据, 采用植被供水指数 (VSWI) 对重庆市伏旱监测进行了研究<sup>[1]</sup>。李峰等利用 FY-3A MERSI 数据, 采用垂直干旱指数 (PDI) 对山东省干旱监测进行了研究<sup>[2]</sup>。李爽等利用 FY-3A MERSI 数据, 采用表观热惯量模型对土壤水分反演进行了研究<sup>[3]</sup>。向大享等采用温度植被干旱指数 (TVDI) 对 FY-3A MERSI 数据干旱监测能力进行了评价<sup>[4]</sup>。由于 MERSI 数据只有一个热红外通道, 利用其反演地温只能采用单通道模式, 与分裂窗模式相比, 在反演精度上存在不足。

干旱是影响陕西社会发展和农业生产的主要

气象灾害之一。以具有两个热红外通道的 FY-3 VIRR 一级 (L1) 数据为信息源, 采用地表温度分裂窗反演算法, 利用地表温度和归一化植被指数 (NDVI) 计算 TVDI, 来监测陕西省土壤干旱程度。

## 1 FY-3 数据预处理

FY-3 VIRR L1 数据共有 10 个通道, 均需经过定标、投影、裁剪、封装等处理后, 才能满足后续数据处理工作的需求。其中两个热红外通道数据经辐射定标后为黑体温度, 其余 8 个可见光通道数据经辐射定标后为反射率, 辐射定标算法使用国家卫星气象中心的标准算法<sup>[5]</sup>。输出的数据文件格式采用遥感图像最通用的 GeoTIFF 文件格式, GeoTIFF 作为 TIFF 的一种扩展, 在 TIFF 的基础上定义了一些 GeoTag (地理标签)。根据需要, 将投影裁剪后的 VIRR 10 个通道的数据添加太阳天顶角、太阳方位角、卫星传感器天顶角、卫星传感器方位角, 形成 14 个通道数据并一同写入同一 GeoTIFF 文件。

## 2 地表温度反演

为了满足干旱监测变化研究中对高分辨率地表温度数据的需求, 根据 VIRR 热红外通道光谱

收稿日期: 2014-09-25

作者简介: 王卫东 (1970—), 男, 陕西扶风人, 高工, 从事卫星遥感与监测。

基金项目: 陕西省气象局科技创新基金 (2013M-19)

响应函数,采用权维俊 2012 年提出的具有较高精度的改进型 Becker 和 Li 分裂窗地表温度反演算法<sup>[6]</sup>。利用 VIRR 热红外通道的通道 4 和通道 5 亮温  $T_4$ 、 $T_5$  来计算地表温度  $T_s$ ,Becker 和 Li 分裂窗地表温度反演方程可表示为

$$T_s = P(T_4 + T_5)/2 + M(T_4 - T_5)/2 - 0.14, \quad (1)$$

其中, $T_4$ 、 $T_5$  分别通道 4 和通道 5 亮温, $P$  和  $M$  为通道 4 和通道 5 的平均比辐射率和比辐射率差值的函数,具体表示如下

$$P = 1 + 0.1197(1 - E)/E - 0.4891\Delta E/(E \cdot E), \quad (2)$$

$$M = 5.6538 + 5.6543(1 - E)/E + 12.9238\Delta E/(E \cdot E), \quad (3)$$

式中, $E = (e_4 + e_5)/2$ ,为通道 4 和通道 5 的平均比辐射率, $\Delta E = e_4 - e_5$  为通道 4、5 的比辐射率的差值。

系数  $P$  和  $M$  依赖于 VIRR 通道 4、5 的地表比辐射率,一个可行的地表比辐射率获取方法是归一化植被指数方法。该方法通过 NDVI 值的分级来估算地表比辐射率。NDVI 值小于 0.2,认为是裸土像元,这时 VIRR 通道 4、5 的地表比辐射率可用土壤和岩石比辐射率的平均值来代替。即 VIRR 通道 4 的裸土比辐射率  $e_4$  为 0.9545,通道 5 的裸土比辐射率  $e_5$  为 0.9714<sup>[6]</sup>。NDVI 值大于 0.5 认为完全由植被覆盖,这时 VIRR 通道 4、5 的地表比辐射率为一个常数,典型值为 0.99。NDVI 值大于 0.2 且小于 0.5,像元是由裸土和植被构成的混合像元,地表比辐射率依赖于植被覆盖度  $P_V$

$$P_V = [(I_{NDV} - I_{NDVmin})/(I_{NDVmax} - I_{NDVmin})]^2, \quad (4)$$

式中, $I_{NDV}$  为像元的 NDVI 值, $I_{NDVmax}$ 、 $I_{NDVmin}$  为常数, $I_{NDVmax} = 0.5$ , $I_{NDVmin} = 0.2$ 。

根据权维俊的研究,地表比辐射率可近似表示为<sup>[6]</sup>

$$e = mP_V + n. \quad (5)$$

$m$ 、 $n$  为方程系数,对于 VIRR 通道 4 来说, $m = 0.0107$ , $n = 0.9793$ ;对于通道 5 来说, $m = 0.0030$ , $n = 0.9870$ 。

### 3 FY-3 VIRR 温度植被干旱指数

由于植被覆盖度与光谱植被指数存在一定关

系,而植被覆盖度决定了传感器接收到的土壤背景和植被冠层可见光和热红外信息,从而影响遥感获取的辐射温度。由于蒸散对冠层温度影响较大,在一定的净辐射条件下,当蒸散量越少,感热量越大,冠层温度就越高。另外蒸散量同时受三方面的因素控制,即气象条件、植被生长状况和土壤可利用水量。生态系统在一定气象条件下,植被指数( $I_{NDV}$ )与地表温度( $T_s$ )之间存在负相关关系。如果研究区植被覆盖包含从裸土到全覆盖、土壤湿度从极干旱到极湿润的各种情况,以  $I_{NDV}$  和  $T_s$  为横、纵坐标的散点图呈三角形。在这个三角形特征空间中, $T_s$  与  $I_{NDV}$  的斜率与土壤湿度之间为一元线性关系。Sandholt、Moran 等在 2002 年利用该简化的  $I_{NDV} - T_s$  特征空间,提出水分胁迫指标,即温度植被干旱指数  $I_{TVD}$  表达式为

$$I_{TVD} = (T_s - T_{min})/(T_{max} - T_{min}). \quad (6)$$

$T_{min}$  为植被指数与地表温度根据湿边线性拟合得到特征空间最低温度, $T_{max}$  为植被指数与地表温度根据干边线性拟合得到特征空间最高温度,计算式表示为

$$T_{min} = a_1 + k_1 I_{TVD}, T_{max} = a_2 + k_2 I_{TVD}, \quad (7)$$

式中  $a_1$ ,  $k_1$  和  $a_2$ ,  $k_2$  分别是干边和湿边拟合方程的系数。结合公式(6)(7)即可计算 TVDI 值。

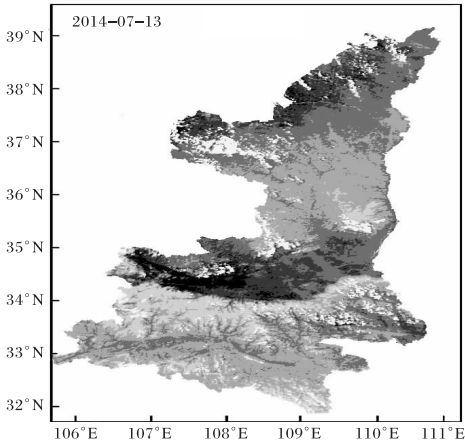
在拟合干湿边方程时,选取 NDVI 值在 0.25 ~ 0.65 之间的像素,显然小于 0 的点对应的像素一般为水体或云,拟合时不考虑。同时注意选择不同时期的多幅卫星图像,如干旱期的和湿润期的卫星图像,且晴空居多的,共同参与回归拟合,这样更贴近于实际情况。实际应用中,在春季时,系数  $k_1 = 48.9925$ ,  $a_1 = -11.4157$ ,  $k_2 = -53.7605$ ,  $a_2 = 72.0261$ ;在夏季时,系数  $k_1 = 36.492352$ ,  $a_1 = -8.3910189$ ,  $k_2 = -34.682926$ ,  $a_2 = 58.231808$ 。

以 TVDI 值作为不同土壤湿度分级指标,参考已有的 TVDI 干旱指数分级研究<sup>[2,8,9]</sup>,并结合陕西省的旱情统计数据,将土壤湿度划分为 5 级,分别是:湿润( $0.005 \leq I_{TVD} < 0.4$ ),正常无旱( $0.4 \leq I_{TVD} < 0.6$ ),轻度干旱( $0.6 \leq I_{TVD} < 0.75$ ),中度干旱( $0.75 \leq I_{TVD} < 0.85$ )和重度干旱( $0.85 \leq I_{TVD}$ )。表 1 给出了 TVDI、土壤相对湿

度和干旱等级间的对应关系。

表 1 TVDI、土壤相对湿度和干旱等级间的对应关系

$I_{\text{TVDI}}$	土壤相对湿度 / %	干旱等级
$\geq 0.85$	$\leq 40$	重度干旱
$[0.75, 0.85)$	$[40, 50)$	中度干旱
$[0.6, 0.75)$	$[50, 60)$	轻度干旱
$[0.4, 0.6)$	$[60, 80)$	正常无旱
$[0.005, 0.40)$	$\geq 80$	湿润



#### 4 遥感反演结果分析

2014年夏季陕西省发生了严重干旱,8月6—11日,陕西省多数地区普降大雨,旱情得到解除。因此选用2014年7月13日和2014年8月13日数据(晴空居多),采用TVDI指数法反演土壤湿度来分析2014年夏季干旱,得到研究区域2014年7月13日和8月13日的土壤干旱程度分布图,图中白色区域为云区或水域(图1)。

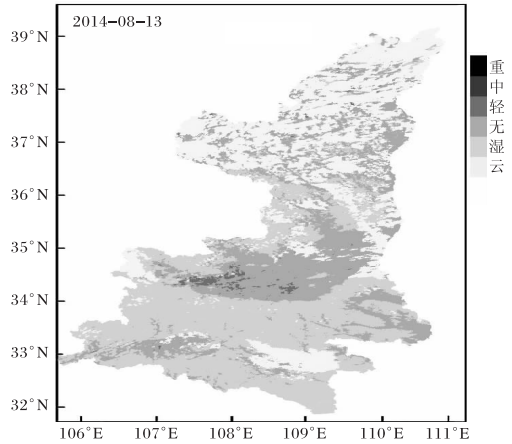


图 1 2014-07-13 和 2014-08-13 陕西省土壤干旱程度分布图

干旱监测最直接的方法是实测土壤相对湿度。要验证 TVDI 对干旱监测结果是否与实况相符,就是要研究 TVDI 与实测土壤相对湿度之间的关系。将陕西省自动土壤水分站 52 个站点 10 cm 和 20 cm 土壤湿度数据和相应的 TVDI 值进行相关性分析,发现 TVDI 与对应的 10 cm、20 cm 的土壤相对湿度之间存在极显著的负相关关系(7月13日,  $r_{10\text{ cm}} = -0.5147$ ,  $r_{20\text{ cm}} = -0.5344$ ; 8月13日,  $r_{10\text{ cm}} = -0.5062$ ,  $r_{20\text{ cm}} = -0.5385$ )。特别是 20 cm 土壤相对湿度与 TVDI 值相关性更高。这是由于 10 cm 深度的土壤水分受地表风速等气象条件的影响较大,并不能完全反映地表反射率特性;而 20 cm 深处的土壤水分更接近作物根部,对作物的生长影响更大,更能反映作物的受旱情况,这与已有的研究结论基本一致<sup>[2,9]</sup>。

利用陕西省自动土壤水分站共 52 个站点的 10 cm 和 20 cm 土壤湿度数据分别生成 2014 年 7 月 13 日和 2014 年 8 月 13 日的土壤相对湿度实况分布图(图 2)。对比分析图 1 和图 2,可看出 TVDI 值与土壤相对湿度监测到的干旱程度基本

一致。7月中旬陕西大部分地区发生了干旱,8月中旬旱情得到缓解。但在陕北榆林与内蒙的交界处,两者对旱情的监测结果差异较大。这些地域大多属于固定的沙漠,植被覆盖较差,土壤水分本身不易保持,更易受温度、风速的影响;同时这些区域设置的土壤水分自动站较少,实测土壤相对湿度与测站设置的科学性,以及测量仪器的一致性和准确性有一定关系;再加上此处的 NDVI 值低,可能处于  $I_{\text{NDVI}} - T_s$  特征空间的非线性区。这三方面的原因导致了与土壤水分自动站观测结果相比,陕北边缘地区的 TVDI 监测旱情结果更为严重。

#### 5 结论

利用 FY-3 VIRR 数据反演得到的 TVDI,对陕西省进行了干旱监测,建立了针对陕西省干旱灾害的 TVDI 干旱等级标准。从卫星遥感干旱监测结果与实测土壤相对湿度对比来看,在延安、关中、陕南的实际旱情与 TVDI 反演结果接近,但在陕北榆林与内蒙的交界处监测效果不十分理想。主要原因有:这些地域大多属于固定的

沙漠, 植被覆盖较差, 土壤水分本身不易保持, 更易受温度、风速的影响; 同时这些区域设置的土壤水分自动站较少, 实测土壤相对湿度与测站

设置的科学性, 以及测量仪器的一致性和准确性有一定关系; 再加上此处的 NDVI 值低, 可能处于  $I_{NDVI}-T_s$  特征空间的非线性区。

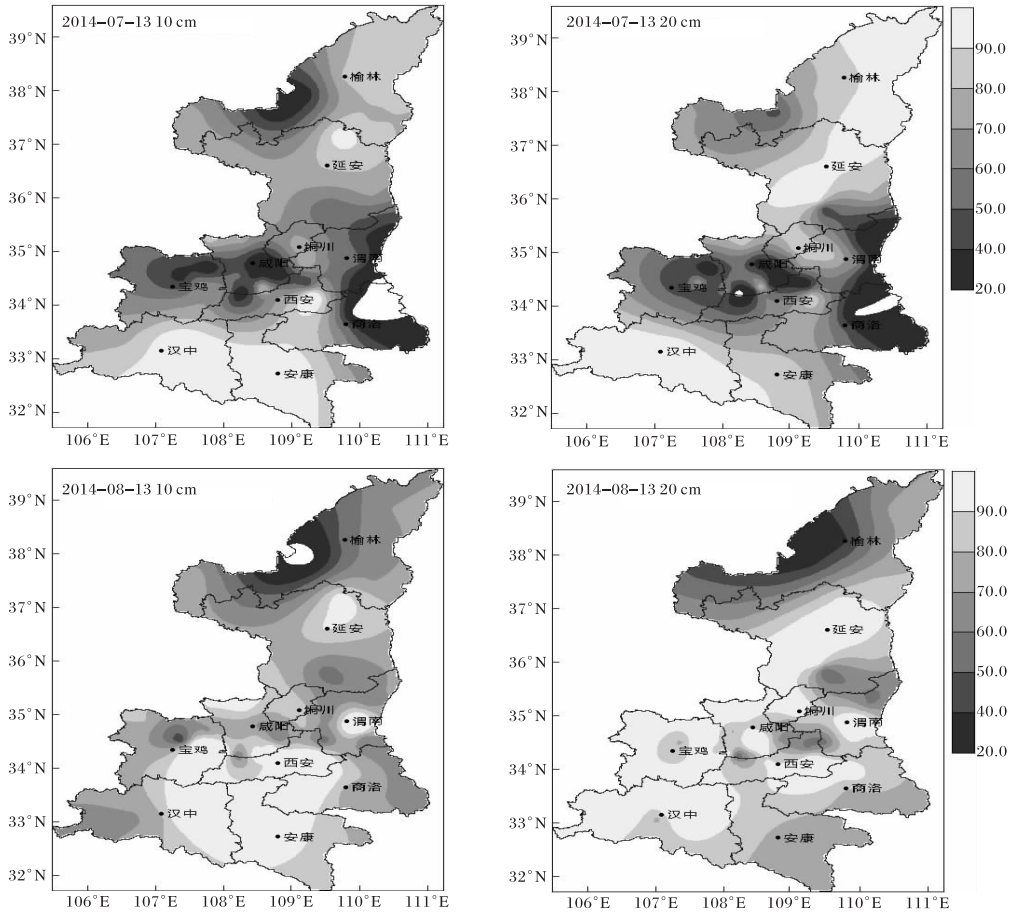


图2 2014-07-13和2014-08-13陕西省10 cm和20 cm土壤相对湿度/%实况分布图

#### 参考文献:

- [1] 王颖, 李国春, 高阳华, 等. FY-3A/MERSI 数据在重庆市伏旱监测中的应用 [J]. 现代农业科技, 2011, 39 (10): 271-273.
- [2] 李峰, 赵玉金, 赵红, 等. FY-3A/MERSI 数据在山东省农田干旱监测中的应用 [J]. 干旱气象, 2014, 32 (1): 17-22.
- [3] 李爽, 李国春. FY-3A/MERSI 数据反演土壤水分的研究 [J]. 现代农业科技, 2011, 39 (10): 261-264.
- [4] 向大享, 刘良明, 韩涛. FY-3A 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): 334-337.
- [5] 杨军, 董超华, 卢乃锰, 等. 新一代风云极轨气象卫星业务产品及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 100-106.
- [6] 权维俊, 韩秀珍, 陈洪滨. 基于 AVHRR 和 VIRR 数据的改进型 Becker“分裂窗”地表温度反演算法 [J]. 气象学报, 2012, 70 (6): 1356-1365.
- [7] 王纯枝, 毛留喜, 何延波, 等. 温度植被干旱指数法 (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): 998-1004.
- [8] 柳钦火, 辛晓洲, 唐娉, 等. 定量遥感模型、应用及不确定性研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 202-210.
- [9] 许丽娜, 牛瑞卿, 尚秀枝. 利用温度植被干旱指数反演三峡库区土壤水分 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47 (25): 235-238.