

FY-3C/MERSI 数据应用于陕西省 干旱时空动态监测研究

权文婷¹, 李红梅¹, 周 辉¹, 何慧娟¹, 能 佳²

(1. 陕西省农业遥感信息中心, 陕西 西安 710014; 2. 中国石油长庆油田分公司, 陕西 西安 710018)

摘 要: 基于 FY-3C/MERSI 1 km 遥感数据, 分别利用植被供水指数模型(VSWI)、归一化干旱指数模型(ND-DI)、多波段干旱指数模型(MBDI), 对陕西省 2014 年夏季的干旱过程进行动态监测, 结合研究区同时段 10 cm 土壤相对湿度资料, 对 3 种干旱遥感监测模型的准确性和稳定性进行评价。结果表明: 3 种遥感监测模型对陕西省 2014 年夏季干旱过程监测的准确性均有较好表现, 其中 VSWI 的动态监测稳定性更好; MBDI 与 VSWI 对于干旱中期干旱程度的反演结果准确性相当, 但对于干旱前期与后期, VSWI 结果的准确性更好。基于 VSWI 监测结果, 将陕西省分为陕北、关中和陕南地区进行讨论, 结果表明 FY-3C/MERSI 具备对陕西省这次干旱过程进行时空动态监测的能力。

关键词: FY-3C/MERSI 数据; 干旱监测; 植被供水指数; 归一化干旱指数; 多波段干旱指数

中图分类号: S423 **文献标志码:** A

Investigation on FY-3C/MERSI data to monitor the spatial-temporal dynamics of drought in Shaanxi Province

QUAN Wen-ting¹, LI Hong-mei¹, ZHOU Hui¹, HE Hui-juan¹, NENG Jia²

(1. Shaanxi Provincial Agricultural Remote Sensing Information Center, Xi'an, Shaanxi 710014, China;

2. Petro China Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710018, China)

Abstract: Base on FY-3C/MERSI 1 km monitoring data, the Vegetation Supply Water Index Model (VSWI), Normalized Difference Drought Index Model (NDDI), and Multiple Band Drought Index Model (MBDI) were used to monitor summer drought in Shaanxi Province in 2014. Also, the 10 cm relative soil moisture observation data were utilized to comparatively analyze the accuracy and stability of these three drought remote sensing monitoring models. The result showed that accuracy of all three remote sensing methods was acknowledged toward drought of Shaanxi in summer 2014. The result of VSWI dynamic monitoring performed better than others. The accuracies of MBDI and VSWI were at the same level during the middle term of drought period, but VSWI was better at early and late stages than MBDI. According to the VSWI monitoring result, when Shaanxi was divided into Shanbei district, Guanzhong district and Shannan district, the result indicated that FY-3C/MERSI data was able to monitor the spatial-temporal dynamics of drought in Shaanxi Province.

Keywords: FY-3C/MERSI data; drought monitoring; VSWI; NDDI; MBDI

干旱发生时间长、频率高, 对我国国民经济造成巨大损失, 尤其对农业生产可产生严重影响^[1]。对干旱进行实时监测, 可及时采取有效的防旱、抗旱措施, 减少干旱带来的损失^[2]。传统的干旱监测基于站点观测资料, 一般为反映土壤水分含量的土壤墒情资料, 难以实现大范围的干旱监测^[3]。随着遥感技术的发展, 遥感数据为干旱实时监测提供了更经济、更高效的途径。遥感干旱监测是把复杂的干旱现象表示为简单的数学或物理模型, 通过干旱现象

和模型反演参数之间的关系进行干旱监测^[4]。利用遥感技术进行干旱监测的方法, 一般包括: (1) 针对裸土地表, 如热惯量法(Thermal Inertia, TI)^[5]; (2) 针对地表植被覆盖的植被指数法, 如距平植被指数(Anomaly Vegetation Index, AVI)^[6]、条件植被指数法(Vegetation Condition Index, VCI)^[7]、归一化干旱指数法(Normalized Difference Drought Index, NDDI)^[8]、植被供水指数法(Vegetation Supply Water Index, VSWI)^[9]等; (3) 针对地表植被覆盖的陆表温度法,

如温度植被干旱指数法 (Temperature Vegetation Drought Index, TVDI)^[10]、温度条件指数 (Temperature Condition Index, TCI)^[11]、条件植被温度指数 (Vegetation Temperature Condition Index, VTCI)^[12]、作物缺水指数法 (Crop Water Stress Index, CWSI)^[13]等。

在针对地表植被覆盖的干旱监测方法中, VCI 可反映基于 NDVI 在气候变化影响下而产生的变化, 且适用于较大范围的干旱监测, 但物候的变化会对 VCI 造成影响, 因此 VCI 仅适用于处于生长中后期、植被覆盖度变化不大的作物; TVDI 为干旱遥感监测中最为常用的一种方法之一, 但干边、湿边提取的准确性直接影响结果的精度, 因此 TVDI 适用于小区域范围的干旱监测; VTCI 与 TVDI 相同, 冷、热边的确定是关键; TCI 与 CWSI 均基于蒸腾原理与能量平衡原理, 前者适用于长时间序列及大区域的干旱监测, 但由于季节性地表温度差异、相对湿度等气象因素会对结果精度产生影响, 后者不适用于植被覆盖度较低的地区^[14]; 2014 年 6—8 月陕西关中地区降水稀少, 导致大范围干旱, 大面积农作物受灾, 直接经济损失严重, 此时间段内陕西大部分地区夏玉米处于苗期, 属于生育期的中前期, 植被覆盖度较低, 尤其是 6—7 月中旬, 不适用 VCI 进行干旱监测。相较而言 NDDI 具有良好的普适性, 对于植被覆盖茂盛和稀少的地区同样适用, 且可用于植被整个生长期。此外, 植被供水指数法 (Vegetation Supply Water Index, VSWI) 与多波段干旱指数法 (Multiple Band Drought Index, MBDI) 同样可用于本文的干旱动态监测研究。近年来, 上述三种方法对不同研究区的干旱监测均取得了良好的结果, 张树誉^[15]等采用 VSWI 对陕西省春旱过程进行监测; 冷松^[16]等综合采用近红外、短波红外、热红外波段组合构建 MBDI 对甘肃部分地区进行干旱监测并取得较好的效果; 白开旭^[8]等采用 NDDI 分析了中国西南大旱旱情的时空演变过程。本文基于 FY-3C/MERSI 数据, 采用上述 3 种干旱监测方法对 6—8 月这次干旱过程进行监测, 通过将土壤墒情数据与模型监测结果进行相关性分析, 以期提供一种基于 FY-3C/MERSI 数据对陕西省干旱过程进行时空动态监测的最佳遥感模型。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

陕西省位于中国西北地区东部, 年平均降水量 500 mm, 年平均气温 13℃, 无霜期 218 d 左右。全省地形多样且地势复杂, 地貌类型多样, 南北高、中间低^[17], 由于自然地理条件的多样性形成三大农业类

型区, 即陕北—农牧结合农业类型区, 关中—旱作农业类型区, 陕南—旱稻兼作农业类型区^[18]。陕西地处西北大陆性气候与东南沿海季风气候的过渡带, 属于生态环境脆弱带, 干旱是主要的气象灾害之一^[19-20], 因此对干旱进行实时监测对及时了解干旱发生的范围与程度, 制定积极有效的防旱、抗旱措施具有重要意义。

1.2 数据的选择与处理

1.2.1 遥感数据的选择与预处理 风云三号 (FY-3) 系列卫星是我国自行设计和研制的气象极轨卫星, 携带的传感器中分辨率光谱成像仪 (MERSI) 具有 5 个 250 m 和 15 个 1 km 空间分辨率通道, 光谱范围为 0.41 ~ 12.5 μm^[21]。针对 FY-3A 和 FY-3B 在轨运行期间出现的问题, FY-3C 进行了改进和优化, 数据质量更高, 观测能力更强。本文采用 FY-3C/MERSI 的 1 km 数据, 原始数据来源于中国气象局国家卫星气象中心, 为 HDF5 文件格式^[22]。考虑整个干旱发生过程与晴空影像及质量, 分别选择 2014 年 5 月 21 日、6 月 7 日、7 月 2 日、7 月 13 日、7 月 25 日与 8 月 19 日的 FY-3C/MERSI 影像, 其中 5 月 21 日为干旱前期, 6 月 7 日—7 月 25 日为干旱中期, 8 月 19 日为干旱后期。在遥感处理平台 ENVI (The Environment for Visualizing Images) 中对 6 景数据分别进行辐射校正、几何校正、大气校正, 以及研究区裁剪^[16], 为建立干旱监测模型做数据准备。在 ENVI 中计算归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 和归一化水分指数 (Normalized Difference Water Index, NDWI) (式 1—2), 陆表温度数据 (Land Surface Temperature, LST) 基于 FY-3C/VIRR 数据在卫星监测分析与遥感应应用系统 (SMART) 中反演得到, SMART 系统为国家卫星气象中心研发的适用于风云三号系列数据的卫星监测与遥感应应用系统。

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}} \quad (2)$$

式中, ρ_{NIR} 、 ρ_{RED} 和 ρ_{SWIR} 分别为近红外波段、红光波段及短波红外波段的反射率。

1.2.2 土壤墒情数据 来源于自动站的土壤相对湿度资料, 选取与影像获取时间同步的土壤墒情数据, 用于分别对 3 个遥感干旱监测模型的结果进行相关性分析及评价 (图 1)。当降雨或有人工灌溉时, 土壤水分处于过饱和状态, 站点的土壤相对湿度数据大于 100%, 在预处理过程中需要将这些数据剔除; 当影像中站点的位置被云覆盖时, 无法对该区

域进行干旱监测,在进行相关性分析时也需要删除该站点数据。

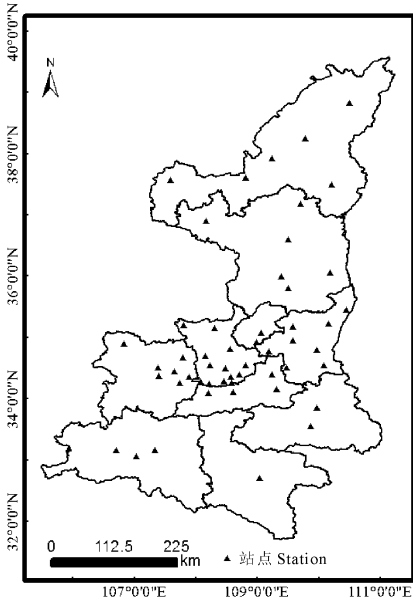


图 1 研究区与站点位置示意图
Fig.1 Study area and station locations

1.3 干旱监测模型

干旱发生过程中,植被因受旱叶片不能正常生长,遥感影像上表现为 NDVI 减小;同时,植被的根部因缺水使蒸腾作用受到抑制,叶片气孔关闭,植被冠层温度升高,遥感影像上表现为 LST 增大;而一些研究^[23-24]表明,与 NDVI 相比,NDWI 监测植被冠层水分的信息同样也非常敏感,在干旱监测中具有良好的应用前景。本文拟对比运用 VSWI、NDDI 与 MBDI 这 3 种干旱监测遥感模型,通过与土壤相对湿度数据进行相关性分析,得出研究区内干旱监测结果最优的干旱监测模型。

1.3.1 植被供水指数模型(VSWI) 植被供水指数干旱监测模型综合考虑了 NDVI 和 LST 两种干旱监测指标^[25],计算公式为

$$VSWI = \frac{LST}{NDVI} \times 0.001 \tag{3}$$

式中,0.001 为系数,目的是为保证计算结果数值为 0 左右的一个指数。VSWI 的物理意义是:当发生干旱时,一方面作物生长受到影响,NDVI 值减小;另一方面作物冠层温度升高,LST 增大^[19],因此 VSWI 随着干旱的加剧而增大。

1.3.2 归一化干旱指数模型(NDDI) 归一化干旱指数模型将 NDVI 与 NDWI 有效结合起来反映地表因干旱导致的土壤湿度和植被长势方面的变化,从而反映地表的干旱程度^[12],公式定义为:

$$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI} \tag{4}$$

1.3.3 多波段干旱指数模型(MBDI) 多波段干旱指数模型在 NDWI 的基础上加入了温度因素,计算公式^[16]为:

$$MBDI = \frac{NDWI}{LST} \times 1000 \tag{5}$$

式中,1000 为系数,使计算结果为 0 左右的一个指数。MBDI 在 NDWI 基础上增加了热红外波段的信息,在干旱监测应用研究中具有可探索性^[16]。

2 结果与分析

2.1 三种干旱遥感监测模型与 10 cm 土壤相对湿度的相关分析

遥感技术在干旱监测方面的应用前景非常巨大,但也具有局限性,即遥感影像只能获取地表面的信息,部分研究^[26]也表明,遥感干旱监测结果与 10 cm 土壤相对湿度的相关性最好。因此本文选取各站点 10 cm 深度观测的土壤相对湿度分别与 VSWI、NDDI 和 MBDI 进行相关分析,结果见表 1。由表 1 中可以看出,三种遥感监测方法在陕西省夏季的干旱过程监测中均有较好的表现,VSWI、NDDI 与土壤相对湿度呈显著负相关,MBDI 与土壤相对湿度呈显著正相关。在整个时间序列中,VSWI 对干旱过程的动态监测结果最为稳定,均通过了 0.05 水平显著性检验,并有 1 次通过了 0.01 水平显著性检验;MBDI 与 NDDI 均有 2 次通过了 0.01 水平显著性检验,但分别有 1 次和 2 次未通过 0.05 水平显著性检验,表明 MBDI 与 NDDI 对研究区干旱过程的监测稳定性稍差。此外,MBDI 与 VSWI 对干旱中期(6 月 7 日-7 月 25 日)的干旱动态监测结果准确性相当,甚至高于 VSWI,但对于干旱前期(5 月 21 日)与后期(8 月 19 日),MBDI 的监测结果准确性不如 VSWI。综合比较 3 种干旱遥感监测模型,VSWI 的准确性与

表 1 三种干旱监测方法与土壤相对湿度的相关系数

Table 1 Correlative coefficients between soil relative moisture and three drought monitoring methods

日期(年-月-日) Date(y-m-d)	VSWI	NDDI	MBDI	样本数 Sample number
2014-05-21	-0.379**	-0.407**	0.293*	48
2014-06-07	-0.382*	-0.465*	0.387*	29
2014-07-02	-0.321*	-0.42**	0.381**	46
2014-07-13	-0.303*	-0.321*	0.391**	45
2014-07-25	-0.400*	-0.304	0.324*	39
2014-08-19	-0.359*	-0.254	0.250	48

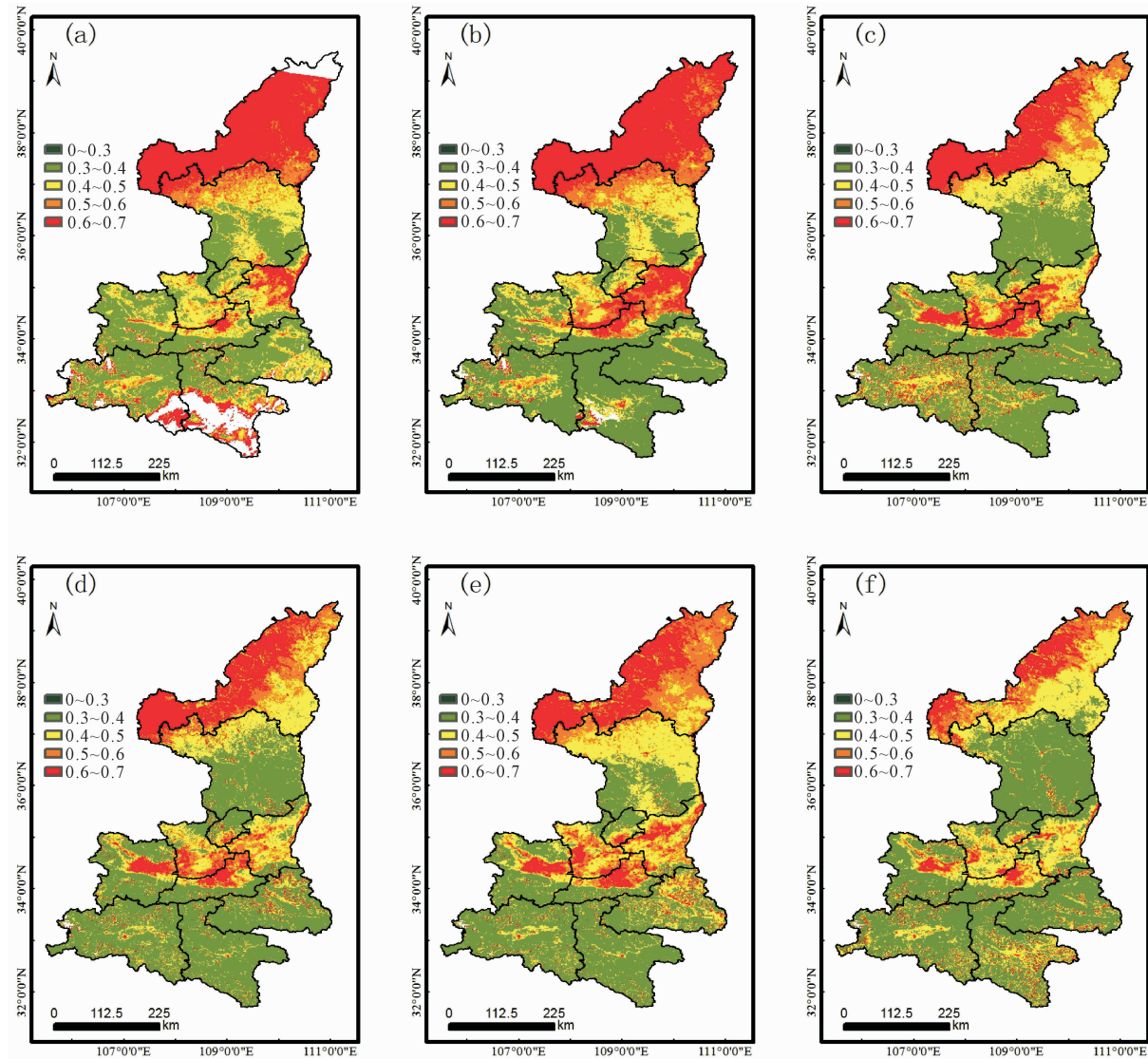
注:*,** 分别表示通过 0.05 和 0.01 的检验。
Note: * is P<0.05, ** is P<0.01.

稳定性优于 MBDI 与 NDDI,因此采用 VSWI 的监测结果在后续研究中进行进一步分析。

2.2 基于 VSWI 的陕西省干旱过程时空变化分析

鉴于 VSWI 在整个干旱过程中反演结果稳定性最好,因此将 VSWI 灰度值结果在 ArcGIS 中进行分类赋色,由绿到红反映了干旱程度的加重,如图 2 所示。陕北地区、榆林北部区域属于防风治沙区,地表温度较高,植被指数较低;延安的黄龙山、子午岭属

于天然林保护区,地表温度较低且常年植被指数维持在较高的范围。由图 2 可以看出,从 5 月下旬至 6 月下旬,榆林地区的干旱程度较为严重,7 月上旬开始至 8 月下旬,榆林的干旱程度逐渐减轻,而这一过程中延安的干旱程度较轻且一直维持在稳定的程度。关中地区是陕西省粮食的主产区,也是农业干旱监测中最为重要的区域。



注:(a) 5 月 21 日;(b) 6 月 7 日;(c) 7 月 2 日;(d) 7 月 13 日;(e) 7 月 25 日;(f) 8 月 19 日
Note: (a) May 21; (b) Jun 7; (c) July 2; (d) July 13; (e) July 25; (f) August 19

图 2 基于 VSWI 的陕西省干旱时空动态监测结果

Fig.2 Monitoring result of the spatial – temporal dynamics of drought in Shaanxi based on VSWI

从图 2 可以看出,5 月下旬西安主城区与渭南大部分区域干旱程度较重,关中西部干旱程度较轻;6 月上旬开始,干旱程度加重,干旱范围由东部向西部扩展;8 月上旬和中旬随着全省一次大范围降水过程,遥感监测图中,8 月下旬关中绝大部分地区的干

旱有所缓解,干旱程度较重的区域仅在西安主城区和宝鸡部分区域。陕南大部分地区属于秦巴山区的天然林保护区,地表温度较低且植被指数较高,因此陕南绝大部分区域的干旱程度较轻,干旱程度较重的区域仅分布于平原的耕地区域,并随降水有所缓解。

3 结论与讨论

干旱遥感监测对于及时了解旱情并采取积极有效的防旱抗旱措施具有重要意义, 本文对应干旱发生前、中、后期选取 6 景 FY-3C/MERSI 1 km 影像数据分别采用 VSWI、NDDI、MBDI 这 3 种干旱监测模型对 2014 年陕西省夏季干旱发展过程进行动态监测, 采用 10 cm 深度土壤相对湿度数据对 3 种模型监测结果进行评价, 主要结论如下:

(1) FY-3C/MERSI 作为我国自主研发的气象极轨卫星, 在干旱监测应用方面具有很大可探索性, 1 km 数据中 15 个波段波长范围包含从可见光、近红外到短波红外波段, 满足干旱监测中各种干旱监测模型建立的要求。FY-3C/MERSI 数据的重访周期为 1 天, 这对干旱的遥感时空动态监测提供了良好的数据源基础。

(2) 在与土壤相对湿度数据的相关性分析中, 3 种干旱监测模型的监测结果准确性均较高, 相较而言 VSWI 动态监测结果的准确性和稳定性更优, 可以作为陕西省夏季干旱遥感监测的最佳模型。

(3) 根据 VSWI 的动态监测结果, 将陕西省分为陕北地区、关中地区和陕南地区来讨论, 整个干旱过程中, 陕北榆林地区的干旱程度逐步减轻, 榆林东部减轻的较为明显, 延安的干旱程度维持在稳定程度; 关中地区的干旱范围由东部逐步向西部扩展。陕南林区的干旱程度较轻且稳定, 耕地区域的干旱发展经历了由轻到重到缓解的过程。这表明 VSWI 具备对研究区旱情进行时空动态监测的能力, VSWI 的监测结果与实际情况相符, 与传统的干旱监测手段相比, 宏观且直接地表现了旱情的时空分布特征, 对防旱抗旱的工作具有重要意义。

(4) 本研究也存在一些不足, 用于相关性分析的自动站点在空间上分布并不均匀, 相对于关中地区来说, 陕北和陕南的站点分布比较稀疏, 且土壤相对湿度数据在空间上仅为一个点值, 而与之做相关性分析的遥感影像一个像元代表了 1 km² 范围的值, 点值与面值的尺度差异必会造成误差, 这也是相关系数不高的部分原因。

参考文献:

[1] 王玉娟, 王树东, 曾红娟, 等. 基于作物缺水指数法的渭河流域干旱特征[J]. 干旱区研究, 2014, 31(1): 118-124.

[2] 孙丽, 王飞, 吴全. 干旱遥感监测模型在中国冬小麦区的应用[J]. 农业工程学报, 2010, (1): 243-249.

[3] 蒋友严, 韩涛, 徐燕, 等. 基于多源卫星数据的 3 种干旱遥感监测效果比较[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2): 47-51.

[4] 吾拉木阿布都瓦斯提. 基于 n 维光谱特征空间的农田干旱遥感监测[D]. 北京: 北京大学, 2006.

[5] 李星敏, 刘安麟, 张树誉, 等. 热惯量法在干旱遥感监测中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 54-59.

[6] 徐英, 吴明阳, 李秀芬, 等. NOAA/AVHRR 资料在黑龙省干旱监测中的应用研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2005, 10(2): 51-53.

[7] Quiring S M, Ganesh S. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150(3): 330-339.

[8] 白开旭, 刘朝顺, 施润和, 等. 2010 年中国西南旱情的时空特征分析——基于 MODIS 数据归一化干旱指数[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(1): 32-40.

[9] 莫伟华, 王振会, 孙涵, 等. 基于植被供水指数的农田干旱遥感监测研究[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(3): 396-401.

[10] 姚春生, 张增祥, 汪潇. 使用温度植被干旱指数法(TVDI)反演新疆土壤湿度[J]. 遥感技术与应用, 2005, 19(6): 473-478.

[11] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection[J]. Advances in Space Research, 1995, 15(11): 91-100.

[12] 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.

[13] 刘安麟, 李星敏, 何延波, 等. 作物缺水指数法的简化及在干旱遥感监测中的应用[J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 210-214.

[14] 刘欢, 刘荣高, 刘世阳. 干旱遥感监测方法及其应用发展[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(2): 232-239.

[15] 张树誉, 李登科, 李星敏, 等. MODIS 资料在 2005 年陕西春旱过程监测中的应用[J]. 中国农业气象, 2006, 27(3): 204-209.

[16] 冷松, 武建军, 周磊. 利用多波段遥感干旱监测方法研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(2): 102-107.

[17] 乔丽, 杜继稳, 江志红, 等. 陕西省生态农业干旱区划研究[J]. 干旱区地理, 2009, 32(1): 112-118.

[18] 张芳. 基于 MODIS 的陕西省干旱遥感监测研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2008.

[19] 闫娜, 李登科, 杜继稳, 等. 基于 MODIS 产品 LST/NDVI/EVI 的陕西旱情监测[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(4): 178-182.

[20] 李星敏, 杨文峰, 李红梅, 等. 相对冷暖背景下两次干旱事件的比较——以陕西为例[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 238-245.

[21] 权文婷, 赵青兰, 王卫东, 等. 不同大气状况下 FY-3B/MERSI 数据大气校正前后对比[J]. 干旱气象, 2015, 33(4): 666-674.

[22] 朱琳, 刘健, 张晔萍, 等. FY-3A/MERSI 数据在中国北方干旱监测中的应用[J]. 遥感学报, 2010, (5): 1004-1016.

[23] Gao B C. Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space[C]//SPIE's 1995 Symposium on OE/Aerospace Sensing and Dual Use Photonics. International Society for Optics and Photonics, 1995: 225-236.

[24] 刘小磊, 覃志豪. NDWI 与 NDVI 指数在区域干旱监测中的比较分析——以 2003 年江西夏季干旱为例[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(5): 608-612.

[25] 刘丽, 刘清. 卫星遥感信息在贵州干旱监测中的应用[J]. 中国农业气象, 1999, 20(3): 43-47.

[26] 冯蜀青, 殷青军, 肖建设, 等. 基于温度植被旱情指数的青海高寒区干旱遥感动态监测研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 141-145.

[27] 张洁, 武建军, 周磊, 等. 基于 MODIS 数据的农业干旱监测方法对比分析[J]. 遥感信息, 2012, (5): 48-54.