

基于多源卫星数据的 3 种干旱遥感监测效果比较

蒋友严<sup>1</sup>, 韩 涛<sup>1</sup>, 徐 燕<sup>2</sup>, 王小巍<sup>1</sup>, 王大为<sup>1</sup>  
(1. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730020; 2. 庆阳市气象局, 甘肃 庆阳 74500)

**摘 要:** 基于 MODIS/TERRA、FY-3B/MERSI 和 HJ/CCD 监测数据, 结合研究区同步土壤湿度实测资料, 利用垂直干旱指数 (*PDI*), 对比分析了各传感器在干旱时空动态中对旱情响应的敏感性和可靠性。结果显示: 在黄土高原半干旱区各遥感卫星监测到的 *PDI* 指数与土壤相对湿度呈显著负相关, 与 0~20 cm 相对湿度相关最为密切; MODIS 的 *PDI* 监测信息与实际春旱发展前期状况最为接近, HJ 的 *PDI* 监测信息对干旱后期效应性相对较差, HJ、MODIS 和 FY3B 的 *PDI* 监测信息都能够比较真实的反映干旱缓解后的实际情况。

**关键词:** 遥感卫星数据; 垂直干旱指数; 黄土高原半干旱区; 土壤相对湿度

中图分类号: S162      文献标志码: A      文章编号: 1000-7601(2014)02-0047-05

Comparison of drought monitoring effects based on multi-source remote sensing data of satellite

JIANG You-yan<sup>1</sup>, HAN Tao<sup>1</sup>, XU Yan<sup>2</sup>, WANG Xiao-wei<sup>1</sup>, WANG Da-wei<sup>1</sup>  
(1. Northwest Regional Climate Center, Lanzhou, Gansu 730020, China;  
2. Qingyang Meteorological Bureau, Qingyang, Gansu 74500, China)

**Abstract:** Based on the MODIS/TERRA, FY-3B/MERSI and HJ/CCD monitoring data, combined the synchronous measured soil moisture data in research area, using the perpendicular drought index (*PDI*), comparatively analyzed the sensitivity and reliability of various sensors responded to drought. The results showed that: It was the negative correlation between the *PDI* indexes with the soil relative moisture from the various remote sensing of satellites in the semiarid Loess Plateau, and it was the most close with the relative soil moisture in 0~20 cm depth, also the monitoring *PDI* index of the MODIS was more close with the real situation in early spring drought development, but the *PDI* monitoring information of HJ was relatively poor to drought effects in late, the whole *PDI* monitoring information of the HJ, MODIS and FY3B can be reflected the actual situation after the drought relieved.

**Keywords:** remote sensing data of satellite; perpendicular drought index; semiarid Loess Plateau; relative soil moisture

干旱是一种常见的全球性自然灾害现象之一, 在我国各种自然灾害中造成的损失列为首位, 它的频繁发生给农业生产造成巨大影响<sup>[1]</sup>。干旱只要是由降水与蒸发的失衡引起的, 土壤含水量的降低和作物缺水枯萎都是干旱的反映, 监测土壤水分和作物长势一定程度上可以监测旱情<sup>[2]</sup>。然而土壤测墒中(人工或自动土壤湿度仪采样)只提供了点的有限观测, 难以实现大范围监测<sup>[3-7]</sup>, 更无法反映土壤湿度廓线空间变化。

干旱遥感监测研究始于 20 世纪 60 年代, 它能够有效、大面积、实时动态地获取干旱地区旱情信

息, 随着地面遥感、雷达遥感、卫星遥感和微波遥感等多种遥感手段的增加, 基于 NOAA/AVHRR、MODIS、FY-3、LANDSAT TM/ETM 等遥感资料的干旱监测方法也越来越完善, 同时资源遥感卫星及高分辨率传感器增多, 遥感数据质量大幅度提高, 提供了丰富的资料来源, 利用多波段、多影像数据融合是干旱遥感监测的发展方向之一<sup>[8-11]</sup>。本文以黄土高原半干旱区 2013 年春季发生的旱情为重点, 利用 MODIS/TERRA 数据、FY-3B/MERSI 数据和环境减灾卫星(HJ)的 CCD 数据, 对其干旱发展中、后期以及干旱有效缓解过程进行监测, 分析干旱不同发展

收稿日期: 2013-07-05  
基金项目: 科技部农业科技成果转化资金项目(2011GB24160005)  
作者简介: 蒋友严(1981—), 男, 山东临沂人, 主要从事干旱区资源环境及遥感应用工作。E-mail: jiangyouyan1981@163.com。

阶段的空间分布及动态状况,对比各传感器对旱情响应的敏感性,同时利用实测土壤湿度资料进行验证,分析各卫星传感器的监测精度。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究区概况

甘肃庆阳地区属于黄土高原典型半干旱雨养农业区,位于东经 106°20′至 108°45′、北纬 35°15′至 37°10′之间,系黄河中下游黄土高原沟壑区,东、西、北三面隆起,中南部低缓,属于温带大陆性季风半干旱气候。

### 1.2 数据的选择与处理

考虑到本文所采用的各卫星传感器的发射日期及过境情况,利用降水和气温资料,对 2011—2013 年研究区春旱情况进行分析,同时为了减少云和大气的影 响,卫星资料尽量为晴朗少云,我们对 2013 年春季发生的旱情进行重点研究,由于研究区自 2013 年 3 月至 4 月上旬,降水很少,2013 年 4 月 18—21 日研究区自西向东有 20~40 mm 降水,旱情得到缓解,为检验各遥感数据对干旱变化的敏感性,同时考虑农作物的生长期,因此选择 2013 年 3 月 20 日作为干旱前期,2013 年 4 月 16 日作为干旱后期,2013 年 4 月 26 日为干旱缓解期进行分析。所采用的遥感卫星传感器波段特征见表 1。

| 表 1 MODIS、FY3B 和 HJ 对应传感器波段的特征                                                     |      |                     |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------|-----------------|
| Table 1 The characteristics of corresponding sensor band of the MODIS, FY3B and HJ |      |                     |                 |
| 卫星传感器                                                                              | 通道   | 波谱范围/ $\mu\text{m}$ | 分辨率/ $\text{m}$ |
| MODIS - TERRA                                                                      | 通道 1 | 0.62 ~ 0.67         | 250             |
|                                                                                    | 通道 2 | 0.841 ~ 0.876       | 250             |
| FY3B - MERSI                                                                       | 通道 3 | 0.60 ~ 0.70         | 250             |
|                                                                                    | 通道 4 | 0.815 ~ 0.915       | 250             |
| HJ - CCD                                                                           | 通道 3 | 0.63 ~ 0.69         | 30              |
|                                                                                    | 通道 4 | 0.76 ~ 0.90         | 30              |

环境减灾卫星 CCD 数据 3 景,日期为 2013 年 3 月 20 日、2013 年 4 月 16 日和 2013 年 4 月 26 日,过境时间都为上午 11 时左右。数据来源于中国资源卫星应用中心,下载其 2 级数据后,在软件 ENVI5.0 中,通过辐射定标、几何精校正,大气校正后,最后进行投影转换和研究区裁剪。

已校正过的 TM 数据 1 景,日期 2009 年 7 月 23 日,过境日期为上午 11 时,数据来源国际科学数据服务平台,用于环境减灾卫星数据的几何精校正。

MODIS 数据 3 景,FY3B 数据 3 景,日期为 2013

年 3 月 20 日、2013 年 4 月 16 日和 2013 年 4 月 26 日,MODIS 过境时间都为中午 12 时左右,FY3B 过境时间都为下午 14 时左右。数据来源西北区域气候中心,数据通过国家卫星气象中心自主开发的图像处理软件,实现数据的定标、地理定位和拼接等预处理,生成可以在 ENVI5.0 中自由处理的 Id3 格式文件。

庆阳地区土壤湿度数据,日期为 2013 年 3 月 20 日、2013 年 4 月 16 日和 2013 年 4 月 26 日,采集时间为中午 12 时左右。

### 1.3 干旱监测模型

植被对红光有强烈吸收,对近红外有强烈反射,而裸地反射率从红光到近红外变化很小。植被覆盖越高,红光反射越小,近红外反射越大。水体对红光和近红外波段吸收极强,土壤含水率是影响土壤反射率的主要因素,土壤含水率越多反射率越低,反之亦然。因此,可见光、近红外波段一定形式的组合不仅可以用来监测植被长势和地表覆盖状况,还可以用于土壤水分估算。

詹志明等<sup>[12]</sup>利用 Landsat ETM+ 遥感影像近红外(NIR)、红光(Red)波段反射率,建立 NIR - Red 光谱特征空间,分析水体、湿土、干土、裸土壤、低植被覆盖区和高植被覆盖区的光谱变化规律,图 1,AD 线代表植被生长状况从全覆盖(A 点)到部分覆盖(E 点)到无裸露区(D 点),BC 线代表土壤水分状况的变化,即 B - D - C 一线说明了干旱程度加重的方向。基于此规律建立了一个基于 NIR - Red 光谱空间特征的土壤水分监测模型 - 垂直干旱指数(Perpendicular Drought Index, *PDI*)。其表达式:

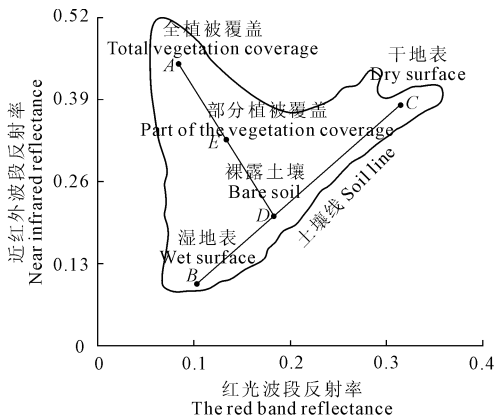


图 1 利用 ETM+ 图像构建的红光 - 近红外光谱特征空间 (引自:阿布都瓦斯提·吾拉木<sup>[13]</sup>)

Fig.1 Constructed the Red-Nir characteristic space by using the ETM+ image(Ghulam<sup>[13]</sup>)

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{red} + MR_{nir})$$

式中,  $R_{red}$  和  $R_{nir}$  分别代表红光和近红外波段遥感数据,  $M$  代表根据红光 - 近红外二维光谱特征空间中对土壤点进行线性回归得到的土壤斜率。 $PDI$  的值在 0 ~ 1 之间, 值越大表示干旱程度越严重。

基于 HJ 卫星数据利用  $PDI$  对我国西南喀斯特地区进行过干旱监测, 实现了旱情变化的快速监测<sup>[14]</sup>; 基于 FY3A 数据利用  $PDI$  对内蒙古地区进行了干旱监测, 同时利用实测土壤水分数据进行验证, 得出了较好的监测效果<sup>[15]</sup>; 利用 MODIS 数据反演了  $PDI$ , 并将其应用到中国北方干旱区的干旱监测研究中, 结果显示  $PDI$  干旱指数获得的干旱分布状况和实际的干旱情况相一致<sup>[16]</sup>。这些研究表明,  $PDI$

由红光、近红外两个波段模型监测结果具有一定的可靠性和实用性, 该监测模型经过内蒙、贵州等实地验证具有较好的监测效果, 通过分析  $PDI$  与实际土壤相对湿度的关系, 结合研究区实际, 建立分级标准<sup>[15,17]</sup>, 表 2。

表 2  $PDI$ 、土壤相对湿度和干旱等级对应关系  
Table 2 Relationship between  $PDI$ , soil relative moisture and drought degree

| 干旱等级<br>Drought degree | 土壤相对湿度/%<br>Soil relative moisture | 垂直干旱指数<br>$PDI$ |
|------------------------|------------------------------------|-----------------|
| 正常 Normal              | > 75                               | < 0.25          |
| 轻度干旱 Light drought     | 45 ~ 75                            | 0.25 ~ 0.33     |
| 中度干旱 Medium drought    | 15 ~ 45                            | 0.33 ~ 0.40     |
| 重度干旱 Serious drought   | < 15                               | > 0.4           |

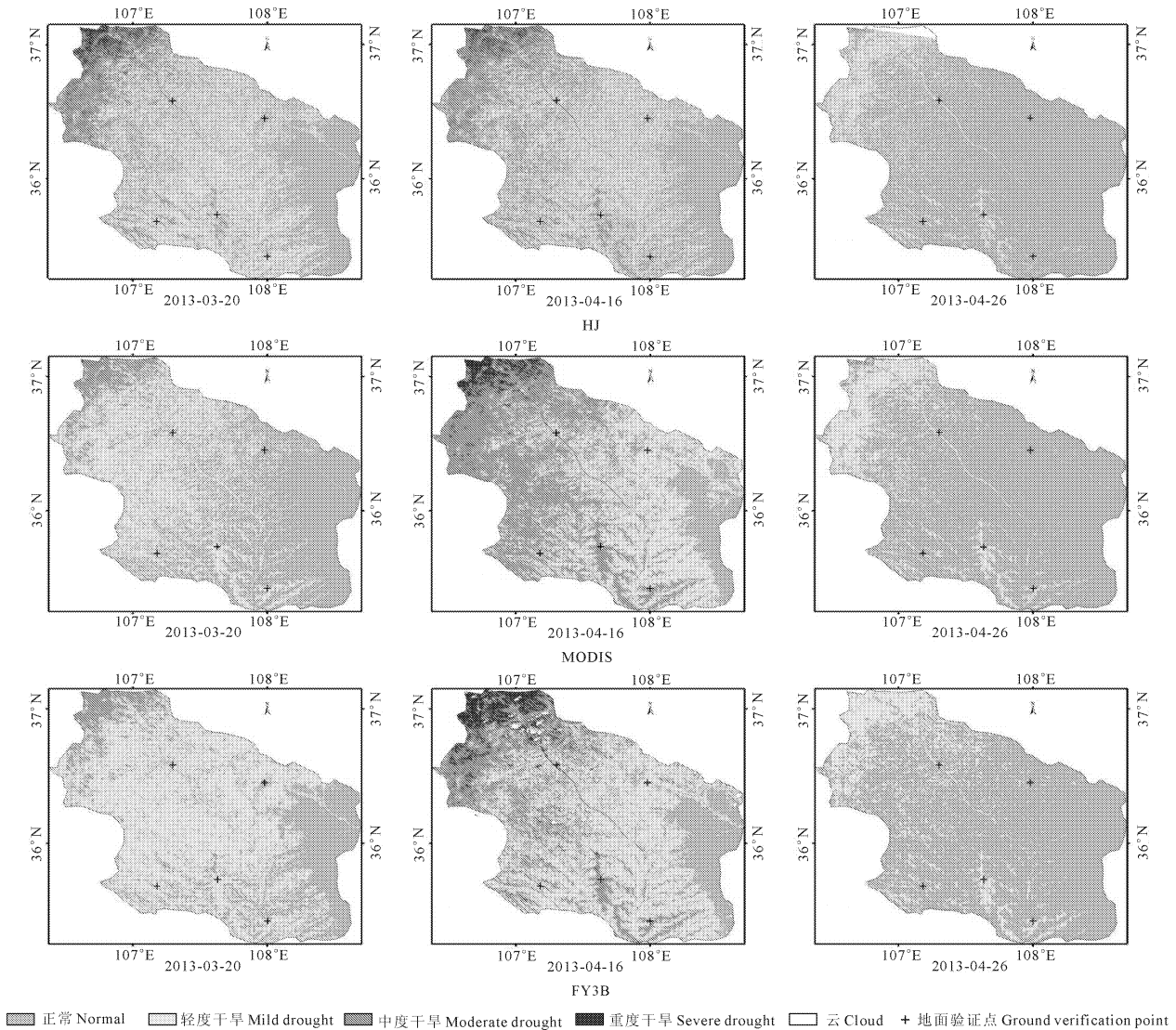


图 2 多源卫星数据  $PDI$  监测图  
Fig.2 The  $PDI$  monitoring charts by the multi-source satellite data

2 结果与分析

利用 *PDI* 干旱模型,首先分析研究区域遥感影像的红光-近红外反射率光谱二维散点图中裸地光谱反射率信息,确定 *M* 值,然后根据表 2 的干旱分级标准,对庆阳地区开展动态卫星遥感监测(图 2)。图中,整体上,受空间分辨率的影响,HJ 的 *PDI* 监测信息轮廓最清晰,地形对干旱的影响能真实准确的从图中反映出来。根据 2013 年 3 月 20 日土壤测墒及实地观测信息显示,庆阳市东部地区正常,中西部地区有旱情,特别是庆阳市北部环县地区中度干旱。图中 MODIS 的 *PDI* 监测信息与真实干旱情况最接近,HJ 与 FY3B 监测到的结果比实际偏重;2013 年 4 月 16 日土壤测墒及实地观测信息显示,庆阳市除东部少部分地区正常外,其余地区旱情较重,特别是北部环县大部有重旱;图中 MODIS 和 FY3B 的 *PDI* 监测信息与真实干旱情况比较接近,HJ 监测到的结果

比实际偏轻。根据甘肃省气象局 2013 年 4 月降水资料分析,庆阳全省 4 月 18—21 日有一次降水过程,自西向东降水量为 20~40 mm,庆阳地区旱情得到有效缓解,根据 2013 年 4 月 26 日土壤测墒及实地观测信息显示,庆阳市除了北部环县地区有轻旱外,其余地区正常,图中各遥感卫星监测到的 *PDI* 信息接近,与真实情况符合。综合分析各遥感卫星资料进行动态干旱监测时,干旱发展前期 HJ 与 FY3B 监测到的结果比实际偏重,MODIS 的 *PDI* 监测信息与真实干旱情况最接近;干旱发展后期,HJ 的 *PDI* 监测信息对干旱的效应性相对较差,MODIS 和 FY3B 的 *PDI* 监测信息与真实干旱情况比较接近;干旱得到缓解后,HJ、MODIS 和 FY3B 的 *PDI* 监测信息都能够真实的反映实际情况。

提取各遥感干旱监测中土壤相对湿度监测经纬度点的 *PDI* 值,建立 *PDI* 干旱与土壤相对湿度建立散点图,计算相关关系(图 3)。

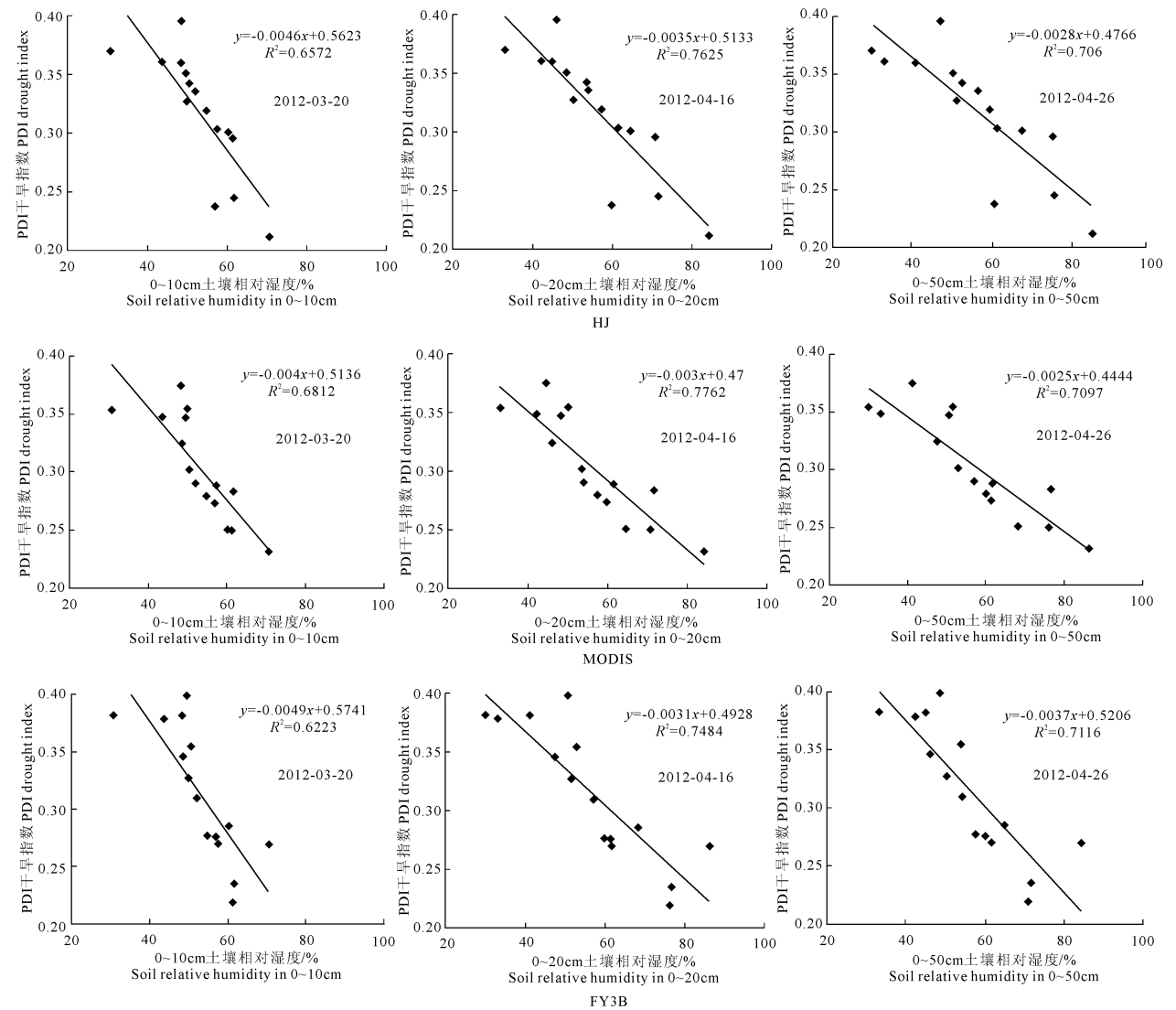


图 3 *PDI* 指数与土壤相对湿度散点图

Fig.3 The scattered charts of *PDI* index with the soil relative moisture

图中显示,整体上土壤相对湿度与各遥感卫星监测到的 *PDI* 指数呈负相关关系,  $R^2$  都在 0.62 以上,  $\alpha = 0.01$ 。0 ~ 20 cm 土壤相对湿度与 *PDI* 指数相关关系最高,  $R^2$  都在 0.74 以上, 0 ~ 50 cm 土壤相对湿度与 *PDI* 指数相关关系次之,  $R^2$  都在 0.70 以上, 0 ~ 10 cm 土壤相对湿度与 *PDI* 指数相关关系最低。分析其成因, 主要是由于 0 ~ 10 cm 深处, 受地表风速与气象条件影响较大, 而 20 cm 深处更接近作物根部, 对作物的生长影响比较大, 50 cm 深度虽然也接近作物根部, 毕竟可见光、近红外遥感测定是地表的反射特性, 因此该 20 cm 深度 *PDI* 与土壤相对湿度相关关系最稳定。各遥感卫星 *PDI* 指数与不同深度土壤相对湿度之间相关关系各不相同, MODIS 的 *PDI* 指数与 0 ~ 10 cm、0 ~ 20 cm 土壤相对湿度相关性最高, HJ 次之, FY3B 最低; FY3B 的 *PDI* 指数与 0 ~ 50 cm 土壤相对湿度相关性最高, MODIS 次之, HJ 最低。分析其成因, 主要是由于各遥感卫星传感本身的特性有关, 波谱范围各不相同, 另外各遥感卫星对研究区过境时间不一致, 过境时大气和地面状况也各不相同。

3 结论与讨论

1) 干旱发展前期 HJ 与 FY3B 监测到的结果比实际偏重, MODIS 的 *PDI* 监测信息与真实干旱情况最接近; 干旱发展后期, HJ 的 *PDI* 监测信息对干旱的效应性相对较差, MODIS 和 FY3B 的 *PDI* 监测信息与真实干旱情况接近; 干旱得到缓解后, HJ、MODIS 和 FY3B 的 *PDI* 监测信息都能够真实地反映实际情况。

2) 各遥感卫星监测到的 *PDI* 指数与土壤相对湿度呈显著负相关关系, 不同深度土壤相对湿度之间相关关系各不相同, 其中 0 ~ 20 cm 土壤相对湿度与 *PDI* 指数相关最高, 0 ~ 10 cm 土壤相对湿度与 *PDI* 指数相关最低。

本文基于一次干旱过程比较不同卫星传感器的干旱监测效果, 显得有些单薄, 在后续工作中可以综合利用多种数据源, 对不同季节的干旱过程进行分

析, 复合各种不同的反演模型来建立符合区域性特点的土壤水分反演算法, 进而提高土壤水分反演的精度。

参 考 文 献:

[1] 白力改, 燕 琴, 张 丽, 等. MODIS 干旱指数对华北干旱的敏感性分析[J]. 干旱区地理, 2012, 35(5): 708-716.

[2] 李杏朝, 董文敏. 利用遥感和 GIS 监测旱情的方法研究[J]. 遥感技术与应用, 1996, 11(3): 7-15.

[3] 李得勤, 段云霞, 张述文. 土壤湿度观测、模拟和估算研究[J]. 地球科学进展, 2012, 27(4): 424-434.

[4] 师春香, 谢正辉, 钱 辉, 等. 基于卫星遥感资料的中国区域土壤湿度 EnKF 数据同化[J]. 中国科学·地球科学, 2001, 41(3): 375-385.

[5] 陈书林, 刘元波, 温作民. 卫星遥感反演土壤水分研究综述[J]. 地球科学进展, 2012, 27(11): 1192-1203.

[6] 张霄羽, 王 娇. 风云二号静止气象卫星数据估算土壤表面水分方法研究[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(7): 882-887.

[7] 伍漫春, 丁建丽, 王高峰. 基于地表温度-植被指数特征空间的区域土壤水分反演[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 148-154.

[8] 张友静, 王军战, 鲍艳松. 多源遥感数据反演土壤水分方法[J]. 水科学进展, 2010, 21(2): 222-228.

[9] 杨绍镔, 闫娜娜, 吴炳方. 农业干旱遥感监测研究进展[J]. 遥感信息, 2010, (1): 103-109.

[10] 张 强, 张 良, 崔显成, 等. 干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战[J]. 地球科学进展, 2011, 26(7): 763-778.

[11] 杨 波, 马 苏, 王彬武. 基于 MODIS 的湖南省农业干旱监测模型[J]. 自然资源学报, 2012, 27(10): 1788-1796.

[12] 詹志明, 秦其明, 阿布都瓦斯提·吾拉木, 等. 基于 NIR-Red 光谱特征空间的土壤水分监测新方法[J]. 中国科学 D 辑, 2006, 36(11): 1020-1026.

[13] 阿布都瓦斯提·吾拉木. 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.

[14] 冯海霞, 秦其明, 蒋洪波, 等. 基于 HJ-1A/1B CCD 数据的干旱监测[J]. 农业工程学报, 2011, 27(13): 358-365.

[15] 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, 14(5): 1010-1016.

[16] Qin N, Ghulam A, Zhu L, et al. Evaluation of MODIS derived perpendicular drought index for Estimation of surface dryness over north-western China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 26(16): 1-13.

[17] 张学艺, 李剑萍, 秦其明, 等. 几种干旱监测模型在宁夏的对比应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 18-24.