

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, [LI Feng, ZHAO Yujin, ZHAO Hong, et al. Application of FY-3A/MERSI Satellite Data on Crop Drought Monitoring in Shandong Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(1): 17-22], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0017

FY-3A/MERSI 数据在山东省 农田干旱监测中的应用

李峰,赵玉金,赵红,崔晓飞

(山东省气候中心,山东 济南 250031)

摘要:干旱是影响社会发展和农业生产的主要气象灾害之一。利用中国新一代极轨气象卫星 FY-3A 上搭载的 250 m 中分辨率光谱成像仪(MERSI)数据,基于垂直干旱指数(PDI),结合山东省旱情统计数据,建立了适合山东省的 PDI 干旱指数分级标准,在此基础上对山东省 2010~2011 年秋冬季的干旱状况进行了监测,并将监测结果与同期的降水、温度和干旱监测资料以及 19 个国家级农气站的土壤相对湿度资料进行对比分析。结果表明:基于 FY-3A/MERSI 250 m 分辨率卫星资料计算的 PDI 能够客观反映山东省旱情的空间分布和动态发展过程。PDI 与对应实地观测的 10 cm、20 cm 土壤相对湿度之间有较好的负相关性,且 20 cm 的土壤相对湿度较 10 cm 的土壤相对湿度与 PDI 的相关关系更稳定。因此,利用 FY-3A/MERSI 卫星资料监测山东省干旱状况具有可行性,适于在干旱监测业务中推广应用。

关键词: FY-3A/MERSI 数据;垂直干旱指数(PDI);土壤相对湿度;山东省

文章编号: 1006-7639(2014)-01-0017-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0017

中图分类号: S423

文献标识码: A

引言

干旱是我国主要的自然灾害之一,不仅会使农业受灾,还会影响到工业生产、城市供水等。此外,干旱还会对生态系统和环境造成极大破坏,导致植被覆盖率减少,自然绿洲萎缩,草场退化,土地沙漠化严重等诸多不利影响^[1-4]。山东省属典型的暖温带季风气候,四季分明,受季风影响极大,属水资源短缺省份,有“十年九旱”之说。2010~2011 年秋冬季期间(11 月至次年 2 月),山东省出现严重的秋冬连旱天气,特别是从鲁南到鲁北、半岛到内陆、山区到平原同时遭遇干旱情况是历史上罕见的,其中以鲁南、鲁中和半岛地区最为严重。此次干旱过程是自 1951 年山东省有气象水文纪录以来无有效降水持续时间最长、覆盖范围最大的干旱,创下了新中国成立以来同期之最,对生态环境和经济发展都造成极大的危害^[5-7]。因此,如何及时、有效、准确地监测干旱已成为当前亟待解决的问题。

遥感具有覆盖范围广、空间分辨率高、重访周期短、数据获取快捷方便等优点。与地面观测相比,借助遥感技术进行大范围旱情动态监测具有一定的优势^[8]。由于农田干旱在遥感影像上呈现出独特的光谱特征,自 20 世纪 70 年代以来,众多学者从可见光—近红外^[9-10]、热红外^[11-12]和微波^[13-14]波段中提取能够表征农田生态特征的遥感信息,构建了大量的基于多维光谱特征空间的干旱遥感监测模型,为大面积干旱监测提供了有效的方法。

我国第二代极轨气象卫星风云三号(FY-3A)共搭载了 11 个传感器,其中的中分辨率成像仪(MERSI)具有 5 个 250 m 分辨率通道和 15 个 1 km 分辨率通道。与 NOAA/AVHRR 和 EOS/MODIS 相比,具有更加精细的地物观测能力,为干旱的监测提供了新的遥感数据源,干旱监测的空间分辨率可达到 250 m^[15]。国内部分研究者利用 FY-3A/MERSI 数据开展了干旱监测的研

收稿日期:2013-01-10;改回日期:2013-07-01

基金项目:山东省气象局重点课题(2008sdqxz06)和国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306046)共同资助

作者简介:李峰(1981-),男,汉族,山东聊城人,工程师,主要从事生态环境遥感技术应用研究。E-mail:lfeng1029@163.com

究。如,朱琳等^[16]利用 FY-3A/MERSI 数据反演了垂直干旱指数 *PDI* (Perpendicular Drought Index), 并将其应用到内蒙古自治区的干旱监测研究中, 获得的干旱分布状况和实际干旱情况基本一致; 王颖等^[17]利用 FY-3A/MERSI 数据, 基于植被供水指数 *VSWI* (Vegetation Supply Water Index) 对重庆地区伏旱进行监测, 结果表明: FY-3A/MERSI 数据能够客观反映重庆地区旱情的空间分布和动态发展过程; 李爽等^[18]运用反演土壤水分的表观热惯量模型, 基于 FY-3A/MERSI 数据反演了辽西地区春季土壤水分状况, 经检验在 0~20 cm 土层内具有较高的精度; 向大享等^[19]选用温度植被干旱指数对 FY-3A/MERSI 和 MODIS 数据进行对比监测, 并分析了监测结果的相对精度。以上研究都实现了利用 FY-3A/MERSI 数据对大面积干旱的有效监测。*PDI* 具有明确的生物物理意义, 且简单易用^[20-21]。在实际应用中, 仅从光谱特征空间 NIR-RED 就可以快速实现对农田干旱进行有效监测和评估, 主要适用于裸地和稀疏植被覆盖区^[16,22-23]。此次秋冬连旱主要发生在 11 月至次年 2 月期间, 此时段山东省除少量常绿植被, 其他植被均已落叶, 而冬小麦普遍处于越冬期, 地表以低植被覆盖为主。因此本文在前人研究的基础上, 基于 FY-3A/MERSI 数据, 采用 *PDI* 对山东省 2010~2011 年的秋冬季连旱状况进行了遥感监测和效果分析, 为动态监测和防治干旱提供科学依据。

1 研究区概述

山东省地处中国东部沿海、黄河下游, 东临黄海、北滨渤海, 全省包括半岛和内陆 2 部分。地理位置介于 114°47'E~122°43'E、34°22'N~38°24'N, 属于典型的暖温带季风气候。该区域年平均气温 11~14℃, 年平均日照时数 2 200~2 800 h, 年平均降水量 600~750 mm。然而, 降水量时空分布极不均匀, 夏季降水量约占全年的 60%~70%, 且年际变化大, 存在明显的丰水和枯水年; 降水量具有从东南沿海向鲁西北内陆逐渐递减的空间特征。降水量的时空不均使得这里几乎每年都会有不同程度的干旱发生, 尤其以秋冬季最为严重。

2 数据及处理

本研究使用的 FY-3A/MERSI 原始数据来自山东省气象局, 该数据采用 HDF5 文件格式, 时间为 2010 年 11 月至 2011 年 3 月。通过中国

气象局星地通公司开发的处理软件, 实现了 MERSI 数据的多通道定标、定位、投影转换、裁剪和大气校正等, 生成空间分辨率为 250 m 的 LD3 格式数据集。

另外, 为了便于地面验证分析, 收集和整理了山东省 19 个国家级农气站同时段内 2010-11-18、2010-11-28、2010-12-08、2011-02-23、2011-03-03 的 10 cm 和 20 cm 农田土壤相对湿度数据。此外, 还收集了研究时段内山东省逐日降雨量和气温资料。

3 研究方法

3.1 垂直干旱指数 (*PDI*)

垂直干旱指数 (*PDI*) 是区域土壤含水量和植被含水量空间分布状况的综合反映, 具有比较明确的生物物理意义, 能够反映地表覆盖、水热组合及其变化, 该指数简单实用, 易于操作和获取^[20-21]。其数学表达式如下^[19]:

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{RED} + MR_{NIR}) \quad (1)$$

式(1)中, R_{RED} 和 R_{NIR} 分别为红光和近红外波段的反射率, M 为红光-近红外光谱特征空间中对土壤点进行线性回归得到的土壤线斜率。*PDI* 的值在 0~1 之间, 且值越大, 表示干旱程度越严重, 越小表示水分胁迫越少。 M 值的确定是计算 *PDI* 的关键步骤, 可根据山东省主要农作物产区的不同土壤类型, 通过分析研究区域内的裸地反射率信息, 找出近似纯裸土像元, 据此进行线性回归, 提取出土壤线斜率, 如表 1 所示。

3.2 *PDI* 干旱指数分级

通过分析 *PDI* 和实际的土壤相对湿度的关系, 参考已有的 *PDI* 干旱指数分级研究^[16,22], 并结合山东省的旱情统计数据, 建立了适合山东省的分级标准。表 2 给出了 *PDI*、土壤相对湿度和干旱等级间的对应关系。

表 1 山东省主要的土壤类型及土壤线斜率

Tab. 1 Types of main soil and slopes of soil line in Shandong Province

土壤类型	土壤线斜率	分布区域
潮土	0.89	鲁北地区
褐土	0.78	鲁中、鲁南地区
棕壤	1.03	半岛地区

表 2 PDI、土壤相对湿度和干旱等级间的对应关系

Tab. 2 Relationship between PDI and relative soil moisture, drought grade

PDI	土壤相对湿度 ($R/\%$)	干旱等级
<0.28	$R > 60$	正常
$0.28 \sim 0.31$	$50 < R \leq 60$	轻度干旱
$0.31 \sim 0.34$	$40 < R \leq 50$	中度干旱
≥ 0.34	$R \leq 40$	重度干旱

4 结果与分析

4.1 干旱监测结果分析

为了验证基于 FY-3A/MERSI 数据的 PDI 干旱监测指数在山东省干旱监测中的应用效果,选取了覆盖山东省的 2010-11-18、2010-12-05、2011-02-21 及 2011-03-04 共 4 个时次的 FY-3A/MERSI 数据。遥感数据时间上选择的依据主要考虑以下 2 个因素^[16]: (1) 在所选的 4 个时间点, 研究区晴朗干燥少云且与测墒时间相近的遥感影像进行多天合成, 以消除空间定位误差的影响。由于受云的影响较小, 故在数据预处理时略去了云检测的步骤; (2) 2010 年 10 月份以来, 随着降水量的减少, 山东省开始进入干旱阶段, 因而所选的第 1 个时间点(2010-11-18)能够反映出旱情初期时的情况。

2010 年 12 月至 2011 年 2 月, 山东省的降雨量持续减少, 地表温度持续偏高, 所选的第 2、3 个时间点(2010-12-05、2011-02-21)能够反映旱情发生的严重程度。在第 4 个时次前(2011-03-04), 山东省各地有不同程度的降水, 此时的 PDI 便于对干旱程度变化的敏感性分析。

利用 PDI 方法和本文提出的干旱分级标准, 对选取的 2010-11-18(图 1a)、2010-12-05(图 1b)、2011-02-21(图 1c)、2011-03-04(图 1d) 4 个时次的 FY-3A/MERSI 数据进行处理分析, 得到了此次秋冬季连旱期间的干旱状况空间分布及演变过程(图 1 和表 3)。

图 1 和表 3 清晰地反映了 2010~2011 年山东省秋冬季连旱期间, 从旱情发生(图 1a)—旱情加重(图 1b)—旱情持续(图 1c)—旱情缓解(图 1d)的演变过程。2010 年 11 月中旬, 除了鲁中、半岛和鲁南部分地区有旱情发生外, 其他地区墒情较好(图 1a); 12 月上旬, 全省 PDI 值明显升高, 大面积区域处于轻旱状态, 部分地区已呈现重旱(图 1b); 2011 年 2 月中旬, PDI 持续走高, 旱情从鲁南、鲁中和半岛地区蔓延到鲁北等地区, 部分地区的重旱进一步加剧(图 1c); 3 月上旬, 全省出现了大范围降水天气过程, 此时 PDI 值有所回落, 旱情逐步解除。

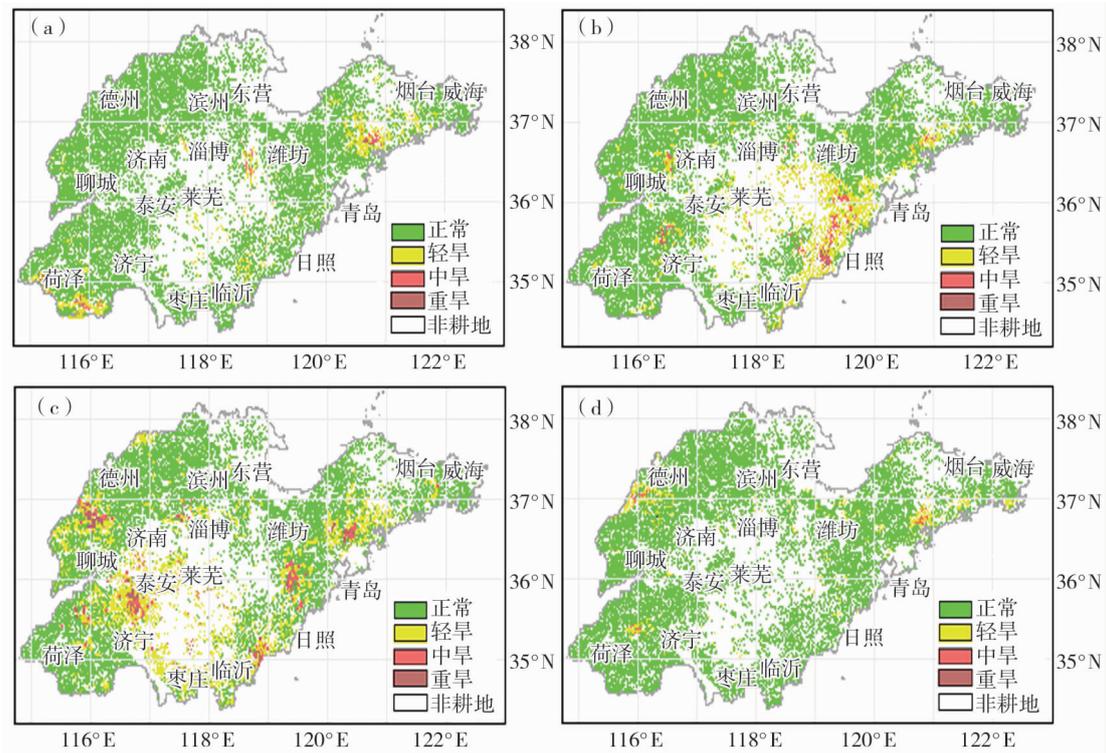


图 1 山东省遥感干旱监测图

Fig. 1 Drought monitoring by RS in Shandong Province

表 3 不同程度受旱面积及分布区域统计(单位: 10^3hm^2)Tab.3 The drought area with different levels and their spatial distribution (Unit: 10^3hm^2)

时间	轻旱	中旱	重旱	主要发生区域
2010-11-18	367	53	17	鲁中、鲁南和半岛部分地区
2010-12-05	753	133	67	鲁中、鲁南大部地区
2011-02-21	1 203	317	157	全省大部地区
2011-03-04	237	27	10	鲁西北、半岛部分地区

降水 and 气温资料显示,2010年9月21日至2011年2月24日,全省平均降水量18.6 mm,较常年偏少79.4%,是1951年以来同期最少值。与常年同期相比,鲁西北局部、鲁南、鲁中和半岛的部分地区偏少9成以上;全省平均气温为5.3℃,较常年同期偏高0.2℃。气温偏高,加之无积雪覆盖,加速了土壤失墒,麦区出现不同厚度的干土层,部分地区干土层达10 cm以上,严重地区出现土地干裂,对农作物影响极大。

20 cm 农田土壤墒情监测资料显示(图2),

2010年11月中旬山东省旱情以轻旱为主,主要分布在鲁南、半岛部分地区及鲁中局部地区(图2a);12月上旬,山东省大部地区农田表墒较差,旱情发展较快,旱情主要分布在鲁南、半岛、鲁中等地(图2b);2011年2月中旬(图2c),鲁南、鲁中、鲁西北及半岛部分地区土壤相对湿度在60%以下,其中部分地区在40%以下,旱情进一步加重;3月上旬(图2d),随着全省出现的大范围降水过程,全省大部地区农田墒情适宜,仅鲁西北、鲁中及半岛的局部地区存在旱情。

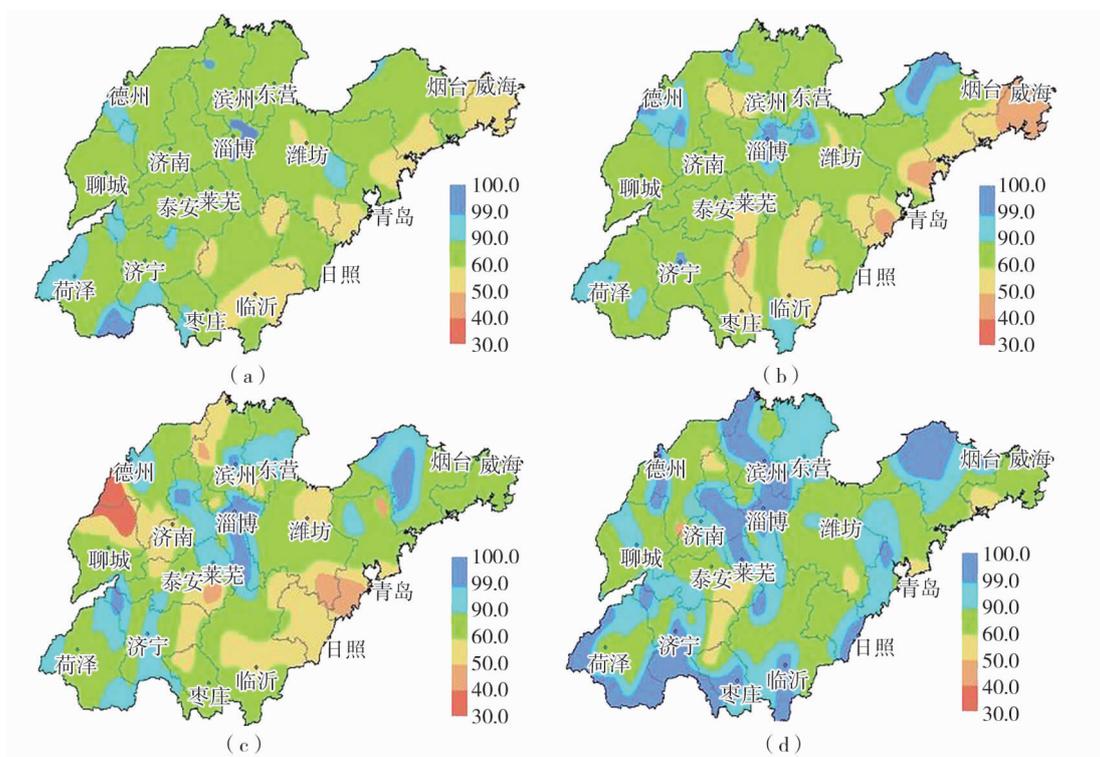


图 2 山东省 20 cm 农田土壤相对湿度分布图(单位:%)

Fig.2 Spatial distribution of the relative soil moisture below 20 cm in Shandong province (Unit:%)

综上所述,遥感干旱监测和地面墒情监测的结果比较吻合。因此,利用FY-3A/MERSI 时序遥感影像计算的PDI,不仅能够给出山东省干旱空间分

布状况,还能较好地反映干旱动态演变。

4.2 干旱遥感监测精度检验

干旱与土壤水分含量密切相关,建立PDI和实

测的土壤水分含量之间的关系是验证干旱监测结果最直接的方法。因此,将上述4个时次的FY-3A/MERSI数据的PDI与实测的10 cm、20 cm土壤相对湿度进行相关分析(表4)。可以看出,PDI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,均通过0.01的显著性检验。此外,20 cm的土壤相对湿度与PDI相关度更高,这是由于10 cm深度的土壤水分易受到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^[16,22,24]。

表4 PDI与土壤相对湿度的相关系数

Tab.4 Relationships between PDI and relative soil moisture

时间	10 cm 土层	20 cm 土层
2010-11-18	-0.487**	-0.510**
2010-12-05	-0.561**	-0.609**
2011-02-21	-0.445**	-0.476**
2011-03-04	-0.437**	-0.523**

注: ** 通过0.01 信度检验

5 结论与讨论

(1)利用FY-3A/MERSI数据和PDI干旱指数对山东省进行了干旱监测,建立了针对山东省干旱灾害的PDI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,PDI干旱指数能较好地反映山东省干旱的分布状况和旱情发展趋势。另外,PDI与实测的10 cm、20 cm土壤相对湿度之间有较好的负相关关系,且与20 cm深度的土壤相对湿度相关性最好。可见,利用FY-3A/MERSI卫星资料监测山东省干旱状况具有可行性,且资料容易获取、时效性强,适于在山东省干旱监测业务中推广应用。

(2)山东省下垫面较复杂,由于FY-3A/MERSI数据的空间分辨率较低,直接和地面点的数据进行验证存在尺度变化和混合像元的偏差,这可能是导致干旱监测误差的原因之一。

(3)FY-3A卫星发射时间较短,数据资料有限,本文仅通过分析一次干旱过程而获得的结果可能存在片面性,这需要通过长期监测来完善已有的干旱监测模型,使之更精确地应用到实际业务中。另外,还应积极探索其他遥感干旱监测模型在山东

省的应用,这也是今后的研究重点。

参考文献:

- [1] 祁海霞,智协飞,白永清. 中国干旱发生频率的年代际变化特征及趋势分析[J]. 大气科学学报,2011,34(4):447-455.
- [2] 王劲松,李耀辉,王润元,等. 我国气象干旱研究进展评述[J]. 干旱气象,2012,30(4):497-508.
- [3] 徐国昌. 干旱减灾问题的回顾与思考[J]. 干旱气象,2012,30(4):489-496.
- [4] 李怀川,叶子祥,余贞寿,等. 浙江乐清市旱情时空分布特征分析[J]. 干旱气象,2012,30(2):182-185.
- [5] 石春玲,李峰,孟祥新,等. 山东省2010~2011年秋冬连旱特征及成因[J]. 干旱气象,2012,30(3):323-326.
- [6] 王素萍,王劲松,冯建英. 2010年秋季全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象,2010,28(4):499-505.
- [7] 段海霞,王素萍,冯建英. 2011年全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象,2012,30(1):136-147.
- [8] 郑有飞,徐芳,詹习武,等. 基于AMSR-E数据的被动微波遥感干旱指数研究[J]. 大气科学学报,2009,32(2):189-195.
- [9] Kaufman Y J, Tanre D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS[J]. Geoscience and Remote Sensing, 1992,30(2):261-270.
- [10] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection[J]. Advanced Space Research, 1995, 15:91-100.
- [11] 余涛,田国良. 热惯量法在监测土壤表层水分变化中的研究[J]. 遥感学报,1997,1(1):24-32.
- [12] 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.
- [13] 张钟军,孙国清,朱启疆. 植被层对被动微波遥感土壤水分反演影响的研究[J]. 遥感学报,2004,8(3):207-213.
- [14] Njoku E G, Li L. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6-18 GHz[J]. Geoscience and Remote Sensing, 1999,37(1):79-93.
- [15] 杨军,董超华,卢乃锰,等. 中国新一代极轨气象卫星-风云三号[J]. 气象学报,2009,67(4):501-509.
- [16] 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.
- [17] 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]. 现代农业科学,2011(10):271-274.
- [18] 李爽,李国春. 应用FY-3A/MERSI数据反演土壤水分的研究[J]. 现代农业科技,2011(10):261-264.
- [19] 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):334-338.
- [20] 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.
- [21] Ghulam A, Qin Q M, Zhan Z M. Designing of the perpendicular drought index[J]. Environmental Geology, 2007,52(6):1045-1052.
- [22] Qin Q, Ghulam A, Zhu L, et al. Evaluation of MODIS derived

perpendicular drought index for estimation of surface dryness over northwestern China[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008,29(7):1983 - 1995.

[23] 温奇,范一大,陈世荣,等. 环境减灾卫星数据在旱灾预警监测

中的应用[J]. *遥感技术与应用*,2012,27(4):591 - 599.

[24] 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.

Application of FY - 3A/MERSI Satellite Data on Crop Drought Monitoring in Shandong Province

LI Feng, ZHAO Yujin, ZHAO Hong, CUI Xiaofei

(*Shandong Provincial Climate Center, Ji'nan 250031, China*)

Abstract: At present, drought is one of the important meteorological hazards on agriculture production and society development. As a big agricultural province in China, Shandong has a great vulnerability to drought. Based on the Medium Resolution Spectral Imager (MERSI) data with 250 m spatial resolution carried on the new Generation Polar - Orbiting Meteorological Satellite of China (FY - 3A) and the drought statistical data by using the Perpendicular Drought Index (*PDI*), the grading standard of *PDI* were established, which is more suitable for drought monitoring in Shandong Province. On this basis, the drought of Shandong Province from the autumn 2010 to the winter 2011 was monitored. In addition, the data of the rainfall, temperature, drought monitoring information and soil moisture obtained at 19 national agro - meteorological monitoring stations were used to verify the precision monitored by *PDI*. The results show that the *PDI* obtained by FY - 3A/MERSI satellite data was able to objectively reflect the spatial distribution and dynamic developing process of drought in Shandong Province. *PDI* had significant negative correlation with the relative soil moisture under 10 cm and 20 cm depth, and the correlation with the relative soil moisture of 20 cm depth was more stable than that of 10 cm depth. Therefore, the drought monitoring in Shandong Province based on FY - 3A/MERSI satellite data was feasible, and it was suitable to widespread application in drought monitoring operation.

Key words: FY - 3A/MERSI satellite data; perpendicular drought index; the relative soil moisture; Shandong Province