

TM 与 MODIS 植被供水指数反演及对比分析

曹广真¹, 侯 鹏², 范锦龙¹, 杨 曦²

(1. 中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室, 国家卫星气象中心, 北京 100081;

2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要:为了探讨多源卫星遥感数据针对同一地区同一时刻旱情所得植被供水指数的差异, 选择我国华北地区旱灾发生频率较高、影响较广的河北地区为研究区, 针对近年来干旱监测应用较为广泛的 Landsat TM/ETM+ 和 EOS MODIS 数据, 分别进行植被供水指数的提取, 并进行两者之间的对比分析, 得出以下结论: ① TM VSWI (Vegetation Supply Water Index) 与 MODIS VSWI 之间数值上存在一定的差别, 变化范围在 $-0.51 \sim 0.20$ 之间。其中负值主要集中在城镇、裸地及水体地表; ② 在植被覆盖区, TM 的平均 VSWI 大于 MODIS 的, 但两者差别不大; ③ 在各种植被覆盖度条件下, TM VSWI 与 MODIS VSWI 差值的最小值、最大值和均值均表现出随着植被覆盖度的增加, 其值逐渐增大的特点。该结论可以为两种遥感数据源干旱监测的差异分析及综合应用提供重要的参考依据。

关键词: 植被供水指数; TM; MODIS

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2010)01-0063-06

1 引言

干旱是中国农业的一大威胁, 在各种自然灾害造成的损失中列为首位, 尤其随着全球变暖的影响, 干旱的多发性和广泛性更加备受关注, 发生在 2009 年 1 月份的全国大范围的干旱就说明了这一现象。干旱发生的变化对传统的干旱监测手段提出挑战, 使得主要利用地面观测点的降水量、土壤墒情和其它气象资料间接判断旱情的方法受到数据获取、数据代表性、费用以及方法的适应性等诸多方面的限制。而遥感快速、大范围、动态的观测优势使其逐渐成为干旱监测的一种趋势, 尤其是随着多光谱、多时相、多平台等多源卫星遥感的发展。目前国内运用比较成熟的遥感干旱监测模型主要有土壤热惯量模式和植被指数模式。土壤热惯量模式是利用卫星昼夜 2 次探测资料, 从而算出土壤的湿度, 但该模式只适用于裸露下垫面或植被覆盖很低的下垫面。植被指数模式主要包括距平植被指数法和植被供水指数法。其中, 植被供水指数法适合于高植被覆盖情况下的土壤水分监测, 由于该方法获取资料容易, 时效

性强, 且物理意义明确, 是进行大范围旱情监测的有效和常用方法^[1]。

目前, 应用于植被指数反演及农业旱情监测的遥感数据不仅包括空间分辨率高、时间分辨率低的 Landsat TM/ETM+^[2], 还包括空间分辨率低, 但时间分辨率高的极轨气象卫星数据, 如 FY-1D、NO-AA AVHRR、EOS MODIS 等^[3-5]。如此众多的数据针对同一地区同一时刻的旱情所得的植被供水指数有无差别、差别的大小等问题直接决定了对旱情等级的划分以及旱情的预测、预报和防治。

本文选择我国华北地区旱灾发生频率较高、影响较广的河北地区为研究区, 针对近年来干旱监测应用较为广泛的 Landsat TM/ETM+ 和 EOS MODIS 数据, 分别进行植被供水指数的提取, 并进行两者之间的对比分析, 为两种遥感数据源干旱监测的差异分析及综合应用提供重要的参考依据。

2 研究区及数据源

研究区位于华北地区河北省沧州市、廊坊市以及保定市交界处, 该地区西南部是著名的白洋淀, 丰

富的水源给该区农业的发展提供了良好的条件,是河北省主要的农产区之一。研究区概况如图 1 所示。

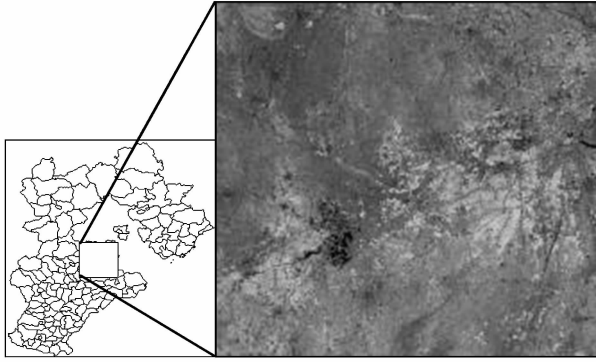


图 1 研究区概况图 (Landsat TM543RGB)

Fig. 1 Sketch of study region (Landsat TM543RGB)

所用数据源主要是 Landsat TM 和 EOS MODIS。Landsat TM 选择了 2004 年 9 月 8 日的多光谱和热红外波段数据,可见光、近红外通道空间分辨率 30 m,热红外通道空间分辨率 120 m。EOS MODIS 选择了 2004 年 9 月 8 日白天的 EOS MODIS 大气水汽含量产品、地表反射率产品及地表温度产品;其中,地表反射率产品空间分辨率为 250 m,大气水汽含量产品和地表温度产品空间分辨率 1 km。为了使不同遥感数据之间空间上相互匹配,以 Landsat TM 红外通道数据为基准,对其它数据进行了几何校正,其中空间插值采用了双线性法。

3 参数反演方法

3.1 植被供水指数反演

植被供水指数 (Vegetation Supply Water Index, VSWI) 干旱监测模型是以植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 和作物冠层温度 (Land Surface Temperature, LST) 为因子,综合考虑了上述两种干旱监测指标,定义为^[6]:

$$VSWI = B * \frac{NDVI}{LST} \quad (1)$$

其中: B 为图像增强系数。VSWI 的物理意义是:当作物供水正常时,卫星遥感的植被指数在一定的生长期保持一定的范围,而卫星遥感的作物冠层温度也保持一定的范围,如果遇到干旱,作物供水不足,一方面作物的生长受到影响,卫星遥感的植被指数将降低;另一方面作物的冠层温度将会升高。因此,利用植被供水指数可较好地监测生长季干旱动态。

3.2 植被指数反演

归一化植被指数 NDVI 定义为近红外波段与可

见光红波段数值之差和这两个数值之和的比值,是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子,应用最为广泛。计算公式为:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (2)$$

其中: ρ_{NIR} 为近红外波段反射率, ρ_R 为红波段反射率。对于 Landsat TM 遥感数据, ρ_{NIR} 和 ρ_R 分别对应其第 4 和第 3 波段的反射率,本文通过对相应波段的大气校正获得。对于 EOS MODIS, ρ_{NIR} 与 ρ_R 分别对应其第 2 和第 1 波段的反射率,采用了其官方网站发布的反射率产品。

3.3 陆表温度反演

本文 Landsat TM 陆表温度的反演采用了 Jiménez-Muñoz 算法实现,而 EOS MODIS 的陆表温度则直接采用了其官方网站发布的日产品。

针对 Landsat TM 对于单通道红外遥感陆表温度的反演算法主要有 3 种,即大气校正法、覃志豪算法和 Jiménez-Muñoz 算法^[7]。覃志豪算法至少需要地表比辐射率、大气透过率和大气平均作用温度等 3 个参数,而 Jiménez-Muñoz 算法仅需要输入地表比辐射率和大气水汽含量等两个参数,得到了较为广泛的使用。本文即采用了 Jiménez-Muñoz 和 Sobrino^[8]于 2003 年提出的具有普适性的热红外遥感地表温度反演的单窗方法,计算公式为:

$$\begin{cases} T_{surface} = \gamma[\epsilon^{-1}(\phi_1 L_{sensor} + \phi_2) + \phi_3] + \delta \\ \gamma = \left[\frac{c_2 L_{sensor}}{T_{sensor}^2} \left(\frac{\lambda_e^4}{c_1} L_{sensor} + \lambda_e^{-1} \right) \right]^{-1} \\ \delta = -\gamma L_{sensor} + T_{sensor} \end{cases} \quad (3)$$

其中: ϵ 为地表比辐射率; L_{sensor} 为星上辐射率 ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$)^[9]; T_{sensor} 为星上亮度温度 (K)^[9]; λ 为有效波长,对于 Landsat TM6 波段为 $11.475 \mu m$; c_1 和 c_2 为大气参数,分别为 $1.19104 \times 10^8 \mu m^4 \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ 和 $14387.7 \mu m \cdot K$ 。大气参数 ϕ_1 、 ϕ_2 和 ϕ_3 是大气水汽含量 (w) 的函数,针对 TM6 波段的 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 计算公式为:

$$\begin{cases} \phi_1 = 0.14714w^2 - 0.15583w + 1.1234 \\ \phi_2 = -1.1836w^2 - 0.37607w - 0.52894 \\ \phi_3 = -0.045546w^2 + 1.8719w - 0.39071 \end{cases} \quad (4)$$

针对常用的基于 NDVI 的地表比辐射率估算方法的不足,本文在地表比辐射率计算过程中,采用了混合像元法,即考虑了研究区不同的下垫面类型,又考虑了同一下垫面类型中不同地物的比例。其中下垫面类型的获取运用决策树分类模型,综合考虑地物在 TM 遥感影像中的光谱特征和植被指数特征,所

得研究区地物分类的总体精度为 89.79%,Kappa 系数为 0.8598,为地表比辐射率和地表温度反演的准确性提供了较好前提,所采用的地表信息分类决策树模型及分类结果分别如图 2 和图 3 所示。

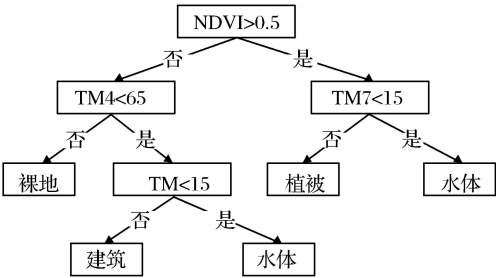


图 2 地表信息分类提取的决策树模型
Fig. 2 Decision tree of classification of land surface

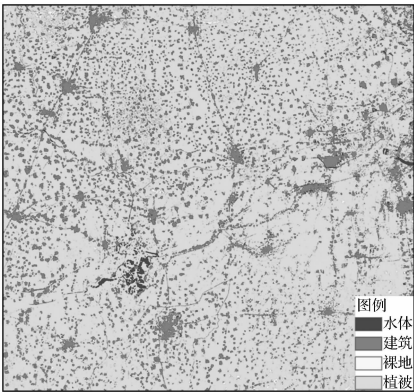


图 3 地表分类结果图
Fig. 3 Classification of land surface

大气水汽含量通常采用 MODTRAN、6S 等大气辐射传输模型进行估算。一方面,模拟水汽含量仅是一个点数据,难以反映其空间分布特征;另一方面,模拟过程中的输入参数为标准大气参数,而非卫星过境时的真实大气条件,也给地表温度反演带来一定的误差。因此,本文陆表温度反演过程中,采用了研究区对应时间的 EOS MODIS 大气水汽含量产品,获取了与 Landsat TM 准同步的面尺度的大气水汽含量信息。

以上算法的具体步骤可参见文献[10]。

4 植被供水指数反演实验

将以上反演所得的 Landsat TM 及 EOS MODIS 的 NDVI、LST 参数分别代入公式(1)即可分别得到对应的 VSWI。

4.1 Landsat TM 植被供水指数反演实验

利用研究区 2004 年 9 月 8 日获取的 Landsat TM 遥感影像反演所得的 NDVI、LST 和 VSWI 分别如图 4、图 5 和图 6 所示,从图 4 可以看出,城镇、裸地和水体表现出较低的 NDVI,最低仅有一-0.81,而植被覆盖区的 NDVI 较高,图 6 中的 VSWI 则表现出与之相似的变化趋势。而 LST 则表现为城镇、裸地地区较高,植被和水体覆盖区较低的特征,主要是由于水的热传导性较强,水面不易积聚热量而使表面温度相对较低。

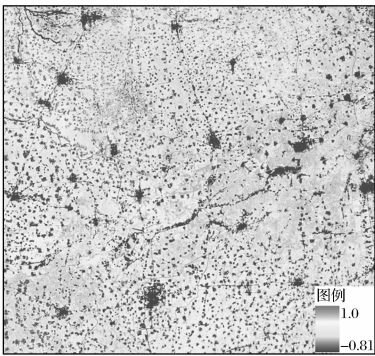


图 4 TM NDVI 反演结果
Fig. 4 NDVI retrieved from TM

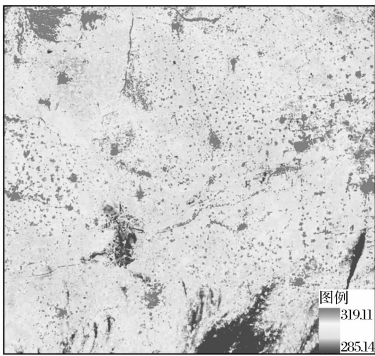


图 5 TM LST 反演结果
Fig. 5 LST retrieved from TM

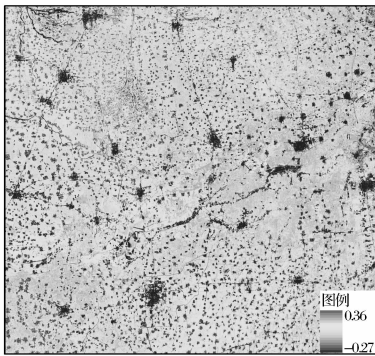


图 6 TM VSWI 反演结果
Fig. 6 VSWI retrieved from TM

4.2 EOS MODIS 植被供水指数反演实验

研究区 2004 年 9 月 8 日 EOS MODIS 遥感影像反演所得的 NDVI、LST 和 VSWI 分别如图 7、图 8 和图 9 所示,表现出如图 4、图 5 和图 6 相似的变化趋势,只是监测的数值范围稍有差异。MODIS 所得 NDVI 最小值(0.17)远远大于 TM 的最小值

(-0.81),而前者最大值(0.88)比后者略小(1);MODIS 所得 LST 最小值(295.16 K)大于 TM 的最小值(285.14 K),而前者最大值(307.04 K)比后者亦略小(309.11 K);可能正是由于两者 NDVI 与 LST 反演结果的这种差异特征,使得由两者所得的 VSWI 亦表现出不同的变化区间, TM: -0.27~

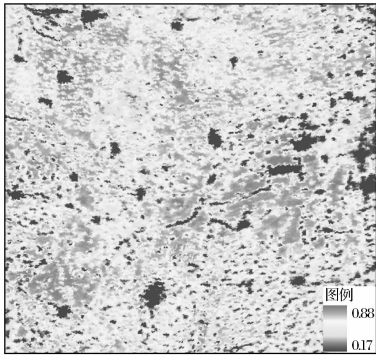


图 7 MODIS NDVI 反演结果
Fig. 7 NDVI retrieved from MODIS

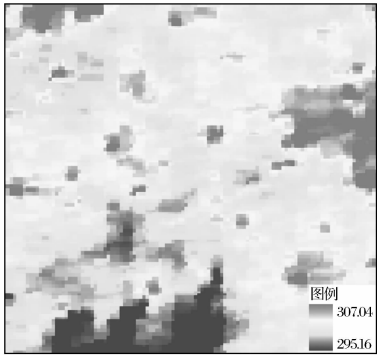


图 8 MODIS LST 反演结果
Fig. 8 LST retrieved from MODIS

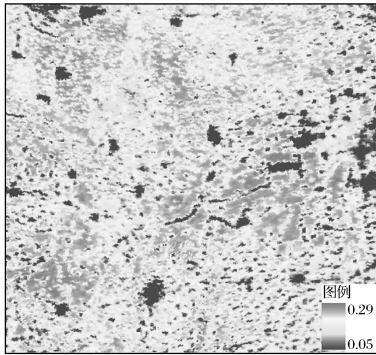


图 9 MODIS VSWI 反演结果
Fig. 9 VSWI retrieved from MODIS

0.36;MODIS:0.05~0.29。

5 Landsat TM 与 EOS MODIS 植被供水指数反演结果对比分析

为了进一步分析 TM 与 MODIS 反演所得植被供水指数的差别,对图 6TM VSWI 与图 9MODIS VSWI 进行了差值处理,结果如图 10 所示,可以看出,两者之间数值上存在一定的差别,变化范围在-0.51~0.20之间。其中负值主要集中在城镇、裸

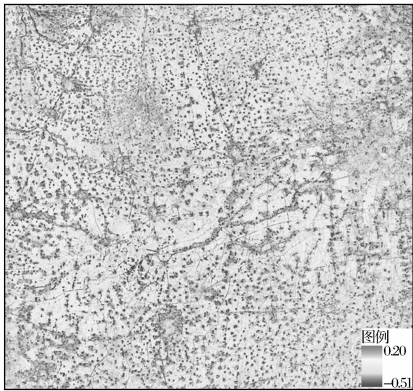


图 10 TM 与 MODIS VSWI 差值图像
Fig. 10 VSWI difference between TM and MODIS

地及水体地表,而对于占研究区绝大部分面积的植被覆盖区,两者之差大多为正值。

考虑到探讨城镇、裸地及水体地表的植被供水指数在研究区内意义不大,也不是干旱研究的主要对象,于是以下主要针对研究区植被覆盖区 TM 与 MODIS 植被供水指数反演结果进行对比分析。对研究区植被覆盖区 TM 与 MODIS 植被供水指数差值图像的统计分析表明,其最小值为-0.23,最大值为 0.16,均值为-0.02,标准差为 0.03,说明两者之间差别不大,而且 TM 的平均植被供水指数大于

MODIS 的特点。图 11 显示了对应的统计直方图,其最大峰值发生在两者差值-0.016 处,也说明了同样的特点。

为了分析两者之间的差值在植被覆盖区随植被覆盖度的变化特征,进一步计算了研究区植被覆盖区的植被覆盖度,计算公式如下:

$$F_v = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

(5)

其中:NDVI_{min}、NDVI_{max} 分别为研究区植被覆盖区 NDVI 的最小值和最大值。

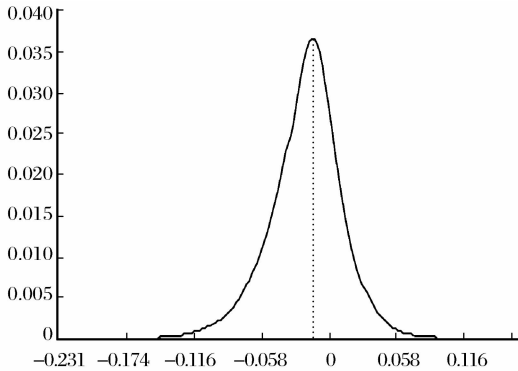


图 11 研究区植被覆盖区 TM 与 MODIS VSWI 差值图像直方图
Fig. 11 VSWI difference histogram between TM and MODIS of vegetation area of the study region

图 12 显示了所得植被覆盖度的统计直方图,可以看出,其变化具有一定的分段性。为了分析不同植被覆盖度条件下,TM VSWI 与 MODIS VSWI 的区别,根据该直方图对研究区植被覆盖区的植被覆盖度进行了分段统计,所分段的阈值如图 12 中的虚线所示。表 1 显示了不同植被覆盖度条件下两者差值的统计特征,可以看出,研究区植被覆盖区的植被覆盖度 0.45~0.7 之间的区域面积占 66.89%,其

次是植被覆盖度 0.7~0.8 和 0.3~0.45 的区域,分别占 16.13% 和 13.5%,说明研究区总体植被覆盖度较高的特征,可能由于 9 月 8 日正值研究区玉米近于成熟时间的原因。而在各种植被覆盖度条件下,两者差值的最小值、最大值和均值均表现出同样的变化特征,即随着植被覆盖度的增加,其值逐渐增大。而统计标准差则随植被覆盖度的不同变化较大,在占总面积比例最大的植被覆盖度 0.45~0.7 之间,其值为 0.027。

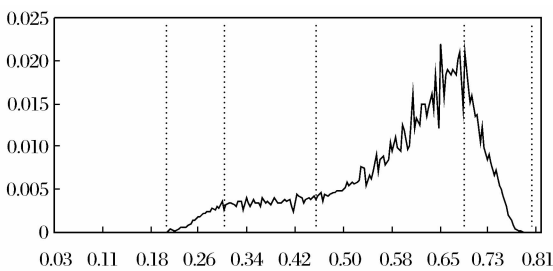


图 12 研究区植被覆盖区 TM 植被覆盖度统计直方图
Fig. 12 Vegetation fraction histogram of vegetation area of the study region

表 1 研究区植被覆盖区 Landsat TM 与 EOS MODIS VSWI 对比

Table 1 Comparison of the VSWI between TM and EOS MODIS of vegetation area of the study region

植被覆盖度(F_v)	面积百分比	最小值	最大值	均值	标准差
$0 \leq F_v < 0.2$	0.063	-0.27	0.0093	-0.022	0.031
$0.2 \leq F_v < 0.3$	3.42	0.0089	0.074	0.055	0.013
$0.3 \leq F_v < 0.45$	13.5	0.069	0.156	0.113	0.022
$0.45 \leq F_v < 0.7$	66.89	0.14	0.26	0.22	0.027
$0.7 \leq F_v < 0.8$	16.13	0.25	0.29	0.26	0.007
$0.8 \leq F_v \leq 1$	0.002	0.29	0.36	0.29	0.007

6 结 语

本文针对近年来干旱监测应用较为广泛的 Landsat TM/ETM+ 和 EOS MODIS 数据,分别进行植被供水指数的提取及对比分析,得出以下结论:

(1)TM VSWI 与 MODIS VSWI 差值结果表明,两者之间数值上存在一定的差别,变化范围在-0.51~0.20 之间。其中负值主要集中在城镇、裸地及水体地表。

(2)对研究区植被覆盖区 TM VSWI 与 MODIS VSWI 差值的统计分析表明,其最小值为-0.23,最大值为 0.16,均值为-0.02,标准差为 0.03,说明两者之间差别不大,而且 TM 的平均植被供水指数大于 MODIS 的。

(3)而在各种植被覆盖度条件下,TM VSWI 与 MODIS VSWI 差值的最小值、最大值和均值均表现出同样的变化特征,即随着植被覆盖度的增加,其值逐渐增大。而统计标准差则随植被覆盖度的不同变化较大。

参考文献:

[1] Liu Li,Zhou Ying,Yang Feng,*et al.* Monitoring Drought of Guizhou Using Remote Sensing Vegetation Index[J]. Journal of Guizhou Meteorology,1998,22(6):50-54. [刘丽,周颖,杨凤,等.用遥感植被指数监测贵州干旱[J]. 贵州气象,1998,22

(6):50-54.]
[2] Gai Yongqin,Li Xiaobing,Li Xia,*et al.* Agricultural Drought Monitoring Based on TM and MODIS Remote Sensing Data——A Case Study of Hebei Province[J]. Journal of Natural Disasters,2008,17(6):91-95. [盖永芹,李晓兵,李霞,等.基于 TM 与 MODIS 遥感数据的农业旱情监测——以河北省为例[J]. 自然灾害学报,2008,17(6):91-95.]
[3] Mo Weihua,Wang Zhenhui,Sun Han,*et al.* Remote Sensing Monitoring of Farmland Drought Based on Vegetation Supply Water Index[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology,2006,29(3):396-405. [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):396-405.]
[4] Liang Yun,Zhang Feng,Han Tao. Monitoring Soil Humidity by Using EOS/MODIS VSWI Product in Qingyang[J]. Arid Meteorology,2007,25(1):44-47. [梁芸,张峰,韩涛.利用 EOS/MODIS 植被供水指数监测庆阳地区的土壤湿度[J]. 干旱气象,2007,25(1):44-47.]
[5] Yang Liping,Wu Rina,Yan Weixiong. Research of Vegetation Supply Water Index to Monitoring of Drought[J]. Arid Environmental Monitoring,2007,21(4):226-228. [杨丽萍,乌日娜,闫伟兄.利用植被供水指数法监测干旱的研究[J]. 干旱环境监测,2007,21(4):226-228.]
[6] Feng Rui,Zhang Yushu,Li Danghong. Monitoring Vegetation Water Content Using AVHRR Data [J]. Liaoning Meteorological Quarterly,1998,(4):30-31. [冯锐,张玉书,李党红.利用 AVHRR 资料监测植被土壤含水量[J]. 辽宁气象,1998,(4):30-31.]
[7] Sobrino J A,Juan C,Munoz J,*et al.* Land Surface Tempera-

ture Retrieval from Landsat TM 5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90: 434-440.

[8] Price J C. Land Surface Temperature Measurements from the Split Window Channels of the NOAA 7 Advanced very High Resolution Radiometer[J]. Journal of Geophysical Research, 1984, 89: 7231-7237.

[9] NASA. Landsat 7 Science Data User'S Handbook [EB/OL]. Http://www.gsfc.nasa.gov. 2005.

[10] Hou Peng, Cao Guangzhen, Jiang Weiguo, et al. Temperature Retrieval of Complex Land Surface with TM and Compared with MODIS Temperature Product [J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(5): 113-118. [侯鹏, 曹广真, 蒋卫国, 等. 城市复杂地表 TM 温度反演及其与 MODIS 产品的比较 [J]. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 113-118.]

VSWI Retrieved and Compared between TM and MODIS

CAO Guang-zhen¹, HOU Peng², FAN Jin-long¹, YANG Xi²

(1. Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;
2. Resources School, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In order to present the difference between VSWIes (Vegetation Supply Water Index) retrieved from different remote sensing data, VSWIes abstracted from Landsat TM and EOS MODIS data of Hebei province in North China are calculated and compared. At first, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and LST (Land Surface Temperature) are calculated from the two remote sensing sources respectively. And then VSWIes are retrieved and compared. Finally, the following conclusions are be drawn: ① On September 8, 2004 in the study region, the difference between TM VSWI and MODIS VSWI is changing from -0. 51 to 0. 20, and the negative values are mainly happened in towns, bare fields and water bodies; ② In vegetation cover areas, TM VSWI is often bigger than MODIS VSWI, but the difference is little; ③ The minimum, maximum and average values of the difference between TM VSWI and MODIS VSWI present the same trend; the values are increasing with the increase of vegetation coverage. The conclusions of this paper are helpful for recognizing VSWIes difference between TM and MODIS and can provide important information for fusion of the drought indices extracted from the two different sources.

Key words: VSWI; TM; MODIS