

遥感旱情监测方法的比较与分析

王玲玲, 张友静, 余远见, 邓世赞, 谢丽军

(河海大学地理信息科学系, 江苏 210098)

摘要:比较和分析了目前旱情监测中运用较为广泛的3种模型:土壤热惯量法(ATI)、作物缺水指数法(CWSI)和温度植被指数法(TVDI)的适用条件,并利用IDL编程实现。以黄河三花间流域为例,利用MODIS影像和气象数据对3种模型进行了计算,并将成果与SEBAL模型计算的蒸散发进行相关分析。结果表明,CWSI和蒸散发的相关性最高,其次是TVDI、ATI。在分析各方法特点的基础上,结合流域特征得到:CWSI和TVDI较适用于研究区域。

关键词:旱情监测;热惯量法;作物缺水法;温度植被指数法;MODIS影像;IDL;

doi:10.3969/j.issn.1000-3177.2010.05.011

中图分类号:TP79 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3177(2010)111-0049-05

Analysis and Comparison of Drought Monitoring Methods by Remote Sensing

WANG Ling-ling, ZHANG You-jing, SHE Yuan-jian, DENG Shi-zan, XIE Li-jun

(Department of Geoinformation science, Hohai University, Nanjing 210098)

Abstract: In this paper, three most popular methods in drought monitoring: soil thermal inertia method (ATI), crop water shortage index method (CWSI) and temperature vegetation index method (TVDI) were compared and analyzed, and then programmed using IDL. MODIS data and weather data in Sanhuajian area of the Yellow River were obtained to calculate the results of the three models, and a relationship was also obtained between evapotranspiration calculated by SEBAL and ATI, CWSI, TVDI. The results indicated that the sequence of correlation with evapotranspiration was CWSI, TVDI and ATI. Based on analysis of the characteristics of the various methods and basin, the conclusion was drawn; it was suitable to monitor drought by using CWSI and TVDI.

Key words: drought monitoring; ATI; CWSI; TVDI; MODIS data; IDL;

1 引言

干旱监测对于作物的生长以及分布式水文模型中产汇流因素具有重要意义。传统的旱情监测主要依赖气象站点获取的降水量、土壤湿度等要素。由于这些要素测点少,难以实现大范围、实时、动态的旱情监测。利用遥感技术进行旱情监测、评估和预测具有快速、及时的优势,是当前旱情监测研究的热点。目前,较为成熟的遥感旱情监测方法主要有:热

惯量法、蒸散发算法、基于植被指数和温度的方法以及土壤湿度微波遥感法^[1~2]。由于每种方法都有其局限性和适用情况,很难见到普遍适用、大范围推广的方法。因此,比较主要遥感旱情监测方法,分析方法的适用条件与特点,不仅有助于深化监测方法的研究,而且对于旱情监测业务具有积极的借鉴意义。

IDL(Interactive Data Language)交互式数据语言是进行二维及多维数据可视化表现、分析和应用

收稿日期:2009-10-27 **修订日期:**2009-11-30

基金项目:国家自然科学基金重点项目(40830639)。

作者简介:王玲玲(1985~),女,在读硕士研究生,从事地理信息系统与遥感研究。

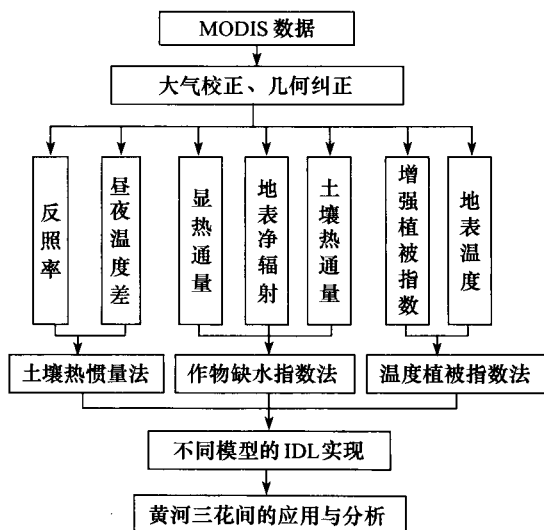
E-mail: wanglingling929@126.com

的理想软件工具。利用 IDL 可以实现特定的模型和算法,避免人为计算众多参数的复杂流程,并与其他平台进行完美集成。孙丽^[3]利用 VB 语言和 MO 组件结合开发了以植被指数阈值为依据双模型监测水分的系统,对同时期不同植被覆盖度进行旱情监测,其不足就是没有充分利用 IDL 处理图像的优势。牟伶俐^[4]等利用 IDL 实现了基于 NOAA/AVHRR 数据的遥感旱情监测系统,但是该系统的应用具有一定的局限性,裸地区域的旱情监测精度不高。

本文以黄河三花间流域为例,利用 MODIS 影像和气象数据采用土壤热惯量法、作物缺水指数法和温度植被干旱指数法进行了旱情计算,并将成果与 SEBAL 模型计算的蒸散发进行相关分析。同时,考虑干旱监测的业务需求,本文还采用 IDL 实现了 3 种模型的算法计算,并将 3 种模型集成到 .net 环境中。

2 研究方法

对研究区春夏两期 MODIS 数据进行大气校正和几何纠正。结合气象数据求解模型参数,得到 3 种模型的计算结果,并对 3 种模型进行比较分析。本文的技术思路如图 1 所示:



· 图 1 技术路线流程图

2.1 土壤热惯量法

土壤热惯量在一定条件下主要取决于土壤含水量。因此土壤热惯量与土壤含水量之间存在一定的相关性,可以利用遥感热惯量法来研究和检测土壤水分。马嵩乃^[5]用 NOAA/AVHRR 数据根据表观热惯量推导出真实热惯量,并利用与土壤含水量的

关系计算出裸土的土壤含水量,其使用的是复合的指数模型。张仁华等^[6]建立了以微分热惯量为基础的地表蒸发全遥感信息模型,但过程复杂,参数估计困难。本文采用表观热惯量 ATI ^[7] 代替真实热惯量 P 。表观热惯量如下:

$$ATI = (1 - \alpha) / \Delta T \quad (1)$$

式中, ATI 为表观热惯量, α 为地表反照率, ΔT 则表示地表昼夜温差。

热惯量法监测土壤含水量涉及到两个时次的卫星资料,并且需要满足以下 3 个条件:①白天和夜间卫星过境时,用光学遥感仪器监测,必须是晴空无云,以获得土壤的最高温度和最低温度。②被监测地区都要处于两条轨道基本重合的范围。③被测地表是裸露的或是植被覆盖度很低的区域。

2.2 作物缺水指数法

作物缺水指数法是基于区域蒸散发估算土壤干旱状况的常用方法。该方法由蒸散量构造相应的指标监测干旱,根据土壤水分含量与作物缺水指数的关系,由热量守恒原理推出。由于充分考虑了下垫面的植被覆盖状况和地面风速、水汽压等气象要素,该方法的物理意义更为明确。本文从能量平衡原理出发,利用刘安麟等^[8]对该模型的简化公式进行计算。

$$CWSI = 1 - LE/E_p \quad (2)$$

式中, LE 为实际蒸散, E_p 为潜在蒸散。

$CWSI$ 的值越大,表明作物越缺水,当 $CWSI=0$ 时,表明作物有充分的水分供应;当 $CWSI=1$ 时,作物严重缺水。

2.3 温度植被干旱指数法

由 Sandholt 等提出的温度植被干旱指数的概念,公式如下:

$$TVDI = (T_s - T_{smin}) / (T_{smax} - T_{smin}) \quad (3)$$

式中, T_s 为任意像元的地表温度, $T_{smax} = a_1 + b_1 NDVI$ 为某一 $NDVI$ 对应的最高地表温度, $T_{smin} = a_2 + b_2 NDVI$ 为某一 $NDVI$ 对应的最低地表温度。

考虑到 $NDVI$ 的局限性以及蓝光波段和红光波段对大气气溶胶散射的差异,消除气溶胶对红光波段的影响,本系统选用 EVI 代替 $NDVI$ 进行温度植被干旱指数法的计算。

$$EVI = \frac{2.5(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{\rho_{NIR} + c1\rho_{Red} - c2\rho_{Blue} + L} \quad (4)$$

式中, ρ 为经过大气校正后的各波段(NIR 、 Red 和 $Blue$)的反射值,对应于 MODIS 1B 数据的第 2 波段、第 1 波段和第 10 波段; L 是土壤调节参数,通常取 1; $c1$ 和 $c2$ 分别为 6.0 和 7.5。

3 模型参数分析与计算

3.1 地表温度实现

以上3个模型都要用到地表温度,所以地表温度的反演是至关重要的。目前有大量的文献提供了较为精确的地表温度反演方法。本文采用基于辐射传输原理的分裂窗算法^[9]实现。

3.2 热惯量法计算

在计算土壤热惯量的时候需要计算反照率、日地表温度和夜地表温度3个参数。地表反照率通过MODIS1B的前7个波段,使用Liang S^[10]等提出的计算公式得到。表达式如下:

$$a = 0.16a_1 + 0.291a_2 + 0.243a_3 + 0.116a_4 + 0.112a_5 + 0.081a_7 - 0.0015 \quad (5)$$

昼夜地表温度则分别用同区域同日期白天和晚上的MODIS影像反演。

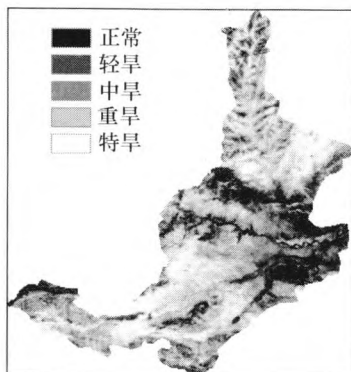


图2 热惯量法计算

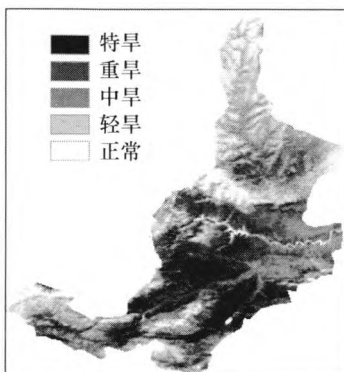
3.3 作物缺水指数法实现

利用3.1反演出来的地表温度,再根据SEBAL模型分别计算地表净辐射、土壤热通量和显热通量,即可求得式(2)中的LE或式(6),如下表达式所示。

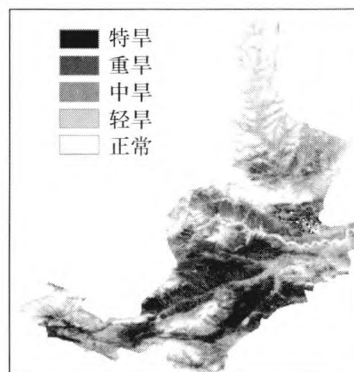
$$CWSI = H / (R_n - G) \quad (6)$$



(a)ATI



(b)CWSI



(c)TVDI

图4 2002-03-08的3种方法的旱情分级图

3.4 温度植被指数法实现

实现温度植被指数法的关键是干边和湿边的确定,在理想情况下,湿边平行于植被指数轴。根据特征空间的原理,干边和湿边为界定特征空间散点图上下边界的直线,本文提取干湿边的方法: EVI 值从0到1,以 $0.01 + n * 0.05$ ($n=0,1,2,\dots$) 为中心,取0.05宽度的区间中 T_s 的最大值和最小值,分别与其对应的 EVI 值组成点对 $[EVI, T_{s_{max}}]$ 和 $[EVI, T_{s_{min}}]$,最后采用最小二乘法线性拟合将点对拟合,形成干边和湿边表达式如图3所示。

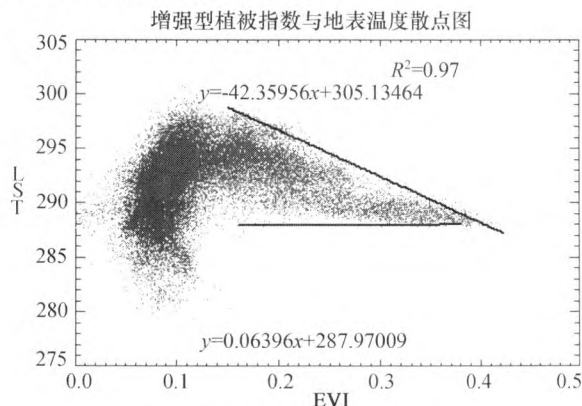


图3 EVI和LST的散点图及干湿边的确定

4 结果与分析

黄河三花间(三门峡—花园口区间),是我国中部地区主要的半干旱区。模型计算使用的数据有Terra卫星接收到的2002年3月8日和2002年8月31日两期MODIS影像数据和相应的气象数据。将ATI、CWSI和TVDI3种模型应用到黄河三花间地区,并根据计算所得到的指数值(0~1),其中ATI法计算值是由大到小,而CWSI和TVDI的值则是由小到大,将研究区域的旱情分为正常、轻旱、中旱、重旱和特旱5个等级。旱情分级结果如图(4)和(5)所示。

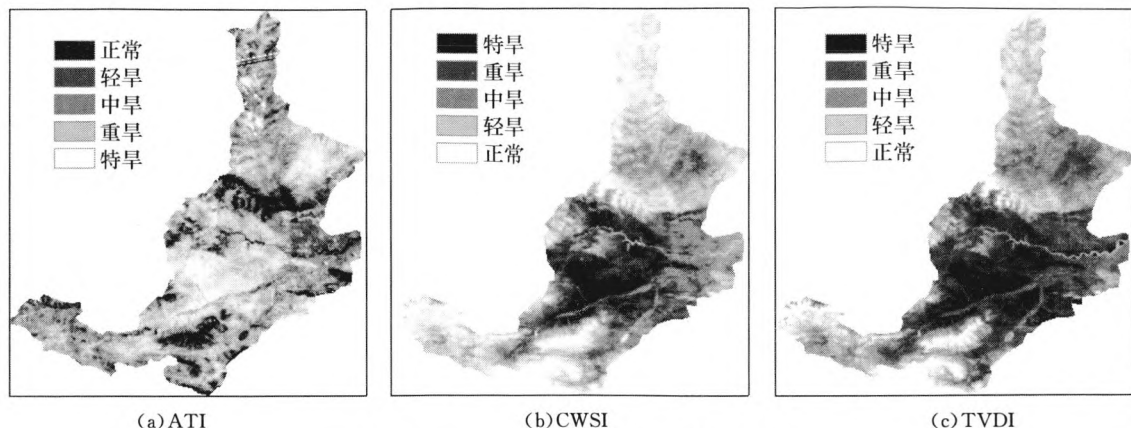


图5 2002-08-31的3种方法的旱情分级图

由上两图可见,运用以上3种方法都可说明黄河三花间区域2002年3月8日的旱情程度和干旱区域都大于2002年8月31日。夏季的干旱范围相对于春季明显减少。同时对于同一期影像,ATI方法所得到的ATI值越大,说明该区域土壤含水量高,旱情相对较轻。而CWSI和TVDI法则相反,值越大,说明区域旱情越严重。

从区域蒸散发的角度出发,对SEBAL模型计算出来的蒸散发值与ATI、CWSI和TVDI进行相关性分析。回归分析结果表明ATI与SEBAL模型的蒸散发值的相关系数比较小。这是因为ATI法只适用于低植被覆盖区域,而研究区的植被覆盖在春夏两季均较好。其他两种方法的回归图如图(6)、(7)所示:

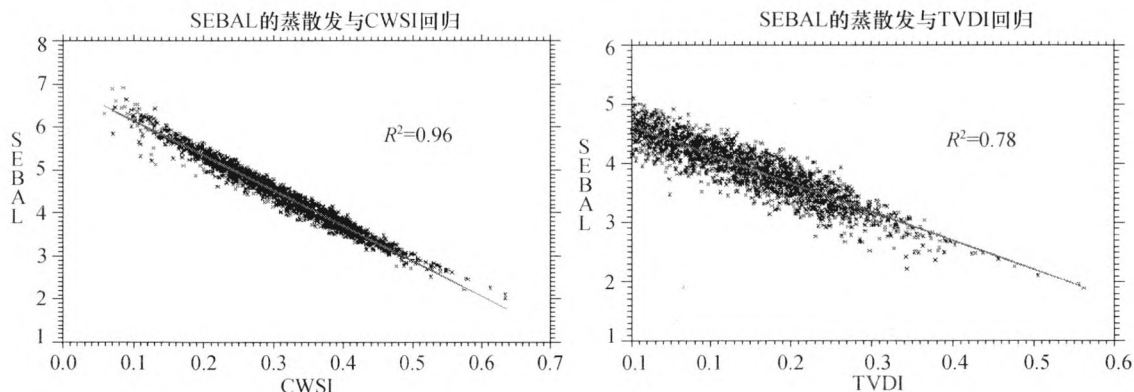


图6 2002-03-08 SEBAL与CWSI(左)和TVDI(右)的回归分析

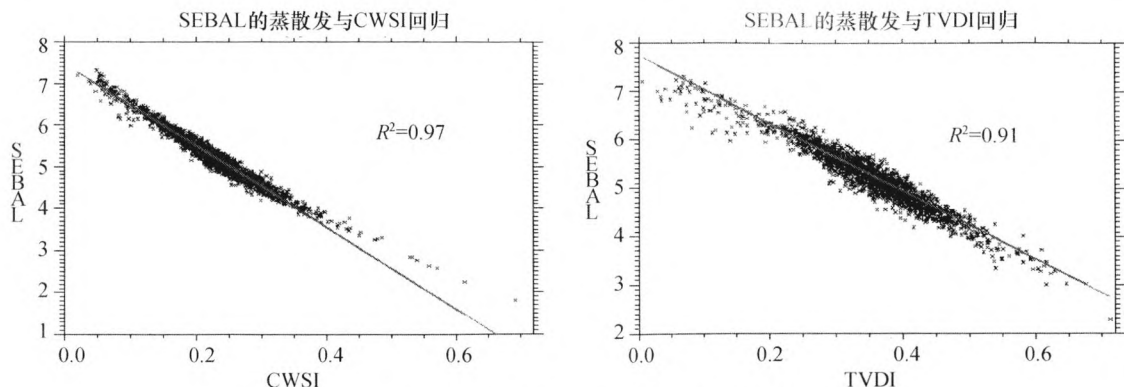


图7 2002-08-31 SEBAL与CWSI(左)和TVDI(右)的回归分析

由上两图分析得到:SEBAL的蒸散发值与CWSI和TVDI都有很好的相关性,3月8日的相关系数平方分别为0.96和0.78,8月31日的分别为0.97和0.91,这两种方法均适用于本研究区域。CWSI法是

从SEBAL模型的计算结果求解出来的,其相关性必定较高,而TVDI法的结果与SEBAL模型的结果相关性也较高,则表明:蒸发值是反映旱情的主要因素之一;TVDI法和CWSI法均适用于该区域。

已有研究表明:在植被覆盖较少的区域,表观热惯量法能够很好地反映土壤含水量状况^[11]。本文对 ATI 方法的验证则选取裸土或低植被覆盖度 (NDVI 值为 0~0.2) 区域与 CWSI 法计算结果进行相关性分析。结果表明,在裸土或低植被覆盖区域,ATI 和 CWSI 计算结果呈负相关,相关系数的

平方分别为 0.34 和 0.35,表观热惯量值越小,CWSI 越大,土壤含水量越小,旱情越严重,从而进一步说明了 CWSI 对于该区域的适用性;同时又由于 8 月 31 日(夏季)植被较茂盛,低植被覆盖的区域很小,对应的点对也较少。如图 8 这个相关性分析图说明 ATI 法较不适宜于该区域。

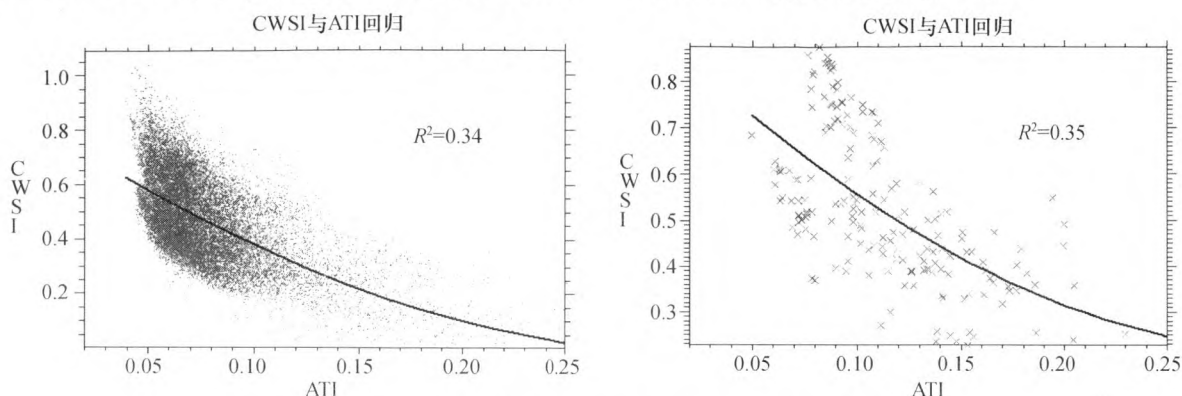


图 8 2002-03-08(左)和 2002-08-31(右)CWSI 和 ATI 的关系

由于模型计算设计了大量的参数,为了避免人为计算众多参数的复杂流程,并与其他平台进行无缝集成。本文还采用 IDL 实现了 3 种模型的算法计算,并将 3 种模型集成到 .net 环境中,构建了界面友好且易交互的旱情监测与分析系统。

5 结束语

在对遥感旱情监测方法的理解和比较的基础上,利用 MODIS 数据采用 IDL 实现了土壤热惯量法、作物缺水指数法和温度植被指数法的计算,并将

其运用到黄河半干旱的三花间区域进行旱情监测与分析,得出了以下结论:

(1)CWSI 和 TVDI 这两种方法较 ATI 更适用于黄河三花间半干旱区域。(2)通过 SEBAL 模型计算出来的蒸散发值在一定程度上可以反映该区域的旱情。

同时研究也存在一些待改进的地方,如:CWSI 计算旱情指数时,SEBAL 模型计算的蒸散发的验证问题需要进行进一步的研究。另外,建立土壤湿度和 3 种旱情监测方法的结果之间的关系进行分析也是需要进一步研究和探讨的地方。

参考文献

- [1] 孙丽,陈焕伟,赵立军. 遥感监测旱情的研究进展[J]. 农业环境科学学报,2004,23(1):202-206.
- [2] 夏虹,武建军,等. 中国用遥感方法进行干旱监测的研究进展[J]. 遥感信息,2005(1):55-58.
- [3] 孙丽. 构建北京地区遥感旱情监测系统的研究[D]. 北京:中国农业大学,2004.
- [4] 牟伶俐,闫娜娜,等. 旱情遥感监测方法与系统开发[C]//中国数字农业与农村信息化学术研讨会议. 2005.
- [5] 马蔼乃,薛勇. 黄河流域典型地区遥感动态研究[M]. 科学出版社,1990:133-139.
- [6] 张仁华,孙晓敏,等. 以微分热惯量为基础的地表蒸发全遥感信息模型及在甘肃沙坡头地区的验证[J]. 中国科学(D辑),2002,32(12):1041-1050.
- [7] 田国良,杨希华. 冬小麦旱情遥感监测模型研究[J]. 环境遥感,1992,7(2):83-89.
- [8] 刘安麟,李星敏,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.
- [9] 覃志豪,等. 农业灾害检测中的地表温度遥感反演方法[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):64-71.
- [10] Liang S, Strahler A, Walthall C. Retrieval of land surface albedo from satellite observations: A simulation study[J]. Journal of Applied Meteorology, 1999(38):712-725.
- [11] 李星敏. 热惯量法在干旱监测中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(1):54-59.
- [12] 孙丽,陈焕伟,赵立军. 遥感监测旱情的研究进展[J]. 农业环境科学学报,2004,23(1):55-57.
- [13] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration[J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 1990, (28):940-948.
- [14] Sandholt I, Rasmussen K. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, (79):213-224.
- [15] 黄泽林,覃志豪. 利用 MODIS 数据监测大面积土壤水分与农作物旱情研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(11):4787-4787.