

# 干旱遥感监测模型在中国冬小麦区的应用

孙丽, 王飞, 吴全\*

(农业部规划设计研究院, 北京 100125)

**摘要:** 温度植被干旱指数 (TVDI) 和植被供水指数 (VSWI) 由于其物理意义明确, 且数据易于获取, 因此成为近些年在遥感旱情监测中应用较多的两个模型。为更好地完成遥感监测任务, 提高精度, 以全国冬小麦主产区为研究区域, 利用 EOS/MODIS 数据, 构建两个干旱指数模型, 对 2009 年冬小麦作物主要生长时期进行干旱监测应用, 并将其与不同深度土壤湿度进行相关分析、线性拟合比较及应用验证, 认为两指数与 10 cm 深度土壤湿度相关性较好, TVDI 大部表现为极显著相关, VSWI 的相关性表现差于 TVDI。基于土壤湿度的遥感旱情监测, TVDI 比 VSWI 更能体现区域旱情变化趋势, 其优势更明显。

**关键词:** 干旱, 遥感, 监测, MODIS 数据, 温度植被干旱指数, 植被供水指数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.01.043

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-01-0243-07

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, 26(1): 243-249.

Sun Li, Wang Fei, Wu Quan. Drought monitoring by remote sensing in winter-wheat-growing area of China[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 243-249. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

干旱一直是中国及世界上农业发展最主要的制约因素之一, 探讨一套客观、动态、实时的干旱监测方法, 有助于采取积极有效的防旱、抗旱措施<sup>[1]</sup>。土壤水分是土壤的重要组成部分, 在地表与大气界面的物质和能量交换中起着重要作用, 也是农作物生长发育的基本条件和农作物产量预报的重要参数<sup>[2]</sup>。因此, 大量关于干旱的研究将土壤水分状况作为旱情判定的一个重要参考指标<sup>[3-10]</sup>。

为消除土壤背景影响, 近些年发展了多种基于植被指数和地表温度的干旱监测方法, 其中, 温度植被干旱指数 (temperature-vegetation drought index, TVDI) 和植被供水指数 (vegetation supply water index, VSWI) 应用较多<sup>[11-23]</sup>。由于所需数据易于获取, 且物理意义明确, 同时, 中低分辨率卫星重访周期短, 可在较短时间内重复获取植被指数和地表温度, 使得快速实时监测区域土壤湿度状况成为了可能。

鉴于目前上述两指数多在局部区域性监测应用, 并少见将其同时应用进行比较研究, 本文即以全国冬小麦主产区为研究区域, 冬小麦作物为试验材料, 利用 EOS/MODIS 数据, 先构建两个干旱指数 TVDI 和 VSWI, 然后将其与地面不同深度土壤湿度相关性进行对比, 找出差异之处, 并利用同期土壤墒情点的实测结果作以验证比较。

证比较。

## 1 方法原理

### 1.1 温度植被干旱指数

对于一个区域来说, 若地表覆盖从裸土到密闭植被冠层, 土壤湿度由干旱到湿润, 则该区域每个像元的归一化植被指数 (NDVI) 和地表温度 ( $T_s$ ) 组成的散点图呈现为梯形或三角形<sup>[24-26]</sup>, 见图 1。点 A 表示干燥裸露土壤, 而点 B 表示湿润裸露土壤。点 D 表示干旱密闭植被冠层, 土壤干旱, 植被蒸腾弱; 点 C 表示湿润密闭冠层, 土壤湿润, 植被蒸腾强。AD 表示干边, 表示低蒸散, 干旱状态; BC 表示湿边, 代表潜在蒸散, 湿润状态。区域内每一像元的 NDVI 与  $T_s$  值将分布在 ABCD 4 个极点构成的  $T_s$ /NDVI 特征内,  $T_s$ /NDVI 特征空间可以被看作是由一组土壤湿度等值线组成。

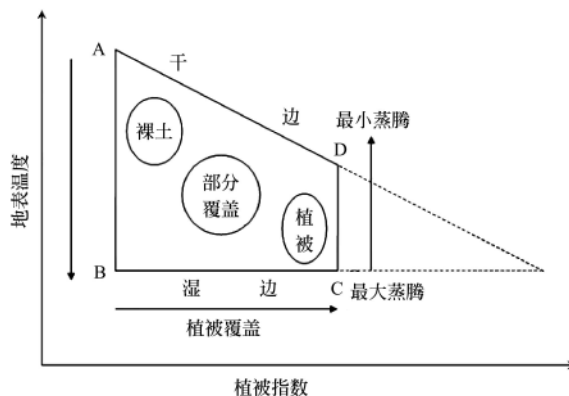


图 1  $T_s$ /NDVI 特征空间示意图

Fig.1 Illustration of simplified  $T_s$ /NDVI space

$T_s$ /NDVI 特征空间得到理论模型的论证和田间数据的支持, 在此基础上 Sandholt<sup>[27]</sup>等提出了 TVDI 的概念

收稿日期: 2009-09-10 修订日期: 2009-11-09

作者简介: 孙丽 (1978-), 女, 辽宁辽阳人, 工程师, 主要从事遥感旱情及作物长势监测研究。北京朝阳区麦子店街 41 号 农业部规划设计研究院, 100125. Email: sunli0618@163.com

\*通信作者: 吴全 (1968-), 男, 高级工程师, 主要从事农情遥感监测研究。北京朝阳区麦子店街 41 号 农业部规划设计研究院, 100125.

Email: wuquan95@tom.com

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{\min}}}{T_{s_{\max}} - T_{s_{\min}}} \quad (1)$$

式中： $T_s$ ——任意像元的地表温度，K； $T_{s_{\max}}$ ——某一NDVI对应的最高地表温度，即干边，K； $T_{s_{\min}}$ ——某一NDVI对应的最低地表温度，即湿边，K。并且

$$T_{s_{\max}} = a_1 + b_1 \times NDVI \quad (2)$$

$$T_{s_{\min}} = a_2 + b_2 \times NDVI \quad (3)$$

式中  $a_1$ 、 $b_1$ 、 $a_2$ 、 $b_2$ ——干湿边方程拟合系数。

按照 TVDI 的原理，随着 NDVI 的增加，陆地表面温度最大值逐渐降低，且与 NDVI 呈线性关系。但研究证明，NDVI 与植被覆盖度并不总是呈线性关系。作物生长初期 NDVI 将过高估计植被覆盖度，而作物生长的后期 NDVI 值偏低，NDVI 更适用于植被发育中期或中等覆盖度的植被检测<sup>[13,28]</sup>。根据温度分布，分析温度随 NDVI 变化趋势，应选取 NDVI 在 0.15~0.80 之间具有线性趋势区域进行拟合和监测。

## 1.2 植被供水指数

该指数反映的是当作物受旱时，植被冠层通过关闭部分气孔而减少蒸腾量，导致由遥感手段获取的作物冠层温度升高、NDVI 减小。作物在一定的生育期，冠层温度的高低，是度量作物受旱程度的一种标准。国家卫星气象中心提出的植被供水指数综合为

$$VSWI = T_s / NDVI \quad (4)$$

为便于应用，结合张树誉等<sup>[29]</sup>提出的改进 VSWI

$$VSWI = (T_s - 100) / NDVI \times 100 \quad (5)$$

当植被供水正常时，NDVI 在一定的生长期内保持在一定的范围，如果植被供水不足，NDVI 将降低，而为减少水分损失，叶面气孔会部分关闭，又导致植被冠层温度升高，因此，VSWI 值越大，表明区域受旱越严重。

## 2 2009年全国冬小麦区干旱遥感监测分析

### 2.1 监测区域

以冬小麦主产区为研究区。利用全国经济统计数据及行政界限矢量数据，基于 ARCGIS 软件平台，得到研究区域分布底图，其范围主要包括京津冀大部、黄淮区域、新疆部分地区、甘肃东南部、陕西中部、四川东部以及云南贵州局部地区。

为缩减监测误差，基于全国冬小麦主产区构建 TVDI 模型，而 VSWI 构建不受监测区范围影响。

### 2.2 数据处理

本研究利用能接收美国 EOS/MODIS 遥感数据的数字信号广播系统 (digital video broadcast system, DVBS) 提供的 MODIS 1B 数据，对 2009 年 2 月至 5 月 1 km 分辨率数据进行处理、合成，定期生成温度植被干旱指数 (TVDI) 和植被供水指数 (VSWI)。利用如下公式，得到单日模型构成的参量影像 NDVI 和  $T_s$ <sup>[30]</sup>。

$$NDVI = (CH_2 - CH_1) / (CH_2 + CH_1) \quad (6)$$

$$T_s = 1.0346T_{31} + 2.5779(T_{31} - T_{32}) - 10.05 \quad (7)$$

式中： $CH_1$ 、 $CH_2$ ——第 1、第 2 波段的反射率； $T_{31}$ 、 $T_{32}$ ——第 31 波段、第 32 波段的地表温度，K。

为消除云对监测结果影响，利用简单方法完成单日影像去云处理（根据第 1 波段反射率阈值、第 31 波段亮度温度阈值以及第 2 波段与第 1 波段反射率差阈值，3 项条件同时满足的判断为云区）。再根据冬小麦作物的主要生长期，进行数据的最大化合成处理，得到 6 期合成数据，时间表如表 1 所示。

表 1 数据时间表  
Table 1 Data schedule

合成数据时间	冬小麦发育期
2009-02-05—2009-02-19 (2009年2月上中旬)	停止生长-返青-拔节
2009-03-17—2009-03-31 (2009年3月中下旬)	返青-拔节-抽穗
2009-04-01—2009-04-14 (2009年4月上中旬)	拔节-抽穗
2009-04-21—2009-04-31 (2009年4月下旬)	抽穗
2009-05-01—2009-05-10 (2009年5月上旬)	抽穗-乳熟
2009-05-12—2009-05-26 (2009年5月中下旬)	乳熟-成熟

## 2.3 应用与分析

### 2.3.1 全国冬小麦区 Ts/NDVI 特征空间

利用 IDL 编程，将不同时间段的地表温度和 NDVI 进行合成，并在 NDVI 的 0~1 范围内，以 0.01 为步长，求算相同 NDVI 下所有不同像元对应温度中的最大地表温度和最小地表温度，以获取冬小麦生长期 6 个时间段的 Ts/NDVI 特征空间 (图 2)。

根据特征空间图，对每期数据的干边和湿边进行线性拟合，得到结果如表 2 所示。

表 2 Ts/NDVI 特征空间的干边和湿边拟合方程  
Table 2 Dry edge equation and wet equation of the Ts/NDVI space

时间	干边	湿边
2009年 2月上中旬	$T_{s_{\max}} = -22.658NDVI + 315.72$ $R^2 = 0.851$ NDVI ∈ (0.23, 0.80)	$T_{s_{\min}} = 36.596NDVI + 264.2$ $R^2 = 0.958$ NDVI ∈ (0.07, 0.80)
2009年 3月中下旬	$T_{s_{\max}} = -29.555NDVI + 323.3$ $R^2 = 0.910$ NDVI ∈ (0.24, 0.75)	$T_{s_{\min}} = 38.894NDVI + 265.62$ $R^2 = 0.945$ NDVI ∈ (0.09, 0.75)
2009年 4月上中旬	$T_{s_{\max}} = -30.693NDVI + 323.54$ $R^2 = 0.778$ NDVI ∈ (0.22, 0.77)	$T_{s_{\min}} = 34.256NDVI + 267.98$ $R^2 = 0.965$ NDVI ∈ (0.22, 0.77)
2009年 4月下旬	$T_{s_{\max}} = -91.586NDVI + 366.44$ $R^2 = 0.863$ NDVI ∈ (0.13, 0.80)	$T_{s_{\min}} = 31.104NDVI + 267.69$ $R^2 = 0.926$ NDVI ∈ (0.04, 0.80)
2009年 5月上旬	$T_{s_{\max}} = -23.723NDVI + 327.67$ $R^2 = 0.822$ NDVI ∈ (0.13, 0.77)	$T_{s_{\min}} = 33.262NDVI + 267.93$ $R^2 = 0.878$ NDVI ∈ (0.1, 0.77)
2009年 5月中下旬	$T_{s_{\max}} = -34.027NDVI + 333.91$ $R^2 = 0.796$ NDVI ∈ (0.13, 0.82)	$T_{s_{\min}} = 29.074NDVI + 271.01$ $R^2 = 0.899$ NDVI ∈ (0.1, 0.82)

由湿边拟合方程可以看出，干边斜率为负值，说明植被覆盖度与地表温度为负相关，即随着植被覆盖度的增加，地表温度最大值减小；湿边的斜率为正值，说明植被覆盖度与地表温度为正相关，即随着植被覆盖度的增加，地表温度最小值有增加趋势。

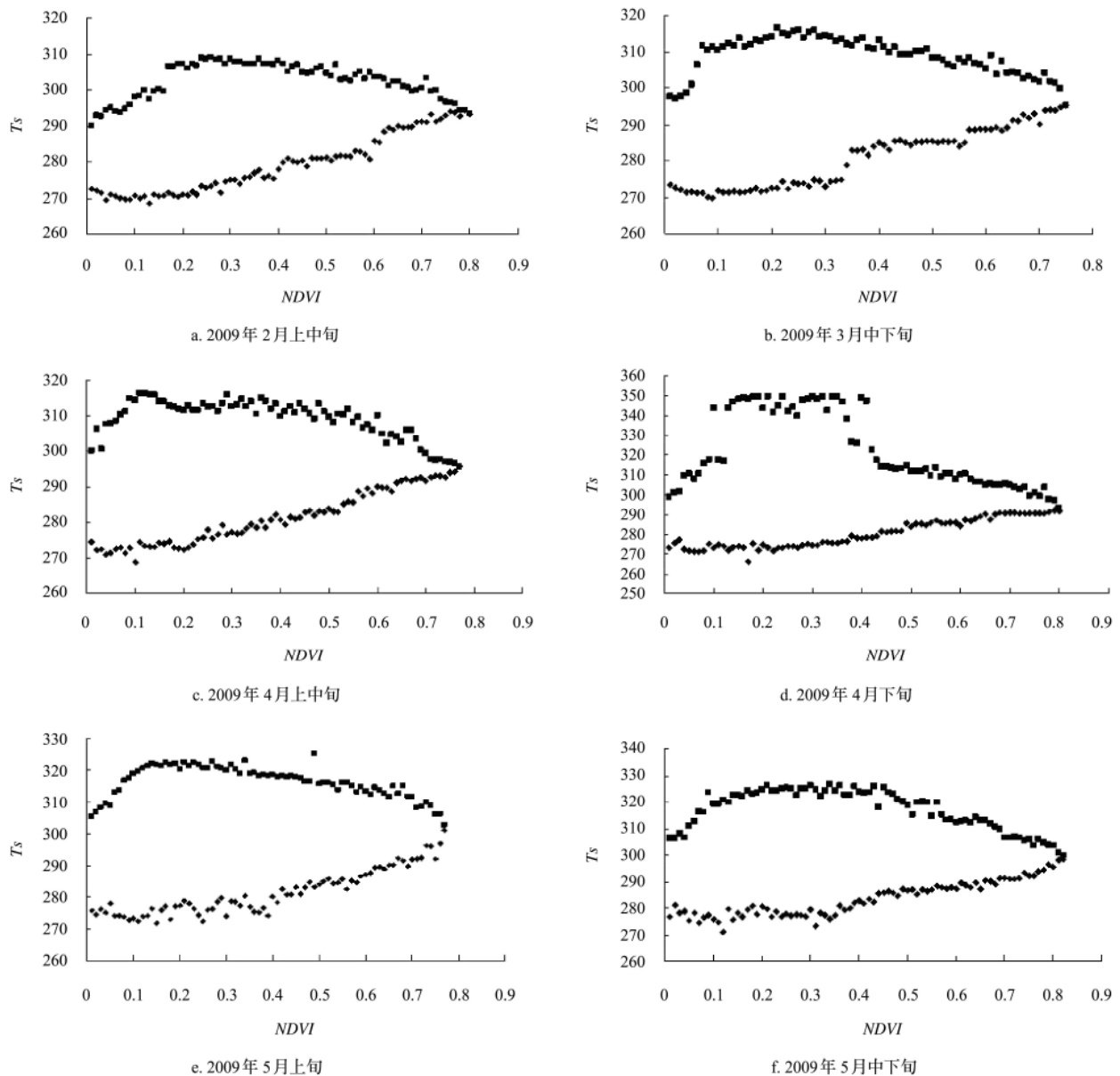


图 2 6 个时期的 Ts/NDVI 特征空间

Fig.2 Ts/NDVI space of 6 periods

2. 3. 2 TVDI、VSWI 与不同深度土壤湿度相关关系比较分析

虽然研究中用的是 1 km 分辨率遥感数据，与气象站点数据在空间上难以准确对应，但考虑气象站点能够代表所在区域整体气候特点，可以反映气象要素分布的区域性趋势，因此，认为利用气象站点实测数据参与土壤湿度模型的建立，是目前条件下可行的方法。将监测点提取出的 3×3 像元的干旱指数平均值与地面土壤监测点的土壤湿度进行相关分析，得到结果如表 3。

通过表 3 可以得出，TVDI 与 10 cm 的土壤湿度的相关性都好于 VSWI，而且大部分时期都表现为极显著相关，只有 2009 年 2 月上中旬时段，两个指数与 10 cm 深度土壤湿度相关性不明显。另对该两指数与 20 cm 深度土壤湿度也做了同期比较，从整体上看，两个干旱指数与 10 cm 深度土壤湿度的相关性明显好于 20 cm 的相关性。而一般来说 10 cm 处土壤相对含水率最能反映出干

表 3 TVDI、VSWI 与 10 cm 深度土壤湿度 (SM10) 相关系数

Table 3 Correlation between TVDI or VSWI and soil moisture in 10 cm depth

观测时间/年-月-日	TVDI 与 SM10 相关系数	VSWI 与 SM10 相关系数	站点数
2009-02-05—2009-02-19	-0.13	-0.06	140
2009-03-17—2009-03-31	-0.33**	-0.17*	182
2009-04-01—2009-04-14	-0.26**	-0.07	182
2009-04-21—2009-04-31	-0.30**	-0.27**	174
2009-05-01—2009-05-10	-0.32**	-0.15	175
2009-05-12—2009-05-26	-0.37**	-0.35**	175

注：\*\*表示  $p < 0.01$ ，为极显著相关，\*表示  $p < 0.05$ ，为显著相关。

旱状况<sup>[31]</sup>，因此本文仅考虑土壤表层水分数据，即 10 cm 土壤水分与干旱指数进行回归拟合。结果表明，TVDI 与 10 cm 土壤湿度拟合相关系数均好于 VSWI，TVDI 拟合方程斜率绝对值要大于 VSWI。同时，随着土壤湿度的增

大, TVDI 呈现明显的减小趋势, 其关系散点图趋于集中, 而 VSWI 与土壤湿度关系散点图相对离散。

2.3.3 监测结果与讨论

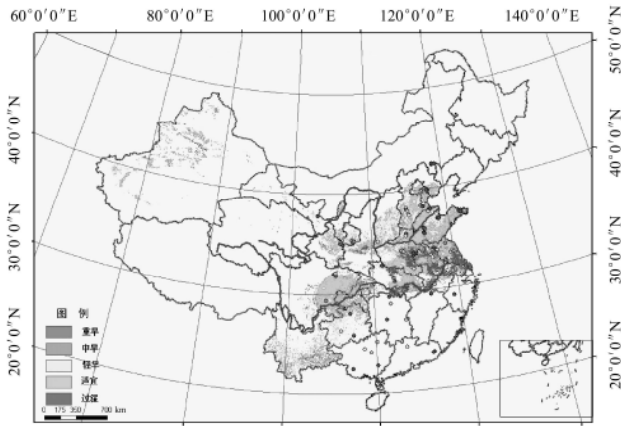
通过对冬小麦作物不同生育期需水耗水状况综合考虑<sup>[32-33]</sup>, 其不同时期基于土壤水分的旱情评定标准汇总如表 4。

由土壤水分评价标准, 可以推算出遥感干旱指标 TVDI 和 VSWI 两指数的评定标准, 将其应用得到旱情监测结果, 如图 3。

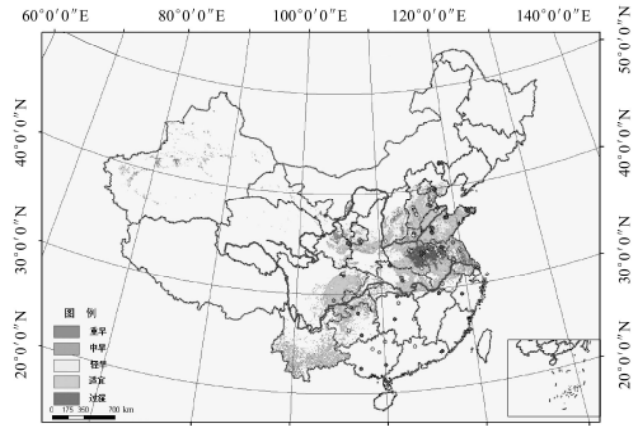
表4 冬小麦不同生育期土壤水分旱情判断标准表

Table 4 Drought criterion of soil moisture in different stages of winter wheat %

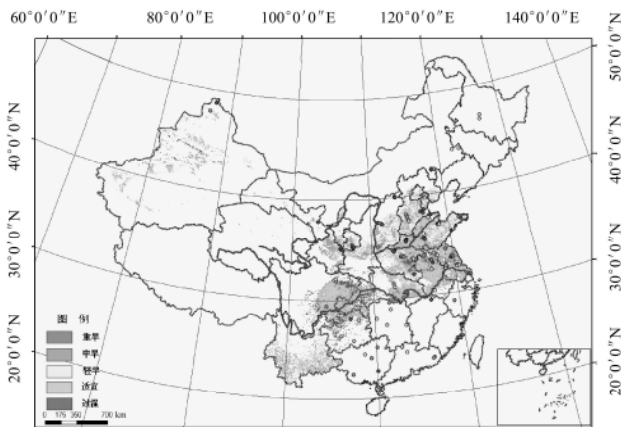
旱情	返青-拔节	拔节-抽穗	抽穗-乳熟	乳熟-成熟
重旱	≤40	≤40	≤45	≤40
中旱	>40~50	>40~50	>45~55	>40~50
轻旱	>50~60	>50~60	>55~65	>50~60
适宜	>60~80	>60~80	>65~80	>60~80
过湿	>80	>80	>80	>80



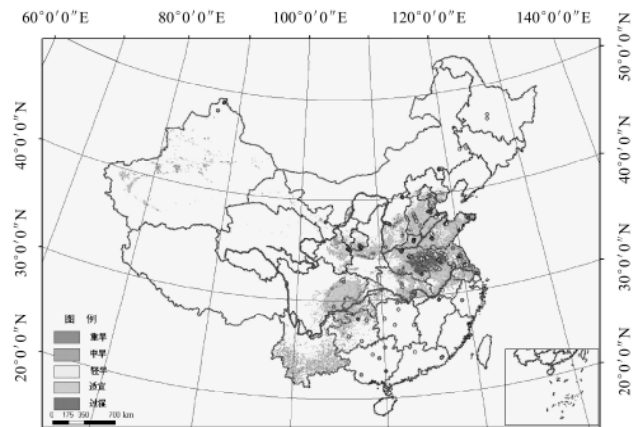
a. 2009年3月中下旬全国遥感旱情监测图——基于 TVDI方法



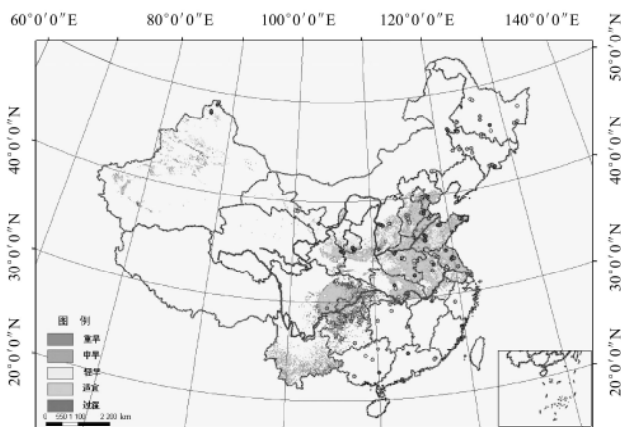
b. 2009年3月中下旬全国遥感旱情监测图——基于 VSWI方法



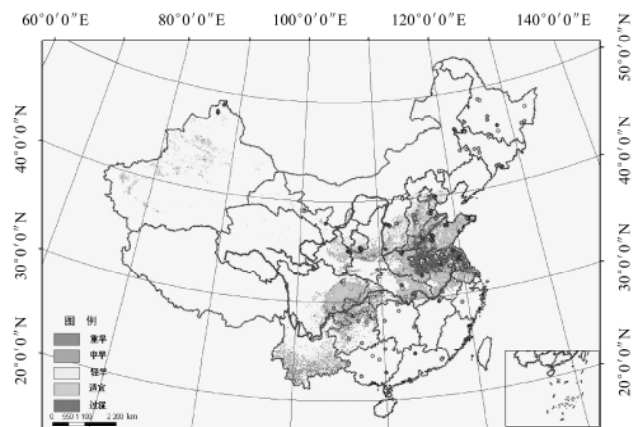
c. 2009年4月上中旬全国遥感旱情监测图——基于 TVDI方法



d. 2009年4月上中旬全国遥感旱情监测图——基于 VSWI方法



e. 2009年5月上旬全国遥感旱情监测图——基于 TVDI方法



f. 2009年5月上旬全国遥感旱情监测图——基于 VSWI方法

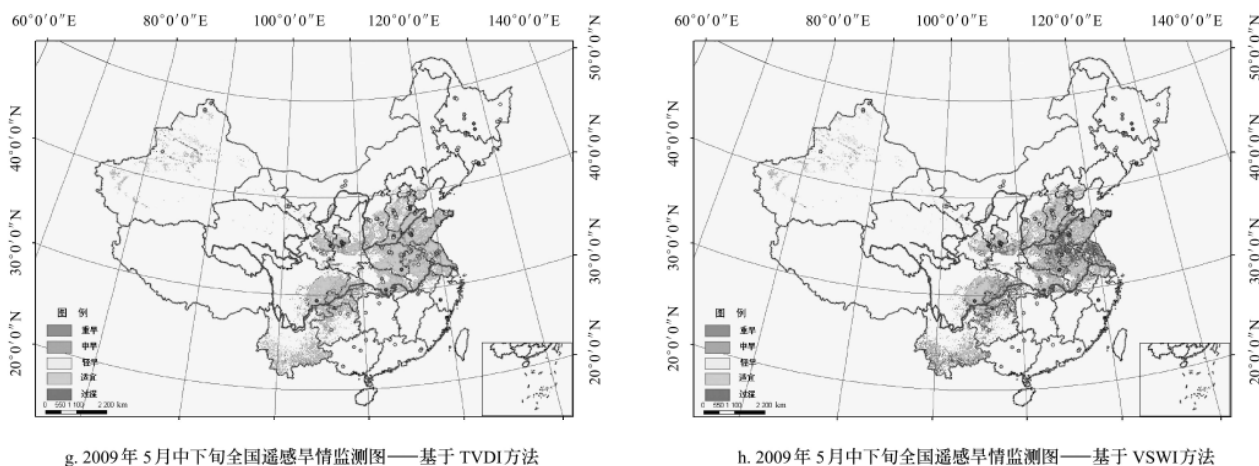


图 3 2009 年 3 月 - 5 月 4 期监测旱情结果  
Fig.3 Four monitoring results from March to May in 2009

在 4 期监测结果中，利用 GIS 软件平台，叠加同期地面监测点实测的 10 cm 深度土壤水分数据（该数据来源于同期全国地面网点县实际调查结果），可以看出，与 TVDI 监测结果一致的点数比 VSWI 多，而且 4 期 TVDI 监测结果反映出了区域旱情变化过程，而 VSWI 则反映并不明显，局部地区监测结果与实际反差较大。

### 3 结论与讨论

本文利用 MODIS 数据，得到两个干旱指数 TVDI 和 VSWI，通过与不同深度土壤湿度相关分析得出：总体上，两干旱指数与 10 cm 深度的土壤湿度相关性好于 20 cm 土壤湿度。只有在冬小麦拔节到抽穗期，两个指标与土壤湿度的相关关系表现为 20 cm 深度的好于 10 cm 深度，但两深度相关系数相差不大，在该阶段，遥感指标是否更能反映 20 cm 深度土壤墒情，还有待于利用多年数据做进一步研究。通过线性拟合比较，TVDI 与土壤湿度的相关性要好于 VSWI 与土壤湿度的相关性，基于土壤湿度的旱情监测，TVDI 无疑是一个有效的监测指标，在遥感旱情监测中，TVDI 比 VSWI 更具优势。

虽然 TVDI 和 VSWI 与土壤湿度的相关性多达到显著，但在相关分析中，由于有其他影响因素未能考虑其中，导致相关系数偏低。而地面实测土壤湿度数据的深度为耕层，较浅，易受外界环境变化影响，如风，灌溉等，同时，地形、气候等环境因素也会使地面土壤湿度变异性增大，从而导致相对稳定的遥感指标 TVDI、VSWI 与土壤湿度的相关性降低。但由于遥感指标与土壤湿度线性拟合达到显著以上水平，因此，认为该两个遥感指标能够在一定程度上反映地表土壤水分状况。

由于地表复杂性和气候环境的多变性，仅采用遥感指标进行旱情监测，有一定局限性。为提高实时旱情监测准确度和精度，除要考虑分区建模以外（分区建模有利于克服地域异质性因素干扰），还应考虑选择诸如气象等其他因子，建立综合的干旱监测指标会更好的反映实际旱情。

### [参 考 文 献]

- [1] 孙丽, 陈焕伟, 赵立军, 等. 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.  
Sun Li, Chen Huanwei, Zhao Lijun, et al. The advances of drought monitoring by remote sensing[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(1): 202-206. (in Chinese with English abstract)
- [2] 全兆远, 张万昌. 土壤水分遥感监测的研究进展[J]. 水土保持学报, 2007, 27(4): 107-113.  
Tong Zhaoyuan, Zhang Wanchang. Progress of soil moisture monitoring by remote sensing[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2007, 27(4): 107-113. (in Chinese with English abstract)
- [3] 田国良. 土壤水分的遥感监测方法[J]. 环境遥感, 1991, 6(2): 89-98.  
Tian Guoliang. The method of monitoring soil moisture by remote sensing[J]. Journal of Environment Remote Sensing, 1991, 6(2): 89-98. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘良明, 李德仁. 基于辅助数据的遥感干旱分析[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24(4): 300-305.  
Liu Liangming, Li Deren. Drought analysis based on remote sensing and ancillary data[J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1999, 24(4): 300-305. (in Chinese with English abstract)
- [5] 冯强, 田国良, 柳钦火. 全国干旱遥感监测运行系统的研制[J]. 遥感学报, 2003, 7(1): 14-18.  
Feng Qiang, Tian Guoliang, Liu Qinhua. Research on the operational system of drought monitoring by remote sensing in China[J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(1): 14-18. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李星敏, 郑有飞, 刘安麟. 我国用NOAA/AVHRR资料进行干旱遥感监测的方法综述[J]. 中国农业气象, 2003, 24(3): 38-41.  
Li Xingmin, Zheng Youfei, Liu Anlin. A review of drought remote sensing monitoring methods by using NOAA/AVHRR data in China[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2003, 24(3): 38-41. (in Chinese with English abstract)
- [7] 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.
- Liu Anlin, Li Xingmin, He Yanbo, et al. Simplification of crop shortage water index and its application in drought remote sensing monitoring[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(2): 210—214. (in Chinese with English abstract)
- [8] 邹旭恺, 张强, 王有民. 干旱指标研究进展及中美两国国家级干旱监测[J]. 气象, 2005, 31(7): 6—9.
- Zhou Xukai, Zhang Qiang, Wang Youmin. Drought indices and operational drought monitoring in the U. S.A. and China[J]. Meteorological Monthly, 2005, 31(7): 6—9. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王颖杰, 商彦蕊, 郭建谱, 等. 农业旱灾遥感监测方法综述[J]. 灾害学, 2006, 21(4): 84—88.
- Wang Yinjie, Shang Yanrui, Guo Janpu, et al. Overview on method of drought monitoring by remote sensing[J]. Journal of Catastrophology, 2006, 21(4): 84—88. (in Chinese with English abstract)
- [10] 高磊, 覃志豪, 卢丽萍. 基于植被指数和地表温度特征空间的农业干旱监测模型研究综述[J]. 国土资源遥感, 2007, (3): 1—7.
- Gao Lei, Qin Zhihao, Lu Liping. An overview on agricultural drought monitoring models based on vegetation index and surface temperature feature space[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2007, (3): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [11] 江东, 王乃斌, 杨小唤, 等. 植被指数—地面温度特征空间的生态学内涵及其应用[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 146—152.
- Jiang Dong, Wang Naibin, Yang Xiaohuan. Ecological connotation and application of the vegetation index- surface temperature feature space[J]. Progress in Geography, 2001, 20(2): 146—152. (in Chinese with English abstract)
- [12] 齐述华, 王长耀, 牛铮. 利用温度植被旱情指数(TVDI)进行全国旱情监测研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(5): 420—427.
- Qi Shuhua, Wang Changyao, Niu Zheng. Evaluating soil moisture status in China using the temperature/ vegetation dryness index(TVDI)[J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(5): 420—427. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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, 2004, 19(6): 473—478.
- Yao Chunsheng, Zhang Zengxiang, Wang Xiao. Evaluating soil moisture status in xinjiang using the temperature vegetation dryness index (TVDI)[J]. Remote Sensing Teechnology and Application, 2004, 19(6): 473—478. (in Chinese with English abstract)
- [14] Wang C, Qi S, Niu Z, et al. Evaluating soil moisture status in china using temperature- vegetation dryness index (TVDI) [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2004, 30(5): 671—679.
- [15] 李红军, 郑力, 雷玉平, 等. 植被指数-地表温度特征空间研究及其在旱情监测中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 170—174.
- Li Hongjun, Zheng Li, Lei Yuping, et al. Vegetation index-surface temperature feature space and its application in the regional drought monitoring[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22 (11): 170—174. (in Chinese with English abstract)
- [16] Xin J, Tian G, Liu W, et al. Combining vegetation index and remotely sensed temperature for estimation of soil moisture in China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(10): 2071—2075.
- [17] 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.
- Feng Shuqing, Yin Qingjun, Xiao Jianshe, et al. Monitoring drought dynamic variation based on temperature vegetation drought index in Qinghai high and cold area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(5): 141—145. (in Chinese with English abstract)
- [18] 柳钦火, 辛景锋, 辛晓洲, 等. 基于地表温度和植被指数的农业干旱遥感监测方法[J]. 科技导报, 2007, 25(6): 12—18.
- Liu Qinhuo, Xin Jingfeng, Xin Xiaozhou, et al. Monitoring agricultural drought by vegetation index and remotely sensed temperature[J]. Science & Technology Review, 2007, 25(6): 12—18. (in Chinese with English abstract)
- [19] 魏国栓, 沈润平, 丁国香. 仪征地区农田深层土壤湿度遥感反演初探[J]. 遥感技术与应用, 2008, 21(1): 36—41.
- Wei Guoshuan, Shen Runping, Ding Guoxiang. Primary studies on estimating soil moisture in deep layer of farmland by remote sensing in Yizheng[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 21(1): 36—41. (in Chinese with English abstract)
- [20] 康为民, 罗宇翔, 郑小波, 等. 贵州温度植被干旱的指数(TVDI)特征及其遥感干旱的监测应用[J]. 贵州农业科学, 2008, 36(4): 27—30.
- Kang Weimin, Luo Yuxiang, Zheng Xiaobo, et al. The characteristic of temperature/vegetation drought index(TVDI) and its application in remote sensing drought monitoring in Guizhou[J]. Guizhou Agricultrual Sciences, 2008, 36(4): 27—30. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李春强, 李红军. TVDI在冬小麦春季干旱监测中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(2): 161—165.
- Li Chunqiang, Li Hongjun. The application of TVDI in drought monitoring for winter wheat in spring[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(2): 161—165. (in Chinese with English abstract)
- [22] 杨曦, 武建军, 闫峰, 等. 基于地表温度-植被指数特征空间的区域土壤干湿状况[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1205—1216.
- Yang Xi, Wu Jianjun, Yan Feng, et al. Assessment of regional soil moisture status based on characteristics of surface temperature/vegetation index space[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1205—1216. (in Chinese with English abstract)
- [23] Patel N R, Anapashsha R, Kumar S, et al. Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status[J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(1): 23—39.
- [24] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration[J]. IEEE Transactions on

- Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28: 940—948.
- [25] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurement to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. *Remote Sensing Reviews*, 1994, 9(1): 161—173.
- [26] Moran M S, Clarke T R, Inoue Y, et al. Estimation crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index[J]. *Remote Sens Environ*, 1994, 49(3): 246—263.
- [27] Sandholt L, 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): 213—224.
- [28] 唐怡, 刘良云, 黄文江, 等. 土壤背景对冠层 NDVI 的影响分析[J]. *遥感技术与应用*, 2006, 21(2): 142—148.  
Tang Yi, Liu Liangyun, Huang Wenjiang, et al. Analysis on the influence of soil backgrounds on canopy NDVI[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2006, 21(2): 142—148. (in Chinese with English abstract)
- [29] 张树誉, 杜继稳, 景毅刚. 基于 MODIS 资料的遥感干旱监测业务化方法研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(3): 1—6.  
Zhang Shuyu, Du Jiwen, Jing Yigang. A study on routine operation remote sensing drought monitoring model using MODIS data[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(3): 1—6.
- [30] 刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [31] 李红军, 李春强, 郑力, 等. 大范围旱情遥感监测的分带计算[J]. *遥感技术与应用*, 2006, 21(2): 137—141.  
Li Hongjun, Li Chunqiang, Zheng Li, et al. Zonal calculation of drought inspection using remote sensing in large-scale[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2006, 21(2): 137—141. (in Chinese with English abstract)
- [32] 王密侠, 马成军, 蔡焕杰. 农业干旱指数研究与进展[J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(3): 119—124.  
Wang Mixia, Ma Chengjun, Cai Huanjie. Agricultural arid index research and development[J]. *The Arid Area Agricultural Studies*, 1998, 16(3): 119—124. (in Chinese with English abstract)
- [33] 杨晓光, 于沪宁. 冬小麦、夏玉米水分胁迫监测系统[J]. *生态农业研究*, 2000, 8(1): 27—29.  
Yang Xiaoguang, Yu Huning. The water stress detection system of winter wheat and summer maize[J]. *Eco-Agriculture Research*, 2000, 8(1): 27—29. (in Chinese with English abstract)

## Drought monitoring by remote sensing in winter-wheat-growing area of China

Sun Li, Wang Fei, Wu Quan<sup>\*</sup>

(Chinese Academy of Agricultural Engineering Research and Planning, Beijing 100125, China)

**Abstract:** Temperature Vegetation Drought Index (TVDI) and Vegetation Supply Water Index (VSWI) have been widely used for drought monitoring in recent years as they have clear significance in physics and they are easy to be gotten. Winter-wheat-growing area of China has been used as research region in this paper, EOS/MODIS data being used to construct those two indexes for drought monitoring during winter wheat growth in 2009. Through analyzing correlation between the two indexes and soil moistures in different depths, linear regression comparison and verification, conclusions have been drawn that both two indexes have better correlations with soil moisture in 10cm depth than that in 20cm depth, and TVDI has excellent correlation with soil moisture, but VSWI does not. As far as soil moisture being concerned for drought monitoring, TVDI surely perform better than VSWI. Furthermore, TVDI could clearly reflect the tendency of regional drought.

**Key words:** drought, remote sensing, monitoring, MODIS data, temperature-vegetation drought index (TVDI), vegetation supply water index (VSWI)