

几种干旱监测模型在宁夏的对比应用

张学艺^{1,2}, 李剑萍², 秦其明³, 韩颖娟², 张晓煜², 王连喜¹, 官景得²

(1. 南京信息工程大学, 南京 210044; 2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750002;
3. 北京大学遥感与 GIS 研究所, 北京 100871)

摘 要: 利用 MODIS 资料和地面自动气象站观测数据反演地表温度 (*LST*), 结合 MODIS-EVI 试验研究改进型温植被旱情指数 (*MTVDI*)。用通道 2 和 *LST* 试验研究改进型能量指数 (*MEI*), 用通道 1 和通道 2, 引入植被覆盖度, 试验研究改进型垂直干旱指数 (*MPDI*)。结合农业气象常规业务地面取土测墒资料, 建立各指数与土壤含水率的统计函数关系, 均通过 0.01 显著性检验。将所建模型用于宁夏干旱监测业务, 结果表明: *MTVDI*、*MPDI* 在作物生长季监测效果显著, *MEI*、*PDI* 对裸露或稀疏植被地表旱情监测比较有效。几个模型各有优劣, 综合运用才能在实际监测业务中发挥最佳效果, 精度可达 90% 左右。

关键词: 监测, 模型, 干旱, 对比应用, 宁夏

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.004

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0018-06

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—23.

Zhang Xueyi, Li Jianping, Qin Qiming, et al. Comparison and application of several drought monitoring models in Ningxia, China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 18—23. (in Chinese with English abstract)

0 引言

EOS/MODIS 资料的应用在国内较晚, 所能查到的最早研究始于 2001 年刘闯等^[1]的“关于青藏高原冰雪季节性变化信息自动提取应用研究”, 而有关干旱监测的研究应用始于 2004 年谭德宝等^[2]的“基于 MODIS 数据的干旱监测模型研究”, 其后, 基于 MODIS 资料的干旱监测研究应用才逐渐展开。目前, 仍处于一个应用、改进阶段。综合近年来的研究, 方法大致有 4 种: 热惯量法、温植被旱情指数法、能量法和垂直干旱指数法。

热惯量法适合监测裸地或稀疏植被地表, 此方法的构建需要两次过境资料, 且最好是一天中最高和最低地表温度时的过境资料, MODIS Terra/Aqua 难以满足这种要求。到目前为止仅李红梅、马玉寿^[3]运用此方法进行了青海草原春季干旱的监测模型研究, 精度约 75% 左右。

温植被旱情指数法 (*TVDI*) 由于适用范围广、监测精度高等优点, 应用广泛。传统的算法是基于 NASA 提供的 *LST* 和 *NDVI* 陆地产品。田辉等^[4]使用 MODIS 陆地产品研究了中、西部地区的干旱遥感监测技术, 精度基本在 80% 左右。随着国内外 *LST* 反演算法的不断改进^[5-6], 张顺谦等^[7]运用 Becker 提出的算法, 张春桂等^[8]运用覃志豪等提出的算法对 *TVDI* 进行改进, 监测精度都有所提高。但是, 分裂窗算法是建立在大气热辐射传输

模型和对相关参数各种近似、假设基础上的, 算法复杂, 不利于推广使用。为避免参数估计及适用范围限定, 简化计算过程, 本文利用张学艺等^[9]的本地化 *LST* 反演算法对 *TVDI* 进行改进。另据王正兴等^[10]的研究, MODIS-EVI 比 MODIS-NDVI 更适合进行定量遥感的研 究与应用。卢远等^[11]用增强型植被指数 (*EVI*) 取代 *NDVI* 对 *TVDI* 进行了改进, 并获得了较好效果, 精度可提高至 85% 左右。用 *EVI* 取代 *NDVI* 对 *TVDI* 进行改进, 已经得到公认, 尤其是高植被覆盖区效果更好。目前, 尚未见到同时对地面温度 *Ts* 和植被指数 *VI* 进行改进的应用研究, 本文探索了此种方法, 获得改进型温植被旱情指数 (modify temperature-vegetation dryness index, *MTVDI*)。研究表明, 监测精度可控制在 90% 左右, 能较好地应用于宁夏作物生长季的干旱遥感监测业务。

能量指数 (*EI*) 适宜于监测裸地或稀疏植被地表^[12], 指数的构建需要红外或近红外通道反射率和地表亮温。由于同样涉及到地表亮温, 故引入本地化 *LST* 反演算法, 可获得改进型能量指数 (modify energy index, *MEI*), 遥感监测更具实际意义, 精度也从 87% 提高到 90% 左右。

以上 3 种模式由于都用到地表亮温, 空间分辨率被限定到 1 km, 为提高空间分辨率, 设计了垂直干旱指数 (perpendicular drought index, *PDI*)。但 *PDI* 指数对下垫面土壤类型和植被覆盖信息要求高, 为减少植被覆盖的影响, 引入覆盖度概念, 设计了改进型垂直干旱指数 (modify perpendicular drought index, *MPDI*), 在保证空间精度不变的情况下, 可提高监测精度。

目前在各地区的干旱遥感监测中所使用指数往往比较单一, 不能满足复杂地表状况下的干旱监测。本文根据各指数的特点, 选择作物在非生长季用 *MEI* 或 *PDI*, 在作物生长季用 *MTVDI*、*MPDI*, 精度可达 90% 左右。

收稿日期: 2009-03-18 修订日期: 2009-05-18

基金项目: 科技部社会公益研究专项 (2005DIB3J103); 中国气象局新技术推广项目 (CMATG2005M45); 科技部农业科技成果转化资金项目 (2006GB24160429); 中国气象局气象行业科研专项 (GYHY200806022)

作者简介: 张学艺 (1978—), 男, 河南漯河人, 主要从事农业气象及生态遥感应用。银川 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 750002。

Email: yifei_lzu@sohu.com

1 改进型温植被旱情指数 (MTVDI) 的构建

1.1 LST 反演

LST 反演采用张学艺等^[9]的基于 MODIS/Terra 和地面自动站观测数据的统计算法

$$LST = 4.545 \times T_{31} - 3.652 \times T_{32} + 140.548 \times \rho_{19} + 17.257 \times EVI - 8.451 \quad (1)$$

式中: T_{31} 、 T_{32} ——31、32 通道的亮温, K; ρ_{19} ——19 通道的反射率; EVI ——增强型植被指数。

1.2 NDVI 或 EVI 的选取

归一化植被指数 $NDVI$ 为

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (2)$$

式中 ρ_{nir} 、 ρ_{red} ——近红外、红光波段反射率。

增强型植被指数 EVI 为

$$EVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C_1 * \rho_{red} - C_2 * \rho_{blue} + L} (1 + L) \quad (3)$$

式中 ρ_{red} 、 ρ_{nir} 、 ρ_{blue} ——红光、近红外、蓝光波段反射率; $L=1$, 土壤调节参数; $C_1=6.0$, $C_2=7.5$ 。

根据研究^[10], MODIS-EVI 比 MODIS-NDVI 在解决大气校正、高植被区饱和、残留气溶胶和土壤背景影响以及植被指数合成等方面都有较大改进, 对植被季节性变化的敏感性大大提高, 使植被指数与不同覆盖程度植被的线性关系得到明显改善, 更适合开展遥感定量研究。

1.3 MTVDI 构建

1.3.1 干、湿边方程

收集、整理宁夏气象科学研究所接收的 2005—2007 年多景 MODIS 影像资料, 根据式 (1)、(3) 分别获得 LST 和 MODIS-EVI, 步长取 0.01, 得到宁夏地区的 LST-EVI 特征空间 (图 1)。

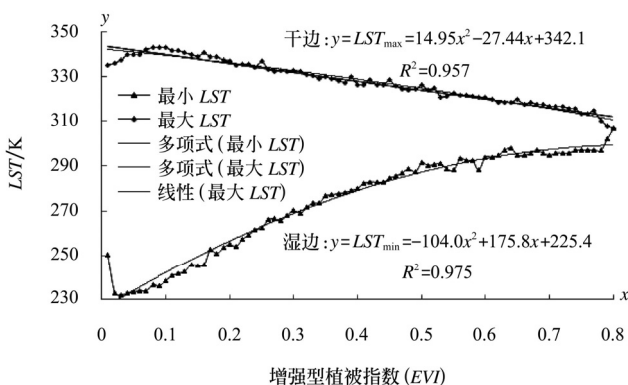


图 1 2005—2007 年 LST-EVI 特征空间分布

Fig.1 LST-EVI characteristic space distribution from 2005 to 2007

由图 1 可知, LST-EVI 特征空间分布可划分为两段。当 $EVI > 0.10$ 时, 干边随 EVI 增大而递减, EVI 与 LST 之间的线性关系非常显著, 而湿边则随 EVI 增大而增大, 两者之间线性关系也非常显著, 可以用来监测作物、林草发育期的旱情监测; 当 $EVI \leq 0.10$ 时, 基本可认为下垫面是裸地, 此时 EVI 没有意义, 应改用 MEI 或 $MPDI$ 进

行干旱监测。干/湿边方程分段表示为干边方程

$$LST_{max} = \begin{cases} 100.72 \times EVI + 334.52 \\ (R^2 = 0.9498, EVI \leq 0.10) \\ 16.555 \times EVI^2 - 55.46 \times EVI + 347.42 \\ (R^2 = 0.9853, 0.10 < EVI \leq 0.80) \end{cases} \quad (4)$$

湿边方程

$$LST_{min} = \begin{cases} -67.25 \times EVI + 238.67 \\ (R^2 = 0.0965, EVI \leq 0.10) \\ -122.91 \times EVI^2 + 207.36 \times EVI + 211.4 \\ (R^2 = 0.9806, 0.10 < EVI \leq 0.80) \end{cases} \quad (5)$$

式中: LST_{max} 、 LST_{min} ——不同 EVI 值对应的干 (最高)、湿边 (最低) 温度, K。

1.3.2 MTVDI 的构建

根据 Sand-holt 等利用简化的 Ts -NDVI 特征空间提出的温植被旱情指数 $TVDI$ 为^[8]

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{min}}}{T_{s_{max}} - T_{s_{min}}} \times 100 \quad (6)$$

式中: $TVDI$ ——温植被旱情指数; T_s ——某像元地面温度; $T_{s_{min}}$ ——对应 $NDVI$ 值的最低地面温度, K; $T_{s_{max}}$ ——对应 $NDVI$ 值的最高地面温度, K。

T_s 的获得通常有两种方式, 一是 NASA 提供的分裂窗算法, 因其算法是基于全球模式的, 本地化运用误差大, 尤其在干旱半干旱地区误差更大。二是覃志豪等提出的改进型分裂窗算法, 不足的是本地化参数多, 需对大气透明度和地表比辐射率进行估算。本研究一方面引入本地化 LST 统计算法^[11], 使获得的地表温度更具有实际意义, 另一方面用更适合于开展定量研究与应用增强型植被指数 (EVI) 取代 $NDVI$, 对传统的 $TVDI$ 进行改进, 得到改进型温植被旱情指数 $MTVDI$

$$MTVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \times 100 \quad (7)$$

式中: LST ——任一像元反演得到的陆面温度, K, 由式 (1) 求得; LST_{max} ——对应 EVI 值反演得到的最高陆面温度, K, 由式 (4) 求得; LST_{min} ——对应 EVI 值反演得到的最低陆面温度, K, 由式 (5) 求得。

2 改进型能量指数 (MEI) 的构建

能量指数 EI ^[12] 为

$$EI = (1 - \rho_2) / T_s \quad (8)$$

式中: ρ_2 ——EOS 卫星 2 通道的反射率; T_s ——EOS 卫星 31 通道亮温, K。

用 1.1 中 LST 算法替代 T_s , 获得改进型能量值数 MEI

$$MEI = (1 - \rho_2) / LST \quad (9)$$

这使得基于能量指数的干旱监测更符合实际下垫面状况。由于 MEI 值较小, 这里将其扩大一万倍, 对其值进行归一化, 其值定义在 0~100, 用 MEI' 替代 MEI , 则

$$MEI' = (MEI \times 5 \times 10^4 - 100) \times 5 = (1 - A_1) / (LST \times 5 \times 10^4 - 100) \times 5 \quad (10)$$

3 MPDI 指数的构建

3.1 PDI 指数介绍

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。图 2 为阿布度瓦斯提·吾拉木等^[13]提出的垂直干旱指数 (PDI) 的示意图。

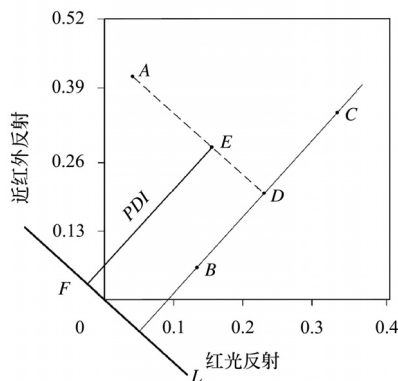


图 2 垂直干旱指数 (PDI) 的示意图

Fig.2 Schematic description of perpendicular drought index (PDI)

在 NIR-Red 特征空间上, 从任何一个点 $E(R_{red}, R_{nir})$ 到直线 L 的距离可以说明地表的干旱情况, 即离 L 线越远地表越干旱, 反之亦然。对黑体来说其干旱指数为最小, 正好落在坐标原点, 其余具有一定反射能力的任何物体越湿润越接近原点。一般来说, 最接近 L 线的空间都是水体或较湿润区域分布。远离 L 线的空间都是较干旱的区域。因此, 可以用 Nir-Red 特征空间上的任意一点 $E(R_{red}, R_{nir})$ 到直线 L 的距离来描述干旱的状况, 可以建立一个基于 Nir-Red 光谱空间特征的干旱监测模型, 即垂直干旱指数 (PDI)。

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{red} + MR_{nir}) \quad (11)$$

式中: R_{red} 、 R_{nir} ——经过大气校正的红光、近红外波段反射率; M ——土壤线斜率。PDI 越大表示地表越干旱, 反之亦然。

PDI 简单实用, 易于操作和获取, 但存在 3 个局限性:

- ①数学表达式和相关参数是基于一条固定土壤基线来确定的, 是一种理想的假设, 实际上土壤线的形状和性质与土壤类型和土壤的施肥状况有关。
- ②植被对可见光、近红外波段多次散射作用强, 也对 PDI 有较大影响。
- ③没有考虑植被覆盖的影响。

3.2 MPDI 指数介绍

针对 PDI 设计的局限性, 引入植被覆盖度, 对在

Nir-Red 光谱特征空间的混合像元进行分解, 获取与旱情有关的纯土壤信息, 将这种改进后的指数称之为改进的垂直干旱指数 MPDI。令 soil 表示土壤, 消除植被信息, MPDI 可表达为:

$$MPDI = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{red, soil} + MR_{nir, soil}) \quad (12)$$

式中: $R_{red, soil}$ ——纯土壤地表时红光波段反射率; $R_{nir, soil}$ ——纯土壤地表时近红外波段反射率。

植被覆盖度 (f_v) 是植被冠层的垂直投影面积与土壤总面积之比, 是描述冠层反射特征的重要因素。当植被覆盖度小于 100% 时, 土壤对植被反射光谱有较大影响。光谱植被指数 (SVIs) 和植被覆盖度具有较高的相关性, 可以利用光谱植被指数来计算植被覆盖度。根据像元中植被覆盖结构的不同, 可以分为纯像元和混合像元两类。其植被覆盖度为 $f_v=1$, 属于纯像元; 如植被不能完全覆盖整个像元, $f_v < 1$, 是植被与土壤构成的混合结构, 属于混合像元。若用 R_i 来表示 i 波段经过大气校正的混合像元反射率, 则有:

$$R_i = f_v R_{i,v} + (1 - f_v) R_{i,soil} \quad (13)$$

式中 $R_{i,v}$ 和 $R_{i,soil}$ ——混合像元中植被与土壤的反射率部分。对公式变形, 可以得到土壤反射率 $R_{i,soil}$ 。

$$R_{i,soil} = \frac{R_i - f_v R_{i,v}}{1 - f_v} \quad (14)$$

这样可分别得到 $R_{red, soil}$ 与 $R_{nir, soil}$, 代入 MPDI 算式, 可以计算 MPDI, 其数学表达式为:

$$MPDI = \frac{R_{red} + MR_{nir} - f_v (R_{red,v} + MR_{nir,v})}{(1 - f_v) \sqrt{M^2 + 1}} \quad (15)$$

式中 $R_{red,v}$ 、 $R_{nir,v}$ ——植被在 Red、NIR 波段的反射率。对某种长势条件下的植被而言, $R_{red,v}$ 和 $R_{nir,v}$ 以近似为固定参数, 而引起植被反射率变化的是植被覆盖度。根据徐希孺和赵英时的研究, 植被在红光波段的反射率一般在 0.05 以下, 而近红外波段的反射率为 0.50 以下。通过叶片或冠层的辐射传输模型也可以计算出植被的 $R_{red,v}$ 和 $R_{nir,v}$ 。为了满足快速反演的需求, 结合宁夏本地的实际情况, $R_{red,v}$ 和 $R_{nir,v}$ 取经验值, 即 $R_{red,v}=0.05$, $R_{nir,v}=0.50$ 。

和 PDI 的区别是, MPDI 的大小由植被覆盖和土壤水分两种因素确定, 在无植被覆盖的裸露土壤表面土壤水分对 MPDI 的影响大, 而在植被覆盖的地表或农田, 植被覆盖状况决定 MPDI, 土壤水分和植被覆盖度的增加都使 MPDI 下降。

4 监测对比结果

4.1 几种模式监测结果

分析 4 种指数 (MTVDI、MEI'、PDI、MPDI) 与不同深度及其组合的土壤含水率 (土壤湿度、土壤相对湿度) 的相关关系, 得出: 各指数与 0~20 cm 土壤湿度相关性最好, 0~50 cm 相关性次之。这里建立各指数与 0~20 cm 土壤含水率之间的函数关系。其中 MTVDI 和 MEI' 指数选择与土壤湿度建立关系, PDI、MPDI 与土壤相对

湿度建立。具体见表 1，参考中国气象局制定农业气象干旱划分标准，结合宁夏实际，干旱划分指标如表 2，不同模式监测不同时期的旱情监测结果如图 3。

表 1 各指数与土壤含水率的相关关系分析

Table 1 Correlation analysis of each index and soil water content

时段	指数类型	公式	R^2
作物生长季	MTVDI	$y = -0.508 \times (x - 50) + 23.814$	0.609
作物非生长季	MEI'	$y = 0.4641 + 0.1035x$	0.732
作物生长季	MPDI	$y = -0.0179x + 0.6057$	0.528
作物非生长季	PDI	$y = -0.0033x + 0.3215$	0.560

注：各模式及因子均通过 0.01 信度检验，样本数为 32 个，y 为各指数对应土壤湿度值，x 为对应各类指数值。

表 2 各指数干旱监测分类指标

Table 2 Classification of the various indicators of drought monitoring index

项 目	范围	分级（程度）
MTVDI、MEI' 与土壤湿度	0~6.0	I 级（重度干旱）
	>6.0~8.0	II 级（中度干旱）
	>8.0~12.0	III 级（轻度干旱）
	>12.0~16.0	IV 级（墒情较为适宜）
	>16.0~20.0	V 级（墒情十分适宜）
	>20.0	VI 级（土壤过湿）
PDI、MPDI 与土壤相对湿度	<11%（>0.4）	I 级（严重干旱）
	>11%~45%（>0.3~0.4）	II 级（轻度干旱）
	>45%~75%（>0.2~0.3）	III 级（正常）
	>75%（0~0.2）	IV 级（湿润）

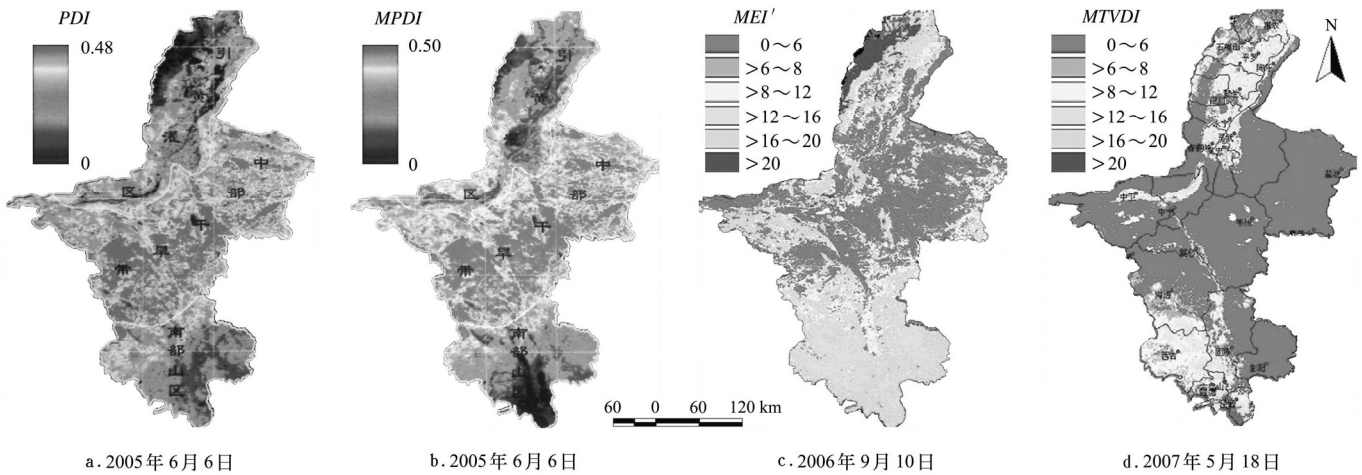


图 3 各类指数不同作物生育期干旱监测结果

Fig.3 Drought monitoring results in different crop growing periods by using different indexes

4.2 模式监测结果及误差分析

4.2.1 3 种监测模式监测精度对比结果

用 PDI、MPDI 对 2005 年 6 月上旬、MEI' 对 2006 年 9 月上旬、MTVDI 对 2007 年 5 月中旬，宁夏的干旱状况进行监测，用所开发的软件对不同干旱程度发生面积进行统计，并与宁夏气象局“干旱灾情直报系统”上报的各干旱发生程度实地调查结果进行对比。为评估模型监测精度，这里提出综合监测精度概念，定义为

$$K = \sum_{i=1}^n (k_i \times x_i)$$

(16)

式中：K——综合监测精度； k_i ——某一级别的干旱监测精度权重系数； x_i ——某一级别的干旱监测精度。为计算方便，这里假定 $k_i=1/n$ 。各指数干旱监测综合精度结果见表 3。

4.2.2 误差分析

- 1) 对于农田的判别本身精度有所限制，监测面积比实际略大些。
- 2) 各监测指数本身就是统计得来的，本身存在统计误差，会影响监测精度。
- 3) 各监测指数的建立是基于理想状态下建立的，而宁夏本身地形和下垫面类型、植被类型、土壤类型等比

较复杂，监测出现局地偏差也是存在的。

表 3 各指数干旱监测综合精度评估

Table 3 Drought monitoring accuracy assessment of each index

指数	轻度受旱/万 hm^2	中度受旱/万 hm^2	重度受旱/万 hm^2	综合监测精度/%
	实际面积/监测面积	实际面积/监测面积	实际面积/监测面积	
MTVDI	29.43/33.38	30.71/36.54	21.24/24.54	86.30
MEI'	132.67/145.95	79.33/85.17	80.67/90.64	91.00
MPDI	15.33/16.49		9.67/11.14	89.90

注：表中作物生长季干旱监测为农田干旱监测精度，非生长季为生态干旱监测精度，2007 年 5 月 18 日农田判别指标为 $0.28 \leq NDVI \leq 0.6$ ，2005 年 6 月 6 日农田判别指标为 $0.3 \leq NDVI \leq 0.7$ 。

5 应用实例

用改进型能量指数 (MEI) 模型，对 2008 年 4 月 28 日（作物生长初期，稀疏植被覆盖下垫面），用改进型温植被旱情指数 (MTVDI) 模型，对 2008 年 6 月 18 日（作物生长季，高植被覆盖下垫面），对宁夏的干旱情况进行监测，如图 4。

根据干旱监测模式，反演得到各土壤湿度监测经纬度点的土壤湿度值，然后把这些估计得到的土壤湿度值

与实际取土测墒结果值进行比较。利用如下公式计算平均相对误差 (REE)。

$$REE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(y_i - y'_i) / y_i]^2}{N}} \quad (17)$$

式中: y_i ——各站点测得的土壤湿度值; y'_i ——模型估算的站点对应经纬度点的土壤湿度值; N ——样本数。得出: MEI 在监测作物生长初期时的估算精度为 90.2%, MTVDI 在监测作物生长季时的估算精度为 87.5%, 监测结果分布趋势与实际发生趋势一直。

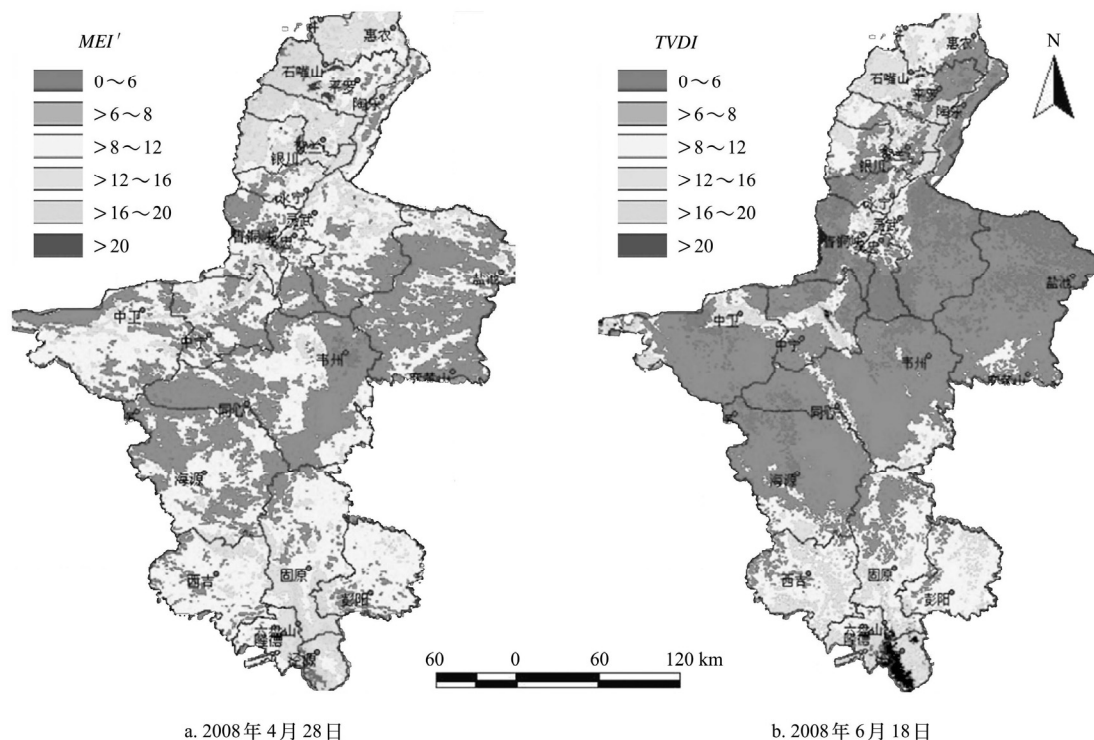


图 4 作物不同生长季节 MODIS/Terra 宁夏干旱遥感监测结果

Fig.4 MODIS/Terra drought remote monitoring results of different growing seasons of crops in Ningxia, China

6 结论与讨论

1) MTVDI 监测精度可达 86.3%, MEI 可达 91%, 比传统监测方法提高了 4% 左右。在裸地或稀疏植被地表, PDI 和 MPDI 的干旱监测精度相当, 高植被覆盖时, MPDI 的监测结果远好于 PDI。

2) MTVDI 和 MPDI 都适合于作物生长季的干旱监测, MPDI 空间分辨率高, 但监测精度不如 MTVDI。MEI 适合于作物非生长季的干旱监测。总的来说, 几个模型各有优劣, 在实际监测业务中, 要综合运用才能发挥最佳效果。

3) 目前, MTVDI 和 MEI 监测模型已投入宁夏本地业务运行, 所编写软件已获国家专利, 并在兰州区域中心进行推广试用。MPDI 监测模型正在进行程序编写, 目前还没有进行业务运行。

4) 建议在构建 LST-EVI 特征空间时, 要求有足够长的时间序列, 所构建的区域下垫面情况要足够丰富。最好分季节、分区域地建立各干旱监测模型, 若引入辅助参数, 如植被、土壤等, 则效果会更好。

[参 考 文 献]

[1] 刘闯, 陈圣波. EOS-MODIS 数据在青藏高原冰雪季节性

变化信息自动提取中的应用研究[J]. 遥感信息, 2001, (4): 30—31.

Liu Chuang, Chen Shengbo. EOS-MODIS data on seasonal changes in snow and ice in the Qinghai-Tibet Plateau automatic extraction of information in applied research[J]. Remote Sensing Information, 2001, (4): 30—31. (in Chinese with English abstract)

[2] 谭德宝, 刘良明, 鄢俊洁, 等. MODIS 数据的干旱监测模型研究[J], 长江科学院院报, 2004, 21(3): 11—15.

Tan Debao, Liu Liangming, Yan Junjie, et al. Research on drought monitoring model based on MODIS data[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2004, 21(3): 11—15. (in Chinese with English abstract)

[3] 李红梅, 马玉寿. 基于 EOS/MODIS 的青海草原春季干旱监测模型[J], 草业科学, 2008, 25(11): 20—23.

Li Hongmei, Ma Yushou. EOS/MODIS-based drought monitoring models for pasture in spring in Qinghai Province [J]. Pratacultural Science, 2008, 25(11): 20—23. (in Chinese with English abstract)

[4] 田辉, 马耀明, 胡晓, 等. 使用 MODIS 陆地产品 LST 和 NDVI 监测中国中、西部干旱[J]. 高原气象, 2007, 26(5): 1086—1096.

Tian Hui, Ma Yaomin, Hu Xiao, et al. Monitoring drought in mid-western China using MODIS land product LST and

- NDVI[J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(5): 1086—1096. (in Chinese with English abstract)
- [5] 毛克彪, 覃志豪, 施建成, 等. 针对 MODIS 影像的劈窗算法研究[J]. 武汉大学学报, 2005, 30(8): 703—707.
Mao Kebiao, Qin Zhihao, Shi Jiancheng, et al. The research of split-window algorithm on the MODIS[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(8): 703—707. (in Chinese with English abstract)
- [6] 杨虎, 杨忠东. 中国陆地区域陆表温度业务化遥感反演算法及产品运行系统[J]. 遥感学报, 2006, 10(4): 600—607.
Yang Hu, Yang Zhongdong. A modified land surface temperature split window retrieval algorithm and its applications over China[J]. Journal of Remote Sensing, 2006, 10(4): 600—607. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张顺谦, 卿清涛, 侯美亭, 等. 基于温度植被干旱指数的四川伏旱遥感监测与影响评估[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 141—146.
Zhang Shunqian, Qing Qingtao, Hou Meiting, et al. Remote sensing and impact estimation for Sichuan hot-drought based on temperature vegetation dryness index[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(9): 141—146. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张春桂, 陈家金, 林晶, 等. VI-LST 遥感模型在福建省干旱灾害监测中的应用[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2008, 37(4): 409—414.
Zhang Chungui, Chen Jiajin, Lin Jing, et al. Application of drought monitoring in Fujian based on VI-LST remote sensing model[J]. Journal of Fujian Agricultural and Forestry University, 2008, 37(4): 409—414. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张学艺, 张晓煜, 卫建国, 等. 基于 MODIS 资料的宁夏 LST 反演方法新探索[J]. 气象, 2009, (5): 63—67.
Zhang Xueyi, Zhang Xiaoyu, Wei Jianguo, et al. The new exploration of the retrieving land surface temperature from MODIS data in Ningxia Province[J]. Meteorological Monthly, 2009, (5): 63—67. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王正兴, 刘闯, HUETE Alfredo. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 9791—987.
Wang Zhengxing, Liu Chuang, HUETE Alfredo. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: Advances in vegetation index research[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 9791—987. (in Chinese with English abstract)
- [11] 卢远, 华瑾, 韦燕飞. 利用 MODIS 数据进行旱情动态监测研究[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(3): 55—57.
Lu Yuan, Hua Cui, Wei Yanfei. Dynamic Drought Monitoring Using MODIS Product[J]. Geography and Geo-Information Science, 2007, 23(3): 55—57. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张文宗, 姚树然, 赵春雷, 等. 利用 MODIS 资料监测和预警干旱新方法[J]. 气象科技, 2006, 34(4): 501—504.
Zhang Wenzong, Yao Shuran, Zhao Chunlei, et al. New method for drought monitoring and preparing with EOS/MODIS[J]. Meteorological Science and Technology, 2006, 34(4): 501—504. (in Chinese with English abstract)
- [13] Qin N, 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, 2007, 26(16): 1—13.

Comparison and application of several drought monitoring models in Ningxia, China

Zhang Xueyi^{1, 2}, Li Jianping², Qin Qiming³, Han Yingjuan², Zhang Xiaoyu², Wang Lianxi¹, Guan Jingde²

(1. Nanjing Information Engineering University, Nanjing 210044, China;

2. Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, China;

3. Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Land surface temperature (LST) was obtained by MODIS data and observation data from automatic weather station on the ground. Modify temperature-vegetation dryness index (MTVDI) was studied by LST combined with MODIS-EVI. Modified energy index (MEI) was studied by channel 2 data and LST test. Vegetation coverage was introduced, and modify perpendicular drought index (MPDI) was studied by channel 1 and channel 2 data. Combined with the soil moisture data from the agro-meteorological regular observation business, statistical functions of the indexes and soil moisture were established, which were all pass the 0.01 significance test. The models had been applied to Ningxia drought monitoring business, the results showed that the monitoring effects of MTVDI and MPDI were significant in crop growing season, and MEI, PDI were effective on bare ground or sparse vegetation. Each model has its own advantage and disadvantage, and the comprehensive application of the models could achieve the best results during the actual monitoring. The accuracy could reach to 90%.

Key words: monitoring, models, drought, comparative application, Ningxia