

基于温度植被干旱指数的黑龙江省旱情动态研究

吴 黎

(黑龙江省农业科学院遥感技术中心, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要: 2015 年黑龙江省发生大面积干旱,为了对此旱情进行动态监测,采用 6—9 月的 MODIS 数据,计算温度植被干旱指数(TVDI);以过去 15 年(2000—2014 年)的全省 40 个旱作农业站点以旬为单位的 TVDI 为研究对象,根据土壤相对湿度的农业干旱等级划分标准,制定 TVDI 的干旱监测等级,利用 2011 年实地测取土壤相对湿度数据对该等级进行验证,结果表明,验证结果准确度达到 83%。结果显示:TVDI 被分为 5 个等级,TVDI < 0.46 为无旱,TVDI 在 0.46~0.57 之间为轻旱,TVDI 在 0.57~0.76 之间为中旱,TVDI 在 0.76~0.86 之间为重旱,TVDI > 0.86 为特旱,用此标准对黑龙江省 2015 年的旱情进行分析,能够较好地反映出黑龙江省整体的实际旱情。在监测中 2015 年 7 月份全省旱情最为严重,持续到 8 月中旬,到 8 月下旬省内各地陆续降雨,重旱区域减少,整体旱情减轻。

关键词: 温度植被干旱指数;MODIS; 干旱等级划分;黑龙江省

中图分类号: S423 **文献标志码:** A

Investigation on dynamic changes of drought in Heilongjiang Province
based on temperature vegetation drought index

WU Li

(Remote Sensing Technique Center of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China)

Abstract: To carry out dynamic monitoring of the drought in Heilongjiang Province in 2015, MODIS data from June to September were used to calculate temperature vegetation drought index (TVDI). Baesd on the agricultural drought grade division standard of soil relative humidity and TVDI data of ten days as a unit over the past 15 years from 40 dry farming site, TVDI drought monitoring level was set. The agricultural drought grade division standard were verified by the soil relative humidity data of field survey in 2011, and the accuracy of the verified results reached 83%. The results showed there were five levels of TVDI value: no drought (TVDI < 0.46), light drought (0.46 < TVDI < 0.57), medium drought(0.57 < TVDI < 0.76), severe drought(0.76 < TVDI < 0.86), critical drought (0.86 < TVDI). The drought in Heilongjiang province in 2015 was analyzed according to the level standard. The most serious drought took place in July, and it lasted until mid August. Thereafter, areas suffered from heavy drought diminished and the overall drought was relieved because of succession of rain throughout the province.

Keywords: temperature vegetation drought index; MODIS; classification of drought grades; Heilongjiang Province

干旱是全球最为常见的自然灾害,我国也是干旱频繁发生的国家,特别是在北方^[1]。近年来,随着经济的迅速发展,人口增加,自然环境的日益破坏,全球性气候变暖等因素,使得干旱有了进一步加重的趋势^[2]。传统的农业旱情监测主要基于地面站点的土壤墒情数据,虽然其真实性较高,但监测精度受控于地面站点的分布密度,很难大范围精细地反映干旱状况。遥感技术以其及时、客观、数据连续性强,覆盖范围广等优点,弥补了地面站点的不足^[3],

已成为区域旱情监测的重要手段。遥感手段监测大范围旱情方法很多,其旱情指标或是建立在植被指数基础上,或是建立在地面温度基础上^[4]。学者提出植被指数是反映植物生长状况和地表植被覆盖度大小,利用植被指数作为水分胁迫指标表现出一定的滞后性,相比之下地面温度时效性更高,可是单独采用地面温度作为指标,在植被覆盖度较低的条件旱情较高可能受到地面背景温度的干扰。因此利用地表温度和植被指数特征空间耦合而成的温度植

收稿日期:2016-05-10
基金项目:哈尔滨市科学技术局青年后备人才项目(2014RFQYJ108);国防科工局重大专项科研项目子项目(E0201/1112-2)
作者简介:吴 黎(1983—),女,黑龙江巴彦人,助理研究员,研究方向为农业遥感与应用。E-mail:aromawu@163.com。

被干旱指数(TVDI)监测大范围的旱情得到了快速发展^[5]。齐述华^[6]等利用不同时相的 NDVI-TS 特征空间对全国进行了旱情监测,结果表明,TVDI 与土壤湿度显著相关,用来大范围评价旱情是合理的。范辽生^[8]推导出利用 TVDI 和干、湿边土壤水分计算土壤含水量的方程,利用方程反演了杭州市伏旱期间的土壤表层的相对湿度,结果表明反演值和实测值之间的平均绝对误差较小。由此看出 TVDI 模型是一种较为成熟和理想的干旱监测模型,因此本文采用 TVDI 模型法监测干旱情况。在干旱管理中,为了能及时了解 and 应对不同程度的干旱,人们往往把干旱划分为不同的等级。目前我国已有气象干旱指标、农业干旱指标的国家级干旱等级标准,但对遥感监测指标的干旱等级划分研究较少。在应用遥感手段监测干旱时必须研究干旱的严重性、区域性和周期性等,而其严重程度就势必要对遥感干旱监测指标进行分级。如能将传统农业旱情监测法与现代的 TVDI 监测干旱法相结合,根据现有的国家干旱等级标准,来进一步制定 TVDI 模型法的干旱等级,这样即对干旱监测方法有了进一步的深入研究,又能获得近实时定量化的干旱遥感监测方法,进而提高 TVDI 监测土壤旱情的精度。

本文以黑龙江省为研究对象,利用省内 40 个市县气象观测站点、15 年作物生长期,以旬为单位观测到的土壤墒情数据与同时间、同观测点的 MODIS 遥感影像数据监测的 TVDI 值相匹配,运用区间估计法,以国家气象干旱等级标准为依托,制定 TVDI 的干旱监测等级,同时验证该等级的精度。最后利用该方法对 2015 年黑龙江省农用地进行旱情监测,分析旱情发生的范围、程度和发展变化趋势,为决策部门提供引导和支持的依据。

1 研究区概况

黑龙江省位于我国东北边疆,东、北部隔乌苏里江、黑龙江与俄罗斯相望,南部与吉林省接壤,西部与内蒙古自治区毗邻。全省总面积 45.4 万 km²,位居全国第六位,有耕地 9.33 万 km²,其粮食产量位居全国首位,是我国重要的商品粮生产基地。可同时又是严重缺水的省份之一,水资源总量仅占全国的 2.7%;且水资源时空分布不均,东部多、西部少,山区多、平原少。年平均降水量为 434.5 mm, < 400 mm 占 37.5%, 400 ~ 500 mm 占 45.8%, > 500 mm 占 16.7%^[7]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与数据处理

2.1.1 数据来源 遥感数据利用 MODIS 标准产品中 16 d 合成的植被指数 MOD13A2 和 8 d 合成的地表温度 MOD11A2 数据。16 天数据选取包括 2001—2015 年每年 5 月 25 日—6 月 10 日, 6 月 11 日—6 月 26 日, 6 月 27 日—7 月 12 日, 7 月 13 日—7 月 28 日, 7 月 29 日—8 月 13 日, 8 月 14 日—8 月 29 日, 8 月 30 日—9 月 14 日, 9 月 15 日—9 月 30 日的 8 期遥感影像产品,涵盖了农作物的整个生长阶段。

利用 MCD12Q1 土地覆盖类型产品数据,监测黑龙江省农用地种植区域。根据国际地圈生物圈计划(IGBP)的全球植被分类方案,选取 DN 值为 12 的像元为农用地。

确定 TVDI 指数的干旱划分等级,需要黑龙江省 40 个气象站点内与遥感数据时效相对应的每一监测期内的 0 ~ 50 cm 土层的土壤相对湿度数据,一年 8 期,一期 40 个站点,15 a,总共 4 800 个土壤相对湿度数据。

2.1.2 数据处理 首先利用 ModisTool 工具,将 MOD11A2 和 MOD13A2 产品数据进行投影转换,投影采用 Albers Equal Area,基准面为 WGS-84;其次利用 ENVI 软件将 MOD11A2 产品合成为 16 d 产品,合成原则是取两景 8 d 数据进行最大值合成,合成后对其 LST-day 波段进行拼接,并利用黑龙江省矢量图进行研究区的裁剪,得到研究区内的 LST 产品;对 MOD13A2 数据进行重采样得到 1 km 分辨率数据,对其 NDVI 波段进行拼接、投影和裁剪,最后得到研究区 NDVI 产品。然后以 0.01 的 NDVI 阈值为步长构建 NDVI-LST 特征空间模型并同时计算 TVDI。最后利用 MCD12Q1 土地覆盖类型产品提取农用地,利用 ENVI 的掩膜技术,将黑龙江省内非农用地区域进行过滤处理,得到黑龙江省农用地范围内 TVDI 值。

2.2 研究方法

2.2.1 TVDI 模型法 国内外学者研究了各种空间尺度和时间分辨率的植被指数和地表温度的关系,发现 NDVI 和 T_s 之间存在明显的负相关关系。主要原因是植被受到水分胁迫时下垫面温度会急剧升高。Sandholt^[13]等在研究植被指数-地表温度特征空间时发现了多条直线,据此提出了采用温度植被干旱指数 TVDI 监测地表湿度状况,计算公式为:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{min}}}{T_{s_{max}} - T_{s_{min}}} \tag{1}$$

$Ts_{\max}$

=

$a_1 + b_1 \times NDVI$

(2)

$Ts_{\min}$

=

$a_2 + b_2 \times NDVI$

(3)

代入公式(1)

$$TVDI = \frac{Ts - (a_2 + b_2 \times NDVI)}{(a_1 + b_1 \times NDVI) - (a_2 + b_2 \times NDVI)}$$

(4)

式中, Ts 为地表温度; $Ts_{\min}$ 为相同 NDVI 条件下的最小地表温度, 对应 NDVI - TsI 特征空间的湿边; $Ts_{\max}$ 为相同 NDVI 条件下的最大地表温度, 对应 NDVI - Ts 特征空间的干边。其中 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 为拟

合方程系数。

对于每个像元, 利用 NDVI 确定 $Ts_{\max}$, 根据 T 在 Ts /NDVI 梯形模型中的位置, 计算 TVDI。当 TVDI 越大时, 土壤湿度就越小; TVDI 越小时, 土壤湿度越大。在估计参数时, 要求研究区域的范围足够大, 地表覆盖从裸土变化到比较稠密的植被覆盖, 土壤表层含水量从干枯含水量变化到田间持水量。

2.2.2 TVDI 干旱等级划分方法 《气象干旱等级》^[9] 中规定土壤相对湿度即土壤实际含水量占土壤田间持水量的比值, 以百分率(%)表示, 其等级划分见表 1。

表 1 土壤相对湿度干旱等级划分

Table 1 Drought grades of soil relative humidity

等级 Grades	类型 Type	10 ~ 20 cm 深度土壤相对湿度 Soil relative humidity (10 ~ 20 cm depth)	干旱影响程度 Degree of drought
1	无旱 No drought	$60\% < R$	地表湿润或正常 Wet or normal surface, no drought
2	轻旱 The light drought	$50\% < R \leq 60\%$	地表蒸发量较小, 近地表空气干燥 Surface evaporation is small, near surface air is dry
3	中旱 The medium drought	$40\% < R \leq 50\%$	土壤表面干燥, 地表植物叶片有萎蔫现象 Soil surface is dry, surface plant leaves are wilting
4	重旱 The serious drought	$30\% < R \leq 40\%$	土壤出现较厚的干土层, 地表植物萎蔫、叶片干枯, 果实脱落 Thicker dry soil layer appears, the surface plant is wilting, the blades are dry, and fruits fall off
5	特旱 The critical drought	$R \leq 30\%$	基本土壤蒸发, 地表植物干枯、死亡 Surface plants are dry and dead

将 4 800 个土壤相对湿度数据与 MODIS 数据获取的 TVDI 值逐一对应, 按照土壤相对湿度的《气象干旱等级》^[9] 划分标准将 TVDI 值一一落在相应的分级区域内, 即某一像素按照某已知土壤相对湿度划分为中旱时, 则将该像素的 TVDI 值划分到中旱这一等级。TVDI 值在 0 ~ 1 区间, 通过区间估计原理确定《气象干旱等级》^[9] 中每种干旱类型相对应的 TVDI 干旱等级置信区间的下限值, 将该下限作为 TVDI 两种干旱类型间的划分标准。

在 TVDI 点估计中, 设总体 X 的分布中含有未知参数 θ , $\theta(X_1, X_2, \cdots, X_n)$ 和 $\bar{\theta}(X_1, X_2, \cdots, X_n)$ 是由样本 $X_1, X_2, \cdots, X_n$ 确定的两个统计量。对给定的数 $\alpha(0 < \alpha < 1)$, 如果对参数 θ 的任何值都有

$P\{\theta < \theta < \bar{\theta}\}$

=

$1 - \alpha$

(5)

则称随机区间 $(\theta, \bar{\theta})$ 为参数 θ 的置信度为 $1 - \alpha$ 的置信区间, $\theta, \bar{\theta}$ 分别称为 θ 的双侧置信区间的置信下限和置信上限。置信度 $1 - \alpha$ 表达了区间估计的可靠性, 它是区间估计的可靠概率, α 表达了区间估计的不可靠概率^[15]。在本研究中取 α 为 0.05, 则计算参

数的置信度为 0.95 的置信区间。

我们取置信区间的上限作为 TVDI 干旱等级的划分界限, 那么当正态总体 σ^2 未知时, 其均值 μ 的单产置信上限为:

$(-\infty, \bar{X} + \frac{S}{\sqrt{n}}t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1))$

(6)

其中, S 为样本标准差, $t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)$ 是自由度 $n-1$ 的 t 分布关于 $\frac{\alpha}{2}$ 的上侧分位数^[16]。

2.2.3 地面数据采集方法 根据表 3 中 TVDI 干旱等级划分标准, 对多年以旬为单位的干旱监测结果进行分级, 分别以不同颜色显示不同等级。在干旱等级划分中利用了气象站点的土壤相对湿度数据, 2011 年选取肇东市和宾县两个样区, 采用实地测量的方法, 再对 TVDI 干旱监测模型的定量化结果进行验证分析。

实际测量中在每个样区(肇东市、宾县)分别选取 10 个 1 000 m × 1 000 m 的样地(MODIS 影像中为一个像元大小), 每个样地内平均测量 5 次土壤水分(即 A、B、C、D、E 5 个点), 用其总体平均值来代替该样地的土壤水分值, 样地及样点分布情况见图 1 ~ 2。

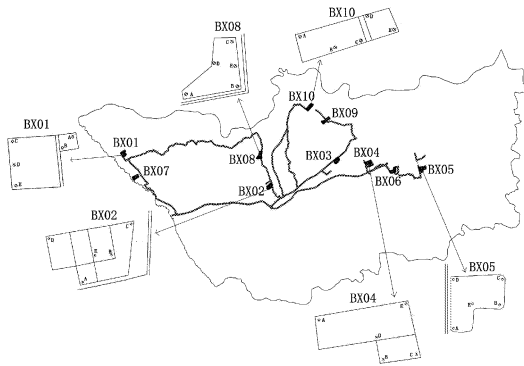


图 1 宾县实地测量土壤水分监测点分布

Fig.1 Distribution of soil for moisture-measuring in Binxian

注:遥感影像反演土壤水分分辨率为 1 000 m,因此地面样地采取 1 000 m×1 000 m 范围大小,为提高地面测量精度,在每个样区内均匀选取 5 个点测量土壤水,并用均值代表该样区的土壤水分值,下图同。

Note: remote sensing image resolution inversion of soil moisture is 1 000 m, so the ground sample size is 1 000 m×1 000 m, in order to improving the ground of measurement precision, we equally choose five points to measure the soil moisture in each sample, the average value represents the soil moisture in the sample area, the same below.

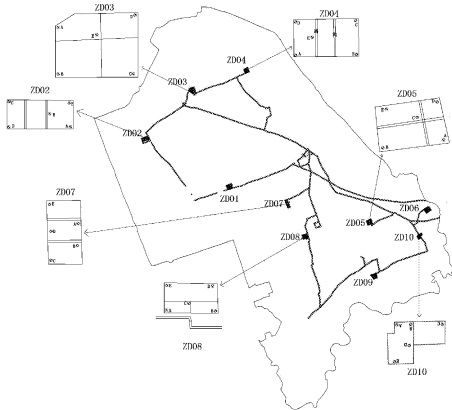


图 2 肇东市实地测量土壤水分监测点分布

Fig.2 Distribution of soil for moisture-measuring in Zhaodong

2011 年 4 月中旬开始测量样区内土壤的田间持水量,之后分别在 6 月 8 日,6 月 27 日,8 月 11 日,

8 月 28 日,9 月 14 日分 5 次对两个样区 20 个样地内的样点进行 0~50 cm 土层的土壤水分测量。最后将田间持水量与每次测得的土壤水分数据相运算,得到每次每个样地的土壤相对湿度数据。

3 结果与验证分析

3.1 TVDI 干旱等级划分结果

TVDI 值取 0~1 之间,其值与土壤相对湿度呈负相关性,当 TVDI 值越小时,表示土壤相对湿度越大,越少有旱情发生;相反当 TVDI 值越大时,表示土壤相对湿度越小,土壤越干旱。根据土壤相对湿度指数的干旱等级划分标准,先确定 TVDI 无旱和干旱的划分标准,应用单侧置信区间的原理,计算得到无旱这一级别置信区间上限,即从 0 到该置信区间上限均为无旱标准。

在轻旱和中旱等级划分中,同样利用单侧置信区间理论,计算轻旱这一级别的置信区间上限,该上限值即为中旱的下限值,同样的方法找到中旱和重旱及重旱和特旱的分界值。TVDI 被分为无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱 5 个等级,TVDI 量化指标的综合分析结果如表 2。

在特旱的等级划分中,由于土壤相对湿度数据符合特旱等级的非常少,因此不单独对该等级进行 TVDI 的等级划分,用划分重旱的上限作为特旱的下限,TVDI 值的最大值 1 作为特旱的置信度上限。TVDI 干旱等级划分标准如表 3。

3.2 TVDI 干旱等级划分的验证

3.2.1 验证结果 将实地测量数据判断的土壤干旱情况与 TVDI 干旱等级划分的土壤干旱情况进行对比,确定 TVDI 干旱等级划分的精度,结果表明 TVDI 干旱等级划分标准的准确率达到 83%,证明了 TVDI 可有效监测土壤干旱情况,其等级划分标准准确度高。在实地测量数据中随机抽取 30 个与 TVDI 等级划分做对比分析(表 4)。

表 2 TVDI 量化指标的综合分析

Table 2 Quantitative analysis on TVDI

干旱等级 Drought grades	TVDI			
	样本均值 Sample mean	样本标准差 Sample standard deviation	置信度(95%) Confidence level	置信度上限 Confidence limit
无旱 No drought	0.45	0.16	0.01	0.46
轻旱 The light drought	0.563	0.02	0.004	0.57
中旱 The medium drought	0.73	0.12	0.026	0.76
重旱 The severe drought	0.83	0.057	0.026	0.86
特旱 The critical drought	—	—	—	1

表 3 温度植被干旱指数干旱等级划分标准

Table 3 Classification criteria of drought grades based on temperature vegetation drought index

等级 Grades	干旱等级 Drought grades	TVDI 值范围 TVDI levels
1	无旱 No drought	$0 < \text{TVDI} < 0.46$
2	轻旱 The light drought	$0.46 \leq \text{TVDI} < 0.57$
3	中旱 The medium drought	$0.57 \leq \text{TVDI} < 0.76$
4	重旱 The severe drought	$0.76 \leq \text{TVDI} < 0.86$
5	特旱 The critical drought	$0.86 \leq \text{TVDI} < 1$

3.2.2 实地测量数据验证结果分析

(1) TVDI 与实地测量 0 ~ 20 cm 土壤相对湿度

数据相关性高。

用地面采集土壤相对湿度数据与 TVDI 值做拟合度分析,从图 3 可看出实地测量 0 ~ 20 cm 的土壤相对湿度数据与对应的 TVDI 值相关性较高,拟合度 R^2 为 0.65,效果较好;其之间呈负相关关系,即土壤相对湿度越大,旱情等级越低,相反旱情发生越严重。从验证结果来看,利用 TVDI 干旱等级划分标准对黑龙江省旱情进行监测可准确反映出黑龙江省的实际旱情。

(2) 在分析中发现 TVDI 干旱等级划分的临界点值附近 TVDI 划分标准与实际标准存在偏差。

表 4 实测土壤相对湿度数据与 TVDI 干旱等级划分对比

Table 4 Comparison of the measured soil relative humidity data with classification of drought grades based on TVDI

序号 Number	监测时间 Time	监测区域 Region	土壤相对湿度 Soil relative humidity/%	农业干旱等级 The agricultural drought grade	TVDI 值 TVDI value	TVDI 干旱等级 TVDI drought grade	是否匹配 YES/NO
1	2011-06-08	BX01	47.84	中旱 The medium drought	0.6	中旱 The medium drought	是 Yes
2	2011-06-08	BX02	43.97	中旱 The medium drought	0.72	中旱 The medium drought	是 Yes
3	2011-06-08	BX05	39.57	重旱 The severe drought	0.80	重旱 The severe drought	是 Yes
4	2011-06-27	BX01	25.29	特旱 The critical drought	0.95	特旱 The critical drought	是 Yes
5	2011-06-27	BX02	31.99	重旱 The severe drought	0.84	重旱 The severe drought	是 Yes
6	2011-06-27	BX04	39.79	重旱 The severe drought	0.77	重旱 The severe drought	是 Yes
7	2011-06-27	BX05	37.32	重旱 The severe drought	0.85	重旱 The severe drought	是 Yes
8	2011-08-11	ZD08	59.27	轻旱 The light drought	0.53	轻旱 The light drought	是 Yes
9	2011-08-28	ZD03	31.30	重旱 The severe drought	0.80	重旱 The severe drought	是 Yes
10	2011-08-28	ZD02	43.79	中旱 The medium drought	0.74	中旱 The medium drought	是 Yes
11	2011-08-11	ZD01	55.39	轻旱 The light drought	0.54	轻旱 The light drought	是 Yes
12	2011-06-27	ZD08	87.81	正常 No drought	0.23	正常 No drought	是 Yes
13	2011-06-27	ZD07	24.32	特旱 The critical drought	0.93	特旱 The critical rought	是 Yes
14	2011-06-27	ZD06	45.68	中旱 The medium drought	0.74	中旱 The medium drought	是 Yes
15	2011-06-08	ZD02	38.74	重旱 The severe drought	0.79	重旱 The severe drought	是 Yes
16	2011-06-08	ZD03	34.14	重旱 The severe drought	0.77	重旱 The severe drought	是 Yes
17	2011-06-08	ZD04	43.25	中旱 The medium drought	0.65	中旱 The medium drought	是 Yes
18	2011-06-08	ZD06	31.50	重旱 The severe drought	0.88	特旱 The critical drought	否 No
19	2011-06-08	ZD08	62.21	正常 No drought	0.42	正常 No drought	是 Yes
20	2011-09-14	BX10	29.15	特旱 The critical drought	0.87	特旱 The critical drought	是 Yes
21	2011-09-14	BX05	33.28	重旱 The severe drought	0.76	重旱 The severe drought	是 Yes
22	2011-08-28	BX04	44.85	中旱 The medium drought	0.73	中旱 The medium drought	是 Yes
23	2011-08-28	BX05	46.6	中旱 The medium drought	0.63	中旱 The medium drought	是 Yes
24	2011-08-28	BX06	47.51	中旱 The medium drought	0.64	中旱 The medium drought	是 Yes
25	2011-09-14	ZD05	41.52	中旱 The medium drought	0.63	中旱 The medium drought	是 Yes
26	2011-06-27	ZD08	28.80	特旱 The critical drought	0.96	特旱 The critical drought	是 Yes
27	2011-06-27	ZD03	73.17	正常 No drought	0.96	特旱 The critical drought	否 No
28	2011-08-11	ZD07	53.53	轻旱 The light drought	0.59	中旱 The mediumdrought	否 No
29	2011-08-28	ZD05	30.96	重旱 The severe drought	0.75	中旱 The medium drought	否 No
30	2011-06-27	BX09	32.88	重旱 The severe drought	0.85	重旱 The severe drought	是 Yes

如土壤相对湿度数据为 30.96%,严格按照农业干旱等级分类属于重旱,而 TVDI 的重旱与中旱的临界值为 0.76,此时该点对应的 TVDI 值为 0.75 属于中旱等级,虽然 TVDI 值相差很小,但却归属于不同的干旱级别,因此虽然 TVDI 干旱等级划分标准整体精度较高,但在分界临界值的位置上还是存在小误差,待后期通过收集更多临界值附近的干旱数据完善这一问题。

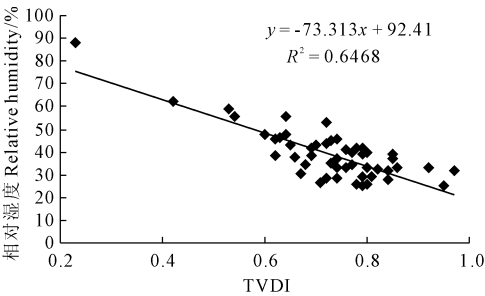


图 3 实测土壤相对湿度数据与 TVDI 值的关系
Fig.3 The relationship between the measured soil relative humidity data and TVDI value

(3) 遥感数据受云影响使得 TVDI 分级结果与实际结果误差较大。

从表 4 中可看到有的土壤相对湿度较大,而 TVDI 值也较大,干旱情况完全相反,这是由于遥感数据有云的干扰,由于降雨土壤相对湿度较大,受云干扰此时遥感图像反演的并不是真实的陆面情况,云层较厚时,NDVI 值较小, LST 值较大, LST/NDVI 建模反演 TVDI 值偏大。云是遥感数据处理的难题,薄云可做大气校正简单处理,厚云只能将云覆盖

的区域掩膜掉,不做 TVDI 分析使用。

3.3 实际旱情发生结果验证

根据表 3 干旱等级的划分标准,对多年以来以旬为单位的干旱监测结果进行分级,分别以不同灰度显示不同的等级。同时对 2015 年黑龙江省农用地进行干旱监测。结果显示,7 月下旬全省大范围内出现中旱,至 8 月初期,松嫩平原出现局部重旱旱情,8 月下旬,全省旱情缓解,三江地区旱情较严重。根据省内气象站点数据可知自 2015 年 7 月全省气温较常年略高,降水偏少,从 7 月开始全省旱情呈现波动变化,月末西部、东部均出现旱情,8 月初西部局部旱情加重,东部部分地区由于降雨干旱有所缓解,由于黑龙江省降雨分布不均,在泰来、肇东、肇源降水量不足 10 mm,与历年同期相比,松嫩平原、三江平原个别县呼玛、孙吴、绥芬河、东宁偏少 1~9 成,致使三江平原、松嫩平原大部分区域均受到不同程度的干旱影响。监测结果与实际气象部门监测结果相同,因此证明 TVDI 监测大面积土壤干旱方法可行,其 TVDI 的干旱等级划分标准也具有可行性。

4 结 论

本文利用土壤相对湿度气象干旱等级划分标准建立了温度植被干旱指数模型的干旱划分等级,利用该等级结合全省同期气象资料及实际调查研究对干旱监测结果进行分析评价。结果表明:遥感监测 TVDI 值与 0~20 cm 土壤相对湿度值线性拟合度较好,说明该方法可以对黑龙江省干旱进行监测;利用置信区间原理将 TVDI 分为 5 个级别:0<TVDI<0.46

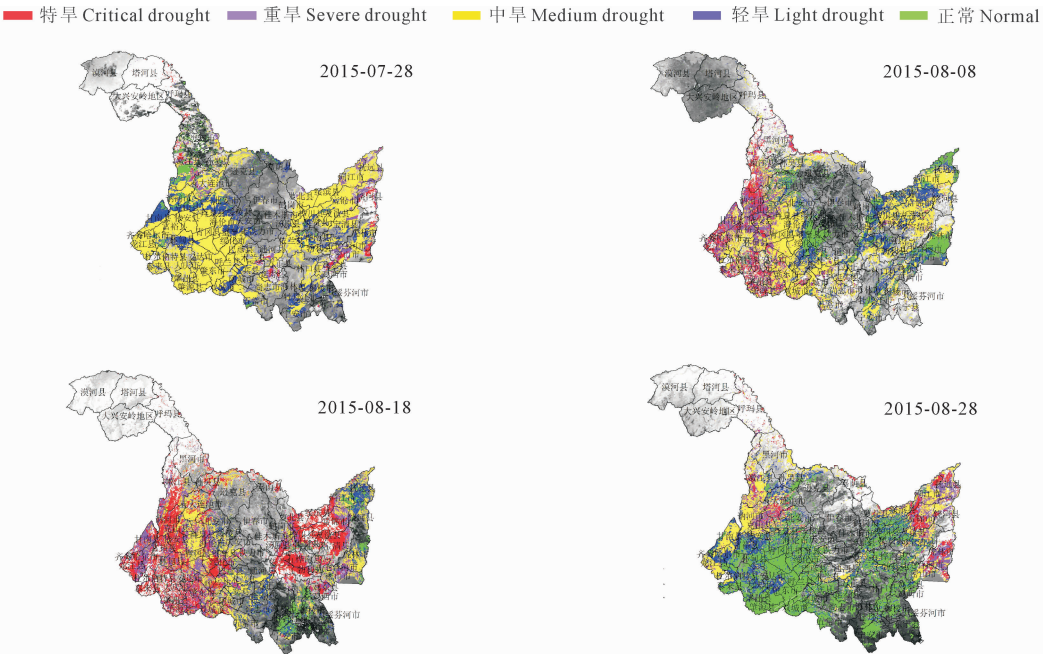


图 4 2015 年黑龙江省农用地干旱监测
Fig.4 Drought monitoring on agricultural dryland in Heilongjiang province in 2015

为无旱, $0.46 \leq \text{TVDI} < 0.57$ 为轻旱, $0.57 \leq \text{TVDI} < 0.76$ 为中旱, $0.76 \leq \text{TVDI} < 0.86$ 为重旱, $0.86 \leq \text{TVDI} < 1$ 为特旱, 2011 年实地调查数据证明了 TVDI 分级的准确度, 其准确率为 83%。本文应用 TVDI 的等级划分标准, 对 2015 年黑龙江省农用地干旱发生情况进行监测, 发现从 7 月份开始, 省内出现中旱面积较大, 伴随少部分轻旱和正常现象; 到 8 月份, 西部地区干旱进一步加重, 特别是肇源、肇州、甘南区域由中旱转为重旱; 东部局部地区由于降水旱情有所缓解。8 月中旬, 虽然省内有降雨, 但由于降雨分布不均, 且降雨量不大, 西部地区的旱情进一步扩大, 作者于 8 月 17 日—8 月 25 日在三江平原和松嫩平原分别对干旱情况进行实地验证, 发现东部的很多水稻种植区域(特别是富锦市、宝清县)内出现了严重缺水的症状, 水稻田里的土地已经出现干裂现象。证明了 TVDI 干旱监测等级划分结果的准确度和可行性。虽然 8 月下旬省内降雨较多, 各地旱情均有所减弱, 可前期长期的干旱已经对作物长势、产量造成了影响, 8 月后期玉米已进入成熟期, 降雨不但不能促进成熟相反过多的水分也会引起病虫害, 加重灾害的发生, 因此利用 TVDI 指导生产具备一定的可行性。未来可进一步将该方法与监测作物长势相结合, 共同监测作物生长状况及估产研究。

TVDI 监测模型的干旱等级划分为干旱监测的产业化、运行化提供了理论基础, 农业干旱监测是旱灾系统研究中的首要步骤, 为后期防灾减灾的顺利进行提供参考及指导作用。TVDI 综合了植被信息和地表温度信息, 可以反映出一个地区旱情程度的高低。这为以后能及时对黑龙江省内农用地旱情的监测、预测提供了方便。但是由于采用的 MODIS 数据分辨率与地面实际情况会有一些差异, 对实际旱情监测会有一些影响; 影响旱情的因素是复杂多样的, 在今后的研究中, 加大高分数据的应用, 利用高分数据影像代替地面实际调查, 从而即减轻了工作强度, 又提高了监测精度。在模型构建中也可以与其他植被监测指数进行对比分析以取得更好的效果, 进一步提高监测精度。在使用 MODIS 数据时虽然做了预处理, 进来了质量控制, 但在 TVDI 模型中仍存在一些质量较差的像元, 使得对遥感反演的 TVDI 值与实际土壤相对含水量建立的关系模型产生一定的误差, 影响其精度, 在以后土壤湿度的研究中, 如何最大限度地减少或删除无效像元对遥感影像的影响是亟需解决的问题。

参 考 文 献:

[1] 毛学森, 张永强, 沈彦俊. 水分胁迫对冬小麦植被指数 NDVI 影响及其动态变化特征[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 69-

71.
[2] 韩丽娟, 王鹏新, 王锦地, 等. 植被指数-地表温度构成的特征空间研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(4): 371-377.
[3] 刘良云, 张 兵, 郑兰芬. 利用温度和植被指数进行地物分类和土壤水分反演[J]. 红外与毫米波学报, 2002, 21(4): 269-273.
[4] 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.
[5] 王鹏新, 李小文. 条件植被温度指数及其在干旱监测中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2001, 26(5): 412-418.
[6] 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): 420-428.
[7] 莫伟华, 王阵会, 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): 396-401.
[8] 范辽生, 姜纪红, 盛 晖, 等. 利用温度植被干旱指数(TVDI)方法反演杭州伏旱期土壤水分[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 230-234.
[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 20481—2006 中华人民共和国国家标准: 气象干旱等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
[10] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration[J]. Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28: 940-948.
[11] Nemani R R, Pierce L, Running S W. Developing satellite-derived estimates of surface moisture status[J]. Journal of Applied Meteorology, 1993, 32(3): 548-557.
[12] Moran M S, Clarke T R, Inoue Y, et al. Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 49: 246-263.
[13] 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: 213-224.
[14] Moran M S, Clarke T R, Inoue Y, et al. Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 49: 246-263.
[15] 赵选民, 徐 伟, 师义民, 等. 数理统计[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
[16] 范金城, 梅长林. 数据分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
[17] 张玉芳, 王明田, 刘 娟, 等. 基于水分盈亏指数的四川省玉米生育期干旱时空变化特征分析[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(2): 236-242.
[18] 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): 420-428.
[19] 于 健, 杨国范, 王 颖, 等. 基于 MODIS 数据反演阜新地区土壤水分的研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(4): 413-419.
[20] 刘 茜. 基于 MODIS 数据的黑龙江省农业干旱遥感监测研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
[21] 李芳花. 黑龙江省半干旱地区土壤水分遥感监测技术研究及应用[D]. 吉林: 吉林大学, 2006.
[22] 刘 迪, 李芳花. 黑龙江省旱情信息中心干旱分级标准的确定[J]. 水利科技与经济, 2011, 17(5): 73-74.
[23] 庞治国. 干旱遥感监测模型研究及墒情预报探索—以黑龙江为例[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2003.
[24] 王纯枝, 毛留喜, 何延波, 等. 温度植被干旱指数法(TVDI)在黄淮海平原土壤湿度反演中的应用研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 998-1005.