

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2017. 02. 31

引用格式: 宋扬,房世波,梁瀚月,等. 基于 MODIS 数据的农业干旱遥感指数对比和应用[J]. 国土资源遥感,2017,29(2):215 – 220. (Song Y, Fang S B, Liang H Y, et al. Comparison and application of agricultural drought indexes based on MODIS data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(2): 215 – 220.)

基于 MODIS 数据的农业干旱遥感指数对比和应用

宋 扬^{1,2}, 房世波¹, 梁瀚月¹, 柯丽娜²

(1. 中国气象科学研究院生态环境与农业气象研究所, 北京 100081;

2. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029)

摘要: 以辽西北为研究区域,选取典型干旱年 2009 年作物(春玉米)主要生长季,采用表观热惯量(apparent thermal inertia, ATI)、距平植被指数(anomalies of vegetation index, AVI)和植被供水指数(vegetation supply water index, VSWI) 3 种基于不同理论的遥感干旱指数方法对土壤水分进行反演,分析其监测效果。结果表明,3 种指数分别在一定程度上反映出了辽西北地区 2009 年的旱情趋势,但得到的反演结果并不一致;ATI 在中高植被覆盖率下的监测效果高于预期结果,比较符合历史气象资料;AVI 可以有效反映当年作物主要生长季各时期相对的受旱状况;VSWI 夸大了植被的影响作用,存在严重的滞后性。

关键词: 干旱遥感监测; 表观热惯量; 距平植被指数; 植被供水指数

中图法分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1001 – 070X(2017)02 – 0215 – 06

0 引言

辽宁省西北部的丘陵山地区,干旱少雨,素有“十年九旱”之称,是辽宁省的重点干旱区。特别是近十几 a 来,干旱频发,给当地国民经济特别是农业生产以及生态环境等造成了很多不利的影响。因此,如何有效地监测旱情成为该地区所面临的重要问题。目前常用于农业干旱监测的遥感干旱指数有很多,但在作物生长季的不同时期每种指数的监测效果却不同。王鹏新等^[1]和张学艺等^[2]依据不同基准研究了不同干旱指数在作物各个生长时期各自的优劣。Hatfield 等^[3]通过使用不同的植被指数来量化各个生长阶段农作物的特征值,发现不同植被指数所得的监测结果存在一定的差异,这意味着需要使用多个植被指数才能更好地捕获农作物特性。农业干旱遥感监测在作物不同发育阶段所应用的指数可以根据作物生长特征和植被覆盖程度等进一步划分^[4–5]。

本研究选用 3 种基于不同理论的典型指数方法,即与土壤水分指标密切相关的表观热惯量模型(apparent thermal inertia, ATI)、与植被(作物)形态

及生理指标有关的距平植被指数(anomalies of vegetation index, AVI)以及综合性指标——植被供水指数(vegetation supply water index, VSWI),基于辽西北地区 2009 年春玉米生长前期(5 月)、生长中期(6—8 月)、生长后期(9 月)的 MODIS 遥感影像资料,反演土壤水分^[6],并比较这 3 种指数在春玉米不同生长时期干旱监测的可行性和有效性,为辽西北地区作物生产合理布局、干旱监测与预警提供一定的参考依据。

1 研究区概况及资料数据

辽宁省西北部地区属于典型的温带大陆性季风气候,降水量正常年仅有 500 mm 左右,是辽宁省干旱发生最频繁、最严重的地区。尤其在 2009 年,研究区更是遭遇了最严重的旱灾,造成部分作物绝收,对农业产生了极大危害。其中,6 月 21 日—8 月 16 日,辽宁全省平均降水量仅有 151 mm,较常年偏少 5 成。8 月 11 日—9 月 10 日,朝阳、葫芦岛西北部、阜新西部、锦州西北部及沈阳北部地区平均降水量只有 46.8 mm,较常年同期偏少 4 成以上,出现严重秋旱^[7]。

收稿日期: 2015 – 12 – 22; 修订日期: 2016 – 03 – 04

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项项目“玉米干旱致灾临界气象条件及其监测预警技术”(编号: GYHY201506019)资助。

第一作者: 宋 扬(1990 –),男,硕士研究生,主要从事农业干旱遥感监测方面的研究。Email: songyang0807@126.com。

通信作者: 房世波(1974 –),男,研究员,主要从事气候变化对农业影响研究。Email: fangshibo@cams.cma.gov.cn。

本文采用的遥感数据为美国国家航空航天局 (NASA) 官方网站上提供的 MODIS 全球数据产品。根据需要选择了 2005—2014 年 5—9 月间的 MOD09A1 地表反射率 8 d 合成产品和 2009 年 5—9 月的 MOD11A2 地表温度/发射率 8 d 合成 L3 产品。地面实测数据是由中国气象共享数据网提供的《中国农作物生长发育和农田土壤湿度旬值数据集》, 包含 10 个地面站点 2009 年 5—9 月每旬春玉米种植区 10 cm, 20 cm 和 100 cm 深度的土壤水分数据。

2 研究方法

2.1 ATI

热惯量模型是利用热红外遥感数据监测土壤水分, 其中: A 为全波段反照率, 文中采取 MODIS 数据进行研究, 则 $\alpha_1 \sim \alpha_5$ 和 α_7 分别为 MODIS 相应波段的地物反射率^[12-13]; T_{\max} 和 T_{\min} 为当天最高和最低温度, 其差值 $T_{\max} - T_{\min}$ 即昼夜最大温差 ΔT , 其推算公式为

$$\Delta T = 2 \frac{T(t_1) - T(t_2)}{\sin(\pi t_1/12 + \bar{\omega}) - \sin(\pi t_2/12 + \bar{\omega})}, \quad (4)$$
$$\bar{\omega} = \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta), \quad (5)$$

式中: $T(t_1)$ 和 $T(t_2)$ 分别为 t_1 和 t_2 时刻的地表温度, 即 MOD11A2 地表温度产品中 MODIS 卫星昼夜 2 次过境时的地表温度; φ 为各地面站点纬度; δ 为其太阳赤纬角。

利用 MODIS 地表反射率以及地表温度产品数据可以计算出各地面站点的 ATI, 为接下来反演土壤水分做准备。

2.2 AVI

归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 在植被覆盖监测中的应用十分广泛^[14]。NDVI 对观测条件和大气条件等并不敏感, 但与植物的蒸腾作用和光合作用等密切相关^[15], 其表达式为

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}, \quad (6)$$

式中 ρ_{NIR} 和 ρ_{RED} 分别为近红外和红光波段反射率。当干旱导致植被缺水时, NDVI 值就会降低。在 NDVI 的基础上, 发展了 AVI, 该方法采用干旱时段的 NDVI 值减去多年 NDVI 平均值, 表达式为

$$AVI = NDVI_j - \overline{NDVI_j}, \quad (7)$$

分的一种主要方法。通常热惯量表达了土壤的热变化特征, 与土壤水分之间的关系也相当密切^[8-9]。基于热惯量模型通过地表温度反演土壤水分的表达式为^[10]

$$P = \sqrt{\rho\gamma c}, \quad (1)$$

式中: P 为热惯量; ρ 为土壤密度; γ 为土壤热传导率; c 为土壤比热容。

Price^[11] 系统阐述了监测土壤水分的热惯量方法和热惯量的遥感成像原理, 提出了 ATI 的概念。公式(1)可以简化为

$$ATI = \frac{1 - A}{T_{\max} - T_{\min}}, \quad (2)$$

其中,

$$A = 0.160\alpha_1 + 0.291\alpha_2 + 0.243\alpha_3 + 0.116\alpha_4 + 0.112\alpha_5 + 0.081\alpha_7 - 0.0015, \quad (3)$$

式中: $NDVI_j$ 为当前 NDVI 值; $\overline{NDVI_j}$ 为同期多年 NDVI 平均值。多年平均值可以近似地反映出土壤水分的平均状况, 进一步计算差值可以反映出当前的干旱程度。

2.3 VSWI

Carlson^[16] 综合考虑了作物受旱时在红光、近红外及热红外波段上的反应, 结合 NDVI 和冠层温度 T_c , 提出了 VSWI, 其表达式为

$$VSWI = NDVI/T_c. \quad (8)$$

当 VSWI 越大, 表明土壤供水越充分, 植被生长越好, 干旱程度越低; 反之, VSWI 越小, 表明土壤供水越不足, 植被生长越差, 干旱程度越高^[17]。 T_c 随 NDVI 变化的直线斜率在反映区域土壤水分状况方面比较理想^[18]。但由于植被冠层温度很难获取, 本文将利用遥感影像反演得到的地表温度来替代植被冠层温度。

3 计算应用

计算研究区 ATI, AVI 和 VSWI, 并将其分别与地面站点的各层次深度实测土壤水分进行一元线性回归分析, 建立回归方程。在拟合过程中, 由于 MODIS 数据单一像元覆盖地表面积较大, 包含地物较多, 其精度缺乏鲁棒性, 并不能准确反映地面站点测得的实际土壤水分, 在计算时相应地删除了受云和地物等影响的噪声点和异常值。由于受短暂降雨或者人工灌溉等因素影响, 土壤水分的变化有可能并不连续, 研究中通过对实测数据的分析, 排除了一些极端值和特殊值。相关分析及检验结果见表 1。

表 1 不同土层深度下土壤水分与 ATI,AVI 和 VSWI 的相关分析

Tab.1 Correlation analysis of soil moisture with ATI, AVI and VSWI in different soil depths

生长阶段	深度/cm	ATI		AVI		VSWI	
		R^2	显著性水平	R^2	显著性水平	R^2	显著性水平
生长前期	10	0.426	0.014	0.492	0.001	0.402	0.036
	20	0.319	0.078	0.322	0.014	0.242	0.088
	100	0.392	0.039	0.283	0.023	0.200	0.125
生长中期	10	0.433	0	0.210	0	0.471	0
	20	0.318	0	0.090	0.016	0.320	0
	100	0.178	0.003	0.019	0.279	0.172	0.010
生长后期	10	0.437	0.004	0.261	0.036	0.475	0.004
	20	0.347	0.021	0.140	0.139	0.356	0.019
	100	0.370	0.016	0.041	0.433	0.377	0.015

由表 1 分析可得,在生长前期,3 种指数与土壤水分都有较好的相关性,ATI 在 10 cm 土层深度有着一定的优势;在地表植被覆盖较高的生长中期,ATI 受其理论的局限,相关性较低,AVI 和 VSWI 在这个时期相关性良好,且 VSWI 略优于 AVI;在生长后期,ATI 相关性略有提高,但仍低于 AVI 和 VSWI。总体上,3 种指数与土壤水分之间的相关性随着土层深度的增加而降低,这说明通过遥感手段监测表

层土壤水分是可行的,但对于较深层的土壤水分反演是受局限的。

为了消除不同质地对旱情评价的影响,需要对土壤水分数据进行修正处理,即利用相对含水量来表征土壤湿度,使反演结果更具有可比性^[19]。本文通过反演该地区各像元 10 cm 深度的土壤含水量,将得到的模型应用于辽西北地区的土壤水分监测中(图 1)。

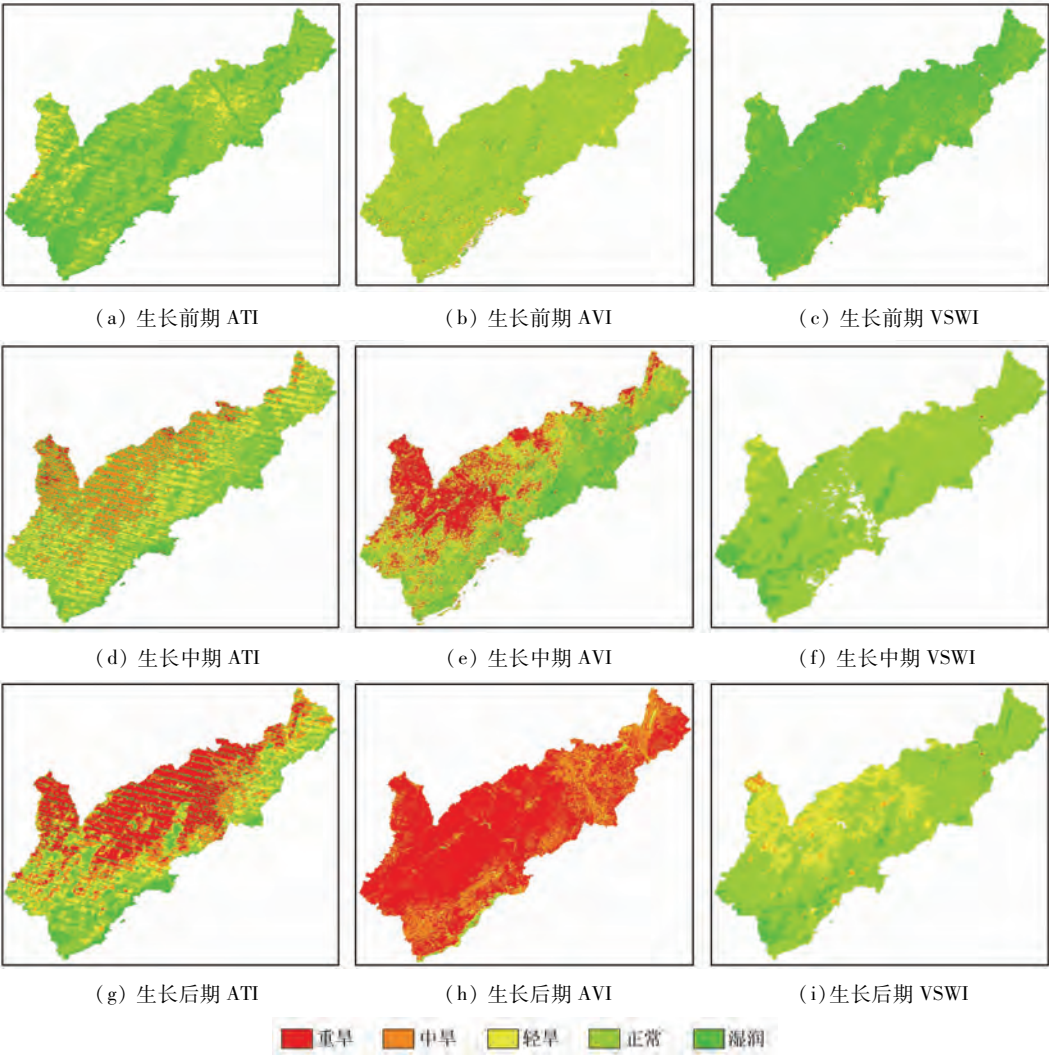


图 1 作物不同生长阶段土壤水分干旱监测

Fig.1 Soil moisture and drought monitoring at different growth stages

中国气象局农业气候中心依据土壤湿度指数 (soil humidity index, SHI (SHI = 湿度/田间持水量)) 来划分农业干旱的等级, 即 10 cm 深度的土壤 SHI 指数小于 40 为重旱, [40, 50) 之间为中旱, [50, 60) 之间为轻旱, [60, 80) 之间为正常, 大于等于 80 为湿润。需要说明的是, 由于所用的 MODIS 数据第 5 波段存在故障, 导致作物生长中期和后期的 ATI 反演结果具有较明显的条带干扰。

4 结果分析

本研究选用的 3 种指数的反演结果虽然在反映干旱程度上略有不同, 但在反映干旱整体空间分布上表现比较一致, 即受旱区域从西北内陆逐渐向东南方向发展。时间上, 在作物生长前期部分地区已显现出干旱迹象, 随着持续无雨或少雨, 在作物生长中期和后期干旱程度逐渐加深。通过 3 种基于 MODIS 数据的指数方法试图还原此次重大干旱的发生过程, 从而对比 3 种指数在实际监测过程中的可行性和有效性。

研究发现 ATI 不能应用于浓密植被覆盖区的土壤水分监测已经成为共识^[20], 其针对作物生长前期植被覆盖较低区域的反演精度较高, 在高植被覆盖区域的监测效果相对较差。在统计学上也证实了该观点, 但是从反演结果来看, ATI 在中高植被覆盖率下的监测效果仍较为符合历史气象资料。分析其原因, 一方面可能是因为长期降雨较少, 土壤与植被的表层温度变化趋近, 使得该指数可以有效应用; 另一方面, 由于北方昼夜温差普遍较大, 这也削弱了土壤水分和植被覆盖条件对地表温度的影响^[21]。

通过选取 2005—2014 年 10 a 间 NDVI 平均值作为背景数据, 计算了 2009 年的 AVI 值, 该指数可以有效反映当年作物主要生长季各时期的相对受旱状况, 更符合研究区干旱趋势特征。AVI 值在一定程度上可以减少太阳高度角、大气状态和卫星观测角度等因素带来的误差。在实际监测中, 选取年份样本越多, 其平均值的代表性就越好。

VSWI 虽然结合了冠层温度因素, 但在通常情况下, VSWI 仍会夸大植被的影响作用。在实际监测过程中, 由于植被(作物)具有一定的抗旱能力, 对表层土壤水分变化的响应有一定的延迟, 这导致 VSWI 在反演结果上存在一定的滞后性, 并不能实时地反映出当时的土壤水分状况。这种滞后性从侧面反映出植被(作物)受旱情况与土壤水分之间的复杂性, 在实际应用中, VSWI 更符合农业作物实际干旱状况^[22]。

5 结论与展望

以辽西北地区为研究区域, 利用 MODIS 数据和土壤实测数据等资料, 通过表观热惯量(ATI)、距平植被指数(AVI)、植被供水指数(VSWI)3 种遥感干旱指数反演土壤水分, 分析了该地区典型干旱年作物主要生长季的干旱情况。研究表明:

1) ATI 和 AVI 可以实时反映出干旱的发生趋势, 利用这 2 种指数可以及时发现干旱并进行早期预警; VSWI 在监测过程中计算简单, 精度较好, 适用于大范围的干旱监测与灾后评价, 虽然存在明显的滞后性, 但更符合作物实际受旱情况。

2) 总体上, 3 种指数都可以反映出该地区的干旱状况, 但考虑到植被(作物)与土壤水分之间的特殊关系以及物理学、生物学上的特性, 仅仅通过统计学意义上的回归拟合来确定最优指数并不完全符合实际。此外, 部分地区的人工灌溉或者少量降雨对表层土壤水分变化影响较大, 同时研究区内地形复杂, 山地、丘陵和平原交错, 各种因素都间接地影响到反演结果的精度。

3) ATI 及其改进模型虽然一直想要解决高植被覆盖率下的监测问题, 但目前看来仍有很大的局限性。尤其是, 昼夜温差不仅与土壤湿度、反照率有关, 也与风速、土壤性质等有关; AVI 中 NDVI 值不仅仅受土壤水分影响变化, 在干旱地区, 水分是限制因子但不是唯一影响其变化的因素。此外, NDVI 值还存在高端饱和问题, 当叶面积指数到达一定值后, NDVI 值就几乎不再变化, 在一定程度上限制了反演精度; VSWI 由于地表温度变化相对地表温度本身的变幅过小, 此指数主要体现了 NDVI 的作用, 而对于干旱具有重要指示意义的地表温度贡献体现不明显, 从而影响了其应用效果。

随着遥感技术的提高, 未来利用卫星对农业干旱进行监测的准确度还有很大的提升空间。在具体应用中, 还需要考虑研究区特点以及研究目的积极探索改进新的指数; 结合 GIS 技术提供的土壤类型、地形地貌和作物种类等下垫面背景数据, 可以有效提高在实际监测中的可行性、针对性; 适当使用高空间分辨率遥感影像可以有效排除混合像元干扰, 更加精确地对农作物干旱状况进行评估与监测。这些方面都是干旱遥感监测下一步需要继续深入研究的方向。

参考文献 (References):

[1] 王鹏新, 孙 威. 基于植被指数和地表温度的干旱监测方法的

对比分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2007, 43(3): 319 – 323.

Wang P X, Sun W. Comparison study on NDVI and LST based drought monitoring approaches[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 2007, 43(3): 319 – 323.

[2] 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 X Y, Li J P, Qin Q M, et al. Comparison and application of several drought monitoring models in Ningxia, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(8): 18 – 23.

[3] Hatfield J L, Prueger J H. Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices[J]. Remote Sensing, 2010, 2(2): 562 – 578.

[4] 吴炳方, 张 峰, 刘成林, 等. 农作物长势综合遥感监测方法[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 498 – 514.

Wu B F, Zhang F, Liu C L, et al. An integrated method for crop condition monitoring[J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(6): 498 – 514.

[5] 李兴华, 李云鹏, 杨丽萍. 内蒙古干旱监测评估方法综合应用研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(3): 162 – 166.

Li X H, Li Y P, Yang L P. Application and evaluation of integrated drought monitoring method to Inner Mongolia[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(3): 162 – 166.

[6] 孙 灏, 陈云浩, 孙洪泉. 典型农业干旱遥感监测指数的比较及分类体系[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 147 – 154.

Sun H, Chen Y H, Sun H Q. Comparisons and classification system of typical remote sensing indexes for agricultural drought[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(14): 147 – 154.

[7] 路广平, 郁凌峰, 梁立章. 2009 年辽西北地区特大干旱的分析[J]. 东北水利水电, 2011, 29(10): 50 – 51.

Lu G P, Yu L F, Liang L Z. Analysis of the severe drought in the northwest of Liaoning Province in 2009[J]. Water Resources and Hydropower of Northeast China, 2011, 29(10): 50 – 51.

[8] 郭 虎, 王 瑛, 王 芳. 旱灾灾情监测中的遥感应用综述[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(1): 111 – 116.

Guo H, Wang Y, Wang F. Overview of remote sensing approaches to drought monitoring[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(1): 111 – 116.

[9] 夏 虹, 武建军, 刘雅妮, 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.

Xia H, Wu J J, Liu Y N, et al. Progress on drought monitoring by remote sensing in China[J]. Remote Sensing Information, 2005(1): 55 – 58.

[10] 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): 4784 – 4787.

Huang Z L, Qin Z H. Study on monitoring soil moisture and crop drought in great area by using MODIS data[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(11): 4784 – 4787.

[11] Price J C. The potential of remotely sensed thermal infrared data to infer surface soil moisture and evaporation[J]. Water Resources Research, 1980, 16(4): 787 – 795.

[12] Liang S L. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 76(2): 213 – 238.

[13] Liang S L, Shuey C J, Russ A L, et al. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84(1): 25 – 41.

[14] 吕 蒙, 钟悦之. NDVI 在生态环境研究中的应用进展[J]. 农村经济与科技, 2011, 22(6): 11 – 14.

Lyu M, Zhong Y Z. Application of NDVI in ecological and environmental studies[J]. Rural Economy and Science – Technology, 2011, 22(6): 11 – 14.

[15] 刘海岩, 牛振国, 陈晓玲. EOS – MODIS 数据在我国农作物监测中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(5): 531 – 536.

Liu H Y, Niu Z G, Chen X L. Applications of EOS – MODIS data on crop monitoring in China[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2005, 20(5): 531 – 536.

[16] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. Remote Sensing Reviews, 1994, 9(1/2): 161 – 173.

[17] 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 – 401.

Mo W H, Wang Z H, Sun H, 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 – 401.

[18] 齐述华. 干旱监测遥感模型和中国干旱时空分析[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2004.

Qi S H. Drought Monitoring Models with Remote Sensing and Spatio – Temporal Characteristics of Drought in China[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Science, 2004.

[19] 牟伶俐. 农业旱情遥感监测指标的适应性与不确定性分析[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2006.

Mu L L. Suitability and Uncertainty Analysis of Agricultural Drought Indicator with Remote Sensing[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Science, 2006.

[20] 杨树聪, 沈彦俊, 郭 英, 等. 基于表观热惯量的土壤水分监测[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1157 – 1161.

Yang S C, Shen Y J, Guo Y, et al. Monitoring soil moisture by apparent thermal inertia method[J]. Chinese Journal of Eco – Agriculture, 2011, 19(5): 1157 – 1161.

[21] 齐述华, 李贵才, 王长耀, 等. 利用 MODIS 数据产品进行全国干旱监测的研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(1): 56 – 61.

Qi S H, Li G C, Wang C Y, et al. Study on monitoring drought in China with MODIS product[J]. Advances in Water Science, 2005, 16(1): 56 – 61.

[22] 郭其乐, 陈怀亮, 邹春辉, 等. 植被供水指数法在 2008 年河南省干旱灾害遥感监测中的应用研究[C]//2009 农业环境科学峰会论文集. 大连: 中国农学会, 2009.

Guo Q L, Chen H L, Zou C H, et al. The application of vegetation water supply index in the monitoring of drought disaster in Henan Province in 2008[C]//2009 Agricultural Environmental Science Summit. Dalian: Chinese Association of Agricultural Science Societies, 2009.

Comparison and application of agricultural drought indexes based on MODIS data

SONG Yang^{1,2}, FANG Shibo¹, LIANG Hanyue¹, KE Lina²

(1. *Institute of Ecological Environment and Agriacultural Meteorology, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*; 2. *College of Urban and Environment Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China*)

Abstract: With northwest Liaoning Province as the study area, the authors analyzed the soil moisture content by using the method of apparent thermal inertia(ATI), anomalies of vegetation index(AVI) and vegetation supply water index(VSWI). The results show that the three indexes respectively in a certain extent can reflect the drought trend of the northwest area of Liaoning Province in 2009, but inversion results are not consistent, that the monitoring effect of ATI in high vegetation coverage rate is higher than expected, more in line with historical weather data, that AVI can effectively reflect the current crop growth season relative to the drought condition, and that VSWI exaggerates the influence of vegetation, which seems to be a serious lag.

Keywords: drought remote sensing monitoring; apparent thermal inertia; anomalies of vegetation index; vegetation supply water index

(责任编辑: 陈 理)