

农业旱情遥感指数验证与不确定性分析

牟伶俐, 吴炳方, 闫娜娜, 黄慧萍, 李强子

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 以山西省太谷与山东省济宁试验为例, 对极轨气象卫星农业旱情遥感监测指数进行验证, 并对其不确定性进行分析。山西省太谷试验结果表明, 旬温度条件指数 (T), 植被条件指数 (V), 植被健康指数 (H) 与土壤湿度有较高相关性 (R^2 分别达到 0.51, 0.50, 0.56), 日部分指数相关性更高 (R^2 分别达到 0.58, 0.45, 0.60); 山东省济宁日指数与土壤湿度相关性比太谷的高 (T, V, H 的 R^2 分别达到 0.93, 0.66, 0.97), 但是两地区叶面缺水指数 (W) 与土壤湿度的相关性都很低, 验证结果表明, 利用 H 与 T 较适合农业旱情监测。另外在对比分析 2 个地区试验结果的基础上, 从作物种植结构、监测时间尺度、植被生理状况, 以及指数本身特性等角度分析了农业旱情监测中的不确定性。

关键词: 农业旱情; 指数验证; 不确定性; 植被条件指数; 温度条件指数; 叶面缺水指数; 植被健康指数
文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2007)02-0119-04 **中图分类号:** S127, TP274.2

Validation of Agricultural Drought Indices and Their Uncertainty Analysis

MU Ling-li, WU Bing-fang, YAN Na-na, HUANG Hui-ping, LI Qiang-zi

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: This study aimed to validate the agricultural drought indices derived from NOAA/AVHRR data and analyzed their uncertainties by taking Taigu County in Shanxi Province and Ji'ning County in Shandong Province for examples. The result from the analysis of relationships between drought indices and soil moisture in Taigu County shows that vegetation health index (H), temperature condition index (T) and vegetation condition index (V) have somewhat low relations with soil moisture (R^2 is 0.51, 0.50, and 0.56, respectively). H and T have the closer relationship than normalized difference water index (W) and V . Validation using the data in Ji'ning County shows that H , T and V have better relations with soil moisture (R^2 is 0.97, 0.93, and 0.66, respectively). W has a poor relation with soil moisture in the two cases. These suggest that the uncertainties in drought monitoring should be analyzed in terms of the crop planting pattern, monitoring time scale, vegetation condition and farming activity.

Keywords: agricultural drought; validation; uncertainty; vegetation condition index; temperature condition index; normalized difference water index; vegetation health index

我国是一个旱情频繁发生的国家,旱情的发生发展以及范围大小不仅对农作物生长以及粮食产量产生重大的影响,同时对城市生产与生活产生众多不利因素。虽然目前利用中低分辨率遥感卫星数据计算的如植被状态变化,温度状态变化,土壤热惯量,植被供/缺水以及地表蒸散等特征来对旱情进行监测,已取得较好的成果,但是多数现有旱情遥感监测系统用一个指标对大区域进行旱情遥感监测,并没有对指数适合程度进行验证,也没有对影响旱情遥感监测的不确定性因素进行分析。实际上由于下垫面物理特性不一致,降水分配不平衡,光热不均,植被状态与结构不尽相同,作物品种与物候存在差异,导致不同指

数的适合性受到限制。因此为了提高农业旱情遥感监测的精度,首先需要对监测区所选旱情遥感指数适应性进行验证,然后利用不确定性因素少,适应性好的评价指标进行旱情监测。其中山西省是我国遭受旱情最为突出的地区^[1],而山东省是我国华北粮食主要产区,因此在以上地区开展农业旱情遥感监测指数验证与不确定性分析有其重大的实用意义。

1 试验区与数据介绍

1.1 研究区介绍

山西太谷试验区属大陆性干旱、半干旱气候,多年平均降水量远远小于多年平均蒸发量。总的气候

收稿日期:2006-05-09

修稿日期:2006-11-09

资助项目:中国科学院知识创新重要方向项目“遥感估产运行系统中遥感监测过程检验与精度评价(KZCX3-SW-338-2);国家 863 计划“粮食预警遥感辅助决策系统”(2003AA131050);遥感应用示范工程总体技术研究(2003AA131040)

作者简介:牟伶俐(1977—),男(汉族),湖北省利川人,博士,主要从事空间数据管理、GIS 与遥感应用研究。E-mail: linglimu@163.com。

通讯作者:吴炳方(1962—),男(汉族),江西省玉山人,工学博士,研究员,主要从事农业与生态遥感应用研究。E-mail: wubf@rsa.ac.cn。

特点是:春季短促,干旱风沙多,蒸发量较大;夏季高温多雨,雨热不同步;秋季较短,天气温和晴朗;冬季漫长,雨雪少。由于地表蒸散与降水不同步,导致春季、秋季、冬季干旱频繁发生^[1,7]。

山东济宁试验区靠近沿海,属暖温带大陆性季风气候,历年平均降雨量 707.1 mm。气候具有四季分明、光照充足、雨热同季、降水集中、干湿交替的特点。旱灾平均 4~5 年一遇,春旱危害最大,发生频率平均为 41.8%,2~3 年一遇。

1.2 样区设置与观测

在山西太谷试验区内选定面积为 100 m × 100 m 的监测样块 25 个,每个样块中布置 9 个监测点。

监测内容包括土壤墒情、作物生长情况、灌水量以及田间管理信息等。对 2002—2005 年作物生长期每旬的数据进行观测。

在山东济宁试验区内选择 5 个面积为 5 km × 5 km 的观测样区,每个样区分布 3 × 3 个样块,每个样块中均匀分布 3 个样点。观测内容主要有土壤含水量、叶面含水量、温度以及天气状况等信息。山东的旱情主要集中在 4—5 月,本文选择 2005 年 4 月 27 日—5 月 3 日为观测期。

1.3 数据处理

本文中主要运用 NOAA/AVHRR 数据与地面土壤湿度数据进行农业旱情遥感监测验证与不确定性分析。地面实测土壤湿度数据经过格式整理与精度验证,形成标准的验证分析参考数据。遥感数据需经过辐射纠正、大气纠正、云检测、几何纠正以及 BRDF 纠正,形成标准的数据集^[6];再在标准数据集的基础上进行日/旬旱情遥感指标的计算^[4]。其中植被条件指数 (V)^[8],温度条件指数 (T)^[9],叶面缺水指数 (W)^[5],植被健康状态指数 (H)^[2]采用公式(1)—(4)计算。

$$V_j = \frac{N_j - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}} \times 100\% \quad (1)$$

$$T_j = \frac{T_{\max} - T_{S_j}}{T_{\max} - T_{\min}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: N_j , T_{S_j} —— j 时的 N 和地表温度值; N_{\max} , T_{\max} ——同一位置历史上同一旬所有 N 与 T_{\max} 的最大值; N_{\min} , T_{\min} —— N 和地表温度的最小值; V_j , T_j ——在 j 时的植被条件指数与温度条件指数。

$$W = \frac{C_{H2} - C_{H3}}{C_{H2} + C_{H3}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: C_{H2} , C_{H3} ——分别为近红与短波红外反射率; W ——叶面缺水指数。

$$H = W_{vci} \times V + W_{tci} \times T \quad (4)$$

式中: W_{vci} , W_{tci} —— V 和 T 分别与土壤湿度的相关系数 R^2 , V 与 T 是相应时间的植被条件指数与温度条件指数, H 是植被健康状态指数。

以上指数均乘 250,进行拉伸。在对旬指数合成时,本文选用中值数据。

2 分析方法

由于地表土壤的相对湿度能反映出作物受水分胁迫的程度,也是常用来评价旱情的一个标准,同时地表植被的健康状况、叶面绿度变化、叶面温度变化、叶面含水量的变化也反映出植被受旱情况。因此可以利用植被(或地表)的以上特性来对旱情进行监测。但是哪一个指标最能反映出作物受旱程度还不能确定,因此需要利用地面的实测资料对以上指标进行验证。

大量的试验证明上述因素与土壤湿度有一定的线性关系^[8-10],因此可以利用上述因素与土壤湿度建立线性关系,根据相关性来验证不同指标的适合程度,最终选择合适的指数作为农业旱情遥感监测的惟一标准。

本文先以山西太谷和山东济宁 2 个试验区为例,分别分析不同指数与土壤湿度的相关性,确定适合旱情遥感监测指标。然后分析太谷试验区数据,明确时间监测尺度对农业旱情监测的影响。通过济宁与太谷试验区结果对比,分析种植结构与制度对农业旱情监测的影响。同时从植被生理,以及指数本身特性分析农业旱情遥感监测中的不确定性因素。

3 结果与讨论

3.1 山西太谷试验验证分析

表 1 为太谷试验区日/旬遥感指数与土壤湿度相关性分析结果。对日指数与土壤湿度相关性分析,可以看出 H 与土壤湿度相关性最好 (R^2 为 0.60 和 0.42), T (R^2 为 0.58 和 0.48) 和 V (R^2 为 0.45 和 0.26) 次之, W (R^2 分别为 0.21 和 0.16) 相关性最差。同样这一特点在旬指数也得到具体体现: H 与 10 cm 和 20 cm 土壤湿度相关性 R^2 分别为 0.56 和 0.29; T 相关性 R^2 分别为 0.51 和 0.34; 大于 V 相关性 (R^2 为 0.50 和 0.14); W 相关性最低, R^2 分别为 0.26 和 0.08。

对本试验区日/旬 T 指数的相关性比较,日 T 指数的相关性比旬指数的相关性大,这种现象可以解释为时间尺度越小,由于土壤湿度引起的地表温度变化对 T 指数影响较大,最终导致日 T 对土壤湿度的敏感性越大。由于 H 中也同时考虑了地表温度因

素,因此日 H 对土壤湿度的敏感性也较旬 H 大。对 V 与 W 数据分析,不难看出其日数据相关性较低。在 SPAC(space plant atmosphere circle) 系统过程中,植被对水分的收支平衡是一个缓慢的生理过程,没有

地表温度对土壤湿度变化敏感,因此在对旱情程度反映方面有一定的滞后^[8]。通过上面的分析可以看出 V 和 T 在反映旱情程度方面比 V , W 更为敏感,实时性更强。

表 1 山西太谷与山东省济宁试验区指数与土壤湿度相关性

地区	旬 $T R^2$	旬 $V R^2$	旬 $W R^2$	旬 $V R^2$	日 $T R^2$	日 $V R^2$	日 $W R^2$	日 $H R^2$
太谷 10 cm 湿度	0.51	0.50	0.26	0.56	0.58	0.45	0.21	0.60
太谷 20 cm 湿度	0.34	0.14	0.08	0.29	0.48	0.26	0.16	0.42
济宁 10 cm 湿度	—	—	—	—	0.93	0.66	0.08	0.97
济宁 20 cm 湿度	—	—	—	—	0.91	0.60	0.15	0.92

3.2 山东济宁试验验证分析

济宁试验区与太谷试验区采用相同的验证方法。不同的是土壤湿度数据采用 5 个样块共 5 次观测数据,并保持与卫星过境同步观测。

由于 W 反映了叶面的含水特征,通过分析,不难看出 W 与叶面含水量的相关性(R^2 为 0.41,如图 1 所示)比与土壤含水量的相关性高(R^2 分别为 0.08 和 0.15)。叶面含水量与土壤湿度的相关性并不高(R^2 为 0.28,如图 1 所示),说明叶面含水量对土壤水分的变化反映并不明显。虽然 W 能反映叶面的

含水量,但有大量的实验表明植被从水分吸收到叶面状况的改变需要 10 d 以上的延时影响^[8],因此此段时期的叶面含水并不能及时反映土壤的含水变化情况,从而 W 也不能真实地反映出植被受旱情况。

在本试验中,相对于 W 与土壤的相关性(R^2 为 0.08 和 0.15)以及 V 的相关性(R^2 为 0.66 和 0.60), T (R^2 为 0.93 和 0.91)和 H (R^2 为 0.97 和 0.92)的相关性最高。以上特点与太谷区试验结果相似,即 H 和 T 与土壤湿度的相关性大于 V ,而 W 的相关性最小。

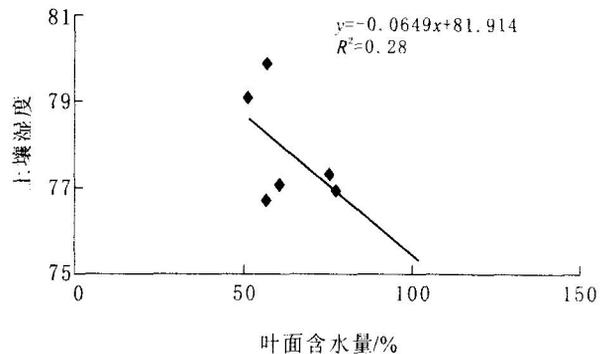
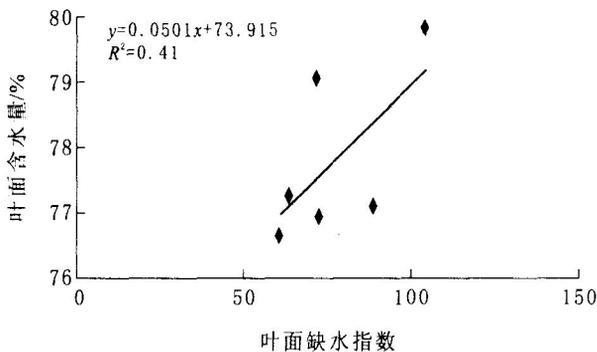


图 1 济宁试验区指数、叶面含水、土壤含水量间的关系

3.3 不确定性分析

如表 1 所示,通过山西太谷与山东济宁试验对比,可以发现济宁试验区干旱遥感指数与土壤湿度的相关性较太谷试验区高,而太谷试验中日指数相关性比旬指数的相关性较高。因此可以分析得出在不同监测时间尺度下,旱情指数对旱情的反映不一样;不同地区由于作物种植方式年际间的变化,以及指数本身的特性对旱情的反映存在不确定性。

太谷试验由于以旬为时间单元进行土壤湿度观测。这种方式不能反映整个时段全部真实的植被和气象状态。旬指数是利用的中值,虽然能代表主要的植被与气象状态,但是所用的地面观测数据以及旬指

数计算结果在旬时间尺度上并没有真实地反映出当旬的土壤湿度与植被和气象状况。而日指数较好地反映了当日地表状态。因此表 1 中太谷试验区日 T 和 H 指数与当日土壤湿度进行相关性分析结果比相应旬指数的相关性高,说明 T 和 H 在农业旱情监测时间尺度上存在不确定性。

对比 2 个试验区不难发现济宁试验区日指数的相关性比太谷试验区的高。由于太谷试验区年际间种植结构与制度(两年三熟)变化较大(如表 2 所示)^[11],这种变化导致每个像元中的端元数与成数发生变化,所计算的 N 与历史上同一像元 N 的可比性降低,进而弱化了 V 的意义,同理也会弱化 T , W 和 V 的意义。济宁试验区在观测期以冬小麦为主(占总

体农作物面积的 95 % 以上), 同一时期基本上不存在年际间作物种植制度与品种的变化。因此计算出来的 T_s , N , W 等地表参数年际间具有较高的可比性, 其监测精度比年际间作物品种与种植制度变化大的地区(如太谷)高。

表 2 2003—2005 年太谷秋粮成数

时间	作物类型					
	蔬菜瓜果	玉米	黄豆	高粱	谷子	其它
200309	34.99	30.24	19.29	3.11	0.65	11.72
200409	37.36	29.08	23.18	1.66	0.21	8.51
200509	39.42	28.98	24.05	3.05	0.25	4.25

如表 1 所示, 不同的指数与土壤湿度的相关性相距较大, 说明指数本身对旱情的反映存在不确定性。一方面为通过叶面状态反映旱情的 W 和 V 与土壤湿度的相关性相对 T 与 V 较低, 可以解释为从作物根部吸收水分到叶面水分和叶绿素变化是一个渐近的过程, 因此 W 和 V 对土壤水分的反映存在延时, 不能实时地反映出农业旱情; 另一方面, 当植株遇到病变以及不可逆转的损伤时, 叶面状态也不能反映其对土壤水分的影响。如 2005 年 5 月上/中旬山西南部春旱影响较大, 作物大面积死亡, 其叶面状况没有生理机能, 反映不出土壤水分的变化, 而用 T 能较好地反映旱情变化。

4 结论

本文以山西太谷和山东济宁试验为例对农业旱情遥感指数进行了验证与不确定分析。分析结果表明, 在进行农业旱情监测时, W 对土壤水分的反映不太敏感, 相关性低, V 指数通过叶面状况在一定程度上反映农业旱情, T 指数对旱情敏感性较高, 而 H 综合了叶面状况与地表温度特征, 能较好的反映作物受旱情况。同时本文对农业旱情遥感监测中的不确定性因素进行分析, 结果表明在山西太谷试验区利用日

旱情遥感指数比旬指数更能反映实时农业旱情; 同时对山东济宁与山西太谷试验区作物种植方式与制度的分析, 表明作物种植方式与制度越单一, 旱情遥感指数与土壤湿度的相关性越好; 同时本文对植被生理状况分析, 结果表明, 当作物受到损伤时, 利用 T 更能反映出农业旱情。

[参 考 文 献]

- [1] 王仰仁, 孙小平. 山西农业节水理论与作物高效用水模式[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003. 5—10.
- [2] Felix N, Kogan. Global Drought and Flood-watch from NOAA Polar-orbiting Satellites[J]. Advances in Space Research. 1998, 21(3): 477—480.
- [3] Unganai L S, Kogan F N. Southern Africa's Recent Droughts From Space[J]. Adv Space Res, 1998, 21(3): 507—511.
- [4] 闫娜娜. 基于遥感指数的旱情监测方法研究[D]. 中国科学院遥感应用研究所硕士论文, 2005.
- [5] 吴炳方. 中国农情遥感速报系统[J]. 遥感学报(中国农情遥感速报系统专辑), 2005, 8(6): 1—7.
- [6] 吴炳方, 刘成林, 张磊, 等. 中国陆地 1 km AVHRR 数据集[J]. 遥感学报(中国农情遥感速报系统专辑), 2005, 8(6): 35—42.
- [7] 曹建业. 山西省旱情成因综合分析[J]. 海河水利, 2004, 14—16.
- [8] Lei Ji, Albert J, Peters. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices[J]. Remote Sensing of Environment, 2003. 85—98.
- [9] 冯强, 田国良, 王昂生, 等. 基于植被状态指数的土壤湿度遥感方法研究[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(3): 81—89.
- [10] 冯强, 田国良, 王昂生, 等. 基于植被状态指数的全国干旱遥感监测试验研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2): 131—136.
- [11] 吴炳方, 许文波, 孙明, 等. 高精度作物分布图制作[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 688—695.