

农业干旱遥感监测方法及其应用的研究进展

贾德伟, 周磊, 黄灿辉, 刘佳 (河南省农业遥感监测中心, 河南郑州 450002)

摘要 从可见光-近红外遥感监测法、热红外监测法、可见光-近红外-热红外遥感监测法、高光谱遥感监测法、微波遥感监测法等方面对国内外农业干旱遥感监测方法及其应用的研究进展进行了综述, 以期促进今后农业遥感干旱监测的深入研究。

关键词 农业干旱; 遥感; 监测; 应用

中图分类号 S127 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)36-0233-03

Research Progress on the Monitoring Methods of Agricultural Drought by Remote Sensing and Their Application

JIA De-wei, ZHOU Lei, HUANG Can-hui et al (Henan Monitoring Center for Remote Sensing in Agriculture, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract The research progress on monitoring methods of agricultural drought by remote sensing and their application at home and abroad were reviewed, so as to promote the further study on monitoring of agricultural drought by remote sensing in future.

Key words Agricultural drought; Remote sensing; Monitoring; Application

农业干旱可造成农作物分布、生长发育、产量及品质等变化。传统干旱监测具有速度慢、信息滞后和不能反映旱情空间分布特征等缺点^[1]。遥感具有宏观性、经济性、动态性和时效性等特征, 而微波遥感具有全天时、全天候的优点。利用遥感能准确提取地表特征参数和热量信息, 可为农业旱情监测评估提供理论依据。卫星遥感数据类型的增加, 为大范围农业干旱动态监测及评估提供了强有力的数据支持。笔者对国内外农业干旱遥感监测方法及其应用的研究进展进行了综述, 以期促进今后农业遥感干旱监测的深入研究。

1 农业干旱遥感监测方法

农业干旱受到降水、土壤含水量、作物需水等因素的影响, 土壤含水量的变化是影响农作物生长发育的主要因子^[2]。干旱发生前后, 作物体内生化成分含量及冠层结构会发生变化, 遥感图像表现为不同的光谱特征, 以此来监测农业干旱。从遥感数据来源分类, 农业干旱遥感监测方法可分为可见光-近红外遥感监测法、热红外遥感监测法、可见光-近红外-热红外遥感监测法、高光谱遥感监测法、微波遥感监测法。

1.1 可见光-近红外遥感监测法 土壤含水量是影响植被覆盖度的重要因子, 可见光-近红外遥感主要利用植被指数来表述植被覆盖。当水分充盈及正常时, 农作物生长良好, 红波段出现反射率低谷, 近红外波段出现反射率高峰; 当水分缺失时, 农作物生长出现异常, 红波段反射低谷和近红外波段反射高峰现象则不明显。

Tucker 等^[3]研究表明 NDVI 与土壤湿度有良好的相关性, 与绿色植物的密度和活力关系密切。但是, NDVI 受土壤、天气、地形、植被和季节等因素的影响, 采用单一时相植被指数很难精确反映旱情。为消除季节变化的影响, 可利用距平植被指数 (Anomaly vegetation index, AVI) 监测农作物旱情, AVI 适用于长期监测具有均一下垫面、植被覆盖高的区

域, 该方法受卫星资料存档时间、数据定标等因素的影响。一般认为, AVI 为 $-0.2 \sim -0.1$, 为轻旱; AVI 为 $-0.3 \sim -0.2$, 为中旱; AVI 为 $-0.6 \sim -0.3$, 为重旱^[4]。

为消除空间变化对植被指数的影响, 同时反映天气极端情况, Kogan^[5] 提出植被条件指数 (又称植被状态指数, Vegetation condition index, VCI), 该方法适用于长势平稳且处于中后期生长的区域级植被区进行干旱监测, 但在植被覆盖较低区域的使用效果欠佳。

为增加不同时空和不同植被种类的可比性, 齐述华等^[6] 建立了标准植被指数 (Standard vegetation index, SVI)。该方法操作简单, 操作性强, 适宜于大区域或全球植被生长区域旱情监测, 中小尺度或区域级旱情监测效果不是很好。

1.2 热红外遥感监测法 土壤水分变化时, 农作物会通过蒸腾作用调节植被冠层温度, 热红外遥感可利用地表农作物亮温变化间接得到其根系的土壤水分变化, 从而实现旱情监测。

土壤热惯量是土壤阻止其温度变化的一种热特性, 与土壤含水量高度相关^[7]。土壤热惯量受土壤热导率、土壤密度和土壤比热容的影响, 遥感影像无法直接获取这 3 个因子。Price^[8] 在不考虑太阳高度角和纬度等因素的情况下, 提出了表观热惯量 (Apparent thermal inertia, ATI) 的概念, 实际应用中常用表观热惯量 (ATI) 代替真实热惯量。ATI 及其改进方法仅适用于裸土及低植被覆盖区干旱监测。吴黎等^[9] 研究发现当 $NDVI \leq 0.35$ 时, ATI 与土壤含水量间的相关性较强。

为提高植被覆盖区的旱情监测精度, Idso 等^[10] 提出作物缺水指数 (又称作物水分胁迫指数, Crop water stress index, CWSI); Jackson 等^[11] 用能量平衡的单层模型对 CWSI 进行了理论模式定义; 刘安麟等^[12] 对供水充足条件下的 CWSI 公式进行了简化, 简化后 CWSI 参数因子减少, 计算复杂度降低。CWSI 物理意义明确, 精度高, 对于植被覆盖区的旱情监测效果优于热惯量法。为消除地表温度受季节变化的影响, Mcvicar^[13] 提出归一化差分温度指数 (Normalized difference temperature index, NDTI) 法, 该方法利用地表温度变化与特定气象和地表阻抗条件下的地表温度的上限 (干条件) 和下

基金项目 河南省科技计划项目 (162102110121)。

作者简介 贾德伟 (1984 -), 男, 河南周口人, 助理农艺师, 硕士, 从事农业遥感和地理信息系统的开发与应用研究。

收稿日期 2016-11-15

限(湿条件)的变化监测旱情。CWSI 和 NDTI 指数均需要考虑遥感数据同步的气象数据,数据难获取,计算复杂,还存在气象站点数据向遥感数据转化的尺度误差问题。

此外,可通过与极端天气条件下的温度变化差异来描述旱情。有学者提出了温度条件指数(Temperature condition index, TCI),该方法计算简单,操作性强,但未考虑净辐射和湿度等气象条件及季节变化的影响。

1.3 可见光-近红外-热红外遥感监测法 可见光-近红外-热红外法是综合利用热红外遥感探测的植被冠层温度和可见光与近红外遥感探测的植被指数 2 个指标对地表植被和水分条件进行旱情监测。

(1) Ts-NDVI 比率法。利用植被冠层温度(Ts)和植被指数(NDVI)的比值进行旱情监测,可分为温度植被指数法(Temperature vegetation index, TVI)和植被供水指数(Vegetation supply water index, VSWI)2 种。该方法适用于植被盖较高的研究区,农作物生长前期或植被覆盖低地区,该方法会放大植被的影响。

(2) Ts-NDVI 特征空间法。不同水分条件下,地表植被覆盖度和土壤水分含量特征空间有梯形和三角形 2 种,且二者在一定程度上可转化^[14]。基于特征空间发展的监测方法有 Moran 等^[15]提出的水分亏缺指数(Water deficit index, WDI)法、王鹏新等^[16]提出的条件植被温度指数(Vegetation temperature condition index, VTCI)法和 Sandholt 等^[17]提出的温度植被干旱指数(Temperature vegetation drought index, TVDI)法。特征空间法适用于监测区域级裸地、完全植被或部分植被覆盖的干旱,监测精度受到特征空间回归参数的限制。范辽生等^[18]针对高程对地表温度的影响,提出 DEM 校正 TVDI,进一步提高了土壤水分反演精度。

1.4 高光谱遥感监测法 农业干旱高光谱遥感监测,主要探索不同波长波段的光谱值与干旱监测因子(如土壤含水量)的规律变化,并在众多光谱波段中寻找干旱监测的敏感波段。Bowers 等^[19]研究发现随土壤水分的增加,土壤光谱反射率降低,二者关系高度相关。Lobell 等^[20]研究发现土壤光谱值与土壤的体积含水量和相对含水量的相关性更高。Liu 等^[21]研究发现土壤光谱反射率与土壤水分含量的关系为非线性,当土壤含水量高于某一临界值时,土壤光谱值不降反升。彭杰等^[22]研究发现土壤含水量在 380~1 080 nm 波段与反射率呈负相关,以 698、702、703、746、747 nm 波段反射率倒数(1/R)建立的多元逐步回归模型为最优模型。

农田土壤含水量受作物植被冠层的影响。吴代晖等^[23]研究发现植被含水量引起的光谱变化不同于土壤含水量引起的光谱变化。刘培君等^[24]引入了“光学植被覆盖度”概念,从光谱混合象元亮度转变成裸土光谱亮度,排除植被对土壤含水量的影响。吴见等^[25]利用混合象元分解及端元光谱提取技术,将植被和土壤端元光谱分离开,剔除了植被的影响。

1.5 微波遥感监测法 土壤水分与其介电系数有高度相关性,干土(2~5)和水分(80)的介电系数差异显著,随着土壤

水分的增加,土壤的介电系数迅速增大。微波遥感信号与地表介电常数密切相关,介电系数越大,则信号越强,微波遥感利用其原理进行干旱监测。

被动微波遥感利用其亮温监测土壤含水量,植被和地表粗糙度影响该方法对土壤含水量反演的精度。美国通过航空微波辐射计研究发现被动微波的亮度温度与土壤湿度有较好的线性关系^[26]。Njoku 等^[27]基于辐射传输方程,建立了亮度温度与土壤湿度等参数非线性关系。为消除植被对土壤水分的影响,Teng 等^[28]研究发现浓密植被应尽量使用较长波段微波辐射,避免使用 19 GHz 波段。王永前等^[29]参照 TVDI 方法,以微波植被指数 MVI 代替 NDVI 表示植被生长情况,构建了温度微波植被干旱指数(TMVDI),对植被覆盖区域的干旱监测效果良好。陈修治等^[30]通过归一化植被指数(NDVI)与微波极化差异指数(MPDI)的关系,参照植被供水指数(VSWI)方法,构建了基于 AMSR-E 数据的被动微波遥感气象干旱指数,发现该干旱指数与土壤湿度数据有显著的负相关关系。

主动微波利用其后向散射系数监测土壤水分含量,其监测精度受到土壤表面粗糙度、土壤纹理、土壤物理性质和植被覆盖的影响。李震等^[31]研究发现后向反射系数和土壤水分具有线性关系。贾德伟等^[32]研究发现土壤水分的田间持有量为 50%~60% 时,植被影响较大,需要排除植被干扰。刘万侠等^[33]利用“水-云”模型去除植被覆盖的影响,发现 VV 极化与土壤含水量的相关性更高。鲍艳松等^[34]研究发现小麦麦地垂直同极化后向散射与土壤含水量的相关性达到显著水平,与小麦覆盖度的相关性低。

被动微波遥感重访周期短,大面积覆盖,计算简单,受粗糙度和地形的影响较小,对土壤水分的变化更敏感,但空间分辨率低。主动微波遥感空间分辨率高,但数据量大,计算复杂,对粗糙度比较敏感。综合二者优点是微波遥感监测干旱的重要方向之一。杨立娟等^[35]通过几何光学模型(GO 模型)和半经验模型(QP 模型)在粗糙度上的联系进行主被动微波遥感模型结合,提高了土壤水分反演精度。植被覆盖土壤表面的后向散射包括来自植被的体散射、来自地表的面散射和植被与地表间的交互作用散射项。李震等^[31]结合主动和被动微波数据,通过计算体散射项的半经验公式模型来消除植被覆盖影响,提高土壤水分反演精度。赵天杰等^[36]结合机载辐射计亮度温度值和基于后向散射反演的地表粗糙度值,构建 BP 神经网络来反演土壤水分,提高了土壤水含量的反演精度。

2 农业干旱遥感监测方法的应用

为减少数据处理时间,提高工作效率,建立高效、快捷农业干旱遥感监测业务应用平台系统也是农业干旱遥感监测发展的一个方向。

20 世纪末,美国建立了新的基于 VCI 和 TCI 等模型的全球性干旱监测业务产品系统;国际水管理研究所(IWMI)建立了基于 AVHRR 和 MODIS 数据的南亚干旱遥感监测系统;加拿大利用 NOAA/AVHRR 资料进行了正常和干旱条件下

农作物估产比较评估。

国内有学者对业务平台关键技术问题进行了研究。唐巍等^[37]提出建立集成数据库思想;孟令奎等^[38]在 B/S 结构的 MODIS 数据干旱监测处理与发布系统中提出应用网格技术,大大提高了后台遥感数据处理效率。

随着计算机和“3S”技术的发展,各种开发语言及二次开发技术不断被应用于遥感业务系统平台中,如中国科学院遥感与数字地球研究所基于 ENVI 二次开发包及 IDL 技术,建立了全国遥感旱情监测系统。王玲玲等^[39]采用 NET 和 IDL 开发技术,构建了农业旱情监测与分析系统。高阳华等^[40]基于 ArcEngine 插件式框架技术,利用 GP 工具构建干旱监测模型系统。吴冬平^[41]以 3S 技术为支撑,建立了旱情遥感监测与信息管理系统,实现了旱情监测与预报、评估与分析等功能。由此可见,农业干旱遥感监测业务平台都逐步采用新的计算机及“3S”技术,处理速度逐步提升,平台扩展性不断增强。

3 小结

随着农业干旱遥感监测理论的不断丰富、技术和方法的不断创新,农业干旱遥感监测模型已经被广泛应用,业务应用平台也逐步采用新的计算机技术来提高效率。农业干旱受降水、太阳辐射、气温、植被覆盖、土壤质地、地形以及人为灌溉等条件的综合影响,目前农业遥感干旱监测模型都有其时空使用局限性。为提高农业干旱精度,可综合利用不同监测模型、不同时相数据、不同遥感数据源等方法进行旱情监测。基于数据挖掘和大数据等计算机相关前沿技术,业务平台可引入上述相关技术来提高干旱监测模型的准确度和精确度。

参考文献

- [1] 王丽涛,王世新,周艺,等.旱情遥感监测研究进展与应用案例分析[J].遥感学报,2011,15(6):1315-1330.
- [2] 隋学艳,王淑娟,姚慧敏,等.农业气象灾害遥感监测研究进展[J].中国农学通报,2014,30(17):284-288.
- [3] TUCKER C J. Comparing SMMR and AVHRR data for drought monitoring[J]. International journal of remote sensing, 1989, 10(10): 1663-1672.
- [4] 杨涛,宫辉力,李小娟,等.土壤水分遥感监测研究进展[J].生态学报,2012,30(22):6264-6277.
- [5] KOGAN F N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas[J]. International journal of remote sensing, 1990, 11(8): 1405-1419.
- [6] 齐达华,王长耀,牛铮,等.利用 NDVI 时间序列数据分析植被长势对气候因子的响应[J].地理科学进展,2004,23(3):91-99.
- [7] 白淑英,徐永明.农业遥感[M].北京:科学出版社,2013:175-182.
- [8] PRICE J C. Thermal inertia mapping: A new view of the earth[J]. Journal of geophysical research atmospheres, 1977, 82(18): 2582-2590.
- [9] 吴黎,张有智,解文欢,等.改进的表现热惯量法反演土壤含水量[J].国土资源遥感,2013,25(1):44-49.
- [10] IDSO S B, JACKSON R D, PINTER P J, et al. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability[J]. Agricultural meteorology, 1981, 24(1): 45-55.
- [11] JACKSON R D, KUSTAS W P, CHOUDHURY B J. A reexamination of the crop water stress index[J]. Irrigation science, 1988, 9(4): 309-317.
- [12] 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.

- [13] MCVICAR T R, JUPP D L B. The current and potential operational uses of remote sensing to aid decisions on drought exceptional circumstances in Australia: A review[J]. Agricultural systems, 1998, 57(3): 399-468.
- [14] 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.
- [15] 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(3): 246-263.
- [16] 王鹏新,龚健雅,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.
- [17] 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(2/3): 213-224.
- [18] 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.
- [19] BOWERS S A, SMITH S J. Spectrophotometric determination of soil water content[J]. Soil science of America proceedings, 1972, 36(6): 978-980.
- [20] LOBELL D B, ASNER G P. Moisture effects on soil reflectance[J]. Soil science society of America journal, 2002, 66(3): 722-727.
- [21] LIU W D, BARET F, CU X F, et al. Relating soil surface moisture to reflectance[J]. Remote sensing of environment, 2002, 81(2/3): 238-246.
- [22] 彭杰,向红英,王家强,等.基于野外实测高光谱数据的干旱区耕作土壤含水量反演研究[J].干旱地区农业研究,2015,31(2):241-246.
- [23] 吴代晖,范闻捷,崔要奎,等.高光谱遥感监测土壤含水量研究进展[J].光谱学与光谱分析,2010,30(11):3067-3071.
- [24] 刘培君,张琳,艾里西尔·库尔班,等.卫星遥感估测土壤水分的一种方法[J].遥感学报,1997,1(2):135-138.
- [25] 吴见,刘民主,李伟涛.基于高光谱影像分解的土壤含水量反演技术[J].水土保持通报,2013,33(5):156-160.
- [26] SCHMUGGE T, GLOERSEN P, WILHEIT T T, et al. Remote sensing of soil moisture with microwave radiometers[J]. Journal of geophysical research atmospheres, 1974, 79(2): 317-323.
- [27] NJOKU E G, LI L. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6-18 GHz[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 1999, 37(1): 79-93.
- [28] TENG W L, WANG J R, DORAIWAMY P C. Relationship between satellite microwave radiometer data, antecedent precipitation index, and regional soil moisture[J]. International journal of remote sensing, 1993, 14(13): 2483-2500.
- [29] 王永前,施建成,刘志红,等.微波植被指数在干旱监测中的应用[J].遥感学报,2014,18(4):855-867.
- [30] 陈修治,苏泳娟,李勇,等.基于被动微波遥感的中国干旱动态监测[J].农业工程学报,2013,29(16):151-158.
- [31] 李震,郭东华,施建成.综合主动和被动微波数据监测土壤水分变化[J].遥感学报,2002,6(6):481-484.
- [32] 贾德伟,周磊,黄灿辉,等.基于可见光和红外遥感的农业干旱监测方法研究进展[J].科技创新与应用,2016(32):13-15.
- [33] 刘万侠,王娟,刘凯,等.植被覆盖地表主动微波遥感反演土壤水分算法研究[J].热带地理,2007,27(5):411-415.
- [34] 鲍艳松,刘良云,王纪华,等.利用 ASAR 图像监测土壤含水量和小麦覆盖度[J].遥感学报,2006,10(2):263-271.
- [35] 杨立娟,武胜利,张钟军.利用主被动微波遥感结合反演土壤水分的理论模型分析[J].国土资源遥感,2011,23(2):53-58.
- [36] 赵天杰,张立新,蒋玲梅,等.利用主被动微波数据联合反演土壤水分[J].地球科学进展,2009,24(7):769-775.
- [37] 唐巍,覃志豪,秦晓敏.农业干旱遥感监测业务化运行方法研究[J].遥感信息,2007,22(2):37-41.
- [38] 孟令奎,李继园,陈子丹,等. MODIS 数据处理平台在旱情监测中的应用研究[J].水利信息化,2010(2):46-51.
- [39] 王玲玲,张友静,余远见,等.遥感旱情监测方法的比较与分析[J].遥感信息,2010,25(5):49-53.
- [40] 高阳华,徐永进,杨世琦,等.基于 ArcGIS Geoprocessing 干旱遥感监测系统研究与设计[J].西南大学学报(自然科学版),2013,35(4):1-7.
- [41] 吴冬平.我国农业旱情监测技术现状及发展趋势分析[J].自然灾害学报,2015,24(4):24-35.