

基于MODIS数据的作物苗情和灾情监测系统及其开发应用

梁瀚月^{1,2} 房世波² 杨武年¹ 李璇²

(1 成都理工大学地球科学学院, 成都 610059; 2 中国气象科学研究院生态环境与农业气象研究所, 北京 100081)

摘要: 随着全球气候变暖, 极端高低温、干旱事件趋多趋强, 已经威胁到作物的生长和生产。目前, 苗情灾情监测多依靠单时相遥感数据, 由于难以在不同方法间形成作物灾情和苗情的同一标准, 不同方法间难以比较。然而, 以长时间序列植被指数为基础数据, 通过构建植被条件指数、距平植被指数、与往年比较指数等, 以历史作物苗情和灾情为评价标准的方法, 为作物苗情和灾情监测提供了新的思路。文章介绍了利用长时间序列的MODIS准实时的多光谱二级数据和植被指数产品数据, 构建长时间序列的历史作物苗情和灾情为评价标准, 通过系统集成, 实现从遥感数据自动下载、MODIS影像预处理, 到作物基本参数的信息提取, 再到干旱、雪灾监测、苗情和灾情监测, 以及最后的专题图的制作等一整套简单化、系统化的处理过程。以西藏为例, 介绍了该系统的牧草/作物苗情和灾情监测平台, 表明该系统可以应用于大面积作物的苗情和灾情监测, 以及产量的预测。

关键词: 灾情监测, 长势监测, 作物, 遥感技术, 业务系统

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.01.001

Development and Application of the Seedling Situation and Disaster Monitoring System Based on the MODIS Data

Liang Hanyue^{1,2}, Fang Shibo², Yang Wunian¹, Li Xuan²

(1 College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059

2 Institute of Ecoinvironment and Agrometeorology, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: The extreme high and low temperatures, drought events increased and strengthened associated with global warming. It has been a threat to crop growth and production. At present, the seedling situation and disaster monitoring rely solely on the single-phase remote sensing data. Different methods are difficult to be compared due to the difficulty of forming the same standard on the crop disaster and seedling growth between different methods. In this study, a disaster and growth monitoring system was established based upon the vegetation index time series data, the historical growth of the seedling and crop disaster. The system takes long time series of the seedling historical growth and the crop disaster as the evaluation criteria, uses the long time series of MODIS secondary data, which is quasi real-time and multispectral, as well as the vegetation index product data, achieves the automatic download of remote sensing data, the pre-processing of MODIS images and the extracts the basic parameters of the crop responding to drought, snow, and disaster, as well as a set of simplified business process including thematic map production etc. The system was employed in Tibet pasture/crop condition as monitoring platforms, It is shown that the system can be applied to large area crop's and disaster monitoring, as well as yield prediction.

Keywords: disaster monitoring, growth monitoring, crops, remote sensing, operational system

收稿日期: 2016年8月29日; 修回日期: 2016年12月6日
第一作者: 梁瀚月(1992—), Email: lianghanyue51@163.com
通信作者: 房世波(1974—), Email: fangshibo@cma.gov.cn
资助信息: 国家自然科学基金国际合作项(61661136005);
中国气象科学研究院基本科研业务费专项费用(2015Z004)

0 引言

政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告得出, 1880—2012年全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势, 平均气温升高了0.85℃, 21世纪全球气温增幅可能超过1.5~2.5℃^[1], 极端天气气候事件趋多趋强^[2-3], 因气象灾害导致的农业受灾面积不断扩

大^[4]。在全球气候变暖的背景下，对作物苗情和灾情的监测就显得尤为重要，因为它是防灾减灾的重要前提，是农业保险赔付的重要依据，是作物估产的重要凭据。并且，从作物长时间序列的时空变化中可以了解区域生态系统的健康状态及其所经历的变化，从而为当地生态系统管理和决策制定提供合理依据。

然而当前作物苗情和灾情的遥感监测方法中，多以单时相遥感或使用单一的雪灾指数、干旱指数来监测作物的苗情和受灾情况，并且由于不同方法基于的物理机理不同，所以得到的同一灾害的结果往往差异很大。例如热惯量法得到的基于土壤水分含量、红外波段—近红外波段二维光谱特征的垂直干旱指数（Perpendicular Drought Index, PDI）^[5-6]，以及根据植被指数温度梯形理论和双层模型理论提出的水分亏缺指数（Water Deficit Index, WDI）^[7]等，由于基于的物理机制完全不同，其干旱结果及其监测的适用范围和适用作物发育期都完全不同，所得的结果没有办法相互印证和对比^[8-9]。

另外，采用单一某时相遥感的雪灾指数、干旱指数来监测作物的受灾情况时，由于影像往往受到色差、成像质量、大气状况的影响，因此得到的结果也很难与前期和后期得到的同一指数进行比较。再加上相同程度的灾害在不同物候期对作物影响的差异也很大，例如干旱对冬小麦营养生长期影响可能不大，但对小麦灌浆期影响较大^[10]，所以不同时间单一灾情指数也无法纵向比较，更不能得出在不同灾害的综合影响下，其最终对产量的影响。

基于以上这些问题，需要找到一种方法能在同一标准下评价作物苗情和受灾情况，进行有依据的系统评价。多时相遥感方法的提出为同一标准下的灾情和苗情监测提供了方法和思路^[11]，本研究基于遥感时间序列分析的方法和原理，通过将作物当前的苗情和灾情的遥感信息与历史多年同期作物苗情和灾情相比较，即通过与历史时期的苗情和灾情情况的对比，确定当前作物苗情和灾情的等级，通过对作物全生育期苗情和灾情与历史对比分析，进而达到对全生育期作物苗情和灾情的监测评价，从而实现当前作物产量的预测和预估。

1 主要研究方法

1.1 监测方法

监测系统基于长时间序列时相遥感数据分析方法，以历史数据为依据，通过构建植被指数平均值、历史植被指数最大值、最小值，将其作为标准，来评价当前的苗情灾情，做到以史为鉴。具体方法如下。

1.1.1 植被距平指数法

系统运用了距平植被指数法，可以方便地监测和评价当前作物的长势与常年的差异，并且动态监测作物长势。通过植被覆盖指数（NDVI）发展了距平植被指数（Anomalies of Vegetation Index, AVI），通过多年遥感资料计算出某一地点某一时刻的多年年平均植被指数，然后用当前时刻的植被指数与多年平均值的差异来判断当前作物长势^[12]，适用于大尺度的作物灾情监测，表达式为：

$$AVI = NDVI_j - \overline{NDVI_j}, \quad (1)$$

式（1）中， $NDVI_j$ 为当前值， $\overline{NDVI_j}$ 为多年同期平均值。多年平均值可以近似地反映出土壤含水平均状况，进一步利用AVI计算差值反映出当前干旱程度。

1.1.2 植被状态指数法

使用植被状态指数（Vegetation Condition Index, VCI）监测长势，公式为^[13]：

$$VCI = \frac{NDVI_i - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \times 100\%, \quad (2)$$

式（2）中， $NDVI_i$ 为某一特定年第*i*个时段某一像素的NDVI值， $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 分别代表所研究年限内第*i*个时段该像素NDVI的最大值和最小值，分子在一定意义上代表了NDVI的最大变化范围，反映了当地植被的生态环境，VCI越小表示该时段的NDVI越接近 $NDVI_{\min}$ ，作物生长状况越差，干旱越严重。

1.1.3 与历史同期对比法

系统采用了国际通用的基于长时间序列遥感数据的长势模型，并对模型进行了修正，以更符合中国实际。植被生长过程监测法可以获得长势的时间变化，通过多期数据的使用，采用与常年长势对比来估计当年作物生长情况。

把当前时期与多年（2005—2015年）同期均值、历史最好、最差或与上期比较。与历史均值、最好或者最差比较，可以得出当前作物在历史多年长势中处于何种水平；与上期比较，可以得到当前作物在时间上的长势快慢以及好坏的情况。并且，都可以得出当前状态占历史或者上期状态的百分比。通过了解数据，可以做到以史为鉴，从而掌握目前作物生长情况，对管理作物生长和防灾减灾有重要的意义。

1.2 苗情和灾情评价方法

1.2.1 苗情评价

基于作物生育期建立了动态苗情模型，通过作物从播种到收获这一阶段的NDVI和EVI指数的变化，从而达到观察作物长势情况的目的。也可以比较多年的NDVI和EVI值，来分析年际变化。

基于历史同期的最好、最差和常年状态，构建作物相对苗情指数，通过把当前作物的植被指数与历史最值，或者历史均值比较，得出其长势情况分布表。其中可以按地区统计，监测每一区域长势好坏各占多少百分比。

基于与往年同期指数比较的历史趋势模型，把今年的长势曲线与多年最值，以及多年均值形成的趋势曲线放在一起比较，得到今年作物生长情况在最近几年当中，处于什么水平。

1.2.2 灾情评价

当前气候变化背景下，在我国各类农业气象灾害中，旱灾成灾面积和成灾比例呈增加趋势，并且旱灾成灾面积在总成灾面积中所占比例最大，约占总成灾面积的一半^[14-15]。干旱是一个持续过程，需要周期数据来判断干旱。系统所采用的干旱监测方法，考虑了作物不同时期的盖度，例如裸土时、土壤与作物混合期、封垄期的不同盖度，开发了针对作物不同盖度的遥感干旱监测模型^[8]。

系统采用的成熟遥感专业干旱监测模型有：热惯量法、TVDI三角形法。经验半经验模型有：距平植被指数、植被状态指数、叶面缺水指数等干旱监测模型。在实际干旱遥感监测中，根据作物生长环境、作物种类、作物不同生长时期选择采用不同的遥感干旱指数，有助于提高监测效果^[8]。

2 系统构建

2.1 软件框架介绍

开发平台为ENVI 4.5/IDL 7.0，开发工具为IDL7.0，Visual Studio2008，开发语言是C#，IDL。系统利用ENVI/IDL语言和ArcGIS Engine，实现日NDVI/EVI产品数据（MOD09GA）、16天合成NDVI/EVI产品数据（MOD13A1）和MODIS 1B数据，从预处理到基本参数信息的提取，到干旱、雪灾监测、长势监测，以及最后的专题图的制作等建立了一整套简单

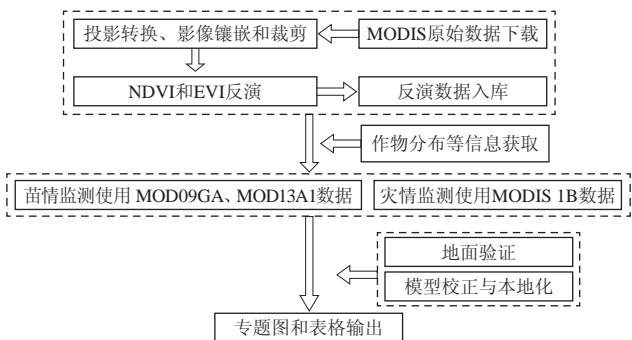


图1 苗情和灾情监测系统框架

Fig. 1 The system framework of seeding and disaster monitoring system

化、业务化的过程（图1）。

2.2 数据自动下载和处理

系统中涉及数据源有三种，其一是2001年到当前的大约15年的日NDVI/EVI产品数据，其二是2001年到当前的大约15年16天合成NDVI/EVI产品数据，其三是MODIS 1B数据。

系统存储2005—2015年11年的数据作为历史数据，近期和当前的数据通过系统自动下载功能实现实时下载，用来评价当前作物长势。日产品数据、16天产品数据可通过系统自动下载。其中系统在开机联网之后，可以实现联网自动下载近15天的日数据，日数据在做业务时，需得到最新结果则需每日更新。16天产品数据则是每16天更新一次。MODIS 1B数据需要通过网页下载，只需下载灾情发生时间段的影像。软件具有自动检测功能，当遇到断网、关机等情况时，下次打开软件可以对已下载的数据进行联网检测，检查文件大小是否与网上一致，从而保证原始数据的连续性。

数据基本预处理主要是针对不同轨道号的投影转换拼接以及根据研究区边界裁剪、NDVI/EVI参数提取、专题图制作等过程、并按需要对多年数据按规则进行存储。

3 系统开发与应用

3.1 主界面

该系统已在西藏自治区气候中心有近1年半的试运行（图2）。在西藏地区，系统能每半月提供一次近实时的作物/牧草苗情和灾情数据，直接反映作物当前健康状况，能够弥补当前单纯依靠气象指数或气象因子难以真实反映灾情或苗情的问题，使气象防灾减灾业务精细化，动态监测牧草长势是气象业务在牧区服务的有意义探索。



图2 西藏植被监测系统主界面

Fig. 2 The main interface of Tibet vegetation monitoring system

3.2 旱情监测

西藏农业气象站点分布稀少，单一用气象数据监测无法反映干旱的空间差异，此系统可以直观反映干旱的空间分布（图3）。系统采用的成熟遥感专业干旱监测模型有：热惯量法、TVDI三角形法。其中，热惯量法是利用红外遥感数据监测土壤含水量的一种主要方法。通过遥感数据计算得到的表观热惯量可以有效地反演出土壤水分，在农业干旱监测中有很好的应用价值^[16-17]。此方法可以有效监测裸土或较低植被覆盖条件下的农业干旱状况^[18]，而西藏目前大部分地区以低覆盖度植被为主，使用热惯量法得到的结果会优于其他干旱监测方法。

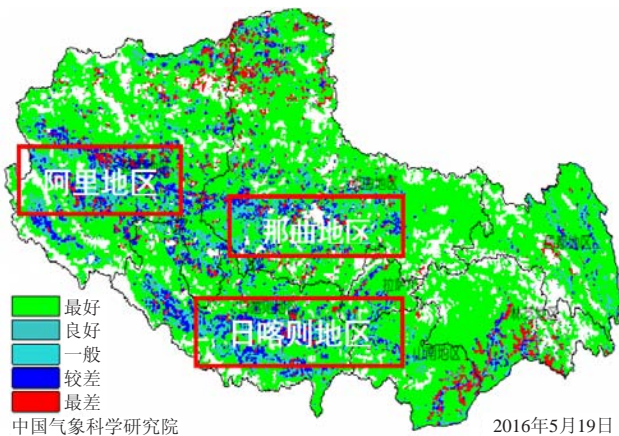


图3 热惯量法专题图

Fig. 3 The thematic map of thermal inertia method

图3是利用热惯量法得到的西藏2016年5月19日的土壤含水量状况，结合当时的监测公报，除阿里地区外，西藏地区在过去这一周大部分地区均出现了不同程度的降雨天气，缓解了部分地区的旱情，而日喀则地区的定日县等仍维持中度以上的气象干旱。从图上可以看出，大部分地区土壤含水量较好，而日喀则地区、阿里地区中部、那曲地区中南部土壤含水量则较低，也验证了这一结果。

3.3 苗情监测

本系统通过建立距平植被指数模型，可以监测和评价当前植被的长势与常年的差异（图4、图5），能够实现动态监测牧草长势和确定草原合理载畜量的目的，对保护草原生态具有重要意义。

植被长势的好与差，由与多年同期均值比较得到（图4）。2015年10月12日的植被长势与多年均值比较情况见图4。植被指数影像文件选择距离此时最近的16天NDVI产品数据。植被长势比上期或历史时期同期影像较好时高亮度显示，较差时低亮度显示。由预览图可以看出，2015年10月12日，西藏植被长势与

多年均值相比，长势最好占4%，良好占7.7%，正常占66.2%，较差占15.6%，最差占6.5%。

2015年拉萨市植被生长变化的季节变化与历史11年最大、11年最小、11年平均的比较（图5）可以看出，6月之前，长势普遍高于多年平均水平，说明生长情况不错。从7月开始，蓝色曲线明显低于紫色曲线，长势低于多年平均水平，虽然高于多年最小值，但仍说明后半年长势较差于上半年。



图4 西藏2015年10月12日植被指数与多年同期均值的比较结果

Fig. 4 The comparison result between the vegetation index on October 12, 2015 and the long term average for same period in Tibet

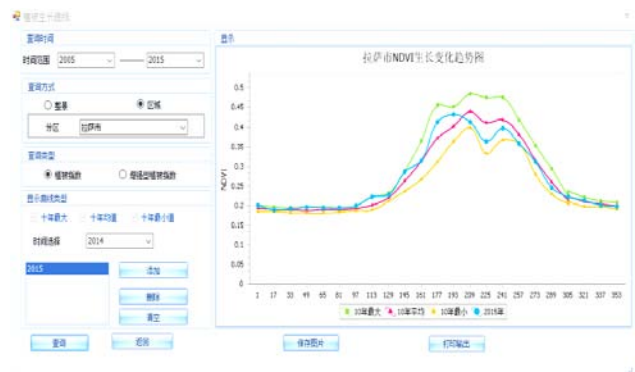


图5 拉萨市2015年植被长势变化情况

Fig. 5 The change of vegetation growth in Lhasa City for 2015

4 存在的问题和进一步研究展望

4.1 苗情预测精度需要进一步提高

过去常用单次灾害指标来评估其对产量的影响，但是作物在各生育期发生的不同灾害最后对产量的影响有叠加作用，因此难以综合评估对产量影响，评价精度和准确度不高。而本研究通过当前年作物NDVI值与历史最大值、历史最小值、历史均值的比较得出其长势变化情况。作物如果在各关键生育期的NDVI

值均好于去年或者历史均值,即可以预测今年作物产量高于去年或者历史平均水平,又能观察植被整个生长季的苗情和灾情变化趋势,与传统方法相比,既能解决灾害重叠的问题,又能综合评估多灾害对产量的影响。

遥感监测到的作物苗情好坏不一定与产量好坏相对应,营养生长期作物生长过旺(苗情好),反而可能影响生殖生育期的籽粒产量,所以在作物长势与产量对应的问题上,还需进一步探索。

4.2 遥感监测空间分辨率仍需提高,南方应用受到云雨等天气条件限制

本研究采用MODIS数据,分辨率为500 m,适合省级区域遥感监测使用,对县市级作物苗情和灾情监测,因分辨率较低难以实施,随着各地市对遥感需求的增加,作物监测对遥感影像分辨率也提出了更高的要求。由于环境减灾卫星于2008年发射,分辨率是30 m,时间分辨率为2~3d,因此以后可以基于环境减灾卫星数据,研制针对地市级等面积较小的区域作物苗情遥感监测系统。

光学遥感难以应用于南方多云雨的区域。但是随着雷达应用的兴起,其不受雾、云、雨的阻挡,并有一定的穿透能力的特点,对于干旱、土壤水分监测有较好的效果。因此可以进一步尝试利用雷达数据,拓展和增强对南方多云雨地区的作物长势监测,从而为作物动态研究提供更多的数据和政策的制定提供可靠依据^[19]。

参考文献

- [1] Alexander L, Allen S, Bindoff N L. Climate change 2013: the physical science basis – Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
- [2] 杨萍,刘伟东,王启光,等.近40年我国极端温度变化趋势和季节特征.应用气象学报,2010,21(1):29-36.
- [3] 李祎君,王春乙,赵蓓,等.气候变化对中国农业气象灾害与病虫害的影响.农业工程学报,2010(S1):263-271.
- [4] 房世波,韩国军,张新时,等.气候变化对农业生产的影响极其适应.气象科技进展,2011,1(2):15-19.
- [5] 詹志明,秦其明,阿布都瓦斯提·吾拉木,等.基于NIR-Red光谱特征空间的土壤水分监测新方法.中国科学,2006,36(11):1020-1026.
- [6] Ghulam A, Qin Q, Zhan Z. Designing of the perpendicular drought index. Environmental Geology, 2007, 52(6): 1045-1052.
- [7] 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. Remote Sensing of Environment, 1994, 49(3): 246-263.
- [8] 宋扬,房世波,卫亚星.农业干旱遥感监测指数及其适用性研究进展.科技导报,2016,34(5):45-52.
- [9] 宋扬,房世波,柯丽娜.基于MODIS的农业干旱遥感指数对比应用.国土资源遥感,2017,待发表.
- [10] 张建平,赵艳霞,王春乙,等.不同发育期干旱对冬小麦灌浆和产量影响的模拟.中国生态农业学报,2012,20(9):1158-1165.
- [11] 蒋云志,房世波.遥感时间序列分析.成都:电子科技大学出版社,2014.
- [12] 张学艺,张晓煜,李剑萍,等.我国干旱遥感监测技术方法研究进展.气象科技,2007,35(4):574-578.
- [13] Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. Remote Sensing of Environment, 1995, 54(2):127-140.
- [14] 房世波,阳晶晶,周广胜.30年来我国农业气象灾害变化趋势和分布特征.自然灾害学报,2011,20(4):69-73.
- [15] 王劲松,李耀辉,王润元,等.我国气象干旱研究进展评述.干旱气象,2012,30(4):497-508.
- [16] Carlson T N. Regional-scale estimates of surface moisture availability and thermal inertia using remote thermal measurements. Remote Sensing Reviews, 1986, 1(2): 197-247.
- [17] 余涛,田国良.热惯量法在监测土壤表层水分变化中的研究.遥感学报,1997,1(1):24-31.
- [18] 韩宇平,张功瑾,王富强.农业干旱监测指标研究进展.华北水利水电学院学报,2013,34(1):74-78.
- [19] Koch B. Status and future of laser scanning, synthetic aperture radar and hyperspectral remote sensing data for forest biomass assessment. Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, 65(6): 581-590.