

内蒙古干旱监测评估方法综合应用研究^{*}

李兴华¹ 李云鹏² 杨丽萍²

(1. 内蒙古气象服务中心 呼和浩特 010051; 2. 内蒙古生态与农业气象中心 呼和浩特 010051)

提 要: 在内蒙古土壤墒情和干旱监测评估服务中, 通过土壤含水量地面观测与卫星遥感监测的有机结合, 达到优势互补, 使内蒙古的干旱服务工作达到准确及时。利用土壤相对湿度划分干旱等级, 方法简单精确, 容易业务化; 卫星遥感监测在春季(6月1日以前)采用热惯量法, 夏季(6~8月)利用植被指数法, 秋季以地面监测服务为主。另外, 卫星遥感受监测时间和植物生长特性的影响, 监测结论难免出现滞后, 尤其对干旱初期的判断就更加模糊, 卫星遥感监测更适合在连续大旱的情况下对干旱的动态进行监测评估服务。

关键词: 干旱监测; 卫星遥感; 综合应用; 土壤相对湿度; NDVI

中图分类号: P426.616

文献标识码: A

内蒙古大部地区属于干旱或半干旱地区, 受自然环境和大气环流等因素的影响, 年降水量少而分布不均, 年降水量自东向西由500mm递减为50mm左右。蒸发量则相反, 自西向东由3000mm递减到1000mm左右^[1]。干旱是影响内蒙古农牧业生产最主要的气象灾害, 与其他自然灾害相比, 其出现的频率最高、持续时间最长、影响的范围最大, 对农牧业生产的直接损失也最重。近年来, 受气候变化的影响, 内蒙古的干旱灾害发生的更加频繁^[2]。自从2000年以后内蒙古连续10年都有干旱发生, 其中2003和2009年的干旱最为严重, 旱作农田因无法播种而绝收, 其他农田因阶段性干旱而大范围减产; 牧区因干旱出现牲畜饮水困难, 牧草提前枯黄, 牲畜因缺草而提前出栏, 对农牧业生产造成的损失越来越大; 干旱对内蒙古生态环境的治理和保护也产生了重大的影响。因此, 干旱服务已经成为气象服务的重中之重, 随着政府对干旱监测服务范围 and 时效需求的增强, 常规手段在干旱监测服务中很难满足这些需求。卫星遥感信息由于具有时效高、监测范围广的特点, 非常适用于环境变化以及大范围自然灾害的动态监测。因此, 利用卫星数据进行大面积干旱监测及评估是切实可行的。利用极轨气象卫星进行土壤墒情和干旱监测, 经过多年的实践和探索, 已经建立了适合内蒙古干旱综合监测评估的方法^[3]。通过地面与遥感监测相结合, 克服了内蒙古东西跨度大, 使干旱监测评估服务更加准确及时。

1 材料与研究方法

1.1 卫星遥感资料的选取和处理

卫星遥感监测数据来自内蒙古生态与农业气象中心接收的2009年8月上旬和中旬的FY-1D数据; 土壤水分地面监测数据来自内蒙古91个土壤水分监测站2009年8月上旬和中旬的实时观测数据。卫星资料采用国家卫星中心定义的极轨气象卫星数据格式(1A), 利用多轨道合成的方法, 实现图像镶嵌拼合和合成滤波, 利用地理信息系统和相关的NDVI植被指数模式制作最大NDVI植被指数图, 文件为LD3格式。

1.2 干旱监测评估方法

1.2.1 土壤相对湿度干旱指数

土壤相对湿度干旱指数是反映土壤含水量的指标之一, 适合于某时刻土壤水分盈亏监测。一般采用作物耕作层的土壤相对湿度(0~20cm)进行评估。另外, 由于农作物和牧草对水分的需求特性不同, 因此

* 收稿日期: 2013-8-30。

基金项目: 内蒙古气象局农牧业气象创新团队资助。

作者简介: 李兴华(1971), 男, 高级工程师, 主要从事应用气象、气候变化、生态学、遥感应用研究。E-mail: lkh101900@163.com

对农区和牧区采用不同的评估指标(表1)。土壤相对湿度干旱指数计算公式^[4]:

$$R = \omega / f_c \times 100\%$$

式中: R 为土壤相对湿度(%) ; ω 土壤重量含水率(%) ; f_c 土壤田间持水量(%)。

表1 土壤相对湿度干旱指数的干旱等级划分表

Tab. 1 Soil drought index classification according to the soil relative humidity

等级	类型	0~20cm 深度土壤相对湿度		干旱影响程度
		农田	草地	
1	无旱	60% < R	55% < R	地表湿润或正常, 无旱象
2	轻旱	50% < R ≤ 60%	45% < R ≤ 55%	地表蒸发量较小, 近地表空气干燥
3	中旱	40% < R ≤ 50%	35% < R ≤ 45%	土壤表面干燥, 地表植物叶片有萎蔫现象
4	重旱	30% < R ≤ 40%	25% < R ≤ 35%	土壤出现较厚干土层, 地表植物萎蔫, 叶片干枯, 果实脱落
5	特旱	R ≤ 30%	R ≤ 25%	基本无土壤蒸发, 地表植物干枯、死亡

1.2.2 卫星遥感热惯量法

热惯量是物质热特性的一种综合量度,它是引起土壤表层温度变化的内在因素,它与土壤含水量密切相关,同时控制土壤温度日较差的大小。遥感土壤含水量的基本原理是:当土壤含水量低,土壤干燥,出现干旱时,昼夜温差大,而土壤含水量高时,昼夜温差小^[5]。通过卫星遥感获得一天内土壤的最高温度(中午14时前后)和最低温度(早晨6点前后),利用土壤温度的日较差,推算土壤湿度的热惯量表达式^[6,7]:

$$P = C(1 - A) / \Delta T_0$$

式中: P 为热惯量, ΔT_0 为昼夜温差, A 为全波段反照率, C 为常数。

1.2.3 植被供水指数法

在有植被覆盖情况下,特别是在植被覆盖度很高时,植被改变了土壤的热传导性质。为了对高植被覆盖区农作物的旱灾进行遥感监测,中国气象局国家气象中心发展了"植被供水指数法"。植被供水指数的定义式为^[8]:

$$VSWI = NDVI / T_5$$

式中: 为美国 NOAA 卫星或中国 FY-1D 卫星遥感监测到的作物冠层温度。

1.2.4 植被指数法

植被指数(VI)是遥感监测地面植被生长状况的一个指数,它是由卫星传感器可见光和近红外通道探测数据的线性或非线形组合形成的,可以较好地反映地表绿色植被的生长和分布状况。一般来讲,当植物缺水时,植物的生长将受到影响,植被指数将会降低。根据植物的光谱特性,研究人员提出了各种植被指数作为农作物生长状况和干旱灾情的判断标准,一般常用的组合方式有^[6]:

差值植被指数: $EVI = NIR - RED$, 比值植被指数: $RVI = NIR / RED$, 归一化植被指数 $NDVI = A \times (NIR - RED) / (NIR + RED)$ 。

上述式中: NIR 为近红外通道的发射率, RED 为可见光通道的反射率, A 为扩大系数。

条件植被指数(VCI)的定义为: $VCI = (NDVI_i - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \times 100$

式中: $NDVI_i$ 为某一特定年第 i 个时期的 NDVI 值, $NDVI_{max}$ 和 $NDVI_{min}$ 分别为所研究年限内第 i 个时期 NDVI 的最大值和最小值。

距平植被指数法使用干旱时段的植被指数减去其多年平均值,根据差值的大小确定植物的受旱情况。AVI 的定义为^[9]:

$$AVI = NDVI_i - NDVI_p$$

式中: $NDVI_i$ 为某一特定年某一时期(如旬、月等) NDVI 的值, $NDVI_p$ 为多年该时期 NDVI 的平均值。

2 结果与分析

由于内蒙古东西跨度大,植被盖度受地理和季节的影响,分布严重不均,因此在内蒙古干旱监测服务中,采用单一的监测模式和方法,很难圆满完成全年的监测服务工作。应用实践表明,在干旱监测服务中,采用地面与遥感监测相结合的方法效果很好。首先通过对内蒙古 91 个土壤水分监测站资料的收集整理,利用土壤相对湿度划分干旱等级,制作干旱地面监测评估产品;然后利用卫星遥感监测资料,制作干旱卫星遥感监测图,卫星遥感监测在春季(6月1日以前)采用热惯量法效果较好,夏季(6-8月)利用植被指数法比较好,而秋季由于农作物收割,农田地面裸露,适合用热惯量法,但草地和其他林地的植被却影响热

惯量法的精度,因此秋季服务遥感监测难度较大,以地面监测服务为主更好。

2.1 地面干旱监测评估指数对比分析

传统干旱监测评估方法比较多,其中降水距平百分率法、相对湿度指数法、标准化降水指数法、土壤相对湿度法、帕默尔干旱指数法和水分亏缺指数法等是干旱等级评估中常用的方法。在内蒙古应用研究表明,内蒙古由于年降水量自东向西由 500mm 递减为 50mm 左右,降水分布严重不均,因此降水距平百分率法、相对湿度指数法和标准化降水指数法很难合理的评价全区的干旱状况;帕默尔干旱指数法适合月尺度的水分盈亏监测和评估,服务中时效较差;水分亏缺指数法涉及因子包括大气降水、温度、日照、蒸发和蒸散、土壤水分储存,而蒸散计算利用 Penman 公式计算,又涉及植物的蒸散系数的确定,因此虽然理论上很好,但由于不同植物的蒸散系数不同,体现了其自身的抗旱能力也不同,因此大范围干旱评估中出现偏差是不可避免的,同时涉及因子多,使其业务化难度增大。实践表明,经过多年的土壤水分监测站网建设,目前全区拥有土壤水分监测站 91 个,达到每个旗县有 1 个监测站,初步满足了土壤墒情和干旱监测评估服务的需要,因此利用土壤相对湿度法开展干旱监测评估服务更能够反映农田和草地的干旱状况。

2.2 卫星遥感干旱监测评估指数对比分析

2.2.1 卫星遥感热惯量法

热惯量方法用于土壤温度监测较稳定,只要能准确得到土壤昼夜温度差,就可以得到相对干旱的程度,估算含水量精度比较高。但该方法有其局限性,主要有三方面:一是原则上只适用于裸露或植被覆盖度很低的下垫面;二是要求同时获得白天、晚上的晴空数据;三是白天和夜间卫星过境被监测地区都要处于两条轨道基本重合的范围^[5],由于内蒙古东西跨度大,白天和晚上得晴空区获得比较困难。因此,从植被盖度分布出发,热惯量法在内蒙古每年的春季(6月1日以前)开展土壤墒情和干旱监测评估较适宜,而且内蒙古春季降水少,晴空区容易获得,业务化运行也比较容易实现。

2.2.2 卫星遥感植被指数法

从植被生长的需水性出发,干旱是在水分胁迫下,植物及其生存环境相互作用构成的一种旱生态环境,所以可以利用植被指数来表示植物受旱程度。

(1) 植被供水指数法。当作物供水正常时,卫星遥感的植被指数在一定的生长期内保持在一定的范围,而卫星遥感的作物冠层温度也保持在一定的范围内;如果遇到干旱,作物供水不足,一方面作物的生长受到影响,卫星遥感的植被指数将降低,另一方面,作物的冠层温度将会升高,这是由于干旱造成的作物供水不足,作物没有足够的水供叶面蒸发(蒸发带走热量),被迫关闭一部分气孔,致使植被冠层温度升高。供水植被指数越小,旱情越严重。该方法综合考虑了作物受干旱影响时在红光、近红外、热红外波段上的反应,具有较好的应用效果。近年的应用实践表明,植被供水指数法具有计算简单,受限制少,只需要 14 时左右的一次晴空卫星观测资料,即可进行旱情监测,但在定量监测中效果不佳,当下垫面差异较大时,监测结果的误差较大,给出的只是相对的干旱等级,无法针对不同的地物类型确定不同的干旱指标,因此适用在植被蒸腾较强的夏季使用。从 2009 年 8 月中旬干旱地面监测和遥感监测图(图 1)可知,遥感监测的效果有一定的延迟性,这与植物的生长特性有关。

(2) 植被指数法。根据植物的光谱特性,研究人员提出了差值植被指数(EVI)、比值植被指数(RVI)、归一化植被指数(NDVI)、条件植被指数(VCI)和距平植被指数(AVI)等各种植被指数法根据农作物生长状况确定干旱监测方法。这些方法监测干旱具有效果较好,简单易用,操作性强,比较直观等特点,但需要一定的资料积累。

应用实践表明,归一化植被指数(NDVI)法简单易用,也比较直观,确定植物的干旱状况具有独特的优势,而且可以做任意年度和旬月对比,使监测评估服务的灵活性增强。但内蒙古东西跨度大,夏季天空云量较多,计算归一化植被指数必须在晴空状态下,同时一条轨道很难完成,只有通过多轨道镶嵌拼接和合成滤云才能实现,为业务工作带来许多困难。近年来,多轨道最大 NDVI 植被指数计算方法的实现,克服了内蒙古卫星遥感监测云的干扰,使植被指数法在干旱监测服务中发挥了更大的作用。

2.3 应用实例分析

通过对 2012 年 8 月上旬的地面土壤监测资料和卫星遥感监测的干旱评估分析。从图 1 可知,两图都能准确的反映出内蒙古西部和中东部地区的旱情,但遥感的干旱范围明显比地面监测的范围大,这主要是由于 8 月中旬末中西部地区出现了大范围的降水,地面监测土壤湿度明显增加,大部地区旱情解除,因此干旱范围缩小;而这时采用的遥感资料一般为降水前的监测数据,反映的还是前期的干旱状态,因此遥感

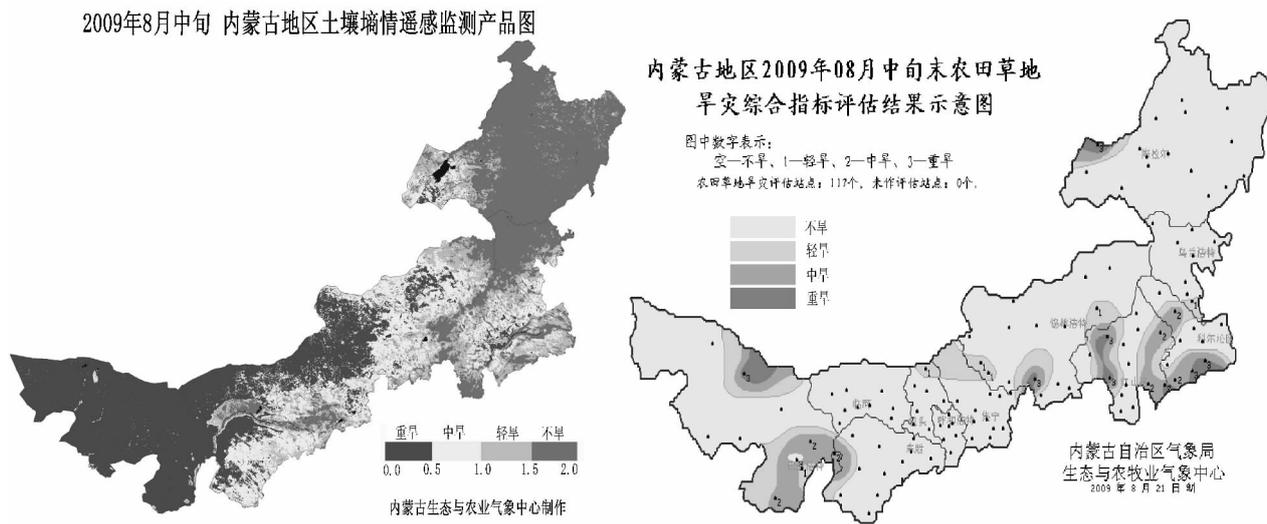


图 1 2009 年 8 月中旬内蒙古干旱地面监测和卫星遥感监测对比图

Fig.1 Comparison of ground monitored drought with the satellite remote sensing monitored drought in Inner Mongolia in mid - August 2009

图像反映的结论与 8 月上旬的地面监测结论更相符。另外 在前期旱情严重的情况下 植物受水分胁迫严重 部分地区出现黄尖和枯萎等现象 尽管短时降水充足 植物对水分的吸收和利用也需要时间 延迟一段时间才能出现恢复性增长 遥感图像反映的是植物冠层含水量特性 因此遥感监测得出的结论与 8 月上旬的地面监测结论相符(图 2) 这也进一步说明 遥感监测干旱在一定的时间范围内与地面监测相比具有延迟性。

3 讨论

经过多年的应用服务和实践研究表明 内蒙古地广站稀,如果单一的采用地面资料来做土壤墒情和干旱的监测评估工作,以点代面,而降水的随机性和不均匀性,容易使许多干旱区域评估不出来或增大评估范围。另外,地面监测资料具有定时上报的局限性,很难满足土壤墒情和干旱监测评估服务的随机性。卫星遥感监测具有精度高、视野宽、时效性强的特点,能够克服地面监测的缺点,但卫星遥感监测的定量化精度不高,又限制了其服务的准确性。胡荣辰等在干旱遥感监测中不同指数方法的对比研究中得出归一化植被指数可以间接地反映旱情,但在时间上有一定的滞后性,在干旱初期,很难通过植被指数监测出来^[10]等方面结论与作者的应用研究结论一致。另外,干旱现象非常复杂,涉及水文、气象、生物生理、水资源管理以及经济社会等多方面影响因素,需要综合考虑多种指标,因此建立一个有效的干旱遥感监测与预报系统具有很大的挑战性^[11]。因此,通过利用 GIS(地理信息系统)等值线绘图和数据统计分析功能,根据内蒙古植被类型分类,划分农、牧、林区范围,在合理确定土壤墒情等级和干旱等级评估指标的基础上,利用地面监测与卫星遥感监测相结合的方法,达到优势互补,分农、牧、林区计算和输出土壤墒情等级和干旱等级图及定量计算面积,才能使干旱服务工作做到准确及时。

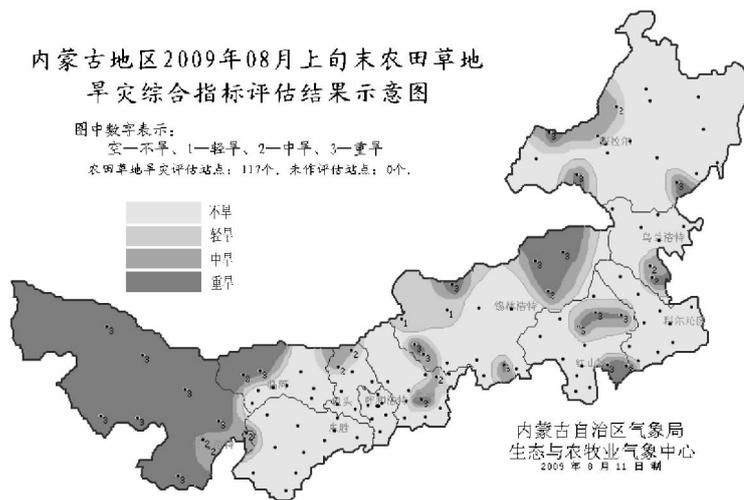


图 2 内蒙古 2009 年 8 月上旬干旱地面监测评估图

Fig.2 Evaluation of ground monitored drought in Inner Mongolia in early August 2009

4 结论

在内蒙古土壤墒情和干旱地面监测评估中,采用土壤相对湿度划分干旱等级,方法简单精确,更容易业务化。卫星遥感监测在春季(6月1日以前)采用热惯量法,夏季(6~8月)利用植被指数法,秋季由于农作物收割,农田的地面裸露,适合用热惯量法,但草地和其他林地的植被却影响热惯量法的精度,因此,秋季以地面监测服务为主。

地面监测能够适时反映土壤墒情和干旱的变化状况,而卫星遥感受监测时间和植物生长特性的影响,监测结论出现滞后性是难免的,尤其对干旱初期的判断就更加模糊。卫星遥感监测更适合在连续大旱的情况下对干旱的动态进行监测评估服务。

参考文献

- [1] 顾润源,孙永刚,韩经纬,等. 内蒙古自治区天气预报员手册[M]. 北京:气象出版社,2012:15-16.
- [2] 吴鸿宾,等. 内蒙古自治区主要气象灾害分析[M]. 北京:气象出版社,1990:18-23.
- [3] 乌日娜,李兴华,韩芳,杨丽萍. 遥感技术在土壤墒情监测中的应用[J]. 内蒙古气象,2006(2):29-30.
- [4] 张强,邹旭凯,肖风劲,等. 气象干旱等级[S]. 中华人民共和国国家标准,2006:11.
- [5] 侯英雨,何延波,柳钦火,田国良. 干旱监测指数研究[J]. 生态学杂志,2007,26(6):892-897.
- [6] 王小平,郭妮. 遥感监测干旱的方法及研究进展[J]. 干旱气象,2003,21(4):76-81.
- [7] 李星敏,刘安麟,张树誉,等. 热惯量法在干旱遥感监测中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(1):54-59.
- [8] 闫娜,杜继稳,李登科,延军平. 干旱遥感监测方法研究应用进展[J]. 灾害学,2008,23(4):117-121.
- [9] 陈维英,肖乾广,盛永伟. 距平植被指数在1992年特大干旱监测中的应用[J]. 环境遥感,1994,9(3):12-18.
- [10] 胡荣辰,朱宝,孙佳丽. 干旱遥感监测中不同指数方法的比较研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(17):8289-8291.
- [11] 路京选,曲伟,付俊娥. 国内外干旱遥感监测技术发展动态综述[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2009,7(2):105-111.

Application and evaluation of integrated drought monitoring method to Inner Mongolia

LI Xinghua¹, LI Yunpeng², YANG Liping²

(1. Meteorological Service Center of Inner Mongolia, Hohhot 010051, P. R. China;

2. Ecology and Agriculture Meteorological Centre of Inner Mongolia, Hohhot 010051, P. R. China)

Abstract: For soil moisture and drought monitoring and evaluation services in Inner Mongolia, the organic combination of soil moisture of ground-based observations and satellite remote sensing can get a goal of complement of each other, so that drought service can be accurate and timely. When applying of satellite remote sensing method to monitored the drought, we should use the thermal inertia in the spring(before June 1), the vegetation index in summer(July to August); ground-based monitoring should be used in autumn. In addition, due to the satellite remote sensing monitoring is affect by the monitoring time and the growth characteristics of plants, so the monitoring results will inevitably exist hysteresis effect, particularly for judgeing the earlydrought it is more vague, Satellite remote sensing is more suitable for the case of continuous drought in the dynamic drought monitoring and evaluation services.

Key words: drought monitor; satellite remote sensing; integrated application; soil moisture; NDVI