

基于EOS/MODIS的青海草原 春季干旱监测模型

李红梅^{1,2}, 马玉寿¹

(1. 青海大学畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810001; 2. 青海省海北牧业气象试验站, 青海 西海 810200)

摘要:采用对地观测系统/中分辨率成像光谱仪(EOS/MODIS)白天、夜间两时相的资料,应用热惯量监测土壤湿度的基本原理,通过拟合计算,建立了土壤湿度和热惯量之间的线性和对数模型,并选择线性模型为干旱监测的基础模型。对辐射方法反演温度和直接反演温度2种方法进行了分析比较,认为直接反演温度法计算简便、易于实际应用。针对热惯量模型只能监测裸地土壤湿度的缺点,给出了归一化植被指数(NDVI)订正方法,初步拟合计算,青海地区 K_n 值为3。对草原干旱的定义,沿用青海省地方灾害标准。通过以上分析,建立了青海省草原春季干旱遥感监测模型。经实际监测应用,认为在青海范围内可替代人工取土监测土壤湿度。

关键词:MODIS; 热惯量; 土壤湿度; 遥感

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2008)11-0020-04

^{*1} 青海省境内除湟水流域为农业区外,其余大部分地区为牧业区,全省牧区土地面积为7 000万 hm^2 ,占全省总面积的97%,各类天然草地约4 000万 hm^2 ,占土地面积的56%,其中可利用草场3 000多万 hm^2 ,占全国可利用草场面积的15%,面积仅次于内蒙古、新疆、西藏,居全国第四,是我国五大牧区之一。近年来,随着全球气候变暖,草原干旱频繁发生,尤其是草原春旱,基本上每年出现。春季是牧草生育期中的水分关键期,如果此时水分缺少,将会严重影响牧草生长后期的干物质积累,降低产草量。春季较夏、秋、冬季干旱,对畜牧业生产影响更甚。及时监测草原干旱,采取防灾抗灾措施,可最大程度地减少灾害造成的影响。在牧业区,监测土壤湿度时,由于面积太大,采取常规方法,既费时又费力,并且存在以点代面的问题,其准确性也受到很大影响。遥感手段,因其监测的高时效性和大空间尺度,对于获取草原干旱信息有更大的优势。

20世纪70年代末,国外研究人员逐步开展了土壤水分遥感监测的应用研究。发展到今天,有许多技术方法可借鉴,如植被指数法^[1]、作物缺水指数法^[1]、温度植被旱情指数^[1]等。在本研究中,之所以选择热惯量法是基于以下考虑:由于海

拔高,青海高原春季气温较低,春季3、4月份,草原还未返青,基本为裸土,而目前监测裸土土壤湿度精度较高的监测方法便是热惯量法^[2-4]。

1 资料收集与处理

1.1 土壤湿度资料收集 收集了青海省气象局所属牧业区16个台(站)从2003—2006年观测的土壤水分资料。其观测时段为从春季土壤010 cm冻土层完全融化开始监测,到冬季土壤冻结深度 ≥ 10 cm后停测,每旬末进行监测,每个站选取1个测点,4个重复。

1.2 EOS/MODIS资料 对地观测系统/中分辨率成像光谱仪(EOS/MODIS)资料的挑选,需考虑以下条件:1)对应于土壤湿度资料,时间跨度2003—2006年;2)遥感资料时间范围是每年的2月上旬—5月上旬;3)晴空资料,最低保证青海省东部农区为晴空;4)整轨资料,拼接资料在统计面积上误差比较大,不适宜做干旱的监测服务产品。按照上述条件,从2003—2006年,挑出逢8日研究区晴空MODIS资料共4幅,分别是2005年3月8日夜间、2005年3月8日白天、2006年2月

收稿日期:2007-11-26

作者简介:李红梅(1976-),女,山东曹县人,在读硕士生,主要从事牧业气象和生态环境研究。
E-mail:zbr0515@163.com

28 日夜间和 2006 年 2 月 28 日白天。

2 热惯量模型建立

2.1 模型简介 热惯量是物质对温度变化热反应的一种度量,反映了物质与周围环境能量交换的能力,即反映物质阻止热变化的能力。不同物质热惯量的差异很大,并且热惯量高的物体比热惯量低的物体,其温度变幅要小。这就是运用热惯量监测土壤水分的理论基础^[5,6]。

热惯量 P 的具体表达式如下^[7]:

$$P_{表} = (K \cdot \rho \cdot C)^{1/2} \quad (1)$$

式中, K 是物质导热率 [$J/(m \cdot s \cdot ^\circ C)$], 指热通过物质的速率, ρ 是物质密度 (kg/m^3), C 是物质比热 [$J/(kg \cdot ^\circ C)$], 反映物质存储热量的能力。由于水的热惯量比土壤高,含水量较高的土壤昼夜温差就较小。因此,土壤的热惯量可以作为遥感监测土壤含水量的指标,但(1)式中各种参数是无法从极轨气象卫星资料中直接计算得到的,为此必须对原热惯量公式进行变换推导,使公式中的每个参量都可以由气象卫星资料直接推算出来。经推算、简化和忽略,可以得到如下形式的表观热惯量公式:

$$P_{表} = (1-A)/(T_{max} - T_{min}) \quad (2)$$

式中, $P_{表}$ 是表观热惯量, A 是地面全反照率, T_{max} 是最高温度, T_{min} 是最低温度,以上 3 个参量可以分别从遥感资料的通道中计算得到。

2.2 模型中参数的求算 地表反照率应是全波段、半球视场的反射比,而遥感得到的是非连续、多波段、窄视场的各波段的反射系数。全波段是指波长 $0.14 \mu m$ 。但由于太阳能量主要集中在 $0.311.5 \mu m$ 很窄的波段。因而,可以通过可见光和近红外波段的反射率来近似替代全波段反射率。MODIS 求全波段反射率 A 的公式为^[8]:

$$A = 0.137CH1 + 0.071CH2 + 0.142CH3 + 0.128CH4 + 0.099CH8 + 0.081CH9 + 0.082CH10 + 0.080CH11 + 0.037CH14 + 0.043CH15 + 0.039CH17 + 0.059CH19 \quad (3)$$

式中, $CH1$ 、 $CH2$ 、 $CH3$ 、 $CH4$ 、 $CH8$ 、 $CH9$ 、 $CH10$ 、 $CH11$ 、 $CH14$ 、 $CH15$ 、 $CH17$ 、 $CH19$ 分别为 MODIS 上述各通道的反射率。

遥感图像上可以直接得到的是辐射温度(即

表观温度),一般须将辐射温度反演成实际温度,然而,这里涉及到复杂的比辐射率 ϵ 的问题。根据斯波特一玻耳兹曼定律:

$$M = \epsilon \sigma T^4 \quad (4)$$

式中, M 为总辐射出射度, T 为实际物体温度, σ 为斯波特一玻耳兹曼常数, ϵ 为物体的比辐射率。再根据辐射亮度温度的定义,得

$$\epsilon \sigma T^4 = \sigma T_b^4 \quad (5)$$

$$\epsilon = (T/T_b)^4 \quad (6)$$

式中, T_b 为物体辐射温度。显然,物体辐射温度与实际温度是不同的。实验证明:地物辐射温度的昼夜温差与实际温度的温差即 $|\Delta T_b - \Delta T| < 1K$,因此,可以用 ΔT_b 来代替 ΔT 。

刘玉洁^[9]给出了利用 MODIS 31 和 32 通道计算地面温度的公式

$$T_d = 0.36125 \times b_{31} - 0.25779 \times b_{32} - 10.05 \quad (7)$$

运用公式(6),可方便的得到公式(8),以计算白天和夜间的温度差。由于 TERRA 卫星在青海过境是地方时 11:20—13:20,夜间 22:20—24:30,所以 2 次卫星过境时间并非地面最高和最低温度出现时间,赵英时^[10]用当地 24 h 的地温做插值处理来估算地面最低和地面最高温度^[11]。但经试验青海地区做这样的插值处理,产生的误差很大。所以对地面最高温度和最低温度的订正工作还有待于进一步研究,在这里,以 2 次卫星过境的温度差近似地代替了地面最高、最低温度差。

$$\Delta T_d = 0.36125 \times (b_{d31} - b_{n31}) - 0.25779 \times (b_{d32} - b_{n32}) \quad (8)$$

式中, b_{d31} 和 b_{n31} 分别为卫星在白天和夜间过境时 MODIS 的 31 通道值, b_{d32} 和 b_{n32} 为 32 通道值, ΔT_d 为 2 次卫星过境的温度差。应用以上 2 种方法都能近似得到最高最低温度差,利用式(3)计算得到的温度差,在理论上更完善一些,至于两者的计算精确度未进行对比分析。研究采用了第 2 种方法,即通过反演温度来求取温度差的方法。

2.3 模型建立 到目前为止,热惯量与土壤含水量之间的物理机制还没有完全搞清楚,至今还没有理论上的公式,研究表明,与热惯量有关的热传导系数 k 、热扩散系数 DH 和土壤水分之间并

不是完全线性关系^[10]。因此,在讨论表观热惯量和土壤湿度间的关系时,多采用如下 4 种模型:

$$y=A+Bx$$

$$y=A\exp(Bx)$$

$$y=A+B\ln(x)$$

$$y=A\times B \tag{9}$$

式中, x 为表观热惯量, y 为土壤相对湿度, A 、 B 为回归系数。

对 2005 年 3 月 8 日白天和夜间 MODIS 资料做表观热惯量分析,建立了表观热惯量($P_{表}$)和地面土壤湿度(S_{\pm})的线性和对数 2 种模型:

$$S_{\pm} = 83.757(P_{表}) - 12.249 \quad R^2 = 0.5405 \tag{10}$$

$$S_{\pm} = 21.04\ln(P_{表}) + 37.995 \quad R^2 = 0.5286 \tag{11}$$

线性模式的复相关系数略大于对数模型,计算线性模型中土壤湿度和热惯量的相关系数,达到 0.735 2,通过信度为 0.01 的检验,见图 1。

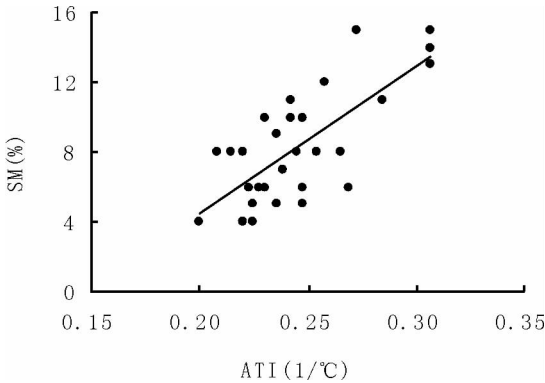


图 1 表观热惯量和土壤湿度的线性关系

2.4 热惯量方法中对植被的考虑 热惯量方法监测土壤含水量适用于裸土或有少量植被覆盖的情况,但有植被覆盖牧草受旱情况的研究更具有实际意义,如何将热惯量方法用于有植被覆盖的旱情监测,研究认为:当土壤有植被覆盖时卫星监测到的最高温度将降低、最低温度将升高,使日较差变小,植被长势越好日较差变小的程度越大,要监测土壤湿度就要排除植被的影响,提高日较差^[11-14]。因此,可以在提出了用标准化植被指数热惯量模型,最高最低温度差中加入订正项,利用植被指数 VI 对表观热惯量模型中的日较差进行校正,即:

$$\Delta T' = \Delta T - Kn \times VI \tag{12}$$

式中, $\Delta T'$ 为校正后的日较差, ΔT 为日较差, Kn 为系数。

使用 VI 对 MODIS 卫星资料获得的亮温差进行订正,计算表观热惯量与土壤相对湿度的相关系数,通过反演得到 Kn 。这样在利用表观热惯量反演地面土壤湿度时需要 4 个通道的值,1、2、31、32。因为模型应用的时间较短, Kn 值的确定还需进行研究。经初步拟合计算,青海地区 Kn 值在 3 左右。

通过这样的变换可以将热惯量法估算土壤湿度的适用范围拓宽,有少量植被覆盖条件,经改进的热惯量模型也可以应用。

2.5 土壤湿度和草原干旱的对应关系 青海省气象灾害标准中利用土壤湿度对干旱的分级规定如表 1 所示。共将干旱程度分为五级,偏湿、无旱、轻旱、中旱、重旱,研究中也遵循这种分级方法。

表 1 青海省干旱分级指标

干旱程度分级	墒情类别	土色	土壤水分
偏湿	黑墒	暗黑	湿,土壤含水率 > 20%,或土壤相对湿度 > 80%
无旱	褐墒	褐色	潮湿,土壤含水率 15%~20%,或土壤相对湿度 60%~80%
轻旱	黄墒	黄色	湿润,土壤含水率 12%~15%,或土壤相对湿度 40%~60%
中旱	灰墒	浅灰黄	半干,土壤含水率 8%左右,或土壤相对湿度 40%~60%
重旱	干土	灰白	干,土壤含水率 5%以下,或土壤相对湿度 < 20%

3 结论与分析

3.1 监测结果 2007 年春季,利用建立的模式对青海省的草原进行了干旱监测,从监测结果上提取了模型运算结果。

表 2 是实际监测值和模型值的对比,共有 16

个测点的对照值。检验预报结果中,如果允许模型预测结果的误差为正负一个级别。即如果实际干旱级别为轻旱,模型预测级别为无旱和中旱所做模型结果准确,以此类推。则模型监测的准确度为 70%。对于目前的定量遥感技术水平,此模

表 2 遥感监测值和实测值对照 %

测点	模型结果	实测结果	测点	模型结果	实测结果
刚察	11	4	河南	7	5
门源	7	3	玛沁	6	14
祁连	10	13	甘德	10	15
共和	10	7	久治	12	18
贵南	4	9	班玛	8	17
兴海	9	13	达日	6	7
同德	5	2	玉树	9	12
泽库	3	4	囊谦	7	9

型的监测精度完全可以替代人工地面取土监测。

3.2 讨论 1)模型建立过程中,地面土壤测湿是单点资料,存在以点代面的问题,并且,遥感监测也是 1 km² 一个像元的结果,得到的反射率值是混合像元的整体反射率,若需提高模型精度,混合像元的分解问题,必须进行深一步的研究; 2)研究中,由于未开展温度差方面的研究,最高、最低温度差的计算,以 MODIS 白天和黑夜 2 次过境时的资料近似地代替地面最高、最低温度差,对模型的准确性有一定影响。若想提高模型监测的精度,对于温度差订正研究的深入,是提高模型运行结果准确率的突破口之一。

参考文献

- [1] 刘志明,张柏,晏明,等. 土壤水分与干旱遥感研究的进展与趋势[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 576-581.
- [2] 赵冰茹,刘闯,刘爱军,等. 利用 MODIS-NDVI 进行草地估产研究——以内蒙古锡林郭勒草地为例[J]. 草业科学, 2004, 22(8): 12-16.

- [3] 魏玉蓉,郝璐,贺俊杰. 中国北方草地畜牧业监测预测系统的研制与应用[J]. 草业科学, 2005, 23(5): 59-64.
- [4] 龙瑞军,牟新待,陈功. 高山草地的光谱反射特征及其估产模型[J]. 草业学报, 1994, (2): 59-64.
- [5] 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.
- [6] 齐述华,王长耀,牛铮. 利用温度植被旱情指数(TVVDI)进行全国旱情监测研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(5): 420-427.
- [7] 隋洪智,田国良,李建军,等. 热惯量方法监测土壤水分[A]. 田国良. 黄河流域典型地区遥感动态研究[C]. 北京: 科学出版社, 1990. 122-132.
- [8] 余涛,田国良. 热惯量法在监测土壤表层水分变化中的研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(1): 24-31.
- [9] 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [10] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [11] 张成才,吴泽宁,余弘婧. 遥感计算土壤含水量方法的比较研究[J]. 遥感学报, 2004, (2): 135-138.
- [12] 孙晓敏,朱志林,唐新斋,等. 一种测定土壤热惯量的新方法[J]. 中国科学(E辑), 2000, 30(增刊): 71-76.
- [13] 陈怀亮,毛留喜,冯定原. 遥感监测土壤水分的理论、方法及进展[J]. 遥感技术与应用, 1999, (14): 45-47.
- [14] 施建成,李震,李新武. 目标分解技术在植被覆盖条件下土壤水分计算中的应用[J]. 遥感学报, 2002, (6): 412-416.

EOS/MODIS-based drought monitoring models for pasture in spring in Qinghai Province

LI Hong-mei^{1,2}, MA Yu-shou¹

(1. Academy of Animal and Veterinary Science, Qinghai University, Xining 810001, China;

2. HaiBei Animal Husbandry Meteorological Experimental Station of Qinghai Province, Xihai 810200, China)

Abstract: By monitoring soil moisture with ATI and EOS/MODIS satellite data in day and night the linear and logarithmic models of thermal inertia with soil moisture of Qinghai Province were established, and the former was selected as basal model. Two methods, indirectly inversing temperature by radiation and directly inversing temperature, were analyzed and compared. The directly inversing temperature method was brief and practical. Due to the shortage of ATI model, which could only monitor soil moisture of bare land, the revised method through NDVI was utilized. And then, the remote sensing monitoring model for pasture in spring in Qinghai Province was built up. By practical application, it could be concluded that this new method could replace the traditional monitoring method.

Key words: MODIS; thermal inertia; soil moisture; remote sensing