

文章编号: 0455-2059(2010)01-0029-05

基于微波遥感的土壤湿度异常监测

马 媛, 曹月娥, 塔西甫拉提·特依拜, 吕光辉

(新疆大学 资源与环境科学学院 新疆绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 提出地表微波极化差异指数, 并利用 AMSR-E 星载被动微波遥感亮温数据, 统计分析 了 2002—2006 年 7 月上旬新疆微波极化差异指数旬平均分布; 通过计算归一化距平, 反演得到新疆 7 月上旬土壤湿度动态变化分布图。结果表明: 利用微波极化差异指数能够较好地表征土壤湿度时空异常变化, 为定量监测土壤相对干湿程度提供了一种有效便捷的方法。

关键词: 微波遥感; 土壤湿度; 微波极化差异指数; AMSR-E

中图分类号: S152.7; TP722.6

文献标识码: A

Monitoring of soil moisture anomaly based on microwave remote sensing

MA Yuan, CAO Yue-e, TASHPOLAT·Tiyp, LÜ Guang-hui

(Key Laboratory of Oasis Ecology of Xinjiang, School of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: A microwave polarization difference index was provided and, by the microwave radiation brightness temperature from the advanced microwave scanning radiometer for earth observing system (AMSR-E), the ten-day average and normalized anomaly (Δ MPDI) of later-July from 2002 to 2006 were analyzed statistically, and the mapping of land surface moisture given. The study shows that the microwave polarization difference index can monitor anomalous variability of soil moisture, and it provides an effective and simple approach for monitoring the relative degree of arid and humid soil moisture.

Key words: microwave remote sensing; soil moisture; microwave polarization difference index; AMSR-E

土壤湿度是影响地表与大气界面的水分和能量交换的关键因子, 其变化会引起土壤热学特性、地表光学特性的改变, 从而影响气候的变化^[1]。因此, 在全球变化的大背景下, 研究土壤湿度的可能变化是气候变化影响评估中非常重要的一项内容^[2]。

然而, 目前传统的地面观测站网络不能满足大尺度土壤水分的时间、空间连续动态变化研究的需要。在光学遥感方面, 虽然目前有许多在轨运行的光学传感器可以用于可见光—近红外—热红外等光学遥感手段来获取地表的土壤水分时空分

布信息, 但它不像工作在波段比较长的微波遥感那样可以穿透云层、植被覆盖等对地表进行观测, 而且工作在短波范围内的电磁波信号受大气干扰比较大, 这些因素都限制了光学遥感在土壤水分遥感监测中的应用。

研究表明^[3-4]: 微波遥感是电磁波谱中惟一能够真实量化估计土壤湿度的电磁波谱频段。由于其波长相对较长, 使其受大气、云和降雨的影响较弱, 并且对地物也具有一定的穿透能力, 可以获取地表下垫面一定厚度层的特征信息。另外, 微波遥感不受太阳照射的影响, 具有全天时、全天候

收稿日期: 2009-06-12; 修回日期: 2009-11-02

基金项目: 新疆大学博士启动基金项目(BS080125); 新疆自治区高校科研计划青年基金项目(XJEDU2008S02); 新疆绿洲生态重点实验室开放课题

作者简介: 马 媛(1977—), 女, 新疆米泉人, 副教授, e-mail: xj.mayuan@yahoo.com.cn, 研究方向为干旱区生态学;

吕光辉(1963—), 男, 山东青岛人, 教授, e-mail: ler@xju.edu.cn, 研究方向为干旱区生态学, 通信联系人。

监测的优势. 而微波传感器采用的多频率、多极化的工作方式, 更适合于获取地表参数^[5]. 因此, 微波遥感被认为是目前土壤湿度遥感探测最具有发展潜力的探测手段^[6]. 但由于微波遥感的土壤湿度反演算法的复杂性, 目前仍然没有一个非常完善且实用性强的土壤水分反演算法^[7].

辐射传输理论提出的地表微波辐射的微波极化差异指数(microwave polarization difference index, MPDI)反映了地表极化辐射差异, 它是土壤湿度、地面粗糙、植被层和大气层各自影响的综合指数. 在平坦与裸露陆地上, 地表湿度的变化是影响这种差异的主要因素. 因此, 若在同一时间段内地面粗糙、植被层和大气影响统计类似的条件下, MPDI(尤其是低频率通道)可以突显该段时间内的地表湿度变化^[8]. 因此, 本文选择利用微波极化差异指数监测新疆区域土壤湿度异常分布^[9], 为区域气候预报、水涝和干旱监测、农作物生长态势评估、自然和生态环境问题的研究提供一种新的思路和方法.

1 数据源与方法

1.1 AMSR-E 亮度温度数据

AMSR-E是改进的多频率、多极化的被动微波辐射计, 于2002年搭载NASA对地观测卫星Aqua发射升空. AMSR-E是在SMMR和SSM/I传感器的基础上, 针对其在应用中的优缺点来设计的^[10]. 与SMMR和SSM/I辐射计相比, AMSR-E辐射计既有SMMR较低的工作频率通道的优点, 也有SSM/I较高的空间分辨率的优点, 是目前最先进的在轨星载微波辐射计.

AMSR-E辐射计有6个频率分布范围. 双极化12通道, 采用极地太阳同步轨道, 扫描方式为圆锥扫描. AMSR-E辐射计基本参数见表1.

表 1 AMSR-E的主要仪器参数特征
Tab. 1 AMSR-E instrument parameter characteristics

频率/ GHz	波段宽 度/MHz	敏感 度/K	空间分 辨率/km	极化 方式	入射角/ (°)
6.925	350	0.3	56.0	垂直和水平	55.0
10.650	100	0.6	38.0	垂直和水平	55.0
18.700	200	0.6	21.0	垂直和水平	55.0
23.800	400	0.6	24.0	垂直和水平	55.0
36.500	1000	0.6	12.0	垂直和水平	55.0
89.000	3000	1.1	5.4	垂直和水平	54.5

目前AMSR-E数据主要用于土壤湿度、表面温度、植被等方面的研究. 由于被动微波对水特别

敏感, 因此与水相关的参数都可以用AMSR-E来研究.

1.2 微波极化差异指数计算

星载微波辐射计接收来自地表的微波辐射, 通常用亮度温度 T_B 表示. 基于微波辐射传输模型, 辐射计观测得到的亮度温度 T_B 的正演模型可以表示为^[11-12]

$$T_{BP} = T_u + e^{-\tau_a} T_d r_{sp} e^{-2\tau_c} + T_e ((1 - r_{sp}) e^{-\tau_c} + (1 - \omega_P)(1 - e^{-\tau_c})(1 + r_{sp} e^{-\tau_c})).$$

(1)

其中: 假定植被和土壤表面的温度相同, 用 T_e 表示地表温度; P 表示水平极化(h)和垂直极化(v); T_u 和 T_d 分别表示向上和向下的大气辐射; r_{sp} 是土壤反射率; τ_a 是大气光学厚度, τ_c 为植被光学厚度, ω 是植被的单一散射反照率, τ_c 和 ω 是表征植被吸收和散射特性的参数.

根据(1)式可导出微波极化差异指数MPDI^[13], 微波通道的MPDI是通道的微波极化亮温差与极化亮温之比, 具体表达式如下:

$$MPDI = \frac{T_{Bv} - T_{Bh}}{T_{Bv} + T_{Bh}} = \frac{(r_h - r_v) e^{-2\tau} [1 + \delta_T (e^\tau - 1)]}{2 - (r_h + r_v) e^{-2\tau} - \delta_T (1 - e^\tau) [2 + (r_h + r_v) e^{-\tau}]}$$

(2)

其中: T_{Bv} 和 T_{Bh} 分别表示垂直极化亮温和水平极化亮温; r_v 和 r_h 分别表示土壤垂直极化反射率和水平极化反射率; $\tau = \tau_a + \tau_v$ 为大气和植被层的总不透明度; δ_T 为大气温度参数, $0 \leq \delta_T \leq 1$.

地表微波辐射的MPDI反映的是地表极化辐射的差异, 主要因素包括地表湿度、地表粗糙度和地表的植被覆盖等特征. 在平坦与裸露陆地上, 地表湿度的变化是影响这种差异的主要因素. 若在同一时间段内地面粗糙、植被层和大气影响统计类似的条件下, MPDI(特别是低频率通道)可以突显该时间段内的地表湿度变化^[12]. 因此, 根据微波极化比的特征^[14], 本文选择6.9 GHz波段(大气影响可忽略不计)进行土壤湿度的动态监测分析.

为了体现MPDI的变化大小, 提出归一化的MPDI距平值的定义:

$$\Delta MPDI = (MPDI - \langle MPDI \rangle) / \langle MPDI \rangle.$$

(3)

其中 $\langle MPDI \rangle$ 为多年平均的微波极化差异指数.

假定新疆每年该月该旬大气、植被和地表粗糙度相对保持不变, 则 $\Delta MPDI$ 的变化就凸现了土

壤湿度的变化. 距平 $\Delta\text{MPDI} > 0$ 表示土壤湿度增加, 反之距平 $\Delta\text{MPDI} < 0$ 则表示土壤湿度减小.

1.3 数据预处理

本文选用 AMSR-E 被动微波辐射计的逐日亮点温度数据. 该数据以北半球 EASE-Grid 投影方式存储, 其中 EASE-Grid 是 NSIDC(美国国家雪冰数据中心)开发的一种针对 SSM/I 亮温数据的等面积割圆柱投影, 双标准纬线是南北纬 30° , 中央经线为 0° . 数据分辨率采样为 25 km. 进行处理时需要将其转换为 UTM 投影坐标系. 利用遥感影像处理软件 ENVI 生成新疆区域的 AMSR-E 被动微波 6.9 GHz 波段的双极化逐日亮点温度数据, 根据(2)式计算出 MPDI 值.

2 结果与分析

利用多年的 AMSR-E 数据可得到新疆区域的 MPDI 的旬、月、季、年的平均值. 选择 2002–2006

年 7 月上旬的 AMSR-E 数据做多年平均, 得到 5 年 7 月上旬的 MPDI 的平均值, 可以反映 2002–2006 年新疆 7 月上旬平均 MPDI 的统计表现. 图 1 是新疆 2002–2006 年 7 月上旬的平均 MPDI 的空间分布.

图 1 中高值区为沙漠、沙地、裸岩地带, MPDI 值一般为 0.06 以上; 水体的 MPDI 值约为 0.1. 比较图 1a 和各年 MPDI 分布图, 同时依据(3)式可以得到新疆 2002–2006 年各年的距平 ΔMPDI 的分布(图 2).

从图 2 各年归一化距平 ΔMPDI 分布图分析可知, 2002 年 7 月上旬北疆阿勒泰地区、塔城地区和伊犁地区及东疆大部分区域 $\Delta\text{MPDI} < 0$, ΔMPDI 最小值达到 -0.2432 , 出现在伊犁昭苏, 这些地区土壤湿度较历年偏小; 南疆 $\Delta\text{MPDI} > 0$, ΔMPDI 最大值出现在南疆和田的皮山县, 达到 0.3555.

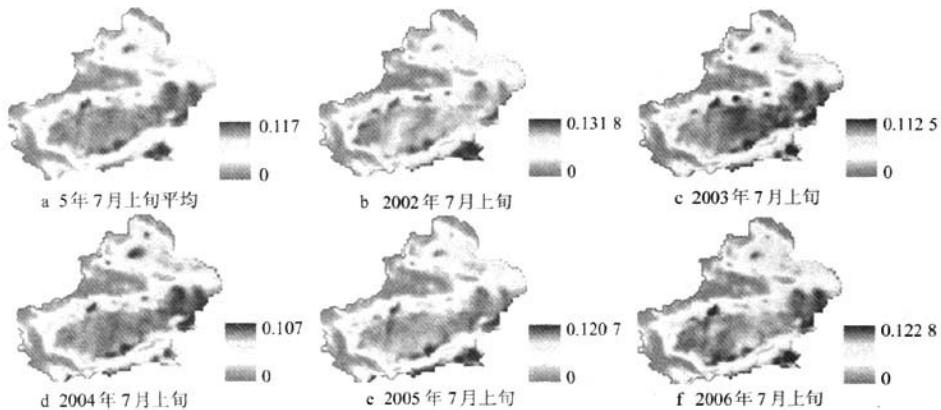


图 1 新疆 MPDI 分布图
Fig. 1 Distribution map of MPDI in Xinjiang

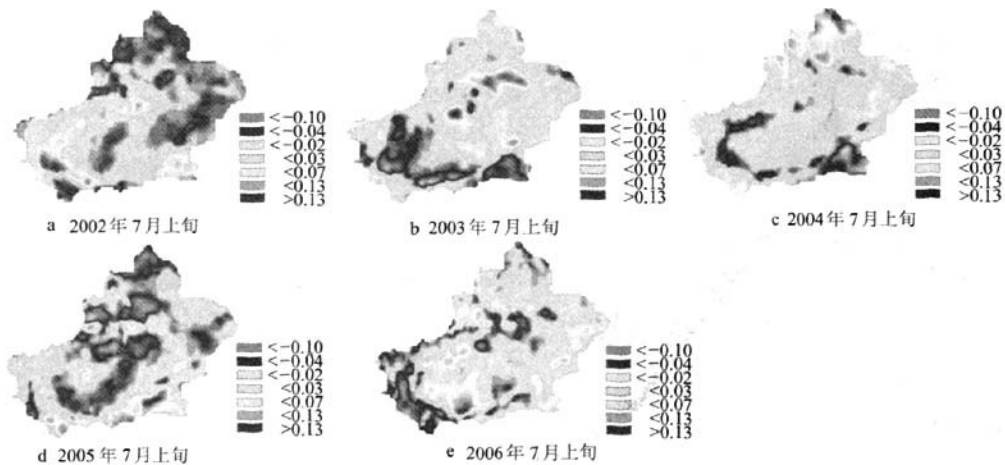


图 2 2002–2006 年新疆 7 月上旬 ΔMPDI 分布图
Fig. 2 Distribution map of ΔMPDI of Xinjiang during 2002–2006

2003年7月上旬,南疆绿洲大部 $\Delta MPDI < 0$,其中于田 $\Delta MPDI$ 达到最小值 -0.1830 ,整个喀什地区和田地区 $\Delta MPDI$ 均较同期平均水平偏小。北疆乌鲁木齐及沿天山一带平原绿洲 $\Delta MPDI > 0$,最大值为 0.2105 。

2004年7月上旬,新疆大部分地区 $\Delta MPDI < 0$,其中 $\Delta MPDI < -0.1$ 的区域主要分布在南疆地区,最小值出现在巴州的若羌县,达到 -0.2455 。北疆阿勒泰地区、塔城地区和伊犁地区土壤湿度较同期有所增加, $\Delta MPDI$ 最大值出现在阿勒泰,为 0.2175 。

2005年7月上旬,新疆大部分地区 $\Delta MPDI < 0$,阿勒泰地区西北部、塔城地区北部、伊犁地区南部、昌吉州大部、乌鲁木齐地区、巴州和阿克苏地区交界一带 $\Delta MPDI$ 值均偏小,其中 $\Delta MPDI < -0.1$ 的区域主要分布在北疆部分绿洲和南疆库尔勒地区,最小值出现在伊犁,为 -0.1705 。

2006年7月上旬,新疆大部分地区 $\Delta MPDI < 0$,最小值区域出现在南疆喀什泽普县,为 -0.2205 ,低值区主要出现在南疆喀什和田地区,说明这些地区土壤湿度较历年值明显偏小;最大值出现在伊犁昭苏,为 0.3801 ,说明这一地区土壤湿度较历年偏高。

从新疆2002—2006年7月上旬分析数据来看,土壤湿度出现明显的动态变化。2002年土壤湿度异常偏小的区域主要分布在北疆阿勒泰、塔城和伊犁少数地区;2003年土壤湿度异常偏小的区域主要在南疆和田地区,面积也较小;2004年南疆绿洲均出现土壤湿度的异常偏小情况,面积分布较广;2005年土壤湿度异常偏小区域主要在北疆地区,南疆库尔勒也有分布,面积相对较大;2006年土壤异常偏小区域出现在南疆和田和喀什部分地区,发生面积较2004,2005年有所减小。

3 结论与讨论

基于被动微波遥感AMSR-E数据,利用辐射传输方程推导的微波极化差异指数MPDI,通过对历年平均微波极化差异指数及其各年的距平分析,得到新疆区域尺度的土壤湿度时空变化空间图像。分析结果表明:2002,2005年北疆土壤湿度较历年同期偏小,2003,2004,2006年土壤湿度异常偏小的区域则主要出现在南疆地区。根据面积分布也可以看出2004,2005年土壤湿度异常偏小的区域范围分布较广,相应区域均有不同程度旱情发生。以2005年分析结果为例,同新疆2005年7月

上旬干旱监测图比较(图3),利用MPDI监测的土壤湿度异常变化的结果是较为满意的。进一步说明MPDI可以有效地监测区域土壤湿度异常变化,同时该方法也是光学遥感土壤湿度信息获取的重要补充。

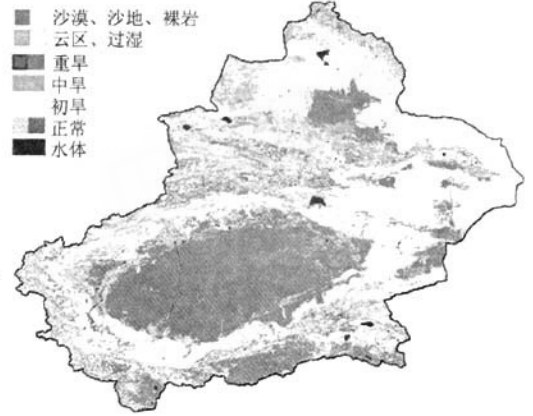


图3 2005年7月上旬新疆干旱监测图

Fig. 3 Monitoring drawing of distribution of arid of Xinjiang in the beginning of July, 2005

从5年7月上旬的数据分析结果来看,新疆土壤湿度呈现明显的动态变化特征,如果利用更长期的数据将更好地监测土壤湿度的异常变化。今后进一步的工作将是利用微波极化差异指数发现土壤湿度变化规律,构建模型,深入分析土壤湿度异常变化与气候的响应关系。

参 考 文 献

- [1] 程慧艳,王根绪,王一博,等.黄河源区不同植被类型覆盖下季节冻土冻融过程中的土壤温湿空间变化[J].兰州大学学报:自然科学版,2008,44(2): 15—21.
- [2] 李志,刘文兆,张勋昌,等.解集GCM输出模拟黄土塬区土壤水分平衡的潜在变化[J].生态学报,2007,27(9): 3769—3777.
- [3] WIGNERON J P, CALVET J C, PELLARIN T, et al. Retrieving near-surface soil moisture from microwave radiometric observations: current status and future plans[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85(4): 489—506.
- [4] ULABY F T, MOORE R K, FUNG A K. Microwave remote sensing active and passive Vol. III: microwave remote sensing active and passive[M]. Washington: Artwh House Publishers Inc, 1986: 1612—1613. (下转第39页)

- [14] 杨梅学, 姚檀栋, 何元庆. 青藏高原土壤水热分布特征及冻融过程在季节转换中的作用[J]. 山地学报, 2002, 20(5): 553-558.
- [15] ROMANOVSKY V E, OSTERKAMP T E. Thawing of active layer on the coastal plain of the Alaskan Arctic[J]. *Permafrost and Periglacial Processes*, 1997, 8(1): 1-22.
- [16] OSTERKAMP T E, ROMANOVSKY V E. Freezing of active layer on the coastal plain of the Alaskan Arctic[J]. *Permafrost and Periglacial Processes*, 1997, 8(1): 23-44.
- [17] 赵林, 程国栋, 李述训, 等. 青藏高原五道梁附近多年冻土活动层冻结和融化过程[J]. 科学通报, 2000, 45(11): 1205-1210.
- [18] PERFECT E, WILLIAMS P J. Thermally induced water migration in frozen soils[J]. *Cold Region Science and Technology*, 1980, 9(3): 101-109.
- [19] 王谋, 李勇, 白宪洲, 等. 全球变暖对青藏高原腹地草地资源的影响[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 331-336.
- [20] 吕晓英, 吕晓蓉. 青藏高原东北部牧区气候暖干化趋势及对环境和牧草生长的影响[J]. 四川草原, 2002(3): 5-13.
- [21] 于海英, 许建初. 气候变化对青藏高原植被影响研究综述[J]. 生态学杂志, 2009, 28(4): 747-754.
- [22] 李来房, 勿日汗. 中美研究表明: 气候变暖会使青藏高原部分植物物种消失[R/OL]. 2008-07-06 [2008-09-23]. <http://www.ignrr.cas.cn/kxcb/dlyzykpyd/qybl/200809/t20080923-2113983.html>.

(责任编辑: 王春燕)

(上接第32页)

- [5] 武胜利, 施建成. TRMM/PR在青藏高原土壤水分变化研究中的应用[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2007, 43(2): 11-14.
- [6] 姜景山, 张云华, 刘和光. 中国微波遥感技术的发展及其在我国西部开发中的作用[J]. 空间科学学报, 2000, 20(增刊): 67-73.
- [7] PALOSCIA S, MACELLONI G, SANTI E. Soil moisture estimates on global scale from AMSR-E brightness temperatures[J]. *IEEE Trans on Geosci and Remote Sensing*, 2004, 42(2): 857-860.
- [8] 金亚秋. 空间微波遥感数据验证理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [9] 谷松岩, 高慧琳, 朱元竞. TMI被动微波遥感资料用于地表洪涝特征分析试验[J]. 遥感学报, 2004, 8(3): 261-268.
- [10] SIMONETTA P, GIOVANNI M, EMANUELE S. Soil moisture estimates from AMSR-E brightness temperatures by using a dual-frequency algorithm[J]. *IEEE Trans on Geosci and Remote Sensing*, 2006, 44(11): 3135-3144.
- [11] 谷松岩, 邱红, 张文建. 先进微波探测器资料反演地表微波辐射率试验[J]. 电波科学学报, 2004, 19(4): 452-457.
- [12] 毛克彪, 覃志豪, 李满春. AMSR被动微波数据介绍及主要应用研究领域分析[J]. 遥感信息, 2005(3): 63-65.
- [13] NJOKU E G, LI L. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6~18 GHz[J]. *IEEE Trans on Geosci and Remote Sensing*, 1999, 37(1): 79-93.
- [14] 赵逸舟, 马耀明, 黄镇, 等. 利用TRMM/TMI资料反演青藏高原中部土壤湿度[J]. 高原气象, 2007, 26(5): 952-957.

(责任编辑: 王春燕)