

陈洁, 杨忠东, 武胜利. AMSR-E 土壤湿度产品在锡林浩特草地样区的精度验证[J]. 气象, 2011, 37(3): 334-338.

AMSR-E 土壤湿度产品在锡林浩特 草地样区的精度验证^{* 1}

陈 洁^{1,2} 杨忠东² 武胜利²

1 中国气象科学研究院, 北京 100081

2 国家卫星气象中心, 北京 100081

提 要: AMSR-E 土壤湿度产品已逐渐应用于气象、农业等各个领域, 对土壤湿度的研究, 特别是干旱半干旱地区, 有着重要的科研和现实意义。为了验证 AMSR-E 土壤湿度产品在锡林浩特草地的适用性, 利用锡林浩特草地野外实验, 在 3 km×3 km 范围内, 与同经纬度地面 9 个点的 2 cm 土壤体积含水量数据作产品精度验证。通过与降水量的比较, 验证了 AMSR-E 土壤湿度产品的可靠性, 通过与地面实测值的比较, 验证结果表明, AMSR-E 反演的平均土壤体积含水量与地面实测平均土壤体积含水量分别为 13.3% 和 11.8%, 两者土壤体积分含水量的 RMSE 为 3.7%。

关键词: AMSR-E, 土壤湿度, 验证, 草地

Validation of AMSR-E Soil Moisture Products in the Xilinhot Grassland Plots

CHEN Jie^{1,2} YANG Zhongdong² WU Shengli²

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract: AMSR-E soil moisture products have been gradually used in meteorology, agriculture and other fields. Studying soil moisture has important significance, especially in arid and semi-arid regions. In order to investigate AMSR-E soil moisture products in Xilinhot grassland applicability, this paper utilizes field experiments in Xilinhot grassland, which is a 3 km×3 km area within the AMSR-E retrieval region with the same nine-point latitude and longitude ground soil moisture compared to validate product precision. Because the relationship between precipitation and surface soil moisture is most closely, the soil moisture inverted from AMSR-E and precipitation data for comparison can validate soil moisture product reliability indirectly. Compared with the ground data, it shows that the AMSR-E retrieval value and the ground-based measured average soil volumetric water content are 13.3% and 11.8% respectively, and their RMSE is 3.7%.

Key words: AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer on the Earth Observing System), soil moisture, validation, grassland

引 言

土壤水分是土壤的重要组成部分, 它在地-气界

面间的物质、能量交换中起着重要的作用, 是水文学、气象学等科学研究领域的重要环境因子和过程参数^[1]。对土壤湿度的研究, 无论从农业还是气象学上都有着重要的意义。微波对地遥感观测具有全

* 本文受 2007 气象行业专项子专题《卫星陆表遥感关键产品野外观测实验验证研究》(GYHY(QX)2007-6-9-3-02) 和“锡林浩特遥感产品验证实验”(VEX 实验) 共同资助

2010 年 4 月 4 日收稿; 2010 年 8 月 4 日收修定稿

第一作者: 陈洁, 主要从事陆面生态系统遥感研究. Email: chenjiejie2003@163.com

天候、多极化等诸多优势,同时对地表下垫面有一定的穿透性^[2],更主要的是对土壤水分的介电常数比较敏感。综合上述各因素,因而微波被认为是目前陆地表层土壤湿度信息遥感探测最具发展潜力的手段^[2]。作为第一个提供全球土壤湿度产品的被动微波传感器——AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer on the Earth Observing System),它的反演精度一直以来备受关注。

AMSR-E 能同时反演大气和地表参数^[3-4]。土壤湿度产品验证实验主要目的包括以下几方面:评价和完善土壤湿度反演算法;验证土壤湿度产品精度;研究植被、地表温度、地形和土壤结构对土壤湿度反演精度的影响;确定全球范围内,可提取有效土壤湿度的区域;建立从单点数据到 AMSR-E 像元尺度转换的关系。

对 AMSR-E 土壤湿度产品做精度验证的方法很多,通常有以下几种^[5]:

(1) 长期地面观测站验证法:建立长时间的土壤湿度地面观测站,以此数据与 AMSR-E 土壤湿度反演数据做长时间的以季节或年周期为时间序列循环的点对点比较。

(2) 短期野外实验验证法:野外实验区内使用自动观测仪器获取土壤湿度数据,通过比较地面实测数据与 AMSR-E 反演值,验证卫星产品精度。

(3) NCEP 再分析资料数据验证法:通过水文模型得到大尺度范围上的土壤湿度产品,将此产品与 AMSR-E 土壤湿度产品对比验证。

(4) 卫星交叉验证法:与同卫星不同传感器或者不同卫星类似传感器反演的土壤湿度验证做比较。

本文采用上述第二种验证方法,即在锡林浩特草地野外实验过程中,将地面实测土壤体积含水量值与 AMSR-E 反演得到的土壤体积含水量值进行比较,验证反演产品的可靠性。

1 数据获取

1.1 卫星仪器简介及产品算法描述

AMSR-E 由日本 NASDA(National Space Development Agency)在 AMSR(Advanced Microwave Scanning Radiometer)基础上研制,包括 6.9~89 GHz 范围的 6 个波段,极化模式为水平垂直双极化,共 12 个通

道^[6]。在反演土壤体积含水量过程中,主要采用 6.9 GHz 和 10.7 GHz 两个波段^[7-9]。AMSR-E 土壤湿度反演算法包括迭代法和半经验回归算法^[10]。迭代法前向模型不精确,部分迭代结果不收敛,反演误差较大。现有产品都是通过半经验回归算法反演得到。回归算法物理过程简单描述为:假设植被单次反照率为零。

$$\begin{aligned} T_{bp} &= T_e \{1 - r_{sp} \exp(-2\tau_c)\} \\ &= T_e \{1 - [(1 - Q)]r_{op} + Q r_{oq}\} \times \\ &\quad \exp[-(h + 2\tau_c)] \end{aligned} \quad (1)$$

式中, T_{bp} 为观测亮温, T_e 为陆表温度, r_{sp} 为粗糙地表反射率, r_{op} 和 r_{oq} 为光滑地表反射率, τ_c 为植被光学厚度, Q 和 h 为地表粗糙度参数。由此提出一个将植被光学厚度和地表粗糙度结合起来的参数: g 参数

$$\alpha g = h + 2\tau_c \quad (2)$$

α 是一个随频率而变的校正系数。 g 参数同时反应植被和粗糙度。通过近似表达式分离土壤水分和 g 参数:

$$\begin{aligned} \zeta(m_v, g) &= PR = (T_{Bv} - T_{Bh}) / (T_{Bv} + T_{Bh}) \\ A(m_v) &= (e_{ov} - e_{oh}) / (e_{ov} + e_{oh}) \\ \zeta(m_v, g) &\approx A(m_v)(1 - 2Q)\exp(-\beta \alpha g) \end{aligned} \quad (3)$$

式中, m_v 为土壤体积含水量; $e_{ov/h}$ 为光滑表面 v/h 极化发射率; β 为校正系数; g 参数由全球 EASE-GRID 像元内 2003 年每月最小 PR 值(即 ζ_{min})得到:

$$g = a_1 + a_2 \ln\{\zeta_{min}\} \quad (4)$$

回归表达式为:

$$\begin{aligned} \min PR_{10} &= f(\zeta_{min}) \\ wbar &= a_1 + a_2 \ln\{\min PR_{10}\} \\ m_v &= a_3 + b_1 wbar + b_2 \{PR_{10} - \\ &\quad \min PR_{10}\} \exp(b_3 wbar) \end{aligned} \quad (5)$$

a 和 b 为实验所得经验系数, $wbar$ 为系数 a 及最小 PR 值组合的系数, $\min PR_{10}$ 为通过计算 10.7 GHz 每月最小 PR 值,得到的 PR 基准经验参数。利用经验系数,先计算出 10.7 GHz 和 18.7 GHz 下的 PR 值,进而在 10.7 GHz 的基准 PR 值基础上反演土壤体积含水量 m_v 。全球基准 PR 值由 EASE-GRID 像元 2003 年每月最小 PR 值得到。

文中采用的 AMSR-E 土壤体积含水量数据由上述半经验回归算法反演得到,卫星数据网格大小为 25 km×25 km,过境时间为每天下午 1:30,卫星探测点位于 44°08'N、116°19'E。探测的土壤深度由于波段限制,一般在 2 cm 以内。

1.2 实验概况及地面数据获取

1.2.1 实验区简介

实验区位于内蒙古锡林郭勒国家气候气象台，中心位置位于 44°08'01"N、116°19'46"E(如图 1)。实验牧场是锡林郭勒草原的一部分，面积约 10 km²，地势平坦，植被类型比较均一，与周边地理环境一致，因此具有代表性。

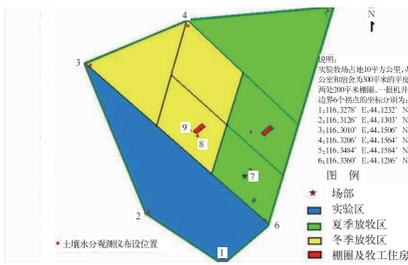


图 1 锡林郭勒国家气候气象台实验牧场示意图

Fig. 1 The sketch of National Climate Observatory in Xilingol

1.2.2 仪器简介及地面数据获取

地面土壤体积含水量由 ECH2O 土壤温湿度仪获取，它的工作原理为测量探头上电容的变化，从而获取插入介质的介电常数或者电容率。介电常数跟土壤水分含量有关，当土壤中的水分含量变化时，介电常数也会随之变化，通过计算介电常数从而获得土壤含水量。仪器最高灵敏度能达到 0.1%。所测土壤湿度的精度最高能达 3% 以内。

地面土壤湿度观测的空间范围以锡林郭勒气象台为中心，在周围约 3 km × 3 km 区域内建设 9 套 ECH2O 土壤温湿度仪，同时用 GPS 记录各仪器埋设点具体经纬度(如图 1)。每台仪器都有 5 个探头，可分别埋设于 5 个不同的深度。数据采样时间间隔为 1 小时(如图 2)。

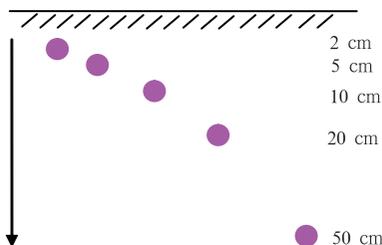


图 2 ECH2O 土壤温湿度仪埋设深度
 Fig. 2 The depth of burial of ECH2O soil temperature-humidity instrument

在 5 个不同深度的探头中，主要用与 AMSR-E 观测深度较为接近的表层 2 cm 数据。地面土壤湿度持续观测时间为 2009 年 7 月 15 日至 9 月 30 日。

2 结果与分析

为了验证 AMSR-E 土壤湿度产品在锡林浩特草地的反演精度，需要综合分析降水、植被覆盖类型、土壤类型等参数。在锡林浩特草地实验区，地势比较平坦，植被类型比较单一，因此假设地面参数条件一致，主要考虑降水参数。

2.1 土壤湿度与降水量

本文采用 2009 年 7 月 15 日至 9 月 30 日锡林郭勒气象台记录的地面实测降水数据^[11-13]，并与该区域对应时段的 AMSR-E 土壤体积含水量反演值作对比。结果如图 3 所示，从图 3 中可以看到，降水量数据与 AMSR-E 反演值对应关系较好，变化趋势基本一致，两者的相关系数达 0.68。降水与土壤体积含水量的对比分析发现，AMSR-E 反演的土壤体积含水量数据与降水量的对应关系非常一致，间接证明了 AMSR-E 反演土壤湿度的可信度。

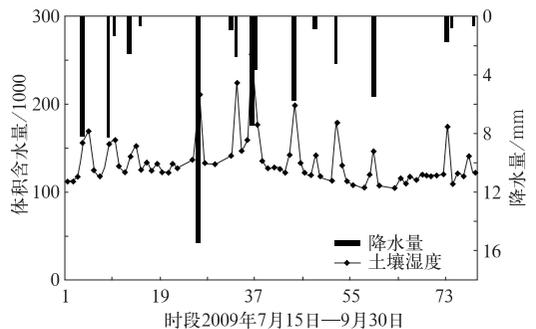


图 3 AMSR-E 土壤体积含水量反演值与降水量比较

Fig. 3 The retrieved value of soil volumetric water content of AMSR-E compared with precipitation

2.2 AMSR-E 反演精度验证及分析

为进一步研究 AMSR-E 土壤湿度产品的反演精度，将 AMSR-E 反演值与地面实测土壤体积含水量值作对比来验证卫星产品精度。地面点的实测土壤体积含水量数据采样时间与 AMSR-E 探测时间保持一致(13:30)，地面实测土壤体积含水量的深度与 AMSR-E 探测的土壤体积含水量深度也保持基

本一致(2 cm),两者数据采集时间段均为 2009 年 7 月 15 日至 9 月 30 日,每日采集一对数据,共 78 对土壤体积含水量数据。

整体分析了锡林浩特草地实验区地面实测的和 AMSR-E 反演的土壤体积含水量数据,图 4 和图 5 分别表示 AMSR-E 反演及地面实测土壤体积含水量值随时间序列变化。通过数据分析得到,两者的平均土壤体积含水量分别为 13.3%和 11.8%,相差 1.5%,平均土壤湿度较接近。

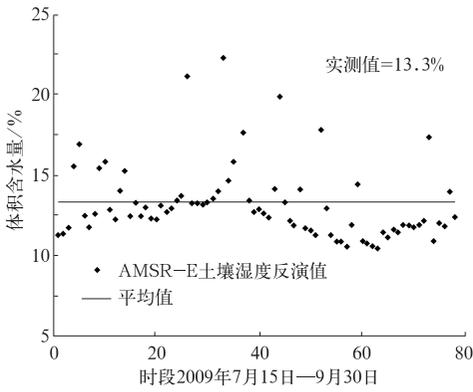


图 4 AMSR-E 土壤湿度(体积含水量)反演值及平均值

Fig. 4 The retrieved soil moisture (volumetric water content) of AMSR-E and its average

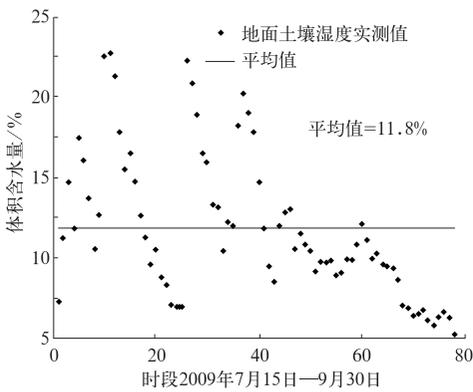


图 5 地面土壤湿度(体积含水量)实测值及平均值

Fig. 5 The measured soil moisture (volumetric water content) and its average

通过地面实测值和 AMSR-E 反演值的统计分析,将两组土壤体积含水量数据作点对点比较,验证结果如图 6 和图 7 所示。从图 6 中可以看到,AMSR-E 土壤体积分含水量的反演值与地面土壤体积分含水量的实测值虽然在数值上对应不一致,但两者变化趋势基本相同,RMSE 为 3.7%;图 7 表示 AM-

SR-E 土壤体积分含水量的反演值与地面土壤体积分含水量的实测值散点图。通过上述分析,无论两者变化趋势还是散点图都可以看出,AMSR-E 反演值能反映锡林浩特草地真实土壤湿度。由此可见,在锡林浩特草地的反演是可信的。

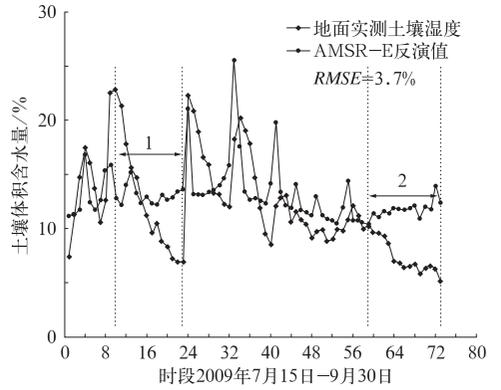


图 6 AMSR-E 精度验证结果

Fig. 6 The result of AMSR-E accuracy validation

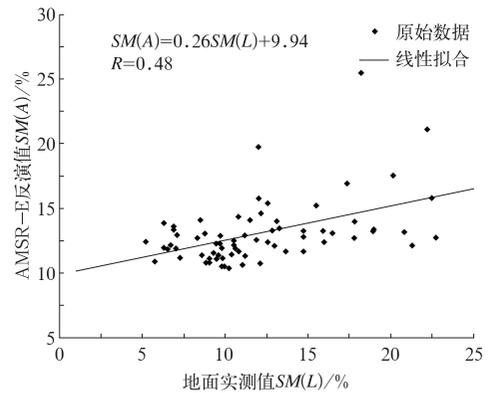


图 7 AMSR-E 土壤体积分含水量反演值与地面实测散点图

Fig. 7 The scatter chart of soil volumetric water content values between AMSR-E retrieval and the actual measured on the ground

图 6 中,7 月 23 日至 8 月 6 日(横坐标 10~23,区间 1)及 9 月 16—30 日(横坐标 59~73,区间 2)两段时间内,AMSR-E 反演与地面实测的土壤体积分含水量差异较大。

3 结论与讨论

本文通过 AMSR-E 土壤湿度产品数据与锡林浩特草地地面实测数据作对比,从而验证 AMSR-E 土壤湿度产品精度。研究的主要结论如下:

(1) 地面实测降水量与 AMSR-E 土壤体积含水量反演值对比发现,降水与 AMSR-E 反演的土壤湿度对应关系较一致。通过对降水与 AMSR-E 反演值的对应比较,间接验证了 AMSR-E 反演土壤湿度的可信度。

(2) 与锡林浩特实验区地面实测土壤体积含水量数据做精度验证,结果表明,AMSR-E 在该区域反演的土壤体积含水量与实地观测值比较一致,平均土壤体积含水量分别为 13.3% 和 11.8%,RMSE 仅为 3.7%。说明了 AMSR-E 土壤湿度产品能真实反映锡林浩特草地的地面土壤湿度,该产品有较高的可信度。

从实验结论中看到,虽然验证结果的可信度较高,但是部分数据仍存在对应不一致问题,主要原因在于地面采样点尺度和算法自身的局限性。地面实验区面积仅 10 km²,而 AMSR-E 单位像元面积为 25 km×25 km,在 AMSR-E 像元内,降水不均一,降水又是土壤湿度变化的主要因素,造成土壤湿度空间差异巨大。显然,实验区的土壤湿度值并不能完全代表整个像元真实值。若要更高精度的验证 AMSR-E 产品,需要在更大尺度范围内,获取更多的地面实测点数据来做验证。本文验证的仅仅是锡林浩特草地区域,若要在更大范围做精度验证,则需要考虑更多要素,如地形、土壤类型、植被覆盖、土地利用等对 AMSR-E 反演精度的影响。

参考文献

- [1] 全兆远,张万昌. 土壤水分遥感监测的研究进展[J]. 水土保持通报,2007,27(4):107-113.
- [2] 乔平林,张继贤,王翠华. 应用 AMSR-E 微波遥感数据进行土壤湿度反演[J]. 中国矿业大学学报,2007,36(1):262-265
- [3] Njoku E G. AMSR Land Surface Parameters Algorithm theoretical Basis Document Version 3. 0[M]. 1999. <http://eospso.gsfc.nasa.gov/atbd/amsrtables.html>
- [4] Jackson T, Koike T. AMSR-E SDV Plan Version3 - Land Surface [OL]. http://nsidc.org/data/amsr_validation/index.html
- [5] 钟若飞,郭华东,王为民. 被动微波遥感反演土壤水分进展研究[J]. 遥感技术与应用,2005,20(1):49-57.
- [6] Thomas J Jackson. Passive microwave remote sensing for land application[J]. Advances in Land Remote Sensing,2008;9-18.
- [7] Adriaan A, van de Griend and Manfred Owe. The influence of polarization on canopy transmission properties at 6.6 GHz and implications for large scale soil moisture monitoring in semi-arid environments [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1994, 32(2):409-415.
- [8] Eni G Njoku, Peter Ashcroft, Tsz K Chan, et al. Global survey and statistics of radio-frequency interference in AMSR-E land observations[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2005,43(5):938-947.
- [9] Eni G Njoku and Li Li. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6-18 GHz [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(1):79-93.
- [10] Alok K Sahoo, Paul R Houser Craig Ferguson, Eric F Wood, et al. Evaluation of AMSR-E soil moisture results using the in-situ data over the Little River Experimental Watershed, Georgia[J]. Remote Sensing of Environment, 2008,112:3142-3152.
- [11] 任芝花,赵平,张强,等. 适用于全国自动站小时降水资料的质量控制方法[J]. 气象,2010, 36(7):123-132.
- [12] 苑跃,赵晓莉,王小兰,等. 相对湿度自动与人工观测的差分分析[J]. 气象,2010, 36(2):102-108.
- [13] 张红杰,马清云,吴焕萍,等. 气象降水分布图制作中的插值算法研究[J]. 气象, 2009,35(11):131-136.