

引用格式: Huang Yuling, Liu Kai, Wang Shudong, *et al.* Comparison and Assessment of Remote Sensing and Model-based Soil Moisture Products in Typical Regions of North China[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(6): 1414-1426. [黄钰玲, 刘凯, 王树东, 等. 北方典型区域遥感和模型土壤水分产品的对比及评估[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(6): 1414-1426.]  
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2022.6.1414

## 北方典型区域遥感和模型土壤水分产品的对比及评估

黄钰玲<sup>1,2</sup>, 刘 凯<sup>1,3</sup>, 王树东<sup>1</sup>, 王大成<sup>1</sup>, 苑 峰<sup>4,5</sup>, 王保林<sup>4</sup>, 景 文<sup>4</sup>, 王 伟<sup>6</sup>

- (1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100094;
2. 中国科学院大学, 资源与环境学院, 北京 100049;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
4. 内蒙古小草数字生态产业有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010000;
5. 内蒙古峰茂科技创新有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010000;
6. 河北金融学院, 河北 保定 071000)

**摘要:** 多种土壤水分产品的综合评估有助于了解产品的特性与差异, 对产品的算法改进及合理应用有重要意义。从空间分布, 站点评估, 土地覆盖类型及干湿分类等多方面对 2010—2011 年中国北方典型区域遥感土壤水分产品 (SMOS\_L3、AMSR-E\_LPRM、ESACCI v04.5) 和模型土壤水分产品 (ECMWF\_ERA5、GLDAS\_Noah v2.1、GLDAS\_CLSM v2.2) 进行差异性及适用性分析, 并从多角度讨论了影响土壤水分产品准确性的可能原因。结果表明: ①在年尺度上, 各产品均能有效表征西部干旱区土壤水分分布情况。在季节尺度上, ESACCI 和 3 种模型产品夏秋季土壤水分较高且空间分布相似。②在站点评估方面, ERA5 产品整体性能最优, 平均相关系数  $R$  值最高为 0.582, 无偏均方根误差 ubRMSE 最低为  $0.045 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。模型产品在 ubRMSE 和  $R$  方面均优于遥感产品, 能有效刻画站点观测的动态特征, 但容易出现干湿偏差。ESACCI 产品在遥感产品中准确性最高。AMSR-E 与观测值之间的偏差最小 ( $-0.015 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), 但受天气影响其与观测值的相关性较低。SMOS 产品受无线频射干扰影响, 整体表现一般。③SMOS 产品和 AMSR-E 产品分别对农田和林地最为敏感, 其余产品在不同土地类型下土壤水分分布与实际情况基本一致且能较好地反映干湿分布情况。

**关 键 词:** 土壤水分; 评估; 对比; SMOS; AMSR-E; ESACCI; ERA5; GLDAS

**中图分类号:** S152.7; TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2022)06-1414-13

### 1 引 言

土壤水分作为陆地—大气系统中的关键因子, 对水分和能量的传输和交换起着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。目前获取土壤水分的方法主要有 3 种: 地面站点观测、模型及遥感。地面站点观测准确性高, 但在空间分布上存在较大的局限性, 而模型和遥感

方法可以获取大规模的土壤水分数据。遥感产品在过去几十年中发展迅速, 多种卫星遥感仪器开发并用于全球土壤水分的监测<sup>[2]</sup>。其中, 主动微波散射计有 ESCAT (The European Scatterometer) 和 ASCAT (The Advanced Scatterometer)<sup>[3]</sup>, 被动微波辐射计主要有 AMSR-E (The Advanced Microwave

收稿日期: 2022-03-30; 修订日期: 2022-10-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42141007), 内蒙古自治区科技成果转化专项资金课题 (2021CG0045)。

作者简介: 黄钰玲 (1998—), 女, 福建三明人, 硕士研究生, 主要从事土壤水分产品评估和干旱指数研究。E-mail: huangyuling20@mails.ucas.ac.cn

通讯作者: 王 伟 (1973—), 男, 河北河间人, 高级工程师, 主要从事遥感在环境工程中的应用研究。E-mail: 228398973@qq.com

Scanning Radiometer-Earth)<sup>[4]</sup>、SMOS (The Soil Moisture and Ocean Salinity)<sup>[5]</sup>和 SMAP (The Soil Moisture Active Passive)<sup>[6]</sup>等。此外,欧空局基于多种主被动微波土壤水分产品开发了ESACCI(The European Space Agency Climate Change Initiative)产品<sup>[7]</sup>。模型产品基于建模或数据同化手段,利用准确的气象数据及土壤植被参数,建立水分平衡方程来生成土壤水分数据<sup>[8]</sup>。欧洲中期天气预报中心ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)的ERA5和全球陆地数据同化系统GLDAS(Global Land Data Assimilation System)均可以提供多层土壤水分数据。综上,遥感和模型土壤水分产品从原理到方法上都存在差异性,对比遥感和模型产品的不同,有助于加深对产品特点的理解,为产品的应用提供合理参考。

随着遥感和模型土壤水分产品与算法的不断升级,产品的准确性评估显得尤为重要。通过评估可以了解产品在不同区域和气候环境条件下的误差结构与特性<sup>[9]</sup>,对产品算法改进及产品的合理应用有重要意义<sup>[10]</sup>。站点数据由传感器直接监测,准确性高,作为参考数据被广泛应用于土壤水分产品的评估中。Zeng等<sup>[10]</sup>利用青藏高原3个地面观测网对多种遥感和再分析产品进行了综合评估,结果发现ESACCI和ERA-Interim分别在相关性和绝对值方面表现最好。Jiang等<sup>[11]</sup>利用美国南部大平原地区17个观测网对遥感和模型产品进行对比分析,发现Noah模型产品与降水之间的相关性比遥感产品高。Li等<sup>[12]</sup>利用25个原位观测网,对5种再分析土壤水分产品进行了分析,其中ERA5显示出比其他四种产品更高的性能。虽然各研究对遥感和模型土壤水分产品的评价基本一致,但同一土壤水分产品在不同的区域及时间段也会存在一定差异,因此针对不同地区的适用性评估分析十分重要。中国北方典型区地域辽阔,下垫面类型复杂多样,干湿分布跨度大,在研究区内进行多种土壤水分产品适用性分析对于该地区干旱监测、水资源管理、作物生长等土壤水分应用研究有重要意义<sup>[13]</sup>。

本研究主要目的是对SMOS、AMSR-E、ESACCI 3种遥感土壤水分产品与ERA5、GLDAS\_Noah、GLDAS\_CLSM 3种模型土壤水分产品进行综合对比和适用性评估,包括:①在年平均和季节平均尺度上分析遥感和模型土壤水分产品空间分布的差异性。②利用站点数据对各土壤水

分产品进行性能评估,探究不同产品的适用性。③分析不同土地覆盖类型及干湿等级下各产品性能。通过分析遥感和模型产品的差异性及适用性,可为各土壤水分产品在中国北方典型区域的应用提供理论依据。

## 2 数据与研究区

### 2.1 研究区

为了评估不同下垫面和干湿区域各土壤水分产品的表现,本文选取下垫面类型复杂多样,干湿分布跨度较大的中国北方典型区域作为研究区(图1)。该区域行政区划范围包括甘肃、陕西、山西、河北、山东、宁夏等省份和北京、天津两个直辖市。图1(a)是利用2010年GlobCover产品制作的研究区土地覆盖类型图,可以看到研究区西部主要类型为裸土与灌木,林地处于研究区南部及中部地区,农田和草地占据研究区东部大部分地区。图1(b)2010—2011年平均LAI(叶面积指数)数据来自MODIS的MOD15A2H产品,该产品空间分辨率为500 m,时间分辨率为8 d。从图中可以看出研究区南部为LAI高值区。图1(c)是利用国家地球系统科学数据中心的湿度指数数据制作的干湿分类图,将湿度分为干、半干、干/半湿、湿/半干、湿及湿润六大类,该数据可从链接<http://www.geodata.cn>中获取。可以看到从西到东、从北向南,湿度逐渐增加。

### 2.2 地面观测站

选取2010年大兴、密云和馆陶站点数据,2010年1月—10月禹城站点数据及2010年1月—2011年9月关滩、NST\_01、NST\_03和NST\_06站点数据进行评估(图1)。以上气象站点数据均来自国家青藏高原科学数据中心(<http://data.tpdc.ac.cn>)。其中NST\_01、NST\_03和NST\_06站点数据位于青藏高原玛曲土壤水分观测网络。这些数据都经过质量检测,具体的传感器及参数可在各个站点的介绍中查询。

有研究表明,点尺度的土壤水分观测值具有较强的时间稳定性,因此即使是分布较为稀疏的站点,也可以在时间维度方面对代表更大范围区域的观测土壤水分数据进行平均<sup>[14]</sup>。许多土壤水分产品的验证是基于稀疏站点的,例如Brocca等<sup>[15]</sup>利用欧洲17个站点对ASCAT和AMSR-E土壤水分进行了评估分析,Draper等<sup>[16]</sup>基于12个观测站点对澳大利亚AMSR-E土壤水分产品进行了精度验证。

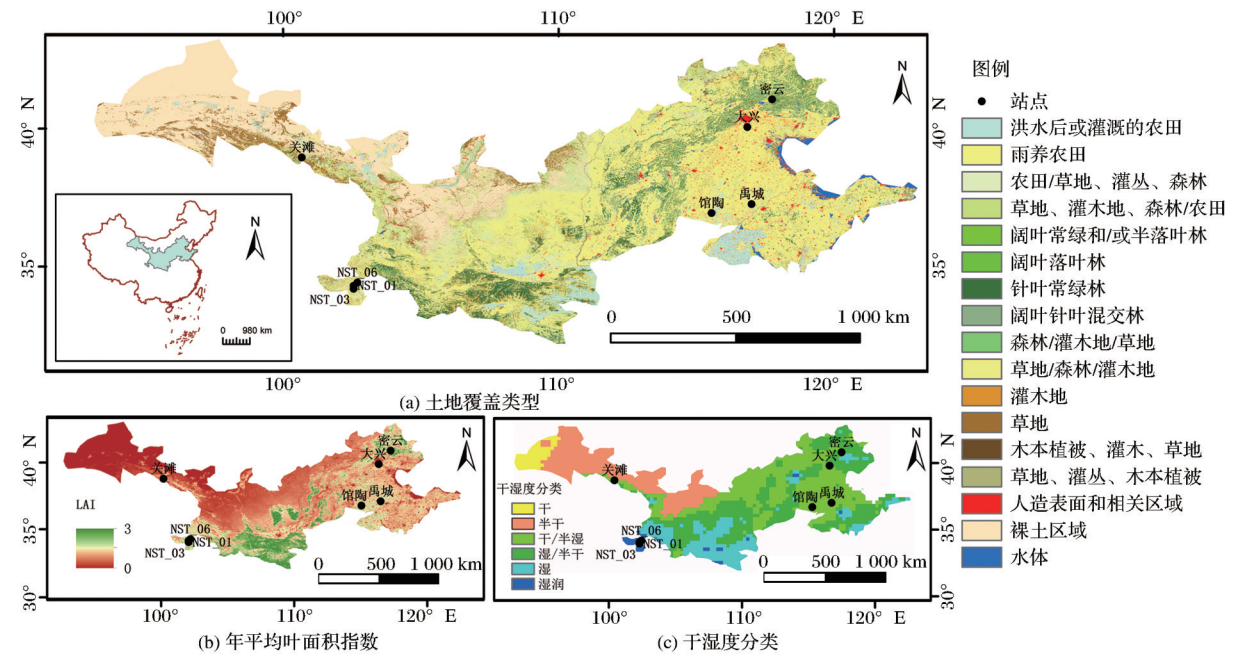


图 1 研究区及站点空间分布  
Fig.1 Spatial distribution of study area and stations  
审图号:GS(2019)1822

2.3 土壤水分产品  
采用 SMOS、AMSR-E 和 ESACCI 3 种遥感土 壤水分产品,ERA5、Noah 和 CLSM 3 种模型土壤水分产品,具体信息见表 1。

表 1 遥感和模型土壤水分产品基本信息

数据	时段	时间分辨率	空间分辨率	测量深度	获取链接
SMOS_L3	2010.01—2011.12	1 d	25 km	0—3 cm	<a href="http://www.catds.fr/Products/Products-access">http://www.catds.fr/Products/Products-access</a>
AMSR-E_LPRM	2010.01—2011.09	1 d	0.25°	0—1 cm	<a href="https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data">https://hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data</a>
ESACCI v04.5	2010.01—2011.12	1 d	0.25°	0—5 cm	<a href="https://data.ceda.ac.uk/neodc/esacci">https://data.ceda.ac.uk/neodc/esacci</a>
ECMWF_ERA5	2010.01—2011.12	1 h	0.75°	0—7 cm	<a href="https://cds.climate.copernicus.eu/">https://cds.climate.copernicus.eu/</a>
GLDAS_Noah v2.1	2010.01—2011.12	3 h	0.25°	0—10 cm	<a href="https://search.earthdata.nasa.gov/search">https://search.earthdata.nasa.gov/search</a>
GLDAS_CLSM v2.2	2010.01—2011.12	1 d	0.25°	0—2 cm	<a href="https://search.earthdata.nasa.gov/search">https://search.earthdata.nasa.gov/search</a>

2.3.1 遥感土壤水分产品

ESA(the European Space Agency)在 2009 年 11 月份发射的 SMOS 卫星现已成为监测全球水循环要素的重要工具<sup>[5]</sup>。该卫星上升轨道和下降轨道的过境时间分别是当地时间上午 6:00 和下午 6:00。SMOS 卫星利用在 L 波段(1.4 GHz)工作的二维干涉仪测量土壤水分,其波长较长,植被穿透能力强,有效的穿透深度为 0—3 cm<sup>[17]</sup>。CATD(Centre Aval de Traitement des Données)在二级产品 SMOS-L2 基础上增加多轨道检索研发出了 SMOS-L3。CATD SMOS-L3 提供 NC 格式空间分辨率为 25 km 的每天、3 d、10 d 和每月的土壤水分产品。本文使用时间分辨率为 1 d 的降轨 SMOS 数据。

AMSR-E 是由 NASA 于 2002 年 5 月发射,搭载在 Aqua 卫星上的被动微波辐射计<sup>[4]</sup>。Aqua 卫星

轨道在当地时间下午 1:30(上升轨道)和上午 1:30(下降轨道)穿过赤道。LPRM(The Land Parameter Retrieval Model)<sup>[18]</sup>是最为常用的 AMSR-E 土壤水分产品之一,其基于前向辐射传输模型,使用 C(6.9 GHz)和 X 波段(10.6 GHz)反演土壤水分。由于在 C 波段,土壤水分反演容易受到无线射频干扰 RIF(Radio-frequency Interference)的影响<sup>[19]</sup>,为了减少不确定性,研究选择 LPRM 产品 X 波段上升轨道数据。X 波段相对于 L 波段,波长短,穿透能力较弱,土壤水分有效穿透深度为 0—1 cm<sup>[20]</sup>。由于天线旋转问题,AMSR-E 于 2011 年 10 月后停止提供数据,本文使用 2010 年 1 月—2011 年 9 月数据。

土壤水分被 GCOS(the Global Climate Observing System)列为基本的 50 个气候变量之一,但是由于缺乏长期数据,不足以达到气候数据记录年限

(大于30 a)的要求<sup>[21]</sup>。为满足这一要求,ESA在2012年发布了第一版融合主动被动微波产品的长期土壤水分数据(ECV SM即ESACCI v0.1)<sup>[7]</sup>。目前ESACCI可以提供1978年以来全球每日空间分辨率为0.25°的土壤水分数据<sup>[22]</sup>。ESACCI结合了多种主动被动微波遥感产品,大致采样深度为5 cm<sup>[23]</sup>。本文使用2010—2011年ESACCI v04.5数据。

### 2.3.2 模型土壤水分产品

ERA5数据是基于ERA-Interim改进的第五代ECMWF再分析数据<sup>[24]</sup>。ERA5基于四维变分数据同化技术,融合观测结果和模型数据得到一套完整的数据集<sup>[25]</sup>。ERA5提供0—7、7—28、28—100、100—289 cm 4层土壤水分数据,为了减小与遥感产品土壤水分测量深度的差距,本文使用0—7 cm第一层土壤水分数据。

GLDAS是基于陆地表面建模和数据同化技术建立的全球陆地数据同化系统,目的是通过卫星和地面观测数据生成最佳的陆地表面通量。GLDAS驱动Noah、CLSM(Catchment Land Surface Model)、CLM(the Community Land Model)和VIC(the Variable Infiltration Capacity)4种不同的离线模型,其区别在于使用不同的土地类型覆盖及地形土壤参数进行建模<sup>[26]</sup>。Noah提供0—10、10—40、40—100、100—200 cm 4层土壤水分数据,本文使用GLDAS Noah v2.1第一层数据。CLSM并无明确分层,提供了表面(0—2 cm)、根部(0—100 cm)和剖面(不同网格)的数据,研究使用GLDAS CLSM v2.2表面土壤水分数据。

### 2.4 数据预处理

为了对各土壤水分数据进行统一公平的比较,保证数据的可靠性和质量,本文做了以下数据预处理:①采用最近邻插值方法将土壤水分产品重采样到0.25°分辨率,使不同数据可以在统一网格上进行比较;②将ERA5每小时数据和Noah 3小时数据分别取平均,得到每日土壤水分数据,保证不同产品之间时间分辨率相同;③为匹配遥感土壤水分产品有效穿透深度,模型产品均使用最靠近地表的土壤水分数据。

对于站点数据,由于各个站点使用的仪器,传感器安装的位置及深度有所差异,可能会存在一些不确定性<sup>[23]</sup>。为了保证数据质量,预处理步骤如下:①筛选并剔除超过0—1的异常值;②站点数据时间分辨率为10 min或30 min,本研究将一天内土

壤水分及降水数据分别通过取平均和累加的方式得到日尺度数据;③由于微波遥感主要是获取表层土壤水分信息,本研究选取5 cm站点数据作为土壤水分观测数据。

## 3 评估方法

偏差bias、均方根误差RMSE(the Root Mean Square Error)、无偏均方根误差ubRMSE(the unbiased Root Mean Square Error)和相关系数R是几种较为常用的评估指标<sup>[27]</sup>。其中,相关系数R表示遥感或模型土壤水分产品与观测土壤水分时间变化趋势的相似程度,并使用P值进行显著性检验。偏差bias表示产品与观测值之间的系统误差,可以反映相对于观测值的高低估程度。均方根误差RMSE表示产品与观测值之间的绝对误差,但如果存在偏差时(例如土壤水分产品与观测值之间采样深度不一致造成的偏差),容易产生严重误差。而无偏均方根误差ubRMSE(公式(4))剔除了偏差影响<sup>[27]</sup>,能更为可靠地估计,因此最终将选择此指标进行分析。

$$R = \frac{Cov(SM_{rm}, SM_{in-situ})}{\sigma_{SM_{rm}} \sigma_{SM_{in-situ}}} \quad (1)$$

$$bias = \frac{\sum_{i=1}^N (SM_{rm} - SM_{in-situ})_i}{N} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (SM_{rm} - SM_{in-situ})_i^2}{N}} \quad (3)$$

$$ubRMSE = \sqrt{RMSE^2 - bias^2} \quad (4)$$

其中:SM<sub>rm</sub>为遥感或模型土壤水分;SM<sub>in-situ</sub>为观测土壤水分;Cov为协方差;σ为标准差;考虑到每个站点的测量时间不同,不同土壤水分产品有效时间样本数不同,N取2010—2011年站点数据及各土壤水分产品均有有效数值的天数,即有效数据对数。

## 4 结果与分析

### 4.1 不同土壤水分产品空间分布的比较

#### 4.1.1 年平均尺度上比较

图2为2010—2011年不同产品年平均土壤水分空间分布及盒须图,可以看出SMOS和AMSR-E产品的土壤水分范围较大,分别在0—0.7 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>和0—0.8 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>之间,其余4种产品的范围较小,集中在0—0.4 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>之间。6种产品年平均土壤水分中位数按SMOS, AMSR-E, ERA5, CLSM, ESACCI, Noah由大到小分布。6种土壤水分产品整体空间分布存在相似性,土壤水分值在研究区西部相对

于东部较低。这和实际情况相符,在西部地区,降水少,地表干燥,干湿分类以干和半干为主,土地覆盖类型以裸土灌木为主(图 1),说明各产品可以较好捕获土壤水分低值。

在不同地区土壤水分产品空间分布存在一定差异,SMOS 产品在研究区东部为高值,其余地方为低值。AMSR-E 产品在南部表现出达  $0.6 \text{ m}^3/\text{m}^3$

以上的明显高值。ERA5 产品在南部大部分地区为高值,对应南部地区干湿分类为“湿等级”。ESACCI 和 Noah 产品在空间分布上较为一致,从西到东,北到南土壤水分增加,南部及中部零星区域存在高值。CLSM 产品在研究区南部和中部地区存在高值,可能原因是这些地区以林地覆盖为主,其土壤水分较大。

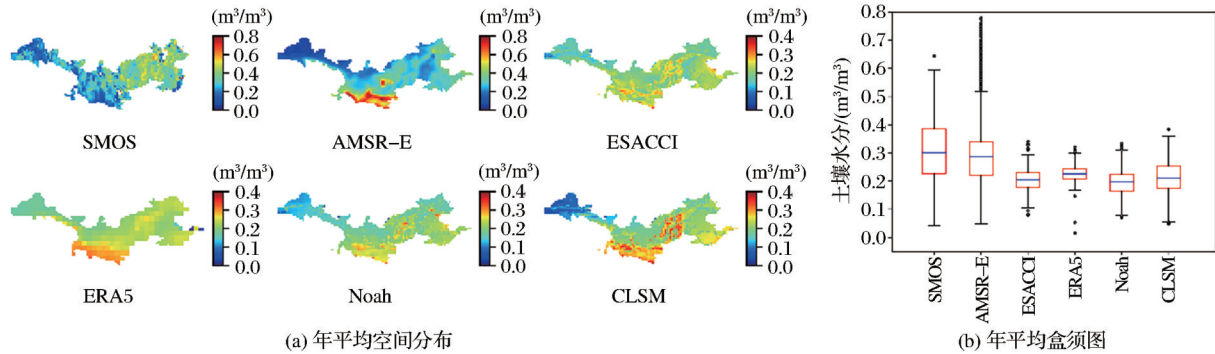


图 2 2010—2011 年不同产品土壤水分的空间分布及盒须图  
审图号:GS(2019)1822

#### 4.1.2 季节平均尺度上比较

在季节尺度上分析不同产品土壤水分的空间分布情况(图 3),可以看出各土壤水分产品空间分布在不同季节有所差异。SMOS 产品四季空间分布与年平均相似,在研究区东部土壤水分值较高,尤其是春冬季节东部部分地区达到  $0.6 \text{ m}^3/\text{m}^3$  以上。AMSR-E 产品季节变率比其他产品大。夏季整体呈现低值分布,与其他季节及年平均空间分布差别较大。春冬季节 AMSR-E 产品在研究区南部存在明显高值,导致 AMSR-E 产品年平均土壤水分南部偏高。夏秋季节 ESACCI 和 3 种模型产品空间分布相似。从盒须图上看,夏秋季节 ESACCI 和 3 种模型产品土壤水分范围及中位数均比春冬季节大。造成该现象的可能原因是:模型产品参考了大量气象数据,而研究区属于夏秋降雨多,春冬降雨少的温带季风气候<sup>[28]</sup>。

#### 4.2 基于站点观测的评估

表 2 给出了利用地面站点观测数据对遥感和模型土壤水分产品进行评估的统计指标结果。ERA5、Noah、CLSM 3 种模型产品在大部分站点都呈显著性相关,3 种模型产品的平均相关系数大于 3 种遥感产品,说明模型产品较遥感产品更能有效刻画时间动态变化。丁旭等<sup>[29]</sup>也发现 GLDAS 模型产品能较好捕获地面数据时间变化趋势。ERA5 与 4 个站点的相关系数达到 0.7 以上,在所有产品中平

均相关性最高为 0.582。遥感产品 ESACCI、AMSR-E 和 SMOS 与观测数据的相关性依次递减。在 ubRMSE 方面,模型产品较遥感产品表现更优,ERA5 产品较其他产品精度更高( $0.045 \text{ m}^3/\text{m}^3$ )。在 Bias 方面,AMSR-E 产品的平均偏差最少( $-0.015 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ),其次是 ERA5 产品。SMOS 产品在东部站点对于观测土壤水分有高估趋势,西部站点多为低估趋势。

由上可知,ERA5 产品在所有产品中的整体性能表现最优,和 Li 等<sup>[12]</sup>对比了几种模式数据得出的研究结论相似。ESACCI 产品相对其他遥感产品表现优越,对此 Ma 等<sup>[30]</sup>有类似的结论。SMOS 产品的总体表现最差,可能与无线射频干扰 RIF(Radio-frequency Interference)有关,Zeng 等<sup>[10]</sup>也发现了 SMOS 受 RIF 影响容易出现较大的噪声和偏差。

图 4 选取了研究区东部 4 个站点和西部 2 个站点进行时间序列分析。图中显示 ERA5、Noah、CLSM 等模型产品与观测值之间的时间变化趋势相似,对应了表 2 中相关系数  $R$  值高,说明模型产品能较好表现站点观测的时间动态特征。模型产品与观测值之间 ubRMSE 也相对较低,误差较小。在降水量较少的干季(每年 3 月份前,10 月份后)各模型产品土壤水分值明显大于观测值,存在干偏差现象。在降水量较多的湿季,除了西部降水量较少的关滩站点外,其余站点模型产品出现湿偏差现象。

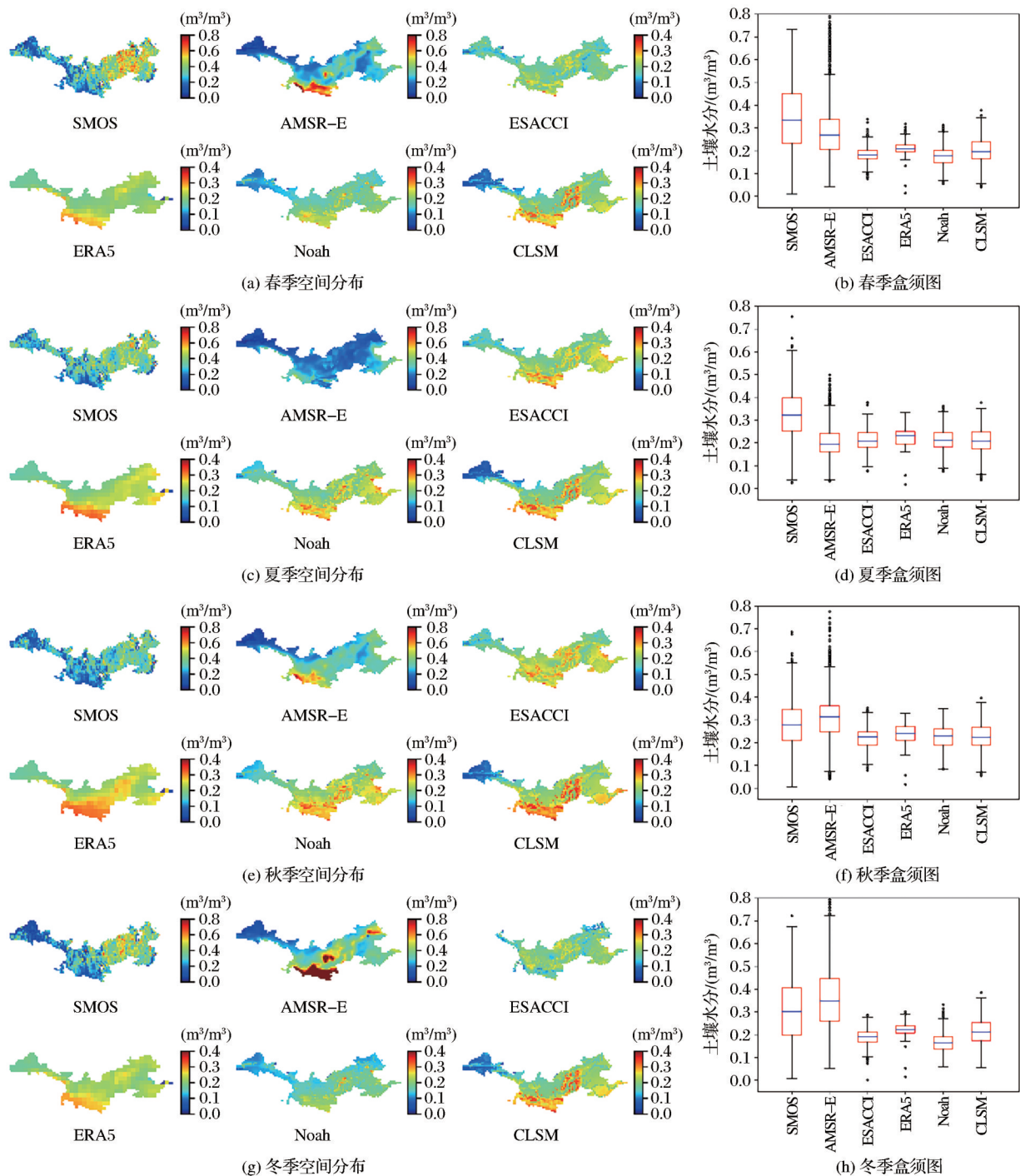


图3 不同产品季节平均土壤水分的空间分布及盒须图

审图号:GS(2019)1822

Fig.3 Spatial distribution and box plots of seasonal average soil moisture of different products

出现以上干湿偏差现象的可能原因是观测土壤水分受降水影响大,随着降水增加有明显的增加趋势,而模型产品对于降水的敏感性不如观测值高,动态范围较小。

在3种遥感产品中,ESACCI与观测值的相关性最好,在大部分站点都达到了0.4以上,且ubRMSE最低,总体上和观测值吻合度较高。在土

壤水分估算方面,AMSR-E土壤水分产品的准确性较低,甚至在密云站点出现与观测值相反的趋势,同样,Al-Yaari等<sup>[31]</sup>在巴西亚马逊平原地区也观测到AMSR-E产品与验证数据之间呈相反趋势。AMSR-E产品呈现明显锯齿状,振幅较大,与观测值之间的相关性较低,这可能与AMSR-E采样浅层土壤水分数据,受天气影响较大有关。SMOS产品

表 2 基于观测站点的遥感和模型土壤水分产品的验证结果  
Tab.2 The validation results of remote sensing and model-based soil moisture products using in-situ observations

站点	N	ubRMSE/(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )										Bias/(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )										R				
		SMOS	AMSR-E	ESACCI	ERA5	Noah	CLSM	SMOS	AMSR-E	ESACCI	ERA5	Noah	CLSM	SMOS	AMSR-E	ESACCI	ERA5	Noah	CLSM	SMOS	AMSR-E	ESACCI	ERA5	Noah	CLSM	
大兴	32	0.224	0.180	0.050	0.043	0.047	0.041	0.242	-0.014	0.017	0.022	-0.010	0.006	0.137	-0.051	*0.408	*0.460	*0.463	*0.408	0.137	-0.051	*0.408	*0.460	*0.463	*0.408	
馆陶	36	0.228	0.091	0.033	0.032	0.049	0.040	0.351	-0.035	-0.061	-0.005	0.002	0.003	-0.030	0.096	*0.668	*0.756	*0.714	*0.668	-0.030	0.096	*0.668	*0.756	*0.714	*0.572	
密云	29	0.273	0.227	0.065	0.031	0.031	0.035	0.153	-0.024	-0.122	-0.091	-0.115	-0.090	-0.234	-0.130	-0.055	*0.700	*0.717	*0.621	-0.234	-0.130	-0.055	*0.700	*0.717	*0.621	
禹城	28	0.226	0.084	0.067	0.051	0.060	0.061	0.048	-0.136	-0.204	-0.166	-0.196	-0.211	-0.057	0.344	*0.508	*0.769	*0.633	*0.508	-0.057	0.344	*0.508	*0.769	*0.633	*0.705	
关滩	68	0.153	0.074	0.041	0.034	0.039	0.041	0.145	0.116	0.060	0.121	0.072	0.073	0.095	*0.414	*0.291	*0.571	*0.439	*0.291	0.095	*0.414	*0.291	*0.571	*0.439	*0.434	
NST_01	57	0.107	0.070	0.064	0.053	0.062	0.058	-0.175	-0.018	-0.116	-0.006	-0.067	-0.036	0.028	*0.488	*0.457	*0.471	0.235	*0.298	0.028	*0.488	*0.457	*0.471	0.235	*0.298	
NST_03	57	0.118	0.089	0.060	0.064	0.069	0.068	-0.242	-0.085	-0.183	-0.073	-0.134	-0.103	-0.093	0.242	*0.585	*0.343	0.228	0.166	-0.093	0.242	*0.585	*0.343	0.228	0.166	
NST_06	65	0.133	0.095	0.057	0.049	0.054	0.058	-0.024	0.074	-0.050	0.044	-0.005	0.023	0.158	*0.409	*0.529	*0.702	*0.543	*0.633	0.158	*0.409	*0.529	*0.702	*0.543	*0.633	
平均值		0.183	0.114	0.055	0.045	0.051	0.050	0.062	-0.015	-0.082	-0.019	-0.056	-0.042	0.000	0.227	0.424	0.582	0.497	0.480	0.000	0.227	0.424	0.582	0.497	0.480	

注:表中的粗体表示每个评估指标对应的最佳结果,带\*值表示显著性水平 P<0.05

由于缺测值较多,呈现点状分布,与观测值的相关性差,不能很好估算土壤水分分布。此外,考虑到观测站点为点状分布,而遥感模型产品为网格分布,它们之间的空间尺度不匹配性是造成误差的一个主要原因。

### 4.3 不同土地覆盖类型和干湿等级下各产品性能分析

不同土地覆盖类型可以通过改变土壤的结构影响土壤水分。王修康等<sup>[32]</sup>发现林地和农田的土壤持水量和含水量都大于荒草地,而草地的土壤水分含量明显大于裸土。本文基于林地和农田土壤水分含量大于草地大于裸土或建筑的理论,对不同土地覆盖类型下各遥感和模型土壤水分产品进行性能分析。

图5显示,遥感产品 SMOS 和 AMSR-E 的土壤水分范围明显大于其他产品,SMOS 产品土壤水分在所有土地覆盖类型中对农田最为敏感,平均值最高达到 0.336 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>,AMSR-E 产品在林地的土壤水分平均值最高为 0.404 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>。ESACCI、ERA5、Noah 和 CLSM 产品土壤水分值随着裸土或建筑,草地,农田到林地逐渐增加,说明这些产品土壤水分在不同土地覆盖类型下的分布趋势与实际情况基本一致。

为研究不同干湿程度下遥感和模型产品的性能情况,按图 1(c)将研究区分为六大干湿区域对不同产品的土壤水分进行分析。图 6 显示,从干等级到湿等级,AMSR-E、ESACCI、ERA5、Noah 和 CLSM 产品土壤水分逐渐增加且增加趋势大;但从湿等级到湿润等级,土壤水分无明显增加趋势。这表明这些产品能较好地反映干到湿的分布情况,但在区分湿及湿润等级上存在一定不足。SMOS 产品在过渡区(干/半湿,湿/半干)的土壤水分值大于湿润区(湿,湿润),这与实际干湿程度不符,说明 SMOS 产品在刻划干湿分布情况上表现欠佳。

## 5 讨论

### 5.1 影响土壤水分产品准确性的可能原因

由雷达、飞机和电视等人造平台产生的无线频率干扰即 RIF,被微波传感器所接收后会对地物本身微波信号造成一定影响。SMOS 被动微波辐射计受 RIF 的干扰造成的数据缺失与错误土壤水分值,可能是 SMOS 产品在站点评估及表征干湿程度方面表现较差的主要原因。

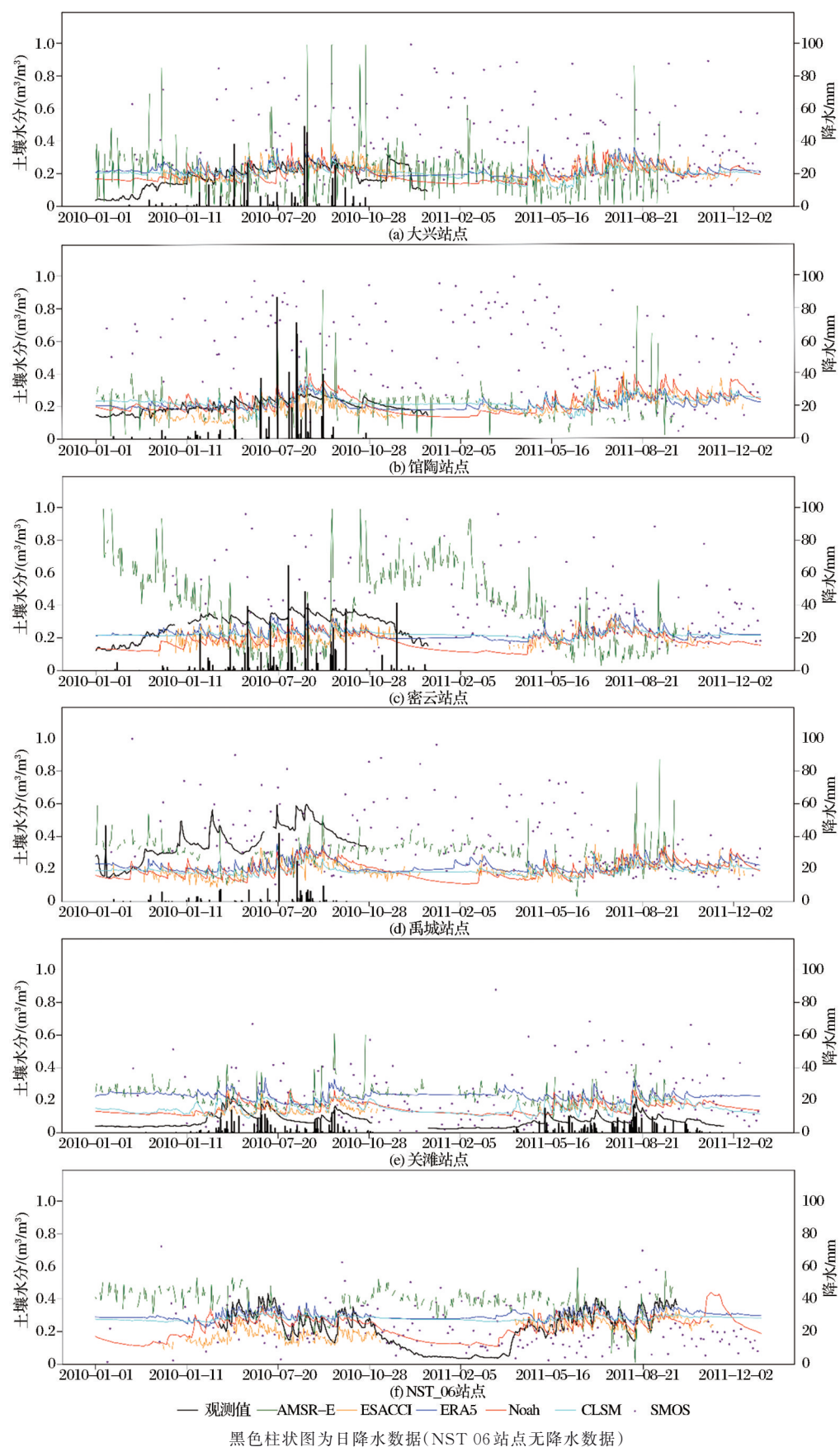


图 4 6 个站点观测值与遥感模型产品土壤水分的时间序列对比

Fig.4 Time series comparison of soil moisture between six in-situ observations and products

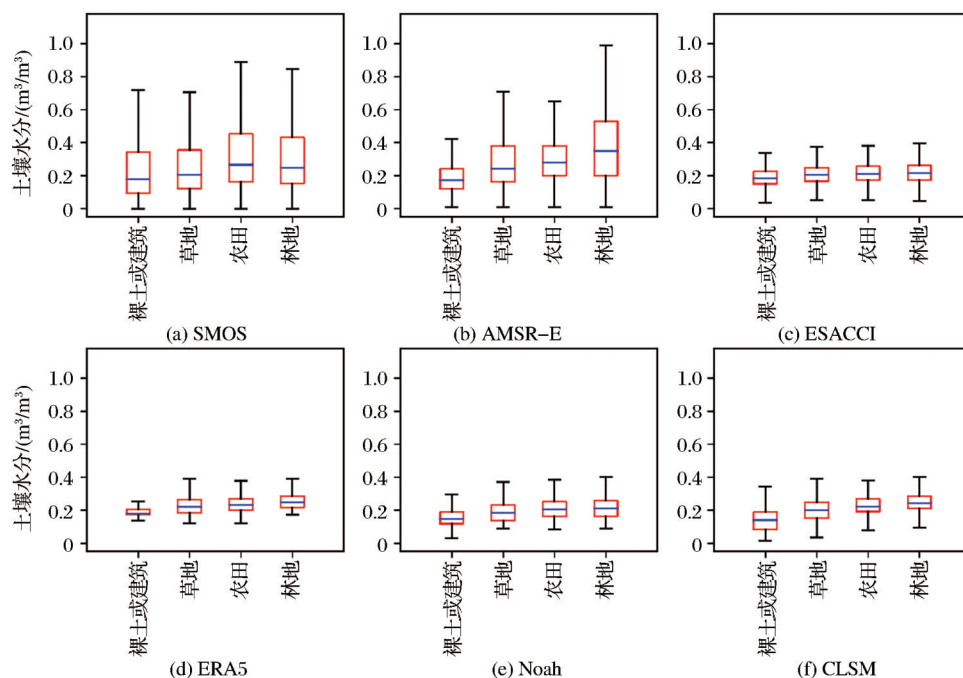


图 5 不同土地覆盖类型下遥感和模型产品土壤水分分布情况

Fig.5 Soil moisture distribution of remote sensing and model-based products under different land cover types

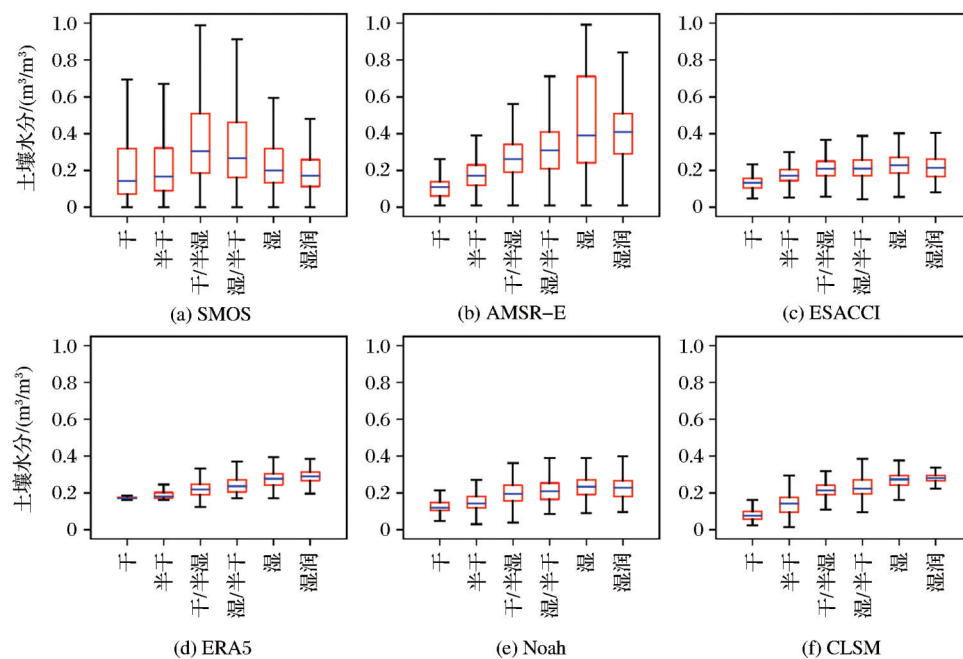


图 6 不同干湿等级下遥感和模型产品土壤水分分布情况

Fig.6 Soil moisture distribution of remote sensing and model products under different dry and wet classification

为了减少 RIF 的影响,研究选用 X 波段的 AMSR-E 数据。相对于 5 cm 的观测值, X 波段采样的 0—1 cm 浅层土壤水分数据对降水, 高温, 风速等天气更为敏感<sup>[10]</sup>, 在时间上的变化更加迅速, 最终导致 AMSR-E 产品时间变率大, 与观测值的相关性较低。对于 SMOS 和 AMSR-E 瞬时数据, 使用日平均尺度的站点数据进行评估可能会导致一些误差

与不确定性。

微波反演土壤水分的基本原理是, 随着土壤含水量增加, 土壤介电参数增加, 辐射计亮度温度随之变化。被动微波通过建立土壤水分和辐射计亮度温度的关系获取土壤水分。当有植被覆盖, 被动微波测量亮度温度时除土壤水分外, 还受到来自植被辐射信号的影响。SMOS 和 AMSR-E 作为被动

微波传感器,有必要考虑植被对于其土壤水分产品准确性的影响。由图1(b)可提取各站点 LAI 年平均值,发现各站点 LAI 范围位于 0—1 之间,属于稀疏植被。在大部分站点评估中 AMSR-E 与观测数据的相关性比 SMOS 高,说明在稀疏植被区,AMSR-E 数据在相关性方面的表现比 SMOS 数据好。这与 Al-Yaari 等<sup>[31]</sup>发现的在 LAI 小于 1 区域,原始 AMSR-E 数据与验证数据相关性大于 SMOS 数据的结论一致。

ESACCI 产品在空间分布、土地覆盖类型和干湿等级性能评估等多方面都与 Noah 模型产品呈现高度的一致性。其主要原因是 ESACCI 是由多种卫星产品组合而成,各个卫星产品在组合之前,均利用 GLDAS\_Noah 产品进行气候学的校正<sup>[33]</sup>,因此 ESACCI 具有 Noah 模型的特点。主动被动微波产品在不同的土地覆盖类型下具有互补性,主动遥感产品在在裸露干旱地区表现更好,被动微波产品在植被覆盖地区性能更优越<sup>[34]</sup>。ESACCI 产品结合了多种主动被动微波产品,在某些地区相对于单一遥感产品准确性较高<sup>[23]</sup>,因此在站点评估方面 ESACCI 产品性能优于两种被动微波遥感产品。

基于数据同化技术的模型产品结合了大量观测结果,因此在站点评估方面,ERA5、Noah、CLSM 3 种模型产品对观测值的估算比遥感产品更为准确。这也是许多研究将模型数据作为标准来验证遥感数据的原因,例如 Kim 等<sup>[9]</sup>将 GLDAS 模型产品作为参考值对 SMAP、ASCAT、AMSR2 遥感数据进行了分析。Al-Yaari 等<sup>[31]</sup>利用 ECMWF 同化数据对 SMOS 和 AMSR-E 产品进行全球尺度的评估。Wang 等<sup>[35]</sup>利用 ERA5 产品对 ESACCI 和 SMOPS 两种组合遥感产品进行了综合评估。

## 5.2 不足和展望

本研究综合评估了遥感和模型土壤水分产品的可靠性,但亦存在一些不足。首先,研究中使用的站点较少且站点尺度和网格尺度的不匹配性会导致一些不确定性,这种不确定性可以通过建立密集的观测网来减少。其次,研究仅在站点评估、土地类型及干湿分类方面对土壤水分进行相关分析,有研究表明地形地貌、土壤类型和土壤温度也是影响遥感土壤水分产品准确性的重要因素<sup>[36-37]</sup>,后续可针对这些方面进行更全面的评估。同时,发现 ESACCI 及模型产品的性能相对优越,说明基于数据融合的组合产品比单一产品准确性更高,应用前

景更加明朗。但同时存在一些问题,如组合产品动态范围较小,容易造成干湿偏差,需进一步地改进。而对于被动微波遥感产品尤其是 SMOS 产品,如何克服 RIF 的影响是改善产品质量的关键点。

## 6 结 论

本研究通过对比中国北方典型区域遥感和模型土壤水分产品空间分布的差异性,利用站点观测对各产品进行精度评估,并分析不同土地覆盖类型及干湿等级下各产品性能后,得到以下结论:

(1)在年尺度上,6 种土壤水分产品均可以有效表征干旱区域的土壤水分分布。不同产品空间分布存在一定差异,SMOS 产品在研究区东部为高值;AMSR-E 和 ERA5 产品在较湿的南部出现明显高值;ESACCI 和 Noah 产品在空间分布上较为一致;CLSM 在林地覆盖的南部及中部为高值。在季节尺度上,SMOS 产品四季空间分布与年平均相似;AMSR-E 产品夏季整体偏低,春冬季节南部存在高值;ESACCI 和 3 种模型产品在降水丰富的夏秋季节土壤水分较高且空间分布相似。

(2)在站点评估方面,ERA5 产品在所有产品中整体的性能最优,平均  $R$  值最高为 0.582, ubRMSE 最低为  $0.045 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。基于数据同化技术结合大量观测结果得到的模型产品在 ubRMSE 和  $R$  方面均优于遥感产品,能有效表现站点观测的时间动态特征,但容易出现干湿偏差。结合了多种主动被动微波产品的 ESACCI 在 3 种遥感产品中准确性最高。AMSR-E 在 Bias 中表现最好,但其采样深度较浅对天气变化敏感,导致时间变率大,与观测值的相关性较低。SMOS 产品受无线射频干扰影响,整体表现一般。

(3)不同土地覆盖类型下各产品性能分析表明,SMOS 产品土壤水分对农田最为敏感,AMSR-E 产品在林地的土壤水分平均值最高为  $0.404 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , ESACCI、ERA5、Noah 和 CLSM 产品土壤水分值随着裸土或建筑,草地,农田到林地逐渐增加与实际情况基本一致。不同干湿程度下各产品性能分析表明,SMOS 产品在表征干湿分布情况上表现欠佳,其余产品则能较好地反映干到湿的分布情况。

## 参考文献(References):

- [1] Koster R D, Dirmeyer P A, Guo Z, *et al.* Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation[J]. Science, 2004, 305(5687): 1138-1140. DOI: 10.1126/science.1100217.

- [2] Tan Xiangdong, Pang Zhiguo, Jiang Wei, *et al.* Progress and development trend of soil moisture microwave remote sensing retrieval method [J]. Journal of Geo-information Science, 2021, 23(10):1728-1742.[覃湘栋, 庞治国, 江威, 等. 土壤水分微波反演方法进展和发展趋势[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(10):1728-1742.]
- [3] Wagner W, Hahn S, Kidd R, *et al.* The ASCAT soil moisture product: A review of its specifications, validation results, and emerging applications [J]. Meteorologische Zeitschrift, 2013, 22(1):5-33. DOI:10.1127/0941-2948/2013/0399.
- [4] Njoku E G, Jackson T J, Lakshmi V, *et al.* Soil moisture retrieval from AMSR-E[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(2): 215-229. DOI:10.1109/TGRS.2002.808243.
- [5] Kerr Y H, Waldteufel P, Wigneron J P, *et al.* The SMOS mission: New tool for monitoring key elements of the global water cycle[J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 98(5): 666-687. DOI:10.1109/JPROC.2010.2043032.
- [6] Entekhabi D, Njoku E G, O'Neill P E, *et al.* The Soil Moisture Active Passive (SMAP) mission[J]. Proceedings of the IEEE, 2010, 98(5): 704-716. DOI: 10.1109/JPROC. 2010. 2043918.
- [7] Liu Y Y, Dorigo W A, Parinussa R M, *et al.* Trend-preserving blending of passive and active microwave soil moisture retrievals [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 123: 280-297. DOI:10.1016/j.rse.2012.03.014.
- [8] Dirmeyer P A, Gao X, Zhao M, *et al.* GSWP-2: Multimodel analysis and implications for our perception of the land surface [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2006, 87(10):1381-1398.DOI:10.1175/BAMS-87-10-1381.
- [9] Kim H, Parinussa R, Konings A G, *et al.* Global-scale assessment and combination of SMAP with ASCAT (active) and AMSR2 (passive) soil moisture products [J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 204: 260-275. DOI:10.1016/j.rse.2017.10.026.
- [10] Zeng J, Li Z, Chen Q, *et al.* Evaluation of remotely sensed and reanalysis soil moisture products over the Tibetan Plateau using in-situ observations [J]. Remote Sensing of environment, 2015, 163: 91-110. DOI:10.1016/j.rse.2015.03.008.
- [11] Jiang B, Su H, Liu K, *et al.* Assessment of remotely sensed and modelled soil moisture data products in the US Southern Great Plains [J]. Remote Sensing, 2020, 12(12): 2030. DOI:10.3390/rs12122030.
- [12] Li M, Wu P, Ma Z. A comprehensive evaluation of soil moisture and soil temperature from third-generation atmospheric and land reanalysis data sets[J]. International Journal of Climatology, 2020, 40(13):5744-5766. DOI:10.1002/joc.6549.
- [13] Liu Huan, Liu Ronggao, Liu Shiyang. Drought remote sensing monitoring method and its application development [J]. Journal of Geo-information Science, 2012, 14(2): 232-239. [刘欢, 刘荣高, 刘世阳. 干旱遥感监测方法及其应用发展[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(2):232-239.]
- [14] Brocca L, Melone F, Moramarco T, *et al.* Soil moisture temporal stability over experimental areas in Central Italy[J]. Geoderma, 2009, 148(3-4): 364-374. DOI: 10.1016/j.geoderma.2008.11.004.
- [15] Brocca L, Hasenauer S, Lacava T, *et al.* Soil moisture estimation through ASCAT and AMSR-E sensors: An intercomparison and validation study across Europe [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(12): 3390-3408. DOI: 10.1016/j.rse.2011.08.003.
- [16] Draper C S, Walker J P, Steinle P J, *et al.* An evaluation of AMSR - E derived soil moisture over Australia [J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(4): 703-710. DOI: 10.1016/j.rse.2008.11.011.
- [17] Lü S, Zeng Y, Wen J, *et al.* Estimation of penetration depth from soil effective temperature in microwave radiometry [J]. Remote Sensing, 2018, 10(4):519.DOI:10.3390/rs10040519.
- [18] Owe M, de Jeu R, Holmes T. Multisensor historical climatology of satellite-derived global land surface moisture [J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2008, 113(F1). DOI:10.1029/2007JF000769.
- [19] Njoku E G, Ashcroft P, Chan T K, *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. DOI:10.1109/TGRS. 2004. 837507.
- [20] Wigneron J P, Jackson T J, O'Neill P, *et al.* Modelling the passive microwave signature from land surfaces: A review of recent results and application to the L-band SMOS & SMAP soil moisture retrieval algorithms[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 192:238-262.DOI:10.1016/j.rse.2017.01.024.
- [21] Dorigo W A, Scipal K, Parinussa R M, *et al.* Error characterisation of global active and passive microwave soil moisture datasets[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2010, 14(12): 2605-2616. DOI:10.5194/hessd-7-5621-2010.

- [22] Gruber A, Scanlon T, van der Schalie R, *et al.* Evolution of the ESA CCI soil moisture climate data records and their underlying merging methodology[J]. *Earth System Science Data*, 2019, 11(2): 717-739. DOI:10.5194/essd-11-717-2019.
- [23] Dorigo W A, Gruber A, De Jeu R A M, *et al.* Evaluation of the ESA CCI soil moisture product using ground-based observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 162: 380-395. DOI:10.1016/j.rse.2014.07.023.
- [24] Hersbach H, Bell B, Berrisford P, *et al.* The ERA5 global reanalysis[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2020, 146(730): 1999-2049. DOI:10.1002/qj.3803.
- [25] Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, *et al.* The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2011, 137(656): 553-597. DOI:10.1002/qj.828.
- [26] Nijssen B, Shukla S, Lin C, *et al.* A prototype global drought information system based on multiple land surface models[J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2014, 15(4): 1661-1676. DOI: 10.1175/jhm-d-13-090.1.
- [27] Entekhabi D, Reichle R H, Koster R D, *et al.* Performance metrics for soil moisture retrievals and application requirements[J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2010, 11(3): 832-840. DOI:10.1175/2010jhm1223.1.
- [28] Ran Jinjiang, Ji Mingxia, Huang Jianping, *et al.* Characteristics and factors of climate change in arid and semi-arid areas over Northern China in the recent 60 years[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences Edition)*, 2014, 50(1): 46-53.[冉津江, 季明霞, 黄建平, 等. 中国北方干旱区和半干旱区近60年气候变化特征及成因分析[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2014, 50(1): 46-53.]
- [29] Ding Xu, Lai Xin, Fan Guangzhou, *et al.* Analysis on the applicability of reanalysis soil temperature and moisture datasets over Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Plateau Meteorology*, 2018, 37(3): 626-641.[丁旭, 赖欣, 范广洲, 等. 再分析土壤温湿度资料在青藏高原地区适用性的分析[J]. *高原气象*, 2018, 37(3): 626-641.]
- [30] Ma H, Zeng J, Chen N, *et al.* Satellite surface soil moisture from SMAP, SMOS, AMSR2 and ESA CCI: A comprehensive assessment using global ground-based observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 231: 111215. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111215.
- [31] Al-Yaari A, Wigneron J P, Ducharne A, *et al.* Global-scale evaluation of two satellite-based passive microwave soil moisture datasets (SMOS and AMSR-E) with respect to Land Data Assimilation System estimates[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 149: 181-195. DOI: 10.1016/j.rse.2014.04.006.
- [32] Wang Xiukang, Qi Xingchao, Liu Yanli, *et al.* Soil structure and its effect on soil water holding property under three land use patterns in piedmont plain of Mountain Tai[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(1): 63-74.[王修康, 戚兴超, 刘艳丽, 等. 泰山山前平原三种土地利用方式下土壤结构特征及其对土壤持水性的影响[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(1): 63-74.]
- [33] Gruber A, Scanlon T, van der Schalie R, *et al.* Evolution of the ESA CCI soil moisture climate data records and their underlying merging methodology[J]. *Earth System Science Data*, 2019, 11(2): 717-739. DOI:10.5194/essd-11-717-2019.
- [34] Jeu R, Wagner W, Holmes T, *et al.* Global soil moisture patterns observed by space borne microwave radiometers and scatterometers[J]. *Surveys in Geophysics*, 2008, 29(4): 399-420. DOI:10.1007/s10712-008-9044-0.
- [35] Wang Y W, Leng P, Peng J, *et al.* Global assessments of two blended microwave soil moisture products CCI and SMOPS with in-situ measurements and reanalysis data[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021, 94: 102234. DOI:10.1016/j.jag.2020.102234.
- [36] Lu Zheng, Chai Linna, Zhang Tao, *et al.* Evaluation of AMSR2 retrievals using observation of soil moisture network on the upper and middle reaches of Heihe River Basin[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2017, 32(2): 324-337.[陆峥, 柴琳娜, 张涛, 等. AMSR2土壤水分产品在黑河流域中上游的验证[J]. *遥感技术与应用*, 2017, 32(2): 324-337.]
- [37] Wang Hao, Hao Ying, Yuan Song, *et al.* Applicability assessment of SMAP soil moisture products in the Huaihe River Basin[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2021, 36(5): 1009-1021.[王皓, 郝莹, 袁松, 等. SMAP土壤水分产品在淮河流域的适用性评估[J]. *遥感技术与应用*, 2021, 36(5): 1009-1021.]

## Comparison and Assessment of Remote Sensing and Model-based Soil Moisture Products in Typical Regions of North China

Huang Yuling<sup>1,2</sup>, Liu Kai<sup>1,3</sup>, Wang Shudong<sup>1</sup>, Wang Dacheng<sup>1</sup>, Yuan Feng<sup>4,5</sup>,  
Wang Baolin<sup>4</sup>, Jing Wen<sup>4</sup>, Wang wei<sup>6</sup>

(1. *Aerospace Information Research Institute, Beijing 100094, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, College of Resources and Environment, Beijing 100049, China;*

3. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China;*

4. *Inner Mongolia Xiaocao Digital Ecological Industry Limited Company, Hohhot 010000, China;*

5. *Inner Mongolia Fengmao Technology Limited Company, Hohhot 010000, China;*

6. *Hebei Finance University, Baoding 071000, China)*

**Abstract:** The comprehensive assessment of multiple Soil Moisture (SM) products is helpful to understand the characteristics and differences of products, and is of great significance to the algorithm improvement and rational application of products. The differences and applicability of three remote sensing SM products (SMOS\_L3, AMSR-E\_LPRM and ESACCI v04.5) and three model-based SM products (ECMWF\_ERA5, GLDAS\_Noah v2.1 and GLDAS\_CLSM v2.2) in typical regions of North China from 2010 to 2011 were analyzed from the aspects of spatial distribution, in-situ evaluation, land cover type and dry and wet classification. The possible reasons affecting the accuracy of soil moisture products were discussed from multi-angle. Results show that: (1) On the annual scale, all products can effectively characterize the distribution of soil moisture in the arid region of the West. On the seasonal scale, ESACCI product and three model-based SM products had high soil moisture and similar spatial distribution in summer and autumn; (2) In terms of in-situ evaluation, ERA5 product outperformed other products with the highest average Pearson correlation coefficient (0.582) and the lowest unbiased root mean square error ( $0.045 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ). The model-based SM products were superior to remote sensing SM products in terms of ubRMSE and R and can effectively represent the dynamic characteristics of in-situ observations. However, the time variations range of model-based SM products was low, which may lead to dry or wet bias. ESACCI product had the highest accuracy among remote sensing SM products. AMSR-E product performed well in Bias ( $-0.015 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), but the correlation with in-situ observations was low due to the influence of weather. SMOS product was affected by Radio-frequency Interference, and its overall performance was average; (3) SMOS and AMSR-E products were sensitive to farmland and forest respectively. The soil moisture distribution of other products under different land types was consistent with the actual situation, and can show dry and wet distribution.

**Key words:** Soil moisture; Assessment; Comparison; SMOS; AMSR-E; ESACCI; ERA5; GLDAS