# SMOS 土壤介电常数可靠性研究

马战林,杨娜\*,崔学皓,左西俊 (河南理工大学测绘与国土信息工程学院,河南焦作 454000)

摘要 [目的]研究 SMOS 土壤介电常数的可靠性及对 SMOS 反演土壤水分精度的影响。[方法]针对美国大陆地区,基于 USCRN 实测数据计算 Mironov 介电常数,验证 SMOS-Mironov 介电常数。[结果] Mironov 介电常数对土壤水分参数敏感,与土壤温度的量化关系不显著;在 0~23.5、0~0.4 m³/m³, SMOS-Mironov 介电常数和土壤水分与 USCRN 的总体相关系数分别为 0.49、0.54,但总体仍较 USCRN 偏低,SMOS 反演的个别数据异常突出;东西部分异与地表覆被类型有一定的空间相似性,SMOS 反演建模及辅助信息的采用需针对特定的地类做进一步优化;在空间分布上,各站点数据量和数值呈显著的东西部分异特征,各站点数据量与降水量的相关系数为-0.02,初步证实降水对各站点的数据量无显著影响,但会影响反演精度。[结论]该研究为我国土壤水分变化监测及农业干旱预测提供数据支持。

关键词 干旱预测;SMOS;Mironov 介电常数;USCRN

中图分类号 S-3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)17-0001-05

#### The Reliability of the Soil Dielectric Constant of SMOS

MA Zhan-lin, YANG Na, CUI Xue-hao et al (School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000)

Abstract [Objective] To explore the reliability of the soil dielectric constant and the effect of SMOS retrieval soil moisture accuracy. [Method] The study was aimed to verify the SMOS-Mironov dielectric constant based on the USCRN field soil moisture by counting the Mironov dielectric constant in the continental United States. [Result] Mironov dielectric constant was sensitive to soil moisture and haven't taken the clear quantitative relationship with the soil temperature. In the range of  $0 \sim 23.5$ ,  $0 \sim 0.4$  m³/m³, the correlation coefficient of the SMOS-Mironov dielectric constant and soil moisture with the USCRN' were 0.49 and 0.54. But SMOS was still low with USCRN and the SMOS's retrieval data were abnormal prominent at several areas. East-West difference and the land cover had shown definite space similarity. The SMOS Retrieval model and the auxiliary data need do further optimization for specific land cover. In the spatial distribution, the data and numerical value of each site presented significant different characteristics between the East and the West. The correlation coefficient between the amount of data and precipitation at each station was -0.02. It was preliminarily proved that precipitation had no significant influence on the amount of data at each site, but could affect the accuracy of retrieval. [Conducsion] The study provides data support for soil moisture change monitoring and agricultural drought prediction in China. Key words Drought prediction; SMOS; Mironov dielectric constant; USCRN network

土壤湿度决定植被的蒸发和光合作用,是植被群落生态环境的重要因子,影响植被生长发育、结构特征、分布规律及群落生产力及稳定性。土壤水分的获取对生态环境评价及改善具有重要指导意义。SMOS(soil mironov and ocean salinity)是全球首颗被动微波土壤水分卫星,自 2009 年发射至今,已为气象气候、农业、环境等领域提供了关键的数据支撑<sup>[1-2]</sup>。研究表明,SMOS 土壤水分的精度不理想<sup>[3-5]</sup>,有学者指出,微波辐射模型的不可靠是导致反演误差的主要原因,其中包括土壤介电常数模型。

被动微波反演土壤水分的物理基础是干燥土壤与液态水在介电常数上存在差异,而土壤含水量的不同导致介电常数发生显著变化,而介电常数值及土壤粗糙度共同决定了某一类土壤的发射率,从而决定土壤自身的辐射亮温和反射周围环境的亮温,辐射的亮温信息经大气传输进人微波辐射计天线端,根据天线端观测的亮温运用相关数学方法来反演土壤水分<sup>[6]</sup>。因此,在微波反演土壤水分过程中,土壤介电常数是模拟亮温的重要前提,也是进一步反演土壤水分的关键物理基础。2012年4月,SMOS将原用的Dobson模型改换为

更为严密,适用于更多的土壤类型,特别是针对沙地和接近 0 值的极端情况,仍可实现土壤水分的反演<sup>[10-11]</sup>。开展 Mironov 介电常数的可靠性研究对于掌握 SMOS 反演误差机理十分必要<sup>[12]</sup>,但目前的验证研究主要围绕亮温和土壤水分,对其研究较少。为此,笔者针对美国大陆地区,利用 USCRN (U. S. Climate Reference Network)土壤水分与温度实测资料计算 Mironov 介电常数,进而以其为参考验证环境因子变化对 SMOS-Mironov 介电常数的影响,旨在对其数据量与数值做出总体评定,并初步证实真实观测资料作为反演辅助信息的可行性。

Mironov 模型[5,7-9], Mironov 模型对土壤反射特性的物理表征

## 1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区为美国大陆地区,美国的地形特点是东西两侧高,中间低,山脉均为南北走向。东部的阿巴拉契亚山自东北向西南扩展,与大西洋岸平行;西部的落基山脉号称北美的脊骨,山体宽 500 km,纵贯美国西部山峰高耸入云,为中部在平原竖起一座天然屏障。中部是占全国领土1/2 的大平原。奔腾不息的密西西比河流经中部大平原,使之成为美国重要的农业区。美国本土位于北温带,大部分地区属大陆性气候,由于美国国土幅员辽阔,地形复杂,所受气流影响也不同,因而全国各地气候差异极大,主要分为5个气候区。东北部沿海和五大湖地区是冬冷夏凉的大陆性温带阔叶林气候;东南部沿海和墨西哥湾沿岸是冬暖夏凉的亚热带森林气候;中部平原属大陆性气候;西部内陆高原和山地属内陆性气候;太平洋沿岸地区属海洋性气候。

基金项目 国家自然科学基金青年基金项目(41501363);中国科学院 数字地球重点实验室开放基金项目(2014LDE005);河南省

教育厅高等学校重点科研项目(15A520075);河南省教育厅 省重大科技攻关计划项目(14A420005)。

有主人们较久人们从为自(1FAF20005)。 第一本体人 可以以(1002 ) 图 河土在外上 西上

马战林(1993—),男,河南焦作人,硕士研究生,研究方向: 土壤水分反演。\*通讯作者,讲师,硕士生导师,从事土壤 水分反演研究。

收稿日期 2018-02-07

1.2 数据来源 试验所用数据见表 1。SMOS Mironov 介电常数(SMOS\_DC)与土壤水分(SMOS\_SM)均来自于 Level 2数据。该数据的上级输入是 Level 1C 观测亮温数据,它是土壤水分和植被光学厚度反演结果的主要存储形式,在反演成功的前提下,将介电常数、亮度温度、地表温度等正向模拟过程参量一并存入。Level 2数据是免费的,该研究采用最新的V620版本。为避免积雪、冰冻等干扰,将研究时段选定为2016年4—10月。

美国气象监测网 USCRN (U. S. Climate Reference Network)由美国 NOAA 环境信息中心建设,以支持气候影响研究为目标,面向全美(包括阿拉斯加和夏威夷)进行 0~100 cm 土层土壤水分、土壤温度、外部温度、降水、太阳辐射等气象要素的连续观测,频率最高可达 5 min/次,数据量丰富,质量可靠<sup>[12]</sup>。2016年,USCRN 在美国大陆地区的站点数据为 155个,其分布情况见图 1。USCRN 加入了 ISMN(International Soil Moisture Network)土壤水分共享计划,数据免费。该研究使用的是 5 cm 土壤水分(USCRN\_SM)、土壤温度(USCRN\_ST)逐时观测数据,并由这 2 项参数根据式(1)~(6)计算 Mironov 介电常数(USCRN\_DC)。

表 1 数据及参数信息

Table 1 Data and parameter information

项目 Items	名称 Name	标记 Sign	来源 Source	属性 Natare
SMOS	Mironov 介电常数	SMOS_DC	Level 2数据	反演
	土壤水分	SMOS_SM	Level 2数据	反演
USCRN	土壤水分	USCRN_SM	5 cm 逐时数据	观测
	土壤温度	USCRN_ST	5 cm 逐时数据	观测
	Mironov 介电常数	USCRN_DC	由土壤水分和土 壤温度计算而得	观测

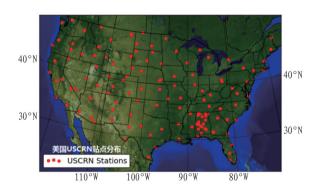


图 1 2016 年美国大陆地区 USCRN 站点分布

Fig. 1 Distribution of USCRN stations in the continental United States in 2016

1.3 研究方法 SMOS 计算 Mironov 介电常数的方法见式  $(1) \sim (6)$ 。其中, $\varepsilon$ 。是湿土的介电常数 (1),由分数复指数  $n_s^*$  表达 (2); $n_s^*$  是由于土 (dry soil)、束缚水 (bound water) 及 自由水 (unbound water) 的复折射率  $n_d^*$ 、 $n_b^*$ 、 $n_u^*$  构成的线性 模型 (3); $n_d^*$ 、 $n_b^*$ 、 $n_u^*$  是关于土壤质地  $(\mathfrak{P})$ 、黏比例)、微波频率、土壤温度的函数,计算方法见文献 [13];SM 是土壤水分 (soil moisture), $\Delta_{SM}$  是当前土壤水分 SM 与凋萎点土壤水分

XMVT 之差(4);H(x)为阶跃函数,当 x>0 时取值为  $1,x\leq 0$  时取值为  $0;n_s$ 、 $k_s$  是对复指数分数  $n_s^*$  的实部、虚部表达(5),二者进一步组合构成土壤介电常数  $\varepsilon_s$  的实部和虚部(6),由此  $\varepsilon_s$  可求。

$$\varepsilon_{s} = \varepsilon'_{s} - j\varepsilon''_{s} \tag{1}$$

$$\sqrt{\varepsilon_s} = n_s^* \tag{2}$$

$$n_s^* = n_d^* + (n_b^* - 1) [SM - \Delta_{SM} H(\Delta_{SM})] + (n_u^* - 1) [SM -$$

$$\Delta_{\text{SM}} H(\Delta_{\text{SM}}) ]$$

$$\Delta_{\text{SM}} = \text{SM-XMVT}$$
(4)

$$n_{s} = Re(n_{s}^{*}), k_{s} = lm(n_{s}^{*})$$

$$(5)$$

$$\begin{cases} \varepsilon'_{s} = n_{s}^{2} - k_{s}^{2} \\ \varepsilon''_{s} = -2n_{s}k_{s} \end{cases}$$
(6)

## 2 结果与分析

2.1 介电常数对土壤水分、温度的敏感性 土壤的成分长期相对稳定,一般情况下土壤质地参数可视为不变/缓变量<sup>[14]</sup>,根据式(1)~(6)Mironov介电常数主要是对土壤水分和土壤温度的函数。其与土壤水分的数值关系见图 2a,近似指数形式。其中,USCRN\_DC 与土壤水分(USCRN\_SM)呈"一对一"关系,数值曲线光滑、规则,绝大多数介电常数小于40,土壤水分低于0.6 m³/m³,与实际、理论相符。相比之下,SMOS的介电常数(SMOS\_DC)与土壤水分(SMOS\_SM)的数值曲线发散,基本为"一对多"的关系;介电常数和土壤水分分别集中在0~23.5 和0~0.4 m³/m³,存在一定量异常值。可见SMOS 对介电常数的反演偏高,对土壤水分的反演偏低。

由图 2b 可知,在 0~30 ℃, Mironov 介电常数与其量化关系十分模糊; 当土温超过 30 ℃时二者的数值关系才微弱显现。由此可见, Mironov 介电常数对土壤水分敏感但受土壤温度影响较小。因此,能否在介电常数的建模中弱化土壤温度参数值得探索,同时开展先验土壤水分信息可靠性研究对于量化解析 SMOS 反演误差非常关键。

## 2.2 可靠性

2.2.1 SMOS 与 USCRN 的绝对差异。SMOS\_DC、SM 对 USCRN\_DC、SM 的数值分布见图 3。从相关性看,SMOS 对介 电常数的反演精度(R=0.28)比对土壤水分的反演精度(R=0.45)低,表明亮温正向模拟过程中介电常数的不可靠性在 进一步的土壤水分反演过程中并未被放大,可见其对反演误差的贡献有限,或不为主要误差源。

取 0~0.4 m³/m³ 为土壤水分的常规区间,由计算得 Mironov 介电常数为 0~23.5,以此为阈值进行划分,可见 SMOS -Mironov 介电常数对 USCRN 呈现出 2 个明显的偏低和偏高聚集区,特别是偏高部分的异常十分突出(40~140);在该范围内,SMOS-Mironov 介电常数和土壤水分与 USCRN 的总体相关系数分别为 0.49、0.54。同时,SMOS 土壤水分对 USCRN 的偏低和偏高表现与介电常数一致,异常区的对应显著,但设置有高值截断上限(1.0 m³/m³)。而  $\Delta_D$ C 与  $\Delta_S$ M 的数值关系具有很强的相关性,相关系数达 0.93,可探究 SMOS 在反演过程中是否存在系统误差。

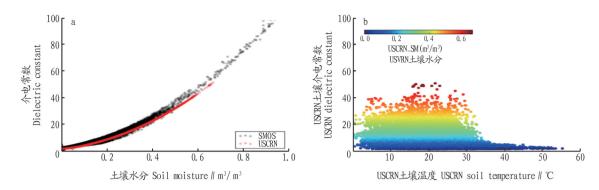


图 2 Mironov 介电常数对土壤水分和土壤温度的数值关系

Fig. 2 The relationship of Mironov dielectric constant with soil moisture and soil temperature

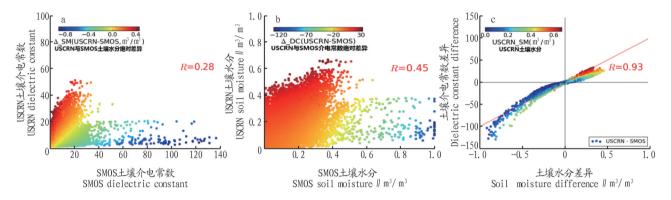


图 3 SMOS 与 USCRN 对比

Fig. 3 Comparison between SMOS and USCRN

**2.2.2** SMOS 反演结果与地类和降水的相关性。以 SMOS\_DC=23.5、SMOS\_SM=0.4  ${\rm m}^3/{\rm m}^3$  为基本阈值,并将  ${\Delta}_D$ C 和  ${\Delta}_S$ M 作为辅助,按表 2 分组对 SMOS-Mironov 介电常数对 USCRN 的绝对差异做进一步量化分析。由数据量看,从低到高排序情况为组 2<5<1<3<6<7<4,在[SMOS\_DC>23.5、

SMOS\_SM>0. 4]的条件下,未发现[ $\Delta$ \_DC>0, $\Delta$ \_SM  $\leq$ 0]的情况。引入 2011 年美国大陆地区覆被类型数据 NLCD(national land cover database) [14]和 USCRN 降水观测数据,探究其与地类和降水的相关性,结果见表 2、3 和图 4。

表 2 分组方式 Table 2 Packet mode

代号 Code	SMOS_DC	SMOS_SM	$\Delta_{ m DC}$	$\Delta_{ m SM}$	总数据量 Total data	站点数 Site number	数据量/站点数 Total data/site number
1	>23.5	>0.4	>0	>0	45	10	4. 50
2			≤0	>0	11	5	2. 20
3			€0	€0	439	39	11. 26
4	≤23.5	≤0.4	>0	>0	9 113	94	96. 94
5			>0	≤0	23	3	7. 67
6			≤0	>0	2 648	89	29. 75
7			≤0	€0	5 572	90	61.91

各分组在不同覆被下的数据量见表 3。由表 3 可知,在整体分组情况下,[SMOS\_DC<23.5,SMOS\_SM<0.4]的总数据量占整体数据的 97.23%,在[SMOS\_DC>23.5,SMOS\_SM>0.4]情况时数据量明显低于[SMOS\_DC<23.5,SMOS\_SM<0.4]的数据量,可以发现 SMOS 在大多数情况下反演的数据可靠,可提供可靠的土壤水分信息。图 4 在表 3 的基础上,细化了各数据的数据量、分布、覆被及降水总量情况。

在[SMOS\_DC>23.5,SMOS\_SM>0.4]条件下,站点最少的组5有SD\_Pierre\_24\_S、TX\_Austin\_33\_NW和WY\_Moose\_1\_NNE站点,站点间彼此远离,TX\_Austin\_33\_NW和WY\_

Moose\_1\_NNE 站点的地表覆被类型均为灌木,约处于同纬度的 SD\_Pierre\_24\_S 和 WY\_Moose\_1\_NNE 站点的总降水量相近,但远低于 TX\_Austin\_33\_NW 站点。除 MN\_Goodridge\_12\_NNW、SD\_Sioux\_Falls\_14\_NNE、KS\_Manhattan\_6\_SSW、IL\_Champaign\_9\_SW、TX\_Austin\_33\_NW 和 AL\_Selma\_13\_WNW 站点外,组 1 与组 2 有 4 个站点重合,重合站点主要集中在美国中部地区,地类无明显相似;另组 1 中 3 站点 MN\_Goodridge\_12\_NNW、TX\_Austin\_33\_NW、AL\_Selma\_13\_WNW 分别位于北、南和东偏南近沿海地区,且地类各不相同;组 1 中 Δ\_DC 的数值差异较大,Δ\_SM 集中在 0.03 和 0.12 附近,而

组 2 中  $\Delta_DC$  和  $\Delta_SM$  的数值差异不大,几乎相同;但 2 组与 降水均无显著相关。组5、2、1介电常数和土壤水分对 USCRN 的总体相关系数分别为 0.990、0.967、0.360(介电常 数相关系数),0.997、0.977、0.495(土壤水分相关系数)。组 3情况下,站点集中在美国东部,除位于南部的LA\_Monroe\_ 26\_N 和近海滨的 FL\_Everglades\_City\_5\_NE 外,其余各站数 据量均较少。由表3可知,地表类型以低密度发展用地、常 绿林、混合林为主。站点间  $\Delta_D$ C 的差异开始显现,  $\Delta_S$ M 的 差异进一步拉大,SMOS 介电常数与土壤水分对 USRCN 的相 关系数分别为-0.090、-0.054。 而 Δ\_DC 和 Δ\_SM 对降水量 的相关系数分别为-0.05、0.08。组3情况下,站点集中在美 国东部,除位于南部的 LA\_Monroe\_26\_N 和近海滨的 FL\_Everglades\_City\_5\_NE外,其余各站数据量均较少。由表3可 知,地表类型以低密度发展用地、常绿林、混合林为主。站点 间  $\Delta_DC$  的差异开始显现,  $\Delta_SM$  的差异进一步拉大, SMOS 介电常数与土壤水分对 USRCN 的相关系数分别为-0.090、 -0.054。而  $\Delta_DC$  和  $\Delta_SM$  对降水量的相关系数分别为

-0.05, 0.08

表 3 组 3、4、6、7 地类数据量

Table 3 The number of 3,4,6,7 group at different land cover

地表覆被类型 Surface cover type	组 3 Group 3	组 4 Group 4	组 6 Group 6	组7 Group 7
农耕地	40	618	133	211
落叶林	30	1 145	141	279
高密度发展用地	0	9	21	140
低密度发展用地	84	167	59	116
中密度发展用地	0	0	0	0
开放式发展用地	20	445	162	309
常绿林	108	589	163	329
牧草地	21	1 047	74	212
草本地	24	3 023	474	1 150
草本湿地	1	274	36	28
混合林	62	230	90	674
开放式水体	38	0	5	194
灌木地	7	1 514	1 246	1 809
林地湿地	4	52	44	121
	Surface cover type 农耕地 落好大概用地 高密度发发展用用地 中密度发发展展用 开放式绿绿地 草本湿地 混合林 开放式水体 灌木地	Surface cover type     组 3 Group 3       农耕地 40 落叶林 30 高密度发展用地 0 低密度发展用地 中密度发展用地 20 常绿林 108 牧草地 21 草本地 24 草本湿地 1 混合林 62 开放式水体 38 灌木地 7	Surface cover type     组 3     组 4       农耕地 落叶林 30 1 145     30 1 145       高密度发展用地 仍密度发展用地 中密度发展用地 中密度发展用地 常绿林 108 589     0 445       市场社 24 3 023     274       市本地 1 274     274       混合林 62 230     230       开放式水体 38 0     0       灌木地 7 1 514	Surface cover type     组 3     组 4     组 6       农耕地 落叶林 30     1 145     141       高密度发展用地 低密度发展用地 中密度发展用地 中密度发展用地 中密度发展用地 中密度发展用地 20     0     0       市 城式发展用地 常绿林 108     108     589     163       牧草地 21     1 047     74       草本湿地 1     274     36       混合林 62     230     90       开放式水体 灌木地 7     1 514     1 246

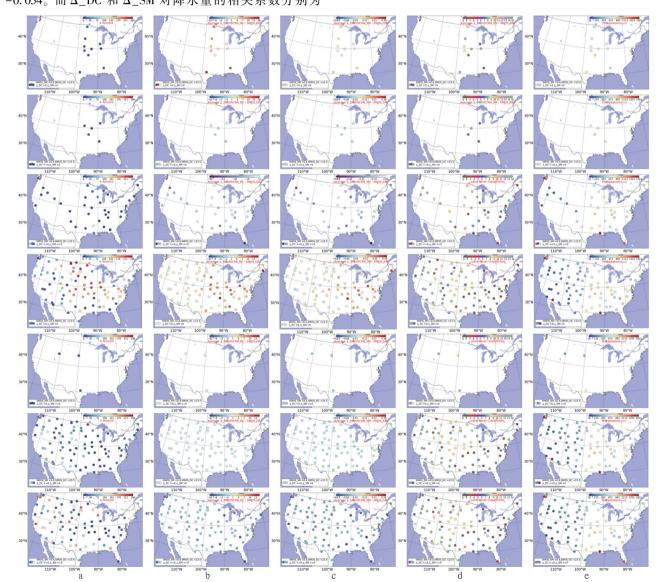


图 4 各站点数据量(a)、 $\Delta_DC$  均值(b)、 $\Delta_SM$  均值(c)、地表覆被类型(d)、总降水量(e)

 $Fig. \ 4 \quad Amount(a) \ , average \ \Delta\_DC(b) \ , average \ \Delta\_SM(c) \ , land \ cover \ classification(d) \ , precipitation(e) \ of \ every \ station(e) \ . \\$ 

在[SMOS DC<23.5, SMOS SM<0.4]条件下,组4站点 遍布全美大陆。SMOS SM≤0.4表达了土壤水分的常规状 况,因此该组数据量最高,但东多西少、北多南少。 $\Delta_DC>0$ 、 Δ SM>0 则表明 SMOS 对介电常数和土壤水分的反演较 USCRN 均偏低,相关系数分别为 0.765、0.781。Δ\_DC 和  $\Delta$  SM 的数值分布及站点间差异较为相似,东部高、西部低的 趋势十分明显,特别是与降水量在空间上呈现较好的相关。 地表覆被类型以灌木、草本和落叶林为主,但西部类型少且 均一,东部类型多且分散,与 $\Delta$  DC、 $\Delta$  SM 的东西差异在空 间位置上相对应。由此可初步推断,降水对 SMOS 反演精度 有影响,SMOS 在低矮覆被地区反演土壤水分精度高且数据 量丰富,而针对某些覆被类型的反演建模有待改善。在 SMOS\_SM<0.4、Δ\_DC≤0条件下,组 6、7 分别为 Δ\_SM>0 和 Δ SM≤0 的 2 种情况。站点数量和空间分布与组 4 基本相 同,但数据量相对较少。组 6 中各站点  $\Delta_DC$  与  $\Delta_SM$  数值 几乎一致,其最大、最小和均值分别为-0.001、-3.160、 -0.724,SMOS\_DC、SM 与 USCRN 的相关系数很高,分别为 0.990、0.988, 与降水无显著相关。组7数据量较高的站点与 组4数据量较低的站点在空间位置上相对应,在一定程度上 可视其为反演异常点,即图 2、3 中的高值区部分。SMOS 介 电常数和土壤水分对 USCRN 的相关系数分别为 0.719、 0.758, 与降水的相关系数为-0.405、-0.120, 这在一定程度 上反映 SMOS 的介电常数对降雨响应显著。

#### 3 结论

ودودودودودودودودودودودو

介电常数是表征土壤层微波辐射的关键参量,该研究进一步证实了 Mironov 介电常数模型对土壤水分的敏感性,并初步分析了降水和地表覆被类型对 SMOS 反演精度的影响。 SMOS 在低矮植被地区具有反演数据量丰富、精度高等特点,此反演的土壤水分数据可为我国相关单位服务。覆被类型对反演的数据量及精度有很大影响,这与算法中在不同覆被类型下模型的选择及参数的设置有关。该研究证实了降雨对数据量并无明显的影响,但降雨对反演的精度有影响,这与 SMOS 的过境的瞬时时间及降雨事件的影响有关,此种情况有待进一步分析。

在被动微波土壤水分反演体系中,按照先验土壤水分(及土壤温度)→介电常数→亮度温度(Level 1C 观测、Level 2 模拟)→反演土壤水分的完整流程来看,该研究还缺乏对亮度温度这个环节的研究,因此,辅助信息、正演模型的可靠

性对 SMOS 反演精度的量化影响尚未形成定论,这是该研究的不足之处。发挥地面上密集观测站网的优势、充分利用已有的实测资源,在高空、非接触式探测的基础上,进一步以地面、真实观测为辅助实现 SMOS 快速校正和反演优化,是兼具研究价值和现实意义的课题,也是今后的重点研究方向。

## 参考文献

- [1] VAN DER SCHALIE R, PARINUSSA R M, RENZULLO L J, et al. SMOS soil moisture retrievals using the land parameter retrieval model; Evaluation over the Murrumbidgee Catchment, southeast Australia [J]. Remote sensing of environment, 2015, 163;70–79.
- [2] GRUBER A,SU C H,ZWIEBACK S,et al. Recent advances in (soil moisture) triple collocation analysis [J]. International journal of applied earth observation and geoinformation, 2016, 45;200–211.
- [3] ZAWADZKI J, KEDZIOR M. Soil moisture variability over Odra watershed: Comparison between SMOS and GLDAS data[J]. International journal of applied earth observation and geoinformation, 2016, 45:110-124.
- [4] CHAMPAGNE C,ROWLANDSON T,BERG A, et al. Satellite surface soil moisture from SMOS and Aquarius; Assessment for applications in agricultural landscapes [J]. International journal of applied earth observation and geoinformation, 2016, 45:143–154.
- [5] VAN DER SCHALIE R, KERR Y H, WIGNERON J P, et al. Global SMOS soil moisture retrievals from the land parameter retrieval model [J]. International journal of applied earth observation and geoinformation, 2016, 45: 125–134.
- [6] 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.
- [7] PANCIERA R, WALKER J P, KALMA J D, et al. Evaluation of the SMOS L-MEB passive microwave soil moisture retrieval algorithm [J]. Remote sensing of environment, 2009,113(2):435-444.
- [8] KERR Y H, WALDTEUFEL P, RICHAUME P, et al. The SMOS soil moisture retrieval algorithm [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2012, 50(5):1384-1403.
- [9] KERR Y, REUL N, MARTÍN-NEIRA M, et al. ESA's soil moisture and ocean salinity mission-achievements and applications after more than 6 years in orbit[J]. Remote sensing of environment, 2016, 180; 1-2.
- [ 10 ] MIALON A, RICHAUME P, LEROUX D, et al. Comparison of dobson and mironov dielectric models in the SMOS soil moisture retrieval algorithm [ J ]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2015, 53(6): 3084–3094.
- [11] DRUSCH M, HOLMES T, ROSNAY P D, et al. Comparing ERA-40-based L-band brightness temperatures with skylab observations; A calibration/ validation study using the community microwave emission model [J]. Journal of hydrometeorology, 2009, 10(1):213-226.
- [12] WANG Z Y, CHE T, LIOU Y A. Global sensitivity analysis of the L-MEB model for retrieving soil moisture [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2016,54(5):2949-2962.
- [13] MIRONOV V L, FOMIN S V. Temperature and mineralogy dependable model for microwave dielectric spectra of moist soils [J]. PIERS Online, 2009,5(5):411-415.
- [14] 赵天杰. 被动微波遥感土壤水分[D]. 北京:北京师范大学,2012.

#### 名词解释

扩展即年指标:这是一个表征期刊即时反应速率的指标,主要描述期刊当年发表的论文在当年被引用的情况。具体算法为:

扩展他引率:指该期刊全部被引次数中,被其他刊引用次数所占的比例。具体算法为:

Dalla Dalla

扩展他引率=微具他刊引用的次数期刊被引用的总次数