

Radarsat-2 / SAR和MODIS数据联合反演 黄土高原地区植被覆盖下土壤水分研究

胡蝶、郭锐、沙莎、王丽娟

中国气象局兰州干旱气象研究所

2017年4月27日

主要内容



研究意义和现状



数据源与研究区



植被覆盖下土壤水分反演



总结与讨论

1. 研究意义和现状

- ◆ 土壤水分在黄土高原半干旱区生态系统中是最活跃的因子之一，其动态变化和运动规律很大程度上决定着植被的组成、结构、形态和生理特征，是表征农业、水文干旱状况的关键指标，在干旱防御中有重要意义。
- ◆ 传统的土壤水分测量方法需要实地操作和繁杂的后处理过程，不仅耗时，而且难以获得大范围同步的土壤水分信息，而遥感技术的发展为区域尺度的土壤水分信息的获取提供了有效手段。
- ◆ 不同传感器获取的不同特征的遥感信息存在一定互补性。在植被覆盖地区，光学遥感数据对植被覆盖信息敏感，但受天气影响较大。微波遥感对土壤水分变化非常敏感，具有一定表面穿透性和全天时、全天候的观测特点，在土壤水分的研究中日益被关注。

1. 研究意义和现状

- ◆ 在裸露地表情况下，土壤水分反演算法的核心是如何抑制表面粗糙度对土壤水分反演精度的影响。当研究区有植被覆盖时，反演土壤水分时必须借助其他辅助数据，进行地表植被影响的校正。因此，联合光学与主动微波遥感数据估算植被覆盖下地表土壤水分是应用前景非常好的研究思路。
- ◆ 本文基于MODIS光学数据计算的归一化植被指数(NDVI)估算农作物植被含水量，应用微波散射的Water-Cloud模型对地表植被影响进行合理校正，进一步利用Radarsat-2 SAR数据对农作物覆盖下土壤水分的估算进行初步探讨，并结合同步野外观测试验数据进行验证。

2. 数据源与研究区

2.1 卫星遥感数据

- ◆ Radarsat-2数据为四极化精细模式(Fine Quad Polarization)观测方案，空间分辨率为 $5.2\text{ m} \times 7.6\text{ m}$ ，入射角 32.56° ，产品级别为SLC(斜距产品)。影像获取时间为2013年6月10日10点58分（北京时）。对获取的图像需进行定标、几何校正和滤波处理，并将SAR图像数据转换成后向散射系数，用于土壤水分反演的计算。
- ◆ 同时收集了当天的MODIS反射率产品数据MOD09GQ，分辨率为250m，包含近红外、可见光波段、质量控制数据，用来计算NDVI值。

2. 数据源与研究区

2.2 研究区

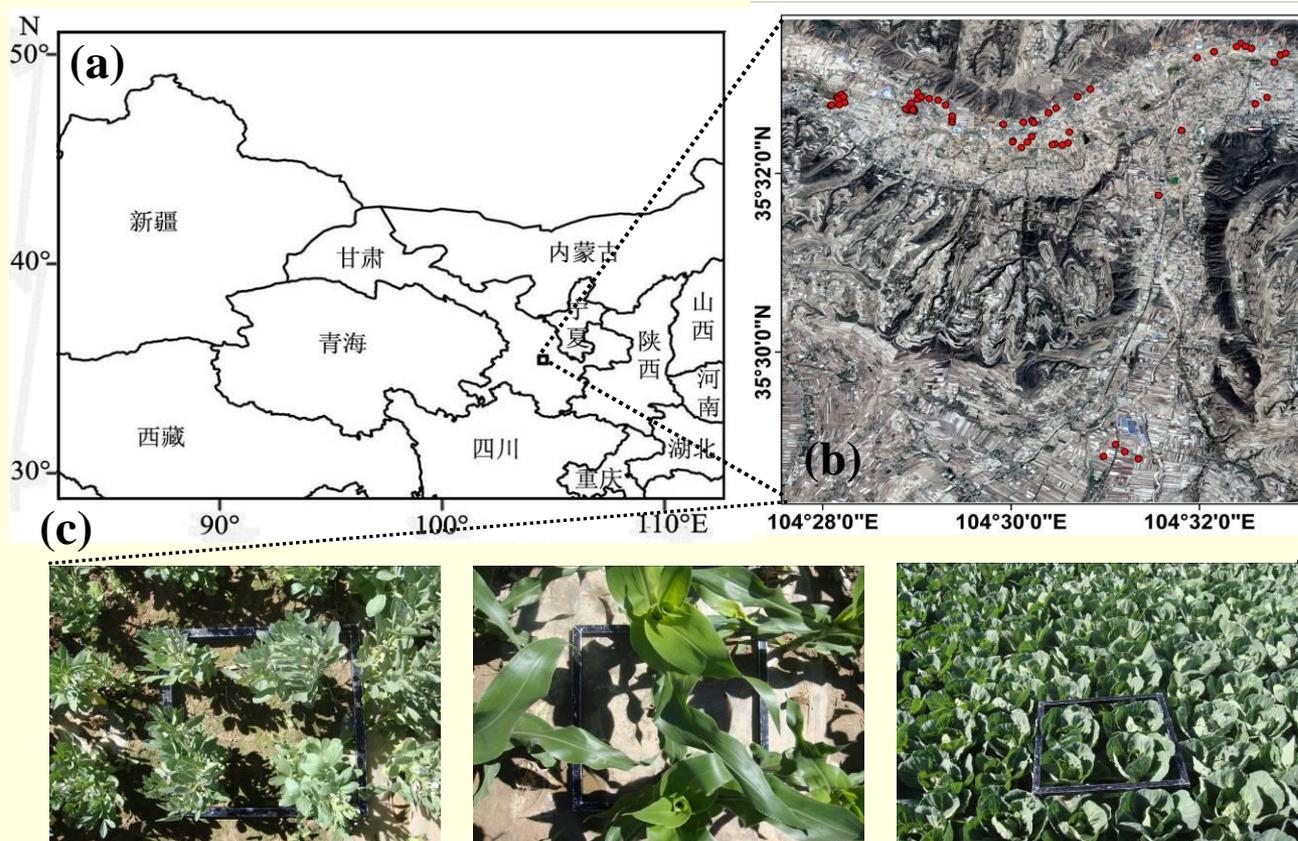


图1 试验区地理位置(红色圆点为采样点)

2. 数据源与研究区

2.3 地面试验

- ◆ 地面试验于2013年6月10日进行准同步数据采集测量。选择均一，平坦的农作物覆盖地块进行采样。为了不破坏农作物且能多采集样本，利用W.E.T sensor(土壤三参数速测仪)测量表层0~6cm土壤体积含水量、温度、介电常数等相关数据。同时，对每个采样点均进行统一编号，进行GPS定位和景观描述。
- ◆ 在进行地面同步观测之前，对用于观测的两部W.E.T sensor土壤水分仪的精度进行验证。于2013年5月21日在同一试验区内用两部WET仪器(编号分别为1和2)测量土壤体积含水量，同时用土钻采集每个样点0~6cm土壤样品，装入铝盒进行封存，带回实验室用称重法测量土壤重量含水量。土壤容重利用环刀法测量，用来计算土壤重量含水量和体积含水量的转换。

2. 数据源与研究区

2.3 地面试验

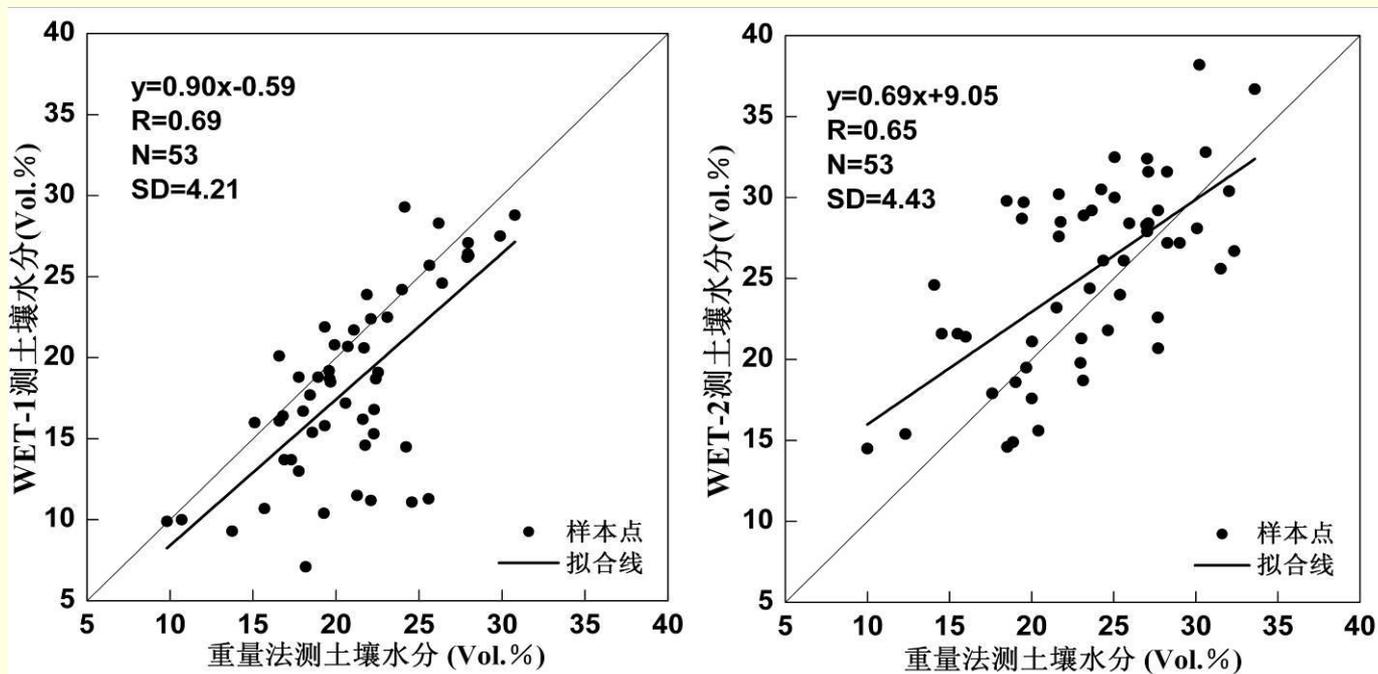


图2 称重法与WET仪器测量0~6cm土壤水分对比图

3. 植被覆盖下土壤水分反演

3.1 微波植被散射模型-Water Cloud模型

- ◆ Water-Cloud模型将农作物覆盖地表的总的雷达后向散射系数描述为农作物直接反射回来的散射项和经作物双层衰减后地面的后向散射项之和，形

式如下：

$$\sigma^0 = \sigma_{veg}^0 + \tau^2 \sigma_{soil}^0$$

$$\sigma_{veg}^0 = A \cdot VWC \cdot \cos(\theta) \cdot (1 - \tau^2)$$

$$\tau^2 = \exp(-2B \cdot VWC \cdot \sec(\theta))$$

式中 σ^0 为总的雷达后向散射系数， σ_{veg}^0 为直接植被层后向散射系数， σ_{soil}^0 为直接地表后向散射系数， τ^2 为植被双层衰减因子(透过率)， θ 为雷达入射角， VWC 是植被含水量(kg/m²)， A 和 B 分别为依赖于植被类型的经验参数。

其中， $A=0.0012$ ， $B=0.091$ 。(Bindlish 等, 2001)

3. 植被覆盖下土壤水分反演

3.1 微波植被散射模型-Water Cloud模型

- ◆ 植被含水量是水云模型中的重要输入参量，直接影响不同植被层的后向散射系数。在试验期间受仪器及资源限制，没有对进行地面观测。因此选择利用同天MODIS数据计算的NDVI来估算采样点的植被含水量。

$$\text{玉米: } WWC = 192.64 \square NDVI^5 - 417.46 \square NDVI^4 + 347.96 \square NDVI^3 \\ - 138.93 \square NDVI^2 + 30.699 \square NDVI - 2.822$$

$$\text{大豆: } WWC = 7.63 \square NDVI^4 - 11.41 \square NDVI^3 + 6.87 \square NDVI^2 - 1.24 \square NDVI + 0.13$$

- ◆ 根据Jackson等在SMEX02试验中建立的NDVI和之间的关系计算不同采样点对应的植被含水量。选择玉米地样点和当季植被性状与大豆相似样点的NDVI值，代入不同关系式计算。进而应用Water-Cloud模型计算出直接植被层后向散射系数 σ_{veg}^0 和裸土后向散射系数 σ_{soil}^0 。

3. 植被覆盖下土壤水分反演

3.2 交叉极化(VV/VH)组合方案

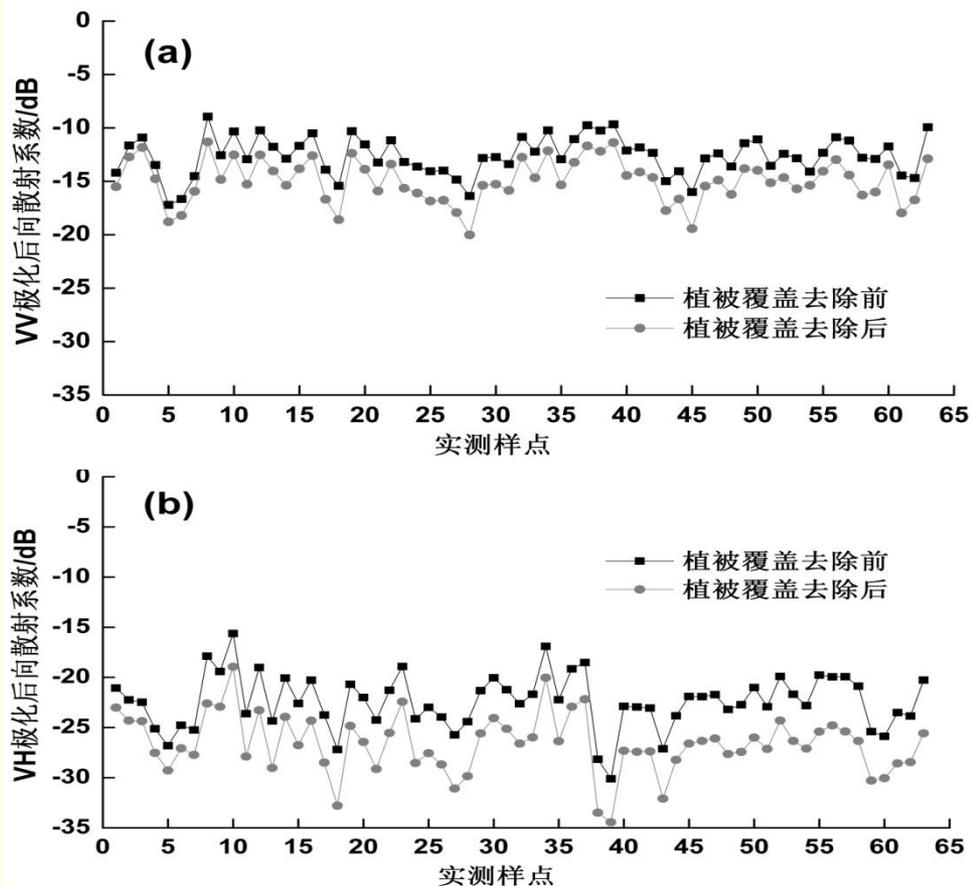
- ◆ 对于多极化SAR数据，任鑫、李震等根据不同极化组合方式、不同成像位置和不同时相的数据，采用组合粗糙度 $Z_s = s^2/l$ (s 是均方根高度， l 是相关长度)作为地表粗糙度参数，提出了几种不同的裸露地表参数反演方案。本文根据已有的分析和Radarsat-2 SAR数据的特点(即单景，多极化)，选择交叉极化(VV/VH)组合方案反演地表参数。模型方程组如下：

$$\begin{cases} \Delta\sigma_{vv}^0 = A_v(\theta)\ln(Z_s) + B_v(\theta) \\ \sigma_{vv}^0 = A_{vv}(\theta)\ln(M_v) + B_{vv}(\theta)\ln(Z_s) + C_{vv}(\theta) \end{cases}$$

式中 $\Delta\sigma_{vv}^0 = \sigma_{vh}^0 - \sigma_{vv}^0$ (dB)， M_v 是土壤含水量(V%)， $A_v(\theta)$ 、 $B_v(\theta)$ 、 $A_{vv}(\theta)$ 、 $B_{vv}(\theta)$ 和 $C_{vv}(\theta)$ 是与雷达入射角有关的系数。利用AIEM模型模拟入射角 $10^\circ \sim 50^\circ$ 中每个入射角情况下的系数，然后再对这组数据采用非线性回归分析方法拟合成入射角的函数。

3. 植被覆盖下土壤水分反演

3.2 实测样点数据分析



利用水云模型对植被影响进行校正后，VV和VH极化后向散射系数均有所降低，且VH极化数据对植被更敏感，其变化幅度大于VV极化数据。

图3 后向散射系数关系图(a为VV极化；b为VH极化)

3. 植被覆盖下土壤水分反演

3.2 土壤水分反演与验证

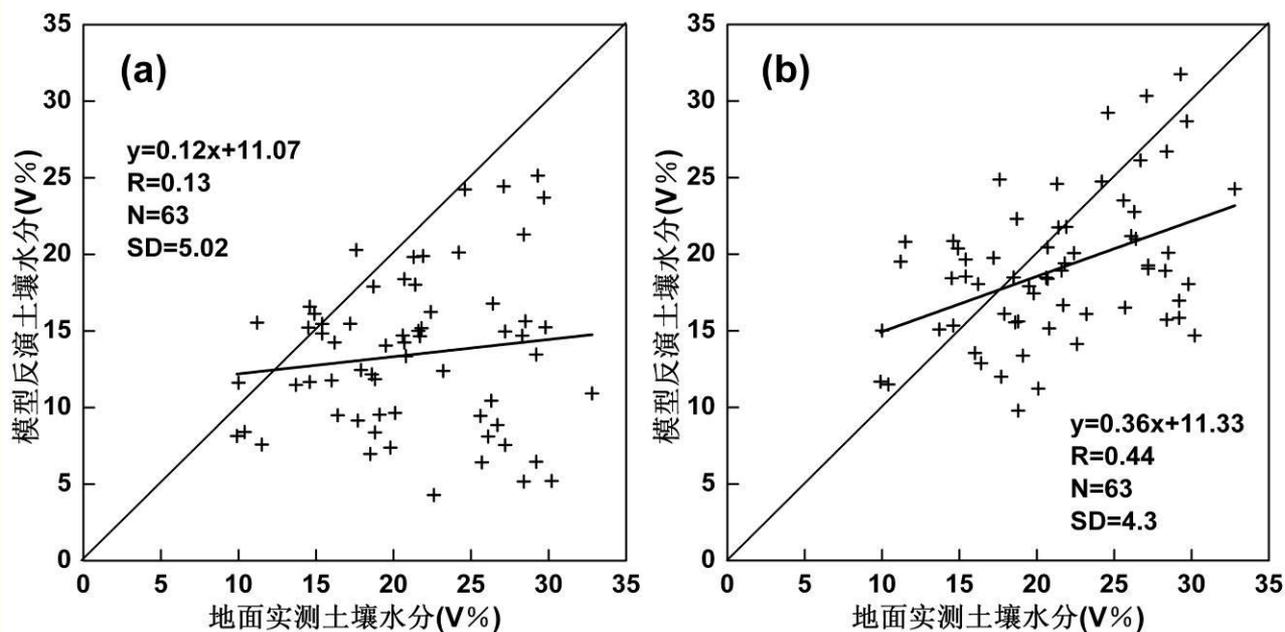


图4 实测土壤含水量与模型反演土壤含水量的对比
(a)植被覆盖去除前；(b)植被覆盖去除后

用水云模型对植被影响校正后，有效提高了模型反演土壤水分的准确度，相关系数R由0.13提高到0.44，且通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验，标准差SD由5.02降低到4.3。

3. 植被覆盖下土壤水分反演

3.2 土壤水分空间分布

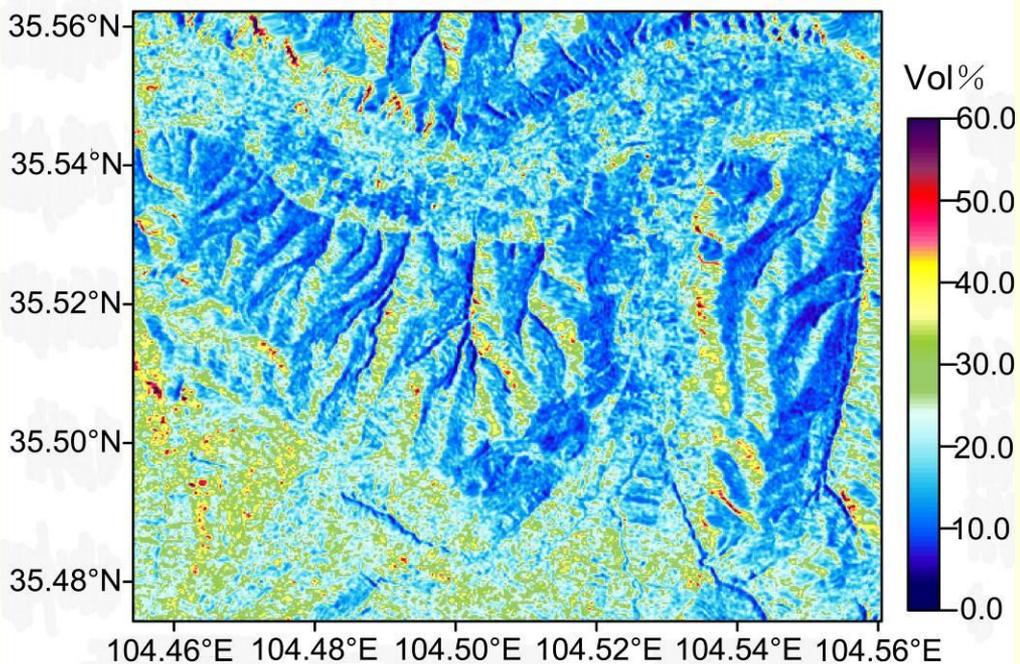


图5 2013年6月10日遥感估算研究区土壤水分分布图

研究区范围内土壤体积含水量大部分介于10~30%之间，与实地考察情况一致，能较好反映区域土壤水分分布信息。但在建筑群落、地膜覆盖的地表以及地形陡峭的山坡区域反演误差较大，还需开展更多研究工作。

4. 总结与讨论

- (1) 利用Water-Cloud模型对植被影响进行校正后，VV和VH极化后向散射系数均有所降低，且VH极化数据对植被更敏感，其变化幅度大于VV极化数据。
- (2) 利用交叉极化组合方案对植被影响校正前后土壤水分进行反演并验证。结果表明在植被效应校正前，土壤水分反演值出现明显的低估现象。用Water-Cloud模型对植被影响校正后，有效提高了模型反演土壤水分的准确度，相关系数R由0.13提高到0.44，且通过的显著性检验，标准差SD由5.02降低到4.3。
- (3) 研究区范围内土壤体积含水量大部分介于10~30%之间，与实地考察情况一致，能较好反映区域土壤水分分布信息。但在建筑群落、地膜覆盖的地表以及地形陡峭的山坡区域反演误差较大，还需进行更多研究。

4. 总结与讨论

- ◆ 综合而言，联合光学遥感数据估算植被含水量并应用Water-Cloud模型校正植被层的影响对提高反演土壤水分准确度是可行的。
- ◆ 经验系数及植被参数的确定是根据已有文献研究或实地状况推断，这会造成跟实际情况不完全相符的误差。同时交叉极化组合方案仍然存在低估的反演误差。
- ◆ 可利用多种反演土壤水分方法充分挖掘全极化数据，构建适合定西地区微波遥感土壤水分的经验模型。
- ◆ 同时应全面考虑地面试验中地表粗糙度和植被参数的观测，拟合出更符合研究区地表状况的模型中的经验参数。
- ◆ 尝试多种数据源的综合利用，发展一个综合动态的反演模型，促进区域农作物干旱监测及农作物生产等方面的应用。

2017年全国气象卫星遥感应用技术交流会

**谢谢各位专家！
恳请批评指正！**