

## Dr5 59061: 利用卫星观测改善灌溉用水管理 (Sat4IrriWater) : 第二年度进展

贾立<sup>1</sup>; Mancini, M.<sup>2</sup>; 郑超磊<sup>1</sup>; Corbari, C.<sup>2</sup>; 陈琪婷<sup>1</sup>, Paciolla N.<sup>2</sup>; 蒋敏<sup>1</sup>; 白瑜<sup>1</sup>; 赵天杰<sup>1</sup>; Bennour, A.<sup>1</sup>; 胡光成<sup>1</sup>; 卢静<sup>1</sup>; Menenti, M.<sup>1</sup> (jiali@aircas.ac.cn; marco.mancini@polimi.it)

1 中国科学院空天信息创新研究院, 北京

2 意大利米兰理工大学, 米兰

农业是全球耗水量最大的行业, 其耗水量约占全球淡水取水量的 70%。提高灌溉用水效率和农作物用水效率是农业用水管理的关键。该项目旨在通过综合使用高分辨率卫星遥感数据、地面水文气象数据和数值模拟来评估灌溉用水需求和农作物用水效率, 对大面积缺资料的农业区用水管理具有重要意义。提高相关卫星遥感产品的精度和时空覆盖能力, 对开展田间和流域尺度的农业用水及其效率研究至关重要。

项目自实施两年以来, 取得了以下进展:

**(1) 改进 FEST-EWB 模型对农林区蒸散量估算, 用于优化农作物灌溉效率。**通过融合 Sentinel2、Landsat8 和 9, 获取高时空分辨率遥感数据, 反演得到不同时空分辨率的植被参数 (叶面积指数 LAI、植被覆盖率、反照率), 为水文模型提供输入数据。进一步利用 Landsat 8 和 9 反演获取 30 米分辨率地表温度(LST), 用于水文模型校准

能水平衡模型 FEST-EWB (基于骤发洪水的降雨空间分布—径流转换—能量-水量平衡模型) 通过能量-水分平衡方程求解地表温度, 可以估算时空连续的土壤水分和蒸散发通量。该模型具有单源 (Corbari 等, 2011) 和双源 (Paciolla 等, 2022) 两个版本, 前者逐像元开展能量平衡计算, 而后者则在同一像元中能够拆分植被和非植被分别进行模拟。这一改进对分析具有地表异质特征的农业区至关重要, 例如: 果树种植区域的树冠层下散布着裸土或矮草覆盖。FEST-EWB 模型使用气象数据、土壤类型数据和卫星提供的植被信息 (例如基于 Sentinel-2 的 LAI、植被覆盖度和反照率) 作为输入数据。新发展了像元的校准方法, 通过对比 LST 的模型估算值和卫星观测值, 来校准模型中的土壤参数。并利用地面观测的土壤水分和蒸散发对该参数校准方法的效果进行了分析。此外, 本研究还展示像元尺度的精准灌溉水量和蒸散量亏缺的初步估算结果。FEST-EWB 模型, 包括其单源和双源版本, 在一些区域已经得到了应用, 例如核桃林 (意大利, 2019-2021)、葡萄园 (西班牙, 2012 和意大利, 2008) 和梨树 (意大利, 2022) 的站点区域。

**(2) 发展了考虑土壤供水能力的光能利用率模型, 估算全球农田总初级生产力。**本研究提出了一个改进的光能利用率模型 EF-LUE, 引入遥感估算的蒸发比 (EF) 作为土壤水分胁迫因子, 估算农田总初级生产力 (GPP)。该模型可以使用地面通量塔站涡动相关系统观测的 CO<sub>2</sub> 通量开展参数率定, 并根据气候分区对模型参数进行空间外推。根据站点评估结果显示, EF-LUE 模型解释了农田站点 82% 的 GPP 变化, 结果远优于原始的 LUE 模型。利用该模型估算了 2001-2019 年全球农田 GPP, 采用的数据主要包括哥白尼全球土地服务系统 (CGLS) GEOV2 数据集中的植被光合有效辐射吸收比 (FAPAR) 数据、ETMonitor 模型计算估算的 EF 和 ERA5 数据的大气驱动变量等。交叉对比结果表明, EF-LUE 的 GPP 产品优于其它全球 GPP 产品, 可以捕捉干旱或热浪事件期间显著的 GPP 负异常值, 表明该模型能够较好地表达土壤水分胁迫对农田 GPP 的影响。这项工作已发表在 *Remote Sensing* 上。

**(3) 缺资料流域的 SWAT 模型校准和验证。**针对缺资料流域水文模型校准和验证的重大挑战, 我们提出了一种利用遥感蒸散发数据校准 SWAT 水文模型的新方法。该方法利用遥感获取相关变量 (本研究采用蒸散发) 的空间分布, 在模型参数有效范围内获取最优参数取值以进行参数率定, 能够减少模型率定参数的个数并保留模拟的空间变异性。同时, 对比了采用不同遥感蒸散发产品进行校准的结果, 包括 ETMonitor、GLEAM、SSEBop 和 WaPOR 等遥感蒸散发产品, 表明基于 ETMonitor 蒸散发遥感产品对 SWAT 模型的校准结果最佳 ( $R^2 > 0.9$ ), 纳什效率系数 (NSE) 达到 0.8。此外对校准后的 SWAT

模型进行了验证：与 GRACE 遥感反演总储水量变化对比，相关系数为 0.57，NSE 为 0.55；与 ESA CCI 遥感土壤水分数据对比，相关系数和 NSE 均超过 0.85，表明模型验证结果较为满意。基于该方法，以非洲乍得湖流域为试验区开展了案例研究，相关论文发表在 *Remote Sensing* 上。

**(4) 提出了一种基于 SMOS 多时相多角度数据同时反演植被光学厚度和土壤水分的方法。**由于微波辐射受多种地表参数的影响，微波反演土壤水分存在较大不确定性。增加观测信息是提高反演结果鲁棒性或反演更多参数的有效手段。我们利用 SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) 卫星 L 波段观测数据，开发了一种多时相多角度 (MTMA) 反演土壤水分方法，用于同时反演植被光学厚度 ( $VOD_p$ ,  $p$  表示极化，其中 H 为水平极化，V 为垂直极化)、有效散射反照率 ( $\omega_p^{eff}$ )、土壤粗糙度 ( $Z_p^0$ ) 和土壤水分 ( $SM_p$ )。本研究反演的土壤水分与实测数据一致性很好 (整体相关系数超过 0.75)，本研究反演的水平和垂直极化的土壤水分的整体均方根误差分别为  $0.050 \text{ m}^3/\text{m}^3$  和  $0.054 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ，低于现有的 SMOS-IC (SMOS-IC 版本 2(V2)) ( $0.058 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) 和 SMOS-L3 (SMOS 3 级土壤水分产品) ( $0.066 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) 产品。这项工作已发表在 *Remote Sensing of Environment* 上。