

潘庄灌区 20-m/12-d 土壤水分数据集 (2020)

王俊杰¹, 张 娣², 石慧娟³, 林人财², 王 锦⁴, 魏 征^{2*}

1. 德州市潘庄灌区运行维护中心, 德州 253000;
2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;
3. 德州市水利局, 德州 253014;
4. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100101

摘 要: 土壤水分是能量循环、水碳循环、农业过程和水文气象等的重要影响因子。以 2020 年时序 Sentinel-1 SAR 影像为基础, 以潘庄灌区为研究区, 利用后向散射系数与土壤湿度建立线性回归模型, 进而反演得到高空间分辨率土壤水分; 同时采用机器学习方法中的支持向量机, 识别提取研究区农田, 得到潘庄灌区 20-m/12-d 土壤水分数据集 (2020)。该数据对灌区蓄水管理、干旱预警以及灌溉规划等具有重要参考价值。数据集包括: (1) 潘庄灌区范围矢量数据; (2) 潘庄灌区 2020 年 31 期土壤水分数据, 时间分辨率为 12 d, 空间分辨率为 20 m。数据集存储为.shp 和.tif 格式, 由 43 个数据文件组成, 数据量为 5.16 GB (压缩为 4 个文件, 1.09 GB)。

关键词: 土壤水分; Sentinel-1; 后向散射系数; 潘庄灌区

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.01.18>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.01.18>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2021.10.08.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2021.10.08.V1>.

1 前言

土壤水分 (Soil Moisture, SM) 在能量循环和水碳循环过程中发挥重要作用, 影响气象、水文和农业过程^[1,2]。土壤水分在干旱、洪水和雷暴天气预测亦占据主导地位^[3,4]。土壤水分测量方法众多, 如烘干法^[5]、模型输出^[6]和遥感估算^[7]等。卫星遥感技术的发展使不同时空尺度的土壤水分监测更加便捷。遥感方法又分为光学遥感和微波遥感, 光学遥感受云和雨等天气条件影响较大, 应用受限, 南方地区尤为突出; 微波遥感使用比可见光和红外波段更长的波长, 受云和雨等天气条件的影响较小, 具有独特优势。微波遥感通常用于表层土壤水分监测, 如 ASCAT (The Advanced Scatterometer)^[8,9]、SMOS (Soil Moisture Ocean

收稿日期: 2021-11-01; 修订日期: 2021-12-20; 出版日期: 2022-03-25

基金项目: 中国水利水电科学研究院专项项目 (ID0145B052021); 中国科学院空天信息创新研究院 (国家地对观测科学数据中心项目)

*通讯作者: 魏征, 中国水利水电科学研究院, weizheng@iwhr.com

数据引用方式: [1] 王俊杰, 张娣, 石慧娟等. 潘庄灌区 20-m/12-d 土壤水分数据集 (2020) [J]. 全球变化数据学报, 2022, 6(1): 133–141. <https://doi.org/10.3974/geodp.2202.01.18>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.01.18>.
[2] 王俊杰, 石慧娟, 魏征等. 潘庄灌区 20-m/12-d 土壤水分数据集 (2020) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.10.08.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2021.10.08.V1>.

Salinity)^[8,10]和以及 SMAP (Soil Moisture Active and Passive)^[8,11,12]等, 但空间分辨率较低 (约 40 km^[13]), 不能满足农业精细化管理和水资源高效利用等方面的要求。近几十年来, SAR 在估算土壤表面特征, 特别是地表粗糙度^[14]和土壤湿度^[15]方面具有显著优势。L、C 和 X 波段的 SAR 数据被广泛用于土壤水分反演^[16-19]。相关学者^[18,20]研究表明, Sentinel-1 携带的 C 波段传感器显示出对植被覆盖地表土壤特征的反演能力。Sentinel-1 数据既可用于土壤水分的反演, 也可用于 SMOS 或 SMAP 土壤水分的降尺度研究。利用主动和被动微波遥感数据融合方法, 可以获得更高精度的土壤水分。本数据集主要根据后向散射系数对土壤水分敏感这一特性, 得到后向散射系数与 CLDAS (CMA Land Data Assimilation System) 土壤湿度数据的拟合关系, 进而反演得到高空间分辨率土壤水分; 同时采用机器学习中的支持向量机法^[21]识别提取研究区农田, 最终得到高空间分辨率农田土壤水分数据集, 为农业精细化管理、水资源高效利用提供技术支撑。

2 研究区概况

潘庄灌区 (36°24'N-37°51'N, 116°57'E-115°51'E,) 是我国大型引黄灌区, 位于山东省德州市西部, 东邻李家岸灌区, 南靠黄河, 与济南市隔河相望, 西部与德州市接壤, 西北部及北部以卫运河、漳卫新河为界与河北省相毗邻^[22], 于 1972 年建成并投入使用, 包括德城、陵城、宁津、武城、平原、夏津、禹城、齐河等 8 县 (市、区), 总面积为 5,851 km²。灌区最大年降水量为 1,018 mm, 最小年降水量仅为 286 mm, 多年平均降水量为 562 mm, 7-9 月占年降水量的 65%, 灌区降水年内年际分布不均。年均蒸发量为 1,240 mm。潘庄灌区是鲁西北地区重要的粮食棉花生产基地, 且为德州市提供了大量优质水源, 为德州市经济发展与农业生产作出重要贡献^[23]。

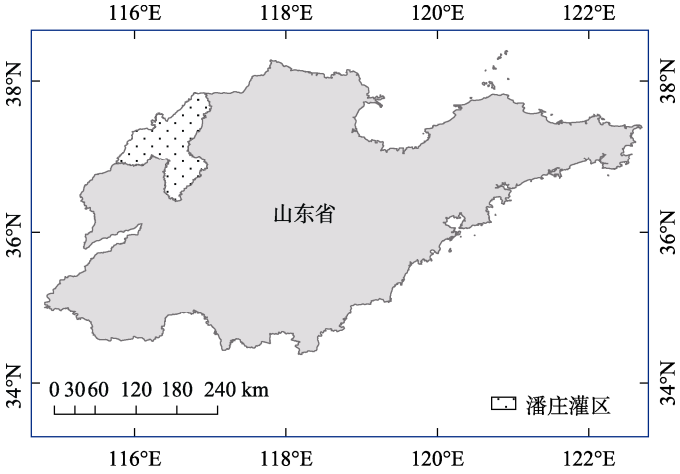


图 1 潘庄灌区地理位置

3 数据集元数据简介

《潘庄灌区 20-m/12-d 土壤水分数据集 (2020)》^[24]名称、作者信息、地理区域、数据

年代、时间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《潘庄灌区 20-m/12-d 土壤水分数据集（2020）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	潘庄灌区 20-m/12-d 土壤水分数据集（2020）
数据集短名	SM_Panzhuang_2020
作者信息	王俊杰 德州市潘庄灌区运行维护中心, 1558412182@qq.com 石慧娟 德州市水利局, 1159045384@qq.com 魏 征 中国水利水电科学研究院, weizheng@iwhr.com 林人财 中国水利水电科学研究院, 190453501@qq.com 王 锦 中国科学院空天信息创新研究院, wangjin@aircas.ac.cn 张 娣 中国水利水电科学研究院, 1945685727@qq.com
地理区域	潘庄灌区 数据年代 2020 年 时间分辨率 12 d
数据格式	.tif、.shp 数据量 压缩后 1.09 GB
数据集组成	潘庄灌区范围数据；潘庄灌区 2020 年 31 期土壤水分数据，时间分辨率为 12 d，空间分辨率为 20 m
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2017YFC0403202）
数据计算环境	ArcGIS10.4，ENVI5.6，SARscape5.4
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据集和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[25]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

4 数据研发方法

4.1 数据来源

所用的数据主要为 Sentinel-1¹数据，为干涉宽幅模式的斜距单视复数影像，C 波段，极化方式为垂直-垂直（Vertical-vertical，VV）、垂直-水平（Vertical-horizontal，VH）极化，多视后空间分辨率为 20 m。其他辅助数据包括 Landsat8²、潘庄灌区边界矢量、90 m 数字高程模型（Digital Elevation Model, DEM）数据³、中国气象局陆面数据同化系统（CMA Land Data Assimilation System, CLDAS）土壤湿度数据⁴。所用 Sentinel-1 数据的具体参数示于表 2。

¹ 欧洲太空局. <https://scihub.copernicus.eu>.

² 美国地质勘探局. <https://www.usgs.gov>.

³ 地理空间数据云. <http://www.gscloud.cn>.

⁴ 国家气象科学数据中心. <http://data.cma.cn>.

表 2 Sentinel-1 数据参数

传感器		获取日期		成像模式	产品类型	多视后分辨率 (m)	波段	极化方式
Sentinel-1	20200105	20200117	20200129	IW	SLC	20	C	VV/VH
	20200210	20200222	20200305					
	20200317	20200329	20200410					
	20200422	20200504	20200516					
	20200528	20200609	20200621					
	20200703	20200715	20200727					
	20200808	20200820	20200901					
	20200913	20200925	20201007					
	20201019	20201031	20201112					
	20201124	20201206	20201218					
	20201230							

4.2 研究方法

技术路线如图 2 所示。本文以时序 Sentinel-1 影像为数据源，以潘庄灌区为研究区，根据雷达后向散射系数对土壤水分敏感这一特性，建立线性回归模型，通过后向散射系数与 CLDAS 土壤湿度数据拟合系数，进而反演得到高空间分辨率土壤水分；同时采用机器学习方法中的支持向量机识别提取研究区农田，得到农田范围，进而得到农田区域土壤水分，这对蓄水管理、干旱预警、灌溉规划等具有重要参考价值。支持向量机（Support Vector Machine, SVM）分类是一种建立在统计学习理论上的机器学习方法，其决策边界是对学习样本求解的最大边距超平面，解决复杂数据分类问题，适用于高维特征空间和小样本统计学习^[26]。

5 数据结果

5.1 数据集组成

数据集由潘庄灌区范围数据、潘庄灌区 2020 年土壤水分数据组成，详细信息见表 3。其中 2020 年潘庄灌区土壤水分数据包含 31 个文件，格式为.tif，时间范围从 2020 年 1 月 5 日至 12 月 30 日，时间分辨率为 12 d，空间分辨率为 20 m，数据单位为 cm^3/cm^3 ，即土壤体积含水量，文件命名方式为 SSM_yyyymmdd.tif，如 SSM_20201230.tif 表示 2020 年 12 月 30 日土壤水分数据。

5.2 数据结果

图 3 为冬小麦、夏玉米生长季不同极化方式土壤水分反演精度对比。在冬小麦季节，是潘庄灌区引黄灌溉的重要时段，土壤水分受灌溉影响较大，夏玉米季节则主要是受降水影响。选择灌区作物生长旺盛的 4 d（冬小麦，2020 年 4 月 10 日、5 月 6 日；夏玉米，2020 年 7 月 27 日、8 月 20 日）进行分析。在冬小麦、夏玉米生长季节，VV 极化与 VH 极化相比，农田后向散射系数较高，高 9–11 db，VV、VH 极化方式的后向散射系数值分布的主要范围分别为（-16，-8）、（-24，-12），不同时期由于降雨或灌溉导致土壤水分状况的差异

性，后向散射系数亦表现出较大差异。由图 3 可知，2020 年 8 月 20 日，VH 极化反演精度略高于 VV 极化；2020 年 4 月 10 日、5 月 6 日和 7 月 27 日，VV 极化反演精度均高于 VH 极化， R^2 分别高 0.118、0.033 和 0.136。因此，选择 VV 极化方式的后向散射系数与 CLDAS 土壤湿度数据建立回归模型进行土壤水分反演。不同作物类型对土壤水分反演结果存在差异，夏玉米生长季节的反演结果优于冬小麦生长季节（夏玉米， $R^2=0.505$ 、0.492；冬小麦， $R^2=0.444$ 、0.345）。

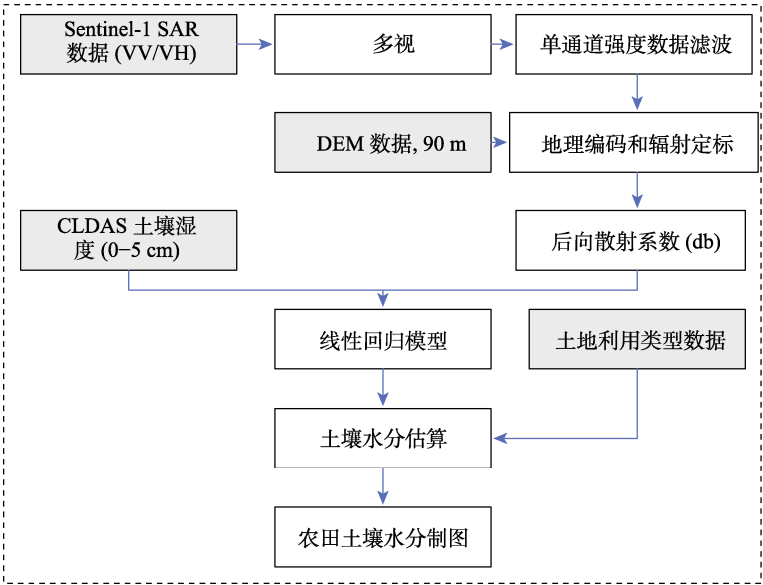


图 2 技术路线

表 3 潘庄灌区 20-m/12-d 土壤水分数据集组成文件简表

数据	数据格式	数据内容	数据量
潘庄灌区范围	.shp	矢量数据	32.60 KB
潘庄灌区 2020 年 31 期土壤水分数据	.tif	土壤水分数据	1.09 GB

图 4 为不同极化方式土壤水分空间分布结果。选择灌区作物生长旺盛的 4 d（卫星过境时间连续，2020 年 7 月 27 日、8 月 8 日、8 月 20 日、9 月 1 日）和 5 km×5 km 空间范围进行分析。由图 4 可知，灌区道路、建筑等地物去除效果明显。两种极化方式下反演所得土壤水分其相关系数 R 介于 0.383–0.525 之间。

图 5 为作物（冬小麦、夏玉米）生长季土壤水分制图，该土壤水分估算方法在潘庄灌区得到应用。图 5a 为潘庄灌区 2020 年 4 月 10 日农田土壤水分制图，土壤水分主要集中在 0.16–0.36 cm³/cm³ 之间；图 5b 为潘庄灌区 2020 年 7 月 27 日农田土壤水分制图，土壤水分主要集中在 0.14–0.28 cm³/cm³ 之间。这与 CLDAS 土壤水分湿度数据趋势基本一致，可为灌区灌溉管理、干旱预测、作物估产等提供参考。

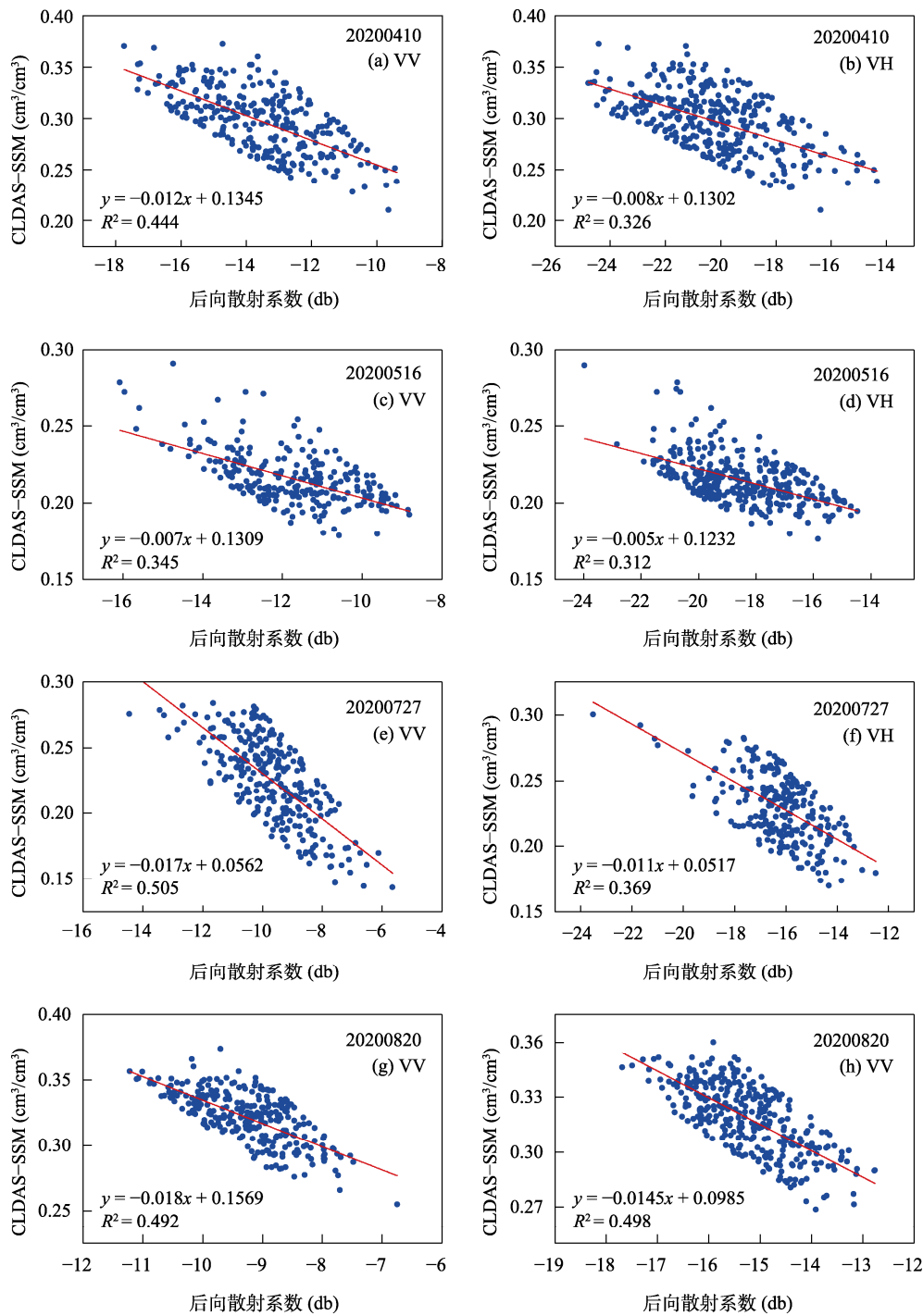


图 3 冬小麦、夏玉米生长季不同极化方式土壤水分反演

6 讨论与总结

Sentinel-1 反演土壤水分的精度表现为 VV 极化优于 VH 极化方式，决定系数 R^2 介于

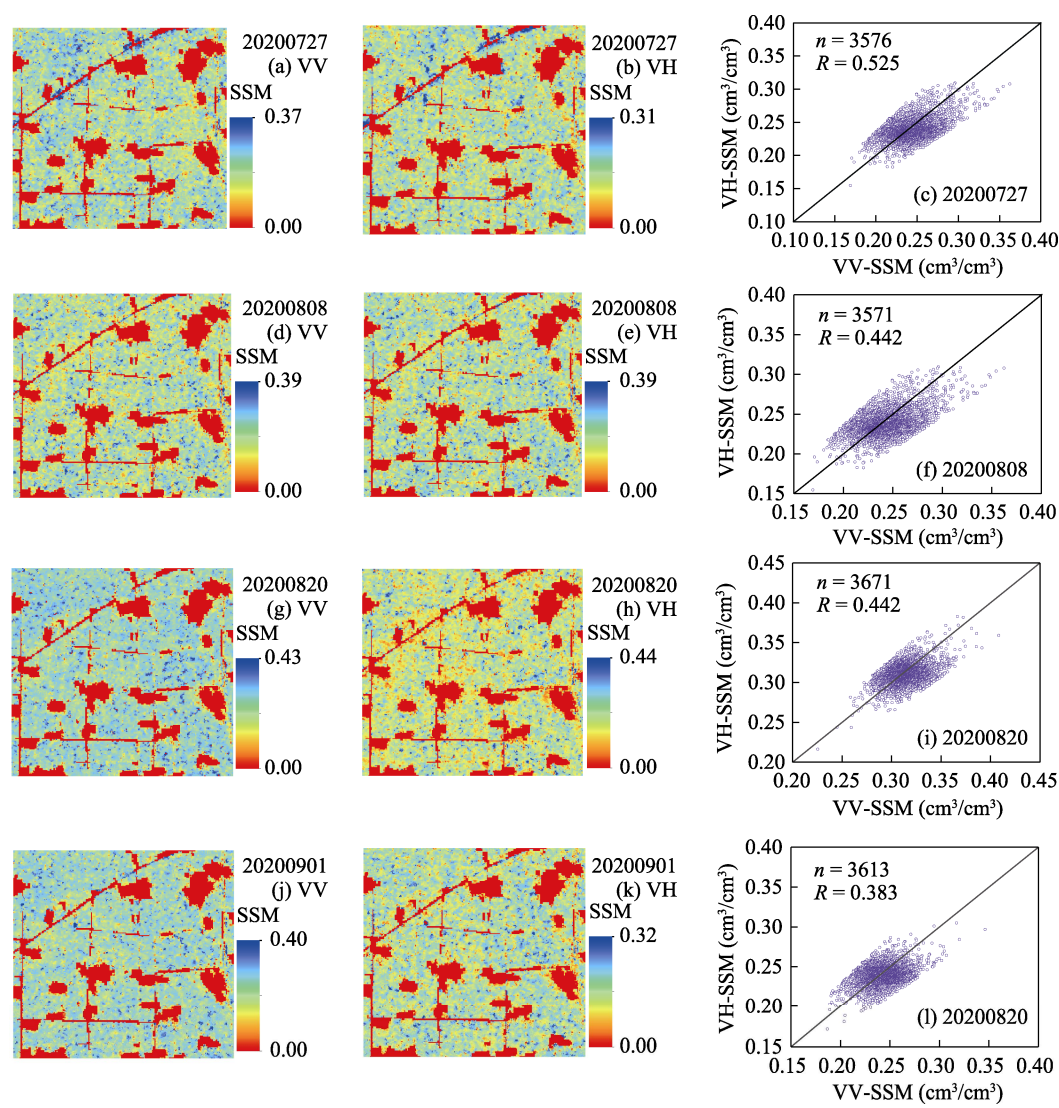


图 4 不同极化方式土壤水分空间分布

0.369–0.508 之间。灌区道路、建筑等地物去除效果明显。两种极化方式下反演所得土壤水分相关系数 R 介于 0.383–0.525。以 CLDAS 土壤湿度数据为参考，将其与 Sentinel-1 影像的后向散射系数建立回归模型。然而， $0.0625^{\circ} \times 0.0625^{\circ}$ 空间分辨率土壤水分栅格像元的空间代表性差异巨大，在下垫面性质复杂的区域尤为显著。Sentinel-1 影像空间分辨率高，在对后向散射系数重采样至与土壤水分栅格数据相同分辨率时，可能会产生一定误差。此外，虽通过反演获得高空间分辨率土壤水分数据，但时间分辨率较低，还不能满足时间连续的要求。下一步，可开展基于站点的土壤水分观测，将其输入反演模型进行求解，可有效降低空间代表性差异的影响；Sentinel-1 数据既可用于土壤水分的反演^[27]，也可用于 SMOS 或 SMAP 土壤水分的降尺度研究^[16]，将来可利用主动和被动微波遥感数据融合方法，获得更高时空分辨率土壤水分。

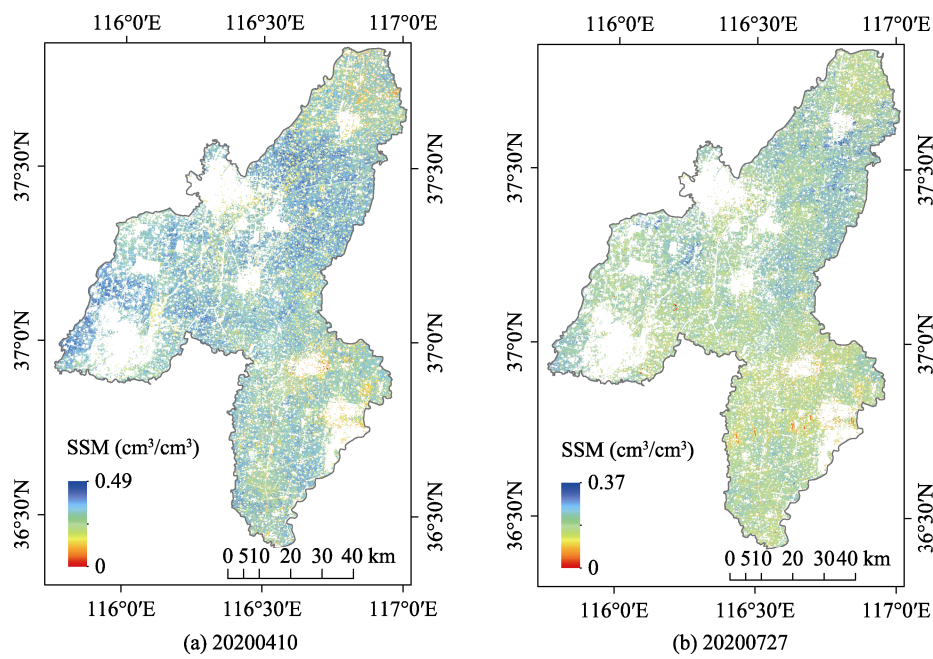


图 5 潘庄灌区作物生长季土壤水分分布图

作者分工：王俊杰对数据集的开发做了总体设计；张娣和石慧娟下载和处理了潘庄灌区遥感数据；魏征设计了模型算法；林人财和王锦撰写了数据论文。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

[1] Alizadeh, M. R., Nikoo, M. R. A fusion-based methodology for meteorological drought estimation using remote sensing data [J]. *Remote Sensing of Environment an Interdisciplinary Journal*, 2018, 211: 229–247.

[2] Dorigo, W., Wagner, W., Albergel, C., *et al.* ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system understanding: State-of-the art and future directions [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 203: 185–215.

[3] Mccoll, K. A., He, Q., Lu, H., *et al.* Short-term and long-term surface soil moisture memory time scales are spatially anticorrelated at global scales [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2019, 20(6): 1165–1182.

[4] Kim, H., Lakshmi, V. Global dynamics of stored precipitation water in the topsoil layer from satellite and reanalysis data [J]. *Water Resources Research*, 2019, 55(4): 3328–3346.

[5] 徐爱珍, 胡建民, 熊永等. TDR 法、干烧法及烘干法测定土壤含水量的比较研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2018, 29(2): 253–256.

[6] 王国帅, 史海滨, 李仙岳等. 基于 HYDRUS-1D 模型的荒漠绿洲水盐运移模拟与评估[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(8): 87–98.

[7] Bai, L. L., Long, D., Yan, L. Estimation of surface soil moisture with downscaled land surface temperatures using a data fusion approach for heterogeneous agricultural land [J]. *Water Resources Research*, 2019, 55(2): 1105–1128.

[8] 郑超磊, 胡光成, 陈琪婷等. 遥感土壤水分对蒸散发估算的影响[J]. *遥感学报*, 2021, 25(4): 990–999.

[9] 谢秋霞, 贾立, 陈琪婷等. 闪电河流域农牧交错带微波遥感土壤水分产品评价[J]. *遥感学报*, 2021, 25(4): 974–989.

[10] Merlin, O., Escorihuela, M. J., Mayoral, M. A., *et al.* Self-calibrated evaporation-based disaggregation of SMOS soil moisture: an evaluation study at 3 km and 100 m resolution in Catalunya, Spain [J]. *Remote*

- Sensing of Environment*, 2013, 130: 25–38.
- [11] Chan, S. K., Bindlish, R., O'Neill, P., *et al.* Development and assessment of the SMAP enhanced passive soil moisture product [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 204: 2539–2542.
- [12] Das, N. N., Entekhabi, D., Dunbar, R. S., *et al.* The SMAP mission combined active-passive soil moisture product at 9 km and 3 km spatial resolutions [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 211: 204–217.
- [13] Zribi, M., Andre, C., Decharme, B. A method for soil moisture estimation in Western Africa based on ERS scatterometer [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2008, 46(2): 438–448.
- [14] Zribi, M., Gorra, A., Baghdadi, N. A new soil roughness parameter for the modelling of radar backscattering over bare soil [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 152: 62–73.
- [15] Gorra, A., Zribi, M., Baghdadi, N., *et al.* Potential of X-Band TerraSAR-X and COSMO-SkyMed SAR data for the assessment of physical soil parameters [J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(1): 747–766.
- [16] Gao, Q., Zribi, M., Escorihuela, M. J., *et al.* Synergetic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for soil moisture mapping at 100 m resolution [J]. *Sensors*, 2017, 17(9): 1966.
- [17] Li, J., Wang, S. Using SAR-Derived vegetation descriptors in a Water Cloud Model to improve soil moisture retrieval [J]. *Remote Sensing*, 2018, 10(9): 1370.
- [18] Bousbih, S., Zribi, M., El Hajj, M., *et al.* Soil moisture and irrigation mapping in a semi-arid region, based on the synergetic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data [J]. *Remote Sensing*, 2018, 10(12): 1953.
- [19] Amazirh, A., Merlin, O., Er-Raki, S., *et al.* Retrieving surface soil moisture at high spatio-temporal resolution from a synergy between Sentinel-1 radar and Landsat thermal data: a study case over bare soil [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 211: 321–337.
- [20] Bao, Y., Lin, L., Wu, S., *et al.* Surface soil moisture retrievals over partially vegetated areas from the synergy of Sentinel-1 and Landsat 8 data using a modified water-cloud model [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018, 72: 76–85.
- [21] Gao, Q., Zribi, M., Escorihuela, M., *et al.* Irrigation mapping using Sentinel-1 time series at field scale [J]. *Remote Sensing*, 2018, 10(9): 1495.
- [22] 李建民, 王俊杰, 晏清洪. 山东省潘庄灌区水土资源平衡分析[J]. 水利发展研究, 2020, 20(9): 47–50, 58.
- [23] 冯云强, 李庆玉, 王合军等. 山东潘庄灌区超声波水位系统组网方案探析[J]. 地下水, 2007(4): 117–118.
- [24] 王俊杰, 石慧娟, 魏征等. 潘庄灌区 20-m/12-d 土壤水分数据集 (2020) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. <https://doi.org/10.3974/geodb.2021.10.08.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2021.10.08.V1>.
- [25] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [26] 张东彦, 戴震, 徐新刚等. 基于时序 Sentinel-2 影像的现代农业园区作物分类研究[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(5): 262–272.
- [27] Yu, F., Zhao, Y. A new semi-empirical model for soil moisture content retrieval by ASAR and TM data in vegetation-covered areas [J]. *Science China Earth Sciences*, 2011, 54(12): 1955–1964.