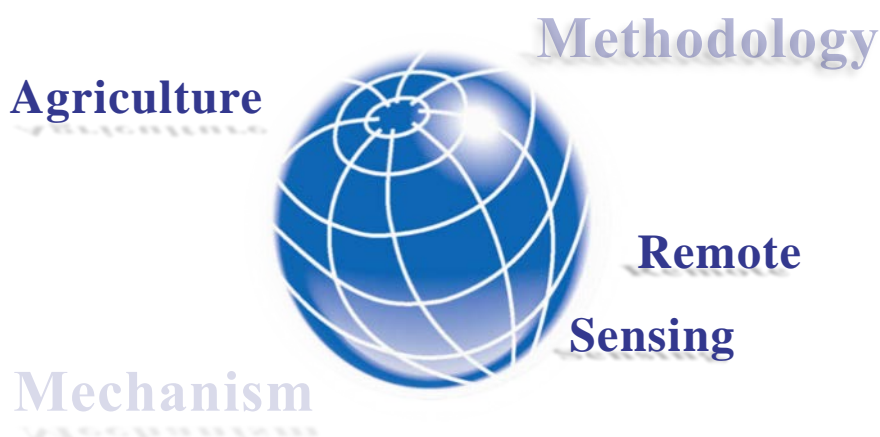


农业遥感机理与方法

简报·202106



中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

创新研究群体项目办公室

创新研究群体项目 农业遥感机理与方法 研究进展

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

创新研究群体项目办公室

2021.06

目 录

目 录.....	I
1、 科研进展概况.....	1
1.1 科技论文.....	1
1.2 授权发明专利.....	2
2、 亮点成果.....	3
2.1 土壤水分遥感反演方法与未来发展趋势综述.....	3
2.2 遥感数据和统计数据协同的农作物空间分布制图新方法.....	3
2.3 区域作物产量模拟的遥感数据同化算法研究.....	4
2.4 利用 MODIS 昼夜瞬时地表温度估算日均地表温度.....	5
2.5 基于各向异性背景误差和时间窗的冬小麦产量同化模拟研究.....	5
2.6 中国稻虾共作发源地时空扩张特征解析.....	6
2.7 耕地利用强度评价指标的复杂性特征研究.....	6
2.8 中国水稻种植北界迁移规律及其驱动机制研究.....	7
2.9 山区地表温度遥感反演.....	7
2.10 Landsat 地表温度产品精度评估.....	8



1、科研进展概况

2021年上半年,创新研究群体项目组成员共发表SCI论文11篇,包含中科院一区7篇,二区4篇,其中第一资助论文10篇,第二资助论文1篇;已授权发明专利4项。

1.1 科技论文

- 1) 论文题目: Soil moisture retrieval from remote sensing measurements: Current knowledge and directions for the future
发表期刊: *Earth-Science Reviews* (IF=12.413, 中科院一区)
年期卷号: 2021, 218, 103673
资助顺序: 第一资助
- 2) 论文题目: Integrating coarse-resolution images and agricultural statistics to generate sub-pixel crop type maps and reconciled area estimates
发表期刊: *Remote Sensing of Environment* (IF= 10.164, 中科院一区)
年期卷号: 2021, 258, 112365
资助顺序: 第一资助
- 3) 论文题目: Regional winter wheat yield estimation based on the WOFOST model and a novel VW-4DEnSRF assimilation algorithm
发表期刊: *Remote Sensing of Environment* (IF: 10.164, 中科院一区)
年期卷号: 2021, 225, 15, 112276
资助顺序: 第一资助
- 4) 论文题目: Estimation of daily mean land surface temperature at global scale using pairs of daytime and nighttime MODIS instantaneous observations
发表期刊: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (IF=8.979, 中科院一区)
年期卷号: 2021, 178, 51-67
资助顺序: 第一资助
- 5) 论文题目: Estimating winter wheat yield by assimilation of remote sensing data with a four-dimensional variation algorithm considering anisotropic background error and time window
发表期刊: *Agricultural and Forest Meteorology* (IF=5.734, 中科院一区)
年期卷号: 2021, 301-302: 108345
资助顺序: 第一资助
- 6) 论文题目: Understanding the dynamics of integrated rice-crawfish farming in Qianjiang county, China using Landsat time series images
发表期刊: *Agricultural Systems* (IF=5.37, 中科院一区)
年期卷号: 2021, 191: 103167

- 资助顺序：第一资助
- 7) 论文题目：The complexity of measuring cropland use intensity: An empirical study
发表期刊： *Agricultural Systems* (IF=5.37, 中科院一区)
年期卷号： 2021, 192: 103180
资助顺序： 第一资助
- 8) 论文题目： Climate-mediated dynamics of the northern limit of paddy rice in China
发表期刊： *Environmental Research Letters* (IF=6.793, 中科院二区)
年期卷号： 2021, 16, 064008
资助顺序： 第一资助
- 9) 论文题目： Retrieval of land surface temperature with topographic effect correction from Landsat 8 thermal infrared data in mountainous areas
发表期刊： *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* (IF=5.6, 中科院二区)
年期卷号： 2021, 59(8), 6674-6687
资助顺序： 第一资助
- 10) 论文题目： Global assessments of two blended microwave soil moisture products CCI and SMOPS with in-situ measurements and reanalysis data
发表期刊： *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (IF: 5.933, 中科院二区)
年期卷号： 2021, 94, 102234
资助顺序： 第一资助
- 11) 论文题目： Validation of Landsat land surface temperature product in the conterminous United States using in situ measurements from SURFRAD, ARM, and NDBC sites
发表期刊： *International Journal of Digital Earth* (IF: 3.538, 中科院二区)
年期卷号： 2021, 14, 5, 640-660
资助顺序： 第二资助

1.2 授权发明专利

- 1) 专利名称： 一种山地地表温度遥感反演方法
专利号： ZL202011153753.8
- 2) 专利名称： 一种耕地制图方法
专利号： ZL201810033690.9
- 3) 专利名称： 一种虾稻共作空间分布信息获取方法
专利号： ZL201910076852.1



4) 专利名称: 一种不同生育阶段麦类作物覆盖区域土壤水分反演方法

专利号: ZL201811359711.2

2、亮点成果

2.1 土壤水分遥感反演方法与未来发展趋势综述

作为地球系统关键组成部分之一, 土壤水分深度参与一系列重要的地球生物化学过程, 是驱动地球水分、能量和碳三大循环系统的枢纽, 更是农业领域高度关注的参数之一。遥感技术的发展, 为获取区域乃至全球长时序土壤水分数据提供了可能。近半个世纪以来, 国内外学者围绕土壤水分遥感反演开展了大量卓有成效的研究, 创建了众多广为应用的模型与方法。然而, 受数据源、模型假设条件等因素限制, 目前土壤水分遥感反演方法仍然存在诸如反演精度不足、时空分辨率难以兼顾、以及数据一致性较差等亟需解决的问题。此外, 针对具体的应用场景, 亟需理清土壤水分遥感反演方法研究的未来发展趋势。

针对上述问题, 项目组从现有主流土壤水分遥感反演方法入手, 全面总结这些方法的基础理论, 深入剖析其优缺点并有针对性地指出其潜在的研究方向。通过对可见光/近红外、热红外以及主被动微波土壤水分反演方法的综合梳理, 尤其是重点介绍了项目组在时间信息土壤水分反演与全天候土壤水分反演方面的最新成果, 指出未来土壤水分遥感研究应该重点关注多源遥感协同的土壤水分反演、根层土壤水分反演、以及不依赖于辅助数据的土壤水分反演。同时, 针对现有土壤水分遥感反演结果验证的目标精度指标以及真实性检验缺乏的问题, 提出了相应的解决思路。相关成果发表于国际顶级地学期刊《Earth-Science Reviews》。

代表性成果: Soil moisture retrieval from remote sensing measurements: Current knowledge and directions for the future. *Earth-Science Reviews*, 2021, 218, 103673. (IF=12.413, 中科院一区)

2.2 遥感数据和统计数据协同的农作物空间分布制图新方法

农作物空间分布图是科学掌握区域农业生产状况、优化农业资源配置利用、调整农作物种植结构的重要基础。中低空间分辨率遥感数据(如 MODIS)是区域农作物空间分布制图或种植结构监测中广泛使用的数据源, 其具有观测幅宽大、谱段多和时频高等特点, 可以较好地刻画复杂种植结构下农作物的生长发育物候特征。然而, 其较粗的空间分辨率常带来混合像元的问题, 分类中训练样本、大气干扰、影像预处理、机器学习算法等也有很多不确定性, 这些都显著限制了农作物空间分布制图精度。农作物统计数据也常在农作物空间分布制图中得到应用, 虽难以刻画农作物详细的空间分布信息, 但在作物类型和数量特征描述, 以及时间连续性表达等方面具有独特优势。已有的研究多是将统计数据作为外部参考数据, 应用于遥感制图结果验证和精度评价, 统计数据没有参与到遥感制图的关键环节中, 并没有实现遥感数据和统计数据的真正协同。

针对这一问题，项目组从充分挖掘中低分辨率遥感影像和农业统计数据的优势出发，联合提出了协同这两类数据的农作物亚像素制图新方法。该方法首先基于随机森林回归模型，提出了“向后特征剔除法”，自动筛选出作物识别的最佳光谱-时相特征组合，提高作物丰度遥感估算精度；其次，引入作物面积统计数据，计算遥感分类结果与统计数据的面积差，提出了面积差空间迭代分配新方法（IAGSA），进行面积差空间像元合理分配，实现遥感分类的作物丰度结果精化。项目组以我国最大商品粮基地—黑龙江省为研究区域，以主要农作物（水稻、玉米和大豆）为研究对象，对方法可靠性和稳定性进行了验证。结果表明：基于时序 MODIS 生成的亚像素作物分布图与中高分辨率参考图的空间一致性达 0.75；利用 IAGSA 优化得到的农作物亚像素制图结果，不仅在数量上与统计数据的一致性显著提升，而且也保留了遥感制图结果的空间分布特征。IAGSA 策略具有明显的尺度效应，即统计数据的空间尺度越小，优化的遥感结果的空间异质性越大。该方法充分挖掘了遥感数据和统计数据协同利用的优势，一方面提升了中低分辨率遥感数据作物空间分布制图的精度，可为我国大区域“作物一张图”研制提供新支撑；另一方面丰富和发展了遥感数据源和非遥感数据源融合的技术方法，可为多源数据的协同融合提供新参考。相关成果发表于国际顶级遥感学术期刊《Remote Sensing of Environment》。

代表性成果： Integrating coarse-resolution images and agricultural statistics to generate sub-pixel crop type maps and reconciled area estimates. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 258, 112365. (IF= 10.164, 中科院一区)

2.3 区域作物产量模拟的遥感数据同化算法研究

为了充分发挥作物生长模型机理性强、时间连续、遥感数据空间连续等优势，进一步提高基于遥感信息与生长模型同化的区域作物单产定量模拟与估算精度，考虑到大范围作物模型参数获取和校正存在一定困难，常用的卡尔曼滤波同化算法存在不收敛、奇异值等不足，四维变分算法存在背景误差为固定值等缺陷，所构建的作物估产同化系统不能完全满足作物生长时空变异客观存在所需的高精度模拟要求。基于此，本项目提出了一种基于四维扩展和可变时间窗口的集合平方根滤波新同化算法 VW-4DEnSRF，在对作物生长模型参数敏感性分析和参数校正基础上，成功构建了基于 WOFOST 作物生长模型和 VW-4DEnSRF 新算法的作物估产同化系统。最终，以河北省衡水市为研究区，以冬小麦为研究对象，将 GF-1 和 HJ-1 国产卫星数据反演的叶面积指数信息作为外部遥感同化数据，在最优尺度网格下利用构建的作物估产同化系统实现了区域冬小麦产量定量模拟和估算。结果表明，衡水市冬小麦的单产模拟平均值为 $6787 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ，单产模拟平均值和官方统计值间的 RMSE 和 RE 分别为 $416.7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 和 4.56%，证明了所提数据同化新算法及同化系统在大范围作物单产定量模拟中的具有一定可行性和有效性。相关成果发表于国际顶级遥感学术期刊《Remote Sensing of Environment》。

代表性成果： Regional winter wheat yield estimation based on the WOFOST model and a novel



VW-4DEnSRF assimilation algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 225, 15, 112276. (IF: 10.164, 中科院一区)

2.4 利用 MODIS 昼夜瞬时地表温度估算日均地表温度

地表温度 (Land Surface Temperature, LST) 及其年变化或年际变化在气候变化、城市热岛以及陆地-大气能量交换等研究中扮演着重要角色。自遥感技术兴起以来,卫星传感器积累了大量的热红外数据并得到了广泛的研究与应用。卫星传感器获取的是瞬时地表温度,而在气候变化、水文学等研究中,每日、每月或每年的平均地表温度比瞬时地表温度更令人关注,因为它们是长期监测全球温度变化的关键指标。此外,卫星的重返周期和云的遮挡会造成地表温度数据的严重缺失,不利于计算日、月平均地表温度。

针对上述问题,项目组提出了一种基于 MODIS 每日瞬时 LST 产品估算日均 LST 的实用方法。基于全球分布的 235 个地面站点的实测 LST, 不同 MODIS 观测时刻(至少一个白天和一个夜间观测)的 2 到 4 个有效瞬时 LST 的多元线性回归(共 9 种组合)可以精确估算日均 LST, RMSE 值小于 1.60 K。随后提出了以 MODIS 瞬时 LST 产品估算空间覆盖最为完整的日均地表温度产品流程, 计算得到的 MODIS 日均 LST 产品成功应用于 LST 年变化模型(ATC), 得到年均 LST、LST 年变化振幅和相位。这项研究结果表明, 可以从 MODIS 昼夜 LST 的组合可以准确地估算出日平均 LST, 研究结果将有助于分析全球 LST 变化趋势和气候变化趋势。相关成果发表于国际顶级遥感学术期刊《ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing》。

代表性成果: Estimation of daily mean land surface temperature at global scale using pairs of daytime and nighttime MODIS instantaneous observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2021, 178, 51-67. (IF=8.979, 中科院一区)

2.5 基于各向异性背景误差和时间窗的冬小麦产量同化模拟研究

为进一步提高区域冬小麦产量模拟精度, 本研究基于 En4DVar 算法, 通过引入变化时间窗构建了具有各向异性背景误差和时间窗的四维变分 (ABT-4DVar) 算法。在单点尺度和典型试验区区域尺度进行了算法对比, 有效验证了所构建 ABT-4DVar 算法的有效性和可行性。在此基础上, 基于 WOFOST 作物模型, 将 ABT-4DVar 算法应用于衡水市冬小麦产量模拟系统中, 以官方统计数据为验证数据对冬小麦产量估模拟精度进行验证。结果表明, 衡水市冬小麦产量估算平均值与官方统计值之间的相对误差为 3.18%, 衡水市 11 个县的冬小麦产量估算平均值与官方统计值之间的相对误差均在 14.80% 以内。由此可以看出, ABT-4DVar 算法在区域产量估算中具有良好的性能, 该同化算法可为作物生长评价和产量模拟提供技术支持。相关成果发表于国际顶级农林科学类学术期刊《Agricultural and Forest Meteorology》。

代表性成果: Estimating winter wheat yield by assimilation of remote sensing data with a four-dimensional variation algorithm considering anisotropic background error and time window.

2.6 中国稻虾共作发源地时空扩张特征解析

作物生产与水产养殖相结合,可以缓解农业用地紧张、提高农田生产力和经济效益。通过生态系统相辅相成,稻田综合种养模式可促进农田系统的整体活力,提供生物防治、固氮等生态服务,对农业可持续发展,维持生物多样性发挥着重要作用。稻虾共作是一种水稻和小龙虾复合养殖模式,已成为中国众多稻田综合种养模式中的新兴农业生态系统。及时准确理解稻虾共作的扩张特征,对提出有效的规划管理策略,促进稻虾共作可持续发展具有重要意义。然而,目前仍然缺少关于稻虾共作系统的空间范围和动态变化的详细信息。

项目组利用稻虾共作水体季相差异构建面向对象的稻虾共作提取方法,并基于时序 Landsat 影像提取潜江市 2013 年-2018 年稻虾共作时空分布。研究表明,潜江市稻虾共作农田的面积呈持续增长态势。空间分布主要位于以传统水稻田为主的潜江市西南部,发展后期出现通过改造旱地向北部扩展的趋势。不同农业生产管理模式,即国有农场管理和小农农业经营之间的稻虾共作发展特征存在差异。国有农业引领区域的稻虾共作发展,表现为研究时段前期的空间分布迅速扩张,但随后逐渐饱和。小农耕作区的稻虾共作在研究阶段后期的发展速度逐渐加快。相关成果发表于国际顶级农林科学学术期刊《*Agricultural Systems*》。

代表性成果: Understanding the dynamics of integrated rice-crawfish farming in Qianjiang county, China using Landsat time series images. *Agricultural Systems*, 2021, 191: 103167. (IF=5.37, 中科院一区)

2.7 耕地利用强度评价指标的复杂性特征研究

提高耕地利用强度 (cropland use intensity) 可在不扩大耕地面积的情况下增加粮食产量。已有研究大多利用单一指标衡量耕地利用强度,较少考虑不同指标之间的相互关系。例如,耕地复种频率与耕地生育期长度都是反映耕地利用强度的重要指标,但由于作物类型的多样性以及农户作物选择行为的复杂性,复种频率高的耕地地块是否全过程累积的生长期天数也一定多?是否存在不同指标反映耕地利用强度信息不一致的情况?这种指标间的(不)一致性在区域上表现为何种特征?等问题还未得到关注,这导致不同耕地集约化利用路径的权衡协同关系无法科学认知。

针对这些问题,项目组聚焦鄱阳湖主要产粮区江西省进贤县,融合高时间分辨率 MODIS 与高空间分辨率 GF 遥感影像,准确获取研究区 2015 年度地块尺度耕地复种频率与耕地生育期天数信息,并针对二者开展多维度关联分析。研究表明:研究区一年三熟耕地地块的生育期集中在 300 天左右,两个指标反应的耕地利用强度均很高;但一年一熟和一年二熟耕地地块对应的生育期天数在 170—210 天之间存在明显的重叠,其中约三分之一耕地地块在关联对比复种频率与生育期天数时表现出完全相反的耕地利用强度特征。该研究通过实际案例分析,系统验证了不同指标衡量耕地利用强度可能存在不一致性这一科学假说,揭示了



耕地利用强度评价体系的复杂性特征。未来有必要深入研究不同耕地集约化利用路径的权衡协同关系，服务制定面向特定发展目标的耕地集约化利用政策措施。相关成果发表于国际顶级农林科学学术期刊《Agricultural Systems》。

代表性成果：The complexity of measuring cropland use intensity: An empirical study. *Agricultural Systems*, 2021, 192: 103180. (IF=5.37, 中科院一区)

2.8 中国水稻种植北界迁移规律及其驱动机制研究

农作物时空格局动态变化规律、过程和机理研究是气候变化与可持续科学领域的研究热点。受气候变化及社会经济发展等诸多因素的影响，中国水稻空间格局发生了显著变化。水稻种植北界作为水稻种植的最北部界限，受自然环境的影响较大，对气候变化最为敏感，探究水稻种植北界的迁移规律及机制有助于深刻理解水稻种植与气候变化的交互作用，对调整水稻空间布局及确保粮食安全具有重要意义。但目前相关研究主要集中于两方面，一是基于气象条件模拟的水稻适宜种植北界，其难以体现气候变化与水稻实际种植的交互作用；二是基于水稻分布对水稻种植北界的定性分析，其缺乏对水稻种植北界的变化规律及驱动机制的定量评估。

针对这一问题，项目组基于中高空间分辨率遥感影像反演的长时间序列水稻时空分布数据集，利用核密度估计算法提取并定量分析了水稻种植北界的分布及演变规律。应用空间面板模型，解析了水稻空间格局演变的驱动机制。研究发现过去三十年间，中国水稻种植北界呈显著地向高纬度、高海拔地区迁移的趋势。其中，向高纬度地区平均迁移了 24.93 km，最大迁移距离为 88.01 km；向高海拔地区平均迁移了 39.15 m，最大迁移距离为 117.08m。社会经济因素（例如，收益、农业政策、灌溉条件、旱育稀植技术）对水稻种植北界区域水稻扩张有一定的促进作用，其中增温对水稻种植北界区域水稻扩张的驱动作用最强（平均温度每升高 1%，水稻种植北界区域的水稻种植面积将增加 2.24%）。这意味着温度升高使得水稻适宜种植区向高纬度地区扩张，而经济驱动及技术的进步使得水稻种植北界北移从而适应气候变化。相关成果发表于环境科学类期刊《Environmental Research Letters》。

代表性成果：Climate-mediated dynamics of the northern limit of paddy rice in China. *Environmental Research Letters*, 2021, 16, 064008. (IF=6.793, 中科院二区)

2.9 山区地表温度遥感反演

地表温度是评估地表能量动态平衡的重要参数，被广泛应用于生态环境监测、植被蒸散发以及全球气候变化等多个研究领域。当前的地表温度反演工作多集中在平坦地面，而山区地表的几何结构较为复杂，受坡度和坡向等地形因素的影响，其热辐射能量传输方式发生改变，此时传统的热辐射传输方程不再适用。

针对目前山区等地形复杂区地表温度反演研究缺失的现状，在传统热辐射传输模型的基

基础上添加坡度、坡向和天空可视因子等地形参数，项目组首先构建了既遵循热辐射能量传输机理又顾及特殊地形结构的山区热辐射传输模型。其次，定量分析了由于山区地形影响而减少的大气下行辐射和增加的邻近地形辐射对山区地表温度反演的影响。然后，使用高分辨率 Landsat8 卫星数据，挑选青藏高原为研究区域，采用单通道算法反演地表温度。结果表明，在山谷等地势较低的区域，不考虑地形影响的传统单通道地表温度反演模型可高估地表温度 1K；当天空可视因子小于 0.7 时，山区地表温度反演必须考虑地形效应校正。最后，利用国际上先进的三维辐射传输模型（DART）对所构建的山区热辐射传输模型进行了交叉验证。结果显示，两个模型之间具有较好一致性，均方根误差小于 0.23 K。相关成果发表于国际顶级遥感学术期刊《IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing》。

代表性成果： Retrieval of land surface temperature with topographic effect correction from Landsat 8 thermal infrared data in mountainous areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2021, 59(8), 6674-6687. (IF=5.6, 中科院二区)

2.10 Landsat 地表温度产品精度评估

地表温度是区域和全球尺度上地表能量收支和水循环过程的关键参数，已被广泛用于包括蒸散发、土壤水分估算、城市热环境监测以及作物水分胁迫等各种应用中。长时间序列地表温度数据对气候变化的监测至关重要。自 1982 年以来，Landsat 系列卫星传感器不断获取地球表面的热红外影像，并使用单通道算法生成了标准的地表温度产品。目前，Landsat 地表温度产品已经积累了超过 38 年的数据，可用于长时间序列分析，例如干旱监测和城市热岛研究。在应用地表温度产品之前，需要对产品的不确定性有很好的了解。Landsat 地表温度产品的验证不仅为用户提供产品的不确定性情况，而且还为产品的生产方提供一定的反馈，以帮助地表温度产品进行改进。然而，目前的研究只对 Landsat 5 和 7 卫星的地表温度产品进行了一些初步验证，Landsat 8 的地表温度产品在相关的研究中并未得到验证。此外，之前的相关研究也没有对 Landsat 5、7 和 8 卫星的地表温度产品进行一致性的评估。

针对这一问题，项目组使用 6 个 SURFRAD 地表辐射收支网络站点、6 个 ARM 大气辐射测量站点以及 9 个 NDBC 国家数据浮标中心站点的实测数据对 Landsat 5、7 和 8 卫星的地表温度产品进行验证。研究发现在 2009 到 2019 年间，由于使用了相同的地表温度反演算法、大气补偿和地表发射率校正方法，对于大多数站点，Landsat 5、7 和 8 卫星的地表温度产品之间具有相对一致性。但是，在一些植被覆盖的站点，随着归一化植被指数的增加，地表发射率保持不变。由于地表发射率的估算错误，导致这些站点处的地表温度产品具有较大的偏差。除了这些地表发射率估算错误的站点以外，Landsat 地表温度产品和站点实测地表温度之间的平均偏差和均方根误差在没有雪覆盖的地表上为 1.0 K 和 2.1 K，在雪覆盖的地表上为 -1.1 K 和 1.6 K，在水体表面上为 -0.3 K 和 1.1 K。相关成果发表于学术期刊《International Journal of Digital Earth》。



代表性成果: Validation of Landsat land surface temperature product in the conterminous United States using in situ measurements from SURFRAD, ARM, and NDBC sites. *International Journal of Digital Earth*, 2021, 14, 5, 640-660. (IF: 3.538, 中科院二区)



中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

创新研究群体项目办公室

地址：北京市海淀区中关村南大街 12 号资划所资源楼 604 室

邮编：100081

联系电话：010-82105050