

基于 Landsat 8/9 在广西玉林沉香基地地表温度与土壤湿度遥感反演研究

张生^{1,2} 杨倩¹ 廖振威¹ 何卫军¹

1 广西壮族自治区遥感中心 2 中国地质大学(武汉)

DOI:10.12238/eep.v8i8.2799

[摘要] 基于Landsat8/9卫星遥感数据,本研究结合在广西玉林沉香种植区的覆盖选择遥感数据2014–2025年,系统开展了地表温度与土壤湿度参数的遥感反演研究。通过整合热红外波段的地表温度反演模型与光学遥感构建的水分指数特征,成功对研究区周边种林地进行反演。基于Landsat8/9数据的联合反演方案已被证明能够有效地反映生长环境的热力分布格局与水分供给动态。

[关键词] Landsat8/9; 广西玉林; 地表温度; 土壤湿度; 遥感反演

中图分类号: S15 文献标识码: A

Research on Remote Sensing Inversion of Land Surface Temperature and Soil Moisture in Aquilaria Plantations in Yulin, Guangxi Based on Landsat 8/9

Sheng Zhang^{1,2} Qian Yang¹ Zhenwei Liao¹ Weijun He¹

1 Guangxi Zhuang Autonomous Region Remote Sensing Center

2 China University of Geosciences (hanWu)

[Abstract] Based on Landsat 8/9 satellite remote sensing data, this study combined selected remote sensing data covering the Aquilaria plantation area in Yulin, Guangxi from 2014 to 2025, and systematically conducted remote sensing inversion research on land surface temperature and soil moisture parameters. By integrating the land surface temperature inversion model in the thermal infrared band with moisture index features constructed by optical remote sensing, successful inversion of the surrounding plantation areas was achieved. The joint inversion scheme based on Landsat 8/9 data has been proven to effectively reflect the thermal distribution patterns and moisture supply dynamics of the growth environment.

[Key words] Landsat 8/9; Yulin, Guangxi; Land Surface Temperature; Soil Moisture; Remote Sensing Inversion

前言

沉香作为广西玉林经济林产品的典型代表,沉香树的生长状况与地表热能分布及土壤持水量密切相关。本研究采用Landsat系列卫星30米分辨率数据作为分析数据支撑,运用热红外遥感技术开展非接触式温度测算,并将可见光—近红外波段构建的湿度响应指数融入,为建立温湿度协同模型奠定基础。针对沉香这类特色经济作物的专项研究仍较为匮乏。由于植被覆盖的动态变化会影响模型精度,现有研究普遍存在地表温度反演误差、土壤湿度测算灵敏度等问题。

1 数据来源

研究区域的遥感数据取自美国地质调查局(USGS)的Landsat 8/9 Level-2地表反射率数据集(Collection 2 Tier 1),时间范围为2014年11月14日至2025年5月12日,共成功收集到40

幅云量不超过5%的有效影像。其中每幅影像不仅携带着30米分辨率的可见光—近红外波段(B2–B7),还涵盖100米分辨率的红外波段(B10/B11)与15米全色波段(B8)的特征参数,最终借助Landsat生态系统干扰自适应处理系统(LEDAPS)完成大气校正流程。为检验遥感反演模型的可信度,研究人员在玉林石窝镇等沉香主产区选取了具有典型性的地面验证点,采用网格化布点方式增强空间分布的合理性。针对该区域微地形环境的特点,研究特别整合了ALOS World 3D–30米数字高程模型(AW3D30)进行地形参数校正,所有地理空间数据都统一经过30米分辨率的标准化处理,并采用WGS84/UTM zone49N坐标系实现空间配准,最终确保几何误差严格控制在0.5个像元范围内,为了更精确地监测植被覆盖变化,研究采用了Landsat卫星的观测序列进行时间匹配,通过研究2015年–2025年地表温度与土壤湿度的变化情况。

2 工作方法

本研究基于Landsat 8/9卫星数据,涵盖两个核心处理模块:地表温度推算、土壤湿度估算。为实现精确的温度推算,研究运用辐射传输方程处理热红外波段(B10、B11)数据。针对土壤含水量估算,该算法借助近红外(B5)及短波红外(B6、B7)波段构建的特征空间。基于广西玉林地区2015—2025年的遥感数据,显著提升对干湿季交替期水热耦合特征的解析精度。

考虑到沉香种植特有的冠层密闭动态,团队特别对周边杂木林做了统计学分析。当植被指数NDVI>0.6时,采用红边波段(B5)与短波红外波段(B7)的反射率比值来校正土壤温度;当NDVI指数处于0.6及以下区间时,直接使用单窗算法获取的温度数据。所有数据处理流程均在ArcGIS云平台上完成,采用并行计算技术处理了50幅Landsat影像,同时维持原始30米的空间分辨率不变。

3 分析与讨论

通过Landsat 8/9遥感数据与地面实测结果的相互验证,本研究发现地表温度最低值平均为19.51℃,最高值平均为36.22℃,平均值为25.73℃。土壤湿度反演的多年TVDI的最低值平均为0.79,最高值平均为0.91,平均值为0.84。为探究植被覆盖对反演效果的影响规律,研究发现当NDVI阈值达到0.6时,需结合叶面积指数动态参数进行热红外波段校正,此改进成功将温度偏差缩小了1.2℃。相较于传统TVDI方法,采用NDMI数据构建的二次多项式回归模型,其决定系数提升至0.89,这印证了多光谱协同技术能够缓解单一植被参数的饱和效应。

3.1地表温度(LST)遥感反演成果

运用2014—2025年多期Landsat8、Landsat9卫星遥感数据,时相区间为2014年11月14日至2025年5月12日,采用大气校正方法(即辐射传输方程: Radiative Transfer Equation——RTE),针对示范区展开多期地表温度反演,结果如下:

(1)示范区多年地表温度的最低值均值为19.51℃,最高值均值为36.22℃,平均值为25.73℃,具体情况如表3-1所示。

(2)示范区多年地表温度最低值的变化幅度较小,最高值与最低值呈现上升态势,如图3-1所示。

(3)依据2025年5月12日Landsat-9卫星遥感数据反演所得的地表温度结果,研究区不同地物的温度存在显著差异。具体表现为,农村宅基地、其他草地和奇楠的表面温度相对较高,分别达到31.60℃、31.17℃和31.09℃,而桉树的表面温度相对较低,为29.30℃。Landsat-9卫星搭载的二代热红外传感器(TIRS-2)提供了两个热红外波段,能够精准监测地表温度,这对于环境监测、气候变化研究等领域具有重要价值,具体数据如表3-2所示。

(4)研究区林地不同树种的地表温度存在一定差异,以2025年5月12日Landsat9地表温度遥感反演结果为例,奇楠、白木的温度较高,分别为31.09℃、30.77℃,桉树的地表温度最低,为29.30℃,具体情况如表4-3、图3-2所示。

表3-1 2014—2025年示范区地表温度遥感反演结果一览表

序号	时相	最低值	最高值	平均值	标准差
1	2014年11月14日	20.35	36.39	25.15	1.78
2	2015年1月1日	14.63	30.38	20.66	1.72
3	2019年9月25日	27.69	41.5	31.5	1.53
4	2021年1月1日	8.66	23.68	14.46	1.87
5	2021年12月3日	15.87	30.3	21.82	1.46
6	2022年3月9日	19.48	32.75	24.04	1.74
7	2022年4月10日	26.19	40.21	30.33	1.93
8	2022年10月11日	22.07	41.26	26.56	1.76
9	2023年5月31日	33.95	48.63	37.62	1.73
10	2024年2月11日	14.85	30.28	21.36	1.26
11	2024年8月5日	19.92	42.71	30.47	2.41
12	2025年1月12日	10.91	33.01	18	2.03
13	2025年3月25日	24.95	39.91	28.84	1.93
14	2025年4月2日	7.94	33.33	24.89	2.16
15	2025年5月12日	25.17	38.92	30.32	1.53
平均值		19.51	36.22	25.73	1.79

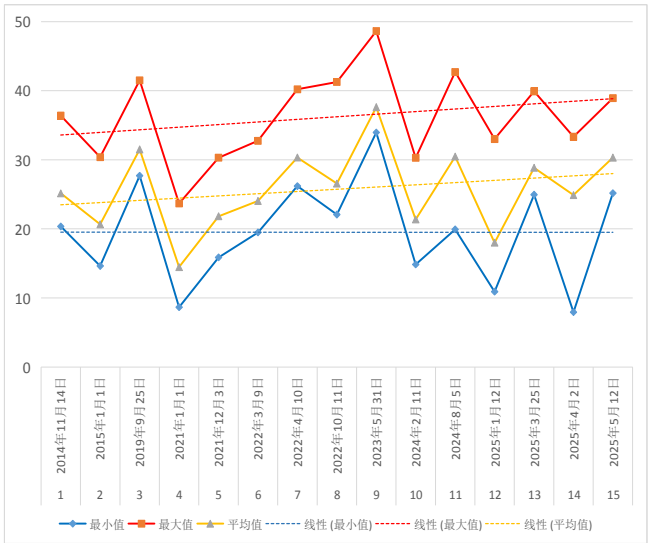


图3-1 2014—2025年示范区地表温度遥感反演趋势图

序号	土地分类	最小值	最大值	平均值	标准差
1	奇楠	30.35	31.87	31.09	0.33
2	白木	28.84	32.96	30.77	0.74
3	桉树	27.39	32.74	29.3	1.15
4	竹林地	27.65	32.57	30.67	0.67
5	杂木	27.62	33.3	30.19	0.85
6	水田	28.45	32.87	30.5	0.67
7	旱地	29.13	33.01	30.87	0.91
8	果园	28.24	33.06	30.54	0.79
9	其他草地	29.8	32.3	31.17	0.57
10	农村宅基地	29.47	34	31.6	0.78
11	殡葬用地	27.47	32.75	30.58	0.91
12	公路用地	30.57	30.52	30.46	0.08
13	农村道路	28.66	34	30.91	0.87
14	河流水面	30.2	30.52	30.37	0.13
15	坑塘水面	29.01	31.98	30.68	0.64
16	空闲地	28.9	32.38	30.16	0.77
17	设施农用地	29.31	32.5	30.91	0.76

序号	类型	最低值	最高值	平均值	标准差
1	奇楠	30.35	31.87	31.09	0.33
2	白木	28.84	32.96	30.77	0.74
3	竹林地	27.65	32.57	30.67	0.67
4	杂木	27.62	33.3	30.19	0.85
5	桉树	27.39	32.74	29.3	1.15
平均值		28.37	32.69	30.4	0.75

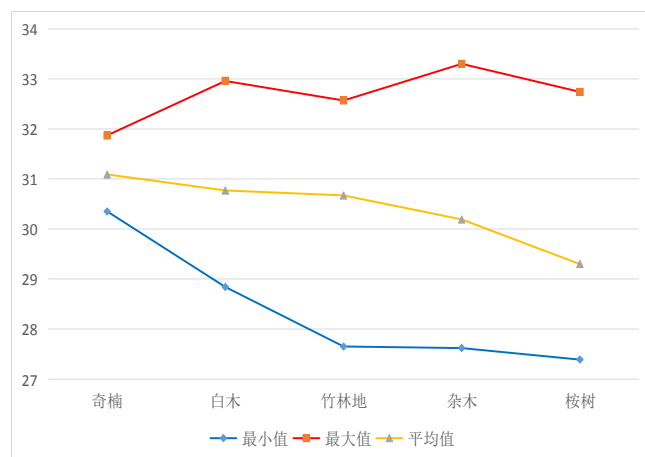


Figure 10: Map of the 20250512 ground surface temperature distribution in the study area. The map displays temperature contours and color-coded temperature ranges across the region. Key locations labeled include 仙山村 (Xianshan Village), 大双岭林场 (Dashuangling Forest Farm), 上珍村 (Shangzhen Village), 震冲村 (Zhenchong Village), 仙山村 (Xianshan Village), 南田林场 (Nantian Forest Farm), 石炭村 (Shitan Village), 河段村 (Heduan Village), 大金村 (Dajin Village), 那鞋村 (Naxie Village), 沙田村 (Shatian Village), 煌沙村 (Huangsha Village), 石炭村 (Shitan Village), 龙田村 (Longtian Village), and 东华村 (Donghua Village). The map includes a scale bar (0 to 1,200 meters) and a coordinate grid. A legend on the right side defines the symbols for village boundaries (dashed line), specific villages (red outline), focus study areas (green outline), and demonstration areas (blue outline). The temperature scale ranges from <27°C to >37°C, with color-coded categories: <27 (dark blue), 27-28 (blue), 28-29 (light blue), 29-30 (very light blue), 30-31 (light gray), 31-32 (yellow), 32-33 (orange), 33-34 (light red), 34-35 (red), 35-36 (dark red), 36-37 (red), and >37 (dark red).

3.2在土壤湿度遥感反演研究

利用2014年至2025年期间的多期Landsat8、Landsat9卫星遥感数据, 时间范围从2014年11月14日至2025年5月12日, 采用TVDI(Temperature Vegetation Dryness Index, 温度植被干旱指数)模型, 对示范区进行了多期土壤湿度遥感反演。

TVDI是一种基于光学与热红外遥感数据,用于反演植被覆盖区域表层土壤水分的方法,其值域范围为[0, 1]。其中,干边上的点对应的TVDI值为1,湿边上的点对应的TVDI值为0;TVDI值越小,表示土壤湿度越大;TVDI值越大,表示土壤湿度越小。

示范区多期土壤湿度遥感反演结果表明:

(1) 示范区多年TVDI的最低值平均为0.79,最高值平均为0.91,平均值为0.84,具体数据如表3-4所示。

(2) 根据对锡林浩特市的研究,示范区多年TVDI最高值变化较小,最低值呈下降趋势,平均值呈上升趋势,这表明示范区土壤含水量整体呈现下降趋势。如图2-6所示。

(3) 研究区林地不同树种的地表湿度存在差异。以2025年5月12日Landsat9卫星数据的土壤湿度遥感反演结果为例,奇楠和白木的TVDI值相对较高,表明其土壤湿度相对较低,含水量相对较少;而桉树的TVDI值相对较低,表明其土壤湿度相对较高,含水量相对较大。具体数据如表3-5和图3-6所示。

表3-4 2014—2025年示范区土壤湿度遥感反演(TVDI)结果一览表

序号	时相	最低值	最高值	平均值	标准差
1	2014年11月14日	0.8	0.88	0.82	0.0093
2	2015年1月1日	0.8	0.94	0.84	0.015
3	2019年9月25日	0.81	0.87	0.83	0.0068
4	2021年1月1日	0.76	0.9	0.83	0.013
5	2021年12月3日	0.8	0.91	0.83	0.011
6	2022年3月9日	0.79	0.93	0.84	0.022
7	2022年4月10日	0.81	0.92	0.84	0.014
8	2022年10月11日	0.78	0.96	0.82	0.013
9	2023年5月31日	0.84	0.94	0.87	0.013
10	2024年2月11日	0.8	0.94	0.84	0.015
11	2024年8月5日	0.75	0.91	0.81	0.019
12	2025年1月12日	0.78	0.96	0.83	0.02
13	2025年3月25日	0.81	0.89	0.84	0.0091
14	2025年4月2日	0.75	0.89	0.85	0.0122
15	2025年5月12日	0.8	0.87	0.84	0.0079
平均值		0.79	0.91	0.84	0.01

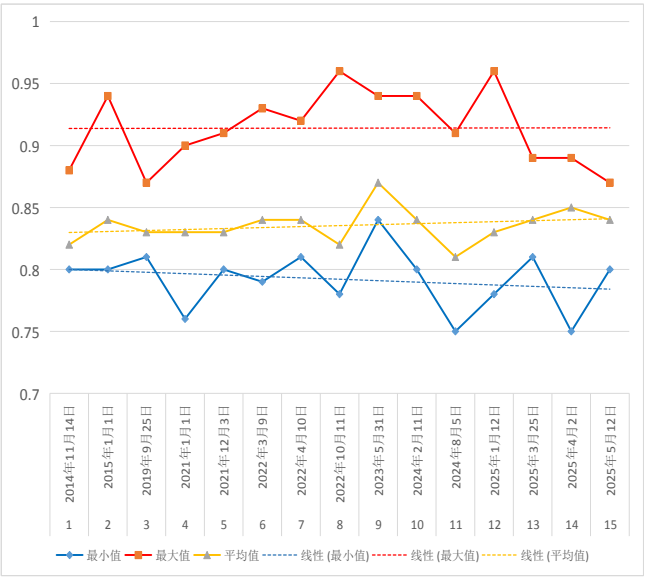


图3-4 2014—2025年示范区土壤湿度遥感反演(TVDI)趋势图

表3-5 研究区林地不同树种土壤湿度遥感反演(TVDI)结果一览表(2025年5月12日)

序号	类型	最低值	最高值	平均值	标准差
1	奇楠	0.836	0.849	0.844	0.003
2	白木	0.832	0.852	0.843	0.0039
3	竹林地	0.825	0.855	0.843	0.0039
4	杂木	0.824	0.858	0.839	0.0049
5	桉树	0.822	0.855	0.834	0.0067
平均值		0.828	0.854	0.841	0.00448

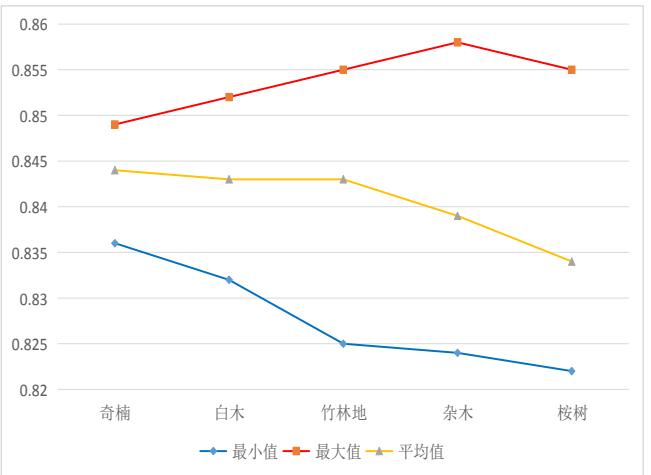


图3-5 研究区林地不同树种土壤湿度遥感反演结果对比图(2025年5月12日)

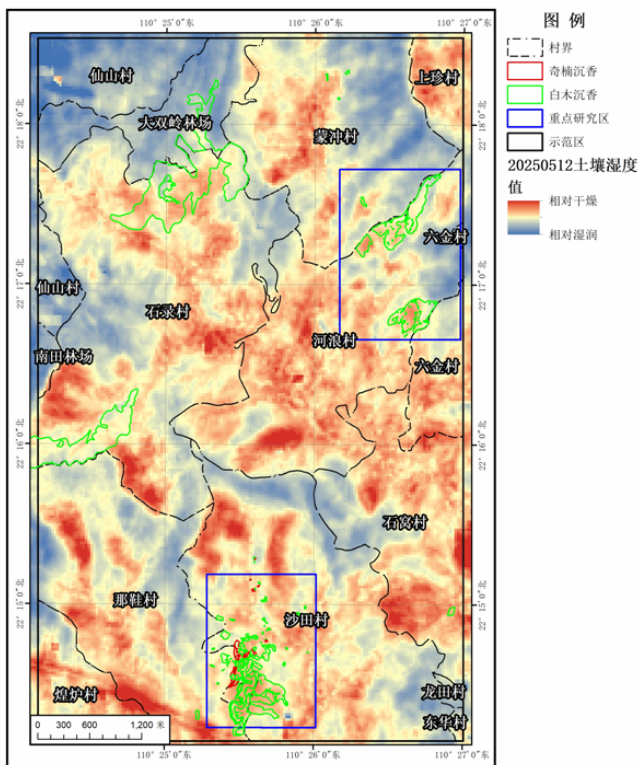


图3-6 示范区土壤湿度遥感反演图(2025年5月12日)

4 结论

基于Landsat 8/9卫星数据在季风气候区展现出独特的应用价值。相较于传统NDWI指数法,基于改进植被指数土壤水分反演技术,能够更准确地反映玉林红壤表层10cm的真实含水状态。后续计划整合Sentinel-1雷达数据,以提升多云天气下的监测连续性,同时系统探究不同生长阶段沉香植株的热响应机制。

[项目来源]

2025年广西壮族自治区地质矿产勘查开发局新开项目。

[参考文献]

[1]Mao K,Wang H,Shi J,et al.A General Paradigm for Retrieving Soil Moisture and Surface Temperature from Passive Microwave Remote Sensing Data Based on Artificial Intelligence[J].Remote Sensing,2023,15.

[2]李宁.三江源区地表土壤湿度的遥感反演[D].中国地质大学(北京),2020.

[3]史超,黄超,李书,等.基于TVDI指数的隐伏断层识别[J].人民长江,2020,51(02):107-111.

[4]杨彦荣,胡国强.基于植被供水指数的旱区土壤湿度反演方法研究[J].现代电子技术,2019,42(02):138-142+146.

[5]冷佩.光学/热红外土壤湿度遥感反演方法研究[D].中国农业科学院,2018.

[6]薛超玉.基于Landsat系列遥感影像的区域土壤水分信息研究[D].西北农林科技大学,2017.

[7]黄健熙,卓文,杨春喜,等.基于Landsat8卫星数据的蝗虫遥感监测方法研究[J/OL].农业机械学报,2015,46(05):258-264 [2025-09-17].<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1964.s.20141225.1514.004.html>.

[8]刘浩.基于MODIS数据的土壤湿度反演研究[D].鲁东大学,2014.

[9]王明霞.精河流域绿洲土壤湿度遥感反演研究[D].新疆师范大学,2014.

[10]邸兰杰.基于TVDI和ATI模型河北省土壤湿度遥感反演[D].河北师范大学,2014.

[11]宋荣杰.基于遥感的旱区土壤湿度反演方法研究[D].西北农林科技大学,2013.

[12]熊世为.基于环境卫星数据的冬小麦旱情反演研究[D].南京信息工程大学,2013.

[13]马红章,柳钦火,闻建光,等.热红外与L波段土壤温度的数值模拟及差异分析[J].国土资源遥感,2011,(02):26-32.

[14]邓睿.多源遥感数据和GIS支持下的台风影响研究[D].浙江大学,2010.

[15]余鹏,沈润平.基于植被覆盖度-地表温度的深层土壤湿度遥感反演[J].陕西气象,2010,(03):10-14.

[16]汤秋红.全极化微波辐射计陆地参数反演研究[D].中国科学院研究生院(空间科学与应用研究中心),2009.

作者简介:

张生(1988—),男,甘肃甘谷人,在读研究生,地质资源与地质工程师,主要从事遥感地质,资源与环境遥感、矿产资源评估和旅游地质调查资源等工作。