

塔里木胡杨国家级自然保护区典型植物群落遥感动态监测与分析

麦麦提江·艾麦提² 贾昕雨¹ 唐梦迎¹ 肖雨萱¹ 李宗圣¹ 夏楠^{1*}

1.新疆大学地理与遥感科学学院 乌鲁木齐 830017;

2.新疆塔里木胡杨国家级自然保护区管理局 库尔勒 841000

【摘要】塔里木胡杨国家级自然保护区是塔里木河流域的重要生态屏障。本研究基于Landsat和Sentinel-2数据,利用最大似然、马氏距离和随机森林三种模型对六类植物群落进行分类,结果表明:2000—2023年,保护区植物群落分布呈现复杂且阶段性跃迁的动态图景。最大似然法在植被群落分类中精度最高,为最优模型。植物群落变化受多种因素影响,其中温度、蒸散发量和土壤类型是主要驱动因子,而降水量、坡度和坡向的影响相对较小。

【关键词】塔里木胡杨国家级自然保护区;植物群落;遥感监测;监督分类

Remote Sensing Dynamic Monitoring and Analysis of Typical Plant Communities in Tarim Poplar National Nature Reserve

Mai Mati Jiang Ai Mati² Jia Xinyu¹ Tang Mengying¹ Xiao Yuxuan¹ Li Zongsheng¹ Xia Nan^{1*}

1.School of Geography and Remote Sensing Science, Xinjiang University, Urumqi 830017;

2.Tarim Poplar National Nature Reserve Administration, Korla 841000

【Abstract】The Tarim Poplar National Nature Reserve serves as a vital ecological barrier in the Tarim River Basin. This study utilized Landsat and Sentinel-2 data, employing three models—maximum likelihood, Mahalanobis distance, and random forest—to classify six types of plant communities. Results indicate that from 2000 to 2023, the distribution of plant communities in the reserve exhibited complex and stage-specific dynamic patterns. The maximum likelihood method demonstrated the highest accuracy in vegetation community classification, making it the optimal model. Plant community changes were influenced by multiple factors, with temperature, evapotranspiration, and soil type being primary drivers, while precipitation, slope, and aspect had relatively minor impacts.

【Key words】Tarim Populus euphratica National Nature Reserve; plant community; remote sensing monitoring; classification and supervision

1 引言

植物群落决定荒漠生态系统结构与功能^[1-2]。塔里木胡杨国家级自然保护区(下文简称“保护区”)是植物群落的交汇地带^[3]。长期观测植被群落的动态变化及空间分布对该区具有重要意义^[4-5]。传统分类易受干扰且易过拟合^[6-8]。基于多源遥感数据结合监督分类、非监督分类已成为研究热点^[9-12]。基于遥感影像可探测植被群落的空间分布^[13]。本研究联合 Landsat 与 Sentinel-2 数据,对比三种监督分类精度,解析 23 年间群落动态及主导环境因子,为精准保护提供技术支撑。

2 研究区概况及数据源

2.1 研究区概况

塔里木胡杨国家级自然保护区位于我国巴音郭楞蒙古

自治州,总面积约 395,420 公顷^[14]。该地区年均气温为 9.7~10.8℃,多年平均降水量为 45.2mm,全年以东北风为主蒸发量高达 1887~2910mm^[15],是典型的温带大陆性荒漠气候^[16]。保护区内荒漠林伴生有胡杨、怪柳、梭梭等 34 科、84 属、132 种植物^[17]。

2.2 数据源及其预处理

遥感影像数据来自 US Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) Landsat 分辨率为 30m, Sentinel-2 分辨率 10m 数据来自欧空局数据中心 (<https://dataspace.copernicus.eu/>)。

3 结果与分析

3.1 基于 Landsat 植被群落监督分类结果

2000 年胡杨面积占比 9.79%,是保护区的优势树种之一,随后急剧衰退(表 1)。这与塔里木河流域水资源过度

开发、地下水位下降的时期高度吻合。2016 年后，随着生态输水工程的实施，胡杨开始恢复，但空间分布已发生显著改变。怪柳群落呈现出“增-减-增”的波动趋势。可能与胡杨衰退后生态位空缺有关。2015 年出现爆发式增长，成为保护区第一大植被类型。其他灌木总体呈下降趋势，但近年有所回升，在 2020 年后稳定在 7 万公顷左右，反映出灌木群落对环境变化的敏感性。

表 1 新疆塔里木胡杨国家级自然保护区植物群落面积及占比

时间	胡杨		怪柳		其他灌木	
	面积公顷	比例%	面积公顷	比例%	面积公顷	比例%
2000	38711.34	9.79	4127.04	1.04	104082.12	26.31
2005	25730.10	6.50	21968.46	5.55	70471.35	17.82
2010	10717.29	2.71	9916.20	2.51	111201.30	28.11
2015	7926.48	2.00	104200.74	26.34	44473.95	11.24
2020	40607.55	10.27	33231.69	8.40	69279.84	17.51
2023	45190.89	11.42	44285.58	11.20	72283.05	18.27
平均值	28147.28	7.12	36288.29	9.17	78631.94	19.88

表 2 Landsat 与 Sentinel-2 影像分类精度

分类方法	年份	Landsat 分类精度		Sentinel-2 分类精度	
		总体分类精度	Kappa 系数	总体分类精度	Kappa 系数
最大似然法	2000	98%	0.97	92%	0.90
	2005	98%	0.98	98%	0.98
	2010	99%	0.99	87%	0.79
	2015	99%	0.99	96%	0.95
	2020	98%	0.98	84%	0.75
	2023	97%	0.95	83%	0.78
马氏距离法	2000	95%	0.89	90%	0.87
	2005	96%	0.90	80%	0.62
	2010	95%	0.90	83%	0.72
	2015	95%	0.90	85%	0.79
	2020	85%	0.78	77%	0.63
	2023	90%	0.80	62%	0.53
随机森林	2000	94%	0.90	89%	0.81
	2005	98%	0.97	89%	0.80
	2010	97%	0.94	92%	0.92
	2015	98%	0.98	99%	0.99
	2020	97%	0.95	94%	0.92
	2023	98%	0.98	98%	0.98

3.2 三种分类方法结果对比

对比分析三种分类模型，最大似然法的分类精度最高，达 99%，此前研究中最大似然法精度为 80%^[20]，本研究 Kappa 系数均在 0.95 以上（表 2）。马氏距离法在高维数据处理上

存在局限性；随机森林法模型复杂、成本高。Sentinel-2 数据因光谱稳定性和预处理链的差异，分类效果波动大。因此，Landsat 在长时间植被监测中更具优势，Sentinel-2 可作为辅助验证。

3.3 驱动因素分析

3.3.1 降水量因子分析

胡杨、怪柳及其他灌木在 137—208 mm 四个降水区间的面积与占比。胡杨在 195—208 mm 段面积最大，占其总面积 35%；在 137—166mm 区间，胡杨、怪柳和其他灌木占比分别为 28.61%、55.99%、51.73%；166—184mm 时，其他灌木占 21.38%，最高；194mm 以上，胡杨占 35.23%，优势明显，表明其需充足水分。

3.3.2 气温因子分析

将保护区年平均气温分为 4 个等级，研究区 27.4℃—28.1℃温度区间面积最大为胡杨、怪柳和其他灌木的共同适宜区。随着温度升高，胡杨面积急剧下降，而怪柳和其他灌木对高温适应性更强。在 26.4—27.4℃的低温带对三者均非最佳条件，但胡杨相对优势仍最明显。综合上述分布特征，胡杨适宜温度范围较窄，最适温度为 27.4—28.1℃，怪柳与其他灌木具有更广的温度适应性，其中其他灌木对高温的耐受性最强。

3.3.3 蒸散发因子分析

胡杨、怪柳及其他灌木在 1810—2192mm 四个蒸散发量区间的面积与占比。胡杨主要分布于 1946—2022.5mm，占其总面积 52.5%；怪柳在 1946—2022.5mm 段占 45.4%；其他灌木则在该区间占 48.4%，为最多。怪柳和其他灌木在高蒸散发区间保持较大比例，表现出更强的耐湿耐旱适应性。

3.3.4 土壤类型因子分析

保护区土壤分为漠土化灰色草甸土、草甸内陆盐土、灰色草甸土、林灌草甸土。其中，灰色草甸土中胡杨、怪柳、其他灌木面积占各自总量的 55.6%、57.7%和 73.5%。漠土化灰色草甸土胡杨面积占比最高为 23.3%。草甸内陆盐土中，怪柳占比 12.3%，显示其耐盐优势。林灌草甸土胡杨占近 10%，其他两类不足 3%。总体来看，胡杨偏好漠化与林灌草甸土，怪柳能适应轻度盐渍化，其他灌木则高度集中于灰色草甸土，反映出种间生态位差异。

4 讨论

本研究优选最大似然法，虽精度高，但对样本和异常值敏感，Landsat 与 Sentinel-2 时间分辨率不足，马氏距离及随机森林潜力未充分挖掘。后续应融合无人机、地面数据，构建长时序监测体系，提升分类可靠性。驱动分析仅基于 ArcGIS 分区统计，单因子为主，缺多因子耦合及人类活动

定量评估；未来拟引入地理探测器，综合自然与人为要素，深入解析群落动态机制，服务精准管理。

5 结论

1) 2000—2023年保护区植物群落呈现出高度复杂且阶段性跃迁的动态图景，胡杨、柽柳及其他灌木优势种空间格局不断重构。胡杨和柽柳的动态度显著高于其他灌木。

2) Landsat 数据在分类效果上优于 Sentinel-2，其中最大似然法分类精度 99%，Kappa 系数 0.99，优于马氏距离法和随机森林法。表明 Landsat 数据在长时间尺度的植被动态监测上更具优势。

3) 在温度、蒸散发与土壤类型的主导下，坡度、坡向与降水仅起微调作用，多因素协同驱动保护区植物群落的分布格局与生长态势。

参考文献

- [1]胡楠, 范玉龙, 丁圣彦, 等.陆地生态系统植物功能群研究进展[J].生态学报, 2008, (07): 3302-3311.
- [2]赵学勇, 安沙舟, 曹广民, 等.中国荒漠主要植物群落调查的意义、现状及方案[J].中国沙漠, 2023, 43 (01): 9-19.
- [3]谭世林, 胡雪菲, 岳胜如.塔里木河流域绿洲土壤盐分遥感反演模型研究[J].测绘与空间地理信息, 2022, 45 (06): 78-81.
- [4]穆增光, 孔金玲.基于 RS&GIS 的西部干旱区植被覆盖变化的研究[J].地理空间信息, 2007, (05): 66-69.
- [5]张艺伟, 郭焱培, 唐荣, 等.高光谱遥感在植物多样性研究中的应用进展与趋势[J].遥感学报, 2023, 27 (11): 2467-2483.
- [6]顾芳.塔里木河干流胡杨林空间分布变化研究[J].地理空间信息, 2020, 18 (09): 48-51+7.
- [7]陶婷, 阮仁宗, 张楼香, 等.洪泽湖湿地植被信息提取方法研究[J].地理空间信息, 2017, 15 (03): 93-96+99+12.
- [8]张腾, 苗运法, 邹亚国, 等.极端干旱区苏干湖湿地植被分类与变化分析[J].中国沙漠, 2024, 44 (04): 81-90.
- [9]郭珂好, 冯雷, 李云, 等.黑果枸杞改良塔里木河上游阿拉尔垦区盐碱地的效果分析[J].中国土壤与肥料, 2023, (12): 70-77.
- [10]蔺亚玲, 李相虎, 谭志强, 等.基于遥感时空融合的鄱阳湖洪泛湿地植物群落动态变化特征[J].湖泊科学, 2023, 35 (04): 1408-1423.
- [11]张刚, 罗文庭, 张皓寰, 等.时序 Sentinel-1 和 Sentinel-2 数据支持下的鄱阳湖湿地草本植物群落制图分类[J].遥感学报, 2023, 27 (06): 1362-1375.
- [12]张腾, 苗运法, 邹亚国, 等.极端干旱区苏干湖湿地植被分类与变化分析[J].中国沙漠, 2024, 44 (04): 81-90.
- [13]朱长明, 李均力, 沈占锋, 等.基于 MODIS 密集时间序列数据的塔里木河下游植被活动过程监测[J].资源科学, 2019, 41 (03): 591-600.
- [14]王永嘉, 郭宇宏.生态输水前后塔里木河下游绿洲特征分析[J].沙漠与绿洲气象, 2018, 12 (02): 37-42.
- [15]王家强, 刘辉, 柳维扬.三维遥感图的制作方法分析——以塔里木盆地为例[J].江苏科技信息, 2017, (28): 37-38.
- [16]原小刚.塔里木胡杨国家级自然保护区两栖爬行动物的物种多样性、威胁因子及保护对策[J].新疆林业, 2023, (03): 42-44+48.
- [17]木巴热克·阿尤普, 海米提·依米提, 王智明, 等.塔里木胡杨自然保护区胡杨生态系统脆弱性及其治理措施研究[J].水资源与水工程学报, 2007, (03): 30-35.
- [18]隋瑜, 徐泮林, 谷彦斐.基于遥感数据的土地资源分类方法比较研究[J].测绘与空间地理信息, 2021, 44 (02): 107-110.
- [19]莫建飞, 陈诚, 陈燕丽, 等.2000—2019年广西喀斯特地区植被分布格局及时空变化分析[J].气象研究与应用, 2022, 43 (04): 13-19.
- [20]阿卜杜热合曼·吾斯曼, 玉素甫江·如素力, 张旭辉, 等.基于 Sentinel-2 影像的博斯腾湖芦苇沼泽湿地信息提取与动态监测研究[J].海洋湖沼通报, 2023, 45 (04): 88-96.

作者简介: 麦提江·艾麦提 (1986 -), 男, 维吾尔族, 新疆且末人, 本科, 新疆塔里木胡杨国家级自然保护区管理局科研宣教科副科长, 研究方向为保护区信息化建设与能力提升;

*通讯作者: 夏楠 (1991 -), 男, 汉族, 新疆木垒人, 博士, 副教授, 研究方向为生态环境遥感、GIS 系统开发和国土空间生态修复。

基金项目: 新疆塔里木胡杨国家级自然保护区 2024 年中央财政林业草原生态保护恢复资金 (国家级自然保护区补助) 项目——植物群落动态变化特征研究 (11N79818822420241802)。