

# 遥感技术支撑沙棘生态环境效应评估

蒙继华<sup>1</sup>, 赵海岚<sup>1, 2</sup>, 徐萌<sup>1, 3</sup>

(应用技术学院, 丽江师范高等专科学校, 丽江, 云南, 674199)

**摘要:** 沙棘的生态效应被广泛关注和利用, 但由于沙棘资源数量和分布数据的完整性和可靠性不足、大面积精准监测技术的研发和应用实例极少、大范围的沙棘生态效应缺少科学评价等问题和困难阻碍了沙棘生态效应的进一步发挥。为了更好地保护天然沙棘资源、科学种植和管理沙棘, 提出全国沙棘本底遥感调查与空间制图、沙棘质量与健康遥感动态监测、沙棘生态效应遥感评价三类工作将成为下一步重要的研究方向。

**关键词:** 沙棘, 遥感, 生态效应, 精准监测

## 引用本文

蒙继华, 赵海岚, 徐萌. 遥感技术支撑沙棘生态环境效应评估. *生物多样性保护与绿色发展*, 第1卷第4期, 2022年3月, ISSN2749-9065

沙棘 (*Hippophae rhamnoides L.*) 是胡颓子科、沙棘属落叶性乔灌木植物, 生长快且根萌蘖力强, 具有广泛的适应性, 是防风固沙、保持水土、改善生态环境的优良树种<sup>[1]</sup>。在陡险坡面上, 沙棘可利用其串根萌蘖特性增强绿化; 在防洪沟道中, 沙棘可利用其抗冲刷能力阻拦洪水下泻、提高沟道侵蚀基准面; 在黄土地貌区域, 沙棘可减少 80% 地表径流、75% 表土水蚀和 85% 风蚀、截留 8.5%-49.0% 降水、减少 4-6 倍冠内土壤水分蒸发<sup>[2]</sup>。沙棘在生态环境治理中的作用日渐突出, 得到了广泛的关注和利用。

我国沙棘总面积约 3107 万亩<sup>[3]</sup>, 占全世界沙棘的 90% 以上<sup>[4]</sup>, 沙棘的 7 个种、10 个亚种中就有 6 个种、7 个亚种生长于我国<sup>[5-8]</sup>, 主要分布在“三北”地区,

<sup>1</sup>中国科学院空天信息创新研究院数字地球重点实验室, 北京 100094;

<sup>2</sup>中国科学院大学, 北京 100049;

<sup>3</sup>中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083

包括东北、华北和西北的生态脆弱区, 促进了当地的生态建设<sup>[9]</sup>。然而, 由于缺乏精准监测相关技术的应用示范、人工种植管理成本高且灌溉耗水大等因素的影响, 我国天然沙棘林的保护措施不足、沙棘规模化种植和管理仍面临着推广和技术受限的困境<sup>[9]</sup>。为了进一步保护天然沙棘资源、科学种植和管理沙棘, 保障沙棘林生态效益, 管理者需要依靠一系列准确及时的沙棘数量、生理生化信息为栽种、灌溉、施肥、病虫害防治计划和决策提供基础数据。卫星遥感技术经过几十年的发展, 获取数据的时间分辨率、空间分辨率、光谱分辨率和辐射分辨率取得了突破性进展, 可以支撑沙棘数量、生理生化信息的高效、精准监测和生态效应评价。本文将梳理遥感技术在沙棘资源监测中的应用现状, 总结当前进一步发挥沙棘生态效应所面临的问题和困难, 指出基于遥感技术的解决方法, 为推动遥感技术保障沙棘更好地发挥生态效应提供理论参考。

## 1 遥感技术在沙棘资源监测和生态效应评价中的应用现状

自 1972 年美国发射第一颗遥感卫星 Landsat-1 至今, 世界卫星遥感技术已有长足的发展, 按数据的不同电磁谱段可分为可见光-近红外遥感、热红外遥感和微波遥感。可见光-近红外遥感正逐步朝高光谱分辨率、高空间分辨率和高时间分辨率的方向发展, 包括 Sentinel-2、GF-2、RapidEye、Worldview-2 等, 目前已发展到亚米级空间分辨率、逐日时间分辨率和数百波段光谱分辨率。热红外遥感包括 Landsat-8、NOAA/AVHRR、MODIS 等, 常用于反演地表温度、土壤水分和植被水分。微波波长较长, 可穿透云层和穿透植被到达地表, 目前有 Sentinel-1、GF-3 等, 分辨率最高可达到 1m。当前, 卫星遥感技术已经在沙棘分类识别、沙棘状况监测以及沙棘生态环境效应遥感评估方面有了初步的应用。

张超等<sup>[10]</sup>分别应用非监督分类、监督分类、基于空间分布特征的辅助分类和基于光谱特征再分类 4 种方法, 对沙棘林进行了遥感识别分类, 并评价各种分类方法, 发现基于光谱特征的再分类方法的精度最高。王丽<sup>[11]</sup>构建了沙棘地物波谱库, 利用 GF-1 数据对沙棘进行了识别分类, 并采用混淆矩阵对分类精度进行了

评价。路常宽<sup>[12]</sup>利用沙棘多年归一化植被指数 (NDVI) 变化特征, 结合遥感技术和地理信息系统 (GIS) 技术对研究区 Landsat-5 影像进行人机交互解译, 得到沙棘分布和面积数据。于杰<sup>[13]</sup>结合实地采样数据和 Landsat-5、MODIS 数据, 构建与已有的森林资源连续清查体系相融合的生物量遥感估算模型, 对区域沙棘林生物量及碳储量进行了估算, 更好地评价了沙棘林的碳汇效益。王海波等<sup>[14]</sup>利用 Landsat-5 数据建立了植被指数与大果沙棘生物量之间的经验统计模型, 发现植被指数和生物量的一元线性回归分析模型中, 比值植被指数 (RVI)、NDVI 与俄罗斯大果沙棘之间较高的相关性, 模型预测的生物量值高于理论生物量值。郭建英等<sup>[15]</sup>利用基于 Landsat-5 数据的土壤侵蚀模型 (RUSLE) 分析评价了研究区内沙棘造林前后的土壤侵蚀的时空变化, 通过对吴起县沙棘造林以来的土壤侵蚀量、土壤侵蚀强度及其空间分布特征的研究, 揭示了沙棘造林对县域土壤侵蚀的控制效果。

## 2 进一步发挥沙棘生态效应所面临的问题和困难

### 2.1 沙棘资源数量和分布数据的完整性和可靠性不足

目前尚没有统一标准的全国沙棘资源本底调查工作提供完整、可靠的沙棘资源数量和分布数据, 已公布的数量和分布数据绝大多数来自各地区 (单位) 单独组织的地面调查。不同的调查标准、工作团队、手段措施导致各类信息渠道提供的沙棘数量和分布数据存在较大的差异, 大范围总量数据如省级、国家级数据主要来源是各渠道数据的统计求和, 其实际完整性和可靠性不能保证。

### 2.2 沙棘大面积精准监测技术的研发和应用实例极少

传统上, 获取沙棘数量、生理生化信息主要通过站点观测<sup>[16]</sup>、种植记录<sup>[17]</sup>、人工取样<sup>[18]</sup>、实验室测样<sup>[19]</sup>等方法, 这类方法耗时、费力, 大规模应用的成本较高<sup>[18, 20]</sup>, 不能满足沙棘的大面积、实时监测。遥感技术可以支撑沙棘的高效、精准监测, 然而目前这类研究极少, 利用中国知网检索沙棘和遥感主题, 仅有 38

篇论文，缺少针对沙棘识别分类、生理生化参数反演方法的研究和应用实例<sup>[21]</sup>。

### 2.3 大范围的沙棘生态效应缺少科学评价

沙棘林是一个复杂的生态系统，其生态效应的发挥过程涉及环境和沙棘树的综合作用。当前针对沙棘生态效应的研究绝大多数为野外试验，其中大范围沙棘生态效应的评价方法主要通过野外试验获取点样数据再将单点尺度的数据应用到区域尺度<sup>[22-23]</sup>。这类方法一般需要足够精细的时空采样，一些地区如果没有足够的样点数据，将尺度转换会导致评价准确性不足<sup>[24]</sup>。

## 3 基于遥感技术的解决方法

### 3.1 全国沙棘本底遥感调查与空间制图

为了摸清全国沙棘资源现状本底，提高沙棘资源数量和分布数据的完整性和可靠性，在典型人工与天然沙棘遥感特征分析的基础上，利用多源遥感数据，采取面向对象的方法开展全国人工、天然以及不同类型沙棘的遥感调查与空间制图，形成全国沙棘“一张图”，并开展调查精度的验证与评价。具体工作分为以下3部分。

#### 3.1.1 典型人工与天然沙棘遥感特征分析

##### (1) 关键生育期地物波谱分析

基于地物光谱数据，研究沙棘在可见光、近红外、短波红外的波谱特性；分析在不同气候、地形、养分条件下沙棘光谱的变化情况；分析沙棘不同生育期光谱的变幅和速率，从而提出沙棘遥感的观测窗口及潜在的识别波段。

##### (2) 沙棘的高光谱和空间结构特征分析

基于高光谱影像，分析不同沙棘之间、以及沙棘与其它相近植被光谱特征的差异性，从而建立沙棘识别的光谱特征参数；研究沙棘纹理特征，分析其空间尺

度效应；分析影像沙棘地块的几何特征及其周边地类地块的差异性。

### 3.1.2 沙棘遥感识别技术体系建设

#### (1) 基于对象的多尺度分割技术

考虑到影像分割产生的尺度效应，需要研究合适的尺度判别来提取目标对象。开展沙棘对象与周边对象的空间域特征差异研究，以及在尺度推演中沙棘对象的特征尺度域的差异分析，同时，研究不同特征在尺度推演中的变化，从而得到最佳的分割效果，精准提取沙棘种植地块。

#### (2) 特征参数分析与提取研究

研究土地覆盖高光谱影像特征，建立基于光谱形态的识别模型；开展沙棘的光谱变换研究，提取绿度、亮度等特征指数进行目标识别；开展非光谱的纹理指数、几何指数研究，协同进行中药植物分类。

#### (3) 基于深度学习和随机森林的分类方法研究

开展深度卷积神经网络的特征提取方法研究，研究动态自适应学习率的BP改进算法，改善网络收敛速度和精度。改进随机森林决策树裁减的方法，提升boosting算法。

### 3.1.3 全国范围的沙棘空间制图与精度评价

针对不同影像分幅沙棘识别任务划分的业务流程，面向沙棘识别分类需求，研究不同的训练样本自动优化选取过程，并进行地物类型的自动化标定研究，并在此基础上进行大尺度沙棘制图成果的自动化拼接。在大尺度地物空间分布信息获取前提下，研究构建适合于不同空间分辨率的沙棘空间制图规范，满足大尺度遥感制图的需要，形成全国沙棘“一张图”。利用地面样点数据，开展制图精度验证与评价。

## 3.2 沙棘质量与健康遥感动态监测

在掌握沙棘空间分布信息的基础上, 利用时间序列遥感数据开展植被覆盖度、叶面积指数、净初级生产力、林龄等反映沙棘质量与健康的指标的动态监测, 具体工作分为以下 4 部分。

### 3.2.1 植被覆盖度动态监测

植被覆盖率通常指植被垂直投影面积占土地总面积之比, 是植被群体状态的重要指标。以年为频率, 利用像元二分模型进行植被覆盖度估算, 开展沙棘生长旺季的植被覆盖度监测, 并分析其动态变化规律。该方法假定遥感传感器所观测到的信息可以表达为由无植被覆盖(裸土)部分所贡献的信息和由植被覆盖部分所贡献的信息两部分组成, 通过解算两者的比例实现植被覆盖度的定量估算。

### 3.2.2 叶面积指数动态监测

叶面积指数指单位土地面积上植物叶片总面积占土地面积的倍数, 是表示植被利用光能状况和冠层结构的一个综合指标。以月为频率, 开展近 10 年全国沙棘的叶面积指数监测, 并分析其年际与年内变化。叶面积指数的遥感反演主要分为统计模型与机理模型两种, 为确保模型的可推广性, 采用基于辐射传输方程的地表植被结构参数反演算法: 首先针对沙棘进行模型参数的敏感性分析, 进行主要参数的标定与优化, 然后构建 LAI 反演模型查找表, 并开展沙棘叶面积指数的定量反演。

### 3.2.3 净初级生产力动态监测

净初级生产力(NPP)指单位时间内生物通过光合作用吸收的碳中除去呼吸消耗碳所剩的部分, 是植物自身生物学特性与外界环境因子相互作用的结果, 是评价生态系统结构与功能特征的主要指标。利用改进的光能利用率模型(CASA)可实现全国沙棘近 10 年的 NPP 估算。CASA 模型是从植被的生理过程出发而建立的植被 NPP 机理模型, 模型中 NPP 主要由植物吸收的光合有效辐射和实际光能利用率两个因子来表达, 其计算方法为吸收的光合有效辐射与实际光能利用率的乘积。根据植被对红外和近红外波段的反射特征可以实现基于遥感数据估算光合有效辐射(PAR)中被植被吸收的部分(APAR), 光能利用率指的是一定时期单位

面积上生产的有机干物质中所包含的化学能与同一时间投射到同一面积上的植

物所吸收的光合有效辐射之比,可以表征为植被自身的特性、温度、水分及其土壤等因子的函数。

#### 3.2.4 林龄动态监测

林龄一般是指林分的平均年龄,它是作为划分林分依据的主要森林结构特征之一,不同林龄的森林能提供不同的产品、服务,并具有不同的价值。采用基于时间序列遥感数据的林地扰动识别方法开展沙棘林龄估算,该方法通过对时间序列进行特征提取和分析可以有效地监测沙棘林的长期变化状况与扰动,并通过特征定义进行林龄的有效识别。

### 3.3 沙棘生态效应遥感评价

沙棘的生态效应一般是指其控制风沙危害和水土流失等生态环境问题的生态防护(正面)效应,长期以来,该效应缺少大范围量化评价。结合新兴遥感技术与地面生态过程模型,可以开展防风固沙、水源涵养和固碳3个方面的大范围生态效应评价。

#### 3.3.1 防风固沙效应评价

防风固沙是风蚀地区自然生态系统重要的生态服务功能之一,是生态系统植被对风沙的抑制和固定作用。运用修正风蚀模型对全国沙棘近10年来进行计算,估算出沙棘的风蚀量及防风固沙量,并进行分等定级,分析各等级风蚀强度和防风固沙功能的时空变化特征,并以遥感和地面调查数据为基础,结合国家生态系统观测研究网络的长期监测数据,评估沙棘林防风固沙功能空间特征及其变化趋势,并进一步估算其防风固沙功能价值。运用GIS的空间分析、遥感影像的校正和融合镶嵌、人机交互和计算机半自动解译,实现对全国沙棘林土壤侵蚀强度信息准确高效的提取与处理,并且在GIS平台下,构建土壤侵蚀计算模型,从而评价沙棘在减少水土流失的方面的生态环境效应。

### 3.3.2 水源涵养效应评价

水源涵养是陆地植被生态系统的重要功能之一，具有延缓土壤侵蚀、调节地表径流、净化水质等生态服务功能。测定沙棘林的水源涵养量能很直观地了解沙棘的生态价值，能够为确定林资源保护措施与经营策略提供有力的数据支持。根据多年降水量数据，每月遥感影像以及时空融合技术，分析近10年全国沙棘林水源涵养功能的时空变化特征，结合遥感影像及成果，以水量平衡方程为理论指导，选择降雨、径流、蒸散发数据构建水源涵养价值评估体系，以文献分析法获取经验径流系数，利用 ArcGIS 计算不同因子水源涵养指数及其面积，分析水源涵养量，最后对沙棘种植区水源涵养服务功能的重要性等级进行划分，根据建立的评价模型，对沙棘林种植地区水源涵养生态环境进行评价，并且对评价的结果进行相应的讨论。

### 3.3.3 固碳效应评价

植物固碳指通过光合作用将大气二氧化碳转化为自身有机物的过程。在“碳中和”上升为国家任务的背景下，沙棘固碳作用也成为其主要的生态功能。利用遥感手段估算土地利用和土地覆被变化对碳储量的影响，将以碳通量与碳循环过程的综合网络观测、生物过程的适应性实验研究以及河流碳输运过程研究为支撑系统的自下而上途径，和以土地利用、土地覆被变化和对地观测数据生态参量反演为基础的自上而下途径相互验证并与尺度转换模型实现有机结合，开展综合观测、调查、比对分析、模拟和评价工作，分析沙棘生态系统碳的时空分布和动态，并估算大面积沙棘生态系统的碳储量以及土地利用变化对碳储量的影响，从而评价沙棘在固碳方面的生态环境效应。

## 4 总结

当前，随着沙棘的生态效应被广泛关注和利用，一系列有效措施亟需应用于保护天然沙棘资源、科学种植和管理沙棘的工作中。遥感技术获取植被信息的效率高、范围广、精度好，可以支撑沙棘数量、生理生化信息的高效、精准监测和生态效应评价。为了解决进一步发挥沙棘生态效应所面临的问题和困难，全国沙



棘本底遥感调查与空间制图、沙棘质量与健康遥感动态监测、沙棘生态效应遥感评价三类工作将成为下一步重要的研究方向。

### 参考文献

- [1] 唐玉瑞, 赵成章, 赵辉, 等. 不同光环境下洮河护岸林沙棘叶干重与叶面积、叶厚度间的关系 [J]. 生态学杂志, 2021, 40(9): 2745-2753.
- [2] 陈云明, 刘国彬, 徐炳成, 等. 我国沙棘水土保持功能研究进展与展望 [J]. 中国水土保持科学, 2004, (2): 88-92+102.
- [3] 国际沙棘协会, 行业动态 [DB/OL]. <http://www.isahome.net/news.php?id=497>, 2021, [2021-12-05].
- [4] 傅建熙, 孔东宁. 发展沙棘产业 促进生态环境建设和农业结构调整 [J]. 沙棘, 2005, (1): 7-9.
- [5] 李旻辉, 刘勇, 廉永善, 等. 沙棘——丝绸之路上的瑰宝 [J]. 中国现代中药, 2015, 17(3): 191-194.
- [6] SUN K, CHEN X, MA R, et al. Molecular phylogenetics of Hippophae L. (Elaeagnaceae) based on the internal transcribed spacer (ITS) sequences of nrDNA [J]. Plant Systematics and Evolution, 2002, 235(1-4): 121-134.
- [7] BARTISH I V, JEPSSON N, NYBOM H, et al. Phylogeny of Hippophae (Elaeagnaceae) inferred from parsimony analysis of chloroplast DNA and morphology [J]. Systematic Botany, 2002, 27(1): 41-54.
- [8] LIAN Y S, CHEN X L, SUN K, et al. Clarification of the systematic position of Hippophae goniocarpa (Elaeagnaceae) [J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2003, 142(4): 425-430.
- [9] 高国日. 沙棘对于干旱胁迫和复水响应的生理及分子机制 [D]. 中国林业科学研究院, 2018.
- [10] 张超, 黄清麟, 朱雪林, 等. 西藏灌木林遥感分类方法对比研究 [J]. 山地学报, 2010, 28(5): 572-578.
- [11] 王丽. 基于光谱分析的GF-1典型地物提取研究 [D]. 长安大学, 2017.
- [12] 路常宽. 沙棘木蠹蛾灾害监测与综合管理技术研究 [D]. 北京林业大学, 2005.
- [13] 于杰. 青海黄土丘陵区灌木林遥感生物量模型构建及碳储量估算研究 [D]. 陕西科技大学, 2016.
- [14] 王海波. 俄罗斯大果沙棘人工林稳定性研究 [D]. 东北林业大学, 2015.
- [15] 郭建英, 何京丽, 李锦荣, 等. 沙棘造林对吴起县土壤水蚀的影响 [J]. 国际沙棘研究与开发, 2013, 11(2): 18-24.
- [16] 张茂, 张霞, 胡光成, 等. 遥感干旱指数在洛川苹果干旱监测中的适用性分析 [J]. 遥感技术与应用, 2021, 36(1): 187-197.
- [17] ZHU Y, YANG G, YANG H, et al. Identification of Apple Orchard Planting Year Based on Spatiotemporally Fused Satellite Images and Clustering Analysis of Foliage Phenophase [J]. Remote Sensing, 2020, 12(7): 1199. DOI: 10.3390/rs12071199.
- [18] ZHU Y, YANG G, YANG H, et al. Estimation of Apple Flowering Frost Loss for Fruit Yield Based on Gridded Meteorological and Remote Sensing Data in Luochuan, Shaanxi Province, China [J]. Remote Sensing, 2021, 13(9): 1630. DOI: 10.3390/rs13091630.
- [19] LI C, ZHU X, WEI Y, et al. Estimating apple tree canopy chlorophyll content based on Sentinel-2A remote sensing imaging [J]. Scientific Reports, 2018, 8: 3756. DOI: 10.1038/s41598-018-21963-0.
- [20] CHEN B, XIAO X, WU Z, et al. Identifying Establishment Year and Pre-Conversion Land Cover of Rubber Plantations on Hainan Island, China Using Landsat Data during 1987-2015 [J]. Remote Sensing, 2018, 10(8): 1240. DOI: 10.3390/rs10081240.
- [21] 中国知网, 文献检索 [DB/OL]. <https://www.cnki.net/>, 2021, [2021-12-05].
- [22] 周美超. 清水河县公益林生态效益评价 [D]. 内蒙古农业大学, 2018.
- [23] 夏静芳. 沙棘人工林水土保持功能与植被配置模式研究 [D]. 北京林业大学, 2012.

[24] 于文涛. 复杂地表时空连续植被参数遥感反演方法研究 [D]. 中国科学院大学(中国科学院空天信息创新研究院), 2021.