

FAST 电磁波宁静区植被覆盖度及 景观格局时空变化

张淑 周忠发 张文辉 黄登红¹

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院/地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001;

2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001;

3. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州 贵阳 550001)

【摘要】: 植被覆盖度是描述区域内植被修复和生长的重要因子, 定量研究了 FAST 项目实施前后植被覆盖度变化时空特征, 并利用景观格局对该区的植被覆盖度进行分析。基于 Landsat TM/OLI 影像反演 FAST 电磁波宁静区 2008~2018 年 5 期植被覆盖度数据, 利用 Fragstats4.2 进行景观格局分析。结果表明: (1) 2008~2018 年, 林地的增长趋势明显, 该区域的植被覆盖度呈现明显的时空差异特征, 植被覆盖类型上, 2008 年集中在中、低植被覆盖度, 2018 年多为中高、高植被覆盖度。(2) 从植被覆盖度的转移情况可以看出, 植被覆盖度增加的面积远大于退化的面积, 增长趋势显著。核心区 2010~2016 年的植被覆盖度增长面积为 48.01km², 退化面积仅为 16.19km², 实际表现为该地区的生态环境质量明显改善, 森林面积增加。(3) FAST 电磁波宁静区林地面积的增加对植被覆盖度具有正向影响, 同时在景观格局上表现为植被覆盖度的斑块密度和斑块数量呈下降趋势, 景观破碎化程度降低, 连通性增强, 景观格局趋于稳定, 聚集度上升, 说明有效的林地保护措施对该地区的景观格局影响很大, 稳定的景观格局对台址的保护起到重要作用, 同时为该地区不同范围的植被保护力度提供遥感监测支撑。

【关键词】: 景观格局 植被覆盖度 FAST 变化监测

【中图分类号】: Q948 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)09-2126-12

世界最大射电望远镜——500m 口径球面射电望远镜(Five-hundred-meter aperture spherical radio telescope, FAST)的选址要求地貌类型接近 FAST、降水能够下渗以及 5km 之内没有乡镇处于“宁静”状态。选址地平塘县处于喀斯特极其发育的地区, 生态环境脆弱, 对外界干扰的抵抗力低、稳定性差, 石漠化现象经常发生^[1], 生态环境问题会造成 FAST 台址的地质结构不稳定, 影响其正常运行, 植被覆盖度是指示生态环境质量的重要因子^[2], 分析该地区的植被覆盖度的转移情况, 同时利用景观格局反映该地区植被覆盖度的空间分布特征以确保 FAST 的正常运行以及当地旅游业的发展。

植被覆盖度是指植被冠层在地面上的垂直投影与土地面积的百分比, 是衡量地区生态环境的重要指标^[3]。在森林植被容易遭

¹**作者简介:** 张淑(1995~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为 GIS 与遥感应用. E-mail: zhangshu260@163.com
周忠发, E-mail: fa6897@163.com

基金项目: 国家自然科学基金地区项目(41661088); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2017]5726-57); 贵州省高层次创新型人才培养计划“百”层次人才(黔科合平台人才[2016]5674)

到破坏的南方喀斯特地区,使用遥感手段去监测植被覆盖度变化的研究已经日渐成熟。目前,植被覆盖度的计算主要依据归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI),多采用像元二分模型进行植被覆盖度等级划分^[4],穆少杰等^[5]、刘宪峰等^[6]研究了干旱与半干旱地区的植被覆盖度变化对生态环境的影响,程东亚等^[7],王毅等^[8]将喀斯特地区植被覆盖度与地形相结合,分析人为因素对该区域的影响。汪明冲等^[9]对比喀斯特与非喀斯特地区的植被覆盖度,以河池市为例分析了其景观格局变化,突出了喀斯特地区生态系统的独特之处。Lydersen 等^[10]和 ZHOU 等^[11]分析了山区植被覆盖度,使得其与森林覆盖率联系起来,为植被恢复提供保障。DeCarvalho 等^[12]分析了城市植被覆盖度与空气污染、噪声污染和温度的关系,为城市绿化提供便利。

景观格局分析就是研究不同尺度的格局与过程之间的相互作用关系^[13]。研究自然生态区景观格局的形状与空间特征,对景区的旅游规划和生态环境修复具有重要意义,目前,越来越多的学者将景观格局应用到植被覆盖度分析中。阳文锐等^[14]、王静等^[15]、吕丹红等^[16]、王君等^[17]均是对城区植被或土地利用的空间变化进行景观格局分析,对城区的植被多样性保护提出了方向。刘娜等^[18]、张敏等^[19]利用景观指数对洞庭湖和白洋淀湿地进行景观格局变化及其驱动力研究。Carolina 等^[20]分析人类的占用对海滩周边的植被和景观格局的影响,提出本地物种保护和海滩治理的可持续策略。Ellison 等^[21]对西非萨赫勒地区的森林、水和土地进行景观分析,发现农林业可以促进景观复原力。因此,利用景观格局对植被覆盖度分析能够知道各个植被覆盖度类型的分散和复杂度情况,对于自然景区的保护具有重要意义。

FAST 项目是国家重点发展项目,在划定的电磁波宁静区范围内限制无线电台、工业、科学、医疗高压电线和高速公路等设施的使用,极大地限制了人为因素对 FAST 的影响,同样间接地保护了植被的生长环境不被人为破坏。FAST 台址周边林木的砍伐和生态环境的破坏会直接影响其周围地质不稳定现象,造成一系列自然灾害的发生,影响 FAST 望远镜的使用。目前,景观格局判断植被覆盖度多应用于城镇模型和流域湿地环境中,FAST 台址的保护措施暂不完备,已有的研究对 FAST 地区植被覆盖度变化数据缺失,难以反映对 FAST 周边植被覆盖度的保护过程且缺少植被覆盖度的景观格局的分析。本文旨在定量分析和探讨 FAST 项目实施前后植被保护力度对台址区域生态环境变化。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

FAST 位于贵州省平塘县克度镇大窝凼洼地,2008 年 FAST 工程进入初步设计阶段,2011 年 FAST 开工建设,2016 年 9 月建成启用,已运行 5 年。FAST 的选址利用贵州省大窝凼的山谷地貌,山体能够屏障电磁波,同时茂密的植被对电磁波有阻隔作用,保证植被的生态完整也能屏蔽低频的电磁波的干扰^[22, 23]。FAST 电磁波宁静区是以 FAST 中心点为圆心,半径 30km 的区域,其中核心区(0~5km)、中间区(5~10km)及边远区(10~30km)^[24]。FAST 核心区内要求禁止无线电台站和电磁辐射设施并且将居民点进行搬迁,以保证射电望远镜的正常运行。研究区的地形如图 1 所示。

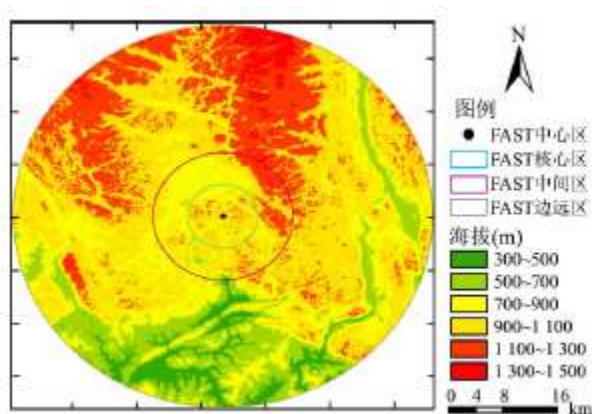


图 1 研究区地形

1.2 数据来源及处理

受贵州多云多雨的天气影响,研究区无法获取夏季长时间序列的可见光影像,又因该地区属于亚热带季风湿润气候,年平均气温 17℃,考虑到影像获取的质量和季节的一致性,选取的研究数据来自 2008 年 4 月 8 日、2010 年 2 月 25 日、2013 年 4 月 15 日、2016 年 2 月 10 日和 2018 年 3 月 3 日 LandsatTM/OLI 遥感影像,分为 FAST 项目建设的前中后 3 个时期。利用 ENVI5.3 软件进行辐射定标、大气校正和图像增强,再按研究区裁剪得到每年的 FAST 电磁波宁静区影像,计算五期数据的 NDVI 值并使用像元二分模型得到植被覆盖度。DEM 为 30m 的 ASTERGDEMv2.0 数据,数据来源地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),使用 Fragstats4.2 中的景观指数对植被覆盖度进行景观格局分析。气象数据来自于中国气象网 2008~2018 年逐日温度与降水数据,经去除异常值取平均值后得到年降水量和温度数据。

2 研究方法

2.1 归一化植被指数

归一化植被指数是植被生长状况和空间分布密度的最佳指示因子,NDVI 在红波段和红外波段的反映强烈,红外波段的反射能力强,红波段的吸收能力强^[25]。NDVI 的计算公式见式(1),NIR 为近红外波段,R 为红色波段。NDVI 的值为[-1,1],值越接近于 1,植被覆盖度越高。LandsatTM 的 $NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3)$,LandsatOLI 的 $NDVI = (Band5 - Band4) / (Band5 + Band4)$ 。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

研究使用 ENVI5.3 工具模块分别提取 2008~2018 年五期影像的 NDVI。NDVI 的灰度值越低其植被覆盖度也低,反之越高。

2.2 像元二分模型

遥感影像是以单个像元为单位的,每个像元不同的灰度值组成了影像的混合像元,像元二分法则是混合像元分解中最简单的模型,它假设传感器获取的地物光谱信息由两部分组成:一部分是完全是植物的信息;另一部分是除植物外的裸土的信息^[26]。由此得到植被覆盖度的计算公式(2):

$$FVC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (2)$$

式中:FVC 为植被覆盖度,NDVI_{soil} 为纯裸土信息;NDVI_{veg} 为纯植被信息。根据之前的研究,同时 NDVI_{veg} 取区间内 NDVI 的最大值 NDVI_{max},土壤信息 NDVI_{soil} 取区间内 NDVI 的最小值 NDVI_{min},在统计结果中分别取累积概率为 5%和 95%的 NDVI 值作为 NDVI_{min} 和 NDVI_{max}^[27]。所以又可以写成式(3)的形式。

$$FVC = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (3)$$

2.3 景观格局分析

景观指数能够高度浓缩景观格局信息，定量反映景观的结构组成与空间配置特征^[28]。以不同年份的植被覆盖度为基础，选择形状与多样性两种不同的指标对 FAST 电磁波宁静区进行景观格局变化分析。Fragstats4.2 包含各种景观指数的计算，本文根据区域情况选择了以下 7 个指标：聚合度指数 (Aggregation Index, AI)、蔓延度指数 (Contagion, CONTAG)、斑块数量 (Number of Patches, NP)、斑块密度 (Patch Density, PD)、最大斑块指数 (Largest Patch Index, LPI)、面积加权分形维数 (Area-weighted mean fractal dimension index, FRAC_AM) 和香农多样性指数 (Shannon' s Diversity Index, SHDI) ;选取的 7 个景观指数能够表示景观的个体数量特征、空间特征和多样性特征^[29]，各个景观指数具体含义见表 1, 根据文献^[30]可知，NP 和 PD 能够反映景观的个体、面积特征，存在显著的正相关关系，FRAC_AM 和 LPI 反映景观的形状特征和斑块的复杂性，具有显著的相关性，AI 和 CONTAG 表明景观在空间上的聚集程度，相关系数 R 达到 70%以上，SHDI 反映景观的多样性，可以量化景观的结构特征，与优势度存在负相关关系。

表 1 景观格局指数及意义

景观格局指数	公式	意义
NP	$NP=N$	景观中的所有斑块数量,表示景观破碎化程度.N 为斑块总数, $NP \geq 1$, 单位: 无
PD	$PD=N/A$	景观中包括全部景观要素斑块的单位面积斑块数,揭示景观破碎化程度.N 为斑块数量, A 为斑块面积 $PD>0$, 单位: %
SHDI	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i)$	景观多样性的重要指标, 香农多样性越大, 说明各斑块类型呈均衡化发展. p_i 表示景观类型 i 所占景观总面积的比例, $SHDI>0$, 单位: 无
AI	$AI = 100 \times \left[\sum_{i=1}^m (g_{ii} / (\max - g_{ii})) p_i \right]$	反映景观组分的可能的最大邻近度. g_{ii} 为基于单倍法的斑块类型 i 像元之间的节点数 $0<AI \leq 100$, 单位: %
CONTAG	$CONTAG = 100 \times \left[1 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (p_{ij} \ln (p_{ij}) / 2 \ln (m)) \right]$	景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势. m 为景观类型数目, $0<CONTAG \leq 100$, 单位: %
LPI	$LPI = \max_{j=1}^n (a_{ij}) / A$	景观中的优势种、内部种的丰度. $1<LPI \leq 2$, a_{ij} 为 i 类 j 个斑块面积, A 为斑块总面积, 单位: 无
FRAC_AM	$FRAC_AM = 2 \ln (p/4) / \ln A$	景观格局总体特征的重要指标, 体现了斑块和景观的空间形状复杂性. p 为单个斑块周长, A 为单个斑块面积, $1 \leq FRAC_AM \leq 2$, 单位: 无

3 结果与分析

3.1 植被覆盖度分类结果统计

植被覆盖等级反映该地区的植被生长状况，研究将植被覆盖度分为五个等级 (表 2)^[27]: 极低植被覆盖度 ($F1<10\%$)、低植被覆盖度 ($10\% \leq F2<30\%$)、中植被覆盖度 ($30\% \leq F3<50\%$)、中高植被覆盖度 ($50\% \leq F4<70\%$)、高植被覆盖度 ($F5 \geq 70\%$)。

表 2 不同植被覆盖度等级对应表

级别	植被覆盖度	土地利用类型	植被覆盖度等级
F1	<10%	裸地、水域、建设用地等	极低植被覆盖度
F2	10%~30%	石漠化草地、稀林地、零星植被等	低植被覆盖度
F3	30%~50%	中低产草地、固化石漠化耕地、滩水地等	中植被覆盖度
F4	50%~70%	优良耕地、潜在石漠化土地、高盖度草地、林地等	中高植被覆盖度
F5	≥70%	密灌木林地、密林地、灌木林地等	高植被覆盖度

通过计算不同等级的植被覆盖度得到图 2 的植被覆盖度等级，可以从时空尺度分析该地区的植被覆盖度变化趋势，以期评价该区自然生态环境质量。由图 2 可知，FAST 电磁波宁静区 2008~2018 年植被覆盖空间变化呈北高南低的现象，植被覆盖度变化稳定的区域主要位于宁静区的西北地区，这里海拔较高，地形多也为山地、丘陵，人类影响较少故植被覆盖度较高且平稳。2008~2010 年核心区的中植被覆盖度多为中植被覆盖度和中高植被覆盖度，无明显变化，2010~2016 年 FAST 工期之内，植被覆盖度多为高植被覆盖度，2016 年之后，核心区的植被覆盖度趋于稳定。FAST 中间区，2008~2010 年无明显变化，多为中植被覆盖度和中高植被覆盖度，2010~2013 年，中植被覆盖度多转为高植被覆盖度，北面的中植被覆盖区为平塘县城，该区域的植被覆盖度同样有所提高，2013~2018 年的植被覆盖度趋于稳定，区域内高植被覆盖度呈明显的优势。FAST 边远区变化最为明显，主要集中在低海拔的南面和东面，该区人类活动密集，分布了较多耕地，2008~2010 年植被覆盖度在南面和北面有小区域的下降，主要受耕地的影响，2010~2013 年高植被覆盖度明显增加，到 2016 年有略微减少，再到 2018 年呈稳定趋势，2008~2018 年这 10 年来南面的低海拔区域植被覆盖度极显著增加，2018 年的植被覆盖度主要集中在中高和高植被覆盖度，其中低植被覆盖度多为水体和居民地，耕地多为中植被覆盖度，这与该地区实行的退耕还林，生态工程有着紧密的联系，实际上，FAST 边远区的电磁波对 FAST 的影响级别有所降低，除 100W 以上的无线电设施以外^[19]，普通的人类活动对 FAST 的影响较小。

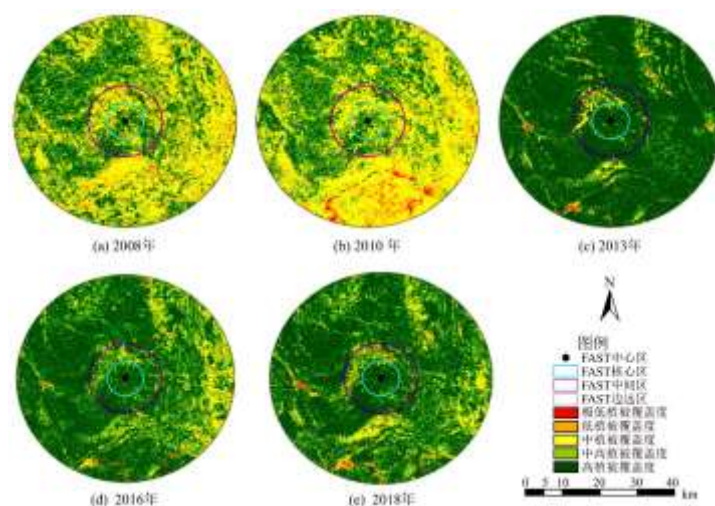


图 2 2008~2018 年 FAST 植被覆盖等级图

3. 2 不同等级植被覆盖度动态变化分析

根据图 3 可知,核心区 2008、2010、2013、2016 和 2018 年的高植被覆盖度占比分别为 45.64%、39.73%、88.52%、76.78% 和 84.50%,高植被覆盖度在 2010~2013 年占比显著升高,2013~2016 年占比降低 11.74%,2016~2018 年占比升高 7.73%,FSAT 项目工期前与工期后核心区高植被覆盖度变化整体呈上升趋势。核心区 2008~2018 年极低植被覆盖度和低植被覆盖度累积占比为 9.70%、5.39%、2.19%、1.06%和 1.49%,全部占该区总面积的 10%以下且呈下降趋势,说明 FAST 核心区整体植被覆盖度较高,自然生态区保存完好。2011 年 3 月 FAST 主体项目开始施工,2016 年主体工程完工,FAST 核心区植被覆盖度总体变好可能是政府实施的一系列生态工程在起作用。中间区 2008~2018 年五期数据高植被覆盖度和中高植被覆盖度总占比为 66.36%、65.70%、88.96%、91.73%和 87.27%,该区较高植被覆盖度呈上升趋势,低效林改造、营造林项目成效显著,中间区 2008~2018 年极低植被覆盖度比率为 1.40%、0.42%、1.63%、0.23%和 2.02%,该区极低植被覆盖度呈“减少-增加-减少-增加”的趋势,并在 3%以内的范围内波动,可能与地区经济发展有一定的联系。FAST 边远区以高植被覆盖度为主,2008~2018 年面积分别占区域植被面积的 27.44%、21.51%、65.83%、64.73%和 51.99%,是边远区的主体,该地区的植被覆盖度波动较大,2008~2010 年不同等级的植被覆盖度占比相似,2008~2010 年高植被覆盖度变化剧烈,呈快速增加的趋势,得益于一系列的植树造林、封山育林和退耕还林等措施,成果显著。2010~2018 年,极低植被覆盖度变化呈“减少-增加”的趋势,变化明显,该区的范围较大,受区域空间的影响,人类活动的影响也随之增加,这些都是极低植被覆盖度变化的重要因素。

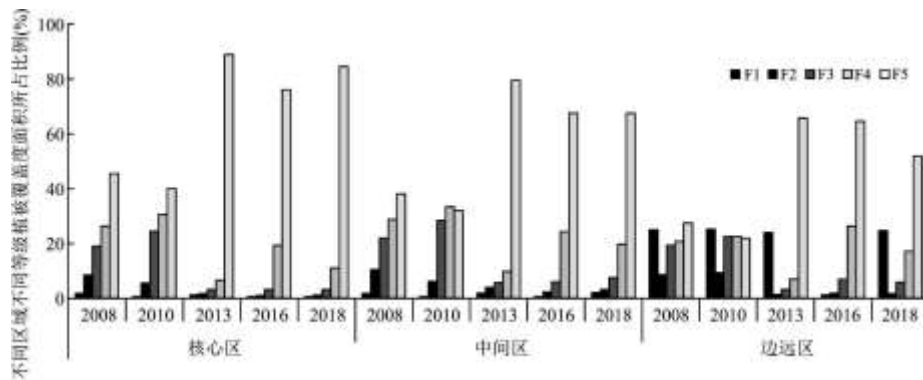


图 3 不同时期不同等级植被覆盖度面积所占比例

ArcMap10.3 的空间分析模块下运用 Raster Calculator 工具,对五期植被覆盖等级图进行栅格运算得到 2008~2018 年的各植被覆盖度转移矩阵量。转移矩阵能够定量地描述各植被的退化与增加情况,根据许多学者的研究成果,本研究将 FAST 电磁波植被覆盖转移情况分为 9 个等级^[4,5],分别为强度退化(F1→F5)、中度退化(F1→F4, F2→F5)、轻度退化(F1→F3, F2→F4, F3→F5)、微度退化(F1→F2, F2→F3, F3→F4, F4→F5)、无变化、微度增加(F5→F4, F4→F3, F3→F2, F2→F1)轻度增加(F5→F3, F4→F2, F3→F1)、中度增加(F5→F2, F4→F1)、强度增加(F5→F1)。

统计分析显示(表 3),植被覆盖度转移情况分为 4 个研究时段,2008~2010、2010~2013、2013~2016 和 2016~2018 年。核心区 2008~2010 年无强度退化区域,强度增加为 0.01km²,无变化区域为 41.97km²,较大的植被覆盖度变化为微度增加和微度退化,相邻植被覆盖度等级的变化多受区域和植被本身的影响。2010~2013 年,核心区植被无变化区域有所降低,为 31.90km²,微度退化显著减少,微度增加转换激烈,轻度增加同样呈上升趋势,说明当地政府实施的政策能够加快土地绿化,异地搬迁、退耕还林等项目取得了显著成效,对当地旅游业发展起到促进作用。2013~2016 年,微度退化明显,无变化区域呈倍数级别上升,增加面积有所下降,石漠化治理初期植被生长不稳定,对植被覆盖度有一定的影响。2016~2018 年,植被覆盖度无变化区域为 64.64km²,占区域面积的 82.37%,植被覆盖度已趋于稳定,无明显的变动发生,核心区整体植被覆盖度呈上升趋势,植被生态系统稳定性良好,生态环境也适宜生物生长。2008~2018 年,中间区植被覆盖度主要集中在微度退化、无变化和微度增加三部分,其中,2010~2013 年的植被覆盖度退化趋势较低、增加趋势明显,2013~2018 年多集中在无变化区域。边远区 2008~2018 年植被覆盖度整体增加趋势大于退化趋势,增加多集中在微度增加和轻度增加量部分,2010~2013 年转化较明显,说明该地区重视植被的保护与修复。

3.3 总体景观格局变化分析

从表 4 可知, FAST 核心区 2008~2018 年的斑块数量(NP)逐年下降, 斑块破碎度逐年降低, 说明该地区 10 年来大斑块区域逐渐增多, 小斑块区域减少。斑块密度(PD)呈现出“减少-增加-减少”的趋势, 2013~2018 年斑块密度趋于稳定。最大斑块指数(LPI)整体呈现增加的趋势, 2010~2013 年, 增加趋势显著, 说明优势植被对景观的控制作用增强。面积加权分形维数(FRAC_AM)整体较为平稳, 上升趋势不明显。2008~2018 年蔓延度指数(CONTAG)呈现“增加-减少”的趋势, 总体呈现出增加的趋势。香农多样性指数(SHDI)呈减小的趋势, 核心区 2016 年的香农多样性值仅为 0.56, 说明该地区的景观多样性水平急剧下降, 这与该区植被覆盖度显著增加相相应。核心区聚合度指数(AI)呈上升趋势, 2010~2013 年上升趋势明显, 说明该区空间分布聚集, 连通性高。FAST 中间区斑块数量、斑块密度和香农多样性指数呈下降趋势, 最大斑块指数、蔓延度指数和聚合度指数呈上升的趋势。FAST 边远区与中间区的整体趋势相同, 2008~2010 年的景观变化最为剧烈, 各景观指数表现明显的上升与下降的趋势, 说明 2008~2010 年该地区的生态环境质量日益变好。

表 3 不同时期不同等级植被覆盖度转移矩阵量

区域	年份	强度退化 (km ²)	中度退化 (km ²)	轻度退化 (km ²)	微度退化 (km ²)	无变化 (km ²)	微度增加 (km ²)	轻度增加 (km ²)	中度增加 (km ²)	强度增加 (km ²)
核心区	2008~2010	-	0.29	3.56	14.73	41.97	14.81	2.89	0.26	0.01
	2010~2013	0.23	0.45	1.03	1.79	31.90	23.99	15.52	3.46	0.16
	2013~2016	0.04	0.21	1.22	11.22	60.91	3.24	1.24	0.37	0.04
	2016~2018	0.07	0.11	0.31	3.72	64.64	8.74	0.80	0.05	0.02
中间区	2008~2010	0.03	1.42	11.82	48.51	111.49	50.72	9.57	1.72	0.29
	2010~2013	0.37	2.88	6.93	12.11	81.67	73.88	46.53	10.44	0.78
	2013~2016	0.10	1.23	6.05	39.29	158.89	17.29	9.04	3.25	0.25
	2016~2018	1.00	1.81	5.44	28.18	174.27	22.79	1.71	0.19	0.01
边远区	2008~2010	2.95	42.73	208.27	553.19	1101.03	495.45	93.74	12.80	2.69
	2010~2013	1.45	10.06	27.39	61.93	760.51	753.22	615.15	243.83	39.31
	2013~2016	4.16	22.79	106.86	535.82	1685.97	112.46	32.85	9.03	0.92
	2016~2018	3.33	9.59	42.09	290.05	1804.23	299.99	48.94	10.33	2.32

表 4 2008~2018 年不同区域景观指数变化

区域	年份	景观格局指数						
		NP	PD	LPI	FRAC_AM	CONTAG	SHDI	AI
核心区	2008	6656	64.54	28.63	1.25	32.31	1.30	65.34

	2010	4978	48.27	18.98	1.27	35.22	1.25	67.00
	2013	3960	28.70	71.10	1.30	62.23	0.73	82.34
	2016	3183	30.87	84.43	1.25	72.10	0.56	88.42
	2018	3145	30.50	79.51	1.27	67.60	0.64	86.27
中间区	2008	25789	62.52	20.38	1.26	30.55	1.34	64.22
	2010	19776	47.94	10.17	1.29	34.14	1.27	66.03
	2013	13709	33.23	71.91	1.28	67.44	0.66	86.48
	2016	13103	31.77	52.60	1.32	57.70	0.81	79.71
	2018	16851	40.85	49.64	1.29	56.20	0.85	79.94
边远区	2008	165144	58.42	11.36	1.28	29.85	1.37	65.06
	2010	78742	27.85	84.38	1.36	71.69	0.56	88.07
	2013	125922	44.54	8.90	1.33	30.68	1.39	67.47
	2016	82553	29.20	57.57	1.37	52.68	0.96	80.10
	2018	105978	37.49	60.08	1.36	54.03	0.90	79.28

3.4 不同植被覆盖度景观格局变化分析

图 4 反映了不同植被覆盖度的景观指数随着时间的趋势或升或降，能够更加直观表示植被覆盖度的景观格局的变化。FAST 核心区斑块数量 (NP) 呈现先上升后下降的趋势，2008~2010 年的斑块数量上升趋势显著，中高植被覆盖度的斑块数量最高，破碎化程度也最高，2010~2018 年，斑块密度逐渐下降，破碎化程度也随之下降，极低植被覆盖度的斑块数量最小，整体趋于稳定状态，说明 FAST 核心区的植被覆盖度多在中植被覆盖度和中高植被覆盖度之间转化。FAST 中间区斑块数量呈下降趋势，不同植被覆盖度等级的顺序为：F4>F3>F5>F2>F1，高植被覆盖度的减少趋势最为明显，说明该地区的斑块趋于统一。FAST 边远区斑块数量呈先下降后上升的趋势，总体呈下降趋势，2008~2013 年下降明显，说明该时段植被保护成效显著，2013~2018 年整体趋于平稳。斑块密度 (PD) 在核心区、中间区和边远区均呈现下降的趋势，不同植被覆盖度等级的顺序为：F4>F3>F5>F2>F1，景观破碎程度降低，各植被覆盖度的斑块密度于 2013 年之后趋于平稳状态，核心区高植被覆盖度和中高植被覆盖度 2013~2016 年有短暂的上升趋势，说明此时的人类活动对其产生了一定的影响。

不同植被覆盖度等级的最大斑块指数 (LPI) 顺序为：F1>F2>F3>F4>F5，极低植被覆盖度整体呈现平稳的趋势，低植被覆盖度整体呈现缓慢增加的趋势，核心区中植被覆盖度、中高植被覆盖度的最大斑块指数整体呈现出增加的趋势，说明核心区绿化面积逐渐增大，中间区中植被覆盖度、中高植被覆盖度和高植被覆盖度呈现先增加后减少的趋势，边远区各植被覆盖度的最大斑块指数均呈现出“增加-减少”的趋势，中植被覆盖度、中高植被覆盖度和高植被覆盖度变化趋势较为明显，说明 FAST 电磁波宁静区 2008~2013 年的较高植被覆盖度增加优势明显，2013~2018 年较高植被覆盖度有所减少，极低植被覆盖度变化趋势不明显表明该区域的人工地表无明显变化。

不同等级的面积加权分形维数 (FRAC_AM) 的顺序为：F4>F5>F3>F2>F1，面积加权分形维数的值越大，其斑块形状越复杂，根

据(d)可以看出高植被覆盖度、中高植被覆盖度、中植被覆盖度和低植被覆盖度均呈现出先减小后平稳不变的大趋势,中高植被覆盖度的面积加权分形维数最为复杂,极低植被覆盖度的面积加权分形维数最简单,核心区 and 中间区 2008~2018 年极低植被覆盖度的波动幅度较大,说明该区域斑块复杂度变化显著,说明受人类活动的影响,建设用地的变得更为规则,因此人类活动的减少能够有效地提高景观形态的多样性。

蔓延度指数 (CONTAG) 在中高植被覆盖度和高植被覆盖度中显现出极为相似的趋势,呈现出“增加-减少”的大趋势,低植被覆盖度和中植被覆盖度呈现增加的趋势,极低植被覆盖度无明显变化,说明该地区的植被景观逐渐团聚,2013 年出现波峰,说明 2013 年的团聚效果最好。

各植被覆盖度等级的香农多样性指数 (SHDI) 的排列顺序为: F5>F4>F3>F2>F1, 各植被覆盖度的香农多样性指数呈下降的趋势,2013 年的香农多样性指数较低,此时的景观异质性最小,2013 年后逐渐保持稳定。该地区香农多样性逐渐下降,景观异质性减少,破碎化程度降低,土地利用趋于单调,景观格局的不确定性减小,景观多样性降低,说明人工林的增加使得植被覆盖度升高对整个区域的作用较大。

该地区聚合度 (AI) 整体呈增加的趋势,增加趋势显著,说明该区域的连通性增加,斑块高度聚集,植被覆盖度增加显著。极低植被覆盖度无显著变化,变化主要集中在中植被覆盖度、中高植被覆盖度和高植被覆盖度,2013 年的聚集程度最高,说明此时景观连片存在,连通性很高。

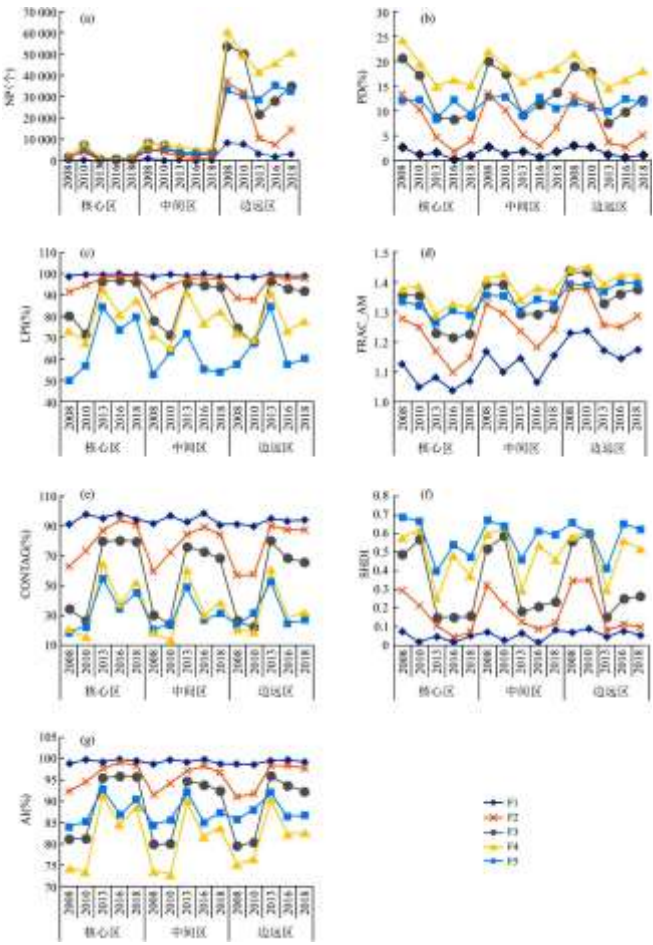


图 4 不同区域不同等级植被覆盖度景观指数

3.5 FAST 电磁波宁静区景观格局变化驱动力分析

3.5.1 不透水面动态变化

不透水面代表该区域的城市人工景观,根据文献^[31]得到 FAST 电磁波宁静区的不透水面。图 5 可以看出,该区域的不透水面分布较少,核心区无不透水面,中间区有两处,边远区的不透水面零散分布。基于统计得知 2008~2010 年人工不透水面的面积为 1.89km²,2010~2013 为 1.19km²,2013~2016 和 2016~2018 年分别为 0.08 和 0.22km²,不透水面的整体呈下降趋势。由此可以看出,由于 FAST 望远镜的灵敏度较高,为了保证 FAST 望远镜的正常运行,该地区的不透水面略有所下降,可能是拆除了部分无线电站和高压输电装置。

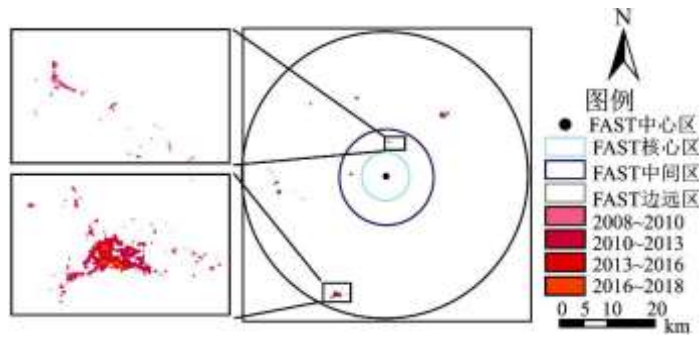


图 5 2008~2018 年 FAST 电磁波宁静区不透水面空间变化

3.5.2 气候因素

FAST 台址处于喀斯特山区的岩溶洼地,地形起伏,部分山体较为陡峭,但是洼地能够阻挡大风、暴雨、暴雪、冰雹等极端天气的影响。贵州省多雨多山,易发生泥石流、滑坡等自然灾害,FAST 核心区 5km 是重点监测对象,应保证该地区能够预防灾害的发生,做好强降雨与极端天气的监测工作。根据图 6 可知,该地区的降雨量稳定,强降雨情况较少,2008~2018 年全年降水量约在 20~40mm 之间,其中,2009 年年均降水量为 41.87mm,2012 年年均降水量为 24.25mm,为 10 年的最大值与最小值。2008~2017 年 10 年来,年平均最高温度与年平均最低温度在 20℃和 10℃之间,该地区气候条件良好,地质灾害发生的可能性较小。实际上,稳定的降雨与温度对植被的生长具有促进作用,有利于植被覆盖度的增加。

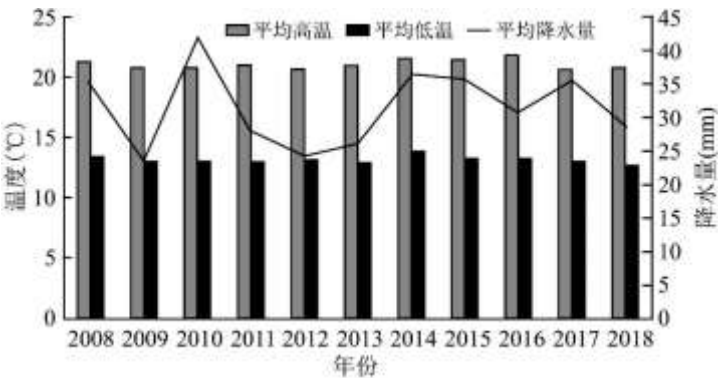


图 6 2008~2018 年平塘县降水量和温度变化

3.5.3 政策因素

政府政策对景观格局变化有着强制性的影响^[19],为了保证 FAST 电磁波宁静区的生态环境安全,2008 年以来,政府实施了一系列的生态修复措施,根据国家“十二五”生态环境监测目标,贵州省将平塘县和罗甸县作为首批生态环境评价试点县。2011~2016 年,平塘县积极植树造林,加快推进刺梨、绿茶和材林等森林资源建设,发展经果林,增加了植被覆盖度,同时进行生态移民,助力脱贫攻坚和生态建设,发展 FAST 旅游,建立国家湿地公园,落实污染防治和环境治理等保护了森林资源的可持续发展。2016 年以来,贵州省政府着力提升美丽平塘的林业发展,保持石漠化治理、森林抚育和水土保持等工程,抓好中国天眼等区域的生态保护和修复,提升森林覆盖率。

综上所述,政府的一系列生态修复工程极大地促进了植被覆盖度的增加速度,对 FAST 台址的稳定起促进作用,植被景观格局的破碎程度逐渐减小,高植被覆盖度景观呈现明显的优势。

4 讨论与结论

4.1 讨论

FAST 项目为国家重大工程,目前很多保护措施在逐步完善,前人对此景观格局变化的相关研究较少,FAST 望远镜顺利运转的重要影响因子为无线电的干扰、生态环境质量的安全以及人类活动带来的手机、相机和车载电台等,FAST 核心区主要的影响因素为旅游人员的不确定流动,FAST 景区应加强游客电子设施的管理。

2008 年核心区的植被覆盖度多为中植被覆盖度和中高植被覆盖度,2010~2013 年中、中高植被覆盖度多转为高植被覆盖度,到 2016 年,核心区的高植被覆盖度有所下降,转为中高植被覆盖度,2016~2018 年植被覆盖度趋于平稳,无明显变化。FAST 核心区的自然环境良好,森林覆盖率达 80%以上,FAST 中间区的森林覆盖率约为 70%,能够有效地防止泥石流、崩塌和滑坡等灾害对 FAST 望远镜的影响,同时台址周边应严禁砍伐树木,避免对台址的地质造成不稳定的现象。

FAST 电磁波宁静区极低植被覆盖度景观一直表现出稳定趋势,说明该地区的极低植被覆盖度无明显变化。全域尺度内,中植被覆盖度和中高植被覆盖度的破碎程度降低,高植被覆盖度斑块趋于大型化,规则化,优势度更加明显。核心区的高植被覆盖度增加趋势显著,景观多样性也随之下降。生态环境质量的明显改善,森林覆盖面积不断增加,林业资源逐渐丰富,与政府实施的退耕还林、生态旅游等政策密不可分。该地区为喀斯特地貌,该地区生态环境比较脆弱,所以持续的保护和修复措施必不可少,景观格局对该区域的生态建设、保护林业产业,发展新兴立体林业提供现实参考。

4.2 结论

本文基于 LandsatTM/OLI 数据对 FAST 电磁波宁静区 2008~2018 年的核心区、中间区和边远区进行植被覆盖度估算,通过分析其植被覆盖度的时空分布、转移情况和景观格局的变化情况,得到结论如下:

(1)FAST 电磁波宁静区整体植被覆盖度呈良好的增长趋势,2008~2018 年 FAST 电磁波宁静区南部的较低海拔区域植被覆盖度变化显著,从极低和低植被覆盖度转化为高植被覆盖度趋势明显,2008~2010 年的南部与东部植被覆盖度呈下降趋势,2010~2013 年边远区植被覆盖增加趋势明显,说明 FAST 工程的实施对该地区的生态环境的影响为正向趋势。2018 年整个区域多为中高、高植被覆盖度,此时的极低植被覆盖度多为水体。说明 FAST 电磁波宁静区在保护森林植被方面做出了巨大努力,使得其生态环境持续向好的方面发展。

(2)植被覆盖度转移情况显示,核心区 2008~2018 年以来植被覆盖度增加区域面积低于无变化区域,但远高于退化面积,说明该地区的植被覆盖度显著增加,中间区和边远区的趋势与核心区的趋势相同,整个区域呈整体向好的发展趋势。各等级的植被覆盖度转移情况主要集中在微度和轻度增加方面。

(3)在景观格局方面,该区域的总体景观破碎度逐年下降,人类活动的破坏程度减弱,整体的聚集度明显增大,景观多样性逐年降低,与植被覆盖度的显著增加趋势相一致。政策因素是该地区景观格局变化的主要驱动力因素,2018年持续的生态治理和林地保护使得FAST电磁波宁静区景观格局发生明显的变化。

(4)数据方面,由于贵州省多云多雨的气候条件,在获取可见光遥感数据时比较困难,因此之后的研究将考虑引入雷达数据对该区域进行分析。

参考文献:

- [1]熊康宁,池永宽.中国南方喀斯特生态系统面临的问题及对策[J].生态经济,2015,31(1):23-30.
- [2]YUAN X,HOU R,LIU Y,et al.The evaluation of soil stability in loess hilly and gully region of Northern Shaanxi based on GIS[J].Geological Journal,2018,53:379-386.
- [3]张琨,吕一河,傅伯杰,等.黄土高原植被覆盖变化对生态系统服务影响及其阈值[J].地理学报,2020,75(5):949-960.
- [4]程东亚,李旭东,安芬,等.高原山区小流域植被覆盖度演变时空格局[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2020,38(1):6-13.
- [5]穆少杰,李建龙,陈亦照,等.2001-2010年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J].地理学报,2012,67(9):1255-1268.
- [6]刘宪锋,杨勇,任志远,等.2000-2009年黄土高原地区植被覆盖度时空变化[J].中国沙漠,2013,33(4):1244-1249.
- [7]程东亚,李旭东.喀斯特地区植被覆盖度变化及地形与人口效应研究[J].地球信息科学学报,2019,21(8):1227-1239.
- [8]王毅,郭跃.喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系分析——以贵州普定县为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(1):157-167.
- [9]汪明冲,王兮之,梁钊雄,等.喀斯特与非喀斯特区域植被覆盖变化景观分析——以广西壮族自治区河池市为例[J].生态学报,2014,34(12):3435-3443.
- [10]LYDERSEN J M,COLLINS B M.Change in vegetation patterns over a large forested landscape based on historical and contemporary aerial photography[J].Ecosystems,2018,21(7):1348-1363.
- [11]ZHOU Q,WEI X,ZHOU X,et al.Vegetation coverage change and its response to topography in a typical karst region:The Lianjiang River basin in southwest China[J].Environmental Earth Ences,2019,78(6):1-10.
- [12]DE CARVALHO R M,SZLAFSZTEIN C F.Urban vegetation loss and ecosystem services:The influence on climate regulation and noise and air pollution[J].Environmental Pollution,2019,245:844-852.
- [13]陈利顶,刘洋,吕一河,等.景观生态学中的格局分析:现状、困境与未来[J].生态学报,2008,28(11):5521-5531.
- [14]阳文锐.北京城市景观格局时空变化及驱动力[J].生态学报,2015,35(13):4357-4366.

-
- [15]王静,周伟奇,许开鹏,等.京津冀地区城市化对植被覆盖度及景观格局的影响[J].生态学报,2017,37(21):7019-7029.
- [16]吕丹红,姜琦刚,王德军,等.Landsat 数据的植被覆盖估算和景观格局分析[J].测绘科学,2018,43(11):157-164.
- [17]王君,杨晓梅,隋立春,等.西安市 1995-2016 年植被覆盖度动态变化监测及景观格局分析[J].生态科学,2019,38(6):81-91.
- [18]刘娜,王克林,段亚锋.洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响[J].生态学报,2012,32(15):4641-4650.
- [19]张敏,宫兆宁,赵文吉,等.近 30 年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制[J].生态学报,2016,36(15):4780-4791.
- [20]CAROLINA P A, LEVI G R, ANTONIO H C, et al. Beach vegetation as an indicator of human impacts in arid environments: Environmental conditions and landscape perception in the Canary Islands[J]. Journal of Environmental Management, 2019, 240:311-320.
- [21]ELLISON D, SPERANZA C I. From blue to green water and back again: Promoting tree, forest and vegetation-based landscape resilience in the Sahel[J]. Science of the Total Environment, 2020, 739:140002.
- [22]黄仕杰. 500 米口径球面射电望远镜 (FAST) 电磁干扰监测与分析[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [23]肖凯仁. 植被中电波传播损耗与散射研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.
- [24]贵州省 500 米口径球面射电望远镜电磁波宁静区保护办法[N]. 贵阳: 贵州日报, 2013-08-20(002).
- [25]DEFRIES R S, TOWNSHEND J R G. NDVI-derived land cover classification at a global scale[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(17):3567-3586.
- [26]熊巧利,何云玲,李同艳,等.西南地区生长季植被覆盖时空变化特征及其对气候与地形因子的响应[J].水土保持研究,2019,26(6):259-266.
- [27]周兆叶,储少林,王志伟,等.基于 NDVI 的植被覆盖度的变化分析——以甘肃省张掖市甘州区为例[J].草业科学,2008,25(12):23-29.
- [28]邬建国.景观生态学:格局、过程尺度与等级[M].北京:高等教育出版社,2007.
- [29]RITTERS K H, O' NEILL R V, HUNSAKER C T, et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metric[J]. Landscape Ecology, 1995, 10(1):23-39.
- [30]布仁仓,胡远满,常禹,等.景观指数之间的相关分析[J].生态学报,2005,25(10):2764-2775.
- [31]GONG P, LI X, WANG J, et al. Annual maps of global artificial impervious area (GAIA) between 1985 and 2018[J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 236:111510.