

文章编号:1671-4229(2023)02-0087-08

南岭山区红砂岭生态环境修复的遥感监测

——以南雄市为例

蔡世荣^{1a}, 陈行^{1a}, 余世钦^{1a,b}, 符加方², 徐国良^{1a,b}, 杨现坤^{1a,b*}

(1. 广州大学 a. 地理科学与遥感学院, b. 广东省农村水环境面源污染综合治理工程技术研究中心, 广东 广州 510006; 2. 南雄市自然资源局, 广东 韶关 512400)

摘要: 粤北南岭山区是华南地区重要的生态屏障和水源涵养区。其在南雄市特有的红砂岭地貌,在自然条件和人为活动的影响下生态风险日渐凸显。探索红砂岭生态环境的修复监测,对粤北山区的生态保护有着重要意义。文章结合无人机高分航拍影像,基于U-Net卷积神经网络模型解译生态要素,并参照2017年遥感影像进行历史变化分析,对研究区域的红砂岭地貌生态修复现状进行监测。结果表明:①草地是和红砂岭地貌共存的典型生态要素类型,灌乔木的生长条件要求较高,难以在红砂岭地貌近距离生存;②当前是研究区的生态修复改造的初期,生态修复的初步成效已经展现。在后续的工作中,需针对砂岭地貌周边植被生长情况,实施综合治理措施。

关键词: 红砂岭; 生态修复; 无人机; U-Net; 南雄市

中图分类号: K 921 **文献标志码:** A

Monitoring of ecological restoration in the red-sand ridges in the Nanling mountains: A case study in Nanxiong county

CAI Shi-rong^{1a}, CHEN Hang^{1a}, YU Shi-qin^{1a,b}, FU Jia-fang², XU Guo-liang^{1a,b}, YANG Xian-kun^{1a,b*}

(1. a. School of Geography and Remote Sensing, b. Rural Non-Point Source Pollution Comprehensive Management Technology Center of Guangdong Province, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. Nanxiong County Natural Resources Bureau, Shaoguan 512400, China)

Abstract: Nanling mountain area of northern Guangdong province is an important ecological shelter and water conservation area. The unique landform of red-sand ridges in Nanxiong county, under natural and anthropogenic disturbances, its ecological risks are increasingly prominent. And the monitoring of ecological restoration of red-sand ridges is of great significance for the ecological protection in mountainous areas in northern Guangdong province. This paper, using high-resolution aerial images taken by an Unmanned Aerial Vehicle (UAV), interpreted ecological elements based on U-Net convolutional neural network model. We analyzed historical changes based on satellite images obtained in 2017 and monitor the aforementioned ecological restoration. The results indicated: ① grass is a typical ecological element coexisting with the red-sand landform. Compared with grass, forests need a better ecological environment. The closer to red-sand landforms, the harder it is for forests to survive,

收稿日期: 2022-04-07; 修回日期: 2022-06-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41871017); 南雄市红砂岭综合治理工程监测分析与评价资助项目(ZPSG2020ZB010, ZPSG2020ZB045)

作者简介: 蔡世荣(1999—),男,硕士研究生. E-mail:caisr@gzhu.edu.cn

*通信作者. E-mail:yanggxk@gzhu.edu.cn

引文格式: 蔡世荣, 陈行, 余世钦, 等. 南岭山区红砂岭生态环境修复的遥感监测——以南雄市为例[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2023, 22(2): 87-94.

and vice versa; ② the current ecological restoration in the study area is in the early stage, but its positive effect has been observed in this study. In subsequent work, it is necessary to implement comprehensive treatment measures according to the surrounding vegetation situation in red-sand landforms.

Key words: red-sand ridge; ecological restoration; UAV; U-Net; Nanxiong county

生态安全是国家安全的重要组成部分,是经济社会持续健康发展的重要保障^[1]。纵观世界发展史,保护生态环境就是保护生产力,改善生态环境就是发展生产力。良好生态环境是最公平的公共产品,是最普惠的民生福祉。为夯实国家生态安全格局,2018 年财政部、生态环境部和自然资源部办公厅联合发布《关于组织申报第三批山水林田湖草生态保护修复工程试点的通知》^[2]。在此背景下,对生态系统薄弱区开展生态环境保护修复工作刻不容缓。

粤北南岭山区作为北江和东江上游重要的水源涵养区^[3],也是我国华南地区重要的生态屏障,对其进行生态保护尤为重要。粤北南岭山区主要位于广东省韶关市行政区划范围内,涵盖了 5 县、2 市和 3 区^[4]。由于山区特殊的自然条件和人为活动影响,其生态环境存在不同程度的破坏,环境问题日渐凸显,区域生态风险日益上升^[5]。近年来,韶关市高度重视生态文明建设,在粤北南岭山区持续开展大规模整顿和规范土地退化和土地荒漠化治理工作^[6],对丹霞地貌的治理收到了成效。

丹霞地貌由盆地发育而来,在热带、亚热带湿润区,温带湿润-半湿润、半干旱-干旱区和青藏高原高寒区均有分布,但相对集中分布在东南、西南和西北地区^[7]。一般大中型盆地的边缘地段都有洪积扇堆积所形成的粗碎屑岩类,岩性较硬,可发育丹霞地貌;而靠近盆地中心的部位,主要沉积粉砂质和泥质软岩,容易遭受风化破碎和流水冲刷侵蚀。韶关南雄盆地因其气候湿润,加上人为活动干扰,使得区域中心的土壤侵蚀速度远大于成土速度,红层区发生快速土地退化过程,产生特有的红层荒漠化现象,即红砂岭地貌。红砂岭地貌发生的土地退化基本是不可逆的,形成红层荒漠意味着土地失去了基本的生产能力,无法加以开发利用^[8]。因此,对南雄盆地的红砂岭生态环境进行修复和监测,有利于粤北南岭山区的生态保护和土地可持续利用,对于类似的丹霞地貌生态修复具有借鉴意义。

本文将南雄市红砂岭地貌作为监测对象,结合高分辨率的无人机航拍影像,对研究区域的红砂岭地貌区进行详细调查,并结合地理信息手段对红砂岭区域及其周边地理要素等进行综合分析研究,为粤北红砂岭地貌地区的生态环境保护提供科学依据。

1 研究区概况和数据来源

1.1 南雄市及研究区域概况

南雄市地处广东省北部,大庾岭南麓,毗邻江西,位置介于东经 113°55'30"~114°44'38",北纬 24°56'59"~25°25'20"。全市面积约 2 361.4 km²,东西极限 84 km,南北极限 52 km,下辖 17 个镇和 1 个街道。地形上南北两面群山连绵,中部丘陵沿浈江伸展,形成一个狭长盆地,地学上称为“南雄盆地”。

盆地以紫色砂页岩地层为主,俗称为“红砂岭”,其表面的页岩易风化,遇暴雨冲刷易流失,母质裸露,坚硬如石,侵蚀沟支离破碎。盆地区域生态要素主要包括灌乔木、红砂岭、草地和农用地,其中,红砂岭主要分布在古市镇、黄坑镇、湖口镇、油山镇和乌迳镇范围内。红砂岭地貌区的自然土壤属红壤土和紫色土壤,土壤侵蚀强度较高,其中,红壤区的土壤侵蚀最为严重^[9]。因为该地红砂岭地貌区域自然条件恶劣,所以植物生长环境差,只有少量的乔木林、灌木林和草本植物等,生态系统也较为脆弱,土地容易退化为红层荒漠。除了岩性自身较易风化和自然气候条件的影响之外^[10],开垦林地、地表取土等人为活动是红层地貌发生荒漠化的最主要原因^[11]。

本研究在湖口镇、黄坑镇和油山镇 3 个镇中选取了 4 个区域,分别为承平村、湖口村、长市村和油山片区(图 1)。经过实地考察后,采用无人机航测技术生成研究区高分辨率 DOM 影像(图 2)。

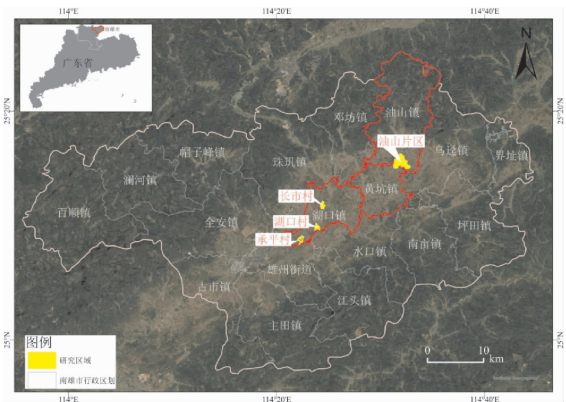


图 1 南雄市地理位置及研究区域图

Fig. 1 Geographical location and research area of Nanxiong County

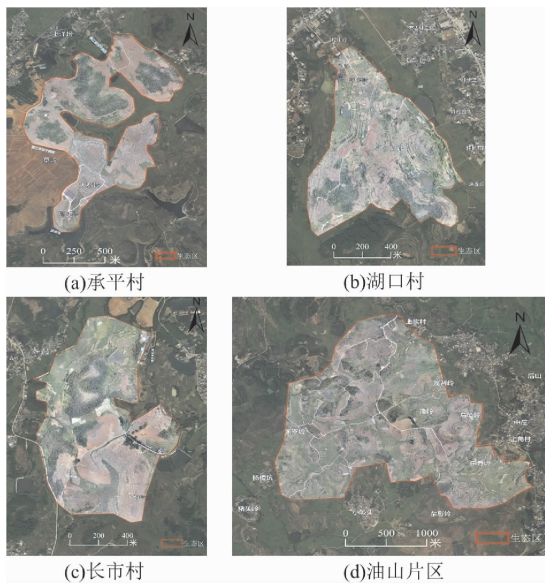


图2 研究区域高分航拍影像

Fig. 2 High-resolution aerial images of the study areas

图2中的4个区域分别代表了不同的红砂岭地貌环境、不同的红砂岭治理控制阶段、不同的地貌景观分布格局。通过系统调查它们的生态现状,可以更准确、客观地反映各种自然和人为因素对红砂岭生态系统的干扰,同时了解红砂岭地貌区在治理措施下的生态环境变化过程。

1.2 数据来源

在南雄市红砂岭区域开展必要的野外实地调研活动,调查南雄市红砂岭特殊地貌区的不同地貌类型、地貌特征、地貌分布特征和纹理特征,同时标记典型地貌类型的分布位置以及周围环境分布状况等信息,为后期影像判读提供实地支撑信息。

此外,利用无人机对研究区域地貌进行航拍,深入调查南雄市典型红砂岭地貌区环境状况,见图3。



图3 野外实地调研照片

Fig. 3 Photos of field investigations

图3的数据采集时间为2021年7月上旬和8月上旬,植物和农作物生长状况良好,拍摄高度约为200 m,属于低空拍摄。拍摄时天气状况良好,太阳高度角较大,风力在3级左右,云量较少,所获取影像受大气因素影响较小,与实际情况基本一致。研究影像具有红、绿、蓝3个波段,空间分辨率为0.1 m。

2 研究方法

2.1 研究路线

将承平村、湖口村、长市村与油山片区的红砂岭地貌区作为研究对象,研究路线具体分为以下步骤:

(1)红砂岭地貌识别:结合实地外业调查结果,创建红砂岭地貌区域的训练样本,构建研究区生态要素的深度学习遥感解译模型,并选取面积大于100 m²的红砂岭区域作为典型类别区域。

(2)生态要素分类:利用U-Net卷积神经网络模型,结合训练样本将无人机DOM影像数据分为红砂岭、草地、水体、农用地和灌乔木5类。

(3)统计分析:分析红砂岭地貌研究区植被覆盖的空间特征,对红砂岭地貌研究区的生态环境特征进行评价。

(4)对比分析:对2017年2.5 m分辨率的遥感影像进行生态要素识别,采取支持向量机SVM分类方法监督分类。经过技术人员后期人工校正后得到2017年生态要素分类情况,与上述分析结果进行对比分析,研究红砂岭地貌研究区的生态要素空间变化情况。

2.2 基于U-Net卷积神经网络遥感影像解译模型

Ronneberger等^[12]在2015年对全卷积神经网络(Fully Convolution Network, FCN)进行改进,提出了U型神经网络(U-type neural networks, U-Net),因其较好的分割效果被广泛应用于遥感图像分割研究中。

神经网络在卷积过程中特征图分辨率会逐层下降,进而导致分割图像边缘不够精确。对此,FCN提出跳跃连接的思想,将深层特征与浅层特征相结合,使得分割边缘更加精确^[13]。U-Net借鉴和发展了FCN这种高维特征和低维特征相结合的思想(图4),在其基础上有两处改进:①特征图上采样阶段进行多层卷积。U-Net会对小尺寸特征图进行多组卷积操作,将简单叠加的上下文特征通过多层卷积更好地进行融合,学习到更为关键的融合特征;这加深了网络的深度,使整个网络能够学习到更为复杂的特征;②进一步贯彻将上下文特征融合

的思想。相比于 FCN 只连接到 1/8 低维特征图, U-Net 把将上下文特征融合的思想进一步贯彻, 一直连接到第一层特征图, 保证最终的特征图尽可能包含原始输入各个尺度的特征, 使得 U-Net 的图像分割精度进一步提高。

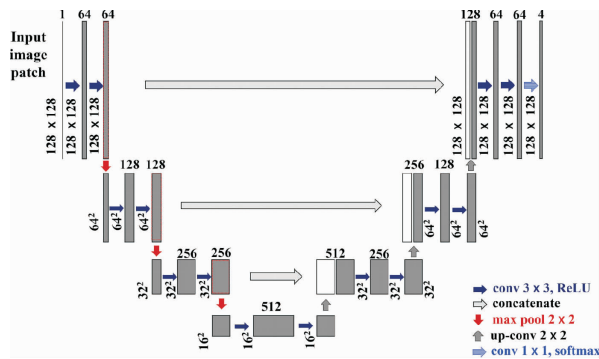


图 4 U-Net 网络结构示意图^[14]

Fig. 4 Schematic diagram of U-Net network structure^[14]

2.2.1 样本数据集制作

根据外业调研成果, 结合航拍影像特征在航拍影像上标记深度学习样本, 生成深度学习样本影像数据集, 训练用于影像工作流的深度学习模型。样本采集选取遵循以下原则: 每类生态要素的样本个数不少于 500 个, 同时尽可能让样本均匀分布在影像上(图 5)。



图 5 训练样本设置示意图

Fig. 5 Configuration of training samples

注: 红色为红砂岭, 黄色为农用地, 浅绿色为草地, 深绿色为灌木。

在创建训练样本后, 使用导出训练数据进行深度学习的工具将无人机 DOM 影像和训练样本转换为深度学习训练数据。

2.2.2 模型优化和人工矫正

接着, 使用训练深度学习模型工具, 把上一步中生成的影像片训练深度学习模型使用 U-Net 训练模型分类要素。在模型训练时, 首先对收集的样本按 70% 和

30% 划分为训练样本和验证样本, 并使用 U-Net 训练模型获得分类模型参数, 再用验证样本集验证对模型进行精度评价。另外, 不断根据精度评价结果增加和完善样本集, 调整训练样本分布, 再次使用 U-Net 训练模型获得分类模型参数, 如此反复多轮, 直到获得比较满意的精度结果。

然后, 使用深度学习工具进行像素分类, 运行上一步骤生成的输出栅格的训练深度学习模型, 对生态要素进行分类, 每个生态要素将会分配到一个类别。

由于基于 U-Net 深度学习方法的航拍影像分类是在完全无人工干预的情况下进行的, 虽然可以不断调整样本数据, 优化模型参数, 进而提高模型精度, 但仍然无法保证分类结果完全准确。因此, 在分类完成后通过对比原始影像和分类结果的光谱特征、形状特征和纹理信息, 结合实地调研经验, 对初步分类结果进行人工目视核查和校准, 包括删除错误分类结果、修正分类结果和补充漏分要素, 最终得到精准的研究区生态要素空间分布数据。

2.3 生态要素统计分析

红砂岭地貌的土层较薄, 裸露岩石多, 不利于植被生长, 地貌周围只有少量的乔木林、灌木林和草本植物等, 可见, 红砂岭地貌对周围生态环境具有明显影响, 但是这种影响又随距红砂岭地貌的距离逐步衰减, 形成明显的梯度效应。这种梯度效应主要表现在距离红砂岭不同范围内的生态要素类型差异, 距离红砂岭越近, 植被生长环境越恶劣, 能存活的植被就需要越强的环境适应能力。

为调查这种梯度效应变化, 选择面积大于 100 m² 的红砂岭区域斑块作为典型红砂岭区域, 对上述区域分别创建 5 m、10 m、15 m 以及 20 m 的缓冲区, 通过统计不同层级缓冲区中各个生态要素的空间分布状况, 由此把握红砂岭典型地貌区域的生态空间, 表明红砂岭在自然状态下对周围生态要素造成的干扰。

此外, 在对周边生态要素造成影响和干扰的同时, 红砂岭地貌也受到人为活动的剧烈影响, 主要表现为当地农民在短期经济利益的驱使下不断垦荒拓田, 破坏了红砂岭地貌自然生态环境和要素结构布局。另外, 地貌自然资源管理部门最近两年推行一系列红砂岭地貌治理项目, 通过生态修复和工程治理方式改善红砂岭地貌。因此, 最近几年南雄市红砂岭地貌经历了快速且剧烈的变化。为准确定量这种变化, 利用 2017 年遥感影像进行生态要素分类, 并根据统计结果与上述得到的结果进行对比, 分析生态要素的面积变化及空间分布变化情况, 评价人为活动对红砂岭地貌造成的影响。

2.4 精度评价

以承平村生态区为例,对部分生态要素进行目视解译分类,然后将多种监督分类方法与 U-Net 方法对生态要素进行分类,与人工目视解译结果进行精度对比,评价见表 1。

表 1 不同分类方法精度评价表

Table 1 Accuracy evaluation of different methods

分类方法	总体精度/%	Kappa 系数
U-Net	93.81	0.88
支持向量机	75.60	0.66
最大似然法	66.32	0.53
随机树	67.58	0.54

结果表明,U-Net 的总体精度最高,为 93.81%,Kappa 系数为 0.88,适用于本文的研究。而 3 个监督分类方法中,支持向量机的精度比最大似然法和随机树高,为 75.60%,因此,将其作为 2017 年影像的分类方法。

3 结果

3.1 生态要素提取结果

如表 2 所示,承平村研究区面积为 834 752.92 m²,红砂岭地貌共有 324 431.60 m²,占研究区域总面积 38.87%。而面积大于 100 m² 的红砂岭地貌斑块有 77 个,总面积为 301 700.74 m²,占该区域红砂岭面积的 93.00%,表明该地的红砂岭地貌区域比较集中、呈连片分布,主要分布在研究区右侧和顶部区域,见图 6(a)。生态要素方面,承平村研究区的生态要素类型表现出非常明显的连片分布特征,农用地主要集中在研究区中间,且连片分布一直延伸到研究区底部,而灌乔木分布则集中在左上角 3 个连片分布区。

表 2 研究区域红砂岭提取结果表

Table 2 Extraction results of red-sand ridges in the study areas

研究区域	研究区域 面积/m ²	红砂岭 面积/m ²	红砂岭 面积占比/%
承平村	834 752.92	324 431.60	38.87
湖口村	697 098.93	185 114.94	26.56
长市村	793 314.64	245 170.07	30.90
油山片区	4 140 745.43	1 032 793.08	24.94

与承平村的红砂岭地貌分布情况不同,湖口村研究区的红砂岭区域仅占总面积的 26.56%,其中面积大于 100 m² 的红砂岭地貌斑块有 178 个,总面积为 153 909.02 m²,占该区域红砂岭面积的 83.14%。该区域农用地大部分已经做退耕处理,只在边缘区域保留了

小部分农用地,部分红砂岭典型区域由耕地退化形成,分布较为零散,见图 6(b)。生态要素方面,湖口村研究区各生态要素类型交错分布,相互交叉分布现象比较明显。与承平村研究区的连片分布特征相比,该区域各生态要素类型自然交错分布更加明显。这表明在接近自然状态下,草地是与红砂岭地貌共存的典型类型。但是,随着生长环境改善,也会逐渐有散落的灌乔木分布出现。与草地相比,灌乔木对红砂岭地貌的适应能力稍弱,对生长环境条件要求稍高。

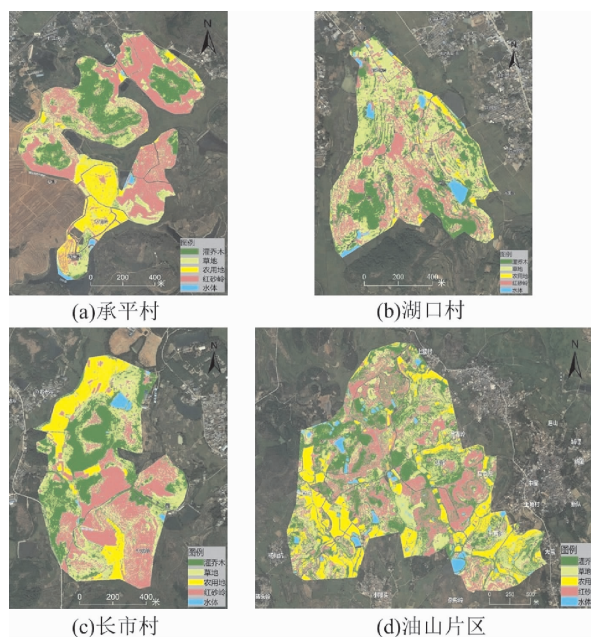


图 6 研究区域生态要素提取结果

Fig. 6 The extracted ecological elements in the study areas

长市村研究区的红砂岭区域共有 245 170.07 m²,占研究区域总面积 30.90%,面积大于 100 m² 的红砂岭地貌斑块有 88 个,总面积为 227 245.85 m²,典型红砂岭地貌斑块占该区域红砂岭面积的 92.69%。该区域灌乔木、草地和红砂岭生态要素分布比例较为均衡,中间和底部区域红砂岭较为集中,见图 6(c)。生态要素方面,长市村研究区生态要素类型也表现出较明显的连片分布特征,但并没有承平村研究区那么典型,主要表现为灌乔木分布自然特征更加明显,呈现更加随机的空间分布特征,主要分布于研究区左上角和底部居中区域。此外,很多红砂岭地貌内存在零散的草地分布,表明在人为活动影响较小的红砂岭地貌内,草地是可以与其共存的典型生态类型。

油山片区是面积最大的研究区域,其红砂岭区域共有 1 032 793.08 m²,占研究区域总面积 24.94%,而面积大于 100 m² 的红砂岭地貌斑块有 549 个,总面积为

910 851.96 m²,占该区域红砂岭面积的 88.19%。该地中间区域的农用地大部分改为种植经济林,大部分红砂岭典型区域较为集中,少部分散布在左下角区域的农用地,见图 6(d)。生态要素方面,油山片区是受人为活动影响较为明显的,表现为农用地占比急剧增加,且农用地空间分布比较集中,形状也更加趋于规则化。另外,由于该区域农用地较多,为支持农田灌溉,人工水塘分布较多,靠近农用地区域的水塘面积较大。在油山片区草地仍然是与红砂岭地貌共存的典型类型,但是也有散落的灌乔木分布出现。

3.2 生态要素统计分析和尺度效应影响评价

3.2.1 承平村

如表 3 所示,在承平村研究区中,红砂岭在各缓冲区内面积占比最低,15 m 缓冲区范围内红砂岭占比达到峰值 6.64%,而 20 m 缓冲区内红砂岭面积占比仅为 5.87%。同时灌乔木所占缓冲区面积的比重逐渐上升趋势明显,而草地的面积占比在 5 m 缓冲区范围内最大,面积占比随着缓冲区距离增大而减少,见图 7(a)。由此可以得出,在承平村生态区中,红砂岭地貌周围主要生态要素为灌乔木与草地。

表 3 研究区域生态要素空间统计表

Table 3 Statistics of ecological element in the four study areas

研究区域	缓冲区距离/m	缓冲区面积 /m ²	灌乔木面积 /m ²	面积占比/%	草地面积 /m ²	面积占比/%	农用地面积 /m ²	面积占比/%	红砂岭面积 /m ²	面积占比/%
承平村	5	138 618.57	25 848.96	18.65	89 272.92	64.40	15 598.05	11.25	7 898.64	5.70
	10	205 798.30	49 811.07	24.20	117 322.53	57.01	25 067.05	12.18	13 597.64	6.61
	15	261 583.70	72 839.86	27.85	136 304.57	52.11	35 079.09	13.41	17 360.16	6.64
	20	312 228.74	94 606.28	30.30	153 840.11	49.27	45 449.22	14.56	18 333.13	5.87
湖口村	5	172 847.04	48 236.02	27.91	110 636.90	64.01	3 047.17	1.76	10 926.95	6.32
	10	259 480.80	77 524.82	29.88	154 914.77	59.70	6 924.40	2.67	20 116.81	7.75
	15	325 704.87	103 199.35	31.68	186 783.20	57.35	10 391.19	3.19	25 331.13	7.78
	20	378 494.67	125 690.52	33.21	212 628.14	56.18	12 968.51	3.43	27 207.50	7.19
长市村	5	126 124.08	25 539.47	20.25	84 080.87	66.67	9 832.35	7.80	6 671.38	5.29
	10	187 968.18	46 914.15	24.96	108 133.83	57.53	21 695.24	11.54	11 224.95	5.97
	15	240 707.55	66 609.27	27.67	126 399.15	52.51	33 791.38	14.04	13 907.75	5.78
	20	290 150.26	87 072.34	30.01	143 187.40	49.35	45 421.56	15.65	14 468.96	4.99
油山片区	5	825 220.36	383 078.78	46.42	352 329.15	42.70	48 966.22	5.93	40 846.22	4.95
	10	1 238 874.57	566 939.85	45.76	487 212.36	39.33	115 114.59	9.29	69 607.77	5.62
	15	1 572 572.53	704 309.21	44.79	584 337.57	37.16	189 991.19	12.08	93 934.56	5.97
	20	1 842 513.35	818 554.76	44.43	667 646.18	36.24	255 657.00	13.88	100 655.40	5.46

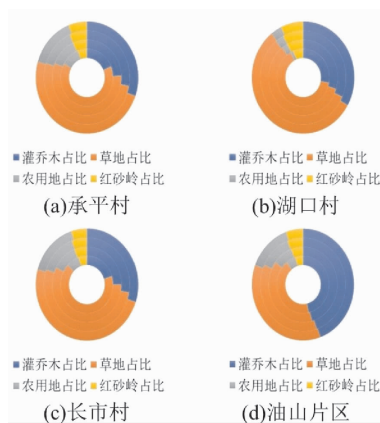


图 7 生态要素空间统计环形图

Fig. 7 Ring maps of spatial statistics of ecological elements

注:由内环到外环依次为 5 m、10 m、15 m 和 20 m 缓冲区。

3.2.2 湖口村

在湖口村研究区中,红砂岭地貌所占缓冲区面积的

比重较低,最高仅为 7.78%。灌乔木所占面积随缓冲区距离地增加而不断增加,草地面积占比则随缓冲区距离地增加而不断减少,峰值为 5 m 缓冲区时的 64.01%,见图 7(b)。而农用地所占比例较小,在 20 m 缓冲区达到峰值且占比仅 3.43%。说明由于林草整治工程地展开,红砂岭地貌周边存在大量的红砂岭-草地,红砂岭-灌乔木的过渡区域。

3.2.3 长市村

在长市村研究区中,5 m 缓冲区范围内红砂岭地貌面积占该缓冲区面积 5.29%;随着缓冲距离地增加,红砂岭地貌所占缓冲区面积的比重先增加后减少,20 m 缓冲区内红砂岭地貌面积占比仅为 4.99%。同时灌乔木占缓冲区面积的比重逐渐上升,草地面积随缓冲距离增加而逐渐降低,见图 7(c);而农用地在面积分布最大的区域为 20 m 缓冲区,占比为 15.65%。由此可以得出,

长市村研究区红砂岭地貌分布与承平村研究区类似,红砂岭地貌周围主要生态要素也是灌乔木与草地。

3.2.4 油山片区

在油山片区中,随着缓冲距离地增加,红砂岭地貌所占缓冲区面积的比重最低,5 m 缓冲区仅占 4.95%,而 20 m 缓冲区也只有 5.46%;而灌乔木和草地面积占比随缓冲距离地增加而逐渐减少,同时农用地所占缓冲区面积的比重大幅度上升,见图 7(d),即从 5 m 缓冲区的 5.93% 上升到 20 m 缓冲区的 13.88%。在油山片区中,红砂岭地貌周围主要生态要素为灌乔木,其次为草地,说明该区域生态环境人为整治力度较大,生态要素类型变化比较明显。

3.3 生态要素的历史变化分析

红砂岭地貌治理是南雄市重要的生态修复工程,最近几年大规模的生态修复工程已经对典型红砂岭地貌区进行大规模的施工修复。为准确反映生态修复工程实施前后典型红砂岭地貌区的生态要素类型变化情况,本研究获取了生态修复工程实施前 2017 年的 2.5 m 高分辨率卫星影像,使用支持向量机 SVM 对生态要素分类后,将其与生态修复中的无人机影像进行对比分析,利用 ArcGIS 进行叠加分析,统计不同片区生态要素变化情况,得到不同的生态要素变化情况(图 8)。

由图 8(a)和图 8(c)可见,承平村和长市村研究区的变化情况有相似之处,大量自然生态要素,尤其是草地等被移除。但由于刚种植修复植和经济作物植被,或者正计划种植,当前处于生态要素更新的转折切换期,使得红砂岭地貌增加明显。如表 4 所示,草地在承平村(42.69%)和长市村(46.36%)均为 2017 年面积最大的

生态要素,同时红砂岭面积在生态修复工程中有显著的增加,分别增加了 27.62% 和 15.78%。在空间分布上,承平村顶部、左侧和右侧区域的生态要素大都转变为红砂岭,中间区域的生态要素类型基本维持不变,底部大石岭区域的生态要素转变为农用地,主要种植脐橙树;而长市村中间、右侧、底部大麻岭区域的草地大部分都转变为红砂岭;顶部区域的生态要素类型基本维持不变,左下角区域的一部分草地也转变为红砂岭。说明承平村和长市村研究区处于生态修复改造的初期,之后在对红砂岭地貌区进行植被复植,区域会有比较快的植被修复。

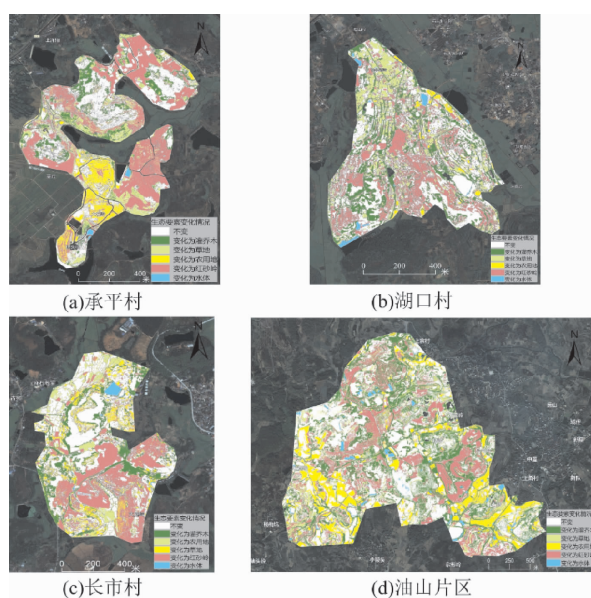


图 8 生态要素变化图

Fig. 8 Maps of changes of ecological elements

表 4 2017 年生态要素统计及变化表

Table 4 Statistics and changes of ecological elements in 2017

%

研究区域	生态要素面积占比及变化率				
	灌乔木	草地	农用地	红砂岭	水体
承平村	21.98 (+0.12)	42.69 (-17.34)	23.54 (-10.92)	11.24 (+27.62)	0.55 (+0.51)
湖口村	15.28 (+12.16)	53.32 (-12.94)	12.22 (-9.62)	16.93 (+9.63)	2.26 (+0.78)
长市村	20.30 (+6.36)	46.36 (-18.36)	17.85 (-4.69)	15.12 (+15.78)	0.37 (+0.91)
油山片区	11.52 (+19.22)	57.90 (-33.18)	16.06 (+0.78)	12.87 (+12.07)	1.64 (+1.10)

由图 8(b)可见,在湖口村研究区,草地作为 2017 年面积占比最大的生态要素,2021 年面积占比下降至 40.38%,减少了 12.94%;红砂岭的面积占比增加了 9.63%。在空间分布上,湖口村中间和底部区域的生态

要素大部分都转变为红砂岭;左下角区域的灌乔木明显增多;顶部区域的红砂岭大部分转变为草地,仅有小部分红砂岭零散分布。可见,湖口村研究区当前也是处于生态修复改造的初期,但是灌乔木比承平村研究区增加

得更明显,红砂岭地貌占比增加没有承平村研究区明显,说明湖口村区的生态修复改造进展较快,已经能看到生态修复的初步成效。

在油山片区由图8(d)可见,只有草地的面积占比下降,减少了33.18%,而红砂岭和灌乔木面积占比分别增加了12.07%和19.22%。在空间分布上,油山右侧和顶部区域的草地大部分都转变为红砂岭;全域的灌乔木面积明显增加,面积增加主要在顶部和右侧区域;左下角和右下角区域的农用地增多,顶部和中间区域的农用地减少,总体面积变化不大。与湖口村研究区类似,油山片区的生态修复整治力度大,生态修复的初步成效已经呈现,在后期红砂岭区域会逐步转变为农用地和灌乔木。

4 结论与讨论

本文对南雄市红砂岭的4个研究区内的生态要素进行全面监测,掌握各要素特征值及其生态要素的分布特征及其变化规律,结论如下:

(1)草地是和红砂岭地貌共存的典型生态要素类

型,灌乔木生长条件要求较高,在距红砂岭地貌稍远后分布开始增加。

(2)对比历史卫星影像发现,研究区域当前处于生态修复改造的初期,草地等自然生态要素已经被移除,因为修复植和经济作物植被刚种植,或者正计划种植,使得红砂岭地貌看起来增加比较明显。但在湖口村和油山研究区已经能看出灌乔木生态要素增加明显,已经能看到生态修复的初步成效。

后续的生态修复需要针对红砂岭地貌周边植被情况,做到定时监测,继续实施土地清表(平整)、连片土壤改良、基础水利设施及配套管道、乔灌草种植和水利设施建设等一系列综合治理措施,以实现区域生态恢复和土地可持续利用。

此外,运用无人机对小尺度区域进行航拍监测,在处理过程中可能存在干扰误差和无人机拼接变形的问题,使得部分区域识别误差。在进一步的研究中,应加入无人机可见光植被指数,如过绿指数(EXG)、归一化绿红差异指数(NGRDI)、可见光波段差异植被指数(VDVI)等对植被和非植被区域进行区分,再分别进行生态要素识别,使得到的结果更为准确。

参考文献:

- [1] 习近平. 习近平谈治国理政(第3卷)[M]. 北京: 外文出版社, 2020.
- [2] 财政部办公厅, 自然资源部办公厅, 生态环境部办公厅. 关于组织申报第三批山水林田湖草生态保护修复工程试点的通知[J]. 自然资源通讯, 2018,18(13):14.
- [3] 环境保护部, 中国科学院. 全国生态功能区划(修编版)[EB/OL]. (2015-11-01)[2022-02-02] <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201511/W020151126550511267548.pdf>.
- [4] 广东粤北南岭山区山水林田湖生态保护修复工程实施方案(2018-2021年)[R]. 广州: 生态环境部华南环境科学研究所, 2018.
- [5] 邵上, 汪光, 廖磊, 等. 广东粤北南岭山区山水林田湖草生态保护修复研究与实践[J]. 环境工程技术学报, 2020, 10(5):779-785.
- [6] 罗明, 周妍, 鞠正山, 等. 粤北南岭典型矿山生态修复工程技术模式与效益预评估——基于广东省山水林田湖草生态保护修复试点框架[J]. 生态学报, 2019,39(23):8911-8919.
- [7] 彭华, 潘志新, 闫罗彬, 等. 国内外红层与丹霞地貌研究述评[J]. 地理学报, 2013,68(9):1170-1181.
- [8] 王雨豪. 粤北南雄盆地构造演化及其对红层地貌发育的影响[D]. 石家庄: 河北地质大学, 2017.
- [9] Yan L, Milica K. Land degradation and management of red beds in China:Two case studies[J]. Journal of Mountain Science, 2019,16(11):2591-2604.
- [10] Luo G, Peng H, Zhang S Y, et al. Exploring the variations of redbed badlands and their driving forces in the Nanxiong basin, southern China: A geographically weighted regression with gridded data[J]. Journal of Sensors, 2021,2021(2):1-13.
- [11] 罗谷松, 彭华, 闫罗彬, 等. 南方“红层荒漠”旅游开发价值分析[J]. 地理科学, 2016,36(4):555-563.
- [12] Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation[J]. Medical Image Computing and Computer-assisted Intervention, PT III, 2015, 9351:234-241.
- [13] Shelhamer E, Long J, Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2016, 39(4):640-651.
- [14] Lee B, Yamanakkanavar N, Choi J Y. Automatic segmentation of brain MRI using a novel patch-wise U-net deep architecture[J]. Plos One 2020, 15(8): 0236493.

【责任编辑: 孙向荣】