

DOI: 10.5846/stxb201504220831

徐凯健, 曾宏达, 任婕, 谢锦升, 杨玉盛. 亚热带典型红壤侵蚀区人类活动对植被覆盖度及景观格局的影响. 生态学报, 2016, 36(21): - .

Xu K J, Zeng H D, Ren J, Xie J S, Yang Y S. Spatial and temporal variations in vegetation cover in an eroded region of subtropical red soil and its relationship with the impact of human activity. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(21): - .

亚热带典型红壤侵蚀区人类活动对植被覆盖度及景观格局的影响

徐凯健^{1,2}, 曾宏达^{1,2,*}, 任 婕^{1,2}, 谢锦升^{1,2}, 杨玉盛^{1,2}

1 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007

2 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007

摘要:福建省长汀县是中国南方最严重的水土流失区之一,在 20 世纪 80 年代初和 2000 年两次集中治理的推动下,当地生态环境已得到显著改善。基于 Landsat 系列卫星影像提取长汀县 1975—2013 年共 6 期植被覆盖度分布图,分析该区在不同时期植被覆盖度及其空间格局的时空动态,并探讨人类干扰与政策治理对植被覆盖度及景观格局的影响。结果表明:(1)近 38a 来,长汀县平均植被覆盖度由 47.02%(1975)提升至 71.47%(2013),在覆盖度结构上逐渐形成以中高和高植被覆盖度占主导的格局;县域中部河田盆地的植被覆盖度由 30.83%(1975)提升至 60.34%(2013)。(2)在景观格局上,研究期间长汀县极低、低和中低覆盖度斑块平均面积呈波动下降趋势,同时斑块密度增加,而中高、高植被覆盖度区域面积扩大,表明封禁、造林等治理措施导致植被覆盖度较高的区域不断汇聚成片。(3)植被覆盖度的提升在空间上主要集中在海拔 600 m 和坡度 25°以下区域,尤其在海拔 400—600 m 和坡度 5°—15°区域最显著,表明植被的破坏和恢复过程与人类活动的联系密切。(4)空间分析表明,在距离农户居民地边缘 1.2 km 的范围内,越接近居民地中心的区域植被覆盖度越低、破碎度越大且恢复缓慢,但这种空间差异伴随治理进行正在逐步减弱。总体上看,长汀县生态治理和人类干扰的长期驱动影响,其恢复速度在不断提升。

关键词:红壤侵蚀区;长汀;植被覆盖度;生态恢复;人类活动

Spatial and temporal variations in vegetation cover in an eroded region of subtropical red soil and its relationship with the impact of human activity

XU Kaijian^{1,2}, Zeng Hongda^{1,2,*}, REN Jie^{1,2}, XIE Jinsheng^{1,2}, YANG Yusheng^{1,2}

1 College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2 Cultivation Base of State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

Abstract: In China, the area of red soil in South China is second only to the loess plateau in terms of area of soil erosion. Changting County in Fujian Province suffers the most serious water and soil erosion where its forest vegetation has been seriously damaged. Intensive large-scale measures to control erosion have been conducted twice in this area during the early 1980s and 2000s. Driven by both of the control measures and social and economic policies, the ecological environment there has been improved significantly and Changting has become a typical example of soil erosion control in China. Based on Landsat satellite images, this study extracted 6 vegetation fraction distribution maps from 1975 to 2013, and analyzed the variation in vegetation cover and landscape pattern during three major periods: 1975—1989, 1989—2000, and 2000—2013. The different terrain characteristics (such as height and slope) and distances from residential areas were also extracted. The results showed the following. (1) The average vegetation coverage of Changting County increased from 47.

基金项目:国家“973”前期研究课题(2012CB722203);国家自然科学基金项目(31130013);国家自然科学基金项目(31370465);国家自然科学基金项目(31200366)

收稿日期:2015-04-22; 网络出版日期:2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hongda_z@hotmail.com

02% in 1975 to 71.47% in 2013, and the structure of vegetation coverage has been transformed into one dominated by medium-high and high coverage. In the middle of the county, vegetation coverage in the Hetian basin and its vicinity rose from 30.83% in 1975 to 60.34% in 2013. Widely and contiguously distributed forests with low cover in the basin have been replaced by a higher coverage of coniferous forest patches. With the implementation of soil erosion control measures, the vegetation cover of the Hetian basin increased by 8.47% and 13.81%, respectively, during the two intensive control period from 1975 to 1989 and 2000 to 2013. (2) With regards to the landscape pattern of the vegetation cover, the average patch areas of the low, and moderately low level vegetation cover in Changting County showed a trend of falling variability, and patch density increased. In contrast, the area with moderately high and high cover has shown greater volatility. The result showed that ecological intervention leads to the original good vegetation coverage area become more focus, and the poor coverage area distribution gradually broken at the same time. (3) The increase in vegetation coverage has occurred mainly in an area with an elevation lower than 600 m or slope less than 25° , particularly in the area at an altitude ranging from 400 m to 600 m or with a slope ranging from 5° to 15° . It is worth noting that, during 2000—2013, the vegetation coverage increased by more than 10% in the area below 600 m elevation and slope from 5° to 25° , which demonstrates the destruction and restoration of forest vegetation are affected by terrain, and closely related to effects of human activity. (4) Distance to villages reflects the intensity of the impact of human activity on vegetation destruction and restoration. In the area within 50 m from villages, vegetation coverage is the lowest, and it recovers slowest during the periods when the soil erosion control policy was implemented. With increasing distance to villages, the vegetation fraction increased both in value and percentage with time, although this tendency decreases to a stable state in areas more than 1.2 km from village edges. Moreover, human activities also led to increasing fragmentation of the vegetation landscape around residential areas; however, this phenomenon becomes gradually weaker with ecological management under the guidance of the government. Consequently, the vegetation coverage and landscape pattern changes with ecological management and the long-term effects of human activity in this area, with an increasing recovery speed.

Key Words: eroded red soil area; Changting; vegetation cover; ecological restoration; human activity

土壤侵蚀是长期困扰全球生态发展的首要问题之一,而该现象的产生多数是由于植被的毁灭所引起的^[1-2]。地表植被能够截留降雨、固持土壤以及增加土壤的透水性、抗蚀性和抗冲性,是制约土地退化的重要因子和关键要素^[3]。植被覆盖度是衡量植被分布特征的综合量化指标,它是指单位面积内植被的所有枝、叶和冠幅垂直投影到地面的面积占区域总面积的百分比,通常作为研究植被与水土流失关系中的关键参数,直观反映了地区的生态变化^[4-5]。近二、三十年来,随着卫星遥感技术的发展,使得对宏观尺度地表植被信息及分布格局的长期动态观测成为可能。

中国是世界上土壤侵蚀最严重的国家之一^[6],自改革开放以来我国已陆续开展了多项侵蚀地生态建设工程,但如何准确了解治理区生态环境的实际恢复效果成为难题^[7]。目前,已有不少国内外学者基于植被覆盖度进行了不同空间尺度的研究^[7-10],但研究多以植被覆盖度为单一对象,缺乏对其同期景观格局、生态治理等因素的考虑。福建省长汀县的水土流失历史超过百年^[11],是我国南方丘陵红壤侵蚀地区的典型代表。自20世纪80年代初,福建省委、省政府将长汀县列为全省水土流失治理试点地区并开展集中治理,其生态环境开始得到有效恢复^[12];2000年时,省政府把该地的生态治理列为全省为民办实事项目,大大推动了其生态的恢复进程。本文采用遥感信息提取手段,试图重建长汀县及河田盆地近38a植被覆盖度变化过程,并分析生态治理对植被覆盖的驱动作用,同时以全县部分典型居民地斑块设立缓冲区,进一步分析植被覆盖度、景观格局变化对生态治理和人类干扰的响应机制,为侵蚀地生态恢复工作提供相关参考和决策依据。

1 研究区概况

长汀县地处福建省西部,武夷山南段, 25.31° — 26.03° N, 116.01° — 116.66° E,总面积 3099 km²。属亚热带

带季风气候,年平均气温 17.5—18.8 ℃,年降雨总量 1613.5 mm,雨量充沛。地势上自北向南倾斜,东、西、北部三面高,中、南部则以丘陵低地为主,全县海拔范围为 238—1459 m,其中低山、丘陵占全县总面积 71%。长汀县自解放前就成为全国水土治理试点区,但随着当地人口数量不断增长且谋生手段单一,在生存压力下导致盲目开荒、陡坡开垦、滥伐柴薪等现象时常发生,给当地生态治理与恢复工作带来巨大阻碍^[13]。其中以河田盆地为中心的中部低山丘陵区,人口密集,植被破坏现象最严重,由于其强烈的土壤侵蚀景观被称为中国南方的“火焰山”^[14]。如今,该地以马尾松、灌丛等次生植被覆盖为主,生态环境明显改善。

2 基本原理与方法

2.1 研究数据

遥感数据使用由地理空间数据云(www.gscloud.cn)获取的 Landsat 系列卫星影像,时间跨度为 1975—2013 年。这一研究时段从该区有效治理之前一直持续到现在,能够全面展现其生态恢复的实际情况。结合当地的治理政策实施特征,将其进一步划分为 3 个主要时期:第一次治理期(1975—1989),第二次治理期(2000—2013)和治理间隔期(1989—2000),共采用 6 期遥感影像,以密切对各时段内动态变化的考察。所用影像具体为:1975-12-23 MSS、1989-11-16 TM、1995-12-07 TM、2000-11-02 TM、2006-11-03 TM 和 2013-12-24 OLI。

影像预处理主要包括几何校正与辐射校正。首先通过 GPS 定位获取的实际地面控制点对 2013 年影像进行几何精校正,然后以该影像为基准,依次对其他不同时相的影像采用二次多项式和最邻近象元法进行配准,使配准的 RMS 误差均控制在 0.35 个象元内。参考国际上广泛使用的日照大气综合校正模型(IACM)^[15]对影像进行辐射校正,并使用 Chander 等^[16]提出的模型算法和卫星参数将原始影像的 DN 值转换为像元在传感器处的反射率,以此削弱不同时相遥感影像之间的辐射差异,对 OLI 影像的地物反射率获取则按其官网(<http://landsat.usgs.gov/>)提供的流程进行。

2.2 植被信息提取与计算

由于植被覆盖度和 NDVI 之间存在着极显著的线性相关关系^[17],通常通过建立二者之间的转换关系,可直接提取植被覆盖度信息。像元分解法在工程研究领域已得到广泛应用,其特点是计算模型简单可靠,且参数易于获得^[18]。本文采用像元二分模型^[19],其假设像元包含植被和非植被两部分地表覆盖物构成,在像元的光谱信息中,两部分各自面积在像元中所占的比重即为该因子的权重,其中植被覆盖物所占像元的百分比即为该像元的植被覆盖度(Fractional Vegetation Cover; FVC)。其公式为:

$$FVC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \times 100\% \quad (1)$$

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (2)$$

式中,NDVI 为像元的实际 NDVI 值;NDVI_{veg} 为该区纯植被像元的 NDVI 值;NDVI_{soil} 为该区纯裸土像元的 NDVI 值;NIR 为影像近红外波段反射率;R 为影像红光波段反射率。对于纯裸地像元,NDVI_{soil} 在理论上应接近 0,且不随时间的变化而变化。但由于实际大气条件、地表湿度以及光照条件等因素的变化,NDVI_{soil} 的数值并不恒定,其变化范围通常为 -0.1—0.2^[20]。为此,本文结合植被/裸土指数和土地覆盖数据,采用人机判读法,分

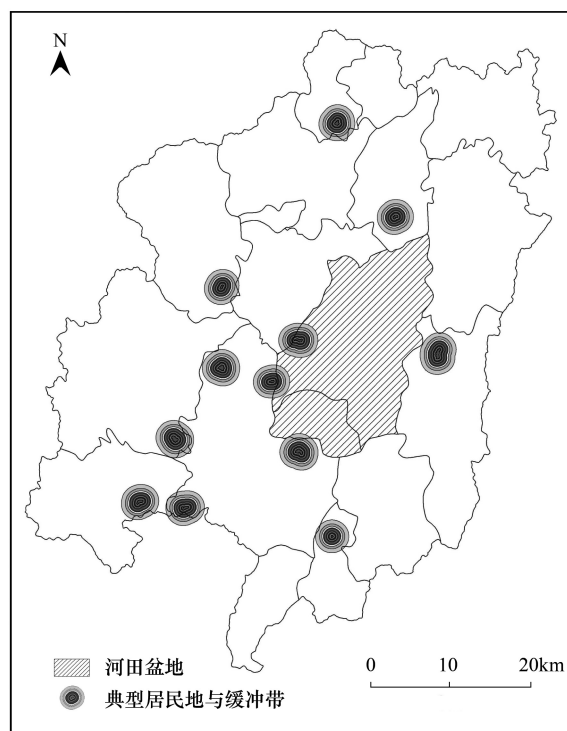


图 1 长汀县地理区位

Fig.1 Location of Changting county

别确定 6 个时相影像的 $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 。

参考国家 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》的植被覆盖度划分标准,将长汀县植被覆盖度划分为 6 个等级: <15% (极低覆盖度)、15%—30% (低覆盖度)、30%—45% (中低覆盖度)、45%—60% (中覆盖度)、60%—75% (中高覆盖度) 和 >75% (高覆盖度)。为研究全县植被覆盖度在地形因子上的空间变化特征,同时利用长汀县 DEM 图提取出海拔和坡度并进行分类,DEM 数据的空间分辨率为 30 m。此外,采用划分主要治理/干扰区的方法^[21],间接评价人类治理/干扰活动对植被覆盖度恢复的贡献率,具体以同时段划分区植被覆盖度增加值与对照区植被覆盖度增加值的差值,除以划分区植被覆盖度增加值进行计算^[22]。

2.3 精度验证

采用 Wu 等^[23]提出的与同期高分辨率影像对比的亚像元对比法,对于提取结果进行精度验证。选择地理配准之后的 2009-12-28 SPOT5 融合影像(2.5 m)与 2010-1-14 TM 进行验证,在 SPOT5 影像随机均匀选取 150 个样点,并将其所对应到 TM 的像元中,计算出实际植被覆盖度,并与使用模型计算的植被覆盖度进行对比。采用系统误差 SE 判断结果精度:

$$SE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (FVC'_i - FVC_i) \quad (3)$$

式中, FVC' 和 FVC 分别代表估算的植被覆盖度与实际植被覆盖度; n 为样本总数。得到 SE 的结果为 3.4%, 即根据系统误差判断,模型的反演精度高于 95%。

2.4 居民地选择与缓冲区设置

由于研究区主要是以农业生产为主的乡村地区,农户一般以居住地为中心从事生产活动,对植被的影响也主要以居住地为中心向周围扩散。因此在全县选取 12 个面积较大且空间相距较远、较为独立的居民地斑块(为避免居民地之间 2 km 内相互叠加;图 1)进行分析,具体设定距离居民地斑块边缘 50 m, 100 m, 200 m, 400 m, 600 m, 800 m, 1000 m, 1200 m, 1500 m, 2000 m 的缓冲环带,并与不同时期植被覆盖图叠加,从中提取植被覆盖度以及植被景观斑块的变化信息,进而分析研究区植被变化与居民地在空间距离上的关系。居民地斑块主要来自课题组基于 SPOT 融合影像解译得到的长汀土地覆盖数据(1:25 万;2000、2005、2010、2013 年),对于早期的居民地信息以 2000 年为准(范围变化不大)。

2.5 植被景观分析方法

结合遥感影像和土地覆盖数据,采用人机交互图像处理方法获取研究区植被斑块,并将斑块矢量图转化为 Grid 格式,导入景观结构定量分析软件 Fragstats 4.2。同时,在景观类型上选取斑块密度、平均面积、形状指数和聚集度等景观指数,从不同侧面反映长汀县植被景观的变化特征,及其对人类干扰的响应。各景观指数的表达式及指示意义见文献^[24]。

3 结果与分析

3.1 研究区植被覆盖度的整体变化

对 6 期影像的植被覆盖度(图 2)进行分级提取,得出研究区各时相植被覆盖分布面积及其所占比例信息。经过先后两次生态治理(1975—1989 和 2000—2013),长汀县平均植被覆盖度由 47.02% (1975) 增加至 71.47% (2013),水土流失情况得到有效控制。全县四周影像颜色逐渐变深,并且植被景观趋向连片,而中部白色低植被覆盖区分布逐渐破碎,且面积减少趋势明显(图 2)。治理前后长汀县植被覆盖度等级的空间分布也发生了明显变化:中植被覆盖度及以下地区的面积不断缩小,在研究时段内共减少了 50.81%,同时中高和高植被覆盖度比例逐年上升。从总体上看,长汀县在 1975 年治理前表现为中和中低植被覆盖度比例最大、高植被覆盖度所占比例最小;2013 年时,该区植被覆盖结构已转变为以中高与高植被覆盖度占主导的格局,生态环境趋于良性循环。

水土流失最严重的河田盆地是两次政策治理的核心布局区,故可认为该区覆盖度恢复主要受人类活动的

正面影响;并与治理较少布局的红山乡、馆前镇、铁长乡、庵杰乡地区对比(以自然恢复为主),作为人为治理对当地植被覆盖度变化的贡献率。结果表明,河田盆地植被覆盖度均值由 1975 年的 30.83% 增加到 2013 年的 60.34%,同时在两次主要治理期,当地植被覆盖度分别增加了 8.47% 和 13.81%,该结果明显高于同期红山乡、馆前镇、铁长乡、庵杰乡地区的 7.15% 和 10.27%,因此当地人类治理的贡献率分别达到 15.58% 和 25.61%。

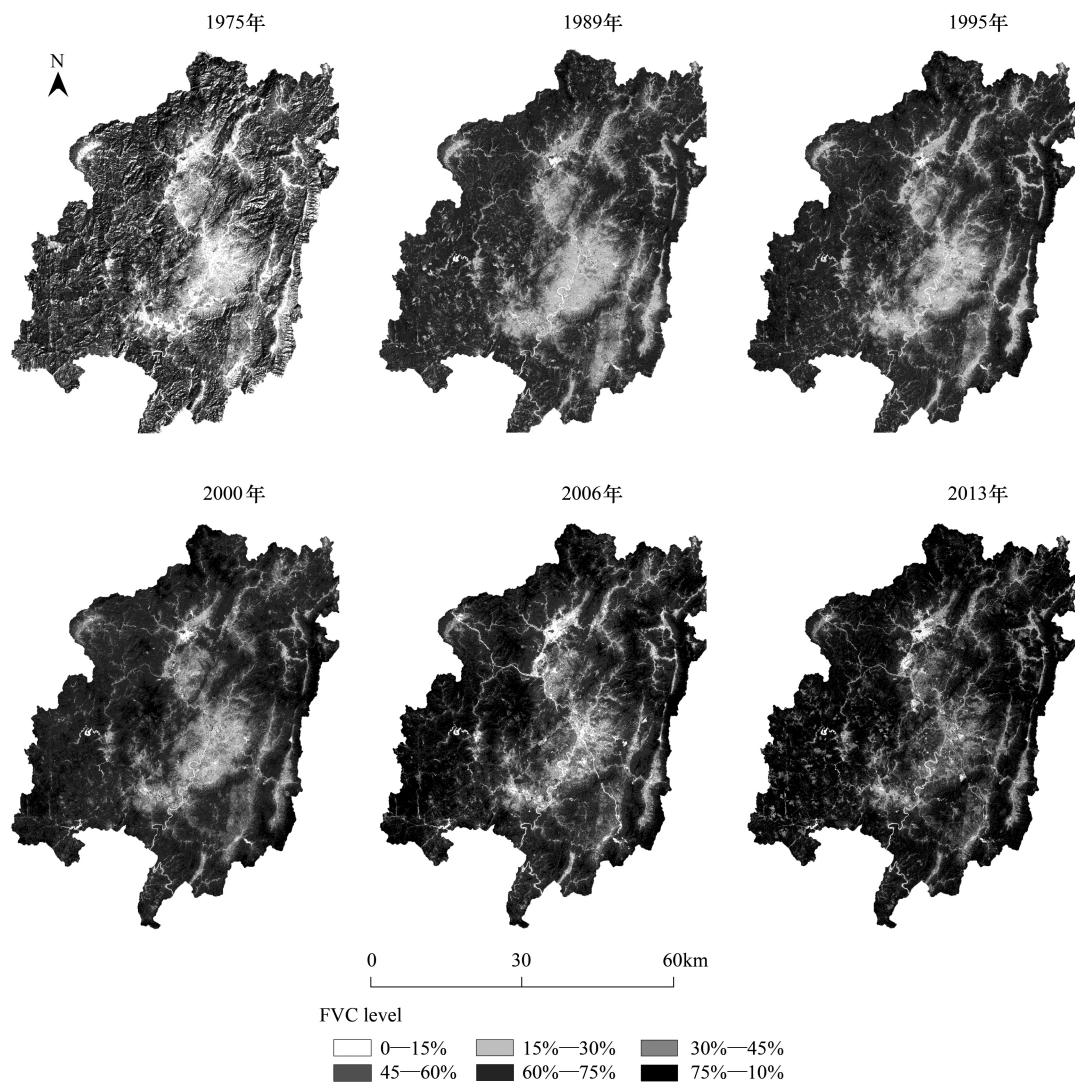


图 2 长汀县植被覆盖度多年动态变化

Fig.2 The Average vegetation coverage images of Changting County of each study year

3.2 植被覆盖度空间格局变化

在景观类型上,选取斑块平均面积、斑块密度、散布与并列指数和聚集度指数分析研究区植被覆盖度景观格局变化。其中,斑块平均面积越大、密度越小,表明该景观的破碎化程度越低^[25]。从 1975 到 2013 年,长汀县极低、低、中等级覆盖度景观斑块平均面积呈波动下降趋势,斑块密度总体上升,说明其景观破碎度增大;其中,以中覆盖度景观斑块平均面积下降幅度最大,这主要是由于处于中低和中高植被覆盖度景观之间,而它们的斑块平均面积呈增大趋势,斑块破碎度减小;高植被覆盖度景观斑块平均面积增幅最大,说明其在空间上的分布更加集中。

散布与并列指数反映了不同斑块类型的交替出现的程度,其值越大,交替出现的规律越明显;聚集度指数则反映出景观类型的空间连接度,其值越大,景观的空间连通性越好^[26]。由图 3,从 1975 到 2013 年,当地中

低植被覆盖度景观斑块的混合度均为最高,各斑块交替出现的规律明显,而高植被覆盖度景观斑块比较稳定,表明其交替出现的规律不明显。同时,全县极低、低、中低和中植被覆盖度景观的聚集度都呈波动减小趋势,而中高、高植被覆盖度波动增加,表明生态工程实施后,中高、高植被覆盖度景观区域不断集中,而中覆盖度以下区域逐渐破碎化,各覆盖度等级的植被景观混杂程度也不断减弱,且趋于均衡化发展。

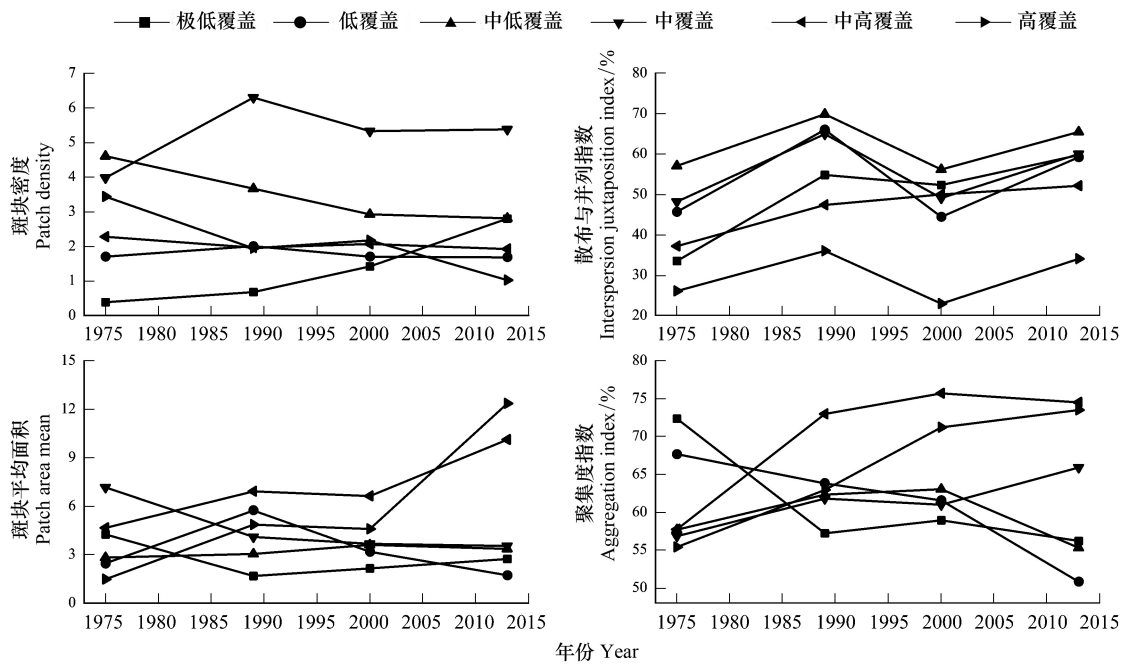


图3 1975—2013 年长汀县各斑块类型水平上的景观格局指数
Fig.3 The patches of landscape pattern index type level in Changting County from 1975 to 2013

3.3 植被覆盖度变化的地形分布特征

提取植被覆盖度随海拔、坡度变化信息(表1,表2)发现,植被覆盖度整体随海拔的升高以及坡度的提升而逐渐增加。在海拔上,植被覆盖度的增加主要体现于 600 m 海拔以下区域,而海拔 600 m 以上多为人烟稀少的偏远山区,其变化较小,主要受自然条件影响。在坡度上,植被覆盖度的增加主要体现于低于 25° 的区域,其中在 5°—25° 区域增加最明显,当坡度大于 25°,植被覆盖度随海拔上升的变化微弱。这主要是由于海拔较低、坡度较缓的地区人口集中,原先受到人类活动影响,植被毁坏严重,而在经历治理后得到了有效恢复。

当地植被覆盖度在两次生态治理阶段(1975—1989,2000—2013)提升明显,尤其在 2000—2013 期间,全县海拔 600 m 以下和坡度 5°—25° 地区植被覆盖度均提高了 10% 以上。而在治理间隔期(1989—2000),其海拔 600 m 以下和坡度 5°—25° 地区则出现了增速变缓和局部下降的特征,其主要原因是伴随阶段性治理趋于停滞,同时社会经济生产规模扩大,在人类活动密集区边治理边破坏的现象经常发生^[27],部分原先地表植被覆盖较好的地区也遭到当地工业、建筑用地侵占。

表1 不同治理期植被覆盖度增加率随海拔的分布
Table 1 Vegetation coverage variation at different elevations during 3 main periods

时段 Period	<400 m	400—600 m	600—800 m	>800 m
1975—1989	8.2	8.02	7.7	6.93
1989—2000	6.2	6.31	7.31	7.25
2000—2013	10.06	10.83	8.99	7.65

表 2 不同治理期植被覆盖度增加率随坡度的分布

Table 2 Vegetation coverage variation at different slopes during 3 main periods

时段 Period	<5°	5—15°	15°—25°	25°—35°	>35°
1975—1989	7.93	8.28	8.03	7.52	7.13
1989—2000	6.08	6.44	6.22	7.35	7.35
2000—2013	9.78	10.71	10.12	9.37	7.75

3.4 植被覆盖度、景观格局变化与人类干扰的关系

距离居民地远近能够直观反映出人类活动对植被恢复速度的干扰强度^[28]。由图 1, 植被覆盖度与居民地距离的关系密切。表现为距离居民地越远, 植被覆盖度越高、恢复速度也越快, 这种干扰范围约在远离村落边缘 1.2 km 外削弱至稳定状态(图 4), 这体现出当地人类负面干扰对植被的有效影响范围, 且该范围随时间的变化较小。不同时期植被覆盖度的提升幅度则体现为: 第二次治理期(2000—2013) 高于第一次治理期(1975—1989), 两次治理期明显高于治理间隔期(1989—2000)(图 4), 说明水土治理的政策实施和治理力度差异, 在较大程度上决定侵蚀地植被的恢复状况。其中, 以全县居民地 1.2 km 内区域作为人类活动干扰区, 其余地区作为对照区, 探讨人类干扰对区域植被覆盖度变化的贡献率。结果表明, 人类活动干扰区的植被覆盖度在三个时段的增加幅度为 9.51%、6.65% 和 8.94%, 而同期对照区的植被覆盖度增加幅度分别为 10.47%、7.71% 和 9.23%, 故人类干扰在该区三个时段的贡献率分别为 -10.1%、-15.94% 和 -3.24%, 表明人类干扰会对植被的恢复产生负面影响, 但该影响随治理深入而得到明显减弱。

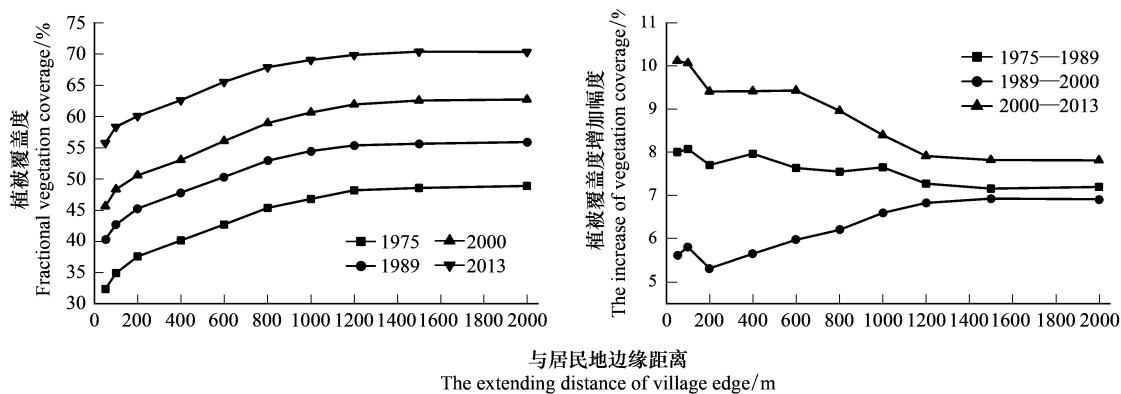


图 4 不同时期长汀县植被覆盖度(a)和增加幅度(b)随居民地距离的变化

Fig.4 The relationship between vegetation cover(a), increased vegetation fraction(b) and the extending distance of village edge during different periods

植被景观格局变化也能够反映人类活动的力度和方向^[29]。此处选取斑块密度、斑块平均面积、景观形状指数和聚集度指数进行分析。由表 3, 在距离居民地 2000 m 范围内, 随距离增加斑块密度逐渐减小, 斑块平均面积和聚集度逐渐增大, 这表明越远离居民地, 受到人类活动影响越小, 斑块破碎程度越小。而斑块形状指数在距离居民地 200 m 处形状指数达到最小值, 说明其受到人类干扰程度最大, 在 200 m 以外地区人类干扰程度逐渐减弱。此外, 随着治理政策的实施, 居民地附近的植被恢复显著。在 2000—2013 年间, 该区植被景观斑块密度逐渐减小, 而平均面积、形状指数和聚集度逐渐增大, 这一变化在距居民地 400 m 以内的区域特别明显, 这说明由于人类活动导致的植被景观破碎化程度在生态治理后得到有效控制, 而生态环境本身较好的外围山区, 其各景观指数的变化不明显。

4 讨论与结论

在侵蚀地生态恢复过程中, 政府的政策干预通常是最重要的推动力^[30-32]。近 30 多年来, 长汀县水土流失

治理取得了明显的成效,与政府一系列的生态治理政策密不可分。当地水土治理的措施主要包括:封山育林、恢复林草、治理崩岗、改造低效林和推广经济林等,累积治理面积已超过全县总面积的 1/3,大大缩减了全县侵蚀地的分布面积。同时,政府还对治理区受影响的农户制定了补偿政策,包括煤炭、沼气池补贴,以及进行经济林开发、山坡改梯田的补贴等,对于吸引农户种植经济林和维护生态治理成果具有重要的促进作用^[33]。

表 3 植被景观要素特征指数变化与居民地距离的关系

Table 3 The relationship between characteristic indexes of vegetation Landscape elements and the extending distance of villages

距离/m Distance	斑块密度 Patch density		斑块平均面积 Patch area mean		景观形状指数 Landscape shape index		聚集度指数 Aggregation index	
	2000	2013	2000	2013	2000	2013	2000	2013
50	82.534	68.687	1.212	1.445	12.103	12.566	96.461	96.877
100	80.102	66.917	1.248	1.551	13.1	13.324	96.216	97.252
200	40.593	32.592	2.464	2.891	11.595	12.664	98.873	98.166
400	20.801	20.115	4.808	4.974	12.625	12.954	98.585	98.625
600	20.057	20.623	4.986	5.179	14.071	14.52	98.716	98.751
800	23.25	19.209	4.301	4.967	16.602	16.857	98.905	98.99
1000	21.033	18.728	4.754	4.824	18.099	18.142	98.929	98.966
1200	14.542	13.548	6.721	6.899	20.214	20.12	99.001	98.855
1500	12.335	11.851	8.107	8.438	22.031	21.92	98.98	98.989
2000	10.388	10.629	9.627	9.586	23.753	23.535	99.042	99.056

此外,农户作为区域生态系统的直接作用者,其在生态恢复过程中的作用同样不可忽视^[34]。特别是在政策实施后,部分地区由于受到人类干扰影响,使其治理成效产生一定的空间差异^[35]。而自 2000 年以来,随着当地社会经济迅猛发展,人们对改善其居住环境的需求也不断提高;同时,农业占 GDP 中的比重逐年下降,传统农业劳动力逐渐向第二、三产业转移,越来越多的农户选择外出务工,如河田盆地 2010 年外出务工人数已达到当地总人数的一半。这些变化均有效降低了当地农户对环境的干扰强度,为政府生态恢复工作创造了有利条件,使其生态恢复的速率得到明显提高。

本文依托 Landsat 系列卫星影像和像元分解模型,对福建省长汀县 1975—2013 年植被覆盖度的时空动态进行分析,并在 GIS 等相关技术支持下,客观地反映了该区在不同治理时期植被覆盖度结构、景观格局的演变,以及与人类活动的关系,得出结论如下:

(1) 经过长期治理,长汀县整体植被覆盖度恢复显著,植被覆盖度等级结构也得到改善。其中,全县平均植被覆盖度由 47.02% (1975) 增至 71.47% (2013),且植被覆盖结构已转变为以中高与高植被覆盖度占主导的格局。河田盆地的植被覆盖度由 30.83% (1975) 上升到 60.34% (2013),水土流失得到有效控制,政策作用在两次治理期的贡献率分别达到 15.58% 和 25.61%。

(2) 从景观格局看,研究期间全县极低、低和中覆盖度景观斑块平均面积和聚集度均呈波动下降趋势、斑块密度上升,而中高、高等级植被覆盖度斑块的平均面积明显增加、聚集度波动上升,同时不同覆盖度等级的植被景观混杂程度持续减弱。表明封禁、造林等治理措施,导致当地植被覆盖度较高的区域不断集中成片。

(3) 在植被覆盖度空间动态上,植被覆盖度的增加主要集中在海拔低于 600 m 和坡度低于 25° 区域,尤其在海拔 400—600 m 和坡度 5°—15° 区域最明显,特别是 2000—2013 年治理期间,研究区海拔 600 m 以下和坡度 5°—25° 区域植被覆盖度提高幅度达 10% 以上,表明植被的破坏或修复均与人类活动具有密切联系。

(4) 空间分析表明,居民地周边约 1.2 km 范围内的植被覆盖度和植被景观格局受人类活动影响明显。其中,越接近居民地的地区植被覆盖度越低、恢复速度越慢。同时,人类活动增加了植被景观的空间异质性,表现为距离居民地越近,其斑块平均面积、形状指数和聚集度指数均明显增加,且斑块密度迅速下降。但在时间尺度上,这些空间差异均伴随治理的深入而不断减弱。

参考文献 (References):

- [1] 刘国华, 傅伯杰, 陈利顶, 郭旭东. 中国生态退化的主要类型、特征及分布. 生态学报, 2000, 20(1): 13-19.
- [2] 朱鹤健, 陈志彪, 林惠花, 刘强, 毕平安, 岳辉. 长汀水土保持研究. 北京: 科学出版社, 2013: 4-11.
- [3] 雷婉宁, 温仲明. 基于植物群落结构的水土流失植被因子指数研究. 水土保持学报, 2008, 22(5): 68-77.
- [4] Jiapaer G L, Chen X, Bao A M. A comparison of methods for estimating fractional vegetation cover in arid regions. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(12): 1698-1710.
- [5] 吴云, 曾源, 赵炎, 吴炳方, 武文波. 基于 MODIS 数据的海河流域植被覆盖度估算及动态变化分析. 资源科学, 2010, 32(7): 1417-1424.
- [6] 陈杰, 檀满枝, 陈晶中, 龚子同. 严重威胁可持续发展的土壤退化问题. 地球科学进展, 2002, 17(5): 720-728.
- [7] 高彦净, 谢余初, 钱大文, 张玲玲, 巩杰. 甘肃白龙江流域植被覆盖度及景观格局变化. 水土保持研究, 2015, 22(1): 181-187.
- [8] 吴云, 曾源, 吴炳方, 李晓松, 武文波. 基于 MODIS 数据的三北防护林工程区植被覆盖度提取与分析. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1712-1718.
- [9] Alredaisy S M A H, Zubair M A H A. Vegetation dynamic in semi arid Butana Plain, Sudan. Journal of Geography and Regional Planning, 2011, 4(4): 183-198.
- [10] 甘春英, 王兮之, 李保生, 梁钊雄, 李志文, 温小浩. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析. 地理科学, 2011, 31(8): 1019-1024.
- [11] 朱鹤健. 我国亚热带山地生态系统脆弱区生态恢复的战略思想——基于长汀水土保持 11 年研究成果. 自然资源学报, 2013, 28(9): 1498-1506.
- [12] 曾金华, 钟炳林. 长汀县水土流失演变及今后治理对策. 亚热带水土保持, 2002, 14(4): 37-39.
- [13] 谢锦升, 杨玉盛, 解明曙. 亚热带花岗岩侵蚀红壤的生态退化与恢复技术. 水土保持研究, 2004, 11(3): 154-156.
- [14] 黄聚聪, 张炜平, 李熙波. 福建长汀河田水土流失原因综述. 亚热带水土保持, 2007, 19(2): 26-29.
- [15] Ramsey R D, Wright D L Jr, McGinty C. Evaluating the use of Landsat 30m enhanced thematic mapper to monitor vegetation cover in shrub-steppe environments. Geocarto International, 2004, 19(2): 39-47.
- [16] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(5): 893-903.
- [17] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 刚成诚, 周伟, 居为民. 2001-2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征. 地理学报, 2012, 67(9): 1255-1268.
- [18] 马娜, 胡云锋, 庄大方, 张学利. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化. 地理科学, 2012, 32(2): 251-256.
- [19] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1860-1864.
- [20] 贾宝全. 基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析. 生态学报, 2013, 33(5): 1654-1666.
- [21] 许端阳, 李春蕾, 庄大方, 潘剑君. 气候变化和人类活动在沙漠化过程中相对作用评价综述. 地理学报, 2011, 66(1): 68-76.
- [22] 邓晓宇, 张强, 陈晓宏. 气候变化和人类活动综合影响下的抚河流域径流模拟研究. 武汉大学学报: 理学版, 2015, 61(3): 262-270.
- [23] Wu C S, Murray A T. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. Remote Sensing of Environment, 2003, 84(4): 493-505.
- [24] 何东进. 景观生态学. 北京: 中国林业出版社, 2013: 168-173.
- [25] Gautam A P, Webb E L, Shivakoti G P, Zoebisch M A. Land use dynamics and landscape change pattern in a mountain watershed in Nepal. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2003, 99(1/3): 83-96.
- [26] 李小飞, 陈志彪, 陈传明, 陈志强. 福州鼓山风景名胜区景观格局研究. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2012, 28(5): 95-100.
- [27] 赵昭晒. 河田水土保持再认识. 福建水土保持, 2001, 13(1): 6-8.
- [28] 赵海迪, 刘世梁, 董世魁, 刘琦, 李晓文. 三江源区人类干扰与湿地空间变化关系研究. 湿地科学, 2014, 12(1): 22-28.
- [29] 郭宗锋, 马友鑫, 李红梅, 刘文俊. 人类活动对流域森林景观的影响. 水土保持研究, 2007, 14(1): 38-42.
- [30] 蔡强国, 和继军, 田磊. 土壤侵蚀治理范式与生态学理论的耦合关系. 地理科学进展, 2007, 26(6): 11-20.
- [31] 张志国, 张晓萍, 张芹, 第宝锋. 我国水土保持生态修复及其存在的问题. 中国水土保持, 2007, (11): 38-39, 42-42.
- [32] 和继军, 蔡强国, 路炳军, 王学强. 密云水库上游石匣小流域水土流失综合治理措施研究. 自然资源学报, 2008, 23(3): 375-382.
- [33] Cao S X, Zhong B L, Yue H, Zeng H S, Zeng J H. Development and testing of a sustainable environmental restoration policy on eradicating the poverty trap in China's Changting county. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(26): 10712-10716.
- [34] Peterson M N, Peterson M J, Peterson T R, Liu J G. A household perspective for biodiversity conservation. Journal of Wildlife Management, 2007, 71(4): 1243-1248.
- [35] Van Den Hoek J, Ozdogan M, Burnicki A, Zhu A X. Evaluating forest policy implementation effectiveness with a cross-scale remote sensing analysis in a priority conservation area of Southwest China. Applied Geography, 2014, 47: 177-189.