

塘背河小流域植被覆盖时空动态变化及水保驱动分析

宋月君^{1,2,3}, 廖凯涛^{1,2}, 杨洁^{1,2}, 左继超^{1,2}, 肖龙⁴

(1. 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 江西 南昌 330029; 2. 江西省水土保持科学研究院, 江西 南昌 330029; 3. 福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002; 4. 泰和县水土保持站, 江西 吉安 343700)

摘要: 塘背河小流域位于赣南革命老区和全国第一个水土保持改革试验区腹地, 是我国第一批水土保持治理试点小流域, 系统、科学评估塘背河小流域水土保持生态修复成效, 对赣南水土保持改革试验区建设和水土保持高效治理技术模式提炼具有重要现实意义。利用 40a 遥感影像数据和水土保持治理数据, 基于 NDVI 阈值分割法, 开展了塘背河小流域植被覆盖时空动态变化以及水保驱动分析。结果表明: 近 40 年塘背河小流域植被覆盖度由 1975 年的 22.91% 已提升到 2014 年的 86.87%, 随时间呈递增趋势; 在时间和空间上均有差异性, 时间上主要分为植被覆盖迅速增长期 (1975–1989 年), 植被覆盖自我修复完善期 (1989–2001 年) 以及植被覆盖稳固发展期 (2001–2014 年) 3 个阶段, 空间上分为上游原有植被自我修复区、中游人工半干预植被修复区和下游人工直接干预植被修复区 3 个分区; 植被覆盖与水土保持工程在时间和空间上具有较好的一致性, 后期水土保持政策实施以及水土保持新技术、模式的应用大大减少了植被覆盖空间上的差异性, 对于植被修复具有重要的推动作用, 人类大规模农林开发在植被修复研究方面, 不容忽视。

关键词: 植被覆盖; 塘背河小流域; 时空变化; 水保驱动

中图分类号: Q948; X87

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)05-0024-08

Temporal and spatial variation of vegetation cover and its water and soil conservation driving in Tangbei River watershed

SONG Yuejun^{1,2,3}, LIAO Kaitao^{1,2}, YANG Jie^{1,2}, ZUO Jichao^{1,2}, XIAO Long⁴

(1. Jiangxi Key Laboratory of Soil Erosion and Prevention, Nanchang 330029, China; 2. Jiangxi Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China; 3. Forestry College, Fujian University of Agriculture and Forestry, Fuzhou 350002, China; 4. The Soil and Water Conservation Station of Taihe county, Ji'an 343700, China)

Abstract: The Tangbei river watershed is located in the Gannan old revolutionary base area and is the first national soil and water conservation reform pilot area in China. The scientific evaluation of the effect of soil and Water Conservation Ecological Restoration of Tangbei River watershed is of great practical significance to the construction of the soil and water conservation reform pilot area in Gannan revolutionary area. Based on the 40 years remote sensing images and soil and water conservation data, the temporal and spatial dynamic change of vegetation cover and the driving of water and soil conservation were carried out based on the NDVI threshold segmentation method. The results showed that, in the past 40 years, the vegetation coverage of the Tangbei river watershed increased from 22.91% in 1975 to 86.87% in 2014; and there were significant differences in time and space on vegetation cover, the time was divided into three stages: the rapid growth period of vegetation cover (1975–1989), self repair improvement period (1989–2001), and vegetation cover stable development period (2001–2014). It was spatially divided into three parts: the upper reaches of the original vegetation restoration area, the middle reaches of the artificial semi intervention vegetation restoration area and the downstream artificial direct intervention veg-

收稿日期: 2017-06-12; 修回日期: 2017-07-10

基金项目: 国家科技支撑项目 (2014BAD15B0303); 国家自然科学基金项目 (41461058, 41401311); 水利部公益性行业科研专项经费项目 (201501047, 201501045); 江西省科技计划项目 (2015ZBBF60010); 江西省水利重大科技项目 (KT201616, KT201518)

作者简介: 宋月君 (1982-), 男, 山东垦利人, 博士, 高级工程师, 主要从事土壤侵蚀与水土保持。

etation restoration area. The vegetation cover and soil and water conservation project had good consistency in time and space, and the application of the soil and water conservation policy and the new technology of soil and water conservation in the late stage greatly reduced the spatial differences, which was important to the vegetation restoration. The research on the large-scale development of agriculture and forestry in vegetation restoration cannot be ignored.

Key words: vegetation cover; temporal and spatial variation; the driving of water and soil conservation; Tangbei River watershed

1 研究背景

塘背河小流域位于江西省赣南革命老区腹地,曾有“江南红色沙漠”之称^[1],是1980年首批开展小流域综合治理试点的41条小流域之一,是南方水土保持综合治理试点的样板,曾被国家水利部、财政部命名为“全国水土保持生态环境建设示范小流域”^[1],其水土保持的成功经验为江西省的水土保持治理工作奠定了基础^[2],自1980年以兴国县塘背河小流域的水土保持治理为始,至2013年江西省共治理水土流失面积2 223.26 km²^[3],成效显著,其所在的赣州市于2014年被水利部列为了全国首个水土保持改革试验区。植被覆盖度是指示生态环境变化的基本指标^[4],它又是影响土壤侵蚀与水土流失的主要因子^[5],植被覆盖度作为陆地生态系统动态评价的综合量化指标^[6],在植被覆盖变化研究^[7-10]、生态环境调查^[11-12]、水土保持研究^[13-14]、气候变化研究^[15-16]以及其它研究领域^[17-18]均得到了广泛应用。植被覆盖变化是地球内、外部作用与人类改造相互作用的结果^[18],水土保持工作一直以来受到国家的重视,在生态环境恢复方面起着重要的推动作用^[19]。塘背河小流域自1980年开始治理至今已有30余年的历史,相关学者也对其水土保持治理成效开展了相关的研究工作^[20-24],由于当时相关数据资料的缺失以及研究时段的限制,在系统分析水土保持生态环境恢复方面还彰显不足。鉴于此,本研究利用塘背河小流域1975-2014年的遥感影像以及水土保持治理资料,对流域内的植被覆盖进行了长序列时空动态变化以及水土保持驱动影响分析,可为系统、科学评估塘背河小流域生态环境恢复以及水土保持成效提供数据支撑,对赣南水土保持改革试验区建设和水土保持高效治理技术模式提炼具有重要现实意义。

2 研究区与数据处理

2.1 研究区概况

塘背河小流域隶属鄱阳湖水系五大河流之一的

赣江流域,位于江西省兴国县西南部,地处龙口乡境内,涉及中岭、文院、都田、来溪、里溪以及芦溪等5个村庄(见图1),流域土地总面积16.38 km²。流域地貌类型以山地丘陵为主,其中40%左右为低山,主要分布在上游,50%左右为丘陵。流域海拔高度在131~469 m之间,相对高差多为300 m以内,属亚热带湿润季风气候区,多年平均降水量为1 528.8 mm,成土母质以花岗岩类风化物为主,土壤类型主要有红壤和水稻土,地带性植被为亚热带常绿阔叶林,植被主要为针阔混交林、针叶林、荒山灌草等,其中以马尾松纯林分布最广,林草覆盖率约为82.5%。



图1 塘背河小流域行政区划图

2.2 数据来源和处理

2.2.1 遥感影像数据与处理 搜集了塘背河小流域1975-2014年之间的Landsat卫星遥感影像,研究区遥感影像数据情况如表1所示,所有数据获取时间主要集中在10-12月份,云量均小于5%。Landsat数据均从美国USGS官网(<http://glovis.usgs.gov/>)和中国遥感数据共享平台(<http://ids.ceode.ac.cn/>)免费下载获取。其中1975年为Landsat 2 MSS数据,1989年和2001年的为Landsat 5 TM影像,2014年的为Landsat 8 OLI影像,根据研究需要采用遥感影像处理软件ENVI5.2对所有数据进行了几何纠正、大气校正以及影像裁剪等预处理工作。

2.2.2 水土保持治理基础数据与处理 塘背河小流域水土保持治理数据主要通过查阅江西省水土保

持委员会办公室编撰的《江西省水土保持小流域技术资料汇编》^[1]以及野外现场调研获取,数据类型主要包括水土保持措施量、水土保持治理面积等内容,时间跨度为 1980-2014 年,相关数据做了基本的分类汇总处理。

表 1 研究区遥感影像数据情况

卫星/传感器	成像时间	分辨率/m	波算数
Landsat MSS	1975-12-23	60	4
Landsat TM	1989-07-15	30	7
Landsat TM	2001-10-20	30	7
Landsat OLI	2014-10-08	30	11

2.3 研究方法

2.3.1 植被覆盖度提取方法 植被覆盖度提取主要采取 *NDVI* 阈值分割法^[25]来实现,*NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index) 归一化植被指数,又称标准化植被指数,它可以直接反映研究区的植物

生长状态以及植被空间分布特征信息,与植被覆盖度呈线性相关,是目前使用最广泛的植被指数,是公认的用于表征植被生长状态的有效参数,常用于定量地描述植被生长状态、初级生产力和碳循环等研究中^[15-16,18]。

NDVI 计算公式如下:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \tag{1}$$

式中: ρ_{NIR} 表示 Landsat 影像中的近红外波段的反射率,% ; ρ_R 表示 Landsat 影像中的红光波段反射率,% 。

结合不同时段遥感影像以及区域实际情况,在运算得到的不同时段 *NDVI* 影像中,分别选取具有代表性的 180 个样点,其中包括植被以及非植被地物,通过对 180 个样点的 *NDVI* 值进行统计分析,进而获取不同时段植被与非植被地物的 *NDVI* 区分阈值,如图 2 所示。

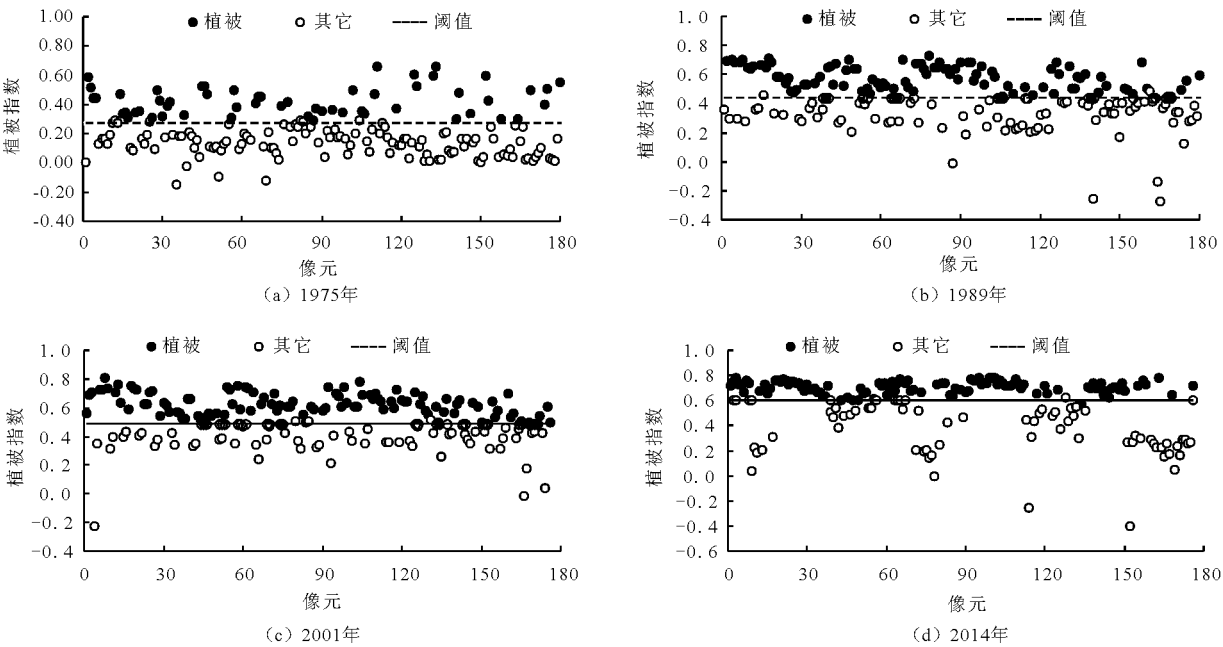


图 2 不同时段遥感影像 *NDVI* 提取散点图

1975、1989、2001 以及 2014 年的 *NDVI* 植被指数的阈值分别为 0.27、0.44、0.49 以及 0.60。后期利用遥感信息处理软件 ENVI5.2,采用不同时段的 *NDVI* 阈值进行 *NDVI* 的影像密度分割,便可计算得到塘背河小流域 1975、1989、2001 以及 2014 年 4a 的植被覆盖度信息。再通过 ARCGIS 软件的空间叠加运算分析功能,便可求出各年份之间的植被覆盖时空动态变化信息,开展不同年份的植被覆盖动态演变分析。

2.3.2 水土保持驱动因子筛选与提取 水土保持对于生态环境恢复具有重要的推动作用^[26],通过开展水土保持工程以及优化布设水土保持措施,可实现蓄水保土、改良土壤、提升地力、改善当地小气候的作用^[2]。塘背河小流域自 1980 开始治理以来,主要经历了 2 次比较大的治理工程,其中以 1980 年国家第一批水土保持治理工程规模最大,共治理了水土流失面积 1 153.27 hm²,治理度为当时水土流失面积的 100%;后期又开展了 2013 年中央

预算内综合治理工程 391 hm²。主要结合当时水土保持治理工程,对水土保持治理过程中的水土保持措施量进行了统计,主要包括封禁治理、水土保持林、经果林等3个主类。

3 结果与分析

3.1 不同时期塘背河小流域植被覆盖度

通过 NDVI 密度分割,得到塘背河小流域1975、1989、2001 以及 2014 年的植被覆盖度分别为 22.91%、57.83%、68.98% 和 86.87%,以 1975 年的植被覆盖度最低,2014 年的植被覆盖度最高,不同时期塘背河小流域植被覆盖情况如图 3 所示。

自 1975 年以来,塘背河小流域植被覆盖度随着时间一直呈现递增趋势,各时段的植被覆盖度增长率分别为 1975 年的 1.51 倍、2.01 倍和 2.79 倍,逐时段的递增速度分别为 1.51、0.19 和 0.26 倍,从各

年植被覆盖的空间分布上看,1975 年植被覆盖主要以塘背河小流域上游(里溪村)山地区域为主,此区域植被覆盖以河谷南面的高丘最为繁茂;1989 年植被覆盖逐渐向中游(来溪村)扩散,原有低山丘陵区植被逐渐繁育生长,植被覆盖情况得到改善;2001 年,植被覆盖在流域全境进一步扩散,除去原有植被茂密区域,流域下游(都田村)植被覆盖有所提升,零星植被较多;2014 年,流域内低山丘陵区除去人类居住区之外,基本实现了植被全覆盖,植被覆盖已形成集中连片状态。

3.2 不同时段塘背河小流域植被覆盖时空动态变化特征

1975 - 1989 年、1989 - 2001 年、2001 - 2014 年和 1975 - 2014 年间不同时段塘背河小流域植被时空动态变化如图 4 所示。

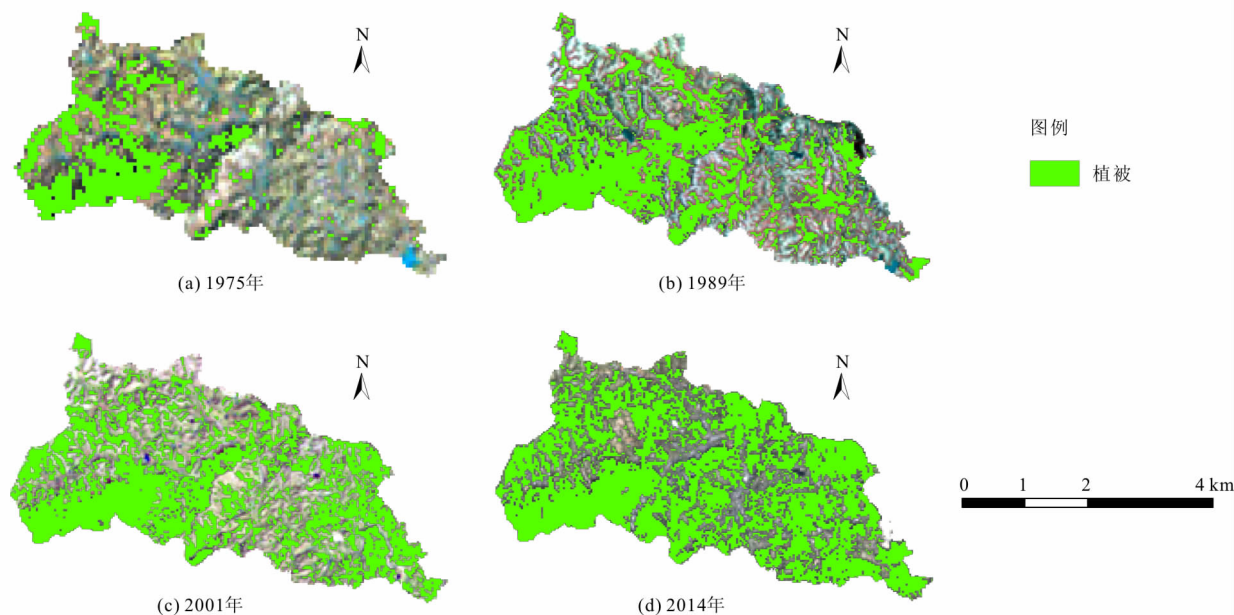


图3 不同时期塘背河小流域植被覆盖分布图

3.2.1 1975 - 1989 年时空动态变化特征分析 如图 4(a) 所示,1975 年塘背小流域的植被覆盖度较低,植被主要分布于流域上游西北角的里溪村境内,多以高山地区原有森林与疏林地为主,通过图层的叠加运算可以得到,1975 至 1989 年期间,塘背河小流域内新增植被面积为 4.50 km²,占到了流域总面积的 27.47%,植被覆盖度提升明显,结合 1980 至 1988 年期间塘背河小流域内所采取的水土保持治理措施量来看,虽然新增植被面积为 968.87 hm² (水保林 + 经济林面积),但水土保持治理工程主要分年度进行实施,其中还有一部分是采取飞播种植,

加之植被具有一定的生长周期,对植被覆盖度的提取与验算均有一定的影响。在总的植被覆盖度统计上看,验算出的 57.83% 的植被覆盖度与 1988 年成果总结报告中的现场采样勘察得到的 62%^[2] 较为接近,植被覆盖度均在 60% 左右。

3.2.2 1989 - 2001 年时空动态变化特征分析 如图 4(b) 所示,1989 至 2001 年期间塘背河小流域内未开展过大规模的水土保持治理工程,主要是第一期水土保持综合治理成果的延续,在人为管护以及自然生态系统自我修复的影响下,通过对比两年的植被覆盖度变化情况,得到流域内新增植被覆盖面

积为 0.68 km^2 ,但是在其时空分布上呈现不同的变化趋势,其中位于小流域下游都田和文院村境内,植被覆盖度增势明显,新增植被面积达 2.40 km^2 ,可能与前一期水土保持治理中营造的水土保持林以及经果林后续修复生长状况相关。

位于小流域上中游的来溪境内,植被覆盖度呈现了下降趋势,植被覆盖面积减少了 1.72 km^2 ,究

其原因,可能与该区域水田面积较多,1989 年与 2001 年采集的遥感影像在时段上存在不同,1989 年影像采集于 7 月中旬,2001 年影像采集于 10 月下旬,分别处于中稻成熟期和晚稻收割期,可能是造成此结果的主要原因。但是结合塘背小流域的土地利用来看,山地丘陵区的植被覆盖面积基本没有变化,个别区域呈现增长趋势。

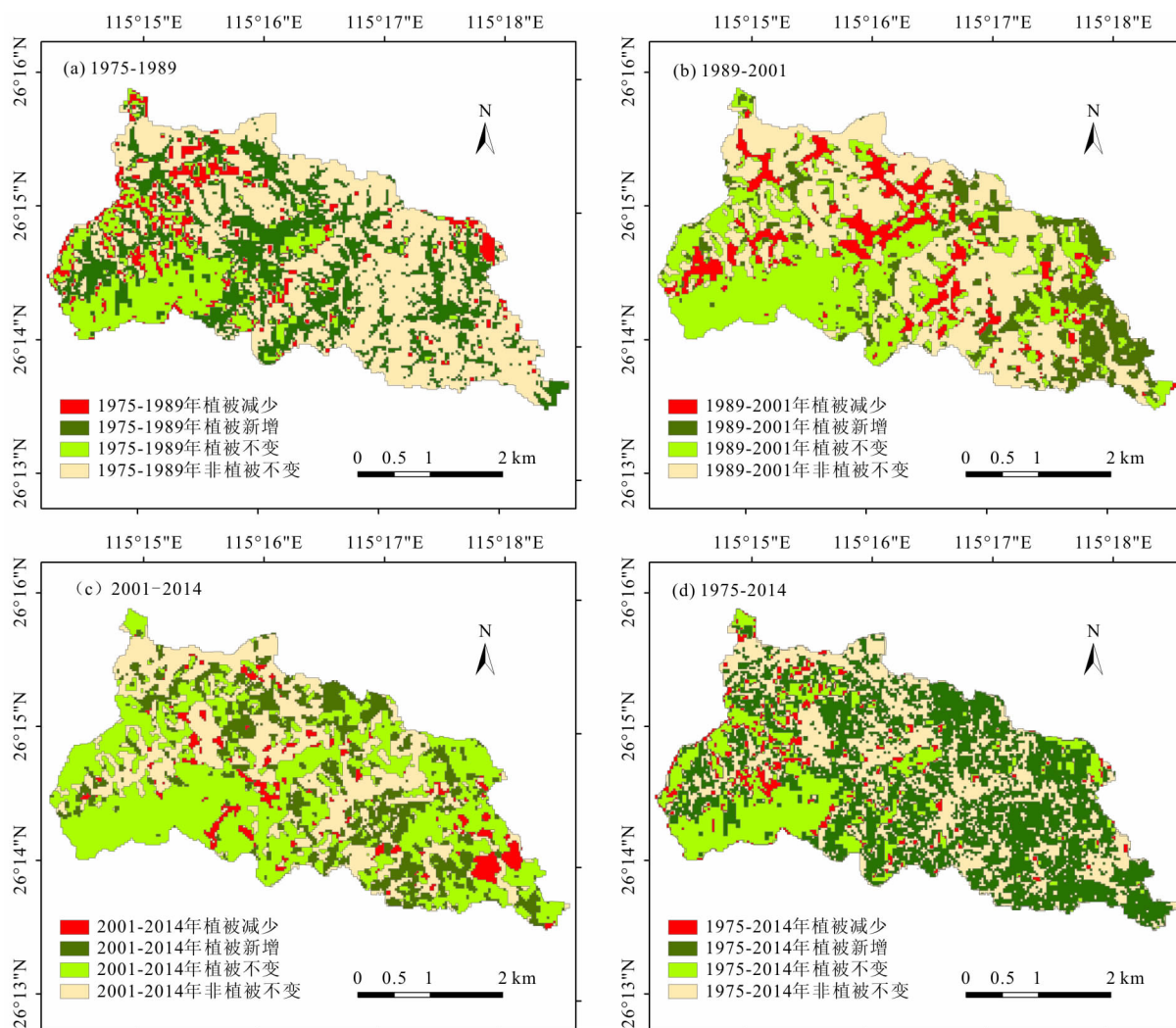


图4 塘背河小流域植被覆盖动态变化

3.2.3 2001-2014 年时空动态变化特征分析 如图4(c)所示,2001至2014年间,塘背河小流域内主要开展了2013年中央预算内综合治理工程,治理面积达 391 hm^2 (水土保持林 40 hm^2 、经果林 15 hm^2 以及封禁治理 336 hm^2),从植被覆盖信息可以看到,塘背河小流域整体新增植被面积为 2.10 km^2 ,其中植被覆盖增幅区域主要为来溪和都田村境内,其植被覆盖增幅面积为 2.96 km^2 ,文院村及其周边植被覆盖度有所降低,减少面积为 0.86 km^2 ,这可能与近期

相关生态果园的治理开发有关,治理初期,小流域内的果树以及地表植被还没有形成规模,相对于生态修复较好的林区,可能从宏观层面上影响了植被覆盖信息的提取,但是,总体而言,经历了14a的自然生态修复以及人为的水保生态治理,流域的植被覆盖度,整体呈增长趋势,生态环境得到了进一步的改善。

3.2.4 1975-2014 年时空动态变化特征分析 如图4(d)所示,1975至2014年间,塘背河小流域整

体新增植被面积 7.25 km²,超过了整个流域国土总面积的一半,其中,除去流域西南角的里溪村境内植被覆盖变化不大之外,其余各村域植被覆盖均呈现递增趋势,特别是都田、文院以及中岭等村,仅有位于流域上游的里溪以及来溪村境内,出现了植被覆盖降低的现象,植被减少面积为 1.25 km²,植被减少区域主要位于山地脚下以及居民地周边,这可能与土地利用变更以及人员外出打工,存在闲置农田有关。总体上来看,自 1980 年开始水土保持治理工作以来,塘背河小流域生态环境得到显著改善,仅从最为直观的植被覆盖度来看,已由原来 22.91% 增长到目前的 86.87%,可见自第一次水土流失综合治理以来,塘背河小流域发生了翻天覆地的变化,自然生态环境进入了良性循环,为小流域今后水土保持生态文明建设奠定了坚实的基础。

3.3 水土保持驱动因子分析

图 5 为 1980 年塘背河小流域水土流失概况。1980 年塘背河小流域水土流失总面积 1 153.27 hm²,占山地面积的 99.85%。其中,剧烈流失面积 770.00 hm²,占流失总面积的 66.8%;强烈流失面积 181.20 hm²,占 15.7%;中度流失面积 82.13 hm²,占 7.1%;轻度流失面积 119.94 hm²,占 10.4%,水土流失情况极其严重。

但从空间分布上看,水土流失存在区域性差异,其中,上游地区(里溪村)轻度流失面积占 35%,在河谷南面的高丘疏林中,灌草相对茂密;中游地区(来溪村)轻度流失面积占 5.9%,强度、剧烈流失面积占 89.3%,流失程度较上游地区大大加重;下游地区(都田村)轻度侵蚀面积占 3.3%,强度、剧烈流失面积占 93.2%,山林破坏较久,山地全为风化花岗岩,山上仅有稀疏的马尾松和老头树,流失的严重性均比上、中游要重。从图 4(a)中,也可以明显地看到,1975 年在塘背河小流域未治理前,其植被覆盖度非常低,当时严重的水土流失状况也抑制了植被的生长。

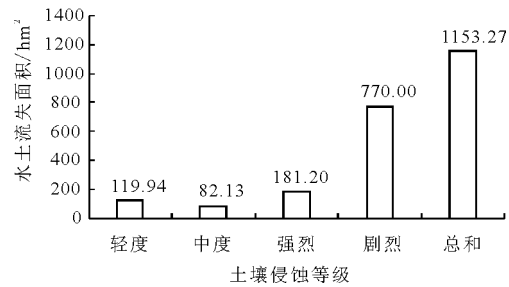


图 5 1980 年塘背河小流域水土流失概况

塘背小流域第一次大规模的水土保持治理工作始于 1980 年,截止到 1988 年全部完成治理任务,本次水土保持治理措施如表 2 所示。

表 2 1980 - 1988 年塘背小流域水土保持措施表^[1]

水保林/ hm ²	封禁治 理/hm ²	经济林/ hm ²	水平竹 节沟/km	谷坊 数量	山塘 数量	崩岗治 理数量	合计/ hm ²
951.53	184.4	17.34	5021	26	9	3	1153.27

主要包括水保林、封禁治理、经济林以及水平竹节沟等工程措施,经现场调查,各项措施至今保存完好,在空间分布上^[1],封禁治理措施主要位于流域上游西南部的里溪境内,水保林以及经果林措施主要位于流域中游的来溪和下游的都田境内,中岭、文院以及芦溪境内也采取了少许的水保林和经果林治理措施,同时对位于来溪境内的龙径水库和都田境内的狮形水库进行了改扩建工程,提升了水库对周边农地的灌溉能力,表 3 为各村庄造林面积统计情况。

表 3 1980 - 1988 年塘背河小流域造林面积表^[1]

村名	合计	薪炭用 材林	造林面积/hm ²		
			合计	经济林 柑橘	茶叶
里溪	114.07	98.20	15.87		1.67
来溪	345.68	174.75	170.93	10.00	4.67
都田	333.66	225.33	108.33	6.67	3.33
芦溪	21.16	12.63	8.53		1.00
中岭	7.71	6.98	0.73		0.13
文院	22.09	8.76	13.33		
合计	844.37	526.65	317.72	16.67	10.80

如表 3 所示,本期的水土保持治理措施类型,基本还是以植被的补植与修复为主,到 1989 年,植被覆盖度从 1975 年的 22.91% 提升到了 57.83%,水土保持措施成效显著,1989 - 2001 年间,塘背河小流域未开展过大规模水土保持治理工程,但是受第一次水土保持治理成效的影响,其流域内居民水土保持意识得到显著提高,伴随着 1991 年国家颁布了首部《水土保持法》,国家以及地方政府对水土保持工作的重视,塘背河小流域主要依托原有水土保持治理工程,通过生态系统的自我修复,土壤质量进一步得到了提升^[2],期间植被覆盖度提升到了 68.98%,与 1989 年相比仅提升了 0.19 倍,植被覆盖还存在零星分布,还未形成规模化效应。

2001 - 2014 年间,随着国家对水土保持支持力

度的加大,以及流域内人民群众意识的不断提高,涌现了一批诸如“顶林-腰果-底谷”、“前埂后沟+反坡台地+梯壁植草”、“竹节水平沟+乔-灌-草”、“猪-沼-果”、“封禁+补种+管护”、“水土保持植物优化组合”等水土保持综合治理技术与模式^[24]。加上 2013 年塘背河小流域开展的中央预算内综合治理工程,在各项治理模式发挥作用的同时,治理水土流失面积 391 hm²。此次水土保持治理工程主要集中于下游的都田村境内,通过对原有水土保持治理技术和模式的总结提炼,并在民间自发的推广应用,更好地实现了流域内的植被生态恢复,到 2014 年,流域内植被覆盖已达 86.87%。

从水土保持治理历程以及植被覆盖的动态变化上来看,植被覆盖的时空变化基本上与水土保持治理工程存在一致性,从塘背河小流域的植被覆盖时间变化上来看,其主要经历了植被覆盖迅速增长期(1975-1989 年)、植被覆盖自我修复完善期(1989-2001 年)以及植被覆盖稳固发展期(2001-2014 年)3 个阶段;从塘背河小流域的植被覆盖时空变化上来看,可划分为上游原有植被自我修复区(主要涉及上游的里溪村)、中游人工半干预植被修复区(主要涉及中游里溪村)和下游人工直接干预植被修复区(主要涉及下游的都田村)。

4 讨 论

植被覆盖度是表征生态恢复的基本评定指标^[10],张灿等^[6]发现,经过长期的水土保持治理工程,土壤质量得以改良^[30],植被覆盖度得到明显提升,并对其生态整体效应的提升具有明显成效。通过对塘背河小流域近 40 年水土保持综合整治,其中水保林措施量最大,占到了总水保措施量的 82.51%,并配以林下水平竹节沟,保土蓄水功效显著^[30],通过修建谷坊以及山塘措施,可分别从坡面以及流域角度最大限度地拦截泥沙和蓄积水资源,支撑流域生态环境的恢复,水土保持经济林措施作为一种生态型措施,在提升流域内经济产值的同时,水土保持生态成效也较为显著,在各项水土保持措施的协同作用下,流域内的生态环境得到了明显改善,到 2014 年流域内植被覆盖度已达 86.87%,与张灿等^[6]的研究结论一致。同时,结合塘背河小流域不同位置的水土保持工程措施与植被恢复情况的对比分析上看,植被恢复情况存在一定的空间差异性,不同的水土保持治理措施,直接影响到后期植被的恢复状态以及程度,在刘艳改^[27]的研究中也证实

了这一观点,不同的水土保持措施发挥生态修复功能起始年限各不相同^[28],特别是人为活动的直接干预,可能会造成水土保持治理初期,植被状况的暂时退化,特别是大规模的农林开发项目,治理前期,往往会造成大面积土壤裸露面的存在,不仅植被覆盖度降低,还会造成较为严重的水土流失,加重区域生态环境恶化^[29],直接影响到水土保持植被生态修复的进程和空间格局。本研究还发现 1975-1989 年间,植被覆盖虽整体提升,但是个别区域出现降低现象,正是由于治理初期,没能很好地处理果园开发中的二次水土流失所致,伴随着后期对原有水土保持措施的进一步改进与完善,特别是诸如“顶林-腰果-底谷”、“前埂后沟+反坡台地+梯壁植草”、“竹节水平沟+乔-灌-草”、“猪-沼-果”、“封禁+补种+管护”、“水土保持植物优化组合”等相关水土保持新技术和模式的应用^[24],使得塘背河小流域植被恢复得到迅速提升。当然,本次植被覆盖的提取主要是借助相关遥感影像获取,对于林下水土流失^[31]的监测与分析欠缺,还有待进一步地深入研究。

5 结 论

(1) 获得了塘背河小流域 40 年来的植被覆盖度,1975、1989、2001 以及 2014 年的植被覆盖度分别为 22.91%、57.83%、68.98% 和 86.87%,呈逐年递增趋势,各时段的植被覆盖度增长率分别为 1975 年的 1.51 倍、2.01 倍和 2.79 倍,逐时段的递增速度分别为 1.51、0.19 和 0.26 倍。

(2) 塘背河小流域植被恢复从时间上主要分为 3 个阶段,分别为植被覆盖迅速增长期(1975-1989 年)、植被覆盖自我修复完善期(1989-2001 年)以及植被覆盖稳固发展期(2001-2014 年)。

(3) 由于水土保持措施的空间分布差异,其植被恢复程度也存在空间上的差异性,可分为上游原有植被自我修复区(里溪村)、中游人工半干预植被修复区(来溪村)和下游人工直接干预植被修复区(都田村),随着水土保持政策以及新技术和模式的推广和实施,植被覆盖空间差异性呈逐年递减趋势,由原来的零星分布向集中连片规模化发展。

(4) 塘背河小流域植被恢复情况与水土保持工程存在时间以及区域位置上的一致性,然而人为大规模的农林开发活动造成的二次水土流失直接影响所在区域的植被恢复,不容忽视。

参考文献:

- [1] 江西省水土保持委员会办公室. 江西省水土保持小流域技术资料汇编[R]. 南昌: 江西省水土保持委员会办公室, 1995: 312-313.
- [2] 宋月君, 杨洁, 汪邦稳, 等. 塘背河小流域水土保持生态建设成效分析[J]. 中国水土保持, 2012, 30(4): 63-64.
- [3] 江西省水土保持检测监督站. 2013年江西省水土保持公报[R]. 南昌: 江西省水利厅, 2014: 1-4.
- [4] 秦伟, 朱清科, 张学霞, 等. 植被覆盖度及其测算方法研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(9): 163-170.
- [5] 贾文娟, 韦雪花, 王秀兰, 等. 北京永定河流域森林植被覆盖研究[J]. 林业调查规划, 2011, 36(4): 21-24.
- [6] 张灿, 徐涵秋, 张好, 等. 南方红壤典型水土流失区植被覆盖度变化及其生态效应评估——以福建省长汀县为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(6): 917-928.
- [7] 孙刚, 万华伟, 王昌佐, 等. 蒙陕甘宁能源金三角植被覆盖遥感监测与动态分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S2): 247-250.
- [8] 郑有飞, 牛鲁燕, 吴荣军, 等. 1982-2003年贵州省植被覆盖变化及其对气候变化的响应[J]. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1773-1778.
- [9] 宋怡, 马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 89-93.
- [10] 杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 近20年来黄河流域植被覆盖变化分析[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 679-684.
- [11] 张芸. 遥感技术在矿山开发生态环境变化分析中的应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2016(8): 1-2.
- [12] 许璟, 安裕伦, 胡锋, 等. 基于植被覆盖与生产力视角的亚喀斯特区域生态环境特征研究——以黔中部分地区为例[J]. 地理研究, 2015, 34(4): 644-654.
- [13] 吴昌广, 李生, 任华东, 等. USLE/RUSLE 模型中植被覆盖管理因子的遥感定量估算研究进展[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6): 1728-1732.
- [14] 刘纪根, 张昕川, 李力, 等. 紫色土坡面植被覆盖度对水土流失影响研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3): 16-20.
- [15] 孙钦明, 刘彤, 韩志全, 等. 遥感分析天山北部植被覆盖对气候变化的多时间尺度响应[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 248-255.
- [16] 韦振锋, 王德光, 张翀, 等. 1999-2010年中国西北地区植被覆盖对气候变化和人类活动的响应[J]. 中国沙漠, 2014, 34(6): 1665-1670.
- [17] 陈晋, 陈云浩, 何春阳, 等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报, 2001, 5(6): 416-422.
- [18] 孙红雨, 王长耀. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204-210.
- [19] 杜佐华, 严国安. 三峡库区水土保持与生态环境改善[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(3): 299-304.
- [20] 何长高. 兴国县塘背河小流域综合治理的生态经济效益[J]. 江西水利科技, 1987(3): 23-26.
- [21] 孙昕, 李德成, 梁音. 南方红壤区小流域水土保持综合效益定量评价方法探讨——以江西兴国县为例[J]. 土壤学报, 2009, 46(3): 373-380.
- [22] 张碧岭, 李景英, 李风. 塘背河小流域综合治理效益调查[J]. 南昌水专学报, 1988(1): 36-39.
- [23] 何长高, 姚毅臣. 应用灰色系统理论预测塘背河水流域水土保持经济效益[J]. 江西水利科技, 1994, 20(1): 48-52.
- [24] 宋月君. 赣南水土保持生态建设成果总结与探讨[J]. 水土保持应用技术, 2015(4): 20-21+26.
- [25] 吕航, 陈圣波, 孟治国, 等. 基于 RS 与 GIS 的大尺度水土流失分级制图[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(6): 715-717.
- [26] 王凤娇, 上官周平. 水土保持生态自然修复与生态文明建设[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(6): 119-124.
- [27] 刘艳改. 几种水土保持工程措施对花岗岩红壤植被恢复的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [28] 莫明浩, 杨洁, 方少文, 等. 赣南地区生态建设30a来的综合效益评价[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4): 172-176.
- [29] 陈瑞冰, 席运官. 东江源区坡地果园水土流失防治分析[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(2): 92-96.
- [30] 宋月君, 杨洁, 汪邦稳. 赣南水土保持生态建设土壤改良成效分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(1): 104-108.
- [31] 胡建民, 宋月君, 杨洁, 等. 南方红壤区马尾松林下水土流失与降雨量关系研究[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(6): 82-87.