

黔中水利枢纽区植被覆盖度时空变化及驱动力分析 ——以平坝为例

蒋翼^{1,2}, 周忠发^{1,2}, 黄登红^{1,2}

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

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

摘要: 植被覆盖度(FVC)对区域生态系统环境变化有着重要指示作用,利用2001年、2005年、2010年、2013年4期Landsat TM/OLI影像数据,基于像元二分模型,以黔中水利枢纽区平坝县为研究对象,得到了植被覆盖度时空变化规律,并探讨了植被覆盖度与地形起伏度、海拔、坡度和土壤类型等因子的响应关系,为县域水土保持研究提供科学理论依据。结果表明:(1)近13年平坝县植被覆盖度呈显著增加趋势,年增速为0.94%,其中2010年之前植被覆盖度呈持续增加趋势,年增速为1.72%,而2010年之后呈下降态势,年降速为-1.26%。(2)空间分布上,平坝县植被覆盖整体呈“西北高、东低”的分布特征,高值区包括齐伯乡、乐平乡和十字乡,低值区主要分布在高峰镇、马场镇和夏云镇;2001—2013年天龙镇植被覆盖度剧烈减少,马场镇和羊昌乡南部植被覆盖度剧烈增加。(3)平坝县植被覆盖度与地形因子的关系显示,植被覆盖度类型主要分布在地形起伏度<80 m梯度、海拔1 200~1 400 m梯度和坡度<25°梯度。(4)不同土壤类型的植被覆盖度变化分析结果表明:黄棕壤的平均植被覆盖度最高,为70.4%;水稻土的平均植被覆盖度最低,为42.9%;在各土壤类型区中表现为高植被覆盖度面积增加百分比最大,低植被覆盖度区域植被覆盖度面积减少百分比最大。

关键词: 植被覆盖度; 时空变化; 土壤类型; 像元二分模型; 平坝

中图分类号: Q948; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)06-0221-07

Analysis on Spatial-temporal Variation and Driving Factors of Fractional Vegetation Cover in Qianzhong Water Conservancy Area —Taking Pingba as an Example

JIANG Yi^{1,2}, ZHOU Zhongfa^{1,2}, HUANG Denghong^{1,2}

(1. Karst Research Institute/Department Geography and Environmental Sciences,

Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. State Key Laboratory Incubation

Base for Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang 550001, China)

Abstract: Fractional vegetation cover (FVC) is an important indicator of the regional ecosystem changes in the environment. We used Landsat TM remote sensing data of 2001, 2005, 2010 and 2013, took Pingba County in Qianzhong Water Control Project as the research object, and applied dimidiated pixel model to get the temporal and spatial variation of fractional vegetation cover and discuss the relationship between FVC and landform relief, elevation, slope and soil type and provide scientific basis for the research of soil and water conservation in county. The results showed that: (1) FVC of the study area exhibited a significant increase with the linear tendency of 0.94% per year in 2001—2013; during this period, a stable increase with linear tendency of 1.72% per year was detected before 2010, followed by a sharp decline with linear tendency of -1.26% per year after 2010; (2) spatially, FVC showed the pattern of high level in the northwest and the low level in the east. High values of FVC were mainly found in Qibo Township, Leping Township and Shizi

收稿日期: 2017-12-21

修回日期: 2018-01-24

资助项目: 国家自然科学基金委员会——贵州喀斯特科学研究中心项目“喀斯特筑坝河流水安全评估与调控对策”(U1612441); 国家自然科学基金地区项目“喀斯特石漠化地区生态资产与区域贫困耦合机制研究”(41661088); 贵州省高层次人才培育计划——“百”层次人才(黔科合平台人才[2016]5674); 国家遥感中心贵州分部平台建设(黔科合计 Z 字[2012]4003, 黔科合计 Z 字[2013]4003)

第一作者: 蒋翼(1995—), 女, 重庆开州人, 硕士研究生, 研究方向为地理信息系统与遥感。E-mail: 1609728211@qq.com

通信作者: 周忠发(1969—), 男, 贵州遵义人, 教授, 博导, 主要从事喀斯特生态环境、地理信息系统与遥感研究。E-mail: fa6897@163.com

Township. Low values of FVC were mainly found in Gaofeng Town, Machang Town and Xiayun Town. In 2001—2013, FVC in Tianlong Town decreased drastically, but increased sharply in Machang Town and Yangchang Township; (3) The relationship between FVC and topographic factors in Pingba County showed that the types of FVC mainly distributed in landform with relief of <80 m, the elevation of $1\,200\sim1\,400$ m and the slope of $<25^\circ$; (4) The analysis of the change of FVC in different soil types showed that FVC of yellow brown soil was the highest (70.4%), FVC of paddy soil was the lowest (42.9%). In each soil type area, the area with high FVC showed the largest percentage increase while the area with low FVC had the largest percentage decrease.

Keywords: fractional vegetation cover; spatial-temporal variation; soil type; dimidiate pixel model; Pingba County

植被覆盖度(Fractional Vegetation Cover, FVC)是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比^[1],是指示地表植被覆盖的一个重要指标和描述生态系统的基本指标^[2]。植被是全球陆地生态系统中的重要组成部分^[3],陆地生态系统的任何变化必然在植被类型、数量或质量方面有所响应。因此,区域及全球范围的植被覆盖度估算对植被及相关领域的研究具有十分重要的意义^[4]。

近年来,随着遥感技术的不断发展,遥感方法相较于传统的测量和估算方法具有实时、连续监测和监测范围广等明显优势^[5]。不少学者利用 MODIS—NDVI 数据分析植被覆盖度的历年变化趋势及其对气候因子的响应关系^[6-8]或探讨植被覆盖度的时空格局与人类活动的相关关系^[9-13];靖娟利等^[14]以 TM/ETM+影像为基础,分析了漓江流域植被覆盖度的时空变化特征,并结合地质数据分析了地质条件对植被覆盖度的影响;甘春英等^[15]利用 TM 影像估算连江流域粤北喀斯特山区植被覆盖度,结合地质图分析了地质构造对植被覆盖度的影响;韩涛等^[16]利用 EOS/MODIS 数据从面积变化和类型转换趋势方面分析石羊河流域甘肃省植被覆盖度时空格局演变;马琳雅等^[17]利用 Terra/MODIS 月植被指数分析了不同等级的草地植被覆盖度时空分布特征及面积变化动态。将气候因子、地质条件、人类活动与植被覆盖度相结合的植被覆盖度相关研究较多,集成地形起伏度、海拔、坡度、土壤类型等驱动因子综合分析黔中水利枢纽区的植被覆盖变化研究较少。

黔中水利枢纽区位于中国西南喀斯特地区,工程性缺水严重,是典型的脆弱生态环境,也是中国乃至世界具有重要地理意义的典型地区^[18]。黔中水利枢纽区东北部平坝县山地植被功能性破坏,逢恶劣天气易导致泥石流等山体滑坡,遇干旱时节则会溪水干枯、泥沙堆积,从而导致水源涵养功能降低或缺失。

因此研究以平坝县为例,运用归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)和像元二分模型,估算 2001 年、2005 年、2010 年、2013 年的植被覆盖度,探讨植被覆盖度与地形起伏度、海拔、坡度和土壤类型等因子的响应关系和时空变化规律,为平坝县水土保持提供科学理论依据,对黔中水利枢纽区生态环境保护具有重要意义。

1 研究区概况

平坝县地处黔中水利枢纽区东北部,属于贵州省安顺市,其地理位置为 $105^\circ59'23''\sim106^\circ34'3''E$, $26^\circ15'16''\sim26^\circ37'37''N$,国土面积 999 km^2 ,共辖 10 个乡(镇、街道),是安顺市的“东大门”。境内属于亚热带湿润季风气候,气候温和,四季分明,降水充沛,年平均气温 14.36°C ,年平均降水量 $1\,102\text{ mm}$,年平均相对湿度 87.93% 。平坝县林地面积为 395.42 km^2 ,森林覆盖率为 31.10% ,有林地面积为 140.10 km^2 ,疏林地面积为 2.03 km^2 ,灌木林地面积为 207.7 km^2 。境内水系发育,均属乌江水系,地层岩性以碳酸盐岩为主,土壤类型以黄壤、石灰土和水稻土为主(图 1)。境内以高原平地为主体,整个地势中间低,四周高,平均海拔 $1\,250\text{ m}$,地貌类型为喀斯特高原盆地,独特的自然条件决定了该区生态环境的脆弱性。

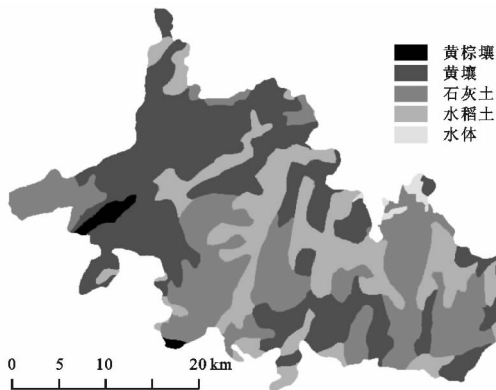


图 1 研究区土壤分布

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

选取 2001 年、2005 年、2010 年、2013 年 Landsat TM/OLI 影像,4 期影像空间分辨率均为 30 m,平均云量低于 10%,数据质量良好,且数据获取时间均为 9 月,处于植被生长旺季,具有可比拟性,能满足研究需要。影像来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。运用 ENVI 5.3 软件对数据进行预处理,主要包括配准、几何校正、图像增强和大气校正。采用 GDEM 提供的 DEM 数据(分辨率为 30 m),运用 ArcGIS 10.1 空间分析模块提取平坝县的地形起伏度、海拔和坡度。运用 ArcGIS 10.1 软件将平坝县 1:50 万土壤类型图数字化,得到研究区土壤类型分布图。

2.2 归一化植被指数(NDVI)提取

植被指数是指从多光谱遥感数据影像中提取的有关地球表面植被状况的定量数据^[5]。归一化植被指数(NDVI)是以距离为基础,基于物理知识,将大气、植被覆盖和土壤背景综合在一起考虑,并通过数学和物理及逻辑经验及通过模拟不断发展而成的植被生长状态及植被覆盖度最佳指示因子^[19]。归一化植被指数 NDVI 的计算公式为:

NDVI=(N_{NIR}-R)/(N_{NIR}+R) (1)

式中:NDVI 为归一化植被指数;N_{NIR} 为近红外波段的亮度值;R 为红波段的亮度值。

运用公式(1)计算可得到 4 期平坝县的 NDVI 图像。NDVI 值在(-1,+1)之间,植被覆盖越好即 NDVI 值越大。

2.3 估算植被覆盖度

本研究中利用像元二分模型估算植被覆盖度,像元二分模型对影像辐射校正影响不敏感,计算简便、结果可靠^[15]。基本原理是假定一个像元信息 S 只由植被和土壤两部分所贡献,分别记为 S_{veg} 和 S_{soil}。根据李苗苗^[20]、Gutman^[21]的研究结合喀斯特地区的植被覆盖度状况,取经验值像元个数累计百分比为 2%的 NDVI 值为裸土植被指数,像元个数累计百分比为 98%的 NDVI 值为全植被覆盖植被指数,则有公式:

FVC=⎧⎩⎨0NDVI<N_{soil}NDVIN_{soil}≤NDVI≤N_{veg}(NDVI-N_{soil})/(N_{veg}-N_{soil})NDVI>N_{veg} (2)

式中:FVC 为植被覆盖度(%),值在(-1,+1)之间;NDVI 为影像上的归一化植被指数;N_{soil} 为影像上裸土区归一化植被指数;N_{veg} 为影像上全植被覆盖区归

一化植被指数。

2.4 地形梯度等级划分

综合考虑地形因子的可定量性和对植被覆盖度变化的影响程度,选取地形起伏度、海拔和坡度分析地形对植被覆盖度变化的影响。基于研究区实际情况,对地形起伏度、海拔和坡度因子进行分级(表 1)。运用 ArcGIS 空间分析功能,对各地形因子进行重分类并统一为 Cell size 为 30 m 的栅格数据,栅格计算中地形因子划分的等级视作地形分区。

表 1 地形起伏度、海拔和坡度因子分级及面积比例

	分级	面积/km ²	面积比例/%
地形起伏度	0~20 m	322.46	32.47
	20~40 m	286.26	28.83
	40~60 m	184.64	18.59
	60~80 m	104.51	10.52
	80~100 m	54.49	5.49
	>100 m	40.61	4.09
坡度	0°~5°	346.28	34.87
	5°~15°	417.13	42.01
	15°~25°	163.74	16.49
	>25°	65.82	6.63
海拔	936~1200 m	45.71	4.60
	1200~1300 m	470.88	47.42
	1300~1400 m	347.11	34.96
	1400~1621 m	129.27	13.02

3 结果与分析

3.1 平坝县植被覆盖度时空分布变化

3.1.1 平坝县植被覆盖度时间变化特征 参考甘春英等^[15]的研究,将计算得到的植被覆盖度(FVC)分为 5 级:低植被覆盖度(FVC<10%)、较低植被覆盖度(10%≤FVC<30%)、中度植被覆盖度(30%≤FVC<50%)、较高植被覆盖度(50%≤FVC<70%)和高植被覆盖度(70%≥FVC),统计各级植被覆盖度面积如表 2 所示。

2001 年、2005 年、2010 年、2013 年平坝县平均植被覆盖度分别为 44.77%,53.37%,62.01%和 56.96%,2001 年平坝县各级植被覆盖度分布面积较为均匀,而较高植被覆盖度面积最大,占总面积比例为 24.79%,2005 年、2010 年、2013 年各级植被覆盖度分布面积差异明显,但占总面积比例最大的均为高植被覆盖度。由表 2 可知,从 2001 到 2013 年植被覆盖度整体呈上升趋势,年平均增速为 0.94%,2001 年植被质量低于 2013 年。其中,2001—2010 年植被覆盖度呈上升趋势,年平均增速为 1.72%,而 2010—2013 年植

被覆盖度转为下降趋势,年平均降速为-1.26%。2001—2013 年平坝县平均植被覆盖度的等级发生较明显的变化。2005 年与 2001 年相比,低植被覆盖区所占比例明显下降,面积由 156.3 km² 减少到 53.93 km²;高植被覆盖区所占比例明显上升,面积由 199.34 km² 增加到 305.34 km²。2010 年与 2005 年相比,较低植被覆盖区所占比例下降幅度最大,面积由

180.11 km² 减少到 70.01 km²;高植被覆盖区所占比例上升最为明显,面积增加了 117.03 km²。2013 年与 2010 年相比,高植被覆盖区所占比例下降幅度最大,面积由 422.37 km² 减少到 349.07 km²;较低植被覆盖区所占比例上升最为明显,面积由 70.01 km² 增加到 108.95 km²。整体看来,2013 年植被覆盖状况优于 2001 年。

表 2 2001—2013 年平坝县植被覆盖度变化

年份	项目	低植被	较低植被	中植被	较高植被	高植被
		覆盖度 0~10%	覆盖度 10%~30%	覆盖度 30~50%	覆盖度 50%~70%	覆盖度 70%~100%
2001	面积/km ²	156.3	162.93	228.28	246.12	199.34
	占总面积比例/%	15.74	16.41	22.99	24.79	20.08
2005	面积/km ²	53.93	180.11	210.50	243.09	305.34
	所占总面积比例/%	5.43	18.14	21.20	24.48	30.75
2010	面积/km ²	52.68	70.01	138.75	309.16	422.37
	所占总面积比例/%	5.31	7.05	13.97	31.13	42.54
2013	面积/km ²	75.44	108.95	198.23	261.28	349.07
	所占总面积比例/%	7.60	10.97	19.96	26.31	35.15
2001—2013	变化值/km ²	-80.86	-53.98	-30.05	15.16	149.73
	变化率/%	-51.73	-33.13	-13.16	6.16	75.11

3.1.2 平坝县植被覆盖度空间变化特征 从 2001—2013 年平坝县植被覆盖度等级图(图 2)来看,2001 年平坝县植被覆盖整体较差,呈“西高东低”的分布特征。植被覆盖度等级以较高植被覆盖度为主,主要分布在平坝县西北地区,包括乐平乡(53.39%)、齐伯乡(52.46%)和十字乡(49.67%);平坝县植被覆盖度最高的地区是天龙镇,以高植被覆盖度、较高植被覆盖度为主,平均植被覆盖度为 54.29%;马场镇是植被最差的地区,以低植被覆盖度为主,平均植被覆盖度仅为 37.08%。2005 年平坝县植被覆盖度呈“西北和东南高、中间低”的分布特征,植被覆盖度等级以高植被覆盖度为主,主要分布在平坝县西北地区和东南地区,植被覆盖度最高的地区是齐伯乡,以高植被覆盖度为主,平均植被覆盖度为 67.9%,植被

覆盖度最低的地区是夏云镇,以低植被覆盖度和较低植被覆盖度为主,平均植被覆盖度为 40.1%。2010 年平坝县植被覆盖度空间分布差异明显,各级植被覆盖度由低到高分布面积逐渐增加,高植被覆盖区主要分布在齐伯乡(74.59%)、乐平乡(71.52%),低植被覆盖度主要集中分布在十字乡(53.46%)和天龙镇(53.01%),天龙镇也是平坝县平均植被覆盖度最低的地区。2013 年平坝县植被覆盖度整体较好,呈“西北和东南高、中间低”的分布特征,主要以高植被覆盖度为主,分布在平坝县西北、北部和南部地区,包括乐平乡(64.72%)、齐伯乡(72.37%)、十字乡(68.58%)、羊昌乡(55.48%);植被覆盖度最高的地区是齐伯乡,平均植被覆盖度为 72.37%;夏云镇是植被最差的地区,平均植被覆盖度仅为 45.88%。

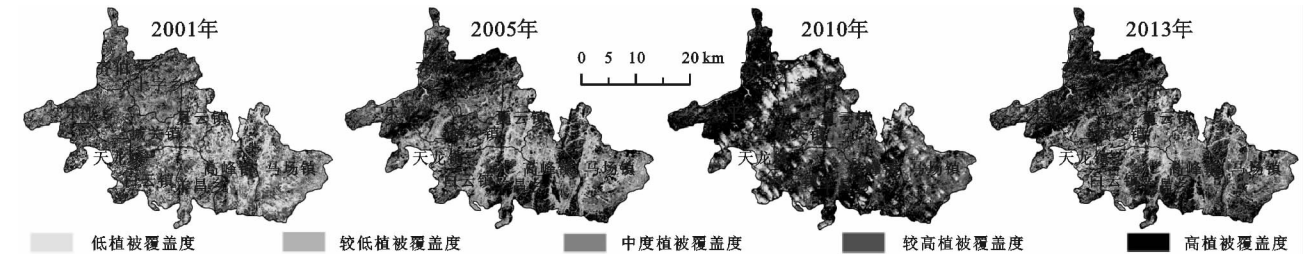


图 2 2001—2013 年平坝县植被覆盖度等级

将计算得到的植被覆盖度变化率分为 7 级:剧烈减少区(变化率<-30%)、减少区(-30%≤变化率<-10%)、轻微减少区(-10%≤变化率<-5%)、稳定区(-5%≤变化率<5%)、轻微增加区(5%≤变化率<10%)、增加区(10%≤变化率<30%)和剧烈

增加区(变化率≥30%),分别统计分析不同土壤类型区各级面积占总面积的百分比(表 3)。平坝县的植被覆盖度变化幅度以增加和剧烈增加为主,其次是稳定区。不同土壤类型区的植被覆盖度亦表现出如上特点,其中占总面积百分比最小的是轻微减少区,面

积仅有 43.78 km²,最大的是增加区,面积为 265.31 km²;黄壤占总面积百分比最大的为剧烈增加区,面积为 116.9 km²,但与增加区差值仅为 0.85%;黄棕壤占总面积最小的为剧烈减少区,面积仅为 0.46

km²,但轻微减少区比剧烈减少区仅大 0.81%,而黄棕壤占总面积百分比最大的为剧烈增加区,高达 33.23%,也是各土壤类型剧烈增加区占总面积百分比的最大值。

表 3 各类土壤面积占总面积的百分比 %

项目	剧烈减少区	减少区	轻微减少区	稳定区	轻微增加区	增加区	剧烈增加区
植被覆盖度	9.99	11.90	4.49	12.83	6.66	27.18	26.96
黄壤	9.55	11.16	4.32	12.30	6.63	27.09	28.94
黄棕壤	4.66	10.54	5.47	17.73	10.64	17.73	33.23
石灰土	10.67	12.36	4.50	12.87	6.70	26.60	26.30
水稻土	10.98	12.18	4.55	13.45	6.28	26.79	25.79

通过 2001 年和 2013 年植被覆盖度叠加分析,得到近 13 年来植被覆盖度变化专题图(图 3)。植被覆盖度剧烈减少区主要位于平坝县西南方向,包括天龙镇和白云镇,一方面平坝县西南方向喀斯特区各类岩石裂隙较多,地表落水洞分布较广,导致地表径流快速转为地下暗流,形成区域工程性缺水,并且喀斯特区主要组分为碳酸盐岩,其成土速度缓慢,且容易被流水冲刷溶蚀,导致区域水土流失现象显著,不利于植被的生长。另一方面,天龙镇与平坝县城较近,交通发达,建设用地面积逐年增加,植被覆盖度随之降低。植被覆盖度剧烈增加区主要分布在平坝县的南部和西北地区,随着近年来的退耕还林、还草、封山育林等工程性措施的实施,平坝县山区的森林得到了较好的保护,有利于植被生长,因而植被覆盖度大幅度增加。

覆盖度,2001—2013 年较低植被覆盖度所占总面积比例变小,中度植被覆盖度所占总面积比例变大;地形起伏度 20~80 m 梯度的主要植被覆盖度类型为较高植被覆盖度和高植被覆盖度;地形起伏度>80 m 梯度的主要植被覆盖度类型为高植被覆盖度,2001—2013 年高植被覆盖度所占总面积比例显著上升。

地形起伏度 0~80 m 梯度,随着地形起伏度的增大,低植被覆盖度、较低植被覆盖度所占比例不断减小;地形起伏度>20 m 梯度,随着地形起伏度的增大,中植被覆盖度所占比例不断减小;高植被覆盖度所占比例在地形起伏度>80 m 梯度分级最大。2001—2013 年低植被覆盖度和较低植被覆盖度面积的减少主要发生在地形起伏度 0~40 m 梯度;2001—2013 年在地形起伏度>60 m 梯度中植被覆盖度和较高植被覆盖度面积均呈下降趋势;高植被覆盖度在地形起伏度 20~40 m 梯度面积变化最明显,从 2001 年的 57.12 km²增加到 2013 年的 104.33 km²。

3.3 植被覆盖度结构变化的海拔梯度差异

平坝县的植被覆盖度结构变化的海拔梯度差异显著(表 5)。植被覆盖度类型主要分布在海拔 1 200~1 400 m 的区域。海拔 936~1 300 m 梯度的主要植被覆盖度类型为中植被覆盖度、较高植被覆盖度和高植被覆盖度,2001—2013 年高植被覆盖度所占面积比例增加变化最为明显;海拔 1 300~1 621 m 梯度的主要植被覆盖度类型为较高植被覆盖度和高植被覆盖度,2001—2013 年较高植被覆盖度所占总面积比例变小,高植被覆盖度所占总面积比例变大。

随着海拔增大,较低植被覆盖度所占总面积比例先增大后减小,而高植被覆盖度所占总面积比例先减小后增大。低植被覆盖度、较低植被覆盖度和中植被覆盖度的减少主要发生在海拔>1 200 m 梯度,而较低植被覆盖度的增加主要发生在海拔 936~1 300 m 梯度。高植被覆盖度在海拔 1 400~1 621 m 梯度所占总面积比例最大,2001—2013 年该区高植被覆盖度面积增加 149.71 km²。

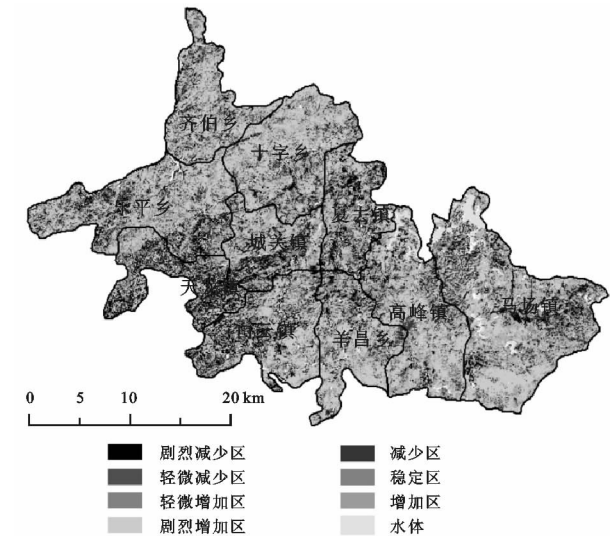


图 3 2001—2013 年平坝县植被覆盖度变化

3.2 植被覆盖度结构变化的地形起伏度梯度差异

平坝县的植被覆盖度结构变化的地形起伏度梯度差异明显(表 4)。植被覆盖度类型集中在地形起伏度 80 m 以下区域。地形起伏度 0~20 m 梯度的主要植被覆盖度类型为低植被覆盖度、较低植被覆盖度和中度植被

表 4 2001—2013 年植被覆盖度的地形起伏度差异

年份	地形起伏度/m	低植被覆盖度		较低植被覆盖度		中度植被覆盖度		较高植被覆盖度		高植被覆盖度	
		面积/	占总面积	面积/	占总面积	面积/	占总面积	面积/	占总面积	面积/	占总面积
		km ²	比例/%	km ²	比例/%	km ²	比例/%	km ²	比例/%	km ²	比例/%
2001	0~20	77.76	24.15	81.36	25.27	76.08	23.63	53.37	16.57	33.45	10.39
	20~40	35.68	12.47	43.20	15.10	70.88	24.78	79.16	27.67	57.12	19.97
	40~60	19.68	10.66	19.30	10.46	40.82	22.12	55.67	30.17	49.07	26.59
	60~80	11.14	10.66	9.94	9.52	21.91	20.97	31.41	30.07	30.06	28.78
	80~100	6.40	11.75	4.94	9.07	10.87	19.96	15.40	28.27	16.86	30.95
	>100	5.46	13.45	4.03	9.93	7.55	18.61	10.92	26.91	12.62	31.10
2013	0~20	40.98	12.73	57.42	17.83	92.85	28.83	80.25	24.92	50.51	15.69
	20~40	19.06	6.66	28.55	9.98	53.53	18.71	80.57	28.17	104.33	36.47
	40~60	7.74	4.19	12.89	6.98	26.67	14.45	49.18	26.65	88.06	47.72
	60~80	3.65	3.49	5.71	5.47	13.42	12.85	26.98	25.83	54.70	52.36
	80~100	1.87	3.43	2.49	4.57	6.71	12.32	14.00	25.71	29.39	53.97
	>100	1.99	4.90	1.82	4.48	4.92	12.12	10.09	24.86	21.76	53.62

表 5 2001—2013 年植被覆盖度的海拔差异

年份	海拔/m	低植被覆盖度		较低植被覆盖度		中度植被覆盖度		较高植被覆盖度		高植被覆盖度	
		面积/	占总面积	面积/	占总面积	面积/	占总面积	面积/	占总面积	面积/	占总面积
		km ²	比例/%	km ²	比例/%	km ²	比例/%	km ²	比例/%	km ²	比例/%
2001	936~1200	5.70	12.47	7.03	15.38	12.31	26.93	12.00	26.25	8.67	18.97
	1200~1300	99.60	21.15	109.76	23.31	113.59	24.12	91.25	19.38	56.68	12.04
	1300~1400	41.25	11.88	36.35	10.47	76.87	22.15	99.41	28.64	93.23	26.86
	1400~1621	9.75	7.54	9.80	7.58	25.50	19.73	43.46	33.62	40.76	31.53
2013	936~1200	6.78	14.83	4.20	9.19	8.71	19.05	11.65	25.49	14.37	31.44
	1200~1300	49.46	10.50	68.46	14.54	119.91	25.47	126.86	26.94	106.19	22.55
	1300~1400	16.81	4.84	29.58	8.52	56.21	16.19	95.32	27.46	149.19	42.98
	1400~1621	2.40	1.86	6.71	5.19	13.40	10.37	27.46	21.24	79.30	61.34

3.4 植被覆盖度结构变化的坡度梯度差异

平坝县的植被覆盖度结构变化的坡度梯度差异明显(表 6)。植被覆盖度类型集中在坡度 25°以下区域。坡度 0°~5°梯度的主要植被类型为较低植被覆盖度和中度植被覆盖度,2001—2013 年较低植被覆盖度所占总面积比例变小,中度植被覆盖度反之;坡度 >5°梯度的主要植被类型为较高植被覆盖度和高植被覆盖度,2001—2013 年较高植被覆盖度所占总面积比例变小,高植被覆盖度所占总面积比例明显变大。

随着坡度的增大,低植被覆盖度和较低植被覆盖度所占比例均不断减小,中度植被覆盖度和较高植被覆盖度所占比例表现为先增加后减小,而高植被覆盖度则持续增加。低植被覆盖度和较低植被覆盖度在坡度 0°~5°梯度面积最大,高植被覆盖度面积最大的区域为坡度 5°~15°梯度。2001—2013 年中度植被覆盖度和较高植被覆盖度在坡度 0°~5°梯度面积变大,在坡度 >5°梯度面积变小。在坡度 5°~15°梯度高植被覆盖度面积变化最为显著,从 2001 年的 89.92 km² 增加到 2013 年的 166.17 km²。

表 6 2001—2013 年植被覆盖度的坡度差异

年份	坡度分级/(°)	低植被覆盖度		较低植被覆盖度		中度植被覆盖度		较高植被覆盖度		高植被覆盖度	
		面积/	占总面积	面积/	占总面积	面积/	占总面积	面积/	占总面积	面积/	占总面积
		km ²	比例/%	km ²	比例/%	km ²	比例/%	km ²	比例/%	km ²	比例/%
2001	0~5	82.38	23.79	83.26	24.04	80.00	23.10	60.15	17.37	40.50	11.70
	5~15	47.86	11.47	58.17	13.95	102.29	24.52	118.89	28.50	89.92	21.56
	15~25	17.14	10.47	15.75	9.62	34.08	20.81	48.99	29.92	47.77	29.18
	25	8.92	13.55	5.76	8.75	11.90	18.08	18.10	27.50	21.14	32.12
2013	0~5	43.24	12.49	61.40	17.73	97.20	28.07	84.95	24.53	59.50	17.18
	5~15	24.47	5.87	36.42	8.73	72.71	17.43	117.36	28.14	166.17	39.84
	15~25	5.43	3.32	8.38	5.12	20.64	12.61	42.94	26.22	86.35	52.74
	>25	2.30	3.49	2.75	4.18	7.67	11.65	16.03	24.36	37.06	56.31

4 结论

(1) 2001—2013年,平坝县植被覆盖度整体呈显著增加趋势,年增速为0.94%;其中2010年植被覆盖度为62.01%,2010年之前植被覆盖度呈持续增加趋势,年增速为1.72%,而2010年之后呈下降态势,年增速为-1.26%;高植被覆盖区面积增加最为明显,变化率高达75.11%。

(2) 平坝县植被覆盖空间格局整体呈现“西北高、东低”的分布特征,高值区主要包括齐伯乡、乐平乡和十字乡,低值区主要在高峰镇、马场镇和夏云镇。天龙镇水土流失现象显著,水土流失面积逐年增加,植被覆盖度剧烈减少;马场镇和羊昌乡南部在封山育林政策的保护下,植被覆盖度剧烈增加。

(3) 植被覆盖度类型集中在地形起伏度80 m以下区域;低植被覆盖度、较低植被覆盖度和中度植被覆盖度主要分布在地形起伏度0~20 m梯度,较高植被覆盖度和高植被覆盖度主要分布在地形起伏度20~40 m梯度。

(4) 植被覆盖度类型主要分布在海拔1 200~1 400 m的区域;低植被覆盖度、较低植被覆盖度和中度植被覆盖度主要分布在海拔1 200~1 300 m梯度,高植被覆盖度主要分布在海拔1 300~1 400 m梯度;随着海拔增大,较低植被覆盖度所占总面积比例先增大后减小,而高植被覆盖度所占总面积比例先减小后增大。

(5) 植被覆盖度类型集中在坡度25°以下区域;低植被覆盖度和较低植被覆盖度主要分布在坡度0°~5°梯度,较高植被覆盖度和高植被覆盖度主要分布在坡度5°~15°梯度;随着坡度的增大,低植被覆盖度和较低植被覆盖度所占比例均不断减小,中度植被覆盖度和较高植被覆盖度所占比例表现为先增加后减小,而高植被覆盖度则持续增加。

因贵州省多云雾天气,难以获取同时相全覆盖影像数据,且受Landsat影像重访周期和图像质量的限制,可用影像较少,在未来的研究中拟使用多源遥感数据,减小时间分辨率、空间分辨率、波谱分辨率的误差,进一步提高研究结果的精度。

参考文献:

- [1] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002,80(1):76-87.
- [2] 陈吉龙. 重庆市三峡库区植被覆盖度的遥感估算及动态变化研究[D]. 重庆:西南大学,2010.

- [3] 吴端耀,罗娅,王青,等. 2001—2014年贵州省林草植被覆盖度时空变化及其与气温降水变化的关系[J]. *贵州师范大学学报:自然版*,2017,35(1):1-7.
- [4] 贾坤,姚云军,魏香琴,等. 植被覆盖度遥感估算研究进展[J]. *地球科学进展*,2013,28(7):774-782.
- [5] 张喜旺,吴炳方. 基于中高分辨率遥感的植被覆盖度时相变换方法[J]. *生态学报*,2015,35(4):1155-1164.
- [6] 孙睿,刘昌明,朱启疆. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系[J]. *地理学报*,2001,56(6):667-672.
- [7] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,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.
- [8] GONG Zhaoning, ZHAO Shuyi, GU Jinzhi. Correlation analysis between vegetation cover and climate drought conditions in North China during 2001—2013[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017,70(2):717-729.
- [9] 刘宪锋,潘耀忠,朱秀芳,等. 2000—2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. *地理学报*,2015,70(5):705-716.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 孙雷刚,郑振华. 基于RS的近30年滦河流域植被覆盖度动态变化研究[J]. *地理与地理信息科学*,2014,30(6):36-40.
- [13] 赵丽红,王屏,欧阳勋志,等. 南昌市植被覆盖度时空演变及其对非气候因素的响应[J]. *生态学报*,2016,36(12):3723-3733.
- [14] 靖娟利,王永锋. 漓江流域近15年遥感植被覆盖度fveg变化特征[J]. *桂林理工大学学报*,2014,34(2):260-265.
- [15] 甘春英,王兮之,李保生,等. 连江流域近18年来植被覆盖度变化分析[J]. *地理科学*,2011(8):1019-1024.
- [16] 韩涛,王大为. 2000—2014年石羊河流域植被覆盖变化研究[J]. *中国农学通报*,2017,33(13):66-74.
- [17] 马琳雅,崔霞,冯琦胜,等. 2001—2011年甘南草地植被覆盖度动态变化分析[J]. *草业学报*,2014,23(4):1-9.
- [18] 樊云龙,熊康宁,苏孝良,等. 喀斯特高原不同植被演替阶段土壤动物群落特征[J]. *山地学报*,2010,28(2):226-233.
- [19] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [20] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京:中国科学院遥感应用研究所,2003.
- [21] Gutman G G. Vegetation indices from AVHRR: An update and future prospects[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1991,35(2/3):121-136.