

甘肃白龙江流域植被覆盖度及景观格局变化

高彦净, 谢余初, 钱大文, 张玲玲, 巩杰

(兰州大学 西部环境教育部重点实验室, 西部环境与气候变化研究院, 兰州 730000)

摘要:基于 1998—2012 年 SPOT NDVI 数据,采用像元二分模型和景观格局分析方法,对甘肃白龙江流域植被覆盖度及景观格局时空变化及影响因素进行分析。结果表明:(1) 1998—2012 年白龙江流域植被覆盖度明显增加,高植被覆盖度面积增加量最大(737.30 km²),2012 年中高和高植被覆盖度面积比例达 70.7%,植被覆盖度增加区域主要分布在宕昌县北部、岷江东岸、舟曲—武都段白龙江两岸及其以北区域。(2) 研究期间,白龙江流域植被覆盖整体改善、局地退化,植被覆盖度显著增加和轻度增加的总面积和比例分别为 4 675.90 km²,25%,显著减少的面积仅占 3.84%。(3) 1998—2012 年景观破碎度增大,斑块密度增加了 58.23%;景观形状趋于复杂化,LSI,AWMPFD 和 IJI 分别增大到 25.14,1.128,80.01;香农多样性和均匀度指数分别减少到 1.342,0.834。(4) 白龙江流域植被覆盖度增加是自然因素和人为因素共同作用的结果,退耕还林、天然林保护等一系列生态工程的实施是植被覆盖度增加的主要原因。

关键词:甘肃白龙江流域; NDVI; 植被覆盖度; 时空变化; 景观格局

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)01-0181-07

Dynamic Variations of Vegetation Coverage and Landscape Pattern in Bailongjiang Basin of Southern Gansu

GAO Yanjing, XIE Yuchu, QIAN Dawen, ZHANG Lingling, GONG Jie

(Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, MOE,

Research School of Arid Environment and Climate Change, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract:Based on the SPOT NDVI during the period 1998—2012, this paper analyzes the fractional vegetation coverage temporal-spatial variation and landscape pattern in Bailongjiang Basin of southern Gansu by using the methods of dimidiated pixel model and landscape pattern analysis. Results are shown as the following: (1) from 1998 to 2012, fractional vegetation coverage of the study area increased, the area of high vegetation coverage increased apparently (about 737.30 km²), the ratio of high vegetation coverage to intermediate vegetation coverage was 70.7%, and the increased region mainly distributed in the northern Tanchang, the eastern riverside of Minjiang River, both sides of Bailongjiang River from Zhouqu to Wudu and north of it; (2) though the vegetation coverage presented an overall increase, it locally degraded in some areas, during that period, the areas and ratio of obviously increased region to slightly increased region were 4 675.90 km², 25%, respectively, and the ratio of obviously decreased region only accounted for 3.84%; (3) from 1998 to 2012, the landscape fragmentation increased, with patch density increased by 58.23%; landscape shape was prone to be more complicated; LSI, AWMPFD, and IJI increased to 25.14, 1.128, and 80.01, respectively. In addition, SHDI and SHEI reduced to 1.342 and 0.834, respectively. (4) the improvement of the fractional vegetation coverage in Bailongjiang Basin was the interactive effect of natural factors and human activities, but the main cause was the implementation of the series of ecological projects, such as 'Grain for Green Project' and 'Natural Forest Protection'.

Keywords:Bailongjiang Basin; NDVI; vegetation coverage; spatiotemporal variation; landscape pattern

收稿日期:2014-02-24

修回日期:2014-04-10

资助项目:国家自然科学基金资助项目(41271199);国家科技支撑计划项目(2011 BAK12 B06)

第一作者:高彦净(1987—),女,河南南乐人,硕士研究生,研究方向:环境遥感与景观生态学。E-mail:gaoyj12@lzu.edu.cn

通信作者:巩杰(1975—),男,甘肃宁县人,副教授,主要从事土地变化科学、景观生态学、生态评价与规划等科研教学工作。E-mail:jgong@lzu.edu.cn

植被是生态环境的重要组成部分,又是维持生态环境,发挥有效生态效能的功能体,是衡量自然生态环境状况和性质的主要指示物^[1]。植被覆盖度是指植被冠层在地面上的垂直投影面积与土地总面积的百分比,是反映地表植被分布特征的定量指标^[2],对衡量地表植被及区域生态环境变化有着重要指示作用^[3-4]。随着遥感技术的发展,植被覆盖度被广泛应用于植被动态监测、自然灾害监测以及气候和水文等研究工作^[5],国内外许多学者基于植被覆盖度进行了大量不同尺度的研究^[6-12],其中,李登科等^[7]利用 MODIS NDVI 数据分析了陕西省封山育林,退耕还林等一系列生态建设工程实施后植被覆盖度时空变化特征。陈效述等^[8]基于 AVHRR NDVI 数据对内蒙古植被带植被空间分布格局进行研究,并分析了典型草原植被带的年季时空变化及其与水热因子的关系。甘春英等^[9]以 TM 影像为数据源,分析了连江流域 1988—2006 年植被演变特点及空间分布特征,发现连江流域植被覆盖度变化显著。以上研究包括了干旱和湿润地区的植被覆盖度变化研究,且多从时间尺度上考虑年际和(或)月间的植被覆盖度动态变化,而从景观生态学角度对流域植被景观格局及其时空变化过程研究相对较少,尤其是对于处在黄土高原、青藏高原和秦巴山区三大地形交汇过渡带的植被覆盖及其景观格局变化研究就更少。因此,加强对生态过渡带在流域尺度上的景观格局演变过程研究,对西部生态环境的恢复和生态可持续发展的进程具有重要意义。

白龙江流域地处甘肃南部,是长江上游重要的水源地和生态屏障,同时也是我国滑坡、泥石流灾害四大高发区之一^[13]。流域内地形复杂,地质灾害频繁、人类活动干扰剧烈,生态环境十分脆弱。尤其是在八十年代以来,由于不合理的土地利用方式衍生出了一系列生态环境问题,诸如植被破坏、水土流失、滑坡、泥石流等灾害;而植被是制约滑坡、泥石流等地质灾害的重要因子和生态环境的关键要素。1998 年长江洪涝灾害后,我国相继推行天然林资源保护、退耕还林还草等一系列重大生态建设工程,白龙江流域也率先开展了生态恢复的植被建设工作。然而,由于这些工程涉及面广,工程量大,如何客观、准确地了解植被生态恢复效果成为难题。遥感与地理信息系统技术对植被变化监测具有观测尺度大、观测时间序列长、间隔周期短的特点,因此基于归一化植被指数 NDVI (Normal Differential Vegetation Index) 可以在大区域尺度上进行地表植被及其景观格局变化研究。基于此,本文拟以甘肃白龙江流域为例,利用 SPOT NDVI 数据以像元二分模型、景观格局分析为方法基

础,分析 1998—2012 年流域植被覆盖动态变化及其景观格局变化特征,旨在为流域植被恢复、生态环境改善和流域水土保持供科学依据。

1 研究区概况

甘肃白龙江流经迭部县、舟曲县、宕昌县、武都区和文县(图 1),全长 475 km,流域面积约 1.84 万 km²。地理位置 32°36′—34°24′N,102°48′—105°30′E。流域内山峦叠嶂、沟壑纵横、坡陡流急,素以“山大沟深”著称,是我国水土保持与水源涵养的重要功能区。流域内气候类型复杂多样,属于暖温带湿润气候和北亚热带湿润气候交错带,夏季高温多雨,冬季温暖少雨,年均降水量 400~850 mm,且集中在 5—10 月,年均气温 6~14.9℃。研究区植被覆盖较好,森林广布、生物资源荟萃,是甘肃唯一的油橄榄、茶叶、银杏等亚热带作物产地。由于海拔高,植被的垂直分异明显:海拔在 800~3 700 m 之间的区域为亚高山针叶林;海拔在 3 700~4 100 m 间的区域多为由杜鹃和高山柳组成的高山灌木林;海拔 4 100 m 以上的高山通常分布有高山草甸或者基岩。研究区总人口 130 多万人,其中武都和宕昌的人口数最多,有汉族、藏族、回族等多个民族。

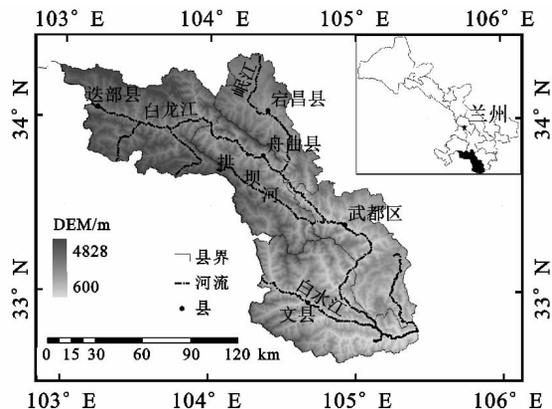


图 1 研究区地理位置

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

研究采用的数据由两部分组成:(1)比利时弗莱芒技术研究所网站(<http://free.vgt.vito.be>)提供的 1998—2012 年的 SPOT NDVI 数据,空间分辨率为 1 km,时间分辨率为逐旬。获得的 SPOT NDVI 遥感数据已经过大气校正、辐射校正等预处理,通过 MVC(maximum value composite)获得年最大 NDVI,以减少云、大气等噪声对数据的影响。(2)气象数据为白龙江流域及周边 9 个地面气象站点(武都区、宕昌县、舟曲县、迭部县、岷县、礼县、卓尼县、康

县、文县)的 1998—2012 年逐月降水和气温数据。运用克里格插值法对气象数据进行插值,并运用偏相关分析法,在 ArcGIS 栅格计算器中分别计算植被覆盖度与降水、气温的相关系数。

2.2 植被覆盖度计算与分级

研究区植被覆盖度提取是基于像元二分模型原理,假设像元由裸土和植被两部分构成,通过 NDVI 计算,进而推导出植被覆盖度^[14],计算公式如下:

$$F_c = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{soil}}) / (\text{NDVI}_{\text{veg}} - \text{NDVI}_{\text{soil}}) \quad (1)$$

式中: F_c ——一个像元内的植被覆盖度;NDVI——该像元上的归一化植被指数; NDVI_{veg} , $\text{NDVI}_{\text{soil}}$ ——影像上植被和裸土部分对应的 NDVI 值。理论上,大多数裸土所对应的 $\text{NDVI}_{\text{soil}}$ 应该接近 0,但实际上由于受众多因素(大气、地表湿度、土壤类型、地表粗糙度等)的影响, $\text{NDVI}_{\text{soil}}$ 也会随着空间而变化^[14]。 NDVI_{veg} 也会因植被类型的不同等因素而改变。因此,取给定置信度区间的最大值与最小值,分别选择累积的 5% 和 95% 为置信区间,反复对比分析后选定 NDVI_{veg} 和 $\text{NDVI}_{\text{soil}}$ 的数值,进而计算植被覆盖度分布状况。同时,参考中华人民共和国水利部 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007),并结合研究区实际情况,以 TM 影像为基础,通过目视解译得到的 2002 年、2010 年土地利用数据,将植被覆盖度划分为: $F_c < 30\%$ (低植被覆盖度)、 $30\% \leq F_c < 45\%$ (中低植被覆盖度)、 $45\% \leq F_c < 60\%$ (中植被覆盖度)、 $60\% \leq F_c < 75\%$ (中高覆盖度)和 $F_c \geq 75\%$ (高覆盖度)5 个等级^[11-12,15]。

2.3 植被覆盖景观格局分析

景观指数不仅高度浓缩景观格局信息,而且可以

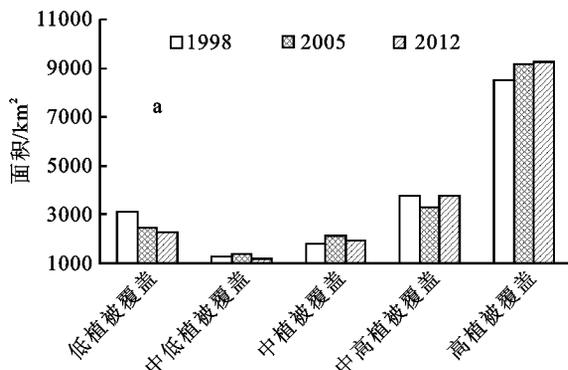


图 2 1998—2012 年各植被覆盖度等级的面积变化及其动态度

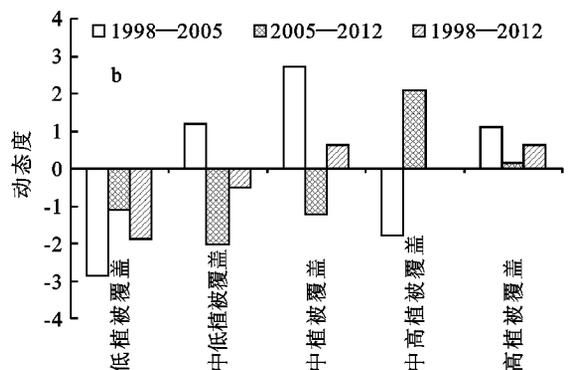
从空间分布上来看,高、中高植被覆盖度主要分布在文县、拱坝河上中游、迭部县南部、岷江西岸至迭山之间的区域,同时在武都区东南面有少量分布。低和中低植被覆盖度紧密相连,且呈现多核地域分布格局,具体集中在舟曲—武都区段白龙江两岸及其以北区域、宕昌县北部及岷江东部、迭部县北部等区域,这

反映景观结构和空间配置特征变化,进而建立景观结构与过程或现象的联系,更好地解释与理解景观功能^[16]。根据景观指数的生态学意义和指数间的相关性,按照既可以描述景观要素又可以描述景观总体特征的原则^[17],并结合白龙江流域植被覆盖特点,拟从植被覆盖的破碎度、多样性和景观空间构型角度分别选取斑块密度(PN)、斑块占景观面积的比例(PLAND)、景观形状指数(LSI)、散布与并列指数(IJI)、香农多样性指数(SHDI)、香农均匀度指数(SHEI)、面积加权分维数(AWMPFD)等指数进行分析,各指标表达公式及其生态意义见文献^[16,18]。

3 结果与分析

3.1 1998—2012 年流域植被覆盖度时空变化

由图 2 a 和图 3 可知,高植被覆盖和中高植被覆盖是白龙江流域的主要植被覆盖类型,二者面积之和均占流域总面积的 66.67% 以上。1998—2005 年,面积增加最大的是高植被覆盖度(650.56 km²),中植被覆盖度次之(342.14 km²);而面积减少最明显的是低植被覆盖度(-621.64 km²),中高植被覆盖度次之(-475.7 km²)。从不同等级植被覆盖变化程度上看,低植被覆盖动态度最大(-2.87%),中植被次之(2.73%),高植被最小(1.09%)。2005—2012 年,中高植被覆盖度的面积及动态度最大(分别为 482.58 km² 和 2.09%),中低植被覆盖次之(分别为 -192.76 km² 和 -2.02%),高植被覆盖变化最小(分别为 -86.74 km² 和 -0.16%)。整个研究期间,高植被覆盖度面积增加最大(737.30 km²),而低植被覆盖度面积减少最多(-814.40 km²),表明流域内植被生态恢复明显,植被覆盖程度不断增强。



些地区除迭部县北部因海拔高出露大片裸岩之外,主要是坡耕地分布区域。中植被覆盖区分布相对比较零散,大多分布在低和中低植被覆盖度的外围,以舟曲—武都区段白龙江两岸及其以北区域分布面积最大(图 3)。在整个研究期间,白龙江流域植被覆盖度分布格局变化不大,总体呈现植被转好的趋势。

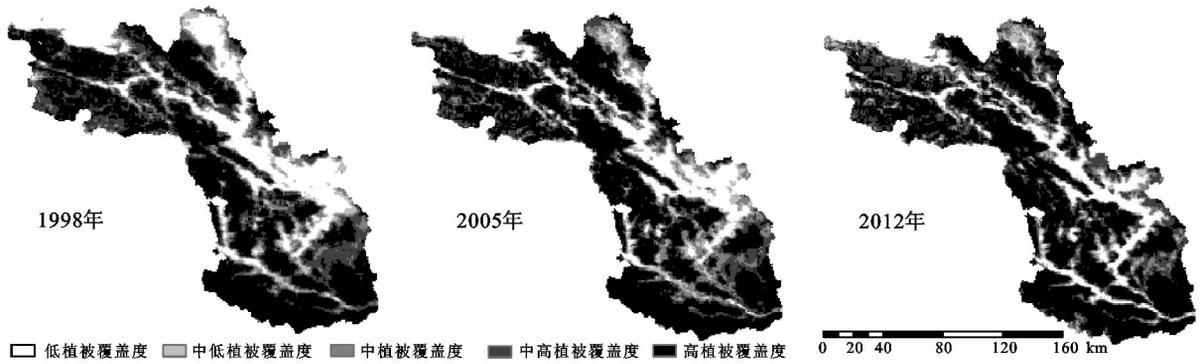


图 3 甘肃白龙江流域植被覆盖度空间分布

3.2 1998—2012 年流域不同等级植被覆盖度变化情况

从不同植被覆盖度等级之间面积动态转化来看(表 1),1998—2005 年,白龙江流域植被覆盖度提升,首先因为大量中高植被覆盖转化为高植被覆盖,转化面积为 1 460.31 km²;其次为低植被覆盖向中低植被覆盖转化、中植被覆盖向中高植被覆盖转化,转化面积分别为 618.51,535.31 km²。这说明研究区的天然林保护、退耕还林还草政策实施初见成效。2005—2012 年,植被覆盖度继续提高,而且与 1998—2005 年植被覆盖变化规律一致,即低一等级的植被覆盖向高一等级的植被覆盖转化的面积最多,其中,中高植被向高植被覆盖转化的面积最大(1 282.28 km²),其

次为中植被覆盖向中高植被覆盖转化(804.21 km²)。1998—2012 年,中高植被覆盖向较高植被覆盖转化的面积最大(达 1 676.94 km²),其次是中、低植被覆盖分别向中高、中低植被覆盖转化;年平均转化幅度最大的是中高植被覆盖转化为高植被覆盖,转化幅度约 0.65%。这种大面积由低级植被覆盖向高级植被覆盖转移的现象,对应土地利用变化分析可以发现,主要是未利用地转变为灌、草地,坡耕地和未利用地向林地转移,说明研究区植被生态恢复工程效果显著,生态环境有所改善。

然而,2012 年低和中低植被覆盖度面积比重达 18.63%,说明近 15 a 来白龙江流域森林保护与植被恢复工作依然很严峻。

表 1 各类型植被覆盖度转移矩阵

年份	覆盖度	低植被	中低植被	中植被	中高植被	高植被
1998—2005	低植被	2154.38	618.51	273.01	49.37	2.05
	中低植被	214.34	394.16	428.15	172.48	24.99
	中植被	85.87	236.24	697.05	535.31	194.15
	中高植被	18.12	85.32	624.31	1566.77	1460.31
	高植被	0.41	3.72	103.91	879.97	7561.44
2005—2012	低植被	1828.95	379.76	200.32	63.00	4.41
	中低植被	292.10	352.63	385.38	288.67	18.88
	中植被	141.18	295.27	654.96	804.21	231.11
	中高植被	15.83	102.29	472.95	1332.60	1282.28
	高植被	1.24	17.28	204.36	1226.59	7786.57
1998—2012	低植被	1735.98	522.69	470.93	325.32	45.72
	中低植被	287.14	210.01	280.25	323.47	133.70
	中植被	188.82	200.43	365.34	581.65	413.06
	中高植被	63.77	165.69	532.79	1319.39	1676.94
	高植被	2.30	49.79	269.76	1165.83	7061.01

为了更好地反映流域内不同等级植被覆盖度的变化程度,在进行植被覆盖度等级变化转移矩阵分析的基础上,将植被覆盖度向高等级的覆盖度增加 2 级

以上(含 2 级)定义为显著增加,增加 1 级的为轻度增加;反之,若向低等级的覆盖度降低 2 级以上则为显著减少,降低 1 级的为轻度减少^[10,19]。

由图 4 和表 1 可知,15 a 来白龙江流域植被生态恢复明显,1998—2005 年植被覆盖度显著增加区域主要分布在宕昌县的北部,2005—2012 年主要分布在宕昌县北部、岷江东岸、舟曲—武都段白龙江两岸及其以北区域。这可能与这些区域原来植被覆盖度比较低,且是水土保持与退耕还林还草工程的重点实施治理区

有关。从面积变化上看,1998—2012 年低植被覆盖度向中植被覆盖度以上转化是植被覆盖度显著增加的主要原因,其转化面积约占总转化面积的 36.58%。植被覆盖度显著减少的区域集中于西秦岭和迭山北部,其高、中高植被覆盖度分别向中、低植被覆盖度转化是主导因素。

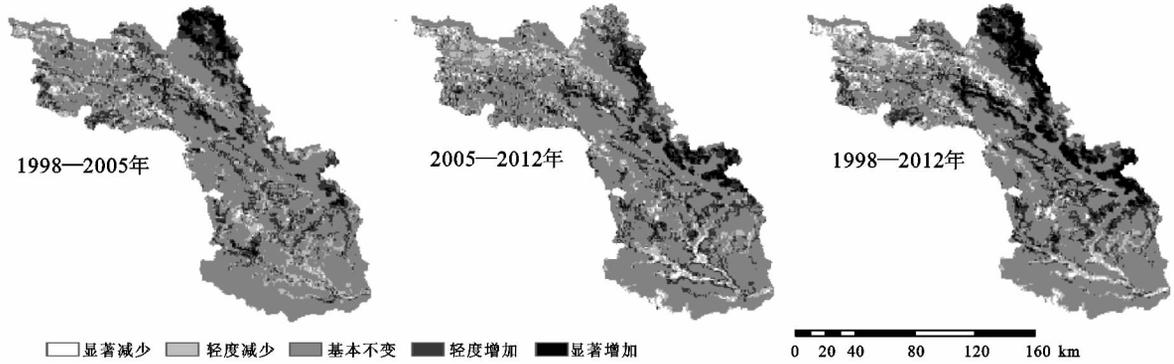


图 4 甘肃白龙江流域不同等级植被覆盖度变化空间分布

3.3 植被覆盖度景观格局变化

3.3.1 景观破碎度 斑块数能够较好地反映斑块之间的破碎化程度,是反映景观异质性的重要指标。1998—2012 年,白龙江流域整体景观破碎度逐渐增强,且不同等级植被覆盖度的斑块数呈现单一增长的趋势,斑块数整体增加了 58.23%(图 5),表明流域内景观异质性增强,也间接地反映出人类活动对区域景观

格局有着重要的影响。其中,中高植被覆盖度破碎化最严重,斑块数变化最大,年均增加幅度高达 6.02%,从图 3 可以看出主要是高植被覆盖度覆盖区退化成很多中高植被覆盖度造成的;其次为中低植被覆盖度(增加 61.91%),主要是因为生态工程实施后,植树造林,退耕还林还草等措施打破了中低植被覆盖度连成一片的局面;高植被覆盖度增加的最少(增加 12.5%)。

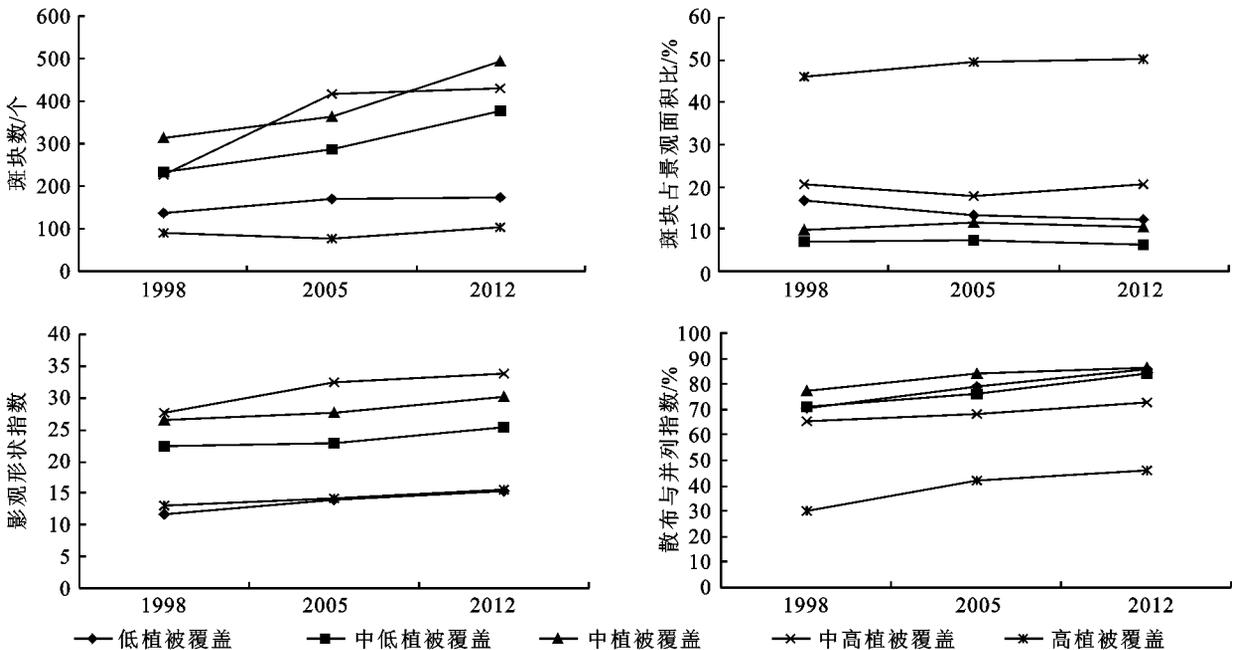


图 5 1998—2012 年甘肃白龙江流域各斑块类型水平上的景观格局指数

3.3.2 景观多样性 在景观水平尺度上,景观多样性指标直接反映了植被景观要素的均衡化和空间分布均匀化。Shannon's 多样性指数(SHDI)从 1998 年的 1.391 略减至 1.342,其均匀度指数(SHEI)也由 0.864 减至 0.834,说明研究区不同等级植被覆盖

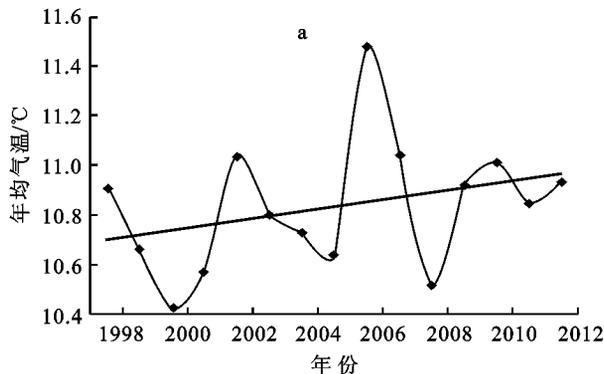
度趋向于不均衡化,植被景观空间分布格局向不均匀发展,高和中高植被覆盖度的面积比重逐渐增大,且分布范围广(表 3)。

3.4 植被覆盖变化原因分析

气温与降水是植被生长的重要影响因素,而近年

来,随着城镇化、修路和采矿等活动的加剧,人类干扰对植被覆盖度的影响在逐渐增强。降水量的增加有利于植被覆盖度的提高,适度的气温升高也有利于植被生长,1998—2012 年研究区降水量和气温都呈增加趋势(图 6)。

图 7 显示,植被覆盖度与降水显著相关地区主要分布在文县的中东部、武都区的中南部和宕昌县的北部,而植被覆盖度和气温显著相关地区零星分布在宕昌县、舟曲县和迭部县。此外,近年来,白龙江流域长江中上游防护林体系建设工程、天然林资源保护和退耕还林还草工程的实施对植被覆盖度的增加起到了促进作用。如 1989—2008 年宕昌县在实施“长江中



上游防护林体系建设工程”中人工造林、封山育林、抚育幼林等 552.6 km²,1999—2009 武都区人工造林 1122.06 km²,退耕还林 349.13 km²。这说明研究区植被覆盖度的增加是自然因素和人为因素共同作用的结果。

表 3 1998—2012 年甘肃白龙江流域景观水平上的景观格局指数

年份	PD	LSI	AWMPFD	IJI	SHDI	SHEI
1998	0.054	21.27	1.122	74.12	1.391	0.864
2005	0.071	23.48	1.127	77.84	1.367	0.849
2012	0.086	25.14	1.128	80.01	1.342	0.834

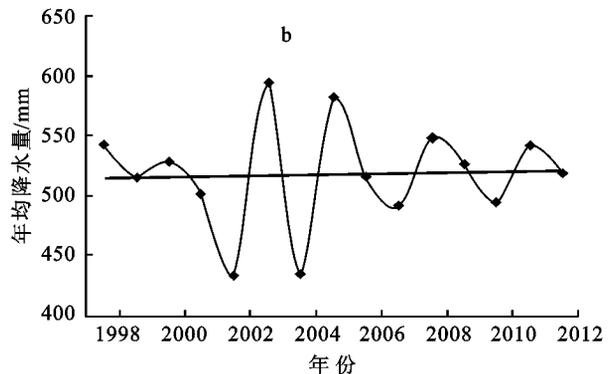


图 6 1998—2012 年甘肃白龙江流域年平均气温和年平均降水量变化趋势

从图 6 可知,植被覆盖度显著增加地区的植被覆盖度与降水、气温的相关性均不明显,说明生态工程植被是研究区植被面积增加的主要原因。此外,随着

人口增加,经济发展,城镇化速度加快、工矿建设及交通基础设施的建设对研究区植被覆盖斑块数增加和景观破碎化程度加重等产生了重要影响^[20-21]。

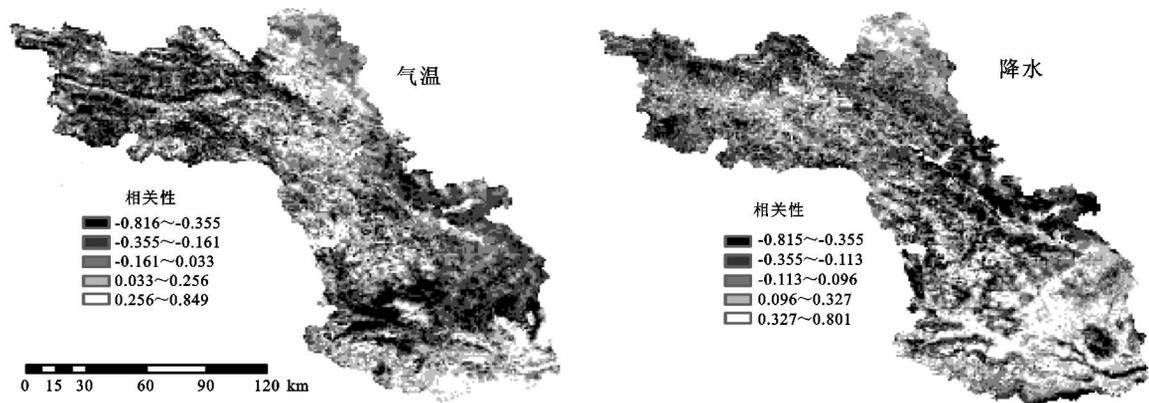


图 7 植被覆盖度与气温和降水的空间相关性

4 结论与讨论

本文基于遥感和地理信息系统技术平台,利用 SPOT NDVI 数据对植被覆盖进行了分析,客观地反映了甘肃白龙江流域植被覆盖度及其景观格局变化,揭示了该流域近 15 a 来植被覆盖度整体提高,植被恢复明显,同时景观破碎化加重。

从植被覆盖度面积变化来看,1998—2012 年白

龙江流域植被覆盖度明显增加,生态环境有了明显的改善。2012 年植被覆盖和长势明显好于 1998 年,低植被覆盖度面积减少最多(814.40 km²),中高和高植被覆盖度面积约占研究区总面积的比例达 70.7%,植被覆盖状况明显好转。

从植被覆盖度空间变化来看,1998—2012 年白龙江流域植被覆盖的空间分布呈现出一定的规律性,低和中低植被覆盖度多集中在人类活动相对频繁的

河谷两岸及石质性山区与黄土地貌交错过渡的土石山区,舟曲—武都段白龙江两岸及其以北区域尤为突出,其植被景观格局稳定性较差,存在较大的潜在生态风险,这与赵彩霞^[20]、谢余初^[21]等的研究结果类似。可见,流域内植被生态恢复工作仍然很紧迫,建议研究区结合自身实际情况,坚持可持续发展战略,不可以环境破坏为代价来发展经济。

从植被覆盖度的景观格局来看,研究期间,流域植被景观逐渐破碎化,结构复杂化,异质性和几何形状特征逐渐增强,不同覆盖度等级的植被景观混杂程度和受干扰程度持续增强,且趋向于不均衡化发展。说明 15 a 来白龙江流域森林保护与植被恢复工作依然很严峻,因此,在实施生态建设工程的同时,应注意加强流域生态系统管理和生态建设成果保护,减少破坏,避免形成“边恢复,边破坏”的现象。

自然因素和人为因素是研究区植被覆盖度及景观格局发生变化的主要驱动力。研究区植被覆盖度显著增加地区与气温和降水的相关性不大,说明近 15 a 来,自然因素对研究区植被覆盖度的增加影响较小,而人为因素起到了重要作用。尽管研究区较早开展了植被建设工作,“长江中上游防护林体系建设工程”、“天然林资源保护工程”和“退耕还林还草工程”相继实施,但其工程建设对植被恢复的影响及其贡献率还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J]. 遥感学报,1998,2(3):204-210.

[2] 胡良军,邵明安. 论水土流失研究中的植被覆盖度量指标[J]. 西北林学院学报,2001,16(1):40-43.

[3] Sellers P J, Los S O, Tucker C J. A revised land surface parameterization(SiB2)for atmospheric GCMs. Part II: the generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data[J]. Journal of Climate,1996,9(4):706-737.

[4] 陈云浩,李晓兵,史培军,等. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. 植物生态学报,2001,25(5):588-593.

[5] 吴云,曾源,吴炳方,等. 基于 MODIS 数据的三北防护林

工程区植被覆盖度提取与分析[J]. 生态学杂志,2009,28(9):1712-1718.

[6] Samir M A, Mohamed A H. Vegetation dynamic in semi arid Butana Plain, Sudan[J]. Journal of Geography and Regional Planning, 2011(4):183-198.

[7] 李登科,范建忠,王娟. 陕西省植被覆盖度变化特征及其成因[J]. 应用生态学报,2010,21(11):2896-2903.

[8] 陈效速,王恒. 1982—2003 年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化[J]. 地理学报,2009,64(1):84-94.

[9] 甘春英,王兮之,李保生,等. 连江流域近 18 a 来植被覆盖度变化分析[J]. 地理科学,2011,31(8):1019-1024.

[10] 邓飞,全占军,于云江,等. 20 a 来乌兰木伦河流域植被覆盖度变化及影响因素[J]. 水土保持研究,2011,18(3):137-140.

[11] 王兮之,陆龙,梁钊雄,等. 青海湟水流域植被覆盖度时空变化分析[J]. 水土保持研究,2010,17(6):172-176.

[12] 庞吉林,张克斌,乔娜,等. 基于 RS 的盐池县近 10 a 植被覆盖度动态变化研究[J]. 水土保持研究,2012,19(4):112-115,121.

[13] 陈冠,孟兴民,乔良,等. “7·22”岷县漳县地震地质灾害分布、特征及与影响因子间关系分析[J]. 工程地质学报,2013,21(5):750-760.

[14] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学,2004,26(4):153-159.

[15] 王冬梅,孟兴民,邢钊,等. 基于 RS 的武都区植被覆盖度动态变化及其驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(11):92-97.

[16] 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.

[17] 陈文波,肖笃宁,李秀珍,等. 景观指数分类、应用及构建研究[J]. 应用生态学报,2002,13(1):121-125.

[18] McGarigal K, Cushman S A, Neel M C, et al. FRAG-STATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps[M]. Massachusetts: University of Massachusetts, Amherst, 2002.

[19] 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.

[20] 赵彩霞. 甘肃白龙江流域生态风险评价[D]. 兰州:兰州大学,2013.

[21] 谢余初,巩杰,赵彩霞. 甘肃白龙江流域水土流失的景观生态风险评价[J]. 生态学杂志,2014,33(3):702-708.