

DOI: 10.5846/stxb201506291316

肖强, 陶建平, 肖洋. 黄土高原近 10 年植被覆盖的动态变化及驱动力. 生态学报, 2016, 36(23): 7594-7602.

Xiao Q, Tao J P, Xiao Y. Dynamic vegetation cover change over the past 10 years on the Loess Plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(23): 7594-7602.

黄土高原近 10 年植被覆盖的动态变化及驱动力

肖 强^{1,2}, 陶建平^{1,*}, 肖 洋³

1 西南大学生命科学学院, 重庆 400716

2 重庆文理学院, 重庆 402160

3 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

摘要: 基于 Timesat 的非对称高斯函数 (AG) 拟合法重建 MODIS-NDVI 数据, 利用像元二分模型估算了黄土高原近 10 年的植被覆盖度 (VC), 并分析了年植被覆盖度的变化趋势和其与降水温度的相关性。研究表明: 黄土高原植被覆盖度总体上呈现东南高西北低、由东南向西北递减的特征。其中森林生态系统平均覆盖度最高, 灌木、草地生态系统次之, 荒漠生态系统最低, 空间差异明显。2010 年森林生态系统植被覆盖度达到 81.6%, 主要包括太行山、吕梁山和秦岭地区。暖温带森林区植被组成以落叶阔叶林为主, 覆盖度常年较高, 为 80% 以上。西北部温带草原区, 植被覆盖度达到 38.8%。温带草地主要依水分梯度, 由东南到西北分布有以旱生性多年生草本植物为主的典型草原, 植被覆盖度呈现相应的递减趋势。黄土高原总面积 78.6% 的地区年植被覆盖度呈增加趋势; 而占总面积 19.4% 的地区年植被覆盖度呈下降趋势。在空间分布上, 植被覆盖度显著增加的区域主要分布在榆林至延安周边地区和秦岭一带; 植被覆盖度显著减少区域沿兰州至银川呈条带状分布。

关键词: Timesat; 像元二分模型; 植被覆盖度; 降水; 温度

Dynamic vegetation cover change over the past 10 years on the Loess Plateau, China

XIAO Qiang^{1,2}, TAO Jianping^{1,*}, XIAO Yang³

1 College of Life Science, Southwest University, Chongqing 400716, China

2 Chongqing College of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China

3 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: We re-built MODIS-NDVI data based on the asymmetric gauss function (AG) of Timesat, by using a dimidiated pixel model to estimate the vegetation coverage (VC) of the Loess Plateau over the past decade. The model analyzed the annual temporal variation of VC in relation to precipitation and temperature. Results showed that the VC of the Loess Plateau decreased from the southeast to the northwest. Average VC was highest in the forest ecosystem, followed by the shrub and grassland ecosystems; it was lowest in the desert ecosystem, which showed significant spatial variation. In 2010, the VC in forest ecosystems was 81.6%, mainly including the Taihang and Luliang Mountains and the Qinling area. Forest ecosystems in the warm-temperature region are predominantly covered by broadleaved deciduous trees, which present high coverage up to above 80%—all year round. The VC in the northwest temperate grass zone reached 38.8%. Typical steppe ecosystems are mainly covered by xeromorphic perennial herbs distributed on the temperate grassland in a southeast-northwest direction according to the moisture gradient, and the VC presented a similar declining trend. The annual VC increased on the Loess

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (31570612); 重庆市教委资助项目 (KJ1501102)

收稿日期: 2015-06-29; **修订日期:** 2016-05-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: taojianping@163.com

Plateau (78.6%), whereas it decreased (19.4%). VC increased in spatial distribution from Yulin to Yan'an but declined from Lanzhou to Yinchuan where it was concentrated in relatively small patches. Variations in precipitation and temperature were correlated to each type of VC. We found that the change in VC is affected by climate change and human activities. In the sparsely populated northwest Loess Plateau, vegetation growth is mainly influenced by natural factors and less by human activities; however, in the densely populated southeast, vegetation growth is affected more by human factors, including socioeconomic and technological factors, than by natural elements.

Key Words: timesat; dimidiate pixel model; vegetation cover; precipitation; temperature

陆地植被在陆地表面能量交换、水分循环和生物地球化学循环过程中起着至关重要的作用。水热条件是决定植被空间分布及其变化的主要非生物因素,植被的分布及其变化具有明显的动态演变特点^[1]。通常情况下,植被空间格局的改变反映了植被结构对水热条件变化和人类活动的响应,而植被结构的改变必然会引起植被物候、覆盖度和生产量等功能的改变。植被功能在适应不断变化环境的同时,也促进了植被结构的改变^[2]。因此,对于植被系统来说,确定其空间结构是研究其功能的基础。同时,从结构和功能两方面开展研究是认识二者相互作用机理的重要途径。植被作为生态系统的重要组成部分,联结着大气、水分和土壤等自然过程,其变化将直接影响该区域气候、水文和土壤等状况,所产生的生态环境问题已逐渐引起生态学家和管理者的关注^[3-4]。

植被状况的好坏,主要通过植被覆盖度因子来表示。植被覆盖度是指植被(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^[5]。它是区域气候模型、水土流失监测、土地沙漠化评价和分布式水文模型的重要输入参数,是描述生态环境系统的重要基础数据^[6-7]。目前对植被覆盖度的研究方法主要有地表实测和遥感测量^[8]。地表实测法虽然测量准确,但野外操作不便,成本较高,只能在小尺度范围内提供植被信息,不宜大范围推广;遥感测量植被覆盖度则具有宏观性、时效性强、数据获取容易等优点,是当前植被覆盖度的主要研究方向。近年来,随着对地观测系统技术的不断成熟,利用遥感数据进行植被监测变化方面的研究日益增多。其中具有时间分辨率高、价格低廉的 Modis 数据在区域大尺度植被覆盖变化研究中显示出其他数据所无法替代的作用,为植被覆盖度遥感监测,提供了更为有效的支持^[9]。

近年来,我家实施了退耕还林还草、退牧还草等一系列生态恢复工程,而黄土高原是这项工程的重点实施区域之一。受过度放牧及定居点增加等人类活动影响,一些地区地表植被退化。由于对植被覆盖的生态服务功能缺乏深入的生态学理解,致使能够为决策提供依据的生态学信息非常少,直接影响生态系统功能的保育和管理^[10]。有鉴于此,本文以黄土高原为研究区域,利用遥感数据和像元二分模型,进行植被覆盖变化分析,并揭示植被的驱动力变化的空间特征,分析植被覆盖度的动态及其与水热和人类因子的关系。旨在有助于生态环境保护,也有利于政府部门进行产业规划和政策制定,促进经济 and 环境的和谐发展有着重要意义。

1 数据来源及处理

1.1 数据来源

使用的遥感数据选择 EOS/Terra 卫星的 MODIS 植被产品 MOD13Q1,包括基于 MVC 方法 16day 合成的 250m 分辨率 NDVI 数据及其质量控制数据。时间序列数据由美国 NASA LP DAAC 工作组(Land Process Distributed Active Archive Center)提供,时间范围是 2000 年—2010 年。MODIS 数据经过格式转换、叠加、镶嵌、子区裁剪等预处理操作后,由 Sinusoidal 投影转换为 UTM-48N—WGS-84 投影。转换 NDVI 值范围为-1.0—1.0,并提取 data pixel reliability 数据集(表 1)。所用的降雨、温度数据为国家气象局提供的 680 个气象站 2000 年—2010 年的每月降水和温度插值数据,空间分辨率为 0.05°×0.05°。其他数据包括研究区 2000—2010 年 MODIS 土地覆盖产品(MCD12Q1),空间分辨率为 500m,由美国 NASA LP DAAC 工作组提供。

表 1 MOD13Q1 产品 data pixel reliability 数据集 DN 值说明

Table 1 Descriptions of pixel DN value types of “data pixel reliability dataset” in MOD13Q1 product			
像素值 Pixel	含义 Meaning	描述说明 Description	所取权重 Selected weight
-1 Minus one	填充值	像元未被处理	0
0 Zero	质量好	具有极大可信度	1.0
1 One	质量较好	质量比较可靠	0.8
2 Two	冰雪覆盖	受冰雪覆被噪声影响	0.2
3 Three	云掩	受大气云量影响, 目标被遮盖	0.2

1.2 数据处理

MODIS 植被产品 NDVI 数据集尽管采用最大值合成法 (MVC) 来降低影像的噪声,但是有一些假高值、低值等噪声残差存在,因此需要采用其他新技术来进一步降低这些存在噪声残差的影响,通常将该过程叫做时间序列 NDVI 数据集重建。TIMESAT 软件以 S-G 滤波法、AG 拟合法及 D-L 拟合法为核心算法,用于植被指数时间序列数据集重建及提取植被生长物候信息^[11]。

参考 TIMESAT 拟合方法对比研究的相关文献,主要考虑上包络线拟合效果及保持原始高质量点值真实程度,本研究选取非对称高斯函数 (AG) 进行拟合^[12]。对原始 NDVI 时间序列进行平滑处理,其关键步骤为参数设置。包括 NDVI 有效值域 (Range, -0.1—1.0)、原始 NDVI 值权重 (Weight value) (表 1)、噪声去除阈值 (Spike, 2)、滑动窗口大小 (W-size, 4)、拟合峰值参数 (Amplitude, 5)、迭代次数 (Envelope iterations, 3) 等,基于非对称高斯函数 (AG) 拟合法产生拟合后的 16day NDVI 时间序列数据集,再将拟合后的 NDVI 数据最大值合成 (Maximum Value Compositing, MVC) 32day NDVI 数据,视为月 NDVI 数据。

2 研究方法

2.1 像元二分模型

像元二分模型是一种简单实用的遥感估算模型^[13]。它假设一个像元的地表由有植被覆盖部分与无植被覆盖部分地表组成,而遥感传感器观测到的光谱信息也由这 2 个组分因子线性加权合成,各因子的权重是各自的面积在像元中所占的比率,其中植被覆盖度可以看作是植被的权重^[14-15]。根据像元二分模型,像元的 NDVI 值可以表达为由绿色植被部分所贡献的信息 NDVI_{veg} 和裸土部分所贡献的信息 NDVI_{soil} 这两部分组成,因此可以用 NDVI 来计算植被覆盖度^[16]:

$$f_c = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \tag{1}$$

式中,NDVI_{soil} 为完全为裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值 (NDVI_{min}); NDVI_{veg} 则代表完全被植被所覆盖像元的 NDVI 值,即纯植被像元的 NDVI 值 (NDVI_{max})。由于图像中不可避免的存在着噪声,NDVI 的极值并不一定是 NDVI_{max} 与 NDVI_{min},因此对其取值时主要由图像尺度和图像质量等情况来决定。在没有实测数据的情况下,取 NDVI_{max} 与 NDVI_{min} 值为图像给定置信度的置信区间内最大值与最小值。本文 NDVI_{max} 取森林类型内 NDVI 概率分布的 95% 下侧分位数所对应的 NDVI 值; NDVI_{min} 统一采用裸地和稀疏植被类型内 5% 下侧分位数。

2.2 变化趋势分析

为研究 10 年来黄土高原植被生长状况对环境变化响应以及这种变化速率在空间上的差异,对每一个象元相应的年覆盖度值进行变化斜率分析,得到植被生长状况的变化趋势。斜率为负值的区域,其植被覆盖度呈减小趋势;斜率为正值地区,则植被覆盖度呈增加趋势;斜率绝对值越大,植被覆盖度增加的幅度越大,反之则增加的幅度越小。*P* 值越小显著性越大,如果斜率值通过 0.05 的显著性水平 (*P* < 0.05),则认为植被覆盖度减小或增加趋势显著;如果斜率值通过 0.01 的显著性水平 (*P* < 0.01),则认为植被覆盖度减小或增加趋势极显著^[17]。

2001—2010 年间各像元植被覆盖度变化趋势利用变化斜率法进行分析,计算公式为^[18]:

$$X = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times f_{ci} - (\sum_{i=1}^n i) (\sum_{i=1}^n f_{ci})}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (2)$$

式中, X 为变化趋势斜率, n 为监测年数, f_{ci} 为第 i 年的植被覆盖度。

2001—2010 年间各像元植被覆盖度变化评价标准用 P 值来表示(表 2)。

表 2 植被变化评价标准

Table 2 The evaluation standard of vegetation fraction change

变化趋势 Trend	X 值范围 X value range	P 值范围 P value range
极显著下降 Very significant decrease	$X < 0$	$P \leq 0.01$
显著下降 Significant decrease	$X < 0$	$0.01 < P \leq 0.05$
极显著上升 Very significant increase	$X > 0$	$P \leq 0.01$
显著上升 Significant increase	$X > 0$	$0.01 < P \leq 0.05$
无显著变化 No significant changes		$P > 0.05$

2.3 相关性分析

为研究 10 年来黄土高原植被生长状况对气象变化的响应,对每一个象元相应的年平均覆盖度值与降雨因子和温度因子进行相关性分析。相关系数(R)为负值的区域,为负相关; R 为正值地区,为正相关,其值越大相关性越大。相关性函数计算了因变量和自变量之间的线性皮尔逊相关系数。皮尔逊相关系数又称为简单相关系数(pearson correlation coefficient),它描述了两个定距变量间联系的紧密程度。一般用 R 表示,计算公式为:

$$R = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{cov}(X, X) \text{cov}(Y, Y)}} = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (3)$$

式中, R 为变量 X 和 Y 之间的线性相关强弱程度, cov 表示协方差, N 表示变量个数。以上工作都是在地理信息系统和遥感软件 ArcGIS 9.3, IDRISI, ENVI 4.8 和 IDL 语言下实现的。

3 结果分析

3.1 植被覆盖度现状的空间格局

从 2010 年植被覆盖度的空间分布可以看出(图 1),黄土高原植被覆盖度总体上呈现东南高西北低、由东南向西北递减的特征。研究区 2010 年平均植被覆盖度为 39.8%,其中森林生态系统平均覆盖度最高,灌木、草地生态系统次之,荒漠(沙漠、裸土)生态系统最低,空间差异明显。

森林生态系统 2010 年植被覆盖度达到 81.6%,主要包括位于太行山、吕梁山和秦岭地区。暖温带森林区植被组成以落叶阔叶林为主,覆盖度常年较高,为 80%以上。其中灌木生态系统也主要集中分布在该区域,植被覆盖度仅次于森林,达到 65.4%。处于各山脉之间的平原地带,是主要的农业耕作区,农田是该区域的主要植被类型,年植被覆盖度多为 45%—60%。位于西北部温带草原区,植被覆盖度达到 38.8%。温带草地主要依水分梯度,由东南到西北分布有以旱生性多年生草本植物为主的典型草原以及以旱生性更强的多年生矮小草本植物为主的荒漠草原,植被覆盖度呈现相应的递减趋势。位于西北部的荒漠生态区,地理区域上属于亚洲荒漠植物区,年平均植被覆盖度仅为 11.0%。地处草原、荒漠交界的河套平原,由于人为的引黄灌溉,并将大量的流动、半流动沙丘开垦为农田,导致植被覆盖度较高,多为 40%—50%。

为了更好的分析和对比多年数据,将植被覆盖度进行等级分类。通过研究区的野外实地调查,本研究采用具有可操作性强和准确性高的分类体系,按 20%的间隔,将植被覆盖度划均分为 5 个等级。由表 3 可知,植被覆盖度大于 80%的类型,主要为森林生态系统,分布于海拔 1458.6m 和坡度 4.1°地区,同时该地区降水量和

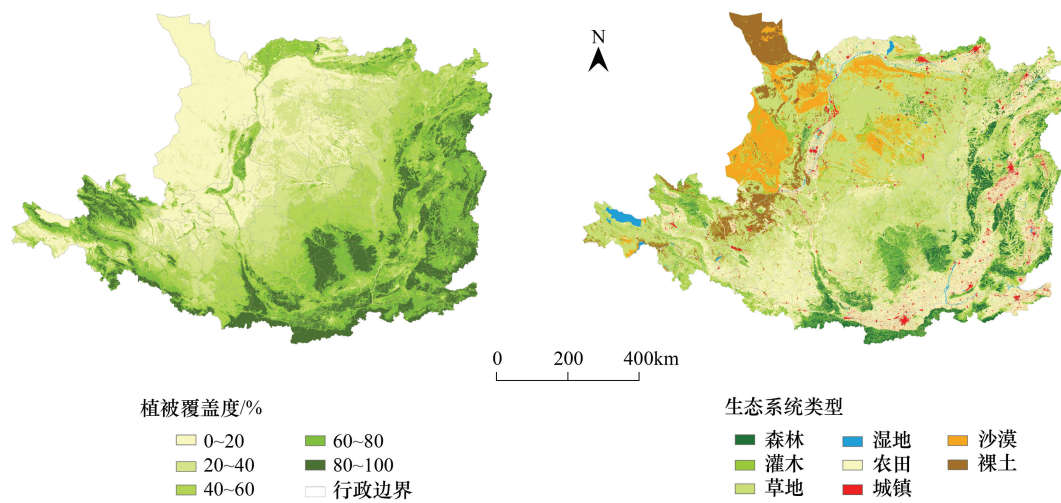


图1 黄土高原年植被覆盖度的空间格局 2010 年

Fig.1 Spatial distribution of vegetation coverage in Loess Plateau (2010)

温度较高,为 569.7mm 和 8.9°。植被覆盖度为 40%—60%的类型,农田分布比例较高,占据总农田面积的 36.3%,该地区降水丰富,地势高,且平均坡度为 2.5,为主要的退耕还林地区。植被覆盖度为小于 20%的类型,荒漠分布比例较高,占据总荒漠面积的 88.5%,该地区降水少,温度高,属于干旱半干旱气候,此外海拔和坡度较低。

表 3 黄土高原植被覆盖度的空间格局特征

Table 3 Spatial characteristics of vegetation coverage (VC) in Loess Plateau (2000—2010)

覆盖度度 Class	森林比例 Forest ratio	灌木比例 Shrub ratio	草地比例 Grass ratio	湿地比例 Wetland ratio	农田比例 Agriculture ratio	城镇比例 Urban ratio	荒漠比例 Bare soil ratio	总比例/% Total ratio	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	降水/mm Precipitation	温度/℃ Temperature
0—20%	0.3	6.7	26.1	44.3	2.4	11.1	88.5	23.6	1311.0	1.0	204.1	8.1
20%—40%	3.3	11.2	31.2	16.0	16.9	19.7	9.6	19.7	1553.2	1.8	340.3	7.6
40%—60%	6.8	16.0	22.4	18.1	36.3	30.1	1.5	21.8	1439.4	2.5	448.0	7.8
60%—80%	18.9	33.0	16.9	16.5	34.6	33.6	0.4	21.8	1390.8	3.0	497.4	8.2
80%—100%	70.7	33.2	3.4	5.0	9.9	5.5	0.1	13.1	1458.6	4.1	569.7	8.9

3.2 植被覆盖度的时空变化特征

本研究选择反应植被生长的物候期(4—10 月)作为黄土高原植被主要的生长季节^[19],用生长期内的植被覆盖度的均值来表示当年的植被覆盖度。2000—2010 年内黄土高原的植被覆盖度总体上均呈现明显的上升趋势,平均斜率为 0.74%/a(图 2)。这表明占研究区总面积 78.6%地区年植被覆盖度呈增加趋势;而占总面积 19.4%地区年植被覆盖度呈下降趋势。其中植被覆盖度 40%—60%类型增加趋势最明显,平均约为 1.2%/a(图 3);植被覆盖度 0—20%类型增加速率最小,仅为 0.2% a⁻¹。对于植被覆盖度变化速率的显著性检验表明,整个研究区内植被覆盖度极显著和显著变化区域较大,占据总面积的 31.2%。整体来讲,极显著增加和显著增加的面积大于植被覆盖度极显著减少和显著减少的面积。在空间分布上(图 2),10 年间植被覆盖度极显著和显著增加的区域主要分布在榆林至延安周边地区和秦岭一带;植被覆盖度极显著和显著减少的区域分布相对较集中,除少数零散分布于黄土高原边缘地区外,主要沿兰州至银川呈条带状分布。

3.3 黄土高原植被覆盖变化的驱动力分析

3.3.1 气候的影响

从空间像元尺度上分析黄土高原年植被覆盖度与降雨量和温度的相关性(图 4)。正相关表示植被覆盖

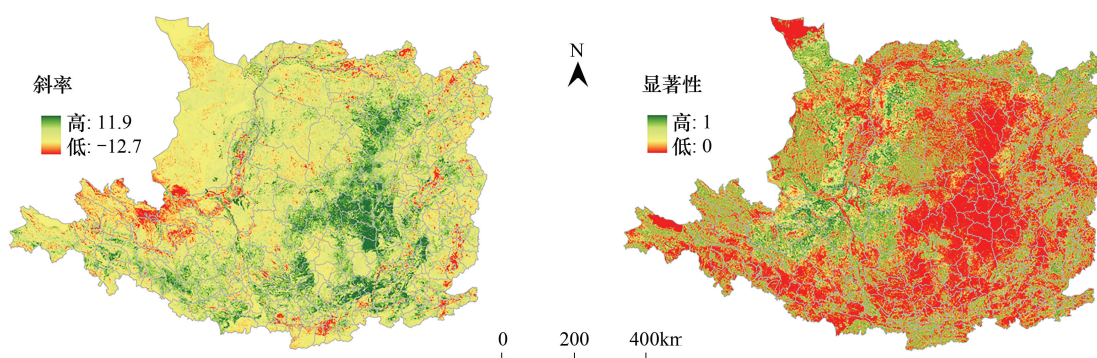


图 2 黄土高原年植被覆盖度线性拟合斜率和显著性 P 值检验 2000—2010 年

Fig.2 Linear regressive slope and P value of significant changes of annual VC in Loess Plateau (2000—2010)

度随降水的增加而增大,该区域主要分布在黄土高原的西北部,主要集中在河套平原一带,主要为草地和荒漠交错区域。这表明降水是该地区植被覆盖度的主要影响因子之一,因此,该区域的植被恢复需要重点考虑水分因素的影响。负相关表示植被覆盖度随降水的减少而增加,或随降水的增加而减少。该类区域主要分布在研究区最北面部分地区。这些区域降水对植被的重要程度有所降低甚至会对植被生长产生负作用。在温度较低的北面地区,过多的降水导致云量的增加,使入射辐射量减少,同时土壤湿度的增加导致地面潜热蒸发相对增大,这些促使气温降低,使植被的光合作用减弱,对植被生长产生不利的影响^[20]。分析研究区年植被覆盖度与温度的相关关系(图 4)。正相关表示植被覆盖度

随温度的增加而增大,该区域主要分布在西部温带草原一带。这表明温度是该地区植被覆盖度的主要影响因子之一,因此,该区域的植被恢复需要重点考虑温度因素的影响。负相关表示植被覆盖度随温度的降低而增加,或随温度的增加而减少。这主要分布在西北干旱和半干旱地区。这些区域温度对植被的重要程度有所降低甚至会对植被生长产生负作用。温度的增加对该地区植被生长有着正效应和负效应:正效应是延长植被生长季节,提高光合作用效率和水分利用率,从而促进植被的生长;而负效应主要在于增加水分消耗从而引发干旱,不利于植被生长^[21]。位于干旱、半干旱地区,温度增加使该地区缺少水分,不利于植被生长。

黄土高原各植被覆盖度类型所对应的降水、温度的变化斜率,及与植被覆盖度的相关性能清楚的说明植被的变化原因。由图 5 可知,植被覆盖度大于 60% 的类型的区域,主要为森林和灌木生态系统,降雨量成显著增加趋势,与此同时温度也呈现明显的升高趋势,其中植被覆盖度为 60%—80% 的区域降水斜率最高达到 0.19mm。然而,植被覆盖度为小于 40% 的区域,主要为荒漠和草地生态系统,降雨量成显著降低趋势,且与植被覆盖度相关性较高,同时温度成显著的增加趋势,其中植被覆盖度为 0—20% 的区域温度斜率最高达到 0.025℃,且与植被覆盖度显著负相关。由于该区域主要位于干旱和半干旱荒漠和草原区,降水和温度是主要的影响因子,近 10 年来该区域降水的降低和温度的升高,导致局部地区植被的退化,但该地区整体植被覆盖度仍呈缓慢的增加趋势,可能是由于近些年来生态恢复工程的影响。植被覆盖度为 40%—60% 的区域,主要农田作业区域,降雨量和温度均没有显著变化,但该地区植被覆盖度增加趋势最为明显,说明该区域植被覆盖度增加主要受人类活动的影响,特别是生态保护工程,如退耕还林,退牧还草,天然林保护工程。总体而言,研究区植被覆盖度变化对气候变化较为敏感,但降水量、温度并不是植被变化的绝对限制因子,人类活动

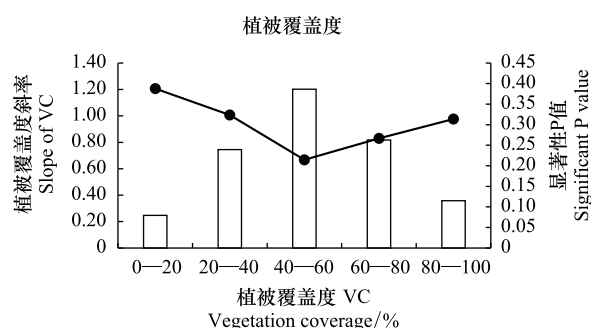


图 3 黄土高原植被覆盖度变化斜率及显著性格局特征 2000—2010 年

Fig.3 Characteristics of slope and P value of VC in Loess Plateau (2000—2010)

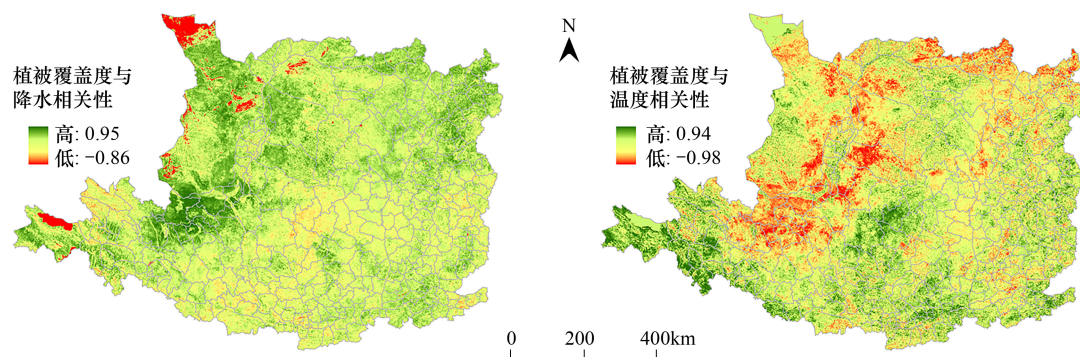


图4 降水和温度与植被覆盖度的相关系数

Fig.4 Correlated coefficient between precipitation, temperature and yearly VC (2000—2010)

也影响着植被覆盖变化的区域分异特征。特别是一些地区过度放牧、滥砍滥伐或农垦,导致了地表植被破坏;20 世纪 90 年代后期,处于国家生态安全考虑,政府先后实施了大量生态保护工程,使得黄土高原植被得到了有效恢复。

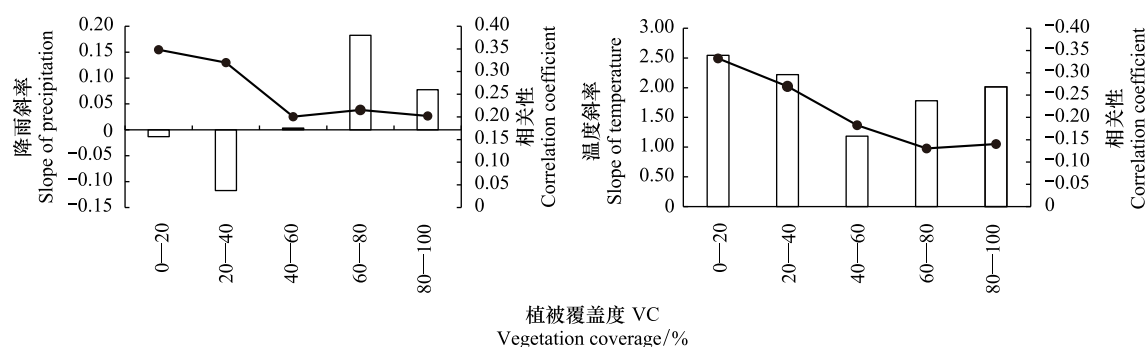


图5 黄土高原各植被覆盖度类型的降水和温度变化斜率及与植被覆盖度的相关性特征 2000—2010 年

Fig.5 Correlated characteristics between CV and the slope of changes for precipitation and temperature in Loess Plateau (2000—2010)

3.3.2 人类活动的影响

植被覆盖度变化不仅受气候变化的影响,也受人为活动的干扰。在人口稀少的黄土高原西北部地区,植被生长状况主要受自然因素的影响较大,而受人为活动的影响较小。如上图所示,西北部地区植被覆盖度与降水、温度相关性明显。但在人口密集的东南部地区,植被生长状况除了受自然因素的影响外,更受经济、技术、社会等人文因素的制约^[22]。近 10 年来,黄土高原实施退耕还林、天然林保护、退牧还草等生态恢复工程,黄土高原中部植被覆盖度增加明显,显然与该地区的生态工程效果实施结果相关。如图 6 所示,2000—2010 年自然生态系统类型(森林、灌木、草地)变化趋势。自然生态系统类型增加的区域主要分布在黄土高原中部和西部地区,并与植被覆盖度变化趋势具有一定的空间相似性。也就是说,近 10 年来,黄土高原植被覆盖度的增加,主要是人类活动的积极作用的结果。然而,自然生态系统类型减少区域却与植被覆盖度变化趋势空间相关性不大,说明研究区局部地区植被覆盖度的降低主要是降水减少和温度升高所致。

4 结论

本文基于 Timesat 的 AG 拟合法重建 MODIS-NDVI 数据,估算了黄土高原近 10 年的植被覆盖度,并分析其变化趋势及与降水温度和人类活动因子的关系。结论如下:

通过黄土高原植被覆盖度近 10 年变化趋势分析,得知占研究区总面积 78.6% 的地区年植被覆盖度呈增加趋势;而占总面积 19.4% 的地区年植被覆盖度呈下降趋势。其中植被覆盖度 40%—60% 类型增加趋势最明

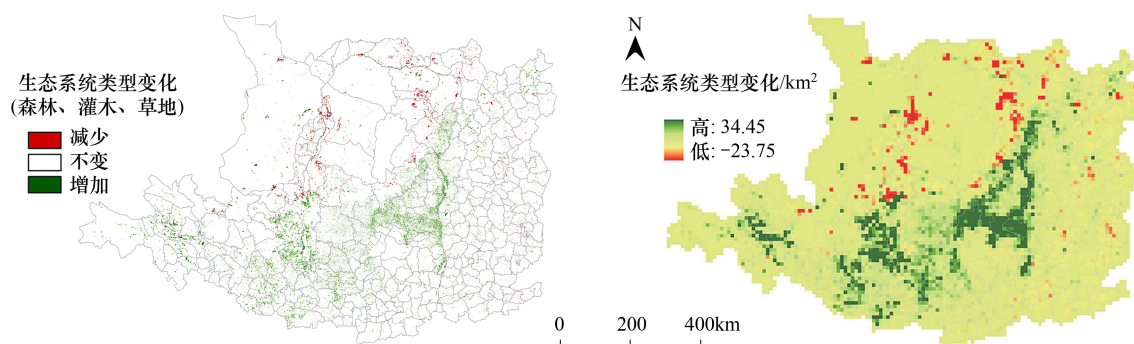


图 6 自然生态系统类型变化趋势 2000—2010 年
Fig.6 Change of nature ecosystem from 2000 to 2010

显,平均约为 1.2%/a;植被覆盖度 0—20%类型增加速率最小,仅为 0.2%/a。

通过植被覆盖度与降水、温度相关性分析,西北部干旱、半干旱草原与荒漠地区的植被覆盖度的变化主要受气候的干扰,与降水呈显著正相关,而与温度呈显著负相关。东南森林灌木与农业耕作区的植被覆盖度的变化主要受人类活动的影响。近 10 年来,黄土高原实施退耕还林、天然林保护、退牧还草等生态恢复工程,黄土高原中部植被覆盖度增加明显,大规模植被建设的实施促进了该区植被恢复,但同时使植被覆盖对气候等自然因子的变化敏感度降低。

参考文献 (References):

- [1] Adams J E, Arkin G F. A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Science Society of America Journal*, 1977, 41(4): 789-792.
- [2] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, Rundquist D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(1): 76-87.
- [3] Wang G, Wente S, Gertner G Z, Anderson A. Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat Thematic Mapper images. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(18): 3649-3667.
- [4] Purevdorj T S, Tateishi R, Ishiyama T, Honda Y. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(18): 3519-3535.
- [5] 张云霞, 李晓兵, 陈云浩. 草地植被盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述. *地球科学进展*, 2003, 18(1): 85-93.
- [6] Pabi O. Understanding land-use/cover change process for land and environmental resources use management policy in Ghana. *GeoJournal*, 2007, 68(4): 369-383.
- [7] Moreau S, Bosseno R, Gu X F, Baret F. Assessing the biomass dynamics of Andean *bofedal* and *titora* high-protein wetland grasses from NOAA/AVHRR. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85(4): 516-529.
- [8] 程红芳, 章文波, 陈锋. 植被覆盖度遥感估算方法研究进展. *国土资源遥感*, 2008, (1): 13-18.
- [9] 邢著荣, 冯幼贵, 杨贵军, 王萍, 黄文江. 基于遥感的植被覆盖度估算方法述评. *遥感技术与应用*, 2009, 24(6): 849-854.
- [10] Jönsson P, Eklundh L. TIMESAT - a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & Geosciences*, 2004, 30(8): 833-845.
- [11] 宋春桥, 柯灵红, 游松财, 刘高焕, 钟新科. 基于 TIMESAT 的 3 种时序 NDVI 拟合方法比较研究——以藏北草地为例. *遥感技术与应用*, 2011, 26(2): 147-155.
- [12] Jonsson P, Eklundh L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(8): 1824-1832.
- [13] Leprieur C, Verstraete M M, Pinty B. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data. *Remote Sensing Reviews*, 1994, 10(4): 265-284.
- [14] Zribi M, Le Hégarat-Masclé S, Taconet O, Ciarletti V, Vidal-Madjar V, Boussema M R. Derivation of wild vegetation cover density in semi-arid regions; ERS2/SAR evaluation. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(6): 1335-1352.
- [15] Jiapaer G, 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.

- [16] Qi J, Marsett R C, Moran M S, Goodrich D C, Heilman P, Kerr Y H, Dedieu G, Chehbouni A, Zhang X X. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 105(1/3): 55-68.
- [17] 于小飞, 孙睿, 陈永俊, 刘绍民, 周会珍, 张忠山. 乌审旗植被覆盖度动态变化及其与降水量的关系. *资源科学*, 2006, 28(4): 31-37.
- [18] Loyarte M M G, Menenti M. Impact of rainfall anomalies on Fourier parameters of NDVI time series of northwestern Argentina. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(4): 1125-1152.
- [19] Piao S L, Wang X H, Ciais P, Zhu B, Wang T, Liu J. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006. *Global Change Biology*, 2011, 17(10): 3228-3239.
- [20] 赵茂盛, 符淙斌, 延晓冬, 温刚. 应用遥感数据研究中国植被生态系统与气候的关系. *地理学报*, 2001, 56(3): 287-296.
- [21] Mooney H A, Canadell J, Chapin III F S, Ehleringer J R, Körner C, McMurtrie R E, Parton W J, Pitelka L F, Schulze E D. Ecosystem physiology responses to global change//Walker B H, Steffem W L, Canadell J, Ingram J S I, eds. *Implications of Global Change for Natural and Managed Ecosystems: A Synthesis of GCTE and Related Research*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1999: 141-189.
- [22] 陈佑启, Verburg P H, 徐斌. 中国土地利用变化及其影响的空间建模分析. *地理科学进展*, 2000, 19(2): 116-127.