

西南地区生长季植被覆盖时空变化特征及其 对气候与地形因子的响应

熊巧利, 何云玲, 李同艳, 余 岚

(云南大学 资源环境与地球科学学院, 昆明 650091)

摘 要:为探究西南地区生长季植被覆盖时空变化特征以及驱动因子如何定量影响其动态变化,基于 MODIS NDVI 数据,通过趋势分析、变异系数、相关分析等方法研究了西南地区 2000—2016 年生长季植被覆盖的时空变化特征,并结合气候因子、DEM 数据,分析了植被覆盖对气候与地形因子的影响程度。结果表明:西南地区近 17 年来生长季 NDVI 呈增长趋势(0.009/10 a),其中 4 月份增速最显著(0.029/10 a);呈增加趋势的区域占研究区总面积 71.94%,主要分布在东部与东南部区域;植被覆盖变化以较低稳定(31.15%)与中度稳定(25.36%)占主导。研究区 NDVI 与气温、降水的相关性在空间分布上主要以正相关为主;月尺度 NDVI 与气候因子的相关性高于年尺度的值;植被覆盖度与月平均气温的相关性高于其与月降水量的相关性,植被生长对降水月变化的响应不明显,对气温的响应无明显滞后效应。研究区平均 NDVI 在海拔大于 4 000 m 区域最小(0.30),在坡度 0°~5°区域最小(0.37),但是 NDVI 的显著退化趋势则是以海拔大于 4 000 m 处最大(14.33%);海拔大于 4 000 m 区域主要受降水控制,坡度 5°~15°区域主要受气温控制;坡向对植被生长变化的影响没有海拔和坡度影响大。

关键词:NDVI; 植被覆盖变化; 时空分布; 气候因子; 地形因子; 中国西南

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)06-0259-08

Spatiotemporal Patterns of Vegetation Coverage and Response to Climatic and Topographic Factors in Growth Season in Southwest China

XIONG Qiaoli, HE Yunling, LI Tongyan, YU Lan

(School of Resources Environment & Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: In order to explore the temporal and spatial variation characteristics of vegetation cover in the growing season in southwest China and how the driving factors quantitatively affect its dynamic changes, based on the moderate resolution imaging spectrometer (MODIS) NDVI data, the spatiotemporal variation characteristics of vegetation cover in the growth season from 2000 to 2016 in southwest China were investigated using trend analysis, variation coefficient, correlation analysis and other methods, and the relationships between the NDVI with climatic and topographic factors were analyzed in combination with climate and DEM data. The results showed that NDVI in the growth season of southwest China presented the increasing trend (0.009/decade) in the past 17 years, with the most significant increasing rate in April (0.029/decade). The areas showing an increasing trend accounted for 71.94% of the total area, mainly distributed in the eastern and southeastern regions. Vegetation cover changes were dominated by low stability (31.15%) and moderate stability (25.36%). Temperature and precipitation are mainly positively correlated with NDVI in spatial distribution. The correlation between monthly NDVI and climatic factors was higher than annual values. The correlation between vegetation coverage and monthly average temperature is higher than that between vegetation coverage and monthly precipitation. The response of vegetation growth to the change of precipitation month is not obvious, and the response to temperature has no obvious lag effect. The minimum average NDVI is at an altitude of more than 4 000 m area (0.30), and at the slope 0°~5° (0.37), but significant degradation trends of NDVI is at an

收稿日期:2018-11-01

修回日期:2019-01-14

资助项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502105);云南省教育厅科学研究基金项目(2019Y0014);中国科学院西部之光青年学者项目(2015A)

第一作者:熊巧利(1993—),女,四川广安人,硕士研究生,研究方向为植被生态系统对气候变化的响应。E-mail:2993597709@qq.com

通信作者:何云玲(1978—),女,云南大理人,副教授,博士,主要从事区域气候变化及其生态影响研究。E-mail:hyl610@126.com

altitude of more than 4 000 m (14.33%). The area at the altitude more than 4 000 m is mainly controlled by rainfall, and the region at the slope of $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ is mainly controlled by the temperature. The effect of slope aspect on vegetation growth is less significant than that of elevation and slope gradient.

Keywords: NDVI; vegetation cover change; spatiotemporal patterns; climatic factors; topographic factor; southwest China

植被作为生态系统的核心组成,可以作为研究全球变化的“指示剂”^[1],植被又是连接大气、土壤、水体的自然纽带,对陆地生态系统循环起到重要的连接作用^[2]。植被覆盖变化改变了陆地表层属性,直接影响对气候的调节、水土保持等,从而改变生态系统的稳定性^[3]。植被的生长受气候(气温、降水)、地形因子等自然要素和人类活动等多因素的影响,实时监测地表植被覆盖变化规律变得愈加困难^[4-5],怎样深化对这一变化过程的理解,在区域尺度上详细分析植被覆盖变化及其对水热因子、地形因子以及人类活动的综合响应机制已然成为学术界研究的热门方向之一^[6-7]。

近年来随着遥感技术的成熟,现如今已经成为了定量反映植被净初级生产力、叶面积指数和生长情况等方面信息的主要方法,同时在实时监测不同尺度的植被变化趋势中也被广泛应用。其中,归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)常常与植被覆盖度、生物量、叶面积指数等密切相关,是表示地表植被状况最常用的指标^[8-9]。近年来,随着全球气候的变化,陆地生态系统也发生改变,在不同区域具有较大差异^[10-11],相关研究表明:北半球植被活动在显著增强^[12];中国植被总体也呈缓慢增加趋势^[13];黄土高原植被变化趋势在空间上表现出由南、北部向中部逐渐减小的分布^[14],并且 NDVI 与水热综合状况之间的相关性最为明显^[15];青藏高原植被覆盖呈总体增加的变化趋势,仅局部出现退化现象^[16],植被 NDVI 与同期均值均温和旬降水均呈高度正相关^[17];王毅等^[18]通过分布指数分析贵州省植被覆盖与地形的相关性,得出不同的海拔、坡度、坡向、地表切割深度植被覆盖差异较大;蔡宏等^[19]对赤水河流域植被覆盖与地形的关系研究中发现,不同植被覆盖度下各地形因子的影响程度明显不同。

我国西南地区的地形地貌复杂多样,生态环境呈现高度异质性,光照、水分、土壤等分布各不相同,相比较而言植被受到地形因子的影响更为明显,存在显著的垂直地带性分布特征,再加上不同区域的人类活动强度差异明显,导致动态监测难度较大。近些年学术界在植被变化研究方面有许多新的进展,主要集中在对 NDVI 时空变化与气候、人类活动等关系的探讨上^[20-21],而综合气候与地形因子的因素来评价植被

变化趋势的研究还较少。考虑到植被生长季的气候变化对其结构功能产生的重要影响,本研究基于 MODIS NDVI 数据集和 DEM 数据、气候数据,分析西南地区 2000—2016 年植被覆盖生长季的时空变化特征,为评估不同地形因子分区下的生态环境现状与生态工程建设提供科学的理论依据。

1 研究区概况

中国“西南地区”包括云南、贵州、四川、重庆、广西、青海南部、西藏东部部分县市($21^{\circ}08'\sim 36^{\circ}29'N$, $87^{\circ}22'\sim 112^{\circ}03'E$)(图 1),该区是我国三级阶梯的重要过渡地带,包括广西丘陵、四川盆地、云贵高原、若尔盖高原、横断山脉以及青藏高原大部分,属于中国地形最为复杂的区域;该区气候类型包括热带季风与亚热带季风气候以及青藏高原独有的高原气候;从东南(年平均温大于 $24^{\circ}C$)往西北(年平均温小于 $0^{\circ}C$)气温差异较大,从南往北降水量时空分布极不均匀,南北差异可达上千毫米;复杂的地形地貌特征与气候类型,形成了独特的植被景观格局,中低海拔区主要以森林植被为主,高海拔区主要以草甸、草原、灌丛为主。

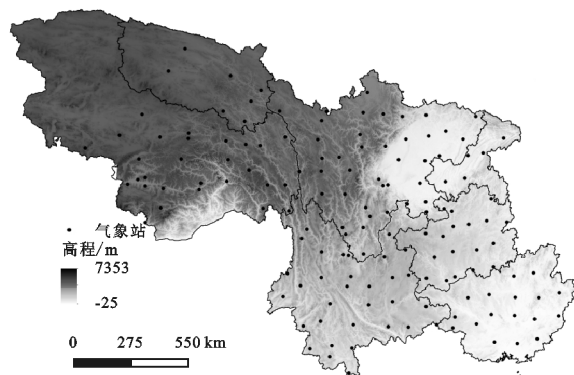


图 1 研究区及气象站点分布

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源及其预处理

本文中所使用的 MODIS NDVI 数据获取渠道为美国国家航天局(<https://modis.gsfc.nasa.gov/>),从中选取 2000—2016 年部分,设置分辨率为 250 m,进行 16 d 合成,并通过大气校正、辐射定标、畸变校正、气溶胶、臭氧吸收订正及去云等手段进行预处理。DEM 数据来源于美国国防部国家测绘局

(<http://www.cgiar-csi.org>), 分辨率 90 m。气象数据来源于国家科学院气象数据网(<http://data.cma.cn/>)提供的 2000—2016 年的“中国地面气候资料月值数据集”。

使用 MRT 批处理软件对 MODIS NDVI 数据进行拼接及投影转换, 之后利用 ENVI 5.3 软件中的最大值合成法(Maximum Value Composites, MVC)将旬 NDVI 数据转换为月数据, 计算生长季(4—9 月) NDVI 平均值; 将 DEM 遥感数据进行空间重采样分辨率为 250 m, 借助 ENVI 5.3, ArcGIS 等软件进行空间裁剪、掩膜, 得到与 NDVI 相同空间分辨率数据。根据各气象站点经纬度位置坐标信息, 采用 Kriging 空间插值法, 获得 250 m 空间分辨率的气温、降水时序栅格数据集。

2.2 趋势系数

为了得到数据集中所有像元的 NDVI 与时间的回归斜率 Slope, 使用最小二乘法对选择的时间自变量与 NDVI 因变量数据进行计算。当 $\text{Slope} > 0$ 时, 表示 NDVI 的值随时间的增加而上升, 数值越大代表植被覆盖度增幅越大; 当 $\text{Slope} < 0$ 时, 则代表植被指数随时间的变化呈下降趋势。

$$\text{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times \text{NDVI}_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中: i 为年序号; n 为年跨度, 即 17 a; NDVI_i 为第 i 年 NDVI 生长季平均值。根据 NDVI 像元趋势系数和显著性水平, 可将植被指数变化趋势划分为如下: 极显著改善($\text{slope} > 0, p \leq 0.01$), 显著改善($\text{slope} > 0, 0.01 < p \leq 0.05$), 基本不变($\text{slope} = 0, p > 0.05$), 显著退化($\text{slope} < 0, 0.01 < p \leq 0.05$), 极显著退化($\text{slope} < 0, p \leq 0.01$)。

2.3 变异系数

变异系数用于衡量地理要素在时空上的相对波动程度, 可用于衡量植被 NDVI 变化的稳定性, 计算公式为:

$$C_v = \frac{S}{X_{\text{mean}}} \quad (2)$$

式中: C_v 为变异系数; S 为标准差; X_{mean} 为平均值。其中 C_v 可用于分析 NDVI 变化的离散程度, 值越大表示 NDVI 的离散趋势越大, NDVI 稳定性越差; 反之稳定性越好。通过聚类分析 Natural Breaks(Jenks)划分变异系数等级, 将所得结果分为低($C_v \leq 0.045$)、较低($0.045 < C_v \leq 0.063$)、中($0.063 < C_v \leq 0.083$)、较高($0.083 < C_v \leq 0.133$)、高($C_v \geq 0.133$) 5 个等级^[22], 依次对应高稳定、较高稳定、中等稳定、较低稳定、不稳定 5 个等级。

2.4 相关分析

为了更进一步定量研究 NDVI 与气温和降水之间响应关系, 采用常用的 Pearson 相关对 NDVI 值、标准化后的年降水和年平均气温进行逐像元计算, 其公式为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

式中: y_i 为气候因子第 i 年的某个栅格数值; \bar{y} 为气候因子多年均值; x_i 为第 i 年 NDVI 的某个栅格像元数值; \bar{x} 为 2000—2016 年 NDVI 的年平均。当 r 达到显著性水平($p < 0.05$)标准时, 即代表 NDVI 与气候因子之间具有显著的线性相关关系。

3 结果与分析

3.1 西南地区生长季植被覆盖时空变化特征

3.1.1 时间变化 2000—2016 年西南地区生长季 NDVI 逐年变化(图 2)中可以看出, 近 17 年来西南地区生长季 NDVI 总体呈现波动增长趋势, 增速为 0.009/10 a($p > 0.05$), 其中 4 月份增长趋势最显著(0.029/10 a, $p < 0.01$), 明显超过了同时期中国陆地植被覆盖平均增长速度(0.002 9/10 a, $p < 0.05$)^[23]。生长季 NDVI 在 2000—2001 年、2003—2006 年、2010—2012 年呈明显上升趋势, 近 17 年来 NDVI 最小值出现在 2000 年(0.464)。

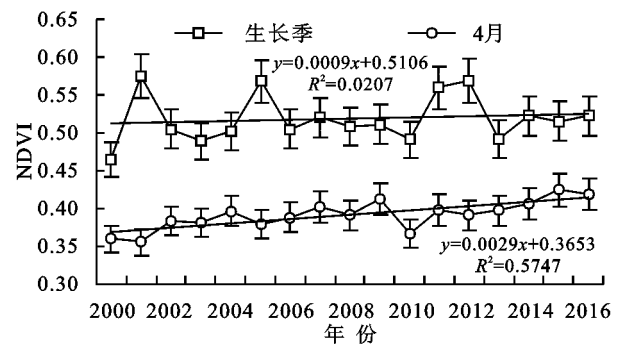


图 2 西南地区生长季和 4 月份 NDVI 逐年变化

3.1.2 空间变化 从 2000—2016 年生长季 NDVI 的变化趋势空间分布(图 3A)可以看出, 大部分区域 NDVI 变化斜率主要在 0~0.1, NDVI 整体上呈现出不同程度的增加趋势。呈增加趋势的区域占研究区总面积的 71.94%, 其中呈极显著增加($p < 0.01$)区域主要分布在四川盆地、重庆山地、云贵高原东部、东北部, 广西丘陵西部; 呈显著增加($p < 0.05$)区域主要分布在横断山脉中部、青藏高原南部及云贵高原西部和西南部; 呈显著减少($p < 0.05$)区域主要分布在青藏高原中部(青海省中部, 西藏拉萨)、南部, 横断山脉与

四川盆地交界、滇中高原及广西丘陵东北区。

从2000—2016年生长季NDVI的变化稳定性分级(图3B)可以看出,西南地区植被覆盖变化稳定性存在明显的空间差异,所占面积比例分别为较低稳定(31.15%)>中度稳定(25.36%)>较高稳定(18.52%)>不稳定(18.16%)>高稳定(6.81%),以

较低稳定与中度稳定占主导;其中较低稳定区与中度稳定区大致相同,主要分布在云贵高原、四川盆地西部、青藏高原北部及西南部,较高稳定区主要分布在西南地区东部、东南部、中部部分区域,不稳定区主要分布在横断山脉、青藏高原南部,高稳定区主要分布在西南地区中部偏北区、四川盆地北部、青藏高原西部。

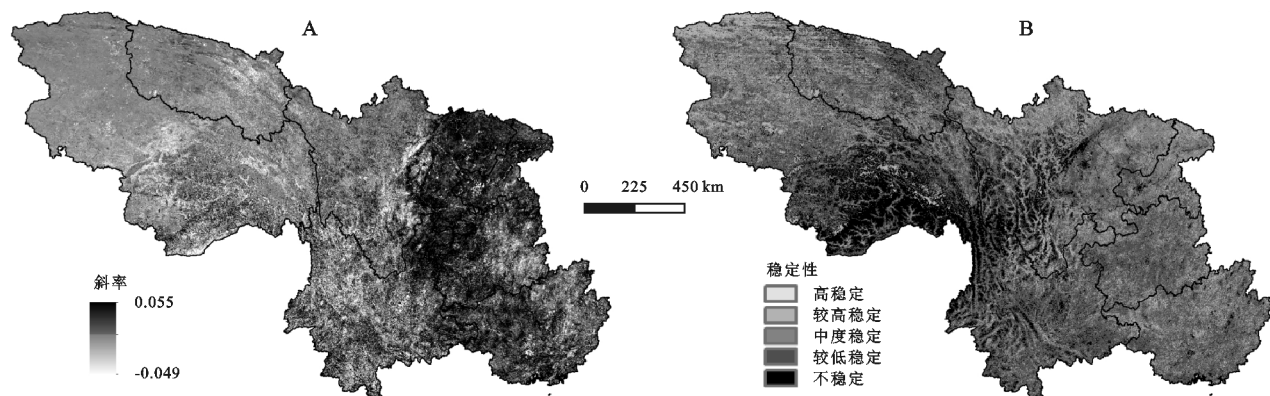


图3 西南地区2000—2016年生长季NDVI变化斜率及变化稳定性

3.2 西南地区生长季植被覆盖对气候与地形因子的响应

3.2.1 气候因子 西南地区生长季NDVI与气温和降水的相关关系见图4,NDVI和气温之间是正负相关并存,但是只有10%区域达到 $p<0.05$ 的显著性检验;整体上呈正相关关系,其中62.53%的区域呈现正相关关系,呈正相关的像元个数是呈现负相关像元个数的2.0倍,大部分区域气温升高对植被生态系统生长有利,尤其以青藏高原西北部,四川盆地南部、东北部,云贵高原贵州境内、广西丘陵地区最为明显;NDVI与气温之间呈现显著负相关的区域主要分布于青藏高原西南、横断山脉地区,年均气温升高对植被NDVI生长不利。另外一方面,NDVI与降水量之间也呈现正负相关并存的特征,但呈现正相关(57.01%)和负相关(42.78%)的区域面积总体来说差别不大,只有5%区域达到 $p<0.05$ 的显著性检验;年降水量增多对生态系统植被生长有利的区域多集中在青藏高原西部、西北部,长江干流四川—重庆—贵州段,以及广西丘陵中部、南部部分地区;其余区域年降水量增多对植被NDVI生长不利的地区主要分布于青藏高原南部,四川盆地以北,云贵高原贵州境内,广西丘陵东部。

筛选当月、前1个月、前2个月、前3个月的时间段中最低气温、最高气温、平均气温、降水等气候因子值,计算出与当月NDVI值的相关系数,最终得到表1中的数据结果。从表1中可知,4月份NDVI与当月最低气温、最高气温、平均气温有极显著正相关($p<0.01$)关系,与前1个月最低气温有显著正相关($p<$

0.05)关系。5月份的NDVI与当月最低气温有显著正相关($p<0.05$)关系,跟前1个月最低气温有着极显著正相关($p<0.01$)的关系。6月份NDVI与前3个月的最高气温、平均气温呈显著正相关($p<0.05$)。7月份NDVI与前3个月最高气温、平均气温有极显著正相关($p<0.01$)关系,与最低气温有显著正相关($p<0.05$)关系。8月份NDVI与前1个月最低气温有极显著正相关($p<0.01$)关系,和前1个月平均气温有显著正相关($p<0.05$)关系,与前2个月最低气温、最高气温和平均气温均有显著正相关($p<0.05$)关系。9月份植被生长状态表现较为稳定,气候因子对其并没有产生多少影响。另一方面,NDVI与气温的最大相关系数出现在当月(最低气温0.835,最高气温0.629,平均气温0.783),和月降水量的相关系数大多为负值,但相关性并不显著。通过以上对研究的结果分析可以看出,中国西南地区植被NDVI变化与气候因子的相关性有着明显的季节性特征,相比较与降水的相关性而言与气温的相关性更强;观察数据变化可知植被生长对降水月变化的响应并不明显,对气温的响应不存在明显滞后效应。此研究结论与何云玲等^[24]的研究结果一致。

3.2.2 地形因子 西南地区是我国三级阶梯地形的核心组成区,其独特的地形地貌特征决定了该区复杂的植被覆盖情况,通过我国三级阶梯坡度、坡向等分级标准^[25]把提取出的不同地形因子进行分级,用于分析地形因子对植被覆盖的影响,结果见图5。

总体上,不同海拔、坡度、坡向NDVI变化趋势中极显著变化所占面积比例很小,主要以显著退化、显著改

善以及基本不变 3 类为主,在不同地形因子中均表现为显著改善所占面积比例较大(60%~70%)。其中,从海拔上看,随着海拔上升,平均 NDVI 值下降,即植被覆盖在海拔>4 000 m 最小(0.30),但是 NDVI 显著变化所占面积比例却是以海拔>4 000 m 为最大(39.13%),尤其是显著退化面积比例最大(14.33%)。从坡度上看,随

着坡度增大,平均 NDVI 值增大,即植被覆盖在坡度 0°~5°最小(0.37),而 NDVI 显著变化所占面积比例在坡度 5°~15°为最大(34.83%),在坡度>25°为最小(4.41%)。从坡向上看,平均 NDVI 值表现为阳坡最大(0.53),阴坡最小(0.51),但是各坡向之间 NDVI 变化趋势所占面积比例差异很小。

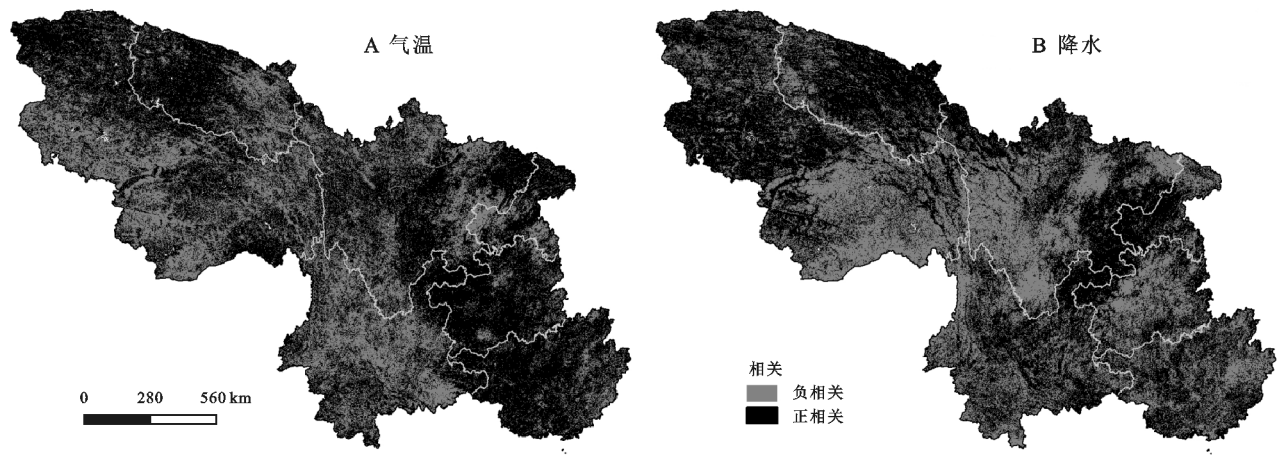


图 4 西南地区生长季 NDVI 与气温、降水变化的相关

表 1 西南地区近 17 年来生长季各月 NDVI 与气温和降水的相关关系

月份	当月				前 1 个月			
	最低气温	最高气温	平均气温	降水	最低气温	最高气温	平均气温	降水
4	0.835 **	0.629 **	0.783 **	0.243	0.578 *	0.348	0.444	0.093
5	0.568 *	0.146	0.256	−0.060	0.606 **	0.241	0.457	0.358
6	−0.046	0.263	0.125	−0.210	−0.074	−0.022	−0.075	0.441
7	0.198	0.208	0.215	0.001	0.272	0.152	0.189	0.065
8	0.350	0.428	0.413	−0.262	0.633 **	0.317	0.494 *	−0.049
9	0.205	0.285	0.247	0.005	0.272	0.189	0.211	0.133

月份	前 2 个月				前 3 个月			
	最低气温	最高气温	平均气温	降水	最低气温	最高气温	平均气温	降水
4	0.363	0.327	0.325	0.085	0.272	−0.064	0.030	0.279
5	0.354	0.185	0.247	0.283	0.247	0.234	0.235	−0.330
6	0.125	0.471	0.307	−0.112	0.443	0.527 *	0.503 *	−0.194
7	0.157	0.0701	0.109	0.085	0.567 *	0.663 **	0.656 **	0.025
8	0.522 *	0.561 *	0.554 *	0.144	0.317	0.236	0.291	−0.055
9	0.158	−0.053	0.034	0.187	0.355	0.210	0.257	0.013

注:**表示在 0.01 级别(双尾),相关性极显著;*表示在 0.05 级别(双尾),相关性显著。

3.2.3 气候与地形因子 拟合优度指相关系数的平方,通过比较不同因子的拟合优度差值可以更为直观地判断气温和降水量中哪个因子对 NDVI 变化的影响更大^[26]。将 NDVI 与降水的相关系数的平方减去与 NDVI 与平均气温相关系数的平方便可得到 NDVI 与降水、平均气温的拟合情况,结果如图 6 所示。拟合优度差值大于 0,则表示 NDVI 与降水的相关性大于其与气温的相关性,值越大表示降水对 NDVI 变化产生的影响程度越大;相反当拟合优度差值小于 0 时,则表示气温的相关性大于降水的相关性,负值的绝对值越大表明气温对 NDVI 的影响程度越大;而当差值为零时则表示平

均气温与降水对 NDVI 的影响程度一致。

由图 5 中的柱状图分析可知,研究区在海拔、坡度、坡向上均表现为 NDVI 受降水影响的区域面积(>50%)大于受气温影响的面积,即在不同地形条件之下西南地区 NDVI 受降水控制的区域为主导。但是在不同海拔、坡度、坡向分区下 NDVI 受降水(气温)影响为主的区域在空间分布中存在很大差异,其中,受降水(P)控制的区域面积比例为: $P_{(4000m,7353m)} > P_{(500m,2000m)} > P_{(2000m,4000m)} > P_{[-25m,500m]}, P_{(5°,15°)} > P_{[0°,5°]}, P_{\text{半阴坡}} > P_{\text{阳坡}} > P_{\text{半阳坡}} > P_{\text{阴坡}}$;受气温(T)控制的区域面积比例为: $T_{(25°,90°)} > T_{(15°,25°)}$ 。

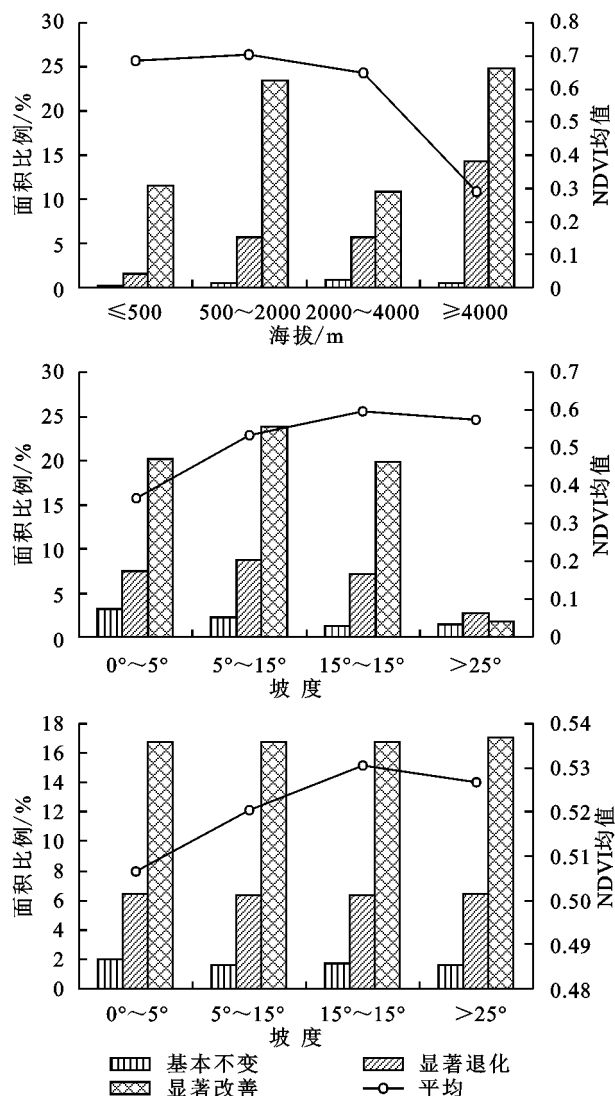


图 5 西南地区不同海拔、坡度、坡向 NDVI 变化分布

4 讨论与结论

4.1 讨论

过去的半个世纪里,中国西南生态脆弱区属于对气候变化较为敏感的区域,其植被分布存在明显的时空变化差异,这个现象吸引了不少国内遥感界和地理学界学者的目光,学者们围绕西南地区植被覆盖变化做了大量的研究工作^[27-28]。研究表明西南地区植被覆盖度总体呈现上升的趋势,这是受到西南地区各省市都在重视和不断推进生态环境治理恢复工程的影响,但是生长季植被覆盖在 2001 年、2005 年、2010 年仍有一定的波动,说明仍然较脆弱,易受到气候等扰动。由上文可知,研究区域内植被覆盖度与气候因子的相关性大小在年尺度上低于月尺度的值;但月降水量的相关性却低于其与月平均气温的相关性,植被生长对降水月变化的响应不明显,对气温的响应无明显滞后效应,这和西南地区以往的研究结果是一致的^[29]。

但是地形因子对生态植被的影响明显,植被覆盖

度随高程升高呈现逐渐降低的趋势,这与汤巧英等^[30]在延河流域的研究结果一致。西南地区地形复杂,随高程升高,山区丘陵地形由于不利于土壤水土保持,气温降低,因此植被覆盖度逐渐降低;但是海拔 $>4\,000\text{ m}$ 以上的区域植被变化(改善和退化)趋势最为显著,说明在这种地形区域中,植被的适应性较为脆弱,状况容易产生变化,既容易恢复原貌,也容易产生退化,在日后的环境生态治理工作中需要着重注意。

坡度较小($0^{\circ}\sim5^{\circ}$)的平坦区域主要是城镇建设用地、工业用地、耕地以及水域部分,这些区域人类活动频繁,造成了植被覆盖度低的现象;在坡度 $>25^{\circ}$ 的区域内,仍然存在着植被覆盖率降低的现象,虽然面积不大,但由于陡坡开垦及岩溶地质等原因,还是有必要引起足够的重视。

需要特别说明的是,在分析坡向对植被的影响过程中,发现虽然不同坡向对植被的影响存在一定差异,但变化的幅度并不大,可能是由于西南地区气候、地形条件复杂,水热条件组合情况多变,导致坡向差异对植被的生长变化影响并没有想象中那么大,而高程和坡度对植被的影响则更大^[31]。当然这只是一中猜测,具体的原因还需要进一步的研究和探讨才能确定。

排除气候与地形因子两个影响因素,另一个影响植被覆盖度变化的重要因素是人类活动。不过人类活动对植被覆盖度的影响机理错综复杂,包括人口增长、城镇化发展、人工造林、生态恢复等,都会对区域植被覆盖度产生严重影响^[32]。因此,在今后的研究工作中如何更精准地定量研究人类活动对植被覆盖度的影响,尽量排除对植被变化不利的负面因素,这对区域生态安全维护来说拥有非常积极的意义。

4.2 结论

(1) 西南地区 2000—2016 年生长季 NDVI 呈增长趋势($0.009/10\text{ a}$),其中 4 月增速最显著($0.029/10\text{ a}$)。NDVI 变化斜率为 $0\sim0.1$,呈增加趋势的区域占研究区总面积 71.94% ,呈显著增加趋势的地区主要包含四川盆地、广西丘陵西部、云贵高原东部及东北部。植被覆盖变化稳定性以较低稳定(31.15%)与中度稳定(25.36%)占主导。

(2) 西南地区 NDVI 与气温、降水的相关性在空间分布上主要以正相关为主,西北部、东南部及中部区域的气温升高、降水量增加,对植被生态系统产生了有利的影响。生长季 NDVI 与气温的最大相关系数出现在当月(最低气温 0.835 ,最高气温 0.629 ,平均气温 0.783),和月降水的相关系数大多为负值但不显著;植被生长对降水月变化的响应不明显,对气温的响应无明显滞后效应。

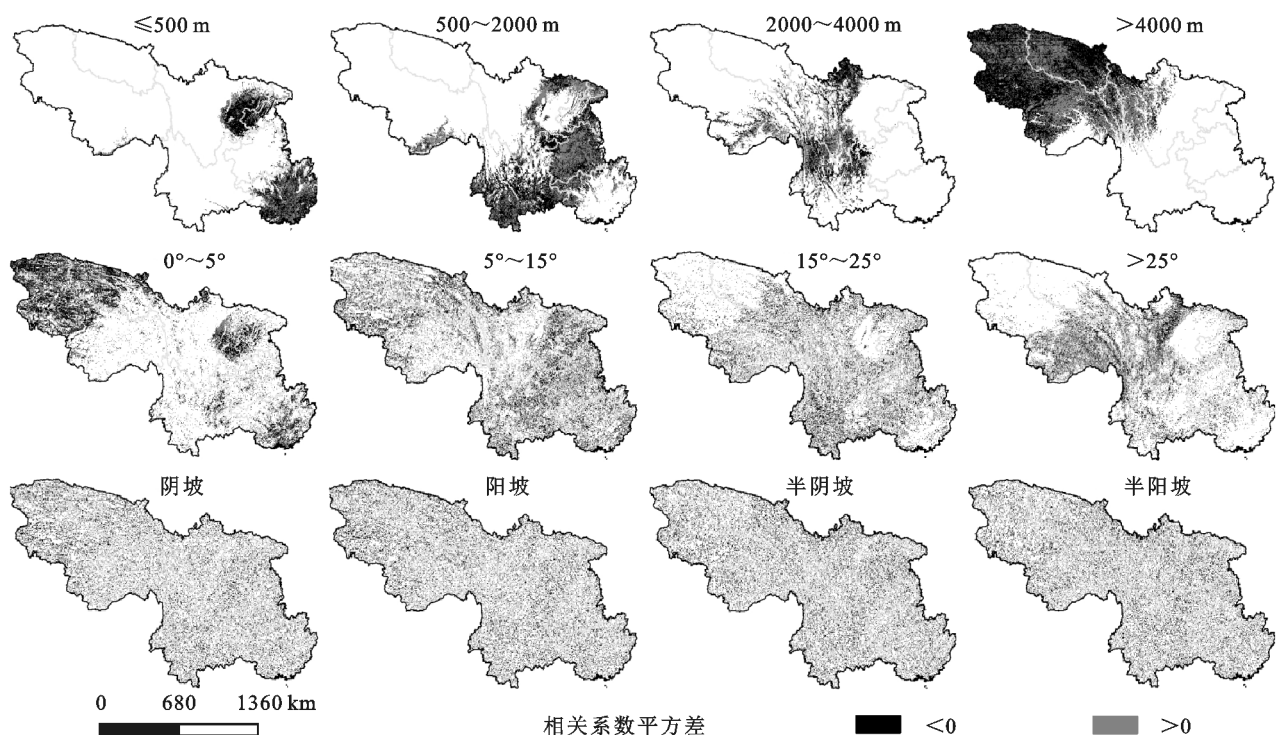


图 6 西南地区不同地形因子分区下 NDVI 与气温和同期降水的相关系数平方差

(3) 西南地区平均 NDVI 在海拔 $>4\,000\text{ m}$ 处最小(0.30),在坡度 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 处最小(0.37),但是 NDVI 的显著退化趋势则是分别以海拔 $>4\,000\text{ m}$ 处为最大(14.33%),坡度 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 处为最大(8.68%);不同坡向间则差异较小。

(4) 西南地区在海拔、坡度、坡向的不同地形条件之下以 NDVI 受降水控制的区域为主。其中,受降水(P)控制的区域面积比例为: $P_{(4000\text{m},7353\text{m})}>P_{(500\text{m},2000\text{m})}>P_{(2000\text{m},4000\text{m})}>P_{[-25\text{m},500\text{m}]}$, $P_{(5^{\circ},15^{\circ})}>P_{[0^{\circ},5^{\circ}]}$, $P_{\text{半阴坡}}>P_{\text{阳坡}}>P_{\text{半阳坡}}>P_{\text{阴坡}}$;受气温(T)控制的区域面积比例为: $T_{(25^{\circ},90^{\circ})}>T_{(15^{\circ},25^{\circ})}$ 。

参考文献:

[1] Meyer W B, Li B L T. Human population growth and global land-use/cover change[J]. Annual Review of Ecology & Systematics, 1992, 23(23): 39-61.

[2] Nemani R R, Keeling C, Hashimoto H, et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999[J]. Science, 2003, 300(5625): 1560-1563.

[3] Mu S J, Yang H F, Li J L, et al. Spatio-temporal dynamics of vegetation coverage and its relationship with climate factors in Inner Mongolia, China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2013, 23(2): 231-246.

[4] 李卓,张继超,孙然好,等.气候和地形对植被覆盖动态演化的影响研究[J].生态科学,2017,36(6):35-43.

[5] 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.

[6] He B, Chen A F, Jiang W G, et al. The response of vegetation growth to shifts in trend of temperature in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27(7):801-816.

[7] 阿多,赵文吉,宫兆宁,等.1981—2013 华北平原气候时空变化及其对植被覆盖度的影响[J].生态学报,2017,37(2):576-592.

[8] 张翀,任志远,袁鑫.西北地区 NDVI 对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J].资源科学,2011,33(12):2356-2361.

[9] 何月,樊高峰,张小伟,等.浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应[J].生态学报,2012,32(14):4352-4362.

[10] 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.

[11] 周伟,刚成诚,李建龙,等.1982—2010 年中国草地覆盖度的时空动态及其对气候变化的响应[J].地理学报,2014,69(1):15-30.

[12] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991[J]. Nature, 1997, 386(6626):698-702.

[13] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等.1982—2012 年中国植被覆盖度时空变化特征[J].生态学报,2015,35(16):5331-5342.

[14] 张翀,任志远.黄土高原地区植被覆盖变化的时空差异及未来趋势[J].资源科学,2011,33(11):2143-2149.

[15] 李小燕.黄土高原植被对水热状况的响应研究[J].地理科学,2013,33(7):865-872.

[16] 梁四海,陈江,金晓媚,等.近 21 年青藏高原植被覆盖变化规律[J].地球科学进展,2007,22(1):33-40.

- [17] 丁明军,张懿铨,刘林山,等.青藏高原植被覆盖对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J].地理科学进展,2010,29(4):507-512.
- [18] 王毅,郭跃.喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系分析:以贵州普定县为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(1):157-167.
- [19] 蔡宏,何政伟,安艳玲,等.基于 RS 和 GIS 的赤水河流域植被覆盖度与各地形因子的相关强度研究[J].地球与环境,2014,42(4):518-524.
- [20] 张勃,王东,王桂钢,等.西南地区近 14 a 植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J].长江流域资源与环境,2015,24(6):956-964.
- [21] 蒙古军,王钧.20 世纪 80 年代以来西南喀斯特地区植被变化对气候变化的响应[J].地理研究,2007,26(5):857-865.
- [22] 李卓,孙然好,张继超,等.京津冀城市群地区植被覆盖动态变化时空分析[J].生态学报,2017,37(22):7418-7426.
- [23] 刘可,杜灵通,侯静,等.近 30 年中国陆地生态系统 NDMI 时空变化特征[J].生态学报,2018,38(6):1885-1896.
- [24] 何云玲,李同艳,熊巧利,等.2000—2016 年云南地区植被覆盖时空变化及其对水热因子的响应[J].生态学报,2018,38(24):8813-8821.
- [25] 齐威,刘爱利,张雯.中国地形三大阶梯面向对象的定量划分[J].遥感信息,2017,32(2):43-48.
- [26] 袁沫汐,邹玲,林爱文,等.湖北省地区植被覆盖变化及其对气候因子的响应[J].生态学报,2016,36(17):5315-5323.
- [27] 杜加强,贾尔恒·阿哈提,赵晨曦,等.三江源区近 30 年植被生长动态变化特征分析[J].草业学报,2016,25(1):1-12.
- [28] 张诗羽,张毅,王昌全,等.岷江上游流域植被覆盖度及其与地形因子的相关性[J].水土保持通报,2018,38(1):69-75.
- [29] 张远东,张笑鹤,刘世荣.西南地区不同植被类型归一化植被指数与气候因子的相关分析[J].应用生态学报,2011,22(2):323-330.
- [30] 汤巧英,戚德辉,宋立旺,等.基于 GIS 和 RS 的延河流域植被覆盖度与地形因子的相关性研究[J].2017,24(4):198-203.
- [31] 朱林富,谢世友,杨华,等.基于 MODIS EVI 的重庆植被覆盖变化的地形效应[J].自然资源学报,2017,32(12):2023-2033.
- [32] 张立峰,闫浩文,杨树文,等.黑河流域植被覆盖变化及其对地形的响应[J].遥感信息,2018,33(2):46-52.

~~~~~

(上接第 258 页)

- [16] 黄海,刘长城,陈春.基于生态足迹的土地生态安全评价研究[J].水土保持研究,2013,20(1):193-196,201.
- [17] 李昊,南灵,李世平.基于面板数据聚类分析的土地生态安全评价研究:以陕西省为例[J].地域研究与开发,2017,36(6):136-141.
- [18] 祝培甜,赵中秋,陈勇,等.基于三角模型的土地生态安全动态评价:以西安市为例[J].水土保持研究,2016,23(1):244-248.
- [19] 王雪,杨庆媛,何春燕,等.基于 P—S—R 模型的生态涵养发展型区域土地生态安全评价:以重庆市丰都县为例[J].水土保持研究,2014,21(3):169-175.
- [20] 胡志仁,龚建周,李天翔,等.珠江三角洲城市群生态安全评价及态势分析[J].生态环境学报,2018,27(2):304-312.
- [21] 柳思,张军,田丰,等.2005—2014 年疏勒河流域土地生态安全评价[J].生态科学,2018,37(3):114-122.
- [22] 张茹,戴文婷,刘兆顺,等.我国北方农牧交错区土地生态安全评价:以白城市为例[J].水土保持研究,2017,24(2):259-266.
- [23] 丁新原,周智彬,马守臣,等.矿粮复合区土地生态安全评价:以焦作市为例[J].干旱区地理,2013,36(6):1067-1075.
- [24] 徐美,朱翔,李静芝.基于 DPSIR—TOPSIS 模型的湖南省土地生态安全评价[J].冰川冻土,2012,34(5):1265-1272.
- [25] 曹瑀,王燕辉,张立强,等.基于 PSR 模型的耕地生态安全时空分异特征研究:以河北省沧州市为例[J].水土保持研究,2016,23(6):290-295,302.
- [26] 李晓庆,姜博,初楠臣.城市群土地集约利用与新型城镇化耦合协调分析:以我国三大城市群为例[J].长江流域资源与环境,2017,26(7):983-991.
- [27] 董捷,陈星,张安录.基于“三生”功能的长江中游城市群土地集约利用空间差异研究[J].华中农业大学学报:社会科学版,2017(6):110-117,152.