

# 2001—2018 年西南地区 NDVI 变化特征及影响因素

杨艳蓉<sup>1,2</sup>, 侯召朕<sup>1,2</sup>, 张增信<sup>3</sup>

(1.南京林业大学 生物与环境学院, 江苏 南京 210037; 2.南京林业大学  
南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037; 3.南京林业大学 林学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:** [目的] 研究西南地区人为和自然因素影响下的 NDVI 动态特征, 为该区天然林保护政策的科学实施提供依据。[方法] 利用 2001—2018 年 MODIS NDVI 数据、土地利用数据、气候数据, 结合 Theil-Sen 中值趋势分析、Mann-Kendall 趋势检验等, 探讨人为和自然因素下西南地区植被动态变化。[结果] ①各类型植被 NDVI 均逐年递增, 增速最快的是农用地和稀树草原。岷江—乌蒙山以东是 NDVI 高值区和显著改善趋势区; 加上云贵高原南缘, 显著改善趋势区占总面积的 67.09%。②天然林保护、退耕还林/还草的林业政策促使低 NDVI 植被向高 NDVI 植被转变是西南地区 NDVI 增加的原因之一。其中贡献度最大的是稀树草原类型向森林类型的转化, 2001—2018 年转化面积达 73 693 km<sup>2</sup>, 净转化率逐年提高, 主要分布在岷江—乌蒙山以东。③气温与不同植被 NDVI 的正相关性大于年降水量, 在岷江—乌蒙山以东, NDVI 与气象要素的正相关性都较高。在气温上升、降水量增加的条件下, 41.8% 的 NDVI 增长与气温和降水有关, 二者的贡献率分别为 32.35% 和 14.54%。[结论] 随着 20 世纪末以来的天然林保护政策实施以及暖、湿化区域气候变化等人为和自然因素影响, 2001—2018 年西南地区 NDVI 持续增加, 这种增加特征在岷江—乌蒙山东、西两侧表现差异, 东侧森林增加面积、NDVI 改善趋势普遍高于西侧。

**关键词:** NDVI; 天然林保护工程; 退耕还林/还草工程; 区域气候; 西南地区

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2021)02-0337-08

**中图分类号:** S157.2, X87

**文献参数:** 杨艳蓉, 侯召朕, 张增信. 2001—2018 年西南地区 NDVI 变化特征及影响因素[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 337-344. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.044; Yang Yanrong, Hou Zhaozhen, Zhang Zengxin. NDVI changes and driving factors in Southwest China from 2001 to 2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 337-344.

## NDVI Changes and Driving Factors in Southwest China from 2001 to 2018

Yang Yanrong<sup>1,2</sup>, Hou Zhaozhen<sup>1,2</sup>, Zhang Zengxin<sup>3</sup>

(1. Nanjing Forestry University, College of Biology and the Environment, Nanjing, Jiangsu 210037, China; 2. Co-innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China; 3. Nanjing Forestry University, College of Forestry, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

**Abstract:** [Objective] The dynamic changes of NDVI under the influence of human and natural factors in Southwest China were studied in order to provide a basis for the scientific implementation of natural forest protection policies in this region. [Methods] Based on MODIS NDVI, land use data and climate data from 2001 to 2018, combined with Theil-Sen median trend analysis and Mann-Kendall trend test, the dynamic changes of vegetation under human and natural factors in the Southwest China were investigated. [Results] ① NDVI of all types of vegetation increased year by year, with the fastest growth in agricultural land and savanna. The east of Minjiang and Wumeng Mountains was the region with high NDVI value and significant improvement trend; Combined with the southern margin of the Yunnan-Guizhou Plateau, the trend area of significant improvement accounted for 67.09% of the total area. ② One of the reasons for the increase of

NDVI in Southwest China was that the natural forest protection and the forestry policy of returning farmland to forest/grassland promoted the transformation of low NDVI vegetation to high NDVI vegetation. The largest contribution was the conversion of woody savanna and savanna to forests. From 2001 to 2018, the conversion area reached 73 693 km<sup>2</sup>, and the net conversion rate increased year by year, mainly distributed in the east part of the boundary of Minjiang River and Wumeng Mountain. ③ The positive correlation between temperature and NDVI was greater than that of annual precipitation. In the east of Minjiang River and Wumeng Mountains, the positive correlation between NDVI and meteorological elements was high. Under the condition of warming and getting wetter, 41.8% of NDVI growth was related to temperature and precipitation, and their contribution rates were 32.35% and 14.54% respectively. [Conclusion] With the implementation of natural forest protection policy and the warming and humidifying regional climate change in the last 20 years, the NDVI in the Southwest China continued to increase from 2001 to 2018. Based on the boundary of the Minjiang River and Wumeng Mountains, such increasing characteristics showed differences in the east and west parts, and the increasing forests area and the NDVI improvement trend on the east side was generally higher than that of on the west side.

**Keywords:** NDVI; natural forest protection project; grain for green project; regional climate change; the Southwest China

植被是陆地生态系统的核心组分,植被变化与生态系统稳定性存在显著的相互影响<sup>[1]</sup>。来源于卫星遥感的归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI),基于其长时序、高分辨率、覆盖范围广等特点,已广泛应用于植变动态监测<sup>[2]</sup>。2001—2017年的卫星遥感显示,全球植被叶面积呈增加趋势,中国以占全球6.6%的植被面积贡献了全球25%的叶面积增量,其中森林的贡献率最高,占42%<sup>[3]</sup>。造成这一结果的最直接驱动因素来自于20世纪末我国6大林业生态工程的相继颁布实施<sup>[4]</sup>,中国已将超过 $3.30 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>的农用地转化为森林和草原<sup>[5]</sup>,NDVI显著增长<sup>[6]</sup>。自然驱动因素对于植被增长的贡献主要体现在气候变化上。研究表明,气候变化是植被增长的主要驱动因子<sup>[7]</sup>,但这种驱动存在时空差异。Peng等<sup>[8]</sup>研究显示,最高温和NDVI的相关性在我国北方湿冷生态系统中为正,在温带地区为负,最低温和NDVI的相关性则多相反。Roerink等<sup>[9]</sup>发现欧洲的干旱区植被对降水的响应强烈,湿润区则无此现象。在中国范围内,从北向南气象因子对NDVI的影响逐渐减弱,大部分地区气温对NDVI的影响大于降水,气候变化对不同植被类型的NDVI影响差异很大<sup>[10]</sup>。

四川、重庆、云南、贵州为主的西南地区是中国重要的生态屏障<sup>[11]</sup>及第2大天然林区<sup>[12]</sup>,该地于1998年试点、2000年全面推进的天然林保护工程,其核心即禁止乱砍滥伐、退耕还林/还草。目前,项目实施20 a,验证天然林保护成果恰逢其时。但西南地区在

人为和自然因素驱动下的植被变化研究困难重重,主要原因是该区域毗邻青藏高原,喀斯特地貌分布广泛,气候变化多样且独特<sup>[13]</sup>,属于典型生态脆弱区<sup>[14]</sup>,地表生态系统极易受到气候灾害和人为因素的影响<sup>[15]</sup>。因此,相比于中国长江中下游及“三北”防护林工程建设、京津冀风沙治理工程来说,正式发布的结论不多。近年研究表明,人为因素中,退耕还林/还草政策实施是西南地区整体植被显著增加的贡献因子<sup>[16]</sup>;自然影响因素主要是气温、降水的影响,在川西高原<sup>[17]</sup>、云南高原湖泊流域等<sup>[18]</sup>局部地区得到了印证。本文基于2001—2018年MODIS NDVI数据、MODIS土地利用数据以及站点气候历史数据,得到西南地区NDVI动态变化特征,探索土地利用变化和气候变化对NDVI的影响,为西南地区应对气候变化、进一步实施天然森林保护工程以及实现社会生态的可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

研究区域覆盖中国西南地区的四川、重庆、云南、贵州4省市(21°8′—34°19′N, 97°31′—110°11′E)。该地区主要由盆地和高原组成,包括四川盆地、云贵高原和川西高原,海拔范围以1 000~3 000 m为主。云贵高原、四川盆地属于热带和亚热带季风气候,川西高原属于高原山地气候。植被类型复杂多样,包括阔叶林、针叶林、针阔混交林、多树型稀树草原、稀树草原<sup>[19]</sup>、草地、农用地、农用地/自然植被拼接等8种。西南地区特殊的地理位置、复杂多样的气候条件

以及脆弱的生态环境,使其成为中国生态环境保护的重点区域之一。

## 1.2 数据和处理

西南地区 NDVI 数据来自 NASA 提供的 MOD13A3([https://e4\\_ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13A1.006/](https://e4_ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13A1.006/))数据,其时、空间分辨率分别为 16 d,1 km。该数据已经过几何精校正、辐射校正、大气校正等预处理。在本文分析中,把该数据利用最大合成法得到月最大合成值,以进一步减少云层、大气气溶胶的影响。土地利用数据来自 NASA 的 MCD12Q1 数据(<https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd12q1v006/>),该数据时、空间分辨率分别为 1 a,500 m。在本研究中,为了从空间上匹配 NDVI 数据,我们依据 IGBP(International Geosphere Biosphere Programme,国际地圈与生物圈计划)分类方案,将 MCD12Q1 重采样至 1 km 分辨率<sup>[20]</sup>,结合研究需求对部分土地利用类型合并,最终得到 12 类西南地区土地类型:针叶林、阔叶林、混交林、灌丛、稀树草原、多树型稀树草原、草地、水体、农用地、农用地/自然植被拼接、城市、裸地。

西南地区气象数据来自国家气象科学数据中心(<http://data.cma.cn/>)提供的 2001—2018 年西南地区 105 个标准地面观测站逐日实测资料。本研究分析计算了西南地区年平均最高温、年平均温、年平均最低温和年总降水量,然后将各项气象数据分别与其监测站点海拔高度进行 Pearson 相关性检验。结果显示,所有气象数据与监测站点海拔高度,均在 0.01 显著水平上显著相关。因此,将各项气象数据结合站点所在海拔高度,使用 ArcGIS 进行协同 Kriging 插值<sup>[21]</sup>。对插值结果进行交叉验证,平均误差小于 0.1%,插值精度较好,满足研究需求。

## 1.3 方法

### 1.3.1 研究区 2001—2018 年 NDVI 数值等级划分

为了分析 2001—2018 年 NDVI 数值的分布格局变化,将 NDVI 从数值上分为 5 个等级:小于 0.2,0.2~0.4,0.4~0.6,0.6~0.8 以及 0.8 以上,并将研究时段平均分为每 6 a 一段,即:2001—2006 年、2007—2012 年和 2013—2018 年 3 个时期,使用 ArcGIS 作图得到西南地区 2001—2018 年 NDVI 空间分布和各值段的比例。

1.3.2 2001—2018 年 NDVI 变化趋势 采用 Theil-Sen 中值趋势分析,研究长时间序列植被 NDVI 变化的趋势,并耦合 Mann-Kendall 趋势检验判断趋势的显著性<sup>[22]</sup>。基于 Theil-Sen 和 Mann-Kendall,把西南地区 NDVI 变化趋势分为 4 个等级:显著改善、不

显著改善、不显著退化和显著退化,用于分析该地不同植被、不同区域 NDVI 变化趋势。

1.3.3 研究区 2001—2018 年植被类型转换对 NDVI 的影响 为了量化不同植被类型转化对西南地区 NDVI 增长的贡献,以 2001—2006 年各像元 NDVI 数据为基础,计算不同植被类型改变对 NDVI 提高的影响度指数<sup>[26]</sup>,探索哪种植被的转化是西南地区 NDVI 数值增加的主因。

1.3.4 研究区 2001—2018 年 NDVI 与气象要素的相关性 为了分析 NDVI 与主要气象要素气温和降水的关系,计算 NDVI 与最低温、平均温、最高温以及年降水量的 Pearson 偏相关系数<sup>[18]</sup>平均值。将其分为 5 个等级:强正相关(大于 0.6),正相关(0.2~0.6),弱相关(-0.2~0.2),负相关(-0.2~-0.6)和强负相关(小于 -0.6),在空间上进行逐像元偏相关计算,利用 ArcGIS 绘图得到 NDVI 与气象要素的偏相关关系空间分布。

## 2 结果与分析

### 2.1 西南地区 NDVI 变化特征

依据已经确定的 12 种土地使用类型,挑选出主要植被类型 8 种(从 2001—2018 年,灌丛在植被类型所占比例小,变化也很小,故未参与分析),发现西南地区 2001—2018 年不同植被 NDVI 从数值到增长趋势均不同(图 1)。从数值来看,西南地区 2001—2018 年的 NDVI 均值为 0.58,森林类型(针、阔、混交林)的 NDVI 均值最高,达到 0.70,超出平均值 20.69%。草地最低,仅为 0.42,低于平均均值 27.59%。农用地、农用地/自然植被拼接属于农用地类,多树型稀树草原、稀树草原属于稀树草原类,二者与平均均值基本相当,分别为 0.53,0.60。2001—2018 年西南地区不同类植被 NDVI 数值差异表现为:森林类>稀树草原类>农用地类>草地。用趋势线斜率表示不同植被的 NDVI 增长趋势<sup>[23-24]</sup>。同样由图 1 可得,2001—2018 年所有植被类型平均 NDVI 的趋势线斜率为 0.003 9,这一数值与 2001—2016 年全国均值 0.004 4 基本相当<sup>[25]</sup>,其中农用地/自然植被拼接类型趋势线斜率最大,为 0.006 2,其次为稀树草原类,分别为稀树草原(0.004 7)、多树型稀树草原(0.004 0),其后为混交林(0.003 0)、阔叶林(0.002 8)、农用地(0.002 4)和针叶林(0.001 2),草地的趋势线斜率最小,仅为 0.000 8。2001—2018 年西南地区不同植被 NDVI 增长趋势表现为:农用地类>稀树草原类>森林类>草地。

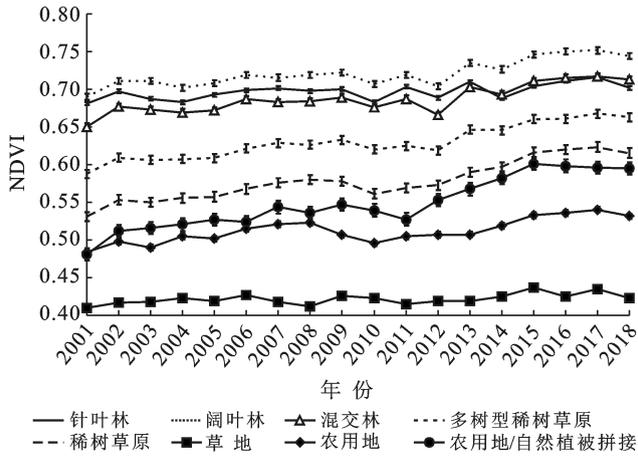


图 1 西南地区 2001—2018 年不同植被 NDVI 随时间变化

2001—2018 年 NDVI 各值段空间分布情况如图 2 所示, 对应各值段所占比例详见表 1。由表 1 所示, NDVI 在 0.4~0.8 值段占比超过 90%, 高值分布区

域由超过 0.8 的云贵高原以南逐步扩张到岷江—乌蒙山以东的城市群以外大片区域(图 2), 表现为 NDVI 数值增高、高值段分布范围逐年增大的特征。以 0.6~0.8 高值段 NDVI 为例, 2007—2012 年比 2001—2006 年增加了 21.40%, 2013—2018 年又比 2007—2012 年增加了 32.33%(表 1)。川西高原西北部在整个研究时段都属于 NDVI 低值(小于 0.4)分布区(图 2), 分布面积占比有逐年下降趋势(表 1)。

表 1 西南地区不同等级 NDVI 值所占的空间比例 %

NDVI	2001—2006 年	2007—2012 年	2013—2018 年
0~0.2	1.00	0.86	0.73
0.2~0.4	6.86	6.79	6.05
0.4~0.6	54.99	47.15	32.45
0.6~0.8	36.82	44.70	59.15
0.8~1	0.34	0.50	1.62

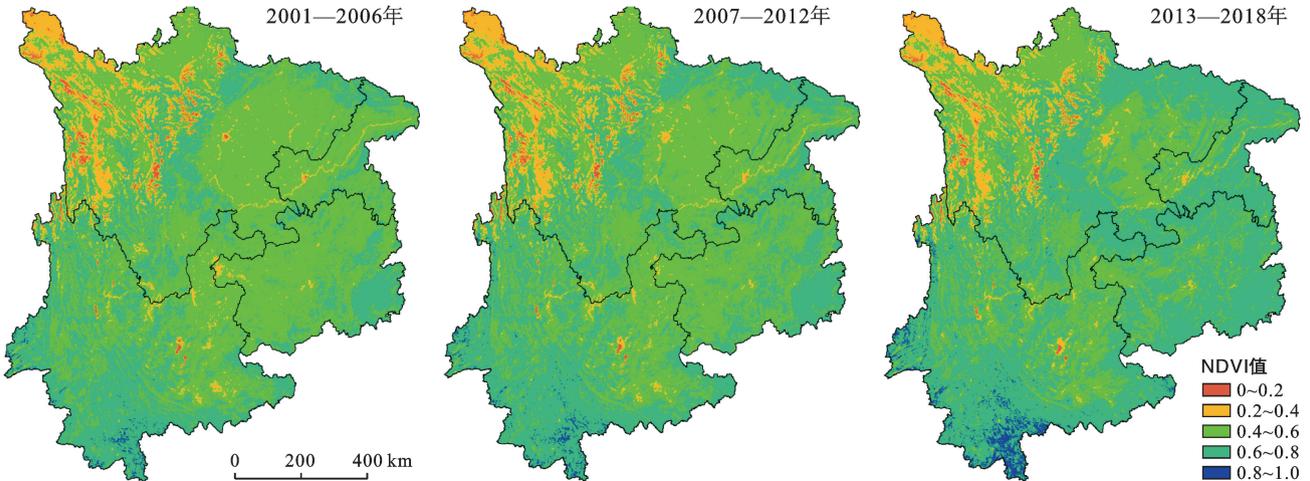


图 2 西南地区 2001—2018 年各时段 NDVI 值空间分布

为了说明 NDVI 增长趋势的显著性, 图 3 给出了西南地区 NDVI 显著改善、不显著改善、不显著退化和显著退化分布图。由图 3 可见, 以岷江—乌蒙山为界(见图 3 虚线), 以东区域包括四川盆地、贵州、重庆呈 NDVI 显著改善区, 以西区域则呈轻微改善甚至退化状态, 退化趋势主要出现在成都西北部、川滇交界的横断山脉以及云贵高原西部等地。显著改善、不显著改善、不显著退化和显著退化的面积占比分别为 67.09%, 24.59%, 6.80% 和 1.52%(详见表 2)。其中农用地/自然植被拼接类型显著改善的面积占比最高, 达到 93.46%, 其次为稀树草原类, 超过 75%, 阔叶林、混交林紧随其后, 接近 70%, 草地的显著改善面积占比最少, 只有 32.55%。对所有植被类型来说, 呈显著退化趋势的面积占比都较低, 除农用地达到 6.31% 以外, 其余均不超过 3%。

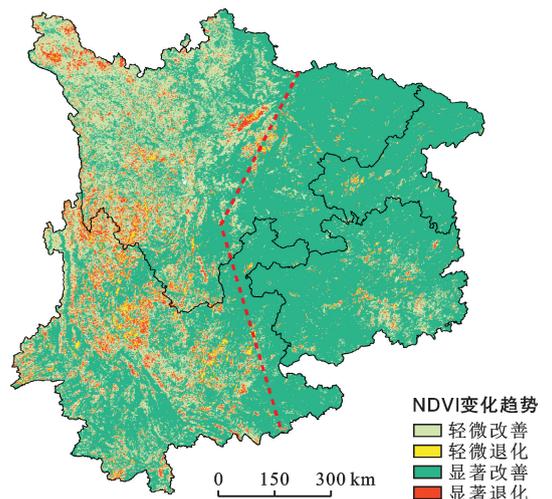


图 3 西南地区 2001—2018 年 NDVI 变化趋势分布

表 2 西南地区各植被覆盖类型 NDVI 的变化趋势 %

植被类型	显著		不显著	
	改善	退化	改善	退化
针叶林	35.25	2.77	42.24	19.74
阔叶林	68.40	0.31	25.99	5.30
混交林	69.99	0.41	24.35	5.24
多树型稀树草原	75.67	1.24	17.30	5.79
稀树草原	77.81	1.69	15.30	5.20
草地	32.55	1.51	54.57	11.37
农用地	58.66	6.31	23.82	11.21
农用地/自然植被拼接	93.46	0.21	5.32	1.01
占总面积百分比	67.09	1.52	24.59	6.80

### 2.2 植被类型转化对 NDVI 的影响

分析 MCD12Q1 数据发现,中国西南地区 2001—2018 年的植被覆盖面积占比稳定在 98% 左右,主要类型是森林类(针、阔、混交林),其次是多树型稀树草原、稀树草原、草地和农田。这 5 种主要植被类型中,只有森林类的面积增加,且增速随时间增加:2001—2006 年增长了 1.46%,2006—2012 年,2013—2018 年分别增长了 5.17% 和 17.43%。已知森林类型的 NDVI 均值最高(图 2),因此,20 a 来天然林保护工程、退耕还林/还草工程对该地 NDVI 增长贡献主要体现在其他植被向森林类的转化上。分析发现,从 2001—2018 年,西南地区植被类型转换的突出特征是从低值 NDVI 植被类型向高值 NDVI 植被类型的转化。其中,最突出的是稀树草原类型向森林类型的转化,总转化面积达到 73 693 km<sup>2</sup>,其次为草地向稀树草原、稀树草原向多树型稀树草原、农用地向稀树草原的转化,总转化面积分别为 14 530, 12 403 和 8 565 km<sup>2</sup>(图 4)。基于这些转化数据,使用 ArcGIS 软件,给出了新增森林植被在西南地区的空间分布(图 5)。

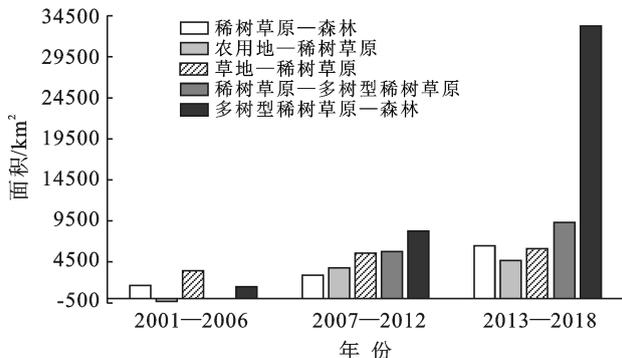


图 4 西南地区 2001—2018 不同植被类型间的转化面积

由图 5 可见,多树型稀树草原、稀树草原向森林的转变主要发生在四川盆地和川西高原以外的地区,

其中稀树草原向森林的转化发生在云贵高原中部和四川盆地南缘,多树型稀树草原转变为森林的区域更广。表 3 给出了 3 个 6 a 时段内植被类型的净转化率,即净转化面积(转出面积与转入面积的差)除以该类型植被的初始面积。每种低 NDVI 植被向高 NDVI 植被的净转化率都随时间呈现递增,净转化率最大的是农用地向稀树草原以及多树型稀树草原向森林的转化,二者在 2013—2018 年段均超过了 10%,增速最快。从不同植被类型的转变对 NDVI 增长贡献来看,各转化的影响度指数排序如下:多树型稀树草原转化为森林类(5 330.62) > 稀树草原转化为多树型稀树草原(3 628.66) > 稀树草原转化为森林类(1 706.14) > 草地转化为稀树草原(1 326.99) > 农用地转化为草原(819)。其中,从多树型稀树草原和稀树草原向森林类型转化的影响度指数占总指数的 54.69%,是西南地区 NDVI 增长的主要贡献因子。

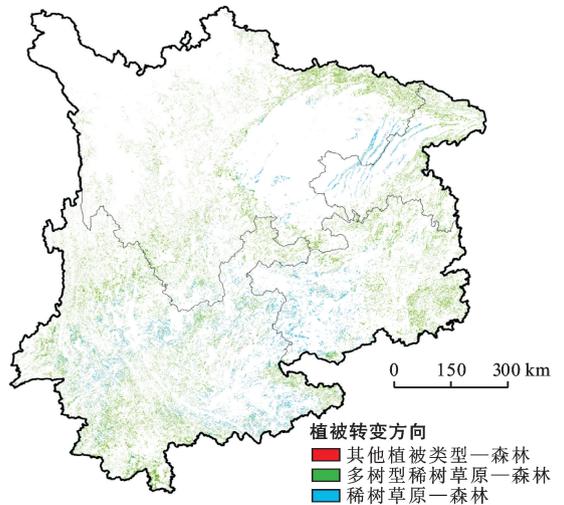


图 5 西南地区 2001—2018 年新增森林植被的空间分布

表 3 西南地区不同植被类型的净转换比例 %

植被覆盖类型	2001—2006	2007—2012	2013—2018
稀树草原—森林	0.59	1.07	2.36
农用地—稀树草原	-0.72	7.91	12.00
草地—稀树草原	1.69	2.85	3.29
稀树草原—多树型稀树草原	-0.01	2.14	3.41
多树型稀树草原—森林	0.52	2.93	11.68

### 2.3 区域气候变化对 NDVI 的影响

2001—2018 年,西南地区最低温、平均温和最高温及年降水量均值分别为 10.02 °C, 14.26 °C, 20.37 °C 和 1 015.95 mm,这些气象要素均呈现上升趋势(图略)。最低温的趋势线斜率为 0.033 0,高于最高温(0.023 3)和平均温(0.022 8),增长趋势最显著。2001—2018 年年降水量趋势线斜率为 4.319,亦呈上升趋势。对西南地区不同植被类型的 NDVI 与气温、降水进行偏相

关分析,分析结果见表 4 和图 7。由表 4 可见,不同植被 NDVI 与最低温、最高温、平均温和年降水量均呈现正相关关系。平均而言,NDVI 与气温的正相关性大于降水,具体为:NDVI-最低温>NDVI-平均温>NDVI-最高温>NDVI-年降水量。不同植被类型的 NDVI 与气象要素的相关性有差异,针叶林与气温和降水的相关性最不显著。除针叶林和农用地外,其他植被类型的 NDVI 与最低温、最高温、平均温的偏相关系数都超过 0.5,呈显著正相关(绝大部分满足  $p < 0.01$ )。稀树草原、农用地类的 NDVI 与降水呈显著正相关( $p < 0.05$ )。

使用 ArcGIS 软件进行逐像元分析得到偏相关系数空间分布如图 6 所示。由图 6 可见,NDVI 与气温和降水的相关性具有空间差异,不同植被类型和不同区域差异较大。总体来看,在岷江—乌蒙山以东地区(除重庆南部)最高,以西地区较复杂:NDVI 与年降水量整体呈负相关或弱正相关,云贵高原中部地区表现为 NDVI 与最低温、最高温、平均温的负相关区域。另外,云贵高原以南地区表现出 NDVI-最低温的强正相关。为了定量分析气温和降水对西南地区

NDVI 增长的贡献,我们以年平均气温指示“气温”,年均降水量指示“降水”,对 2001—2018 年的年均气温和年降水量数据进行归一化处理并进行多元线性回归,可知 2001—2018 年西南地区 NDVI 增加的 41.8% 可以用气温和降水的变化来解释,温度和降水的贡献率分别为 32.35% 和 14.54%。

表 4 西南地区 2001—2018 年不同植被类型 NDVI 与气温和降水的偏相关系数

植被类型	平均温/ ℃	最高温/ ℃	最低温/ ℃	降水/ mm
针叶林	0.448	0.447	0.469	0.075
阔叶林	0.634**	0.585*	0.697**	0.420
混交森林	0.620**	0.603*	0.669**	0.360
多树型稀树草原	0.614**	0.587*	0.710**	0.455
稀树草原	0.564*	0.514*	0.697**	0.511*
草地	0.694**	0.595*	0.748**	0.261
农用地	0.386	0.352	0.539*	0.516*
农用地/自然植被拼接	0.607**	0.546*	0.745**	0.532*
平均	0.611**	0.564*	0.726**	0.489*

注:\*表示  $p < 0.05$  的双面显著性水平;\*\*表示  $p < 0.01$  的双面显著性水平。

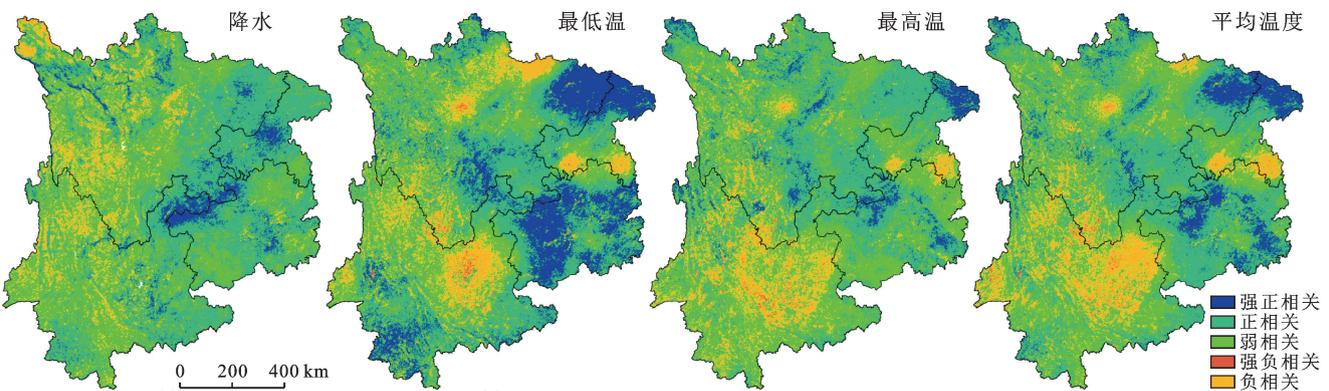


图 6 西南地区 2001—2018 年 NDVI 与各气候因子的偏相关系数空间分布

### 3 讨论

(1) 西南地区岷江—乌蒙山东、西两侧 NDVI 的差异性表述。2001—2018 年西南地区 NDVI 数值和变化趋势均体现了以岷江—乌蒙山为界的东、西两侧不对称的特点,这与该地一直以来的研究结论类似<sup>[11,27-29]</sup>。但在不对称问题的描述上有分歧,2001—2018 年的结果显示界线以东是 NDVI 的高值区域和显著改善区,以西为 NDVI 低值区和轻微改善区甚至退化区。这一结果与 2000 年后西南地区的相关研究结论相似<sup>[11,27-28]</sup>,但与早期的研究结果相反<sup>[29]</sup>。这可能与该地区 1961—2005 年年均降水量呈缓慢下降趋势<sup>[30]</sup>有关。同时,可能是 2010 年后该地天然林保

护、退耕还林/还草等林业生态保护政策实施的效果逐步凸显的影响,这一政策在不同地区对 NDVI 增长的影响时效不同,如在黄土高原<sup>[31]</sup>、毛乌素沙漠地区<sup>[32]</sup>略提前。另外,目前常用的长时间序列 NDVI 资料主要来自 GIMMS, SPOT, MODIS 等,虽然这些资料在大尺度时空趋势上基本一致,MODIS NDVI 数据相对更优<sup>[33]</sup>,但可能会由不同区域、不同植被类型、不同研究时段等使研究结果产生差异<sup>[33-34]</sup>。因此,西南地区岷江—乌蒙山东、西两侧 NDVI 变化及影响因素,特别是定量分析,需要更多资料和信息多方验证。

(2) NDVI 变化是人为和自然因素共同复杂作用的结果,单一讨论某一方面则趋于片面。NDVI 增加

是由多种因素引起的,其主要驱动力为人类活动和气候变化(特别是气温和降水),这一结论已基本达成共识<sup>[35-37]</sup>。本文为了量化这二者对于西南地区 NDVI 的贡献,同时由于这一地区就此公开发表的详尽结论较少、人为和自然因素复杂,因此分别加以阐述。这一做法在很多研究中常见。在实际过程中,由于区域差异性的气候变化作用和复杂的人类活动因素相互渗透。例如退耕还林导致土壤侵蚀改善对 NDVI 的贡献<sup>[38]</sup>,区域气候变化导致植被稳定性变化对于 NDVI 的影响等<sup>[39]</sup>,NDVI 的变化大多是二者共同、相互影响的结果。目前,地理探测器原理<sup>[40]</sup>揭示 NDVI 变化的人为和自然驱动效果的方法得到了应用,2020 年以来,在内蒙古<sup>[41]</sup>、宜宾等<sup>[42]</sup>地进行了研究,虽然结果不尽相同,但已取得了初步结论。这也是今后西南地区植被变化驱动力研究的方向之一。

2020 年 10 月《Nature》最新研究指出,在中国以往的研究中低估了西南地区植被覆盖改善的意义,尤其在天然林固碳方面<sup>[43]</sup>,这为后续研究西南地区森林植被变化对区域气候影响的研究提供了新的扩展方向。

## 4 结论

(1) 2001—2018 年,西南地区主要植被类型的 NDVI 数值均呈增长趋势,高 NDVI 植被呈逐年递增性扩大。以岷江—乌蒙山为界,以东为 NDVI 高值区和显著改善趋势区,以西为低值区和不显著改善、甚至退化趋势。

(2) 2001—2018 年,天然林保护、退耕还林/还草等政策实施促使该地植被类型由低 NDVI 植被向高 NDVI 植被转换,且净转换面积百分比逐年增加。其中,贡献度最大的是稀树草原类型向森林类型的转化,其次为草原向稀树草原、稀树草原向多树型稀树草原、农用地向稀树草原的转化。

(3) 2001—2018 年,西南地区区域气候的暖、湿化变化是该地 NDVI 改善的重要自然因素,NDVI 增加的 41.8% 可以用气候变化来解释,温度和降水的贡献率分别为 32.35% 和 14.54%。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 张琨,吕一河,傅伯杰,等.黄土高原植被覆盖变化对生态系统服务影响及其阈值[J].地理学报,2020,75(5):949-960.

[2] Defries R S, Townshend J R. NDVI-derived land cover classifications at a global scale [J]. International Journal of Remote Sensing, 1994,15(17):3567-3586.

[3] Chen Chi, Park T, Wang Xuhui, et al. China and India

lead in greening of the world through land-use management [J]. Nature Sustainability, 2019,2(2):122-129.

[4] 王新超.我国启动实施六大林业重点工程[J].农村实用工程技术,2001(8):33-36.

[5] 王钰,王爽宇.中国 20 年退耕还耕还草 5 亿多亩[J].中南林业科技大学学报,2019,39(220):2-6.

[6] Du Jiaqiang, Quan Zhanjun, Fang Shifeng, et al. Spatio-temporal changes in vegetation coverage and its causes in China since the Chinese economic reform [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020,27(1):1144-1159.

[7] Guo Meng, Li Jing, He Hongshi, et al. Detecting global vegetation changes using mann-kendal (MK) trend test for 1982—2015 time period [J]. Chinese Geographical Science, 2018,28(6):907-919.

[8] Peng Shushi, Piao Shilong, Ciais Philippe, et al. Asymmetric effects of daytime and night-time warming on Northern Hemisphere vegetation [J]. Nature, 2013,501(7465):88-92.

[9] Roerink G J, Menenti M, Soepboer W, et al. Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2003,28(1-3):103-109.

[10] 韩雅,朱文博,李双成.基于 GWR 模型的中国 NDVI 与气候因子的相关分析[J].北京大学学报(自然科学版),2016,52(6):1125-1133.

[11] 郑朝菊,曾源,赵玉金,等.20 世纪 90 年代以来中国西南地区土地覆被变化[J].生态学报,2016,36(23).

[12] 国政,聂华,臧润国,等.西南地区天然林保护工程生态效益评价[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2011,32(2):65-72.

[13] 华明.青藏高原热状况对夏季西南地区气候影响的分析及模拟[J].高原气象,2003,22(S1):152-156.

[14] Zhou Q, Wei X, Zhou X, et al. Vegetation coverage change and its response to topography in a typical karst region: The Lianjiang River basin in Southwest China [J]. Environmental Earth Sciences, 2019,78(6):1-10.

[15] Yue Yuemin, Wang Kailung, Zhang B, et al. Remote sensing of fractional cover of vegetation and exposed bedrock for karst rocky desertification assessment [J]. Procedia Environmental Sciences, 2012,13(1):847-853.

[16] 吕妍,张黎,闫慧敏,等.中国西南喀斯特地区植被变化时空特征及其成因[J].生态学报,2018,38(24):8774-8786.

[17] 谢慧君,张廷斌,易桂花,等.川西高原植被 NDVI 动态变化特征及对气候因子的响应[J].水土保持通报,2020,40(4):286-294.

[18] 李应鑫,李石华,彭双云.云南省九大高原湖泊流域 NDVI 时空演变及其与气候的响应关系[J].水土保持研

- 究,2020,141(4):196-204.
- [19] 刘晔,李鹏,许玥,等.中国西南干旱河谷植物群落的数量分类和排序分析[J].生物多样性,2016,24(4):378-388.
- [20] Friedl M A, McIver D K, Hodges J C F, et al. Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results [J]. *Remote sensing of Environment*, 2002,83(1/2):287-302.
- [21] 李金洁,王爱慧.基于西南地区台站降雨资料空间插值方法的比较[J].气候与环境研究,2019,24(1):52-62.
- [22] Yang Yunjie, Wang Shijie, Bai Xiaoyong, et al. Factors affecting long-term trends in global NDVI [J]. *Forests*, 2019,10(5):372-389.
- [23] 范松克,郝成元.2001—2016年河南省 NDVI 时空变化特征分析[J].江苏农业学报,2019,35(4):860-867.
- [24] 王计平,郭仲军,程复,等.北疆生态功能区降水气温时空变化及其与 NDVI 相关性分析[J].林业资源管理,2017,2(1):110-1171.
- [25] 许翔驰.中国植被时空变化特征[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2019,35(2):100-104.
- [26] 宋乃平,杜灵通,王磊.盐池县 2000—2012 年植被变化及其驱动力[J].生态学报,2015,35(22):7377-7386.
- [27] 张勃,王东,王桂钢,等.西南地区近 14 年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.
- [28] 冯国艳,马明国,时伟宇.2001—2016 年西南喀斯特地区植被动态变化分析[J].广东农业科学,2018,44(12):94-102.
- [29] 华维,范广洲,李洪权,等.西南地区近 21 年来 NDVI 变化特征分析[J].成都信息工程学院学报,2008,23(1):91-97.
- [30] 尹文有.全球变暖背景下西南地区气候变化特征分析[D].甘肃 兰州:兰州大学,2010.
- [31] Zhao Anzhou, Zhang Anbing, Lu Chunyan, et al. Spatiotemporal variation of vegetation coverage before and after implementation of Grain for Green Program in Loess Plateau, China [J]. *Ecological Engineering*, 2017,104:13-22.
- [32] 芦鑫,殷淑燕,毛乌素沙地周边地区相对湿度与 NDVI 变化研究[J].西北大学学报(自然科学版),2018,48(234):133-142.
- [33] 宋富强,康慕谊,杨朋,等.陕北地区 GIMMS, SPOT-VGT 和 MODIS 归一化植被指数的差异分析[J].北京林业大学学报,2010,32(4):72-80.
- [34] 朱艺旋,张扬建,俎佳星,等.基于 MODIS NDVI, SPOT NDVI 数据的 GIMMS NDVI 性能评价[J].应用生态学报,2019,30(2):536-544.
- [35] 庞静.基于地理探测器模型的自然和人为因素对植被变化的影响[D].江西 太原:山西大学,2016.
- [36] 王静,刘天军.基于 RUE 的植被覆盖动态演变特征及归因分析:以宝鸡地区为例[J].生态环境学报,2020,29(6):1078-1089.
- [37] 贾京伟,牛健植,蔺星娜,等.洋河流域 NDVI 时空变化及驱动力分析[J].北京林业大学学报,2019,41(2):106-115.
- [38] 黑哲,王飞,韩剑桥,等.退耕还林(草)以来陕北白于山区植被覆盖与土壤侵蚀强度变化[J].水土保持研究,2020,27(141):43-50.
- [39] 宋乃平,杜灵通,王磊.盐池县 2000—2012 年植被变化及其驱动力[J].生态学报,2015,35(22):7377-7386.
- [40] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [41] 张思源,聂莹,张海燕,等.基于地理探测器的内蒙古植被 NDVI 时空变化与驱动力分析[J].草地学报,2020,28(5):1460-1472.
- [42] 陶帅,邝婷婷,彭文甫,等.2000—2015 年长江上游 NDVI 时空变化及驱动力分析:以宜宾市为例[J].生态学报,2020,40(14):1-15.
- [43] Wang Jing, Feng Liang, Palmer Paul, et al. Large Chinese land carbon sink estimated from atmospheric carbon dioxide data [J]. *Nature*, 2020, 586 (7831): 720-723.