

基于 MODIS-EVI 指数的四川省植被指数 时空演变特征及驱动力

伍宜丹, 马悦, 吴浩然, 肖逸, 李豪

(四川农业大学 资源学院, 成都 611130)

摘 要:四川省地形地貌复杂,是长江流域生态屏障的战略要地,探究该区域植被覆盖时空演变规律,以此检验各项水土保持工程的完成度、生态环境建设举措的实施度具有重要意义。研究基于 MODIS 的增强型植被指数(EVI)数据,运用趋势线分析、莫兰指数分析、热点分析等方法,分析了 2001—2018 年四川省 EVI 植被指数的时空变化及其影响因素。结果表明:(1) 四川省 EVI 植被指数空间上明显呈东高西低分布规律,空间异质性显著;(2) 2001—2018 年 EVI 指数以 0.22%/a 的速率波动上升,13.6%研究区域的年际 EVI 变化率为负值,86.4%为正值。高值集中分布在四川东部广元、达州、宜宾、泸州、乐山、眉山和广安等地市,负值集中分布在甘孜、阿坝州以及成都市;2001—2018 年四川省整体植被改善程度良好,但川西北高原和川西南山地地区的改善度明显低于川东四川盆地;(3) 2001—2018 年四川省 EVI 植被指数增长明显,EVI 指数变化与气象因子关联度低,与人工生态工程相关性高。生态工程建设是其变化的主要驱动力。

关键词:MODIS-EVI 指数; 时空演变; 驱动力; 四川省

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0230-07

Characteristics of Temporal and Spatial Evolution and Driving Forces of Vegetation Index in Sichuan Based on MODIS-EVI

WU Yidan, MA Yue, WU Haoran, XIAO Yi, LI Hao

(College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Sichuan Province has the complex topography and geomorphology which is a strategic place for ecological barriers in the Yangtze River Basin. It is of great significance to investigate the temporal and spatial evolution of vegetation coverage in this region to test the completion of various soil and water conservation projects and the implementation of ecological and environmental construction measures. Based on the MODIS Enhanced Vegetation Index (EVI) data, the trend-line analysis, Moran index analysis, and hotspot analysis were used to analyze the temporal and spatial changes of the EVI vegetation index and its influencing factors in Sichuan Province from 2001 to 2018. The results showed that: (1) the spatial distribution of the EVI vegetation index in Sichuan Province was obviously high in the east and low in the west, and the spatial heterogeneity was significant; (2) the EVI index fluctuated at a rate of 0.22% per year from 2001 to 2018, the inter-annual EVI change rate was negative in 13.6% of the research region and was positive in 86.4% of the research region; high values concentrated in the cities of Guangyuan, Dazhou, Yibin, Luzhou, Leshan, Meishan, and Guang'an in eastern Sichuan, negative values concentrated in Ganzi, Aba Prefecture, and Chengdu; from 2001 to 2018, the overall vegetation improvement in Sichuan Province was good, but the degree of improvement in the northwestern Sichuan plateau and the mountainous region in southwestern Sichuan was significantly lower than that in the eastern Sichuan Basin; (3) the EVI vegetation index in Sichuan Province had increased significantly from 2001 to 2018, and the change in EVI index had low correla-

收稿日期:2019-11-05

修回日期:2019-12-05

资助项目:大学生创新训练项目“基于 GWRK 的 GPM 降水数据的融合校正研究”(201910626034);国家自然科学基金“川中丘陵区小流域侵蚀产沙与土壤营养元素流失对退耕还林的响应研究”(41501291)

第一作者:伍宜丹(1999—),女,四川眉山人,本科生,研究方向为 3S 技术及其应用。E-mail:wuyidan1119@163.com,15528296659

通信作者:李豪(1980—),男,广西梧州人,博士,讲师,主要从事 3S 技术及其应用的研究。E-mail:lihao@sicau.edu.cn,15388230351

tion with meteorological factors and high correlation with artificial ecological engineering, indicating that the ecological engineering construction was the main driving force for its change.

Keywords: MODIS-EVI; space-time evolution; driving force; Sichuan Province

植被作为重要的陆地生态环境变化的“指示器”,是物质循环和能量传递的纽带^[1-3],具有维持生态系统平衡和调剂气候的重要功能^[4]。植被指数能反映出研究区域内植被进行光合作用的面、植被的茂密程度和地表实时环境状况,是水土保持和生态系统研究的重要参数,目前已得到广泛应用^[5-7]。

现常用的植被指数主要是归一化植被指数(Normalization Difference Vegetation Index, NDVI)和增强型植被指数(Enhanced Vegetation Index, EVI)。已有研究表明,NDVI 在植被生长旺盛期容易达到饱和,且处理大气干扰能力较弱、无法忽略土壤背景干扰,而 EVI 能根据红光和蓝光通过气溶胶的差别,补偿残留气溶胶对红光的吸收,克服 NDVI 在植被高覆盖地区易饱和、植被低覆盖区受土壤植被影响较大、对大气去除不彻底等缺点,更好地揭示植被的季节性^[6]。

近年来,已有大量学者基于 EVI 植被指数研究国内不同区域植被变化情况。马昊翔等^[8]基于 2005—2014 年 EVI 植被指数和气象数据,分析青海省草地植被覆盖变化及驱动因素,发现东部黄土高原区呈显著增长,而柴达木盆地等地呈退化趋势,并认为该现象与温度和降水的相关性显著。苏俊磊等^[9]基于 MODIS-EVI 植被指数数据研究广西西江流域 2007—2016 年植被时空变化特征,发现区域内 EVI 植被指数除存在两次可能与重大自然灾害有关的骤然下降现象外,其余年份均呈上升趋势。曹艳萍等^[10]基于 EVI 植被指数数据,指出华北平原 2002—2016 年呈现好转的趋势,受人类活动和水文要素的双重影响。

四川省地处长江上游,是重要的水资源和泥沙来源地,也是长江流域生态屏障的战略要地,其地形地貌复杂,具有重要的研究意义。建国以来,由于资源不合理利用以及毁林开垦现象严重,导致四川省森林资源破坏、水土流失严重^[11]。自 2000 年成为国家重大生态工程建设的首批示范区以来,四川省积极开展天然林资源保护、退耕还林还草等水土流失治理、植被恢复工程。目前,各项工程在植被恢复、水土保持方面已经取得良好的成效。但是,利用 MODIS-EVI 植被指数分析四川省植被指数时空变化特征,并在此基础上对驱动力进行阐述的研究仍为空白。因此,本文基于 MODIS-EVI 的遥感数据,运用趋势线分析等

方法,对四川省 2001—2018 年植被指数时空变化规律和驱动力进行分析,旨在为区域内植被监测、造林工程和水土保持工程实施完成度、长江上游生态环境治理和生态屏障修复等方面提供参考依据。

1 研究区概况

四川省位于我国西南腹地(图 1),地处长江上游,介于 97°21′—108°12′E 和 26°03′—34°19′N,辖区面积为 48.5 万 km²^[12]。辖区以岷山—龙门山—邛崃山—大小凉山一线为界,西部高、东部低的地貌特点显著。西部为高原、山地,海拔多在 3 km 以上;东部为盆地、丘陵,海拔多介于 0.5~2 km。西北部属于高寒气候,海拔高差极大,气候立体变化显著,冬寒夏凉,年均温 4~12℃,年降水量 500~900 mm^[12];西南部为山地亚热带半湿润气候,四季区分度不明显,年均温 12~20℃,年降水量 900~1 200 mm;东部为四川盆地地区,亚热带湿润、半湿润气候,四季分明,雨热同期,年均温 16~18℃,年降水量 1 000~1 200 mm。四川省植被以高原山地高寒草甸以及亚热带灌丛与常绿阔叶林为主^[13],主要分布在川西高原山地地区。其中,川西高原又以亚高山针叶林和亚高山灌丛草甸为主,川西南山地以常绿阔叶林为主;人工林、常绿阔叶林主要分布在川东四川盆地。

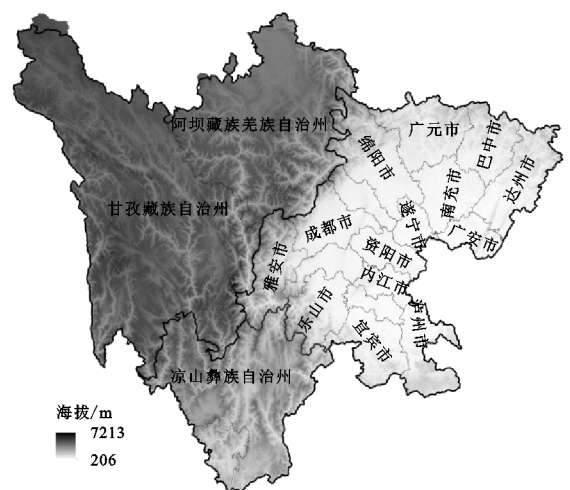


图 1 四川省区域位置

2 数据与方法

2.1 数据准备

本研究采用的四川省行政边界来自全国地理信息资源目录服务系统(<http://www.webmap.cn/>)的 1:25 万全国基础地理数据库。EVI 数据来自美国

NASA LPDAAC EOS 数据中心 (<https://ladweb.nascom.nasa.gov/data>) 提供的 MOD13A3 月植被指数 L3 产品, 时间跨度为 2001—2018 年, 分辨率为 1 km; 各年年平均气温和年降水量数据均来源于中科院资源环境数据中心 (<http://www.resdc.cn/>), 空间分辨率为 1 km; 各年统计数据来自于四川省统计年鉴。为提高分析效率, 预处理时将上述各 3 个数据重采样至 5 km。

本研究首先通过四川省行政区划矢量图, 掩膜提取得到 2001—2018 年 MODIS-EVI 月植被指数数据, 然后利用最大值合成法 (Maximum Value Composite, MVC) 合成 EVI 月植被指数数据后, 得到研究区域 2001—2018 年的 MODIS-EVI 年植被指数的最大值序列影像, 代表该年内植被生长状态。时间演变规律研究中, 基于趋势线分析法, 得到四川省 2001—2018 年各像元 EVI 指数年际变化率; 研究空间演变规律时, 基于空间自相关分析和热点分析法进行相关性分析, 通过莫兰指数和 z 得分的大小反映像元间的聚集程度。最后通过相关性分析来研究气象因子以及人为生态工程对植被指数的影响。

2.2 研究方法

2.2.1 趋势线分析法 以时间为自变量, 对 EVI 指数进行线性回归分析, 可以通过反映出整个区域植被的时间变化规律。 ρ_{slope} 目前该方法已广泛应用于各领域时间序列分析研究^[14-15]。计算公式如下:

$$\rho_{\text{slope}} = \frac{y \sum_{i=1}^{18} (i \cdot \text{EVI}_i) - \sum_{i=1}^{18} i \sum_{i=1}^{18} \text{EVI}_i}{y \sum_{i=1}^{18} i^2 - (\sum_{i=1}^{18} i)^2} \quad (1)$$

式中: ρ_{slope} 为 EVI 年际变化率; i 为第 i 年 ($1 \leq i \leq 18$); y 表示研究年数, 本文中 $y = 18$ 。以像元 (分辨率 5 km) 为单位, 以年份作为自变量、EVI 指数为因变量, 使用最小二乘法 (Ordinary Least Square; OLS) 拟合各像元 2001—2018 年 EVI 指数趋势线, 并将斜率值赋值给该像元, 得到四川省范围像元级 EVI 指数的年际变化率。 ρ_{slope} 绝对值越大说明 EVI 值变化率越大。

2.2.2 基于全局莫兰指数的空间自相关分析 全局莫兰指数 (Global Moran's I) 分析也称全局空间自相关分析, 指某空间单元与其相邻空间单元格的现象就某种特征值在空间上的关联性^[16-18]。计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

式中: n 为区域内像元总数; x_i 和 x_j 是区域 i 和 j 的

观测值; $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$ 为样本方差; w_{ij} 为权重矩阵。全局莫兰指数值介于 $[-1, 1]$, 绝对值越大则表明自相关性越强; 反之, 空间自相关性越弱。本文对 2001—2018 年四川省各像元为单位, 以各像元的年均 EVI 植被指数进行空间自相关分析, 通过莫兰指数的大小来反映不同年份植被覆盖的破碎化程度。

2.2.3 热点分析 热点分析是一种局部空间自相关分析^[19-20], 其比基于莫兰指数的空间自相关分析法更能准确地推测出聚集区域的中心。具有显著统计意义的热点, 除本身为高值外, 还要被其他高值包围。因此可对空间中每一个要素进行 Getis-Ord G_i^* 统计, 得到高值或低值要素在空间上发生聚类的位置。某要素与邻近要素的局部总和与所有要素总和比较, 当局部总和与预期局部总和有很大差异, 以致无法成为随机产生结果时, 会产生一个具有显著统计学意义的 z 得分。计算公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2]}{n-1}}} \quad (3)$$

式中: x_j 是要素 j 的属性值; w_{ij} 是要素 i 和 j 之间的空间权重; n 为要素总数, 且:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n X_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (5)$$

每个要素返回的 G_i^* 统计就是 z 得分, z 得分越大, 说明高值聚类越紧密; 反之, 低值聚类越紧密。本文在空间自相关分析的基础上, 进一步利用热点分析法分析, 通过 z 得分的大小分析 2001—2018 年像元间具有显著统计意义的热点和冷点, 即呈现高值和低值聚类的准确范围。

3 结果与分析

3.1 研究区 EVI 时间变化分析

四川省 2001—2018 年平均植被覆盖度以岷山—龙门山—邛崃山—大小凉山为界, 表现出东高西低、南高北低的分布规律, 空间异质性显著, 但区域范围内存在部分区域的植被覆盖度一直稳定在高值或低值, 四川省西北部长期处于低值状态。达州、德阳和成都等市首先于 2006 年出现极高值分布区, 达州—巴中—广元—绵阳 4 个城市逐渐于 2012 年形成极高值包围圈, 并在 2018 年, 与德阳、成都、雅安、乐山、宜宾五市极高值带联

结成一带。2001 年、2006 年、2012 年、2018 年植被覆盖度年均值分别为 0.255, 0.272, 0.277, 0.295, 标准差

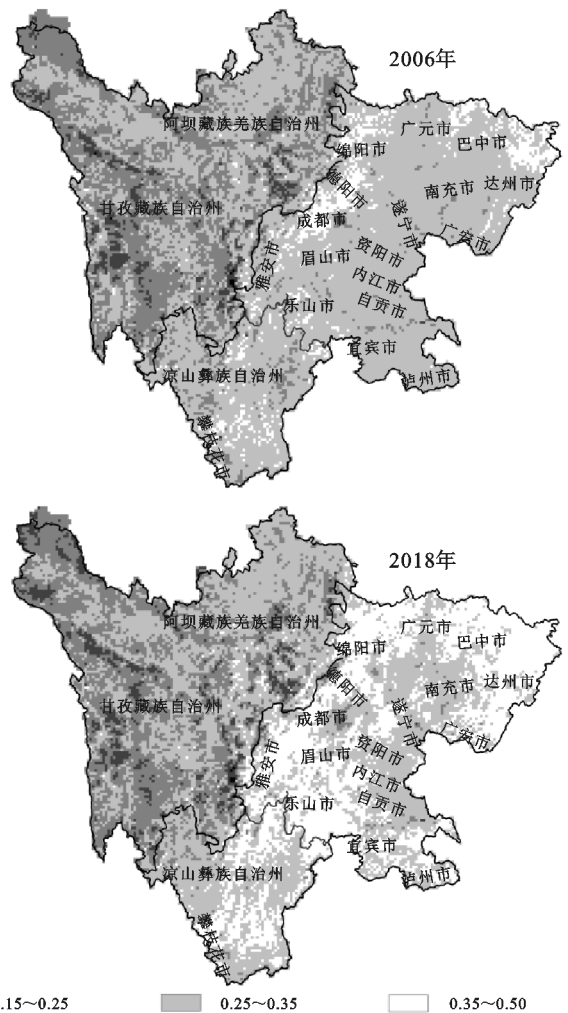
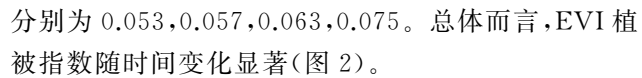
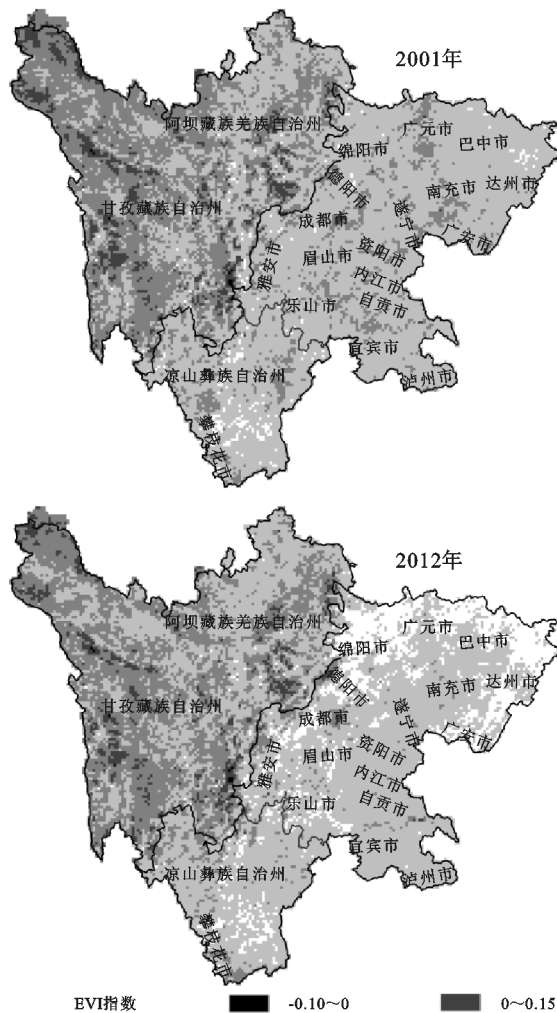


图 2 2001 年、2006 年、2012 年、2018 年四川省 EVI 植被指数

近 18 a 研究区域内植被年际 EVI 均值介于 0.255 2~0.294 7,以 0.22%/a 的速率波动上升(图 3)。2001 年出现明显的偏离值,是研究时段内的最低值,分析原因,可能是由于各项工程刚开始实施,植被增长速度较快。2001 年,2006—2008 年,2010 年,2012—2014 年增幅显著,2008—2010 年出现波动下降,并于 2012 年达到较低值。2008 年前后标准差突变明显,但 2007—2009 年 EVI 植被指数值基本符合线性方程拟合值,说明 2008 年的汶川地震给四川植被造成了极大损失的同时,省市州各部门均出台植被恢复举措,使得四川省 EVI 植被指数处于正常值,未出现较大波动。

图 4 是 2001—2018 年四川省 EVI 指数年际变化率。根据四川 2001—2018 年 EVI 多年平均空间分布格局可将四川省大致分为 3 个部分:川西北高原、川西南山地和川东四川盆地。据图可知四川省整体 EVI 植被指数年际变化率存在川东四川盆地 > 川

西南山地>川西北高原的规律。3个区域中都零星分布着植被指数呈负增长的区域。但是川西北高原的整体变化率比较平均,即不存在年际变化率过于极端的地区。川西南山地地区属于川西北高原与川东四川盆地 EVI 植被指数的过渡区,该区的西南部—东北部连接带,变化率较大,增长趋势较明显。对比3个区域,可发现整个四川盆地区域 EVI 植被指数变化率都非常显著。

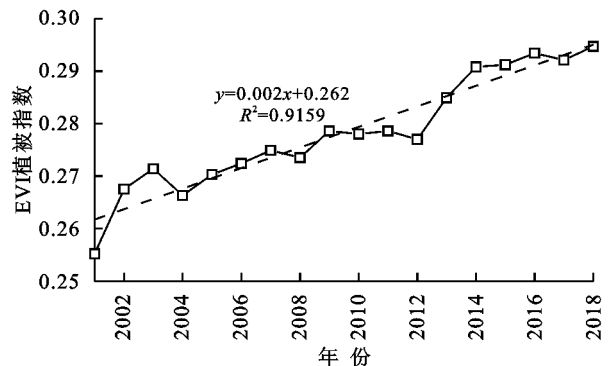


图 3 2001—2018 年四川省年均 EVI 植被指数

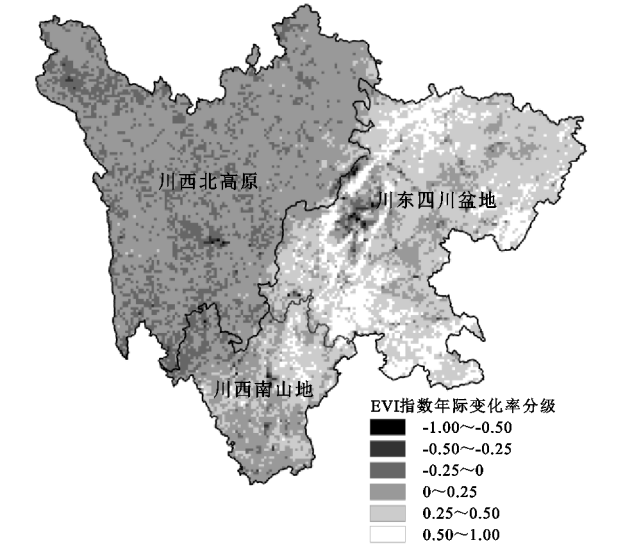


图 4 2001—2018 年四川省 EVI 指数年际变化率

为进一步研究 2001—2018 年四川省植被改善状况,本文将 2001—2018 年 EVI 年际变化率划分为 6 个等级,2001—2018 年四川省 EVI 指数年际变化率分级及面积占比见表 1。

表 1 2001—2018 年四川省 EVI 指数年际变化率分级及面积占比

EVI 斜率值/%	变化等级	面积占比/%
-1.00~-0.50	极显著退化	0.11
~-0.50~-0.25	较显著退化	0.45
-0.25~0	轻度退化	13.00
0~0.25	轻度改善	49.30
0.25~0.50	较显著改善	27.70
0.50~1.00	极显著改善	9.40

结合图 4 和表 1 分析,13.6%研究区域格网的年际 EVI 变化率为负值,集中分布在川西北地区甘孜州以及成都市境内,这些区域的植被覆盖呈减少趋势;86.44%的为正值,区域植被覆盖呈增加趋势。川西北高原地区极显著退化、较显著退化、轻度退化、轻度改善、较显著改善和极显著改善的面积占比分别为 0,0.32%,22.20%,75.47%,1.95%,0;川西南山地地区极显著退化、较显著退化、轻度退化、轻度改善、较显著改善和极显著改善的面积占比分别为 0.10%,0.67%,10.93%,47.57%,35.63%,5.01%;川东四川盆地地区极显著退化、较显著退化、轻度退化、轻度改善、较显著改善和极显著改善的面积占比分别为 0.19%,0.54%,2.38%,17.77%,56.93%,22.19%。

川西北高原范围内的植被变化情况不存在极显著退化和极显著改善区域,区域内的植被变化以轻度改善和较显著改善为主,轻度改善面积达 60.12%,较显著改善面积占 11.26%。川西南山地地区以轻度改善和较显著改善为主,合计面积占比超 83%。与川西北高原相比,川西南山地的总体改善程度更好;川东四川盆地较

显著改善面积占比达 56.93%,极显著改善的面积占 13.40%,远大于川西北高原和川西南山地两个区域,是四川省植被恢复程度最好的区域。整体而言,所划分的 3 个区域年际变化大多介于-0.25~0.50 范围内,即以轻度退化、轻度改善、较显著改善为主,而较显著退化、极显著退化和极显著改善面积占比较小,并且川东四川盆地植被增长速度远高于另外两个区域。西部 EVI 指数变化率基本稳定在 0%~0.25% 范围,甘孜州极少部分区域存在变化率在-1~-0.5 区域;东部变化率基本大于 0,负值区域基本在成都平原范围,分析该现象出现原因,可能与成都市城市扩张速度过快、人口增长迅猛等因素有关。

3.2 研究区 EVI 空间变化分析

由四川省 2001—2018 年平均 EVI 指数(图 5),可看出四川省范围内植被指数平均数出现明显的空间差异性,东西部差异较大。2001—2018 年 EVI 指数平均值为 0.255,标准差为 0.053。最大值为 0.410,零星分布在在川南、川东北地区;最小值为-0.100,分散出现在川西甘孜、阿坝州以及成都市范围内。

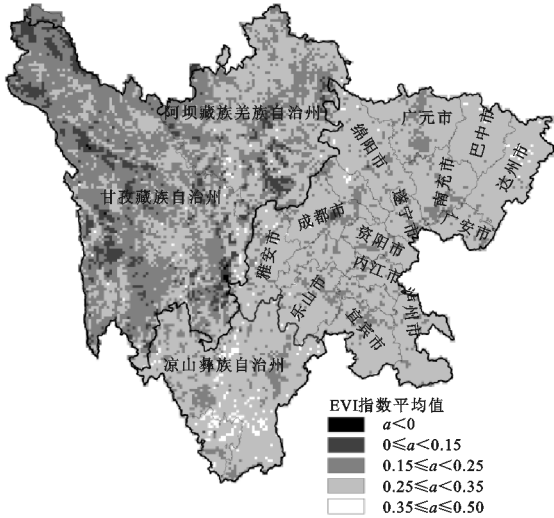


图 5 2001—2018 年四川省平均 EVI 指数

结合研究区实际情况将植被覆盖度分为无植被覆盖、极低覆盖、低覆盖、中覆盖、高覆盖 5 个级别(表 2)。2001 年基本以植被低覆盖和中覆盖为主,2001—2018 年,低、中植被指数面积逐年减少,2018 年高植被指数区域面积超过区域总面积的 25%,而低植被指数区域面积下降近 30%,中植被指数面积减少超过 23%。整体情况可反映出:东西部各项造林工程、退耕还林工程以及天然林保护工程完成情况良好,植被覆盖呈现良好增长态势。

3.3 研究区 EVI 空间自相关分析

对四川省 EVI 植被指数进行全局空间自相关分析,得到 2001—2018 年四川省 EVI 植被指数莫兰指数(图 6)。研究区 2001 年全局莫兰指数最低,说明

该年植被覆盖破碎化程度较大,2001—2018 年省内植被覆盖破碎化程度逐渐减小。莫兰指数在不同年份表现出一定的波动性:在 2004 年、2006 年、2009 年、2017 年、2018 年略微降低,2010—2016 年都呈现

良好的增长态势但在 2017 年开始略微减少。2001—2018 年莫兰指数均大于 0 且明显增大,并且 z 得分都较大($z>0.7$),说明区域内植被覆盖度在空间上具有极强正相关性,整体高聚集效应也更为显著。

表 2 2001 年、2006 年、2012 年、2018 年 EVI 植被指数分级及各项面积占比

级别	阈值	占比/%				地类
		2001 年	2006 年	2012 年	2018 年	
无植被覆盖	$EVI<0$	0.06	0.06	0.06	0.05	水体、建筑物、裸地
极低植被覆盖	$0\leqslant EVI<0.15$	4.73	3.38	3.65	3.99	开垦地、荒地
低植被覆盖	$0.15\leqslant EVI\leqslant 0.25$	32.09	25.55	27.11	22.60	低产草地、沙化土地
中植被覆盖	$0.25\leqslant EVI<0.35$	61.77	65.02	58.27	47.33	疏林地、草地、普通耕地
高植被覆盖	$0.35\leqslant EVI\leqslant 0.50$	1.35	5.99	10.91	26.03	优质耕地、密林地、农田

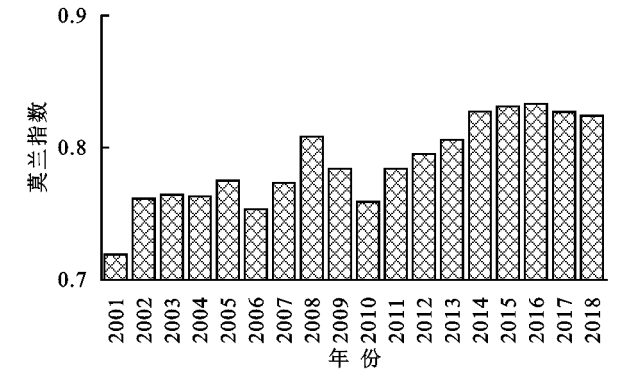


图 6 2001—2018 年四川省 EVI 植被指数莫兰指数

对 2001 年、2009 年、2018 年 EVI 植被指数进行热点分析,深入研究四川省 EVI 植被指数的局部相关性,得到 2001 年、2006 年、2012 年、2018 年四川省 EVI 指数热点分析以及 2001—2018 年平均 EVI 指数热点分布图(附图 1)。结果表明:(1) 四川省植被覆盖存在明显的差异性,植被覆盖度热点和冷点分带明显,植被覆盖度高的区域集中分布在省东部,而西部覆盖度低;(2) 2001 年植被覆盖度空间分布最为离散,极少出现连片分区现象,不显著区域占比 63.0%。至 2018 年四川省植被覆盖度的高值点和低值点四川省的植被覆盖在空间上出现扩散效应,负值点和正值点范围都在扩大,不显著区域范围占比缩小至 49.6%研究区域内不显著区域的范围显著减少。

3.4 EVI 变化驱动力分析

气候条件是影响植被分布的主要环境因子,其中又以气温和降水为主。为探究 2001—2018 年四川省植被覆盖时空演变驱动因素,本文从气象因子、生态工程两方面进行进一步研究。2001—2018 年,四川省年均降水量以 2.48 mm/a 的速度呈不显著波动减少趋势。全省降雨可以青川—汶川—康定—九龙—盐源为界,东部川中丘陵、成都平原和川东平行岭谷地区年均降水量达 1 000 mm/a 以上,水量丰富,为全国突出的多雨区;雅安—乐山地区年均降水量高达 1 300 mm/a 以

上,是全省降水最富集地带;川西高原山地区域年降水量较少,基本不足 800 mm/a,石渠等县年均降水量不足 600 mm/a,属于降水量极少区域。

温度波动较大,整体以 0.01℃/a 的速度增加,增温幅度低于全国平均水平。2001—2018 年四川年平均最高气温和年平均最低气温均呈上升趋势,且最低温度对增温贡献度最大。除 2003 年,2007 年,2014 三年外,其余年份温度与 EVI 指数的变化率呈正相关趋势(图 7)。

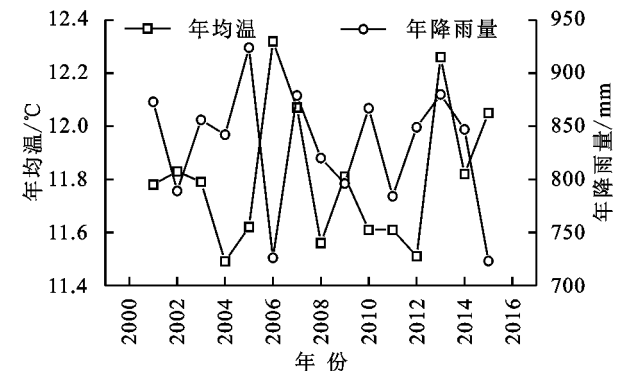


图 7 2001—2015 年年降水量和年均温

四川省总体虽呈“干热化”发展趋势,但通过对四川省 EVI 植被指数与降水量、温度的相关性验证得:降水量和温度的显著性 p 值分别为 0.296,0.255,均大于 0.05,故四川省 EVI 植素与降水量以及温度相关性不显著,因此在四川省范围内降水量和温度对 EVI 植被指数的影响程度较低。

进一步分析生态工程措施对植被覆盖度的影响(图 8),四川自 2000 年成为“退耕还林工程”和“天保工程”首批示范区,至今在各市开展了退耕还林、植树造林、天然林保护以及封山育林等一系列生态措施,使 2001—2018 年四川省森林面积增加 56.93%^[13],实施人工造林和封山育林措施的有林地和丘陵区植被改善显著。计算森林面积与 EVI 年均值的相关性可知:森林面积与植被指数变化呈现显著正相关关系($p<0.05$)。

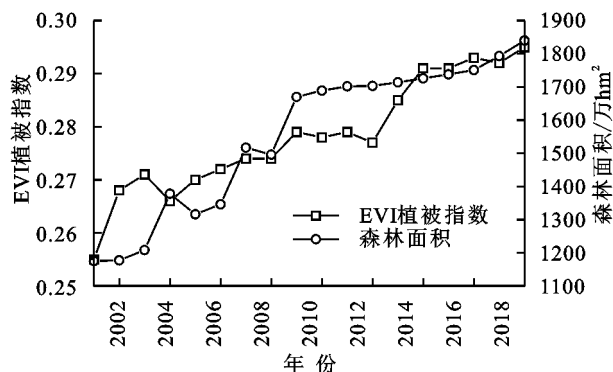


图 8 2001—2018 年森林面积与 EVI 植被指数

4 讨论与结论

4.1 讨论

进一步分析川东四川盆地和川西高原山地年际变化率出现较大差异的原因。四川东部盆地属于典型的丘陵集中分布带,地处龙门山前缘向盆地的过渡地带,从北向南地形由深丘向浅丘过渡,海拔介于 250~600 m。该区域人口集中,垦殖率 50%~70%,以水稻、棉花、玉米、油菜、甘蔗作为主要的农作物,土壤质地松软,极易受到侵蚀和风化。2018 年四川省森林覆盖率达 38.1%^[13],但东部地区不足 7%,是四川森林覆盖度最低区域。成都作为四川省省会,与其周围城市的 2001—2018 年际变化率出现较大差异,即出现明显的负增长。分析其原因:成都平原为亚热带季风湿润气候,地形以平原为主,耕地利用率达 90.2%。植被以栽培植被为主,且人工种植栽培植被多为粮食作物、果林等人工经济林,植被覆盖受人类活动影响大^[21]。由于城市扩张,城市人口增长(常住人口数从 1 013 万人增至 1 604 万人)和城市现代化发展引起城市建设用地比例迅速上升,对成都市植被覆盖产生负面影响。

而川西高原与山地地区部分区域属于干旱半干旱区域,年均降水量在 400 mm 以下。如甘孜州的乡城县、得荣县、巴塘县以及攀枝花市。这些地区生态状况脆弱,自然条件恶劣,原始林业资源匮乏,并且滥采、过度放牧等人为干扰现象严重,致使全省植被退化现象严重。已有学者研究表明^[22]:四川省干旱半干旱区域生态环境的退化是地貌陡峭、地表结构脆弱、水分分配不均、板块运动活跃等自然因素和超载放牧、毁林开荒、陡坡耕作等人为因素共同作用而成。因此,在此基础上如何根据土壤和水分这两大限制因素提高土壤有效水含量,进而促进植被覆盖度是我省未来一段时期发展的重点。

4.2 结论

(1) 2001—2018 年,四川省植被覆盖度空间分

布不均,呈明显的东高西低分布规律。

(2) 2001—2018 年全省 EVI 指数以 0.22%/a 的速率增加,四川省范围内 13.6% 面积的年际 EVI 变化率为负值,86.4% 的为正值,以岷山—龙门山—邛崃山—大小凉山为界,东部 EVI 植被指数增速明显,高值集中分布在广元等市,负值分布在西部川西高原和山地的甘孜州、阿坝州部分县以及成都市温江等区。

(3) 2001—2018 年研究区域内极显著改善植被面积占比 9.4%、较显著改善 27.7%、轻度改善 49.3%。整体植被改善程度良好,川东四川盆地改善情况远高于西部川西北高原和川西南山地。

(4) 四川省总体呈“干热化”发展趋势,在年均温增加、年降水量减少的条件下,EVI 植被指数仍显著增加,说明我省各项生态工程建设实施情况良好,水土保持能力提升显著。

参考文献:

- [1] Cui L, Shi J. Temporal and spatial response of vegetation NDVI to temperature and precipitation in eastern China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2010,20(2):163-176.
- [2] 朱林富,谢世友,杨华,等.基于 MODIS-EVI 的重庆植被覆盖时空分异特征研究[J].生态学报,2018,38(19):6992-7002.
- [3] 高江波,吴绍洪,蔡运龙.区域植被覆盖的多尺度空间变异性:以贵州喀斯特高原为例[J].地理研究,2013,32(12):2179-2188.
- [4] 杨波,王全九,许晓婷,等.还林还草工程后榆林市 NDVI 时空变化趋势[J].生态学杂志,2019,38(6):1839-1848.
- [5] 万红梅,李霞,董道瑞,等.塔里木河下游植被覆盖变化遥感定量分析[J].自然资源学报,2013,28(4):668-677.
- [6] 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.
- [7] 王正兴,刘闯, Huete Alfredo. 植被指数研究进展:从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI[J].生态学报,2003,23(5):979-987.
- [8] 马昊翔,陈长成,宋英强,等.青海省近 10 年草地植被覆盖动态变化及其驱动因素分析[J].水土保持研究,2018,25(6):137-145.
- [9] 苏俊磊,罗为群,王广哲,等.基于 MODIS-EVI 的广西西江流域植被时空变化特征及其影响因素[J].水土保持研究,2019,26(3):232-238.
- [10] 曹艳萍,秦奋,庞营军,等.2002—2016 年华北平原植被生长状况及水文要素时空特征分析[J].生态学报,2019,39(5):1560-1571.
- [11] 彭文甫,张冬梅,罗艳玫,等.自然因子对四川植被 NDVI 变化的地理探测[J].地理学报,2019,74(9):1758-1776.
- [12] 四川省统计局.四川统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2016.

利用效率研究进展[J].应用生态学报,2010,21(12):3255-3265.

[12] 王会肖,刘昌明.作物水分利用效率内涵及研究进展[J].水科学进展,2000,11(1):99-104.

[13] 熊伟,王彦辉,于澎涛.树木水分利用效率研究综述[J].生态学杂志,2005,24(4):417-421.

[14] 胡化广,张振铭,吴生才,等.植物水分利用效率及其机理研究进展[J].节水灌溉,2013(3):11-15.

[15] 曹生奎,冯起,司建华,等.植物水分利用效率研究方法综述[J].中国沙漠,2009,29(5):853-858.

[16] 王云霓,何聪,熊伟,等.宁夏六盘山 3 种典型植物群落水分利用特征及其组分的季节变化[J].水土保持研究,2015,22(4):34-40.

[17] 邹杰,丁建丽,杨胜天.近 15 年中亚及新疆生态系统水分利用效率时空变化分析[J].地理研究,2017,36(9):1742-1754.

[18] 李肖娟,张福平,王虎威,等.黑河流域植被水分利用效率时空变化特征及其与气候因子的关系[J].中国沙漠,2017,37(4):733-741.

[19] 张远东,庞瑞,顾峰雪,等.西南高山地区水分利用效率时空动态及其对气候变化的响应[J].生态学报,2016,36(6):1515-1525.

[20] 张良侠,胡中民,樊江文,等.区域尺度生态系统水分利用效率的时空变异特征研究进展[J].地球科学进展,2014,29(6):691-699.

[21] 位贺杰,张艳芳,董孝斌,等.渭河流域植被 WUE 遥感估算及其时空特征[J].自然资源学报,2016,31(8):1275-1288.

[22] Liu D, Yu C, Zhao F. Response of the water use efficiency of natural vegetation to drought in Northeast China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(5):611-628.

[23] Xue B L, Guo Q, Otto A, et al. Global patterns, trends, and drivers of water use efficiency from 2000 to 2013[J]. Ecosphere, 2015, 6(10):1-18.

[24] 王芳,张运,黄静,等.基于 MODIS 数据的安徽省植被水分利用效率时空变化及影响因素[J].长江流域资源与环境,2019,28(6):1314-1323.

[25] 施雅风,沈永平,胡汝骥.西北气候由暖干向暖湿转型的信号:影响和前景初步探讨[J].冰川冻土,2012,24(3):219-226.

[26] 姚玉璧,杨金虎,肖国举,等.气候变暖对西北雨养农业及农业生态影响研究进展[J].生态学杂志,2018,37(7):2170-2179.

[27] 张家宝,陈洪武,毛炜峰,等.新疆气候变化与生态环境的初步评估[J].沙漠與绿洲气象,2008,2(4):1-11.

[28] 苏宏新.全球气候变化条件下新疆天山云杉林生长的分析与模拟[D].北京:中国科学院植物研究所,2005.

[29] 徐博轩,陈报章,许光,等.基于叶面积指数估算植被总初级生产力[J].生态学报,2016,36(12):3546-3555.



(上接第 236 页)

[13] 肖建勇,周德全,白晓永,等.四川省植被覆盖时空演变及未来变化趋势分析[J].人民长江,2018,49(5):16-21.

[14] 张月丛,赵志强,李双成,等.基于 SPOTNDVI 的华北北部地表植被覆盖变化趋势[J].地理研究,2008,27(4):745-755.

[15] 孟丹,李小娟,宫辉力,等.京津冀地区 NDVI 变化及气候因子驱动分析[J].地球信息科学学报,2015,17(8):1001-1007.

[16] Nosek V, Netrdová P. What values of Moran's I and Theil index decomposition really mean under different conditions: on the issue of interpretation[J]. Letters in Spatial and Resource Sciences, 2017,10(2):149-159.

[17] Moons E, Brijs T, Wets G. Improving moran's index to identify hot spots in traffic safety[J]. Studied in Computational Intelligence, 2009,176:117-132.

[18] 邵霜霜,师庆东.基于 FVC 的新疆植被覆盖度时空变化[J].林业科学,2015,51(10):35-42.

[19] 王钊,杨山,王玉娟,等.基于最小阻力模型的城市空间扩展冷热点格局分析:以苏锡常地区为例[J].经济地理,2016,36(3):57-64.

[20] 谢永琴,魏晓晨.北京物流企业空间布局演化及影响因素分析[J].陕西师范大学学报:自然科学版,2019,47(2):106-115.

[21] 胡峻嵒,黄访,铁烈华,等.四川省森林植被固碳经济价值动态[J].生态学报,2019,39(1):158-163.

[22] 夏红霞.山地森林/干旱河谷交错带植被退化特征[D].成都:四川农业大学,2009.