

2000—2020 年四川省植被覆盖时空变化特征及其气候驱动因子

辛宇^{1,2}, 孙梦鑫^{1,2}, 张岳^{1,2}, 钟鼎杰^{1,2}, 杨存建^{1,2}

(1.四川师范大学 西南土地评价与监测教育部重点实验室,

四川 成都 610068; 2.四川师范大学 地理与资源科学学院, 四川 成都 610068)

摘要: [目的] 对四川省植被变化规律及影响因子进行分析,为该地区自然资源可持续发展提供理论支持。[方法] 基于 2000—2020 年四川省 MODIS-NDVI 数据集,统计研究区 2000—2020 年植被覆盖度(FVC),分析其时空变化特征以及与气候因子的关系。[结果] ①四川省 FVC 变化趋于稳定,其多年 FVC 均值在 0.50 左右。②在空间尺度上,FVC 存在明显的空间分布异质性,东部 FVC 高于西部,且从西北向东南方向呈现依次递增的空间分布格局。③四川省高植被覆盖度区域面积比例达到 70%左右,其总体植被状况较好,且总体存在缓慢增长的趋势。④研究区内 FVC 变化与气温、降水正负相关关系并存且面积比例接近。⑤四川省 FVC 变化的驱动力主要为非气候因子,以气候因子为驱动的区域面积占研究区总面积的 21.17%。[结论] 四川省地形地貌复杂,气候条件好,植被生长旺盛,多年来 FVC 较为稳定,维护了长江中上游地区的生态环境。四川省未来应着重关注人类活动因子,积极构建长江中上游生态屏障。

关键词: 植被覆盖度(FVC); 像元二分模型; 偏相关分析; 驱动因子; 四川省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)04-0312-08

中图分类号: Q948.1

文献参数: 辛宇, 孙梦鑫, 张岳, 等. 2000—2020 年四川省植被覆盖时空变化特征及其气候驱动因子[J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 312-319. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.04.039; Xin Yu, Sun Mengxin, Zhang Yue, et al. Spatiotemporal characteristics of vegetation cover and climate driving factors in Sichuan Province from 2000 to 2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 312-319.

Spatiotemporal Characteristics of Vegetation Cover and Climate Driving Factors in Sichuan Province from 2000 to 2020

Xin Yu^{1,2}, Sun Mengxin^{1,2}, Zhang Yue^{1,2}, Zhong Dingjie^{1,2}, Yang Cunjian^{1,2}

(1.Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610068, China; 2.Faculty of Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610068, China)

Abstract: [Objective] The vegetation change and important climate factors influencing fractional vegetation coverage (FVC) in Sichuan Province were analyzed in order to provide theoretical support for the sustainable development of natural resources in this area. [Methods] Based on the MODIS-NDVI dataset for Sichuan Province from 2000 to 2020, FVC for the study area from 2000 to 2020 was statistically analyzed, and its spatiotemporal variation characteristics and relationships with climate factors were analyzed. [Results] ① The FVC of Sichuan Province tended to be stable, and the average FVC value was about 0.50. ② FVC exhibited obvious spatial heterogeneity. FVC in the east was higher than in the west, and presented an increasing spatial distribution pattern from northwest to southeast. ③ The areas with high FVC in Sichuan Province accounted for about 70% of the total area, and the overall vegetation status was good. There were signs of slow growth in FVC over time. ④ FVC changes in the study area were positively and negatively correlated with air temperature and precipitation, and the area proportions were close to each other. ⑤ The driving forces of FVC change in Sichuan Province were mainly non-climate factors, and the area driven by climate

收稿日期: 2021-12-20

修回日期: 2022-02-16

资助项目: 国家重点研发计划项目“全球目标网格系统构建与网格化位置服务”(2018YFB0505303); 四川省科技厅重点研发项目“基于遥感影像的国土物态动态监测关键技术研究”(2020YFG0146); 四川省自然资源厅项目(KJ-2021-4)

第一作者: 辛宇(1998—), 女(汉族), 四川省德阳市人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境遥感与 GIS 应用。Email: yux46011@gmail.com。

通讯作者: 杨存建(1967—), 男(汉族), 四川省成都市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事遥感与 GIS 应用研究。Email: yangcj2008@126.com。

factors accounted for 21.17% of the total area. [Conclusion] Sichuan Province has complex topography. The good climatic conditions, vigorous vegetation growth, and stable FVC experienced over a period of many years has maintained the ecological environment of the middle and upper reaches of the Yangtze River. In the future, Planners and officials should give more attention to the impacts of human activities FVC, and actively build an ecological barrier in the middle and upper reaches of the Yangtze River.

Keywords: fractional vegetation coverage; pixel binary model; partial correlation analysis; driving force; Sichuan Province

植被作为生态系统的重要组成部分,在地表物质与能量转换过程中充当了重要角色^[2],是反映气候变化和人类活动的敏感因素,对维护生态环境的稳定性起着重要作用^[3]。植被覆盖度(FVC)是指单位面积内植被冠层垂直投影所占比例^[4],是量化区域内植被生长状态的重要指标,其具有明显的年际变化,对全球生态系统的变化研究起着“指示器”的作用^[5]。获取地表 FVC 变化信息对全球急剧变化影响下的生态系统服务评估、环境监测具有重要意义^[6]。随着 3S 技术的发展,应用遥感技术对地面实行大规模监测,能够快速、便捷地获取高时密土地覆盖数据并揭示 FVC 的时空变化特征^[7]。根据 FVC 的时空变化特征探究其影响因子可为植被覆盖动态监测及生态修复提供科学依据^[8]。现已有研究表明 FVC 的时空分布受气候、地理、人为因素及其组合效应的影响^[9-10],而且在气候因素中,降水量及温度对 FVC 的影响是最大的^[11-14]。近年来,许多学者利用 MODIS-NDVI 数据分析我国各省份、流域等植被覆盖度变化,其研究结果表明近 20 a 来长江、黄河流域植被覆盖度表现为明显的上升趋势,植被状况得到显著改善^[15-18];西北地区植被覆盖度普遍偏低^[19];黄土高原植被覆盖显著增加,其变化与气候相关性不显著^[20];川西高原植被覆盖度自北向南小幅度增加,降水对其变化具有更大的影响^[21-22]。

四川省地处长江上游,其地势地貌复杂多样,FVC 高,对长江流域的生态恢复具有重要作用。因此分析该区 FVC 时空变化及气候效应极其重要。目前,已有学者进行了相关研究。例如,彭文甫等^[23]运用地理探测器模型分析自然因子对四川省植被变化的影响,杨彩云等^[6]利用 MODIS-NDVI 数据对川藏铁路沿线的植被覆盖度变化及其与气候因子的关系研究,得到该区域植被覆盖度持续增长的结论。本文获取到现代遥感技术监测下的影像数据对四川省植被变化规律及影响因子进行分析,为该地区平衡生态环境与经济发展关系提供理论依据^[24]。

1 研究区概况

四川省位于中国西南地区内陆,介于北纬

26°03′—34°19′,东经 97°21′—108°12′之间,面积为 $4.86 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。研究区地处青藏高原和长江中下游平原的过渡带,地势起伏大,高低悬殊,西高东低的特点尤为显著(图 1)。

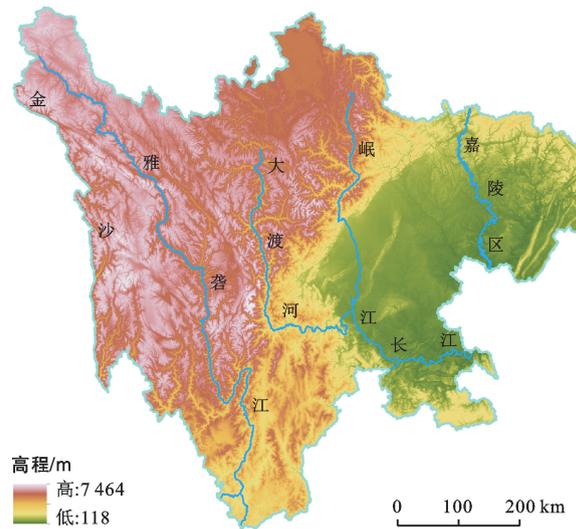


图 1 四川省地理位置示意图

2 数据与方法

2.1 数据来源及处理

本文 NDVI 数据来源于美国航空航天局(NASA)提供的陆地 3 级标准数据产品 MOD13Q1 数据集,其空间分辨率为 $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$,时间分辨率为 16 d。研究选取时间序列为 2000—2020 年的 1908 景影像,通过 MRT(MODIS Reprojection Tools)工具对数据进行预处理,再利用最大值合成法(maximum value composite, MVC)合成年最大 NDVI 值,该方法可以有效地减少大气、云、太阳高度角等因素的影响,得到较为真实的植被分布情况^[25]。本文气象格点数据来源于欧洲中期天气预报中心(ECMWF)发布的再分析数据 ERA5-Land,空间分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 。研究选取时间序列为 2000—2020 年的月气温、降水数据,利用 GIS 分析合成年均温、年累积降水数据。该数据集已在国内外多项研究中被作为参考数据应用,其可信度高^[26-27]。

2.2 研究方法

2.2.1 FVC 估算方法 使用像元二分法计算 FVC^[28], 计算公式为:

$$FVC_{ij} = \frac{(NDVI_{ij} - NDVI_{soil_i})}{(NDVI_{vegi} - NDVI_{soil_i})} \quad (1)$$

式中: i 代表第 i 年; j 代表第 j 个像元; $NDVI_{ij}$ 表示第 i 年第 j 个像元的 NDVI 值; FVC_{ij} 表示第 i 年第 j 个像元的 FVC 指数, 由于大气、云和地表植被生长状况的影响; $NDVI_{vegi}$ (纯净植被像元 NDVI 值) 和 $NDVI_{soil_i}$ (无植被像元 NDVI 值) 不能由理论上直接赋值为 1, 0^[29-30]。

因此, 本文根据国内外学者研究成果分别近似研究区 $NDVI_{vegi}$ 和 $NDVI_{soil_i}$ 的值^[31]。

$$NDVI_{vegi} = Avg_i + Z_{0.025} \times Std_i \quad (2)$$

$$NDVI_{soil_i} = Avg_i - Z_{0.025} \times Std_i \quad (3)$$

式中: i 代表第 i 年; Avg_i , Std_i 分别为第 i 年 NDVI 的平均值和标准差; $Z_{0.025}$ 的值为 1.96。

根据土地覆盖状况将 FVC 分为 5 个等级: 非植被 (<10%), 极低覆盖度 (10%~30%), 低覆盖度 (30%~45%), 高覆盖度 (45%~60%), 极高覆盖度 (>60%)。

2.2.2 FVC 空间演变趋势分析方法 利用一元线性回归分析方法对 2000—2020 年四川省 FVC 动态变化趋势进行模拟。

$$\theta = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times FVC_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n FVC_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (4)$$

式中: θ 为 FVC 变化趋势的斜率; n 为统计时段的累计年数; i 代表第 i 年; FVC_i 为第 i 年植被的覆盖度, 若 $\theta > 0$ 则表明 FVC 呈增长趋势, 若 $\theta < 0$ 则表明 FVC 呈降低趋势。若 $\theta = 0$ 则表明 FVC 几乎无变化。采用 F 检验法对 FVC 的变化趋势进行显著性检验。

2.2.3 相关性分析 通过基于像元偏相关分析方法分析降水和气温对 FVC 变化的影响, 其计算公式为:

$$R_{xy,z} = \frac{R_{xy} - R_{xz} \times R_{yz}}{\sqrt{(1 - R_{xz}^2) \times (1 - R_{yz}^2)}} \quad (5)$$

式中: x 表示 FVC 值; y 表示降水量; z 表示气温; R_{xy} , R_{xz} , R_{yz} 分别表示 FVC 与降水量、FVC 与气温以及气温与降水量的线性相关系数。采用 t 检验法对偏相关系数进行显著性检验。

利用复相关系数分析降水量和气温对 FVC 变化的共同影响, 其计算公式为:

$$R_{x,yz} = \sqrt{1 - (1 - R_{xy}^2)(1 - R_{xz,y}^2)} \quad (6)$$

式中: R_{xy} 表示 FVC 与降水量的线性相关系数; $R_{xz,y}$ 表示 FVC 与气温的偏相关系数。采用 F 检验法对

复相关系数进行显著性检验。

2.2.4 驱动力分区准则 本文参照陈云浩等学者研究的植被变化驱动分区原则, 采用植被定量因子变化方法(表 1)对引起四川省 FVC 变化的驱动力进行分区^[32]。根据偏相关系数和复相关系数的显著性, 将满足复相关显著和 FVC 与降水偏相关的像元定义为降水驱动; 满足复相关显著和 FVC 与气温偏相关的像元定义为气温驱动; 满足复相关显著和 FVC 与降水、气温都偏相关的像元定义为气温降水共同强驱动; 满足复相关显著和 FVC 与降水、气温偏相关不显著的像元定义为气温降水共同驱动; 不满足复相关显著的像元定义为非气候因子驱动型。

表 1 植被覆盖(FVC)变化驱动因素分区准则

FVC 驱动类型	分区准则		
	t 检验(气温)	t 检验(降水)	F 检验
气温驱动	$ t > t_{0.05}$		$F > F_{0.05}$
降水驱动		$ t > t_{0.05}$	$F > F_{0.05}$
气温降水共同强驱动	$ t > t_{0.05}$	$ t > t_{0.05}$	$F > F_{0.05}$
气温降水共同驱动	$ t < t_{0.05}$	$ t < t_{0.05}$	$F > F_{0.05}$
非气候因子驱动			$F \leq F_{0.05}$

3 结果与分析

3.1 植被覆盖空间变化特征

研究区 2000—2020 年 FVC 的空间分布特征如图 2 所示。在 21 a 间四川省的 FVC 存在明显的空间分布异质性, 东部的 FVC 高于西部的 FVC, 且从西北向东南方向呈现依次递增的空间分布格局。龙门山脉一带 FVC 极高, 成都平原城市密集区以及川西高原高海拔区域 FVC 较低。这是由于气候、地形、人类活动等多种因素构成, 西部多为高原、山地, 平均海拔高, 土地贫瘠且常年受积雪覆盖, 植被多为高山草甸, 覆盖率较低; 东部多为盆地、丘陵, 地势平坦, 气候适宜且水热条件好, 土质适合植被生长, 覆盖率高, 但是在成都平原城市一带受人为因素影响, 城市化扩张严重, 植被较为贫乏。研究区内 2000—2020 年非植被、低覆盖度、极低覆盖度、高覆盖度、极高覆盖度 5 种类型各类型的面积比例如图 3 所示。FVC 中的极高覆盖度区和高覆盖度区分布相对集中且广泛, 其合计面积占总面积的 70% 左右。FVC 中的低覆盖度、极低覆盖度和非植被区域存在小范围波动。

3.2 植被覆盖时空变化特征

研究区内 2000—2020 年 NDVI 和 FVC 年变化趋势如图 4 所示。四川省的 NDVI 均值呈缓慢增长趋势, 其增长率约为 0.02/10 a; 四川省年 FVC 变化较小, 其年 FVC 均值在 0.50 左右, 在 2009 年时达到

最低值 0.502 7,在 2017 年时达到最大值 0.503 0。

本文采用一元线性回归分析方法对 2000—2020 年四川省 FVC 动态变化趋势进行分析,并对变化趋势做显著性检验(表 2),显著性统计结果共分为 5 类:显著减少、减少、稳定、增加、显著增加(图 5)。2000—2020 年 FVC 变化趋势如下:FVC 呈增加趋势的区域($slope > 0$)面积比例为 50.90%,呈现减少趋势的区域($slope < 0$)面积比例为 49.10%;呈降低

趋势区域主要分布在川西高原及成都平原城市密集区,呈增加趋势区域主要分布在四川东部和南部。2000—2020 年川西高原 FVC 存在小范围波动;成都平原城市密集区显著降低;四川东部及南部 FVC 明显增加。按照表 2 统计结果可以发现,趋于稳定区域面积比例达 62.78%,显著减少区域比例最小为 5.90%,说明四川省的生态稳定性较好,为长江流域生态修护创造了良好的条件。

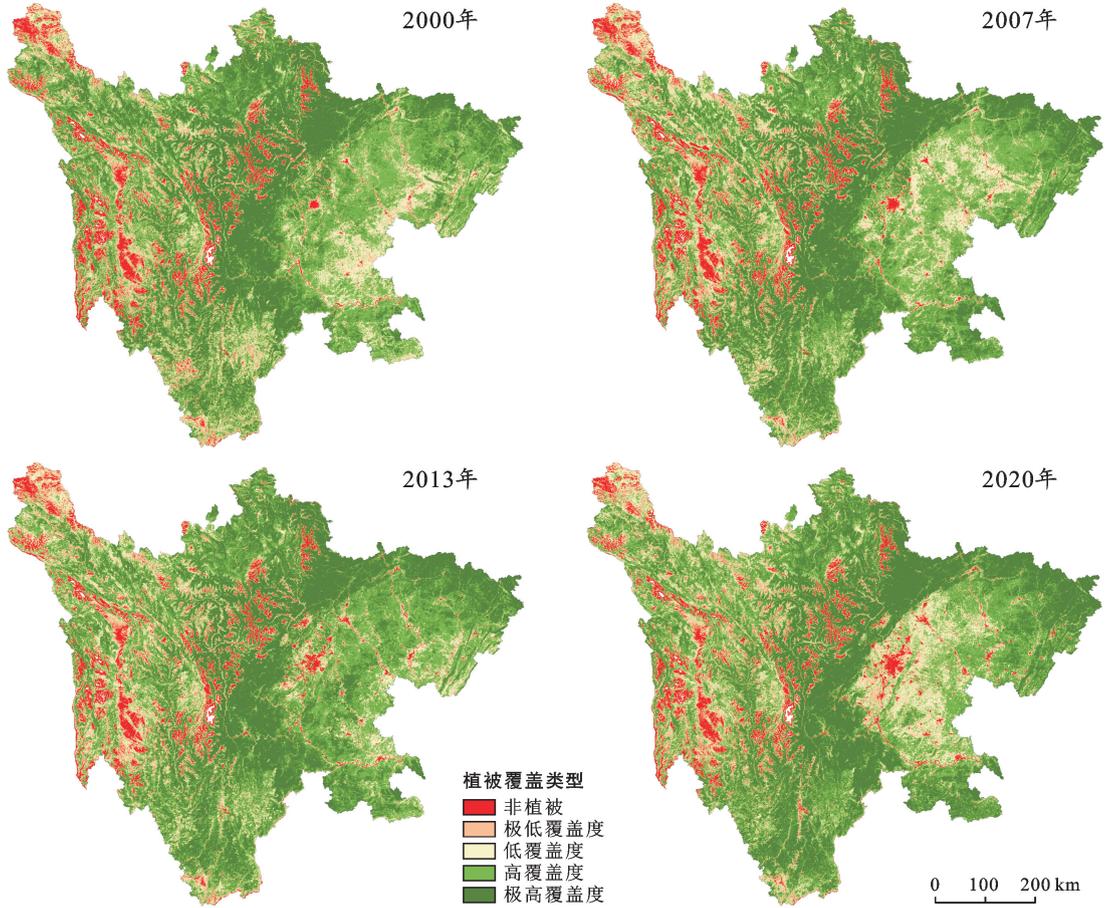


图 2 四川省植被覆盖类型空间分布

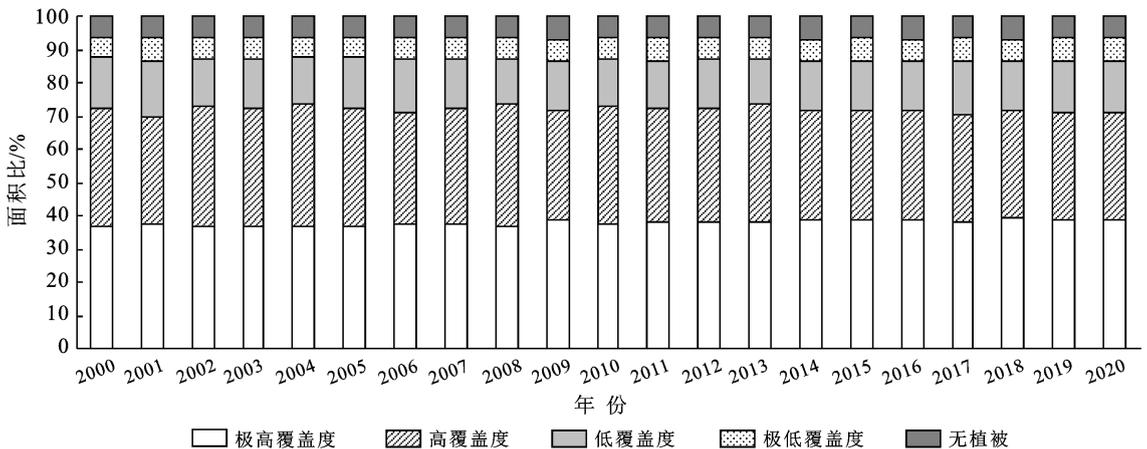


图 3 四川省 2000—2020 年各植被覆盖类型的变化趋势

表 2 四川省植被覆盖变化趋势显著性结果统计

变化程度	分级标准	面积/km ²	比例/%
显著减少	slope<0, p<0.01	28 610.31	5.90
减少	slope<0, 0.01≤p<0.05	53 569.88	11.04
稳定	p≥0.05	304 574.38	62.78
增加	slope>0, 0.01≤p<0.05	43 181.19	8.90
显著增加	slope>0, p<0.05	55 225.06	11.38

3.3 FVC 对气候因子的响应

3.3.1 气候因子与 FVC 的关系 利用气象数据进行一元线性趋势分析,可知 2000—2020 年年均温和年累积降水量都呈现增长状态,增长率分别为 0.61 °C/10 a 和 2.64 mm/10 a。

四川省 FVC 变化与气候因子的关系如图 6 所示,FVC 与气温、降水的偏相关系数范围在 -0.88~0.88 范围内,且正负相关关系并存。①气温与 FVC

变化呈显著正相关和正相关区域面积比例分别为 5.47%和 43.33%,呈显著负相关和负相关区域面积比例分别为 5.97%和 45.23%。其中呈负相关的区域主要分布在川西高原的西南部、中部及成都平原城市密集区,这是由于川西高原高海拔气候及城市高温抑制植被生长;与气温呈正相关的区域主要分布在川西南山地及川东地区,其光照充足促进区域植被生长。②降水与 FVC 变化显著正相关和正相关区域面积比例分别为 3.28%和 42.16%,呈显著负相关和负相关区域面积比例分别为 4.56%和 50.01%。其中川西高原东北部、河谷地区及川东平原北部 FVC 与降水呈正相关关系明显,川东平原西南部与成都平原零星存在显著负相关,呈现负相关关系区域集中在成都平原城市密集区与川西南山地。

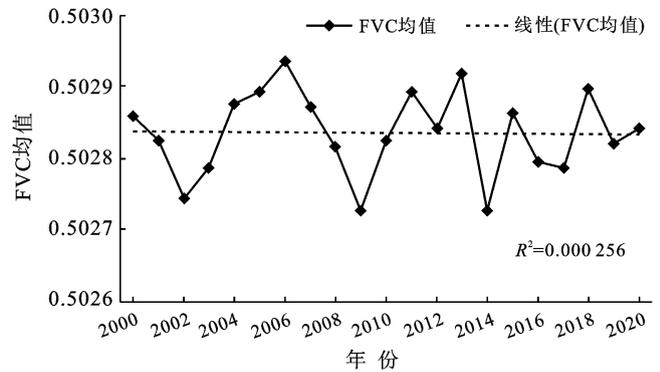
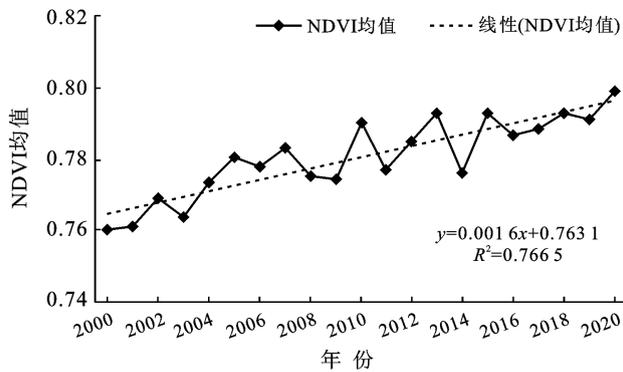


图 4 四川省 2000—2020 年植被覆盖(FVC)变化趋势

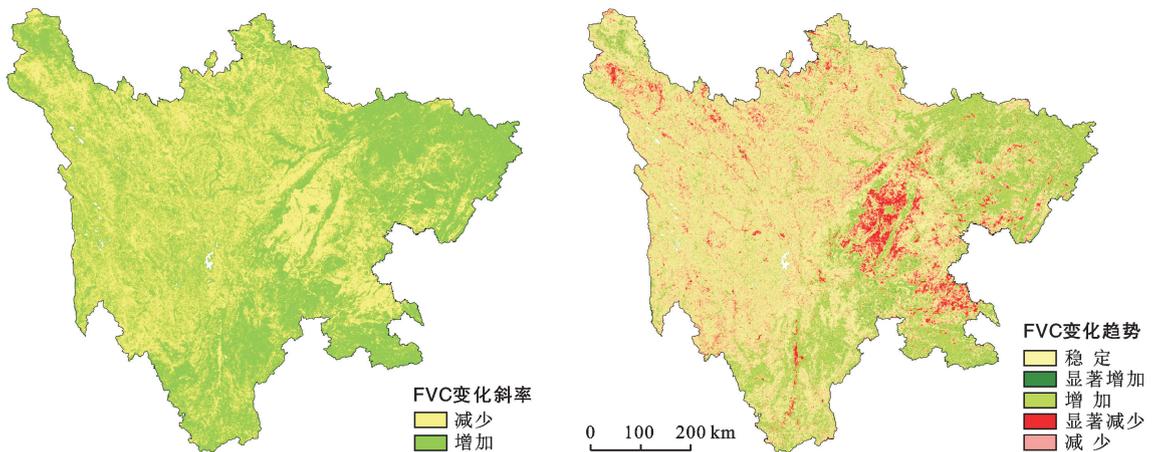


图 5 四川省 2000—2020 年植被覆盖(FVC)变化斜率及趋势

3.3.2 四川省 FVC 变化驱动因素分析 通过 FVC 与气温、降水复相关分析,可知除气温、降水驱动区域外,还包含由气温、降水共同驱动的区域,单一因子或对 FVC 变化影响不显著,在某些区域只有气温、降水共同作用才能引起 FVC 的变化。由图 7 所示,四川省 FVC 变化与气温、降水的复相关系数范围在 0~

0.92 之间,其高值区主要分布在四川省的西南部,大部分地区与气温、降水复相关性强。研究区以气候因子为主要驱动的区域面积占总面积的 21.17%,其中气温驱动型面积比例 6.61%,主要分布在雅砻江下游与岷江流经区域;降水驱动型面积比例 7.01%,主要分布在若尔盖湿地及川东地区嘉陵江流经区域;气温

降水共同强驱动型的区域较少,面积比例 2.62%,其在大渡河、岷江和青衣江交汇区——乐山市表现明显;气温降水共同弱驱动型面积比例 4.93%,主要分布在川西高原西南部。研究区以非气候因子驱动为主,面积比例达到了 78.83%,由此表明四川省 FVC

变化的主要驱动力与人类活动、土地利用变化等因素有关。在平原地带地势平坦,城市化程度高,气温、降水对植被影响微弱,其植被生长主要取决于人类活动;在若尔盖湿地与川东地带,降水影响明显;在雅砻江下游与岷江流域气温影响着 FVC 变化。

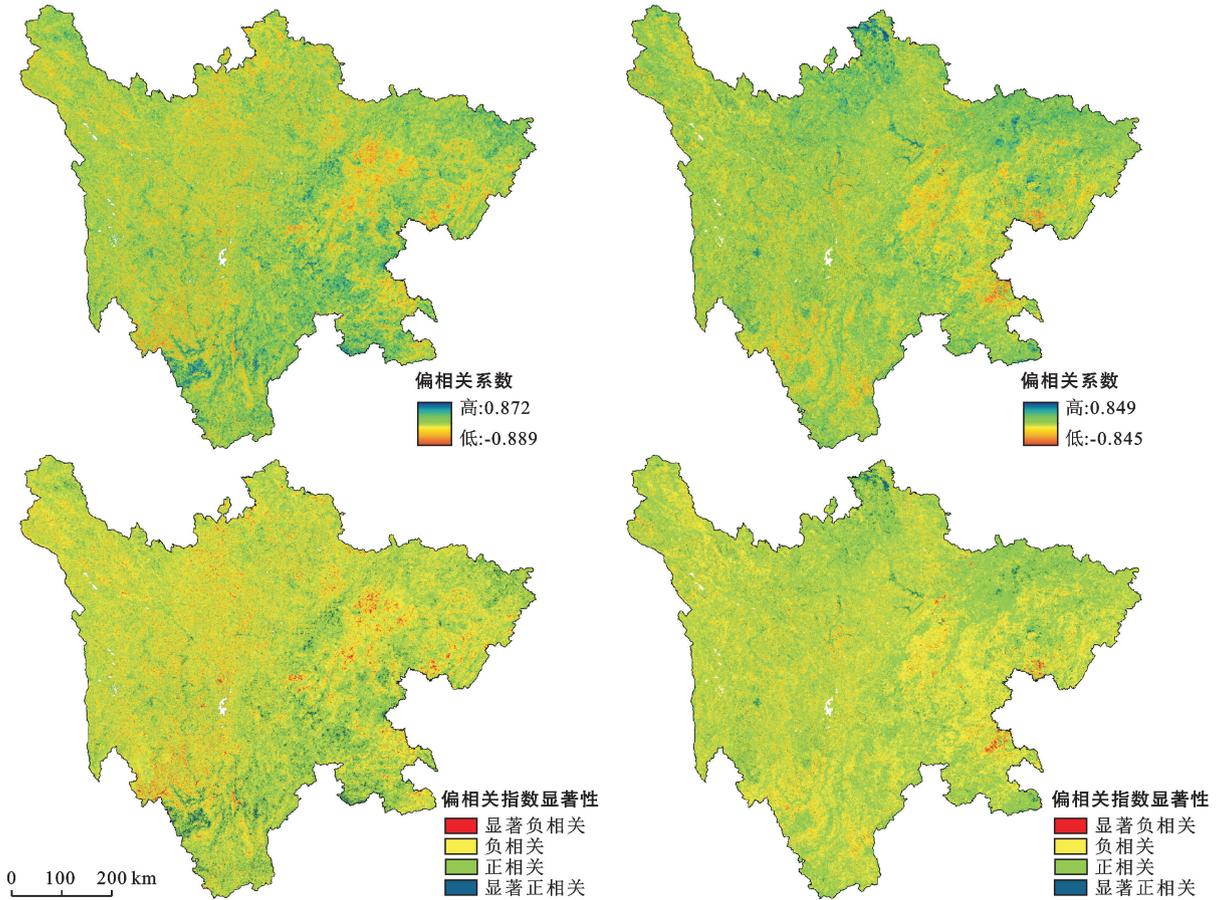


图 6 四川省植被覆盖与气温、降水的偏相关系数及显著性

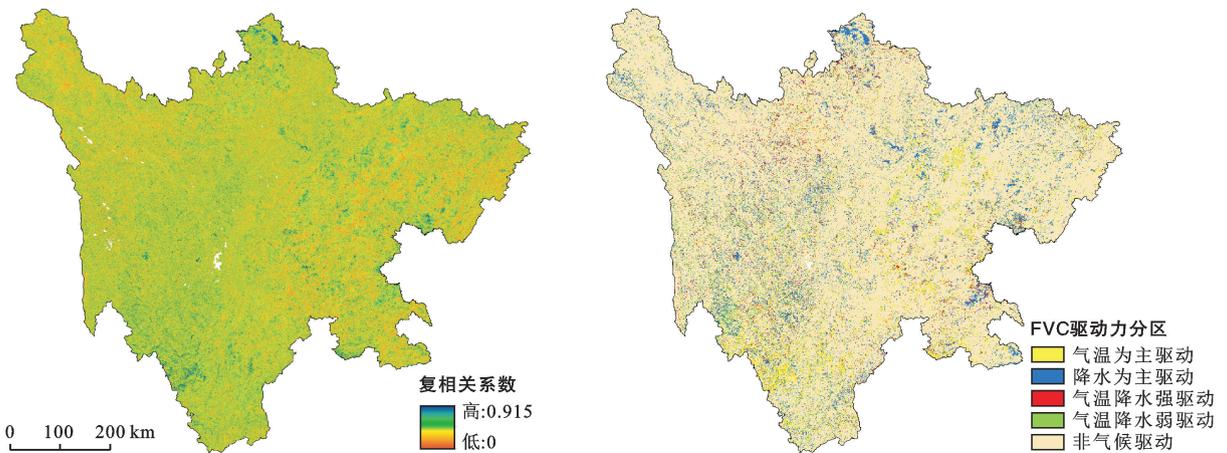


图 7 四川省 2000—2020 年植被覆盖(FVC)变化驱动力分

4 讨论

本文研究发现四川省 2000—2020 年 FVC 趋于

稳定,其均值在 0.5 左右,与肖建勇、郑杰等的研究结果^[33-34]一致。但是在研究区 21 a 间植被变化趋势也存在两次明显的波动。2008 年四川省发生特大地

震,多处山体出现滑坡,河流与道路在自然灾害下被阻断,植被受到了严重的破坏,2008—2009年,FVC明显下降^[35]。经过灾后的自然修复和人工修复^[36],2010—2013年植被状况逐渐向好。2013年四川省境内出现连续特大暴雨,各市州受灾严重,部分房屋、植被、桥梁都遭受洪水淹没,FVC显著下降,随着2014年党的十八届四中全会指出加快建立生态文明法律制度,各省市州着手开始推进生态文明建设,植被状况随之改善,在之后的年份里四川省FVC也开始稳定增长。

多年来四川省以天然林保护、退耕还林、封山育林、生物多样性保护以及生态示范建设等为载体,构建长江中上游生态屏障^[37-38],使得研究区内川北、川南地区FVC明显增加;但是人类活动对植被也存在负面影响,在平原和丘陵地区实施城镇化建设以及在川西高原过度放牧都造成了植被退化^[39]。另外,甘孜州的石渠县和色达县地处高原山区,属于生态脆弱区,干旱、雪灾等自然灾害频发,鼠害严重^[40-41],在2000—2020年该地区FVC显著减小。在本研究区内,一些研究表明在FVC与降水的相关性稍大于其与气温的相关性^[34,42-43],但也有研究则认为植被覆盖对气温更为敏感^[37]。本文以偏相关分析及驱动力分区分析得出受气温驱动影响的区域面积大于受降水驱动的区域,且在区域内与气温、降水呈正相关的区域面积大于呈负相关的区域。四川盆地地形独特,其区域内高差变化大,植被覆盖情况十分复杂,近年来生态环境恶化。研究该区域内植被覆盖时空变化特征及气候因子的影响,能够针对不同环境下植被进行优化布局,促进区域生态文明建设,实现环境与资源协调发展。

5 结论

(1) 从植被覆盖的空间分布特征来看,在21 a间四川省的植被覆盖度存在明显的空间分布异质性,其西部植被覆盖度低于东部植被覆盖度。

(2) 从植被覆盖度的年际变化上看,FVC均值波动较小,其中49.1%的区域FVC存在不同程度的退化,而50.9%的区域FVC得到了改善,整体趋于稳定。四川省高植被覆盖度区域面积比例达到70%左右,植被状况较好。

(3) 从FVC变化与气象因子的相关性分析来看,FVC变化与气温、降水呈正相关的区域比例分别为48.90%和54.57%,在川西高原一带降水对植物生长存在促进作用,在川东及成都平原地区气温对植物生长有着积极影响。

(4) 从FVC变化的驱动力因素分析来看,降水和气温是影响FVC变化的主导环境因子,其交互作用共同影响着植被生长,但是在0.05置信水平检验下,四川省FVC变化的驱动力主要表现为非气候因子。

[参 考 文 献]

- [1] 方精云,朴世龙,贺金生,等.近20年来中国植被活动在增强[J].中国科学(生命科学),2003,33(6):554-565.
- [2] 杨存建,周其林,任小兰,等.基于多时相MODIS数据的四川省森林植被类型信息提取[J].自然资源学报,2014,29(3):507-515.
- [3] 聂桐,董国涛,蒋晓辉,等.延安地区植被覆盖度时空变化及驱动力[J].水土保持研究,2021,28(5):340-346.
- [4] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. Remote sensing of Environment, 2002, 80(1): 76-87.
- [5] 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:基于NOAA时间序列数据分析[J].遥感学报,1998,2(3):204-210.
- [6] 杨彩云,王世曦,杨春艳,等.川藏铁路沿线植被覆盖度时空变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2021,35(3):174-182.
- [7] 王国芳,毕如田,张吴平,等.典型矿区植被覆盖度时空分布特征及影响因素[J].生态学报,2020,40(17):6046-6056.
- [8] 李美丽,尹礼昌,张园,等.基于MODIS-EVI的西南地区植被覆盖时空变化及驱动因素研究[J].生态学报,2021,41(3):1138-1147.
- [9] 张清雨,赵东升,吴绍洪,等.基于生态分区的内蒙古地区植被覆盖变化及其影响因素研究[J].地理科学,2013,33(5):594-601.
- [10] 高云,谢苗苗,付梅臣,等.高原河谷城市植被时空变化及其影响因素:以青海省西宁市为例[J].生态学报,2014,34(5):1094-1104.
- [11] 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.
- [12] 熊巧利,何云玲,李同艳,等.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[J].水土保持研究,2019,26(6):259-266.
- [13] 史晓亮,王馨爽.黄土高原草地覆盖度时空变化及其对气候变化的响应[J].水土保持研究,2018,25(4):189-194.
- [14] 李晶,刘乾龙,刘鹏宇.1998—2018年呼伦贝尔市植被覆盖度时空变化及驱动力分析[J].生态学报,2022,42(1):220-235.
- [15] 孙睿,刘昌明,朱启疆.黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系[J].地理学报,2001,56(6):667-672.
- [16] 陆荫,张强,李晓红,等.黄河流域甘肃段植被覆盖度时

- 空变化及对气候因子的响应[J].水土保持通报,2020,40(2):232-238.
- [17] 张亮,丁明军,张华敏,等.1982—2015年长江流域植被覆盖度时空变化分析[J].自然资源学报,2018,33(12):2084-2097.
- [18] 杨少康,刘冀,魏榕,等.长江上游流域生长季植被覆盖度时空变化特征及其成因[J].长江流域资源与环境,2022,31(7):1523-1533.
- [19] 张钛仁,张明伟,多福学.中国西北地区植被时空动态及其影响因子分析[J].高原气象,2010,29(5):1148-1152.
- [20] 张含玉,方怒放,史志华.黄土高原植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应[J].生态学报,2016,36(13):3960-3968.
- [21] 郑勇,杨武年,刘冲,等.川西高原近20a植被覆盖变化遥感动态监测及驱动力分析[J].遥感技术与应用,2020,35(6):1447-1456.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 郑杰,冯文兰,牛晓俊,等.四川省植被变化及其与气象因子的相关性分析[J].水土保持通报,2016,36(2):99-104.
- [25] 祝聪,彭文甫,张丽芳,等.2006—2016年岷江上游植被覆盖度时空变化及驱动力[J].生态学报,2019,39(5):1583-1594.
- [26] Tarek M, Brissette F P, Arsenault R. Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2020, 24(5): 2527-2544.
- [27] 陈晋,陈云浩,何春阳,等.基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J].遥感学报,2001,5(6):416-422.
- [28] Gong Z, Zhao S, Gu J. Correlation analysis between vegetation coverage and climate drought conditions in North China during 2001—2013 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27(2): 143-160.
- [29] Montandon L M, Small E E. The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(4): 1835-1845.
- [30] Liu H, Li X, Mao F, et al. Spatiotemporal evolution of fractional vegetation cover and its response to climate change based on modis data in the subtropical region of China [J]. Remote Sensing, 2021, 13(5): 913.
- [31] Zhou Qian, Zhao Xiang, Wu D, et al. Impact of urbanization and climate on vegetation coverage in the Beijing-Tianjin-Hebei Region of China [J]. Remote Sensing, 2019, 11(20): 2452.
- [32] 陈云浩,李晓兵,史培军.1983—1992年中国陆地NDVI变化的气候因子驱动分析[J].植物生态学报,2001,25(6):716-720.
- [33] 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.
- [34] 郑勇,杨武年,刘冲,等.川西高原近20年植被覆盖变化遥感动态监测及驱动力分析[J].遥感技术与应用,2020,35(6):1447-1456.
- [35] 彭文甫,周介铭,徐新良,等.成都平原及其周边区域植被覆盖动态监测[J].地球与环境,2017,45(2):193-202.
- [36] 彭文甫,王广杰,周介铭,等.基于多时相Landsat 5/8影像的岷江汶川—都江堰段植被覆盖动态监测[J].生态学报,2016,36(7):1975-1988.
- [37] 荣欣,易桂花,张廷斌,等.2000—2015年川西高原植被EVI海拔梯度变化及其对气候变化的响应[J].长江流域资源与环境,2019,28(12):3014-3028.
- [38] 淳阳,朱晚秋,潘洪义,等.重心转移视角下新型城镇化与生态足迹时空差异及其耦合关系研究:以四川省为例[J].长江流域资源与环境,2018,27(2):306-317.
- [39] 邓元杰,姚顺波,侯孟阳,等.长江流域中上游植被NDVI时空变化及其地形分异效应[J].长江流域资源与环境,2020,29(1):66-78.
- [40] 邱成.对四川省石渠县生态环境现状的思考[J].草业与畜牧,2008(5):32-35.
- [41] 泽让东洲,张洪轩,陈立坤,等.川西北高寒草甸色达县草地治理对策初探[J].草业与畜牧,2015(5):56-60.
- [42] 仙巍,季建万,何彬彬,等.川西高山高原过渡带植被对气候变化的响应[J].西南师范大学学报(自然科学版),2016,41(9):1-6.
- [43] 叶红,张廷斌,易桂花,等.2000—2014年黄河源区ET时空特征及其与气候因子关系[J].地理学报,2018,73(11):2117-2134.