

文章编号: 1001-4179(2018)05-0016-06

# 四川省植被覆盖时空演变及未来变化趋势分析

肖建勇<sup>1,2</sup> 周德全<sup>1,2</sup> 白晓永<sup>2</sup> 钱庆欢<sup>1,2</sup> 颜蒙蒙<sup>1</sup>

(1. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550081; 2. 中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550081)

**摘要:** 四川省地处长江上游, 是长江流域重要的生态屏障; 解析该区域植被覆盖的时空演变特征, 对长江上游的生态环境修护与治理具有重要意义。基于长时间序列的 MODIS NDVI 数据, 解析 2000 ~ 2016 年间四川省植被的空间分布格局与时间变化特征; 采用趋势分析法和 Hurst 指数, 预测未来植被的变化趋势及持续性。结果表明: ① 四川省 NDVI 多年平均值为 0.50, 植被覆盖整体上呈现川东高于川西的空间分布特征; ② 2000 ~ 2016 年间, 四川省的 NDVI 值在 0.48 至 0.53 之间波动, 整体呈上升趋势, 增长率为 0.002 5/a; ③ 植被覆盖度在未来变化将呈现改善大于退化的趋势; 植被持续性改善的面积大于持续性退化的面积。

**关键词:** 植被覆盖; NDVI; Modis; Hurst 指数; 变化趋势; 时空演变; 四川省

中图法分类号: X171

文献标志码: A

DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2018.05.004

植被作为陆地生态系统的主体, 在物质循环、能量流动和信息传递方面发挥着重要作用, 是全球变化最敏感的指示器<sup>[1]</sup>。研究植被覆盖的空间分布格局、时间变化特征, 对于深入研究植被与气候变化以及人类活动的内在关联、揭示区域环境状况的演化过程并预测未来发展趋势具有重要意义<sup>[2]</sup>。

测量评估植被覆盖度的工作较为繁琐也很复杂, 归一化差异植被指数 (NDVI) 是植被的重要指标<sup>[3-5]</sup>; 卫星遥感数据已经广泛用于生态环境的监测研究<sup>[6-9]</sup>。Myneni 和 Tucker 等分别分析了 1981 ~ 1991 年和 1981 ~ 1999 年的植被覆盖的变化, 发现北半球植被活动呈现增强趋势, 中纬度地区尤为明显, 并认为该增强趋势的原因为气候变暖<sup>[10-11]</sup>。傅伯杰等采用 NDVI 分析了 2000 ~ 2010 年中国植被覆盖变化, 发现中国经历了植被绿化和褐变, 具有很大的空间异质性<sup>[12]</sup>。Tong X W 等分析 2001 ~ 2013 年植被覆盖的变化, 发现中国政府实施了一系列生态恢复项目使植

被覆盖得到了恢复<sup>[13]</sup>。马士彬等以 SPOT-VEG NDVI 数据为基础结合植被类型、气象和石漠化数据, 分析了贵州省喀斯特区域植被变化及驱动因素, 认为从宏观角度分析植被变化与气候变化的关系时, 必须权衡人为作用和气候变化对植被变化的影响<sup>[14]</sup>。上述研究都表明植被覆盖能够很好地表征生态环境特征, 且在近年来都呈现明显的恢复趋势。

四川省地处长江上游, 青藏高原东南缘, 地貌形态复杂, 气候类型多样, 植被类型丰富, 是全球气候变化敏感区<sup>[15]</sup>。其生态环境的变化对整个长江流域有着重大的影响。为此, 本文以四川省为研究对象, 基于 MODIS-NDVI 250 m 分辨率的遥感数据, 揭示 2000 ~ 2016 年植被覆盖的时空演变规律, 分析不同土地利用类型不同海拔间植被覆盖的差异; 采用趋势分析法研究植被覆盖的年际变化趋势; 利用 Hurst 指数指示变化趋势的持续性, 分析植被时空演变规律, 以期对长江上游生态环境的修护与治理提供参考依据。

收稿日期: 2017-11-12

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0502300, 2016YFC0502102)

作者简介: 肖建勇, 男, 硕士, 主要从事遥感生态环境研究。E-mail: 491633701@qq.com

通讯作者: 周德全, 男, 教授, 主要从事地质地貌资源开发与利用研究。E-mail: 1460176514@qq.com

## 1 研究材料

### 1.1 研究区概况

四川省位于中国西南腹地,介于东经 97°21′ ~ 108°33′,北纬 26°03′ ~ 34°19′ 之间,地处长江上游,辖区面积 48.6 万 km<sup>2</sup>;全省设 21 个市州,2016 年人口达到 8 262 万人。地势西高东低,海拔 178 ~ 7 556 m;地貌复杂,以山地为主,具有山地、丘陵、平原和高原多种地貌类型。河流众多,以长江水系为主,支流包括黑河、白河、金沙江、雅砻江、岷江、大渡河、理塘河、沱江、嘉陵江、赤水河等。气候东西差异大,兼具亚热带季风气候(四川盆地)和高原山地气候(川西高原);年均温 4℃ ~ 18℃,年降水量 500 ~ 1 200 mm,年日照 1 000 ~ 2 600 h。自然环境类型多样,植被主要有常绿阔叶林、针叶林、落叶阔叶林、灌丛、耕地植被、高原草甸等<sup>[15]</sup>。

### 1.2 数据及预处理

本研究中 NDVI 数据源于美国宇航局(NASA)的 MODIS 植被指数产品数据 MOD13Q1,为 16 d 合成的空间分辨率 250 m L3 数据产品,投影为正弦曲线投影,见表 1。选取 2000 ~ 2016 年的影像为研究对象。首先利用 NASA 提供的 MODIS Reprojection Tools(MRT)软件对所获得产品数据批处理进行投影转换,将其统一转换成 ALBERS 等面积投影和 WGS-84 坐标系,格式 HDF 转换为 TIFF 格式<sup>[13]</sup>。再对影像数据进行几何校正、裁剪。利用 MOD13Q1 的影像基于最大值合成法计算每月 NDVI 值,再用均值法将每年 12 个月的 NDVI 平均得到年值。DEM 数据来源于地理空间数据云的 Shuttle Radar Topography Mission(SRTM) 30 m 分辨率原始高程数据;按 1 000 m 等距划分为 6 级(大于 5 000 m 占比较低,将 5 000 m 以上划为 1 级)。土地利用数据来源于中国科学院资源与环境科学数据中心,采用一级分类为:有林地、草地、耕地、水域、建设用地、未利用地。

表 1 主要数据来源

Tab. 1 The main data source

数据	网站	分辨率/ m	网址
行政边界	国家地球系统科学数据共享	-	http://www.geodata.cn/
MOD13Q1	美国地质调查局	250	http://glvis.usgs.gov/
SRTM	地理空间数据云	30	http://www.gscloud.cn/
土地利用	中国科学院资源与环境科学数据中心	100	http://www.resdc.cn/

## 2 计算方法

### 2.1 植被覆盖变化趋势分析

NDVI 的年际变化趋势以各栅格多年数值最小次

方线性回归方程的斜率  $k$  表示,具体公式为

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \times M_{NDVI_i}) - \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n M_{NDVI_i}}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}$$

式中, $n$  为 17,当  $k > 0$  时,说明植被覆盖 17 a 间的变化趋势是增加的;反之,则减少; $k$  值越大表示 NDVI 变化越趋势明显; $i$  为年序号, $M_{NDVI_i}$  为第  $i$  年的 NDVI。其中,当前  $k$  值变化趋势的划分并没有统一标准,考虑研究区中 NDVI 的整体分布情况通过计算  $k$  值的变化,研究发现  $k$  值基本符合正态分布,故利用等间距划分法,将植被覆盖变化划分为 5 个等级,分别为显著退化( $k \leq -0.01$ ),轻度退化( $-0.01 \leq k < -0.05$ ),稳定不变( $-0.05 \leq k < 0.05$ ),轻度改善( $0.05 \leq k < 0.01$ ),显著改善( $k > 0.01$ )<sup>[17-18]</sup>。

### 2.2 植被变化趋势的持续性

Hurst 指数作为一种定量描述长时间序列信息依赖性的有效方法<sup>[19]</sup>,近年来在植被变化研究中得到了广泛的应用。

考虑 NDVI 时间序列  $NDVI_t$ ,对于任意正整数  $t \geq 1$ ,定义该时间序列的均值序列:

$$\overline{NDVI}_t = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t NDVI_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

计算累计离差为

$$X_{(i,t)} = \sum_{i=1}^t (NDVI_i - \overline{NDVI}_t) \quad 1 \leq i \leq t$$

极差序列为

$$R_t = \max_{1 \leq i \leq t} X_{(i,t)} - \min_{1 \leq i \leq t} X_{(i,t)} \quad t = 1, 2, \dots, n$$

标准差序列为

$$S_{(t)} = \left[ \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (NDVI_i - \overline{NDVI}_t)^2 \right]^{1/2} \quad t = 1, 2, \dots, n$$

...

Hurst 指数计算如下:

$$\frac{R_{(t)}}{S_{(t)}} = (ct)^H$$

式中, $H$  即为 Hurst 指数,对于公式两边同时取对数可得到 Hurst 经验公式。基于时间序列并利用 Hurst 经验公式得到一簇  $H$  值进行最小二乘法拟合,得出的直线斜率即为修正后的 Hurst 指数( $H$ )。

Hurst 指数( $H$  值)可以反映 NDVI 时间序列的随机性或持续性特征,当  $0.5 < H < 1$  时,时间序列具有长程依赖性,表现为持续性,即未来变化与过去的变化趋势一致,过去为增加趋势的区域在将来也将继续增加,反之亦然,且  $H$  越接近 1,持续性越强;当  $H = 0.5$  时,则说明 NDVI 时间序列为随机序列,不存在长期相

关性;当  $0 < H < 0.5$  时,则表明时间序列具有反持续性,即未来的变化趋势与过去的变化趋势相反<sup>[20-21]</sup>。具体分类见表 2。

表 2 NDVI 变化特征分类  
Tab. 2 NDVI change characteristics classification

$k$	Hurst	变化特征
$k \leq -0.01$	$> 0.5$	持续性显著退化
$-0.01 \leq k < 0.005$	$> 0.5$	持续性轻度退化
$-0.05 \leq k < 0.05$	$> 0.5$	持续性稳定不变
$0.05 \leq k < 0.01$	$> 0.5$	持续性轻度改善
$k > 0.01$	$> 0.5$	持续性显著改善
$-\infty \leq k < \infty$	$\leq 0.5$	未来变化不确定

### 3 结果分析

#### 3.1 植被覆盖的空间分布特征

植被的空间分布受自然条件和人类活动综合影响,四川省近 17 a 平均植被覆盖整体表现为:东高西低的空间分布特征(见图 1)。依据图 1 和图 2(a)、(b)叠加分析,可知不同土地利用类型植被覆盖差异大,其中有林地(0.58)的 NDVI 最高,耕地(0.56)次之,其后为居民用地(0.48),草地(0.42),水域(0.39),未利用地(0.27)最低(见表 3)。整体上 NDVI 小于 0.2 的区域占 4.13%,主要分布在草地和未利用地类型中;NDVI 大于等于 0.7 之间的植被覆盖区占 3.3%,以有林地为主。从不同海拔高度来看:整体呈现随海拔越高,NDVI 值越低(海拔低于 1 000 m 例外);海拔大于 5 000 m 时,NDVI 值都小于 0.2(见表 3)。

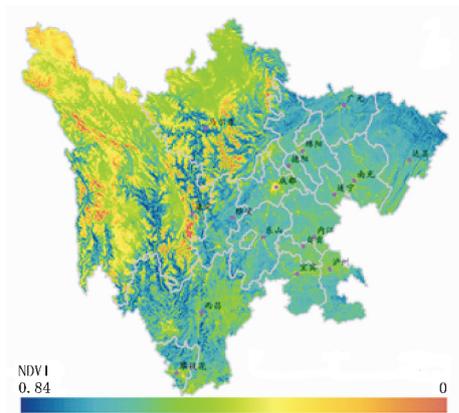


图 1 四川省 2000 ~ 2016 年 17 a 平均 NDVI 的空间分布  
Fig. 1 Spatial distribution of NDVI in Sichuan from 2000 to 2016

#### 3.2 植被覆盖的时间变化特征

2000 ~ 2016 年间,四川省的 NDVI 值在 0.48 ~ 0.53 之间波动,年际波动较大。2000 ~ 2004 年间 NDVI 呈现上升趋势;2005 出现较低值;2006 ~ 2011 相对

平稳;2012 年出现了研究时间内最低值;近 4 a 间 NDVI 呈平稳上升趋势。17 a 平均值为 0.50。NDVI 整体呈现波动上升趋势,增长率为 0.002 5/a。拟合一元线性方程的斜率为 0.001 5,截距为 -2.582,  $R^2$  为 0.3367,见图 3。其中 2016 年 NDVI 为研究时间内最大值,2005 ~ 2012 年为较低值。

表 3 不同土地利用类型和不同海拔高度的 NDVI 比较分析  
Tab. 3 Comparison of NDVI values under different landuse types and different DEM

项目	类型	NDVI	分配比例/%							
			面积比例	<0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	$\geq 0.7$
土地利用	有林地	0.58	34.22	0.16	0.41	1.76	4.84	10.43	13.91	2.72
	草地	0.42	35.77	2.51	4.32	7.95	11.06	5.38	4.06	0.48
	耕地	0.56	24.84	0.02	0.09	0.39	2.09	16.82	5.33	0.10
	水域	0.39	0.80	0.16	0.06	0.10	0.16	0.27	0.05	0.00
	建设用地	0.48	0.75	0.01	0.05	0.13	0.18	0.30	0.07	0.00
	未利用地	0.27	3.62	1.27	0.82	0.69	0.74	0.07	0.03	0.00
海拔高度	<1000	0.57	28.60	0.04	0.13	0.39	1.68	19.19	7.11	0.05
	1000~2000	0.59	10.83	0.01	0.03	0.19	1.18	3.88	5.27	0.28
	2000~3000	0.58	11.42	0.02	0.08	0.37	1.87	3.96	4.40	0.72
	3000~4000	0.54	21.95	0.03	0.22	1.66	7.99	4.40	5.54	2.11
	4000~5000	0.35	26.74	3.56	5.29	8.42	6.37	1.84	1.12	0.15
	$\geq 5000$	0.03	0.46	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

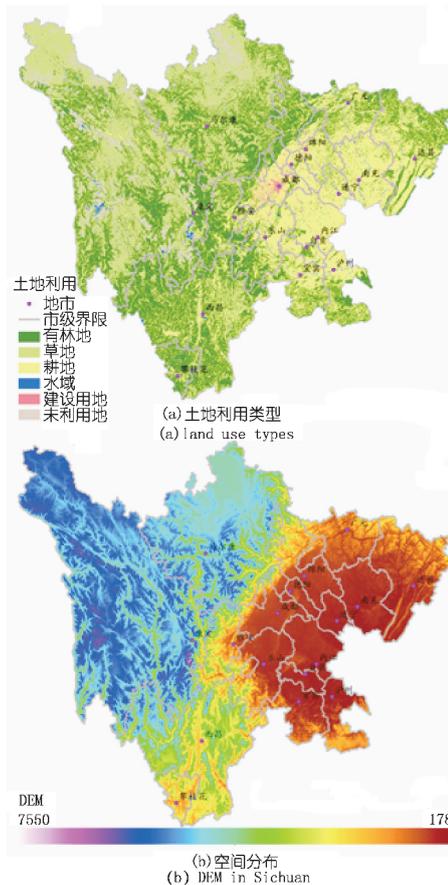


图 2 四川省土地利用类型  
Fig. 2 Distribution of land use types and DEM in Sichuan

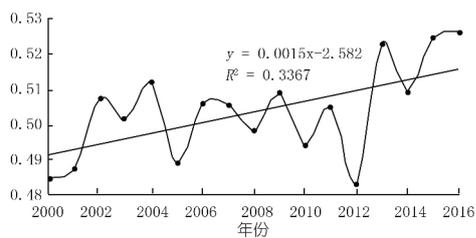


图 3 2000 ~ 2016 年四川省 NDVI 年际变化  
Fig. 3 Inter-annual variations of NDVI in Sichuan from 2000 to 2016

### 3.3 植被变化趋势及其持续性分析

2000 ~ 2016 年间,植被覆盖度呈现整体上升趋势(即改善区域面积大于退化面积)。显著改善(9.17%)及轻度改善(51.02%)的植被覆盖相对集中分布于四川东北部和东南部的耕地;显著退化(1.79%)和轻度退化(11.75%)的植被覆盖主要分布于四川中部、南部的建设用地和有林地区。稳定不变(26.27%)的植被覆盖零散分布四川西北区,见图 4 (a)。不同的土地利用类型中,耕地、草地、未利用地改善更显著些;建设用地的退化区占比最大,见图 4 (b)。

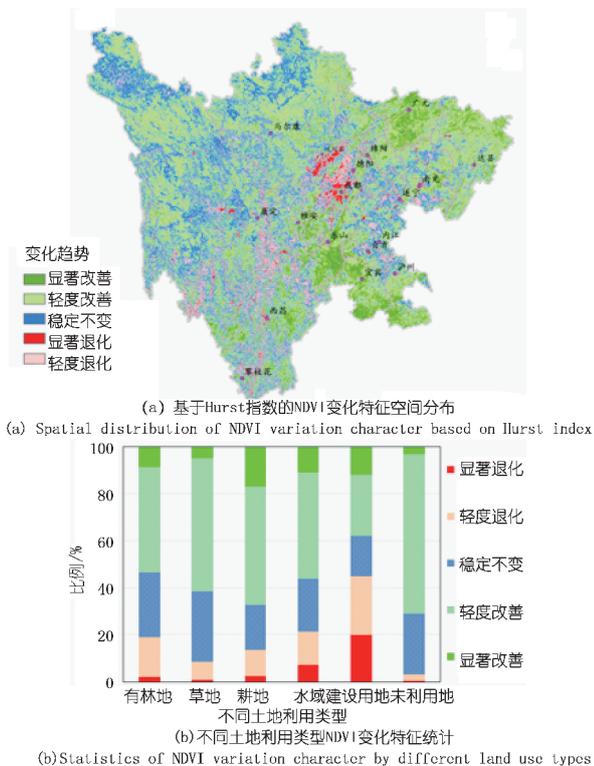


图 4 2000 ~ 2016 年四川省 NDVI 变化趋势和不同土地利用类型 NDVI 变化趋势统计

Fig. 4 Trends of NDVI during 2000 ~ 2016 and statistics of NDVI trend by different land use types

整个研究区的 Hurst 指数为 0 ~ 0.96 ,Hurst 指数平均值为 0.47 ,标准偏差为 0.10。其中 46.40% 的研

究区域的  $H$  值在 0.5 以上,分布较为分散。将 NDVI 的变化趋势与 Hurst 指数叠加,得到 NDVI 的变化趋势持续性的分布情况。持续性显著改善(3.39%)、持续性轻度改善(23.44%)的植被覆盖相对集中分布于四川东南部的耕地,持续性显著退化(1.10%)、持续性轻度退化(5.56%)集中分布于中部建设用地中;持续性稳定不变的植被覆盖占研究区总面积的 12.36%,变化趋势不确定的植被覆盖占 53.60%,相对均匀分布于研究区中,见图 5 (a)、(b)。

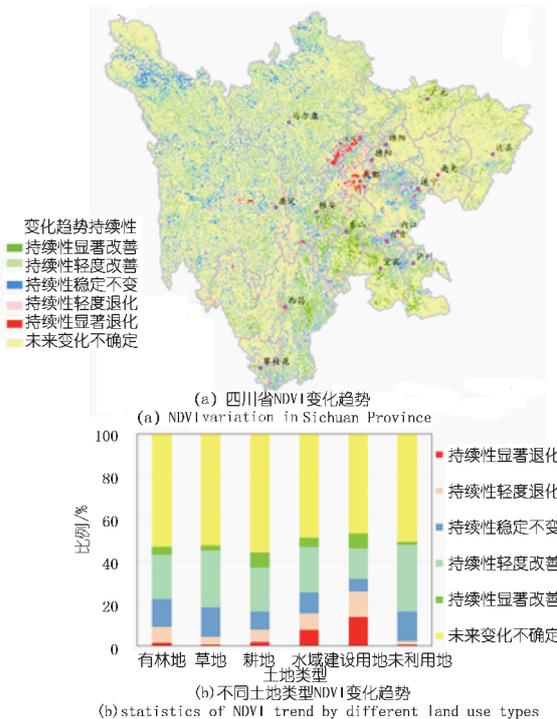


图 5 基于 Hurst 指数的 NDVI 变化特征空间分布和不同土地利用类型 NDVI 变化特征统计

Fig. 5 Spatial distribution of NDVI variation character based on Hurst index and statistics of NDVI variation character by different land use types

### 4 讨论

四川省内 NDVI 的 2000 ~ 2017 年均值为 0.50,符合该区域植被覆盖情况<sup>[13-14]</sup>。从土地利用上来看,有林地的 NDVI 最高,耕地次之,依次是居民用地、草地、水域、未利用地最低,与以往的研究结果相似<sup>[9]</sup>。四川省内植被覆盖在空间分布上有着明显的差异,这是受自然条件和人类活动综合影响的结果。整体而言,川东的植被覆盖高于川西,这主要是自然环境导致的:四川地貌差异大,位于中国大陆地势三大阶梯中的第一级和第二级,即处于第一级青藏高原和第二级长江中下游平原的过渡带,高低悬殊,西高东低的特点特别明显。西部为高原、山地,海拔多在 3 000 m 以上;东

部为盆地、丘陵,海拔多在500~2000m之间<sup>[22]</sup>。气候差异显著,东部冬暖、春旱、夏热、秋雨、多云雾、少日照、生长季长,宜耕种,植被以NDVI值较高的耕地和林地为主;西部则寒冷、冬长、基本无夏、日照充足、降水集中、干雨季分明,植被以自然生长的高原草甸为主<sup>[23-24]</sup>。成都、绵阳、德阳等城市区域,由于人类活动频繁导致局部地区NDVI值较低<sup>[25]</sup>。

2000~2016年间,植被呈现波动上升趋势。其中2005年和2012年间NDVI出现明显的低值,主要归因于极端气候,2004和2005年中国西南地区,日照值偏低,2011和2012年间四川省降雨低于往年平均水平。四川省的植被覆盖变化十分明显,整体上植被得到了改善,这是人类活动的积极影响导致的结果<sup>[26]</sup>。研究区内有过半的植被区得到了改善,改善的植被区多为有耕地,有林地和未利用地,随着经济的迅速发展,农民减少对土地的依赖,降低了人类不合理活动,减少了对森林破坏;政府倡导退耕还林、还草等生态治理工程,致使部分耕地、裸土地、石漠化等未利用地植被得到了恢复<sup>[27]</sup>。退化区域则多处于成都、绵阳等大型城市的建设用地,这主要是由城市扩张、道路修建等城市建设引起的<sup>[28]</sup>。值得关注的是:在未来变化趋势上,持续性改善的土地利用以未利用地最为明显,近些年中央及地方政府在四川省持续开展石漠化综合治理工程,致使以石漠化为主的未利用地的植被得到了持续的改善<sup>[27-29]</sup>。持续性退化的区域以建设用地为主,归因于持续的城市扩张<sup>[30]</sup>。其中汶川县由于2008年地震灾后城区重建影响,建设用地的持续扩张,导致部分区域植被呈现持续性退化现象。在未来的城市发展进程中应加强对周边生态环境的治理与保护。

诸多因素会影响研究的结果,本文采用MOD13Q1为数据源计算NDVI,在计算方法上,采用最大值合成法得到月数据,再采用平均值得到年平均数据,消除由于天气原因导致的数据误差。通过结合高精度遥感影像分析和实地的调研比较,研究结果与实际情况较为符合。同时,本研究还存在诸多需改进之处,在研究时间内部分年份出现了极小值,结合以往的研究经验,应是极端气候所致,由于数据的局限性,本文未为对此进行深入探讨,这将是下一步研究的重点。

## 5 结论

本文基于MODIS NDVI数据,采用月最大值合成法,计算得到NDVI,利用NDVI时间序列,解析2000~2016年间四川省植被的空间分布格局与时间变化特征;采用趋势分析法和Hurst指数,预测未来植被的变化趋势及持续性。得出主要结论如下。

四川省NDVI多年平均值为0.50,植被覆盖整体上呈现川东高于川西的空间分布特征;其中有林地的NDVI最高,耕地次之,依次是居民用地,草地,水域,未利用地最低。

2000至2016年间,四川省的NDVI值在0.48~0.53之间波动,NDVI整体呈波动上升趋势,增长率为0.0025/a;其中2005和2012年的NDVI受极端气候的影响出现了研究时间内的最低值。

植被覆盖度在未来变化呈现改善大于退化的趋势;耕地,有林地,未利用地改善显著;建设用地植被覆盖退化明显;植被持续性改善的面积大于持续性退化;生态环境治理工程导致未利用地植被覆盖持续改善,城市扩张导致建设用地部分区域覆盖出现持续退化。

## 参考文献:

- [1] Foley J A, Levis S, Costa M H, et al. Incorporating dynamic vegetation cover within global climate models[J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(6): 1620-1632.
- [2] Shaofeng Jia, Wenbin Zhu, Aifeng L, et al. A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(12): 3069-3079.
- [3] Anyamba A, Tucker C J. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003[J]. *Journal of Arid Environments*, 2005, 63(3): 596-614.
- [4] Suzuki R, Masuda K, Dye D. G. Interannual covariability between actual evapotranspiration and PAL and GIMMS NDVIs of northern Asia[J]. *Remote Sens. Environ.* 2007, 106: 387-398.
- [5] 刘洋,李诚志,刘志辉,等. 1982~2013年基于GIMMS-NDVI的新疆植被覆盖时空变化[J]. *生态学报*, 2016, 36(19): 6198-6208.
- [6] 李辉霞,刘国华,傅伯杰. 基于NDVI的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究[C]//中国生态学会2011年学术年会, 2011: 5495-5504.
- [7] Willem J. D. van Leeuwen, Barron J. Orr, Stuart E. Marsh, et al. Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 100(1): 67-81.
- [8] Ivits E, Cherlet M, Sommer S, et al. Addressing the complexity in non-linear evolution of vegetation phenological change with time-series of remote sensing images[J]. *Ecological Indicators*, 2013, 26(3): 49-60.
- [9] Song W J, Mu X H, Ruan G Y, et al. Estimating fractional vegetation cover and the vegetation index of bare soil and highly dense vegetation with a physically based method[J]. *Int. J. Appl. Earth Obs.*, 2017(58): 168-176.
- [10] 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.
- [11] Tucker C J, Slayback D A, Pinzon J E, et al. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season

- trends from 1982 to 1999 [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45(4): 184–90.
- [12] Lü Y, Zhang L, Feng X, et al. Recent ecological transitions in China: greening, browning, and influential factors [J]. *Scientific Reports*, 2015, 5(1): 8732.
- [13] Tong X W, Wang K, Brandt M, et al. Assessing future vegetation trends and restoration prospects in the karst regions of southwest china [J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(5): 357–357.
- [14] 马士彬, 安裕伦, 杨广斌, 等. 喀斯特地区不同植被类型 NDVI 变化及驱动因素分析——以贵州为例 [J]. *生态环境学报*, 2016, 25(7): 1106–1114.
- [15] 管磊, 王华军, 王玉宽. 基于 GIMMS NDVI 数据的四川植被覆盖度时空变化特征 [J]. *科技通报*, 2016, 32(6): 31–36.
- [16] 王文国, 何明雄, 潘科, 等. 四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析 [J]. *自然资源学报*, 2011, 26(9): 1555–1565.
- [17] 成方妍, 刘世梁, 尹艺洁, 等. 基于 MODIS NDVI 的广西沿海植被动态及其主要驱动因素 [J]. *生态学报*, 2017, 37(3): 788–797.
- [18] 刘世梁, 赵海迪, 董世魁, 等. 基于 SPOT NDVI 的阿尔金山自然保护区植被动态变化研究 [J]. *干旱区研究*, 2014, 31(5): 832–837.
- [19] H E Hurst. Long term storage capacities of reservoirs [J]. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 1951, 116(12): 776–808.
- [20] 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等. 2000~2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 [J]. *生态学报*, 2013, 33(24): 7798–7806.
- [21] Ndayisaba F, Guo H, Bao A, et al. Understanding the Spatial Temporal Vegetation Dynamics in Rwanda [J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(2): 129.
- [22] 刘增乾. 四川盆地及其边缘地区的地形发展与地貌分区 [J]. *地质论评*, 1959, 19(3): 129–132.
- [23] 曹永旺, 延军平. 气候变化下四川盆地气候生产力时空响应 [J]. *农业现代化研究*, 2015, 36(2): 284–290.
- [24] 吕洋, 董国涛, 杨胜天, 等. 雅鲁藏布江流域 NDVI 时空变化及其与降水和高程的关系 [J]. *资源科学*, 2014, 36(3): 603–611.
- [25] Sedano F, Kempeneers P, Hurtt G. A Kalman Filter – Based Method to Generate Continuous Time Series of Medium – Resolution NDVI Images [J]. *Remote Sensing*, 2014, 6(12): 12381–12408.
- [26] Tian Y, Bai X, Wang S, et al. Spatial – temporal changes of vegetation cover in Guizhou Province, Southern China [J]. *Chinese Geographical Science*, 2017, 27(1): 25–38.
- [27] Bai X Y, Wang S J, Xiong K N. Assessing spatial – temporal evolution processes of karst rocky desertification land: indications for restoration strategies [J]. *Land Degradation & Development*, 2013, 24(1): 47–56.
- [28] 韦振锋, 王德光, 张翀, 等. 1999~2010 年中国西北地区植被覆盖对气候变化和人类活动的响应 [J]. *中国沙漠*, 2014, 34(6): 1665–1670.
- [29] 王荣, 蔡运龙. 西南喀斯特地区退化生态系统整治模式 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(4): 1070–1080.
- [30] Ma X, Tong X, Liu S, et al. Optimized Sample Selection in SVM Classification by Combining with DMS – OLS, Landsat NDVI and GlobeLand30 Products for Extracting Urban Built – Up Areas [J]. *Remote Sensing*, 2017, 9(3): 236.

(编辑: 常汉生)

## Spatial – temporal evolution of vegetation coverage and analysis of future trends in Sichuan Province

XIAO Jianyong<sup>1,2</sup>, ZHOU Dequan<sup>1,2</sup>, BAI Xiaoyong<sup>2</sup>, QIAN Qinghuan<sup>1,2</sup>, YAN Mengmeng<sup>1</sup>

(1. School of Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550081, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China)

**Abstract:** Sichuan Province, an important ecological barrier in the Yangtze River Basin, is located in the upstream of the Yangtze River. The analysis of spatial – temporal evolution of vegetation coverage in the area is of great significance to the ecological environment restoration and management. Therefore, based on the long – term MODIS NDVI data, the spatial – temporal evolution of vegetation coverage in Sichuan Province was analyzed from 2000 to 2016, and Trend Analysis and Hurst index were used to predict the trend and sustainability of the coverage. The results showed that: (1) The annual average NDVI in Sichuan Province was 0.50, and generally the vegetation in the eastern area was higher than that in the west. (2) NDVI fluctuated between 0.48 and 0.53 during 2000–2016, and it showed generally an upward trend with a yearly growth rate of 0.0025. (3) The improved area of vegetation will be larger than the degraded area in the future and the continuously improved vegetation area is larger than the continuously degraded ones. The study is expected to be a reference for the restoration of the ecological environment in the upstream of the Yangtze River.

**Key words:** vegetation coverage; NDVI; Modis; Hurst index; change trend; spatial – temporal evolution; Sichuan Province