四川省植被变化及其与气象因子的相关性分析

郑 杰，冯文兰，牛晓俊，何炳伟
（成都信息工程大学 资源环境学院，四川 成都 610225）

摘 要：[目的] 分析四川省植被的变化特征及其与气象因子的相关性，为该区域的可持续发展提供理论依据。[方法] 采用一元线性回归方法，利用 MODIS NDVI 数据按不同植被类型对 GIMMS NDVI 数据进行模拟拓展，并采用变异系数、趋势分析和偏相关等方法进行变化分析和相关性分析。[结果] (1) 近 30 a 四川省植被 NDVI 以基本无变化和减小为主，减小的区域主要位于盆周山地、川东北的中海拔山地和川西北高原湿地，增长变化的区域较小，主要位于四川盆地中北部和川西高原西部；(2) 植被受气温影响较大的区域主要分布在以灌丛和高山植被覆盖为主的甘孜西南部、西北部以及四川盆地的西南部，以针叶林和水稻种植为主的成都平原、四川盆地中部以及川东北的广元则对降水更敏感。[结论] 过去 32 a 间四川省年最大 NDVI 变化具有明显的阶段性特征，整体上呈现下降趋势；植被 NDVI 的变化与降水和气温具有显著的线性相关关系，且气温和降水对植被变化的影响具有明显的区域差异。

关键词：植被覆盖度；气象因子；相关性；四川省
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2016)02-0099-06 **中图分类号**：P463

文献参数：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. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.019

Vegetation Change and Its Correlation with Meteorological Factors in Sichuan Province

ZHENG Jie, FENG Wenlan, NIU Xiaojun, HE Bingwei
(*College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu, Sichuan* 610225, *China*)

Abstract: [Objective] This paper analyzed the characteristics of vegetation change and its correlation with meteorological factors in Sichuan Province in order to provide a theoretical basis for sustainable development of the region. [Methods] MODIS NDVI data was adopted to extend GIMMS NDVI vegetation types-based data using linear regression method. Then, the characteristics of vegetation change and its correlation with meteorological factors were studied by using coefficient of variation, trend analysis and partial correlation analysis. [Results] (1) According to NDVI, most areal vegetation of Sichuan Province were substantially unchanged and decreased. Decreased regions were mainly located in the medium altitude mountain of the northeast areas, the mountain areas around Sichuan Basin and the plateau wetlands. The increased area was small, mainly located in the north central of Sichuan Basin and the west of Western Sichuan plateau. (2) The influence of temperature and precipitation changes on vegetation was different. In the southwestern and the northwestern of Ganzi area, as well as the southwestern of Sichuan Basin, where were mainly covered with shrubs and alpine vegetation, these vegetations was more influenced by the temperature. In the northeast of Sichuan Province and the central of Sichuan Basin, where the vegetation were dominated by coniferous forest and rice cultivation, were more sensitive to precipitation. [Conclusion] The change of annual maximum NDVI displayed obvious successive characteristics over the past 32 years, an overall downward trend was observed. The correlations of NDVI with precipitation and temperature displayed significant linear correlation, and the effects of temperature and precipitation on vegetation change had obvious regional differences.

Keywords: **vegetation coverage; meteorological factors; correlation; Sichuan Province**

收稿日期：2015-03-04 **修回日期**：2015-03-31
资助项目：国家自然科学基金项目“气候变化和人类活动对岷江上游生态脆弱性相对作用的研究”(41301653)
第一作者：郑杰(1991—)，男(汉族)，江苏省高邮市人，硕士研究生，研究方向为 3S 集成与气象应用。E-mail：zhengjie0601@sina.com。
通信作者：冯文兰(1979—)，女(汉族)，四川省成都市人，教授，主要从事环境遥感应用方面的研究。E-mail：fwl@cuit.edu.cn。

植被是联结土壤圈、水圈和大气圈的“纽带”，在全球气候变化的研究中起着“指示器”的作用[1]。植被覆盖度能够反映区域植被的生长状况，大区域范围植被覆盖的变化体现了自然气候演变和人类活动对生态环境的作用[2]。在全球变暖的大趋势下，植被覆盖的研究对掌握全球能量平衡和保护区域环境起着重要的作用。遥感方法是监测区域植被变化的有效手段，利用遥感方法分析植被的覆盖变化具有高效性、连续性等优势[3]。归一化植被指数(NDVI)是表征植被覆盖的一个重要指标，能够较精确地反映地表植被的生长状态及演变的特征，在地区的草地退化、湿地景观格局等领域发挥着重要的作用。由于其时间序列较长、空间分辨率适中，AVHRR-GIMMS NDVI，SPOT-VCG NDVI 和 MODIS NDVI 数据是国内外长时间序列植被覆盖研究常用的数据源。其中，GIMMS NDVI 是目前时间序列最长的植被遥感数据，因此、尽管其空间分辨率较低且存在潜在噪声等缺点，该数据仍在全球以及大尺度范围的植被覆盖研究中被广泛应用[4]。SPOT VGT-NDVI 数据的时间覆盖范围为 1998 年至今，但空间分辨率提高到 1 km，因而常用于中时间尺度和中尺度范围的植被覆盖情况的研究[5]。MODIS NDVI 产品数据时间覆盖范围是 2001 年 7 月至今，由于其空间分辨率和数据质量的提高，近年来更多地被广大学者所采用[6]。然而，植被变化是一个长期的过程，并且不同植被类型对传感器的响应不同，因此，上述 3 种 NDVI 数据集中的任何一种仍难以满足区域长时间序列植被变化研究的需要。因而，国内外很多学者开展了不同 NDVI 数据源间的拟合。如，Brown 等[7]运用神经网络分析法对 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据进行了融合应用。毛德华等[8]基于 MODIS 和 AVHRR 数据源的重合时间段采用最小二乘法对其进行一元线性回归模拟扩展了 NDVI 数据时间序列。

植被是生态环境的重要组成部分，对四川省较长时间内植被变化的研究，有助于掌握植被覆盖的变化情况及了解自然要素和人类活动对生态环境的影响，也可以为该区域的可持续发展提供理论依据。本研究分别对研究区不同植被类型采用一元线性回归模拟构建 MODIS NDVI 和 GIMMS NDVI 数据的回归方程，将 MODIS NDVI 空间分辨率降尺度重采样到 8 km 以拓展 GIMMS NDVI 的时间序列，构建空间分辨率为 8 km 的四川省 1982—2013 年植被 NDVI 数据集。在此基础上，分析四川省植被的变化特征，并结合气象数据讨论了植被变化对气候变化的响应特征。

1 研究区概况

四川省介于东经 97°21′—108°33′和北纬 26°03′—34°19′，位于中国西南腹地，是承接华南华中、连接西南西北、沟通中南亚和东南亚的重要的交通走廊。该地区地处长江上游，地形地貌特殊，自然资源优越。四川省总面积约为 4.86×10^5 km^2，其中山地约占 76%。该省土壤类型丰富，共有 25 个土类，63 个亚类，137 个土种，380 个土种，其中耕地土壤有紫色土、水稻土、黄壤、红壤等。四川省按气候类型大致可分为 3 个区域：东部平原属亚热带季风气候，冬暖夏热，日照较少，年均温 16～18 ℃，年降水量 1 000～1 300 mm；西部山区气候垂直变化显著，以寒温带气候为主，冬寒夏凉，日照充足，年均温 4～12 ℃，年降水量 500～900 mm；西南山地属亚热带半湿润气候，四季不明显，气温较高，年均温 12～20 ℃，日照充足，年降水量 900～1 200 mm，且多集中在 5—10 月。四川省植被类型多样，以亚热带灌丛类、亚热带常绿阔叶林针叶林和高寒草甸为主(附图 6)。东部平原区是主要的农业区，以栽培植物为主；西部高寒高原区主要分布着高山稀疏植被和嵩草高寒草甸；高寒沼泽主要分布在川北若尔盖湿地地区。近年来随着经济的发展，人类掠夺式开采自然资源，毁林开荒、过度放牧，导致植被退化，生态环境恶化。

2 数据获取与研究方法

2.1 数据来源及预处理

采用的 AVHRR-GIMMS NDVI 数据来源于美国航空航天局(NASA)全球检测与模型研究组提供的 GIMMS NDVI 产品中半月最大值合成数据集(http://iridl.ldeo.columbia.edu/)，空间分辨为 8 km×8 km，时间跨度为 1981 年 7 月至 2006 年 12 月。MODIS NDVI 数据来源于 NASA Terra 卫星提供的 MOD13 Q1 级产品中 16 d 最大值合成 NDVI 数据集(http://www.gscloud.cn/)，时间覆盖范围为 2000 年 2 月至 2013 年 12 月，空间分辨率为 250 m×250 m。2 组数据集在数据制备过程中均经过大气校正、辐射校正、几何校正等预处理。分别对 2 组数据采用最大值合成法(MVC)获取年最大 NDVI 值，用以表示全年植被生长状况，并进一步消除云、大气、太阳高度角等的干扰。气象资料来源于中国地面气候资料月值数据集(http://cdc.nmic.cn/home.do)，所用数据包括位于四川省及周边青海省、云南省、重庆毗邻四川省的共 53 个气象站点(附图 6)1982—2013 年的月平均气温和月降水量数据。首先

运用 Excel 的数据透析表计算年平均气温和年降水量,然后运用 ArcGIS 生成点图层并采用普通克里金插值法(年降水量)、简单协克里金插值法(年平均气温)生成 8 km×8 km 的栅格影像。

2.2　研究方法

2.2.1　1982—2013 年 NDVI 数据集的建立　相同时间和地点的 GIMMS NDVI 和 MODIS NDVI 数据一般为一元线性关系[9]。利用 2 个数据集重合时间段(2001—2006 年)的数据建立回归模型,采用一元线性回归模拟方程将 MODIS NDVI 数据重采样到 8 km 以延长 GIMMS NDVI 的时间序列。考虑到不同植被类型对传感器的响应不同,为了减小误差,根据 1∶100 万的中国植被图集,分别对研究区草甸、林地、灌丛、沼泽、栽培植被和高山植被 6 类[10]植被类型进行 2 种数据的回归拟合分析。根据建立的回归方程分别利用 2001—2006 年 MODIS 年最大值数据拟合 GIMMS 数据,逐像元计算与原始 GIMMS NDVI 数据的差值,并结合回归模拟的相关系数显著性检验验证拓展序列可用性。

2.2.2　植被变化的稳定性分析　统计和分析 1982—2013 年四川省年最大 NDVI 平均值的变化趋势,以掌握研究区植被变化的整体趋势。为了解区域尺度上植被变化的稳定性及其空间差异,逐像元计算 32 a 来年最大 NDVI 值的变异系数。变异系数的计算公式为:

$$C_v=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{NDVI}_i-\overline{\mathrm{NDVI}})^2/n}}{\overline{\mathrm{NDVI}}} \tag{1}$$

式中:C_v——变异系数;n——研究的累计年数;i——年份序号;NDVI_i——第 i 年的年最大 NDVI 值;$\overline{\mathrm{NDVI}}$——n 年植被年最大 NDVI 值的平均值。C_v 值越大,表明数据分布越离散,NDVI 年际变化越大;反之,C_v 值越小,表明数据分布越紧凑,NDVI 年际变化越小。

2.2.3　植被年际变化趋势分析　为进一步揭示近 30 a 四川省植被动态变化的空间差异,采用一元线性回归分析模拟逐个像元的年际变化趋势。其计算公式为:

$$\mathrm{slope}=\frac{n\sum_{i=1}^{n}(i\cdot\mathrm{NDVI}_i)-(\sum_{i=1}^{n}i)\cdot(\sum_{i=1}^{n}\mathrm{NDVI}_i)}{n\sum_{i=1}^{n}i^2-(\sum_{i=1}^{n}i)^2} \tag{2}$$

式中:slope——NDVI 年际变化趋势线的斜率;n——研究的累计年数;i——年份序号,NDVI_i——第 i 年的年最大 NDVI 值。若 slope 值为正,表明 NDVI 值随时间变化升高,值越大,升高趋势越明显;反之,若 slope 值为负,则表明随时间变化 NDVI 值呈下降趋势。

进一步运用 t 检验对 NDVI 的年际变化趋势(回归系数 slope)进行显著性检验。目前,相关研究多运用 F 检验法,但陈彦光[11]指出 F 检验主要用于检验线性关系是否可以接受,t 检验用于检验回归系数是否具有统计意义,因此选取 t 检验法,其计算公式为:

$$t=\frac{|\ \mathrm{slope}\ |}{\sqrt{Q/(n-2)}/\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(i-\bar{i})^2}} \tag{3}$$

式中:t——检验值;Q——误差平方和。Q 的计算公式为:

$$Q=\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{NDVI}_i-\widehat{\mathrm{NDVI}_i})^2 \tag{4}$$

式中:$\widehat{\mathrm{NDVI}_i}$——第 i 年 NDVI 的回归值。

2.2.4　植被变化与气候变化的关系　气候的变化是区域植被覆盖变化的主要驱动因子之一。首先,逐像元计算 1982—2013 年四川省年最大 NDVI 与降水量和气温的相关系数,来表示气候因子与 NDVI 序列植被变化的相关程度关系。根据相关系数显著性检验将相关性划分为 5 个等级[8]:极显著负相关($r<0$ 且 $0<p<0.001$)、显著负相关($r<0$ 且 $0.001<p<0.005$)、不显著相关($p>0.005$)、显著正相关($r>0$ 且 $0<p<0.005$)、极显著正相关($r>0$ 且 $0.001<p<0.005$)。相关系数的计算公式为:

$$r_{xy}=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \tag{5}$$

式中:r_{xy}——x 和 y 的相关系数;x_i,y_i——第 i 年的年降水量和年平均气温;$\bar{x}$,$\bar{y}$——年降水量和年平均气温 32 a 的平均值。

为进一步讨论气温和降水对研究区植被变化影响的区域差异,通过逐像元分别计算 NDVI 与年降水量和年均气温的偏相关系数,综合分析降水和气温对植被 NDVI 的影响。偏相关系数的计算公式为:

$$R_{12.3}=\frac{r_{12}-r_{13}\cdot r_{23}}{\sqrt{(1-r_{13}^2)(1-r_{23}^2)}} \tag{6}$$

式中:r_{12},r_{13},r_{23}——NDVI 与降水、NDVI 与气温、降雨与气温的相关系数;$R_{12.3}$——气温一定下,降水与 NDVI 的偏相关系数。$R>0$ 表示正相关,反之为负相关,R 的绝对值越大,表示两要素相关性越强。

3　结果与分析

3.1　MODIS NDVI 与 GIMMS NDVI 的回归方程与一致性检验

研究区不同植被类型 MODIS NDVI 和 GIMMS NDVI 数据的拟合回归方程及其对应的相关系数和

F 检验值详见表 1。y 代表 GIMMS NDVI，x 代表 MODIS NDVI。由表 1 可以看出，2 组数据具有显著的线性相关关系。其中，沼泽植被在研究区的像元素仅为 40 个，2 组数据的相关系数为 0.437 0，在 0.005 置信水平上通过检验，其余 5 种植被类型的 2 组数据的相关性都通过了置信度为 $p<0.001$ 的一致性检验。且 F 检验的结果表明，沼泽和栽培植物相关系数的 F 值的置信度为 99.5%，其余 4 种植被类型相关系数的 F 值的置信度为 99.9%。

表 1 MODIS NDVI 和 GIMMS NDVI 年最大 NDVI 的回归方程

植被类型	回归方程	像元数	相关系数 R	F 值
草甸	$y=0.356x+4\ 050$	1 488	0.430 1***	256.183 7***
灌丛	$y=0.350x+3\ 175$	1 260	0.371 5***	163.694 3***
林地	$y=0.277x+3\ 663$	1 501	0.249 0***	87.609 9***
沼泽	$y=0.481x+3\ 436$	40	0.437 0**	9.524 7**
高山植被	$y=0.245x+3\ 046$	126	0.481 7***	35.249 8***
栽培植被	$y=0.319x+4\ 022$	1 650	0.347 8***	9.253 4**

注：*** 表示在 0.001 置信水平上显著；** 表示在 0.005 置信水平上显著。

逐像元计算 2001—2006 年数据拟合的 NDVI 值与原始 GIMMS NDVI 值的差值，据统计，拟合结果与原数据的误差约有 74%的像元在±0.1 幅度范围以内，其中，约 44%的像元差值集中在±0.05 以内，误差在可以接受的范围之内。经过一致性检验和误差分析，认为通过该方法可以达到延长 GIMMS NDVI 的数据时间序列的目的。

3.2 植被变化的时空特征

从 1982—2013 年研究区基于栅格的年最大 NDVI 均值的变化曲线（图 1）可以看出，近 30 a 来四川省植被指数值整体呈现下降的变化趋势，变化过程大致可以分为 5 个阶段：（1）1982—1986 年，NDVI 值相对较高且稳定，植被生长状况较好；（2）1987—1997 年，植被变化较为复杂，NDVI 值波动起伏较大，最大值出现在 1990 年（0.657）；（3）1998—2005 年，NDVI 值相对较低，2002—2005 年减小幅度较大；（4）2005—2010 年，NDVI 值缓慢增大且较稳定；（5）2011—2013 年，NDVI 均值再次逐年减小，2013 年出现研究时期内的最小值（0.593 1）。

逐像元计算 1982—2013 年 32 a 间年最大 NDVI 值的变异系数（C_v）结果如附图 7 所示。由附图 7 可以看出，近 30 a 整个研究区年 NDVI 值的空间变异系数相对较小，植被变化总体较稳定。统计结果显示，该区域的变异系数大多小于 0.04，大于 0.04 以上的区域仅占总面积的 2.42%。变异系数较大的区域主要集中在盆周山地、川西高原西部，包括汶川县、绵竹县、雅安县、宝兴县、泸定县、康定县、理塘县、甘孜、德格县、石渠县和平武县等地，以林地和灌丛类植被变化较大为主。

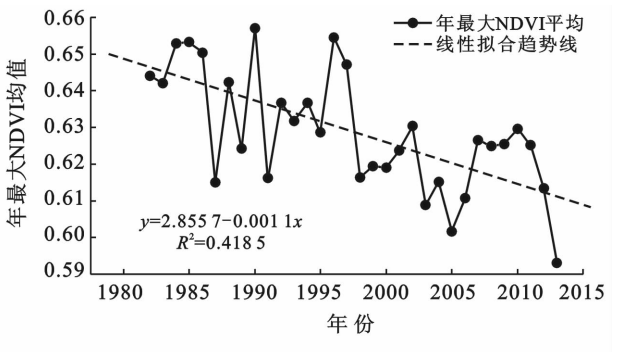


图 1 四川省 1982－2013 年年最大 NDVI 变化趋势

利用趋势分析法和回归系数（slope）t 检验法，参考穆少杰[12]的研究成果，结合研究区实际情况将四川省植被变化趋势分为 5 种类型（表 2），统计各变化类型的面积比例（表 2）并制作四川省 NDVI 的变化趋势类型分布图（附图 7），结果显示：（1）1982—2013 年研究区 48.57%的像元 NDVI 并未发生明显变化，包括四川盆地中部的栽培植物、川西高原的高寒嵩草草甸、高山稀疏植被和川南的亚热带针叶林；（2）NDVI值呈显著增加和极显著增加的区域相邻分布，分别占总面积的 13.06%和 0.76%，主要分布于四川盆地中北部的绵阳市、德阳市、南充市和川西高原区的理塘县、巴塘县、德格县。其中，盆地中北部 NDVI 值增大可能与退耕还林还草工程的开展对亚热带针叶林的恢复有关，气候变暖促进植物生长则可能是引起川西高原以亚高山硬叶常绿阔叶灌丛植被为主的地区 NDVI 增加的主要原因；（3）NDVI 值显著减小和极显著减小的部分主要分布于盆周山地、川东北的中海拔山地以及川西北高原湿地，以常绿阔叶林（灌丛）、落叶灌丛、落叶阔叶混交林和沼泽湿地为主。NDVI 值极显著减小的区域主要分布在龙门山断裂带附近，该区生态环境极其脆弱，地质灾害频发不利于植被的生长[13]。川西北高原湿地 NDVI 值减小也很显著，变化的原因在于气候变化和过牧、旅游开发等人为干扰因素引起的以木里苔草高寒沼泽为主的大面积土地退化。以上结果表明，生态脆弱地区的植被退化应是四川省植被恢复和生态环境管理的重点。

3.3 植被变化与降水和气温的相关性

统计四川省近 30 a 来年均气温和年降水量可知，研究区年平均气温处于－1.8～21.41 ℃，整体上呈现西北低东南高的分布特征；年降水量在 479.12～1 344.51 mm 范围内，整体上呈现西北低中东部高

的分布特征,多年降水量最大的区域在四川盆地的西南部。逐像元分别计算年 NDVI 均值与年降水量和年平均气温的相关系数显示,四川省植被 NDVI 受降水和气温的影响显著,且存在空间差异。NDVI 与气温呈显著和极显著相关($p>0.005$)的像元总数比 NDVI 与降水的像元总数多 19.76%。其中,植被年最大 NDVI 与年平均气温呈极显著和显著正相关的区域分别占研究区总面积的 5.35%和 4.24%,呈极显著和显著负相关的区域占总面积的 11.37%和 10.05%;NDVI 与年降水量呈极显著和显著正相关的区域面积分别占研究区总面积的 1.03%和 1.37%,呈极显著和显著负相关的区域面积分别占研究区总面积的 2.83%和 5.53%。

表 2　四川省 1982－2013 年植被指数变化趋势

分级标准	变化趋势	面积/km^2	所占面积比例/%
slope<0 且 $t\geqslant t_{0.01}$	极显著减小	31 616	6.71
slope<0 且 $t_{0.05}\leqslant t<t_{0.01}$	显著减小	145 536	30.90
$t<t_{0.05}$	基本无变化	228 800	48.57
slope>0 且 $t_{0.05}\leqslant t<t_{0.01}$	显著增加	61 504	13.06
slope>0 且 $t\geqslant t_{0.01}$	极显著增加	3 584	0.76

进一步对年最大 NDVI 值与年降水量和年平均气温做偏相关系数分析结果(附图 8)显示:整体来看,NDVI 受气温影响较大的区域主要分布在甘孜藏族自治州西南部和西北部、四川盆地的西南部和西北部。其中,甘孜藏族自治州西南部理塘县和西北部德格县植被 NDVI 与气温呈正相关,以亚高山硬叶常绿阔叶灌丛覆盖为主,这些地区海拔高,降水量适中,热量是植被生长的主要影响因素。乐山市和雅安市西南部的盆周山地以阔叶林为主,这些地区植被生长所需的水分条件充足[14],但气温的升高加速了阔叶林的蒸腾作用,且这些地区光照条件不足,对植物的生长有一定的限制作用;而四川盆地西北部平武县降水丰沛,日照充足,当温度超过了该区域植被生长的最适温度,会降低植物的净光合作用,不利于植被生长,因此这些地区植被 NDVI 与气温呈负相关。降水量是影响农作物生长的主要气候因子,以栽培植物覆盖为主的四川盆地大部分地区 NDVI 与降水呈正相关,且正偏相关系数较大的地区主要分布在成都平原、川西北的广元市和四川盆地中部的射洪县和盐亭县,这些地区以水稻种植为主,水分条件是水稻生长的主要影响条件;川西高原整体而言植被生长与降水呈负相关,但与温度的正相关性明显,这些地区处于高山高寒区,温度较低,降水过多使得大气水汽增加,导致入射辐射量减少,进一步降低温度,不利于植物的光合作用[15];川东北部的达州市和华蓥市年降水量较高,对于植被的生长而言水分已经相当充足,且这些地区采用水旱轮作的耕作方式,因此该地区植被生长与降水的负偏相关系数也较高。

4　讨 论

(1) 结合毛德华[8]和张戈丽[16]利用 MODIS 数据拓展 GIMMS 数据的研究结果,本研究的插补结果完全符合要求。但是,由于拟合时未考虑植被类型变化,加之数据原因,仍然存在着不可避免的误差,尤其样本数据较少时,拟合效果更差,这与王琦等[17]的结论一致。

(2) 对四川省植被变化趋势的分析结果表明,近 30 a 四川盆地西北部和西南部盆周山地中海拔山区的 NDVI 值显著减小,这与相关研究结论一致[18]。该区以阔叶林和针叶林覆盖为主,植被覆盖度水平较高,其植被指数的减小主要有如下几方面原因:(1) 土地利用变化的影响,四川盆地西北部和西南部较多的林地转变为其他盖度较低的土地利用类型,结果导致植被指数下降;(2) 气候变化的影响,本文分析结果显示该地区植被 NDVI 与气温呈明显的负相关关系,有关研究指出近年四川盆地西北部和西南部高温天气频发,引起严重干旱,影响植被的正常生长[18];(3) 脆弱生态环境的限制,四川盆地西北部生态环境脆弱,土壤侵蚀严重,地质灾害频发,这都对植被的生长产生不利影响。

(3) 利用偏相关系数分析法可以有效地区分气温和降水对研究区植被变化影响的区域差异。四川省植被受气温和降水的影响显著,且不同植被类型受降水和气温的影响也有所不同。从偏相关分析结果来看(表 3),高山植被受气温的影响最大,其正负偏相关系数分别为 0.314 2 和－0.351 2;栽培植物对降水最为敏感,其正负偏相关系数分别为 0.182 7 和－0.217 2。

整体来看,不同植被类型年最大 NDVI 与气温的相关性由大到小依次为:高山植被>灌丛>草甸>林地>沼泽>栽培植被;NDVI 与降水的相关性按:栽培植物>林地(灌丛)>高山植被>草甸>沼泽依次减弱。这与相关研究的青藏高原地区高寒植被与气温的相关系数最大的结果一致,但其温带草原与降水的相关系数最大,而本文栽培植物受降水的影响程度最大,这与 2 个研究区植被类型的结构差异有关,草原是青藏高原地区的主要植被类型,而栽培植物在四川省所占比例较高但草原面积较少。

表3 不同植被类型年最大NDVI均值与降水和气温的偏相关系数统计

相关性	气象因子	高山植被	草甸	灌丛	沼泽	栽培植被	林地
正相关	气温	0.314 2	0.285 9	0.277 4	0.146 5	0.142 4	0.249 7
	降水	0.124 1	0.106 7	0.127 2	0.090 7	0.182 7	0.153 1
负相关	气温	−0.351 2	−0.275 2	−0.305 3	−0.250 9	−0.240 1	−0.303 4
	降水	−0.186 9	−0.177 3	−0.218 3	−0.146 1	−0.217 2	−0.204 3

5 结论

(1) 使用GIMMS NDVI和MODIS NDVI构建了1982—2013年长时间序列的植被指数。对2数据集不同植被类型NDVI进行回归模拟,除沼泽类植被通过$p<0.005$的显著性检验外,其余均通过$p<0.001$的显著性检验,且插补得到的NDVI数据和原始GIMMS NDVI数据相比,74%的像元误差在±0.1以内,完全符合数据插补的要求。

(2) 过去32 a间四川省年最大NDVI的变化具有明显的阶段性特征。总体来看,整个研究区植被变化较稳定,NDVI变化程度较大的区域主要分布在龙门山断裂带周边和川西高原的西部。其中,NDVI明显增加的区域主要位于四川盆地中北部以及川西高原区的小起伏山地,NDVI减小的区域主要位于盆周山地、川东北的中海拔起伏山地和川北若尔盖沼泽湿地。

(3) 四川省植被NDVI的变化与气候因子(降水和气温)具有显著的线性相关关系,且气温和降水对植被变化的影响具有明显的区域差异。NDVI受气温影响较大的区域主要分布在以高山植被、亚高山硬叶常绿阔叶灌丛、阔叶林覆盖为主的甘孜藏族自治州西南部和西北部、盆周山地西南部以及四川盆地西北部;成都平原、川东北部的广元市和四川盆地中部植被以针叶林和水稻为主,降水是影响这些地区植被变化的主要因素。

[参 考 文 献]

[1] 孙红雨,王常耀,牛铮,等.中国植被覆盖变化及其与气候因子关系:基于NOAA时间序列数据[J].遥感学报,1998,2(3):204-216.

[2] Pickup G, Bastin G N, Chewings V H. Identifying trends in land degradation in non-equilibrium rangelands [J]. Journal of Applied Ecology, 1998,35(3):365-377.

[3] 刘栎杉,延军平,李双双.2000—2009年青海省植被覆盖时空变化特征[J].水土保持通报,2014,34(1):263-267.

[4] Ichii K, Kawabata A, Yamaguchi Y. Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982—1990[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002,23(18):3873-3878.

[5] 戴声佩,张勃,王海军,等.基于SPOTNDVI的祁连山草地植被覆盖时变化趋势分析[J].地理科学进展,2010,29(9):1075-1080.

[6] Zhang Shengwei, Lei Yuping, Wang Liping, et al. Crop classification using MODIS NDVI data denoised by wavelet: A case study in Hebei Plain, China [J]. Chinese Geographical Science, 2011,21(3):322-333.

[7] Brown M E, Lary D J, Vrieling A, et al. Neural networks as a tool for constructing continuous NDVI time series from AVHRR and MODIS[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008,29(24):7141-7158.

[8] 毛德华,王宗明,罗玲,等.基于MODIS和AVHRR数据源的东北地区植被NDVI变化及其与气温和降水间的相关分析[J].遥感技术与应用,2012,27(1):77-85.

[9] 韩佶兴,王宗明,毛德华,等.1982—2010年松花江流域植被动态变化及其与气候因子的相关分析[J].中国农业气象,2011,32(3):430-436.

[10] 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[J].生态学报,2011,31(19):5495-5504.

[11] 陈彦光.地理数学方法:基础和应用[M].北京:科学出版社,2011:40-47.

[12] 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.

[13] 罗慧芬,苗放,叶成名,等.汶川地震前后茂县植被覆盖度变化研究[J].水土保持通报,2013,33(3):202-205.

[14] 胥晓.四川植被净第一性生产力(NPP)对全球气候变化的响应[J].生态学杂志,2004,23(6):19-24.

[15] 宋怡,马明国.基于GIMMS AVHRR NDVI数据的中国寒旱区植被动态及其与气候因子的关系[J].遥感学报,2008,12(3):499-505.

[16] 张戈丽,徐兴良,周才平,等.近30 a来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应[J].地理学报,2011,66(1):47-58.

[17] 王琦,杨勤科,任宗萍.中尺度流域NDVI尺度转换研究[J].水土保持通报,2010,30(3):96-99.

[18] 刘思瑶,卢涛,唐斌等.基于CASA模型的四川植被净初级生产力及其时空格局分析[J].四川农业大学学报,2013,31(3):269-276.