

# 西北地区植被覆盖变化及其与降水和气温的相关性

韦振锋<sup>1,2</sup>, 任志远<sup>1</sup>, 张 翀<sup>1</sup>, 梁 瑞<sup>1</sup>

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 广西财经学院, 广西 南宁 530003)

**摘 要:** 基于 1982—2006 年半月最大化合成 GIMMS—NDVI、降水和气温数据, 利用线性回归、Sen+Mann—Kendall 和相关分析方法分析了中国西北地区植被变化及其与降水和气温相关的时空特征。研究表明: (1) 1982—2006 年, 西北植被变化总体呈改善趋势, 增速约为 3%/10 a ( $p=0.19$ )。大部分地区植被变化呈增长态势, 主要分布在地表水资源丰富地区; 只有少数地区呈下降趋势, 主要分布在一些荒漠干旱地区。(2) 近 25 a 西北的降水量变化波动性较大, 总体变化呈较弱减少趋势; 气温年际变化波动性相对较小, 总体变化趋势为显著上升。(3) 从 9 月到翌年 2 月, 即秋季和冬季, 植被变化与当月降水相关程度较强; 从 3—8 月, 即春季和夏季, 植被对降水的响应存在一定的滞后。而植被与气温相关, 只有 1、3 月和 12 月存在一个月滞后, 其他月份都与当月气温相关程度较强。(4) 在干旱地区, 地表水资源缺乏, 植被与降水呈正相关, 与气温呈负相关; 在地表水资源丰富地区, 植被与降水呈负相关, 与气温呈正相关。

**关键词:** 西北地区; NDVI; 相关分析; 降水; 气温

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)03-0283-07

中图分类号: Q948, P46

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.056

## Changes of Vegetation Cover and Its Correlation with Precipitation and Temperature in Northwest China

WEI Zhen-feng<sup>1,2</sup>, REN Zhi-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Chong<sup>1</sup>, LIANG Rui<sup>1</sup>

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

2. Guangxi University of Finance and Economics, Nanning, Guangxi 530003, China)

**Abstract:** Based on GIMMS—NDVI synthesizing half month maximum every year and precipitation and temperature data from 1982 to 2006, changes of vegetation cover and spatial and temporal characteristics of its correlation with precipitation and temperature were studied using linear regression, Sen + Mann—Kendall analysis and correlation analysis methods. Results are as follows: (1) From 1982 to 2006, change of vegetation cover was obvious, with a changing rate of about 3%/10 a ( $p=0.19$ ). Changes of vegetation showed a rising trend in most of regions with more surface water and a declining trend mainly in few arid desert regions. (2) The fluctuation of precipitation was obvious in Northwest China during the past 25 a and the overall trend showed a little decreasing. Interannual fluctuation of temperature was relatively small and its overall trend significantly increased. (3) From September to February next year, that is, from autumn to winter, the correlation between vegetation changes and precipitation was strong. From March to August, that is, from spring to summer, the response of vegetation to precipitation was a delay-dependent. The response of vegetation to temperature had one month lag in January, March and December and a significant correlation in other months. (4) Spatially, in the arid regions lacking surface water resources, the relationship between vegetation changes and precipitation was positive and between vegetation changes and temperature, negative. In the regions rich in surface water, the relationship between vegetation changes and precipitation was negative, and between vegetation changes and temperature, positive.

**Keywords:** Northwest China; NDVI; correlation analysis; precipitation; temperature

收稿日期: 2013-06-13

修回日期: 2013-07-01

资助项目: 国家自然科学基金项目“我国生态脆弱区能源开发生态效应测评与调控研究”(41071057)

作者简介: 韦振锋(1983—), 男(汉族), 广西壮族自治区南宁市人, 博士, 讲师, 研究方向为 GIS 与国土资源评价。E-mail: weizhenfeng112@163.com。

通信作者: 任志远(1953—), 男(汉族), 陕西省兴平市人, 学士, 博士生导师, 教授, 主要从事遥感、地理信息系统与国土资源开发。E-mail: renzhy@snnu.edu.cn。

植被是联系土壤、大气和水分的自然纽带,在保持水土,调节大气,维持气候及整个生态系统稳定等方面具有重要作用<sup>[1]</sup>。它与降水和气温等气候要素相关密切<sup>[2-3]</sup>,在生态研究中起着“指示器”的作用<sup>[1]</sup>。地表植被变化既受气候的影响,同时也反作用于气候变化,对生态系统的变化产生巨大作用,所以研究植被变化及其与气候的相关响应,对人类如何进行农业生产、生态建设、保持水土流失等方面提供一定的借鉴。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是反映植被对光合有效辐射(photosynthetically active radiation, PAR)吸收能力的一个有效指标<sup>[4]</sup>,是反应植被变化状况的最佳指示因子<sup>[5]</sup>。归一化植被指数被广泛用于估算叶面积指数(leaf area index, LAI)、植被生产力和生物量<sup>[6-8]</sup>。国内外很多学者研究植被 NDVI 动态变化与气候因子的相关程度<sup>[9-13]</sup>,结果认为,植被 NDVI 的变化特征及其与气候因子的关系程度在不同的时空尺度上有所差异<sup>[9-10,12]</sup>。在中国西北地区气候干旱,沙漠化和荒漠化较严重,沙尘天气频繁出现,生态环境脆弱,气候变化相对较敏感,地表植被覆盖变化对该地区环境保护和生态建设方面都具有重要的指示意义<sup>[14-16]</sup>。鉴于此,本文以线性回归、Sen + Mann—Kendall 和相关分析为方法,分析 1982—2006 年西北地区植被覆盖变化及其对气候要素在时空上的响应程度,希望可以为今后西北农业生产、生态环境建设等方面提供理论支撑。

## 1 研究概况

本文研究区为中国西北 5 省,主要包括青海省、陕西省、甘肃省、新疆维吾尔自治区和宁夏回族自治区。位于中国西北地区,地理坐标为  $73^{\circ}15'$ — $111^{\circ}15'E$ 和  $31^{\circ}32'$ — $49^{\circ}10'N$ ,面积约为  $3.10 \times 10^6$  km<sup>2</sup>。气候属于温带季风气候、温带大陆性气候,光热资源丰富,干旱少雨,蒸发量大,降水自东向西递减<sup>[17]</sup>。地形主要以高原和盆地为主,包括青藏高原、黄土高原、塔里木盆地、柴达木盆地、准格尔盆地、渭河平原、秦巴山地等。从东到西形成由森林到草原再到荒漠的一种自然景观<sup>[18]</sup>。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与处理

本文所用到的数据包括 1982—2006 年半月最大合成 GIMMS—NDVI,来自美国航空航天局(NASA)全球监测与模型研究组(global inventory modeling and mapping studies, GIMMS)发布的每年半月最大

值合成的全球数据,已经过校正处理,保证了数据的质量,时间步长为 15 d,空间分辨率是 8 km,其误差较小、精度较高,已广泛应用植被变化的研究中<sup>[19-20]</sup>。为了进一步消除大气、云、太阳高度角等干扰因素<sup>[21]</sup>,采用最大合成法 MVC(maximum value composites)<sup>[22]</sup>获取月 NDVI 值和年 NDVI 值。月 NDVI 值公式为:

$$MNODVI_i = \max(NDVI_{i_1}, NDVI_{i_2}) \quad (1)$$

式中:  $MNODVI_i$ ——第  $i$  月的 NDVI 值;  $i$ ——月序号 ( $i=1, 2, 3, \dots, 12$ );  $NDVI_{i_1}, NDVI_{i_2}$ ——第  $i$  月上半月和下半月的 NDVI 值。

用同样 MVC 方法获取月最大 NDVI 作为年 NDVI 值。计算公式为:

$$Y_{NDVI} = \max(MNODVI_1, MNODVI_2, \dots, MNODVI_{12}) \quad (2)$$

式中:  $Y_{NDVI}$ ——年 NDVI 值;  $MNODVI_1, MNODVI_2, \dots, MNODVI_{12}$ ——1—12 月的月 NDVI 值。

1982—2006 年西北地区气温与降水数据主要来源于中国气象科学数据共享服务网的中国地面气候资料旬值、月值和年值数据集。将西北地区 215 个气象站点的日均温与降水数据粗粒化为月降水和月均温,然后通过 ARCGIS 反距离权重插值法,将气象数据插值呈与 NDVI 同样分辨率 8 km。

由于沙漠地区的植被较少,植被变化不明显,因此在研究区域中对沙漠地区进行掩膜处理。本研究是以 2000 年土地变化数据,数据来源与寒区旱区科学数据中心的西北地区土地覆盖综合数据集。用 ARCGIS 提取沙漠范围数据,然后对研究区进行掩膜处理。

### 2.2 研究方法

2.2.1 线性回归分析 采用线性回归分析植被、降水和气温随时间的变化速率,即植被 NDVI 和气候要素  $y$  随时间  $t$  变化的线性回归系数  $a$ ,即公式(3),并采用  $p$  进行显著性检验。

$$y = at + b \quad [t=1, 2, \dots, n(n \leq 25)] \quad (3)$$

2.2.2 Sen + Mann—Kendall 用 Sen 方法分析植被变化趋势的空间特征,并通过 Mann—Kendall 方法进行检验。该方法能够避免数据的缺失、剔除异常值的干扰以及数据分布形态对分析结果的影响。本文用 1982—2006 年 NDVI 计算 Sen 趋势度。公式为:

$$\rho = \text{median} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad (1 < i < j < n) \quad (4)$$

式中:  $x_j, x_i$ ——时间序列数据。若  $\rho < 0$  表示下降趋势,反之表示上升趋势。并通过 Mann—Kendall 方法检验变化趋势是否显著。

Mann—Kendall 检验(M—K 检验)是比较常用的时间序列趋势检验方法之一。M—K 检验不需要样本遵从一定的分布,适用于非正态分布的数据。

方法如下:

$$Q = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (5)$$

$$\text{sign}(s) = \begin{cases} 1 & (s > 0) \\ 0 & (s = 0) \\ -1 & (s < 0) \end{cases} \quad (6)$$

$$z = \begin{cases} (Q-1)/\sqrt{V(Q)} & (Q > 0) \\ 0 & (Q = 0) \\ (Q+1)/\sqrt{V(Q)} & (Q < 0) \end{cases} \quad (7)$$

式中:  $Q$ ——检验统计量;  $z$ ——标准化后的检验统计量;  $x_j, x_i$ ——时间序列数据;  $n$ ——样本数; 当  $n \geq 8$  时,  $Q$  近似为正态分布, 其均值和方差计算如下:

$$E(Q) = 0 \quad (8)$$

$$V(Q) = n(n-1)(2n-5)/18 \quad (9)$$

标准化后  $z$  为标准正态分布, 若  $|z| > z_{1-a/2}$ , 表明存在明显趋势变化。  $z_{1-a/2}$  为标准正态函数分布在置信度水平  $a$  下对应的值。本文中置信度水平  $a$  为 0.05, 自由度为  $25-2=23$ 。

2.2.3 相关分析 地理系统是一种多要素的复杂系统, 各要素之间相关密切, 其中一个要素的变化必然影响到其他要素的变化, 分析各要素之间的相关强度, 一般都用相关分析法来研究。公式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

式中:  $r_{xy}$ —— $x, y$  的相关系数;  $x_i$ ——第  $i$  个时间序列的变量值;  $y_i$ ——第  $i$  个时间序列的变量值;  $\bar{x}$ —— $x_i$  时间变量的平均值;  $\bar{y}$ —— $y_i$  时间变量的平均值;  $i$ ——样本个数。其系数大于 0 表示, 正相关, 小于 0 表示负相关, 数值大小表示相关程度。计算结果要同通过显著检验。

### 3 结果分析

#### 3.1 西北地区植被年际变化特征

根据 1982—2006 年西北植被 NDVI 年际变化, 近 25 a 西北植被变化总体是增长趋势, 增速为 3%/10 a ( $p > 0.05$ ), 变化不显著。在研究时段内, 植被变化大概分为 4 个阶段。(1) 从 1982—1990 年, 植被变化为大幅度增长阶段。(2) 从 1990—1997 年, 植被变化为波动较大时期。(3) 从 1997—2002 年, 植被变化为小幅度增长阶段。(4) 从 2002—2006 年, 植被变化出现下降趋势。总体来看, 在 20 世纪 90 年

代之前, 植被变化呈增长趋势, 说明生态系统自己调节的作用为主, 人类作用不明显; 90 年代以后植被变化呈下降趋势, 说明人类的作用逐步加强, 城市大开发使得生态环境受到一定程度的破坏, 但从 2004 年以后, 植被变化又出现上升趋势, 说明人们重视生态环境建设, 实施的生态工程建设开始见效。

从植被变化空间分布特征来看(图 1), 植被增长区域比较明显的主要分布在青海省南部、三江源和一些人类活动相对较弱的高寒地区, 其中呈增长趋势占 32.97%, 显著增长趋势占 15.14%。而变化趋势呈下降区域, 主要分布在一些人类活动较频繁地区或者地表水缺乏的干旱地区, 下降趋势占 40.92%, 显著下降趋势占 10.97%, 其中下降趋势显著地区主要分布在陕南地区、甘肃和陕西省交界处等地。综合得出, 近 25 a 来, 西北植被呈增长趋势, 但变化趋势不显著。空间上, 地表水资料丰富地区、高寒地区受人类破坏较弱地区植被变化呈显著增长趋势; 而人类活动相对较频繁地区, 城镇化、大开发地区生态受到不同程度的破坏, 还有人类的过度引水灌溉等因素, 加剧了干旱恶化, 不利于植被生长, 因此这些地区植被变化呈下降趋势。

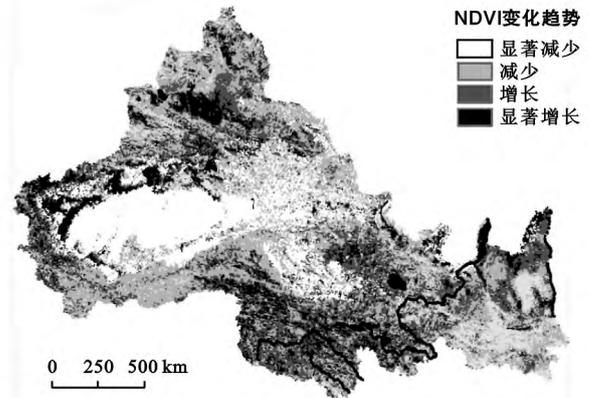


图 1 1982—2006 年西北地区植被 NDVI 年际空间变化特征

#### 3.2 西北地区植被 NDVI 与气候因子年际相关性

3.2.1 气候因子年际变化特征 从图 2a 可见, 1982—2006 年西北降水总体呈较弱减少趋势, 减速为 4.5 mm/10 a ( $p = 0.62$ ), 变化不显著, 研究时段降水年际变化波动性较大。2000 年之前, 降水量呈减少趋势, 2000 年之后, 降水量呈较弱的增加趋势。在 1986 和 1997 年出现降水量较少的两次波谷, 而到 2003 年出现一次最大降水量。从同期气温变化特征(图 2b)来看, 年际变化波动相对降水幅度较小, 但变化趋势是呈显著上升趋势 ( $p < 0.01$ ), 这与全球变暖结论相一致。气温变化也会对降水有一定影响, 因为降水和低云有关, 低云容易形成降水, 当地表温度升高时, 低云可能会抬升变高云或者扩散, 从而不容易

形成降水,使得降水变少。降水还很多其他因素有关,这只是从气温的角度分析影响降水。综合来看,这 25 a,西北的降水量年际变化波动较大,总体变化

趋势呈较弱减少趋势;而气温变化刚好相反,年际变化波动相对较小,总体变化趋势呈显著上升趋势,西北地区气候呈变干旱趋势。

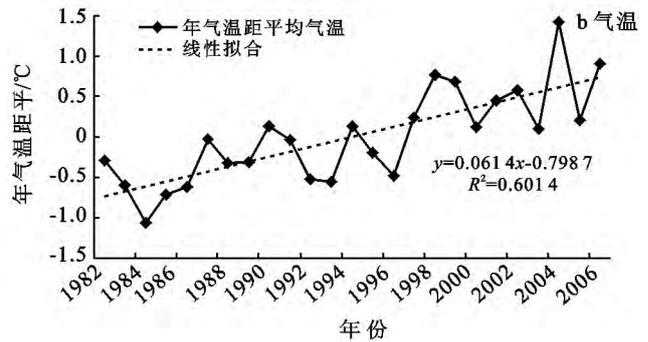
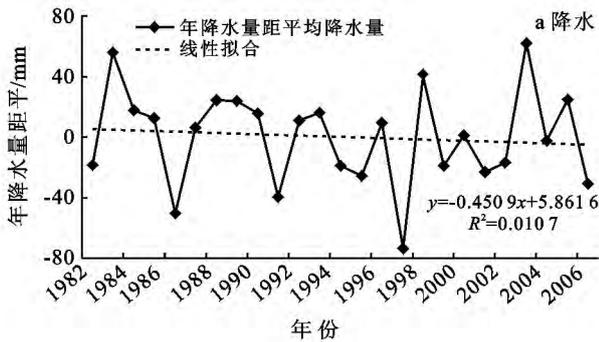


图 2 1982—2006 年西北地区降水量和气温年际变化特征

3.2.2 植被 NDVI 与降水和气温年际相关的空间特征 西北地区植被 NDVI 与降水和气温相关分析中,数值正负表示植被与降水和气温呈正负相关,如果相关系数通过 0.1 显著水平的则为显著相关(由于在 0.05 和 0.01 显著水平的很少,为了能在图 3 中明显显示其相关关系的分类,因此取 0.1 为显著水平)。

者地表水资源相对缺乏地区,像这样的地区植被生长所需要的水分主要靠自然降水,因此呈正相关。正相关区域明显大于负相关区域,只有 36.74% 为负相关,其中显著相关约为 3.14%,主要分布在一些地表水资源丰富地区,如一些常年有积雪的高寒地区,还有一些河流密集地区。对于这些地区常年水资源充沛,植被生长所需的水分已经足够,降水对它们的作用相对较弱,所以这些地区植被变化与降水相关程度较弱。

首先从 NDVI 与降水年际相关空间分布(图 3a)来看,与降水呈正相关的约为 63.26%,其中显著正相关约为 11.84%,主要分布在一些干旱荒漠地区或

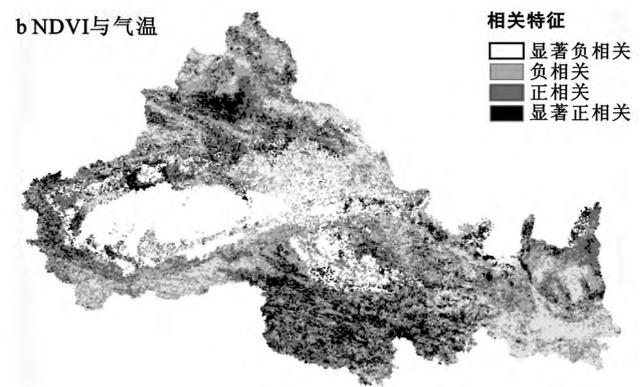
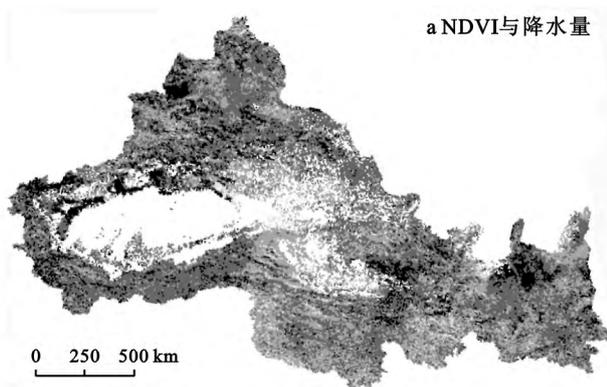


图 3 1982—2006 年 NDVI 与降水量和气温年际相关的空间特征

图 3b 为 1982—2006 年西北地区植被 NDVI 与气温相关空间分布图,研究区的 53.36% 面积为与气温呈负相关,其中 16.47% 为显著负相关,主要分布在一些荒漠的地表水资源缺乏地区,还有分布在陕南以及陕西省和甘肃省交界地区。主要原因是这些地区水资源缺乏,加上气温升高,蒸发量大于降水量,加剧干旱,从而使得植被生长所需的水分缺乏,所以这些地区植被生长与气温呈负相关。与气温呈正相关的面积约为 46.64%,其中显著正相关的面积约为

12.20%。正相关主要分布在天山和青海省南部等地区,主要原因是这些地区是高寒地区,常年有积雪,气温升高冰雪融化,可以弥补降水不足,从而促进植被增长。总体来说,西北大部分地区干旱,气温升高会加剧干旱,从而抑制植被生长,因而植被变化与气温呈负相关;对常年积雪高寒地区和地表水资源丰富地区,气温升高会使冰雪融化,弥补降水资源不足,会促进植被增长,所以这些地区植被变化与气温呈正相关。

### 3.3 植被 NDVI 与气候要素年内各月相关

用相关分析法,分析植被 NDVI 与降水和气温年内各月年际变化的相关程度,根据已有相关研究得出植被生长可能对气候因子的响应存在一定滞后时间,但一般滞后一个月左右,因此,本文只分析植被 NDVI 与当月和与前一个月的气候因子之间的相关程度。图 4 为西北植被 NDVI 与气候因子年内各月年际变化相关程度图。从植被 NDVI 与降水年内各月年际变化相关(图 4a)来看,1—2 月,9—11 月,NDVI 与当月降水相关系数大于与前一个月降水相关系数;3—8 月和 12 月,NDVI 与前一个月相关程度大于与当月降水相关程度,其中 5 和 8 月与前一个月降水相关程度通过显著 0.05 水平检验。说明在春季和夏季,西北植被 NDVI 与降水存在滞后一个月,在冬季和秋

季,与当月降水相关程度较强。

图 4b 为西北地区植被 NDVI 与气温年内各月年际变化相关程度,与当月气温相关程度中,4,6,11 月相关程度都通过 0.05 显著水平,与前一个月相关程度中,1,9 月相关程度通过 0.05 显著水平。从图 4b 可以看出,与当月气温相关程度大于与前一个月相关程度,只有 1,3 和 12 月与前一个月气温相关程度略强于与当月气温相关程度,相关系数相差不大。总体来看,西北地区植被 NDVI 年内各月对气温的响应无滞后。

综合来看,在春节和夏季,西北地区气温较高,降水蒸发和渗透较快,所以在该季节植被生长对降水的响应存在一定的滞后。与气温相关主要和当月气温响应较强。

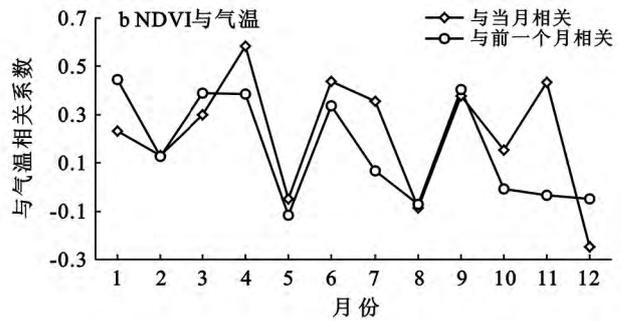
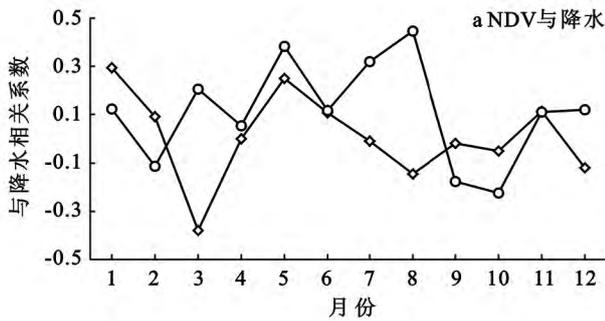


图 4 植被 NDVI 与气候要素在年内各月的相关性

### 3.4 西北植被 NDVI 与气候因子季节相关

3.4.1 西北植被年内 NDVI 变化特征 统计西北植被 NDVI 年内各月值(图 5)可以得出,在冬季植被 NDVI 值最小,在这个时段,植被生长几乎处于停滞。到了 3 月,植被就开始返青,到 8 月植被 NDVI 达到最大值,也就是春季和夏季植被属于生长期,夏季属于最旺盛的季节。9 月以后,植被 NDVI 值开始逐渐下降,说明秋季以后植被就开始衰退。因此,选择春季和夏季来做植被的增长期,分析植被 NDVI 与降水和气温的相关性。从图 4 可以知道在春季和夏季,植被 NDVI 与前一个月降水相关程度较强,与气温相关主要是在当月相关程度较强,所以只分析春季和夏季植被 NDVI 与前一个月相关空间特征,与气温相关只做与当月相关空间特征。

0.1 显著水平),38.98%为负相关,主要分布在一些高寒地区和水资源丰富地区。

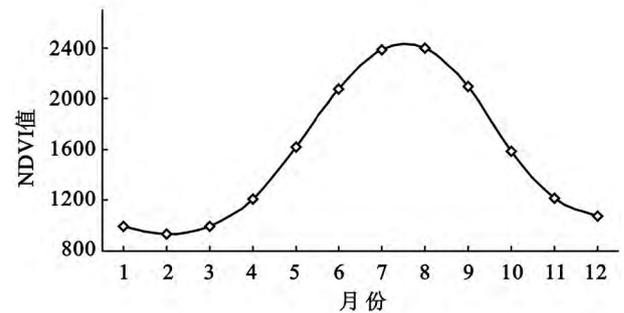


图 5 西北植被年内 NDVI 月变化特征

3.4.2 春季植被与气候相关空间特征 从 1982—2006 年春季植被变化与前一个月降水相关(图 6a)来看,显著正相关约为 10.28%(通过 0.1 显著水平),主要分布在新疆北部地区和陕甘宁交界地区;正相关约为 46.39%,从空间分布来看,大部分地区相关都是呈正相关;显著负相关分布较少,约为 4.53%(通过

图 6b 为西北春季植被 NDVI 与当月气温相关图,根据相关空间分布来看,正相关区域明显大于负相关区域,其中正相关约为 48.30%,显著正相关约为 12.41%,而负相关约为 36.28%,显著负相关约为 3.01%。与气温呈正相关主要分布在一些地表水资源丰富地区,如三江源地区,还有一些高寒地区,如新疆的天山和阿尔泰山一带,以及唐古拉山脉和祁连山。负相关较少,主要分布在一些干旱荒漠地区,而显著负相关几乎没有。

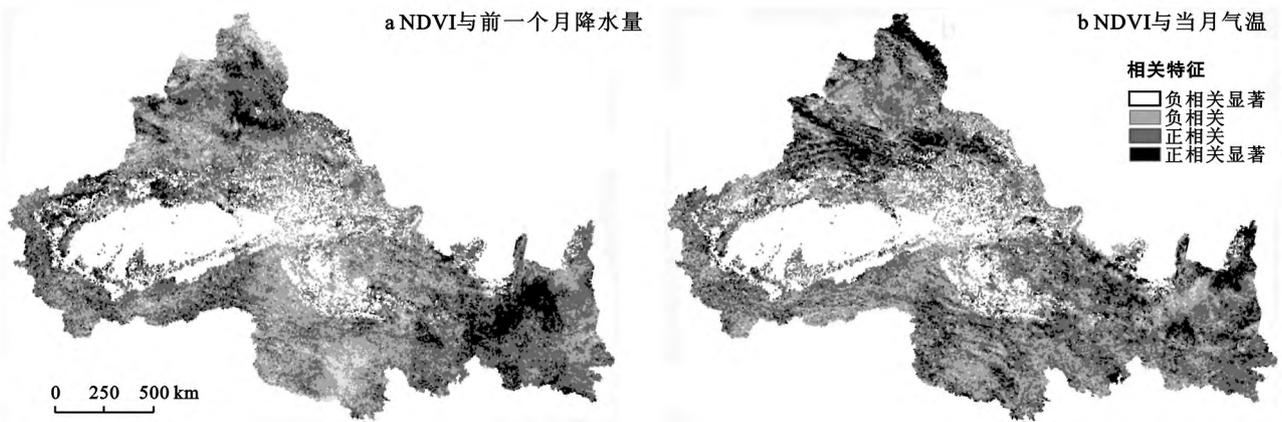


图 6 NDVI 与降水量和气温春季相关的空间特征

3.4.3 夏季植被与气候要素相关的空间特征 从夏季植被 NDVI 与前一个月降水相关特征(图 7a)得出,正相关明显大于负相关,所占比例分别为59.34%和40.66%。其中显著正相关和显著负相关都很少,分别为 9.66%和 3.75%。显著正相关主要分布在宁夏回族自治区和陕北地区,负相关主要分布在水资源丰富地区和一些高寒地区。图 7b 为夏季植被 NDVI 与当月气温相关空间分布图,西北大部分地区为干

旱,气温加剧干旱,蒸发量大于降水,所以显示出与气温负相关面积大于正相关面积。正相关面积约为 35.83%,而显著正相关约为 11.25%,主要分布在青海南部地区,这些地区地表水资源丰富,气温可以促进植被对水分的利用,因而植被与气温呈显著正相关。与气温呈负相关约为 41.95%,主要分布在一些无地表径流的干旱地区,最明显负相关主要分布在甘肃省和陕西省交界地区,以及陕南等地。

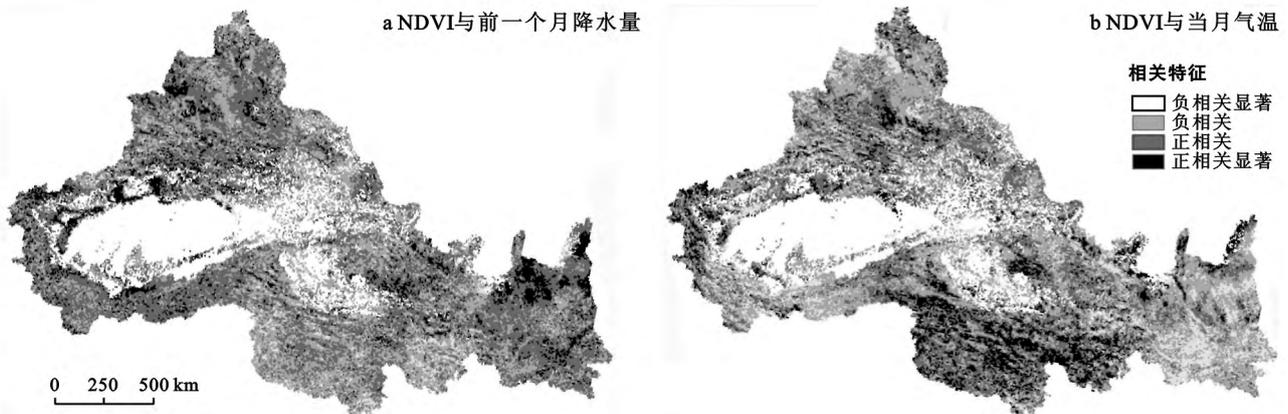


图 7 NDVI 与降水和气温夏季相关的空间特征

### 4 结论

从植被变化趋势空间特征来看,人类活动频繁地区,人为因素都会抑制植被的生长。因此,对于城市发展地区,大力开发的同时要注重生态建设,如在城市中增加绿化面积,合理建设绿化带。对于引水灌溉地区,应该科学合理的利用水资源进行灌溉,防止过度引水灌溉,加剧干旱,不利于植被生长。政府应当进一步完善相关法律法规,对违法违规破坏生态的严惩对待,实行谁破坏谁治理政策。根据西北地区植被变化及其与降水和气温的响应来看,干旱地区,气温升高,降水容易蒸发或者渗透较快,不利于植被生长,

因此在生态工程建设中,应该注重干旱荒漠地区的生态建设,合理利用人工灌溉促进植被生长,有效的控制沙漠化和荒漠化的扩张,从而可以减少沙尘天气的出现频率。根据植被对气候因子的响应时间来看,对降水响应滞后一个月,对气温响应滞后较弱,因而生态建设中,种植植被应该选择合适的植被种类

(1) 1982—2006 年,西北植被变化总体呈改善趋势,增速约为 3%/10 a( $p=0.19$ )。空间分布,大部分地区植被变化呈增加趋势,主要分布在地表水资源丰富地区,如青海南部、三江源地区、黄河流域以及天山北坡等地区。而少数地区呈负相关,主要分布在一些荒漠干旱地区,在陕西和甘肃省交界地区以及陕南地

区相对交明显。

(2) 近 25 a 西北的降水量变化波动较大,但变化趋势呈较弱的减少趋势,减速约为  $4.5 \text{ mm}/10 \text{ a}$  ( $p=0.62$ ); 气温变化呈上升趋势,年际变化波动相对较小,变化趋势呈显著上升趋势,增速为  $0.8 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$  ( $p<0.01$ )。

(3) 西北地区植被与降水和气温年内各月相关,在冬季和秋季,植被变化与当月降水相关程度较强;在春季和夏季,植被对降水的响应存在一定的滞后。而植被与气温相关,只有 1, 3 和 12 月存在滞后一个月,其他月份都是与当月气温相关程度较强。

(4) 在植被与气候因子相关空间分布特征中,在干旱地区,地表水资源缺乏,植被主要依靠自然降水,因而这些地区植被与降水呈正相关;而气温升高会加剧干旱,使得蒸发量大于降水量,从而抑制植被生长,与气温呈负相关。在地表水资源丰富地区,植被与降水呈负相关,而气温升高同时可以促进植被对水分吸收,从而与气温呈正相关。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 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.
- [2] Fang Jingyun, Piao Shi Long, He Jingsheng. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982—1999[J]. Science in China: Series C, 2004,47(3):229-240.
- [3] Nemani R, Keeling C, Hashimoto H. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999[J]. Science, 2003,300(5625):1560-1566.
- [4] Asrar G, Fuchs M, Kanemasu E, et al. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat[J]. Agronomy Journal, 1984,76(2):300-306.
- [5] 张学珍,戴君虎,葛全胜. 1982—2006 年中国东部春季植被变化的区域差异[J]. 地理学报,2012,67(1):53-61.
- [6] Pettorelli N, Vir J, Mysterud A, et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2005,20(9):503-510.
- [7] 刘占宇,黄敬峰,王福,等. 估算水稻叶面积指数的调节型归一化植被指数[J]. 中国农业科学,2008,41(10):3350-3356.
- [8] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等. 农作物空间格局遥感监测研究进展[J]. 中国农业科学,2010,43(14):2879-2888.
- [9] 李晓兵,史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析[J]. 植物生态学报,2000,24(3):379-382.
- [10] 李本纲,陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析[J]. 生态学报,2000,20(5):899-902.
- [11] 郭广猛,谢高地,甄霖. 泾河上游固原地区的 NDVI 变化与降水的相关性研究[J]. 资源科学,2007,29(2):178-182.
- [12] Walther G R, Post E, Conner P. Ecological responses to recent climate change[J]. Nature, 2002,416(6879):389-395.
- [13] 范锦龙,李贵才,张艳. 阴山北麓农牧交错带植被变化及其对气候变化的响应[J]. 生态学杂志,2007,26(10):1528-1532.
- [14] 杜子涛,占玉林,王长耀. 基于 NDVI 序列影像的植被覆盖变化研究[J]. 遥感技术与应用,2008,23(1):47-51.
- [15] 李杭燕,颜耀文,马明国. 时序 NDVI 数据集重建方法评价与实例研究[J]. 遥感技术与应用,2009,24(5):596-602.
- [16] 王桂钢,周可法,孙莉. 近 10 a 新疆地区植被动态与 R/S 分析[J]. 遥感技术与应用,2010,25(1):84-90.
- [17] 李珍存,马明国,张峰,等. 1982—2003 年中国西北地区植被动态变化格局分析[J]. 遥感技术与应用,2006,21(4):332-337.
- [18] 李强. 西北地区植被覆盖时空特征及其对气候变化的响应[J]. 西北大学学报:自然科学版,2012(4):667-672.
- [19] Goetz S J, Fiske G J, Bunn A G. Using satellite time-series data sets to analyze fire disturbance and forest recovery across Canada[J]. Remote Sensing of Environment, 2006,101(3):352-365.
- [20] Kobayashi H, Dye D G. Atmospheric conditions for monitoring the long-term vegetation dynamics in the Amazon using normalized difference vegetation index [J]. Remote Sensing of Environment, 2005,97(4):519-525.
- [21] Stow D, Petersen A, Hope A, et al. Greenness trends of Arctic tundra vegetation in the 1990s: Comparison of two NDVI data sets from NOAA AVHRR systems[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007,28(21):4807-4822.
- [22] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1986,7(11):1417-1434.