

引用格式:温晓金,杨新军,刘焱序,等.黄土高原长武县域植被变化季相趋势及影响因素[J].资源科学,2016,38(4):768-776.  
[Wen X J, Yang X J, Liu Y X, et al. Trends and factors influencing vegetation seasonal dynamics in Changwu County on the Loess Plateau[J]. *Resources Science*, 2016, 38(4): 768-776]. DOI: 10.18402/resci.2016.04.18

# 黄土高原长武县域植被变化季相趋势及影响因素

温晓金<sup>1</sup>, 杨新军<sup>1</sup>, 刘焱序<sup>2</sup>, 刘宪锋<sup>3</sup>

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871;

3. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

**摘要:**黄土高原地区植被生长改善情况已被广泛证实,评价县域季节尺度的植被覆盖变化及影响因素有助于针对性识别植被改善时空效果。本文基于2000–2012年MODIS NDVI数据和Sen+Mann-Kendall模型,对陕西省长武县季相植被覆盖变化趋势的影响因素进行分析,研究结果显示:①2000–2012年长武县的NDVI值呈波动上升趋势,增速为0.064/10a,其中2000–2004年增加最为明显;②长武县植被覆盖总体增加,呈减少趋势区域主要分布在城镇化和工业化快速发展的县城周边;平缓波动趋势区域在空间分布上较集中于北部耕地;③2000–2012年间长武县夏季植被改善情况最为显著;秋季植被改善状况次之;春季改善状况较夏秋弱,北部区域植被覆盖减少像元数增多;④气温和降水的变化促进了植被改善,其中在年际尺度降水为主要影响因素;在季相尺度春季降雨对植被生长具有最显著作用;月际尺度降水的改变对植被生长的影响较小,而气温因素对植被生长的影响较大。不仅退耕还林工程对长武县植被改善有积极影响,农用地撂荒对植被恢复的作用也值得考量。

**关键词:**植被改善;季相趋势;NDVI;影响因素;黄土高原;长武县

DOI: 10.18402/resci.2016.04.18

## 1 引言

植被作为陆地生态系统的主体,是维持生态系统稳定、调节全球和区域物质和能量平衡的关键要素,同时也是生态系统提供服务的重要载体<sup>[1,2]</sup>,对地球的物质循环与能量流动起至关重要的作用。对陆地植被生长的定量分析有助于明晰全球气候增暖过程与人类经济活动增加所产生的一系列生态效应,因而大尺度长时间序列的陆地植被生长定量分析作为全球环境变化空间观测的有效途径,已成为地表过程分析与模拟研究的重要议题<sup>[3]</sup>。在全球气候变化与快速城市化相交错的背景下,研究自然和人为因素对植被覆盖变化的复合影响已成为全球变化分析的热点问题<sup>[4]</sup>。作为环境遥感监测的主要对象之一,植被的生物物理参数常通过遥感植

被指数进行表征,其中应用较早的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)已经成为衡量植被生长的最常用遥感监测参数<sup>[5]</sup>。

以NDVI年际变化作为植被生长的表征,分别将NDVI值的年际下降和上升表征植被生长的恶化和改善趋势,可以有效形成植被生长空间制图<sup>[6,7]</sup>。Liu等研究表明在1982–2012年中国陆地植被生长呈改善趋势<sup>[8]</sup>。刘爽等发现2000–2010年中国地表植被绿度增加而荒漠化面积减少<sup>[9]</sup>。李飞等的研究也表明,1982–2009年中国陆地植被生长整体趋于改善且在一些地区受人为因素的影响明显<sup>[10]</sup>。随着从国家到区域的NDVI年际变化特征逐步得到明确,有必要进一步思考年内植被生长过程与年际植被变化趋势二者之间的关系。是否年际趋势显示

收稿日期:2015–08–10;修订日期:2016–02–15

基金项目:陕西省自然科学基金项目(2014JM5209);陕西高校人文社会科学青年英才支持计划(HSSTP)。

作者简介:温晓金,女,山东莱芜人,博士生,主要研究方向为土地利用与社会-生态系统脆弱性与恢复力等方面。

E-mail: wenxiao jin2008@163.com

通讯作者:杨新军, E-mail: yangxj@nwu.edu.cn

2016年4月

的植被改善对应了全年各时段 NDVI 的一致上升? 亦或是某一个季节的植被生长较强的年际差异引起了全年的 NDVI 显著变化? 尤其是对于植被生长周期并不重合的耕地和林地两种土地类型而言, 二者的年际变化差异能否通过季相分异特征进行解读? 对这些问题的理解需要对 NDVI 年际变化的季相特征进行进一步刻画。

黄土高原是中国典型的生态脆弱地区, 近年来相对湿润的气候和“退耕还林还草”等生态改善工程的全面实施缓解了黄土高原荒漠化趋势<sup>[11]</sup>, 植被覆盖呈现明显增长态势<sup>[12]</sup>。在这一背景下, 研究黄土高原县域尺度植被改善, 并识别影响植被覆盖变化的影响因素, 可以更有效地支撑生态脆弱区县域生态建设。地处典型黄土高原地区的长武县是为数不多的城市化程度较低, 且有比较完整的国家基本台站气象站点记录的区县, 可以较为准确地反映植被改善与气温降水的关系。因此, 本研究以黄土高原地区典型县长武县为研究区, 基于 Sen+Mann-Kendall 模型对植被覆盖变化趋势进行季相尺度分析, 利用偏相关分析对气温、降水与植被 NDVI 的季节、月际相关性进行归因探讨, 并讨论退耕还林对植被生长改善的作用。

## 2 研究区概况、数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

长武县 (107°38'E-107°58'E, 34°59'N-35°18'N) 位于陕西省咸阳市西北部, 地处黄土高原丘陵沟壑区, 其塬川相间、河谷发育, 具有典型的黄土高原地貌, 地势东北高西南低。全县面积 567.3 km<sup>2</sup>, 其中塬地占 24%, 川地占 7%, 坡沟地占 69%。长武县气候属于暖温带半干旱大陆性季风气候, 年降水量为 548 mm, 年内分布呈现夏秋多、冬春少。最高气温 36.9℃, 最低气温 -24.9℃, 年均气温 9.1℃。受季风影响, 全县春夏秋冬及干湿冷热分明, 热量条件较差。长武属于农牧结合生态类型区, 农业在国民经济中处于主要地位。境内森林植被属于暖温带落叶阔叶林植被带, 但由于水土流失严重, 生态环境比较脆弱<sup>[13]</sup>。20 世纪 80 年代以来, 长武县经济重心向果业转移, 园地面积极增大, 耕地面积大幅减少<sup>[14]</sup>。2010 年 Globeland30 土地利用解译产品所示 (<http://www.globallandcover.com/>), 长武县植被以耕

地为主, 林地次之, 草地规模小于林地 (图 1, 见第 771 页)。

### 2.2 数据来源与预处理

本研究所采用 NDVI 数据为 MODIS 卫星 MOD13Q1 产品 ([https://lpdaac.usgs.gov/dataset\\_discovery/modis/modis\\_products\\_table](https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table)), 其空间分辨率 250 m×250 m, 时间分辨率 16 天, 时间范围为 2000 年 3 月至 2013 年 2 月。为消除异常值的影响, 采用最大合成法 (MVC) 制作 NDVI 月值序列。采用 3-5 月为春季, 6-8 月为夏季, 9-11 月为秋季的划分方法取月平均值合成季节序列。同时, 采用 3-11 月 NDVI 平均值制成 NDVI 年值序列。气象数据取自长武气象站月值数据集 (<http://www.cma.gov.cn/2011qxw/2011qsjgx/>), 时间范围为 2000 年 1 月至 2013 年 2 月。图像裁切、统计在 ArcGIS10.2 平台下完成, 趋势分析与显著性分析在 Matlab2012a 平台中完成。图像投影统一为 Albers 投影, 中央经线 105°E, 双标准纬线 25°N、47°N。

### 2.3 研究方法

#### 2.3.1 基于 Sen+MK 法的趋势分析

Sen 趋势分析与 Mann-Kendall 检验法结合可以有效判断长时间序列数据的变化趋势, 该方法对数据的连续性没有严格要求, 有效规避异常值带来的误差<sup>[15,16]</sup>。本文用 Sen 法分析 NDVI 长时间序列的空间分布特征。Sen 趋势分析的计算公式为:

$$Slope = \text{Median} \left( \frac{NDVI_j - NDVI_i}{j - i} \right), \quad \forall j > i \quad (1)$$

式中  $i, j$  为时间序数;  $NDVI_i, NDVI_j$  分别为像元、第  $i, j$  时间序列的 NDVI 值。若  $Slope > 0$  表示 NDVI 呈增长趋势, 反之则呈现下降趋势。

Mann-Kendall 是一种非参数统计检验方法, 用来检测趋势变化的显著性, 该检验方法在长时间序列趋势检验和分析中得到广泛应用。计算公式如下<sup>[17,18]</sup>:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{s(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{s(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(NDVI_j - NDVI_i) \quad (3)$$

$$\text{sgn}(NDVI_j - NDVI_i) = \begin{cases} 1 & (NDVI_j - NDVI_i > 0) \\ 0 & (NDVI_j - NDVI_i = 0) \\ -1 & (NDVI_j - NDVI_i < 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$s(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

式中  $NDVI_i$  和  $NDVI_j$  分别为像元第  $i$  和第  $j$  时间序列的 NDVI 值;  $n$  为时间序列长度;  $\text{sgn}$  为符号函数;  $S$  为检验统计量;  $s$  为方差;  $Z$  为正态分布的统计量;  $Z$  的取值范围为  $(-\infty, +\infty)$ 。在给置信度水平  $\alpha$  下, 当  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$  时表示序列存在显著的变化趋势。本文中置信度水平为  $P < 0.05$ , 即  $|Z| > 1.96$  为显著。

在不显著的变化中, 有一部分趋势趋近于 0。此时如果将这部分像元也归并为相应的增减趋势, 则会掩盖此类像元变化的平稳性。因此, 本研究将趋势波动少于  $\pm 0.005$  的 Sen 和 OLS 回归结果命名为平缓波动。所以, 经过趋势和显著性叠加可以得到 5 种分类结果:

- ①  $Slope < -0.005$  &  $P < 0.05Q$  显著下降;
- ②  $Slope < -0.005$  &  $P \geq 0.05Q$  下降;
- ③  $-0.005 \leq Slope \leq 0.005Q$  平缓波动;
- ④  $Slope > 0.005$  &  $P \geq 0.05Q$  上升;
- ⑤  $Slope > 0.005$  &  $P < 0.05Q$  显著上升。

### 2.3.2 偏相关分析

偏相关分析是研究某一要素与另一要素相关程度时, 将其他相关要素影响视为常数方法<sup>[19, 20]</sup>。由于多要素构成的地理系统相对比较复杂, 一种要素的变化必然受到多种要素的影响, 而一种要素的变化又必然导致其他相关因素的变化。因而在地理学研究中分析特定要素之间的相关性时常采用偏相关方法。计算公式如下:

$$r_{xy \cdot z} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} \quad (6)$$

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} (x_{ij} - \bar{x})(y_{ij} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{12} (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

式中  $r_{xy \cdot z}$  为变量  $z$  固定后  $x$  与  $y$  的偏相关系数, 值域为  $[-1, 1]$ ;  $r_{xy}$ ,  $r_{xz}$ ,  $r_{yz}$  分别为  $x$  与  $y$ ,  $x$  与  $z$ ,  $y$  与  $z$  之间的相关系数;  $x_{ij}$  为第  $i$  年第  $j$  月 NDVI 值;  $y_{ij}$  为第  $i$  年

第  $j$  月的月平均气温和月平均降水;  $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  分别表示 NDVI 和气温 (或降水) 的总时间样本平均值。

## 3 结果及分析

### 3.1 长武县植被变化趋势

总体而言, 2000 年以来长武县植被不断改善。2000–2012 年间长武县年合成 NDVI 在 0.409~0.520 之间浮动, 呈现波动中上升的趋势, 增速为 0.064/10a (图 2)。2000 年的 NDVI 值为最小, 为 0.409, 2012 年达到最大值 0.520。13 年间, 长武县的 NDVI 在时间尺度上出现两个波峰。其中 2000–2004 年 NDVI 的变化幅度最大, 从 0.409 增长到 0.508; 之后 NDVI 值开始缓慢下降, 在 2008 年出现一个小波峰之后, NDVI 年际之间的波动减小。长武县各季节的平均 NDVI 变化趋势与年均 NDVI 变化趋势有所差异, 其中夏季 NDVI 增长速度快于年均值, 增速为 0.105/10a, 且在 2008 年达到峰值。与此同时, 秋季 NDVI 的增速仅为 0.048/10a, 而春季 NDVI 增速更仅有 0.039/10a。在值域分布上, 夏季 NDVI 值高于年平均值, 而春秋两季的 NDVI 值则远低于夏季; 同时, 秋季 NDVI 值在多数年份高于春季, 仅在 2002 和 2005 年出现异常; 在变化规律上, 春秋两季 NDVI 序列的震荡幅度大于年合成 NDVI 序列, NDVI 增速也慢于年合成 NDVI 序列。

如图 3 所示, 年均 NDVI 呈现增长部分占研究区总面积 84.83%, 其中显著增加的面积占 58.84%。各个季节中, 夏季与秋季的植被生长改善趋势比较

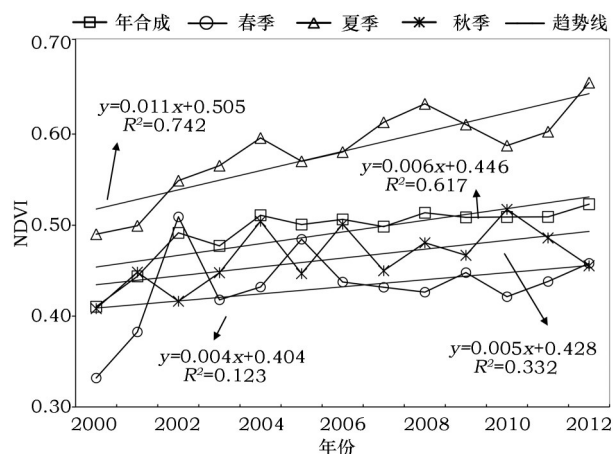


图2 2000–2012年长武县NDVI年际与季节变化

Figure 2 Interannual change of NDVI in Changwu County from 2000 to 2012



2016年4月

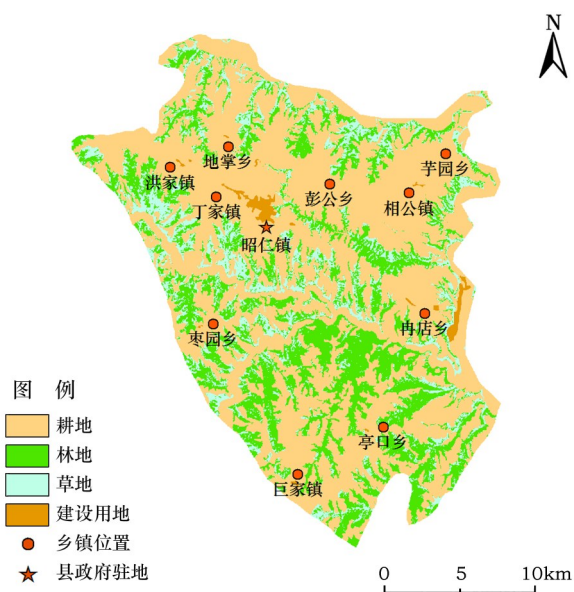


图1 长武县位置及土地利用类型分布

Figure 1 The location and land use type of Changwu County

明显,尤以夏季最为显著;而春季变化趋势则相对不明显,多呈现平缓波动。长武县北部耕地除夏季NDVI明显增长外,春秋两季及年均NDVI增长面积比例均小于南部。对照土地利用图可知(图1),耕地和林地、草地的植被变化趋势是有所差异的,而这种差异往往在研究NDVI最大季节或月份的趋势分析中被掩盖。因此,通过季相尺度的NDVI趋势分解可以得出,长武县年际趋势显示的植被生长改善并不对应全年各时段NDVI的一致上升,夏季NDVI较强的年际差异引起了全年的NDVI显著变化;研究区林地和草地在春季体现出较明显的植被生长改善现象,而耕地在春季则大部分处于平缓波动态势并削弱了年均NDVI变化量,说明人类土地利用方式对年均NDVI的变化有直接影响。另外,北半部经济发展水平较好的昭仁镇和东部煤电产

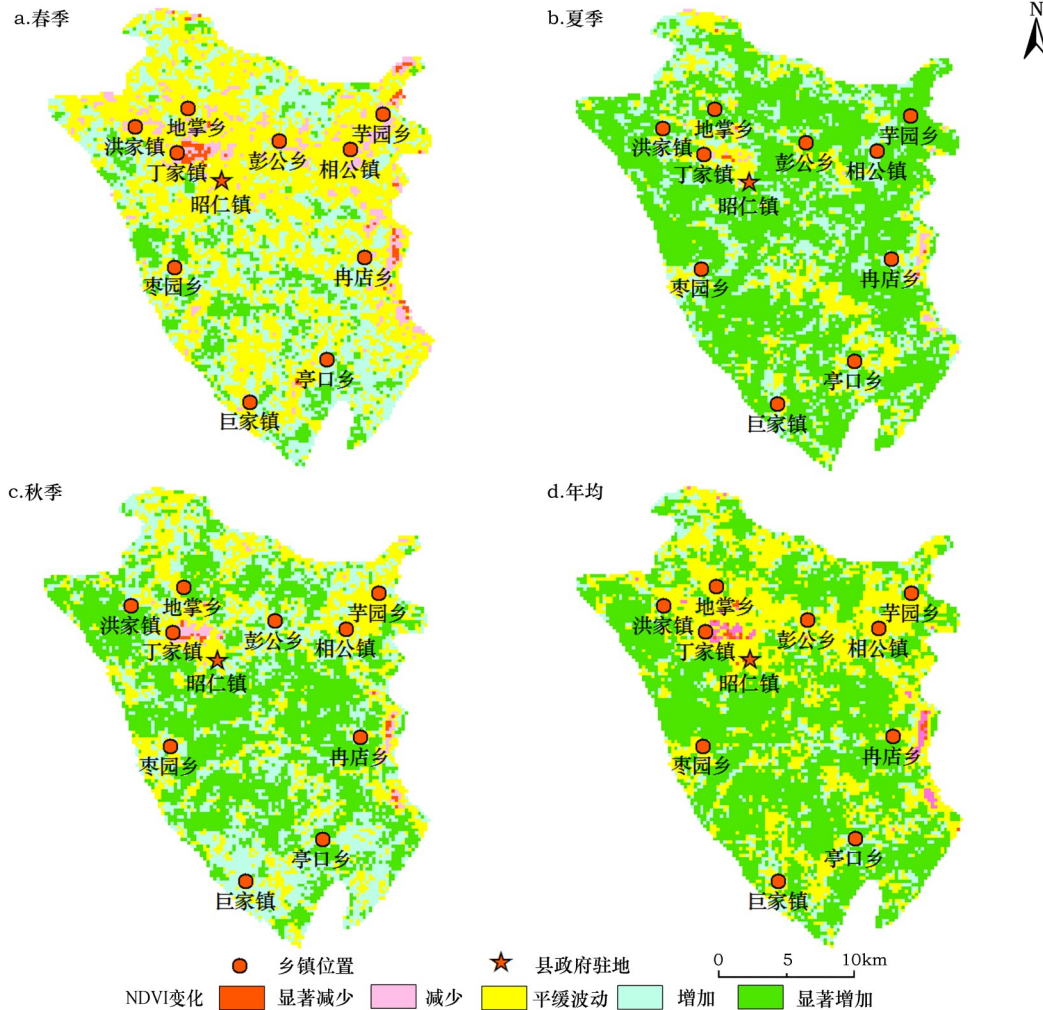


图3 2000—2012年长武县植被覆盖季节变化格局

Figure 3 The seasonal variation pattern of vegetation coverage in Changwu County from 2000 to 2012

业发展较好的亭口镇、冉店乡 NDVI 在各季节均有部分地区呈 NDVI 下降趋势,说明城镇化水平的提高和工矿产业的发展容易对植被生长产生负面影响。

### 3.2 植被变化的气候影响因素

虽然自 1981 年以来长武县存在升温情况,但就 2000 年以后的短时间尺度而言,2000–2012 年长武县年平均气温呈下降趋势(图 4)。其波动速率约为  $-0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,温度在  $9.0\sim 10.35^{\circ}\text{C}$  之间波动,最低平均气温出现在 2008 年,为  $9.0^{\circ}\text{C}$ ,最高气温出现在 2006 年,为  $10.35^{\circ}\text{C}$ ,波动幅度超过  $1^{\circ}\text{C}$ 。如图 4 所示,长武县在近 13 年间出现 3 次较大的波动。其中 2003 年以前波动比较小,到 2003 年气温出现明显的降低,从  $9.8^{\circ}\text{C}$  降为  $9.2^{\circ}\text{C}$ ;之后气温在波动中上升,在 2006 年达到 13 年中的最高气温;2007 年和 2008 年长武县气温不断下降,并到达 13 年中的最低气温,变化幅度达到  $1.35^{\circ}\text{C}$ ;2009 年气温升高,2010 年较 2009 年变化不大;2010 年后,长武县气温又开始不断下降。这一升降规律与植被变化规律并不重合。

长武县 2000–2012 年年降水量在  $498.7\sim 954.3\text{mm}$  之间波动;2003 年的年降水量为近几年的最大值,为  $954.3\text{mm}$ ,年降水量最小值出现在 2012 年,为  $457.9\text{mm}$ 。从趋势看,13 年间长武县降水变化趋势整体不大,呈下降趋势,只在 2003 年和 2011 年出现 2 个相对较大的波动,其中 2003 年降水波动最大,

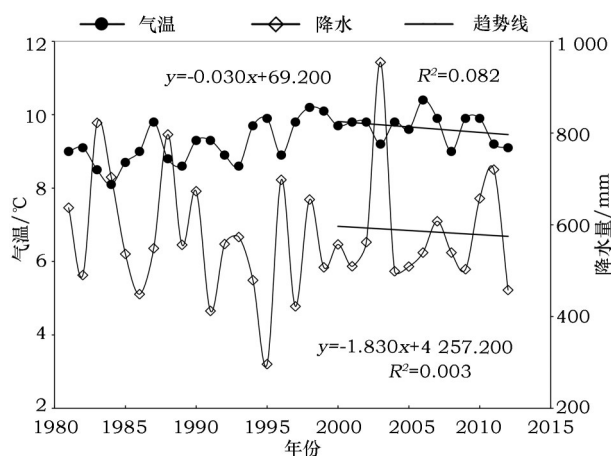


图 4 1981–2012 年长武县年平均气温与年降水量变化

Figure 4 The annual change of average temperature and precipitation in Changwu County from 1981 to 2012

其他年份基本上在  $500\sim 600\text{mm}$  左右波动,降水量年差异不大。其中 2003 年的异常高降水量对应了 2003–2004 年植被长势的峰值,随后的干旱与植被长势波谷对应,而 2007 年高降水量也对应了 2007–2008 的植被长势波峰。

气温和降水量是对植被生长影响最为关键的气候因素<sup>[21,22]</sup>,求得长武县 NDVI 分别与季节平均气温和季节累计降水量的相关系数。以季节作为样本量,计算 13 年间春夏秋冬季节的各季节平均 NDVI 与气温、降水的关系,得出 NDVI 与气温的相关系数为 0.775,与降水的相关系数为 0.631,均通过 0.001 显著性检验(表 1)。由于季节的划分本身就代表了温度的差异,因此植被生长在季节尺度上与温度变化更一致是合理的。然而,计算分年份的各季 NDVI 与气温降水的年际关联,发现各年份同季节的相关系数普遍偏低。春季 NDVI 与温度的相关性为  $-0.271$ ,与降水的相关性为 0.735;夏季 NDVI 与温度的相关性为  $-0.449$ ,与降水的相关性为 0.011;秋季 NDVI 与温度和降水的相关性分别为 0.454 和  $-0.238$ 。除春季 NDVI 与该季降水外,所有相关性均未通过显著性检验。可见春季降雨对植被生长具有最显著的作用。这也反映就年际规律而言,夏秋两季的气温降水对植被生长的影响是不明显的。

气候对植被生长的影响不仅体现在年际之间,也反映在年内规律的刻画上。气温和降水量对植被生长的影响可能存在一定的滞后性。表 2 为长武县 NDVI 分别与月平均气温和月降水量的相关系数和偏相关系数,基本上可以看出研究区 NDVI 与气温和降水的相关系数基本上都大于偏相关系数,NDVI 与气温的相关系数均高于与降水的相关系数,均达到 0.01 显著水平,表明长武县年内的植被

表 1 2000–2012 年长武县气温和降水与 NDVI 季节相关系数

Table 1 Correlation coefficient between NDVI and temperature / precipitation in Changwu County on seasonal scale from 2000 to 2012

	NDVI 与气温的 相关性	NDVI 与降水的 相关性
春季(n=13)	-0.271	0.735**
夏季(n=13)	-0.449	0.011
秋季(n=13)	0.454	-0.238
全年三季节(n=39)	0.775	0.631

注:n 为样本数;\*\*为在 1% 水平显著。

2016年4月

表2 2000–2012年长武县气温和降水与NDVI月际相关系数

	NDVI与气温的相关性		NDVI与降水的相关性	
	$r_{NDVI-T}$	$r_{NDVI-TP}$	$r_{NDVI-P}$	$r_{NDVI-PT}$
滞后0个月	0.874**	0.793**	0.640**	0.269**
滞后1个月	0.878**	0.829**	0.517**	-0.059
滞后2个月	0.632**	0.634**	0.237**	-0.245

注: $r_{NDVI-T}$ 和 $r_{NDVI-TP}$ 分别为NDVI与气温的相关系数和偏相关系数; $r_{NDVI-P}$ 和 $r_{NDVI-PT}$ 分别为NDVI与降水的相关系数和偏相关系数;\*\*为在1%水平显著。

生长受到气温和降水的共同影响,但在月际尺度上主要受气温影响。这是由于植被水量的补给还受人类活动的影响,降水稀少时农业区会采取灌溉形式补充作物需水。

分析2000年1月–2013年2月(即2012年冬季结束)的气温降水指标与2000年3月–2013年2月NDVI的关联关系,滞后1个月时NDVI与气温的偏相关性系数0.829为最高,即NDVI与上个月的气温关系最为密切,NDVI对气温的响应存在时滞。这是由于植被的生长有1个时间过程,受气温变化影响后,植被的生长状况在积温达到一定日数后才表现出来。NDVI与降水的相关性在当月表现比较显著,在滞后1个月和2个月时表现出负相关的特征,表明长武县NDVI对降水的响应不存在时滞现象。

### 3.3 植被变化的人为影响因素

偏相关分析得出NDVI与气温的偏相关系数大于与降水的偏相关系数,说明气温对年内植被生长的影响大于降水的影响,这是人类对植被需水的可控性造成的。人类活动可以对气候影响的结果进行主动适应,降水量较少时可以对农业区进行人工灌溉,保证农作物的正常生长,因而植被覆盖在年内对降水的响应相对较弱。积温对植被的生长有重要作用,但是人们对于积温变化除大棚、地膜等人工措施以外难以进行更宏观的干预,所以气温变化在年内对植被覆盖的影响更为直接,相关性较高。

植被覆盖变化不仅受自然因素影响,同时也受到人类活动的作用,其最直观的表现在于土地利用方式的改变。退耕还林还草工程以及开荒种树是一种人类活动的表现,这对植被改善是有比较大的

正面影响。根据长武县政府所公布的第一轮退耕还林工程实施的情况,1999–2006年长武县累计退耕还林种草达到1 368.400hm<sup>2</sup>,其中退耕地造林4 371.333hm<sup>2</sup>,荒山荒地造林8 645.333hm<sup>2</sup>,封山育林666.667hm<sup>2</sup>。估算相对保守的遥感解译数据也证实了2000–2006年该县耕地面积减少约530hm<sup>2</sup>,林地增加约460 hm<sup>2</sup>[14]。三北防护林工程、天然林保护工程和日元贷款造林项目均使林地和草地面积逐年增长;除耕地改造为林地外,部分耕地上栽种了杏树、花椒等经济作物;而改造荒山荒坡工程的实施,也增加了林地和草地的面积[14]。这些土地利用变化成为全县植被覆盖增加、NDVI上升的直接驱动力。

但是在人类活动的过程中,一些人为改变土地利用方式而破坏植被覆盖的行为仍对植被改善造成负面影响。现阶段长武县的城市化程度较低,城市化进程对植被覆盖变化的负面影响并不明显,主要集中在县城周围少数像元中。长武县东部区域煤电产业发展较好,工矿企业的发展占用农用地,使植被覆盖面积减少,对植被改善带来不利影响。例如在冉店乡和亭口镇的部分区域出现植被退化。

### 3.4 讨论

现阶段关于植被改善的研究大都是在一定的时间跨度上从大区域尺度进行[6–10],本文从县域尺度分析了2000–2012年的植被覆盖变化,同时又将时间跨度缩小到季节和月,使植被改善格局分析更加细化。虽然诸如Landsat等系列卫星在空间分辨率上效果更好,但鉴于轨道周期长,无法进行月、季节尺度的植被分析研究;在县域尺度上进行季相分析,必须采用目前分辨率最高的NDVI产品,即250m分辨率16天数据。借助国家基本站长武气象站,本研究所进行的县域植被变化及影响因素分析更具针对性,是大尺度研究无法直接替代的。此外,本研究在进行气候对植被变化的驱动分析时有两处不确定性需要说明。一是由于气象站点位于长武县城附近,导致城市化会对气温的测定造成一定的影响;二是采用站点周围像元和采用全部像元进行相关性分析的结果会略有不同,采用站点周围5km缓冲区内的像元进行相关分析,降水与植被的相关性由0.727上升至0.753,而气温与植被的相关



性仍为0.854保持不变。对于城市化相对较弱、总面积相对较少的长武县而言,这些不确定性会对相关性分析结果的精度造成影响,但不会改变所得结论。

植被改善受自然因素和人类活动因素的双重影响,植被改善工程是对植被改善产生较大正面效应的人类活动。本文在植被改善工程的背景下,主要分析自然因素对植被改善的影响,而人类活动对区域的开发与保护的不同方式也可以作为植被变化的重要驱动力。目前“三北”防护林体系建设工程在长武县已经取得较大成果,植被改善趋势良好,其对于治理长武县所属黄土高原地区普遍存在的水土流失问题有重大的意义。同时,长武县积极发展林果产业,带动了经济发展,同时也有利于植被覆盖率的增加,经济的发展使得有更好的财政实力实施生态环境建设。以辩证的视角看待城市和乡村人口流动可知,城镇化导致农村人口向城市流动,实际上降低了广大农村土地的人口压力,可能会出现坡耕地撂荒现象,这种现象对植被改善是呈正面效应的。对于本研究区而言,农村人口不仅流向县城,更流入省内西安、延安、咸阳、宝鸡、榆林等地级市以及东部沿海地区,耕地利用强度有所下降,这对整个县域的植被改善都是有正面作用的。可以认为,人类活动导致的建设用地的增加对植被改善存在不利的一面,但是从农民工进城务工而产生的农用地撂荒角度而言又存在有利的一面。这说明人类活动作用的复杂性,各种影响因素的不同和大小不一,针对具体的研究区而言还需要调研数据分析微观尺度人类活动对植被覆盖的具体影响,并进一步预测分析自然因素和人类因素对植被覆盖变化的影响趋势,进而分析植被改善的驱动机制并制定相应的措施有效促进植被改善。

## 4 结论

本文利用Sen+Mann-Kendal分析陕西省长武县2000-2012年的植被覆盖变化趋势以及植被改善的影响因素。2000-2012年长武县的NDVI值呈波动上升趋势,增速为0.064/10a,2000-2004年的变化趋势最明显。夏季植被生长改善情况最为显著,秋季植被改善状况比夏季有所降低,而春季有大面积区域呈现NDVI平缓波动。其中林地和草地在春季体

现出较明显的植被生长改善现象,而耕地在春季则大部分处于平缓波动态势并削弱了年均NDVI变化量。降水变化是决定年际植被覆盖变化的主导因素,春季降雨对植被生长具有最显著的作用,但在月际尺度上温度与植被的相关性更高,且植被对温度的响应存在1个月的时滞效应。同时,退耕还林等生态工程的植被改善成果也不可忽视。

## 参考文献(References):

- [1] 朴世龙,方精云. 1982-1999年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 119-125. [Piao S L, Fang J Y. Seasonal changes in vegetation activity in response to climate changes in China between 1982 and 1999[J]. *Acta Geographica Science*, 2003, 58(1): 119-125.]
- [2] 石焱,王如松,黄锦楼,等. 中国陆地生态系统服务功能的时空变化分析[J]. 科学通报, 2012, 57(9): 720-731. [Shi Y, Wang R S, Huang J L, et al. An analysis of the spatial and temporal changes in Chinese terrestrial ecosystem service functions[J]. *Chin Sci Bull*, 2012, 57(17): 2120-2131.]
- [3] Peng J, Liu Z H, Liu Y H, et al. Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 14(1): 28-39.
- [4] Roerink G J, Menenti M, Soepboer W, et al. Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2003, 28(1-3): 103-109.
- [5] Tucker C J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1979, 8(2): 127-150.
- [6] 刘宪锋,任志远. 西北地区植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 1954-1963. [Liu X F, Ren Z Y. Vegetation coverage change and its relationship with climate factors in Northwest China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(10): 1954-1963.]
- [7] 刘宪锋,任志远,林志慧,等. 2000-2011年三江源区植被覆盖时空变化特征[J]. 地理学报, 2013, 68(7): 897-907. [Liu X F, Ren Z Y, Lin Z H, et al. The spatial-temporal changes of vegetation coverage in the Three-River Headwater Region in recent 12 years[J]. *Acta Geographica Science*, 2013, 68(7): 897-907.]
- [8] Liu Y X, Liu X F, Hu Y N, et al. Analyzing nonlinear variations in terrestrial vegetation in China during 1982-2012[J]. *Environment Monitoring and Assessment*, 2015, 187(11): 1-14.
- [9] 刘爽,宫鹏. 2000-2010年中国地表植被绿度变化[J]. 科学通

2016年4月

- 报,2012,57(16):1423-1434. [Liu S, Gong P. Change of surface cover greenness in China between 2000 and 2010[J]. *Chin Sci Bull*,2012,57(22):2835-2845.]
- [10] 李飞,曾源,李晓松,等. 近30年中国陆地植被活动遥感监测[J]. 中国科学:地球科学,2014,44(8):1671-1678. [Li F, Zeng Y, Li X S, et al. Remote sensing based monitoring of interannual variations in vegetation activity in China from 1982 to 2009[J]. *Science China:Earth Sciences*,2014,57(8):1800-1806.]
- [11] Xiao J F. Satellite evidence for significant biophysical consequences of the "Grain for Green" Program on the Loess Plateau in China[J]. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 2014,119(12):2261-2275.
- [12] 李双双,延军平,万佳. 近10年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征[J]. 地理学报,2012,67(7):960-970. [Li S S, Yan J P, Wan J. The spatial-temporal changes of vegetation restoration on Loess Plateau in Shaanxi-Gansu-Ningxia Region[J]. *Acta Geographica Science*,2012,67(7):960-970.]
- [13] 边亮,胡志斌,宋伟东. 陕西省长武县土地利用变化的生态环境效应评价[J]. 生态学杂志,2009,28(9):1743-1748. [Bian L, Hu Z B, Song W D. Eco-environmental effects of land use change in Changwu County of Shanxi Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*,2009,28(9):1743-1748.]
- [14] 徐金鹏,张晓萍,张建军,等. 30年来长武县耕地数量与农业经济发展计量关系分析[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(6):221-226. [Xu J P, Zhang X P, Zhang J J, et al. Econometric analysis of relationship between quantity of cultivated land and agricultural economy in Changwu County in past 30 years[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2012,30(6):221-226.]
- [15] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s[J]. *International Journal of Remote Sensing*,2003,24(5):1111-1117.
- [16] 宋富强,邢开雄,刘阳,等. 基于MODIS/NDVI的陕北地区植被动态监测[J]. 生态学报,2011,31(2):354-363. [Song F Q, Xing K X, Liu Y, et al. Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2011,31(2):354-363.]
- [17] Kendall M G. Rank Correlation Methods[M]. London: Griffin, 1970.
- [18] Tosic I. Spatial and temporal variability of winter and summer precipitation over Serbia and Montenegro[J]. *Theoretical and Applied Climatology*,2004,77(1):47-56.
- [19] 韦振锋,任志远,张翀,等. 西北地区植被覆盖变化及其与降水和气温的相关性[J]. 水土保持通报,2014,34(3):284-289. [Wei Z F, Ren Z Y, Zhang C, et al. Changes of vegetation cover and its correlation with precipitation and temperature in northwest China[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014,34(3):284-289.]
- [20] 易浪,任志远,张翀,等. 黄土高原植被覆盖变化与气候和人类活动的关系[J]. 资源科学,2014,36(1):166-174. [Yi L, Ren Z Y, Zhang C, et al. Vegetation cover climate and human activities on the Loess Plateau[J]. *Resources Science*, 2014,36(1):166-174.]
- [21] 张翀,任志远,韦振锋. 近12年来黄土高原植被覆盖对年内水热条件的响应[J]. 资源科学,2013,35(10):2017-2023. [Zhang C, Ren Z Y, Wei Z F. Vegetation responses to intra-annual hydrothermal conditions on the Loess Plateau[J]. *Resources Science*,2013,35(10):2017-2023.]
- [22] 刘宪锋,潘耀忠,朱秀芳,等. 2000-2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 地理学报,2015,70(5):705-716. [Liu X F, Pan Y Z, Zhu X F, et al. Spatiotemporal variation of vegetation coverage in Qinling-Daba Mountains in relation to environmental factors[J]. *Acta Geographica Science*,2015,70(5):705-716.]



## Trends and factors influencing vegetation seasonal dynamics in Changwu County on the Loess Plateau

WEN Xiaojin<sup>1</sup>, YANG Xinjun<sup>1</sup>, LIU Yanxu<sup>2</sup>, LIU Xianfeng<sup>3</sup>

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

3. College of Resources Science Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Vegetation dynamics across the Loess Plateau, China have been widely observed. The evaluation of vegetation cover change and driving factors at the county level and seasonal scale is useful to evaluate the specific effects of vegetation restoration. Based on MODIS-NDVI data from 2000 to 2012, supplemented by Sen + Mann- Kendall modeling, this study analyzed trends in vegetation cover change in Changwu County, and determined climatic driving factors. We found that the interannual average value of NDVI of the study area was increased with a linear tendency of 0.064/10a; the ecological restoration project achieved remarkable results in Changwu County from 2000 to 2012. Vegetation cover showed an increasing trend in most areas of Changwu County. The number of pixels decreasing was small and mainly distributed in Dizhang town and Zhaoren town resulting from urbanization and industrialization. Trends in vegetation cover changes were different between seasons over the 13 years of data and vegetation improvement was most significant in summer. Although vegetation improvement was apparent in autumn, the area was smaller than in summer. Vegetation improvement in spring was weaker than in summer and autumn. The number of decreasing pixels was large in this season, and mainly distributed in the north of the study area. There was a correlation between vegetation growth and temperature/precipitation. Precipitation was the dominant natural factor driving annual vegetation improvement in Changwu County. Spring rain had a significant influence on vegetation growth. The response of vegetation growth to temperature had a time lag of one month. The effect of precipitation on vegetation growth was relatively small at the month scale, and there was no time lag effect because of irrigation as a human adaption can alleviate the threat of low precipitation. Besides land exploitation which had a negative effect on vegetation growth, planting and mitigation can benefit vegetation improvement. The Grain for Green project should have a positive effect on vegetation improvement in Changwu County.

**Key words:** vegetation improvement; seasonal trend; NDVI; influence factors; Loess Plateau; Changwu County