

# 水热条件和人类活动对山西省植被覆盖变化的影响

张嘉琪, 任志远, 张 翀

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710119)

**摘 要:** 基于山西省 1999—2010 年的 SPOT Vegetation 数据及气象资料, 运用 Sen 趋势度 + Mann—Kendall 法、残差分析法和相关分析法, 对山西省近 12 a 植被覆盖的时空变化进行了分析, 探讨了水热条件与人类活动对植被覆盖变化的影响。从年际变化来看, 1999—2010 年山西省生长季植被 NDVI 呈现显著上升趋势, 其增加速率为 0.199 4/a; 从空间格局来看, 大部分地区 NDVI 有增加趋势, 其中极显著增加的区域占 72.94%, 主要分布在山西省的黄土丘陵沟壑区及山区; NDVI 减少区域极小, 仅占 0.21%, 呈不均匀零星分布。降水量与生长季 NDVI 的相关性较高, 从整体上呈现出由北向南逐渐减少的特点, 其中 98.54% 的区域呈正相关关系; 此外, 气温与生长季 NDVI 的相关性较低, 平均相关系数仅为 -0.415。人类活动对山西省植被覆盖变化的正面和负面作用并存, 但正影响远大于负影响, 说明近年来退耕还林草以及水土流失治理的生态效益正在显现。

**关键词:** 植被覆盖; 水热条件; 人类活动; 山西省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0128-06

中图分类号: P461.7

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.038

## Influence of Hydrothermal Condition and Human Activities on Dynamics of Vegetation Coverage in Shanxi Province

ZHANG Jia-qi, REN Zhi-yuan, ZHANG Chong

(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China)

**Abstract:** Base on the SPOT Vegetation and meteorological data from 1999 to 2010, the spatial and temporal variations of vegetation cover in Shanxi Province were analyzed by the methods of Sen + Mann—Kendall, residual analysis and correlation analysis to discuss the effects of hydrothermal condition and human activities on dynamics of vegetation coverage. The results showed that, from the perspective of the interannual variation, the vegetation coverage in Shanxi Province presented a significant increasing trend and the growth rate reached 0.199 4/a during 1999—2010. From the perspective of the spatial pattern, the NDVI had an increasing trend in most of the study area. The significant increasing areas located mainly in the loess hilly-gully region and mountains in Shanxi Province, which accounted for 72.94%; the areas where the NDVI reduces was distributed sporadically, which only accounts for 0.21%. The change of vegetation coverage had great correlation with precipitation, and on the whole, it showed an obvious feature that gradually reducing from north to south, among them, the areas where the correlation coefficient was positive accounts for 98.54%; besides, the change of vegetation coverage had little correlation with temperature, and the average correlation coefficient was only -0.415. In addition, the impact of human activities on the vegetation cover change in Shanxi Province was double-edged sword, but positive influence was far greater than negative effect, which indicates that returning the grain plots to forestry and soil erosion controlling brought an important ecological benefit role in recent years.

**Keywords:** vegetation cover; hydrothermal condition; human activities; Shanxi Province

植被作为陆地生态系统的重要组成部分,既是生态系统存在的基础,又是联结土壤、水分和大气的天然纽带,它维持着生态系统平衡,在陆地表面的能量交换过程、水文循环过程和生物地球化学循环过程中

收稿日期:2013-11-01

修回日期:2013-12-17

资助项目:国家自然科学基金资助项目“我国生态脆弱区能源开发生态效应测评与调控研究”(41371523)

作者简介:张嘉琪(1989—),女(汉族),山西省侯马市人,硕士研究生,研究方向为景观生态学与 GIS。

通信作者:任志远(1953—),男(汉族),陕西省兴平市人,教授,博士生导师,主要从事国土资源开发与生态环境评价研究。E-mail:renzhy@snnu.edu.cn。

扮演着重要的角色。植被覆盖度显示了植被的茂密程度以及植物进行光合作用面积的大小,是反映地表植被群落生长态势的重要指标和描述生态系统的重要基础数据,对区域生态系统环境变化有着重要的指示作用<sup>[1]</sup>。在全球变化研究中,自然因素和人为因素对植被覆盖变化的影响以及植被覆盖对影响因素的反馈现在已成为全球变化的研究热点<sup>[2-3]</sup>。一方面,气候变化对植被覆盖变化的响应作用非常明显<sup>[4]</sup>,它主要通过气温和降水来影响有效积温和可利用水分来调控植物光合作用、呼吸作用及土壤有机碳分解等进而影响植物的生长和分布<sup>[5]</sup>。国内外学者<sup>[6-11]</sup>利用 NDVI 数据分析气候与植被覆盖变化的关系作了大量的研究,结果表明 NDVI 与气候因子具有较高的相关性,如降水量、蒸发量、温度等。另一方面,植被覆盖的时空变化是气候变化和人类活动相互作用的结果<sup>[12]</sup>,尤其是在是人类活动影响日益剧烈的今天,农业活动、生态建设、城市建设、土地利用、水土保持等都使得植被覆盖的变化深刻地记录上人类活动的烙印。但许多学者在研究植被覆盖变化时,对气候要素的关注较多,对人类活动的因素考虑较少,导致影响植被覆盖变化驱动因素的客观性降低。本文以山西省作为研究区域,分析 1999—2010 年该省水热条件和人类活动对植被覆盖变化的影响,旨在揭示各因素影响下的植被覆盖变化过程,为人类更好地建设地方生态环境提供科学的决策依据。并基于 1999—2010 年的 SPOT Vegetation 旬值 NDVI 数据获取山西省地表植被覆盖度的时空变化信息,结合研究区同期降水量和温度的数据,从时间尺度和空间尺度上分别对山西省生长季内(4—10 月)植被覆盖对降水和气温的相关性做分析,并尝试将降水因素和气温因素分离,从而进一步得出人类活动对山西省植被覆盖变化的影响。

## 1 研究区概况

山西省是中国的一个内陆省份,地处华北西部的黄土高原东部地带,东起太行山,与河北省为邻;西、南沿黄河与陕西省、河南省隔河相望;北抵外长城,与内蒙古自治区毗连。东西长约 682 km,南北宽约 385 km。地理位置在东经 110°14′—114°33′,北纬 34°34′—40°44′之间。全省总面积为  $1.56 \times 10^5$  km<sup>2</sup>,占全国总面积的 1.6%。山西省地形较为复杂,地势北高南低,境内有山地、丘陵、高原、盆地、谷地、台地等多种地貌类型交错分布,以山地、丘陵为主,占总面积的 2/3 以上。省内平均海拔在 1 000 m 左右,其中,北部大部分地区海拔在 1 000~2 000 m 之间,而

南部地区海拔仅在 500~900。东有太行山,西有吕梁山,北有恒山、五台山,南有中条山,中有太岳山。中部地区由北向南分布有大同、忻州、太原、临汾、长治和运城等盆地。汾河为主要河流。

山西省地处亚欧大陆东岸中纬度的内陆,处于干旱、半干旱地区,属温带大陆性季风气候。年平均气温为 3~14 °C,但由于受地形和地势的影响,南北气候差异显著,昼夜温差也较大;日照时间长,热量资源较为丰富;降水稀少,年平均降水量在 400~650 mm,但季节分布不均,主要集中在 6—8 月且多为暴雨,其降水量约占全年的 60%以上。同时,蒸发量也较大,全年蒸发量可达 600~1 000 mm,为降水量的 2~3 倍,所以山西省出现“十年九旱”的气候特点。从整体上看,山西省缺水状况相当严重,造成植被覆盖度降低,土壤土质黏结度差,加之人类长期不合理的利用土地,导致水土流失十分严重,生态系统十分脆弱。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与预处理

2.1.1 NDVI 空间数据集 所用数据为 1999—2000 年 SPOT Vegetation 旬值 NDVI 数据,来自于比利时弗莱芒技术研究所。本数据集选取时间为 1999—2010 年,已经过几何校正、辐射校正、大气校正等预处理,并且已采用最大值合成法(maximum value composite, MVC)以减少云、大气、太阳高度角等的影响,数据时间分辨率为 10 d,空间分辨率为 1 km。在使用前,为了更明显地反映地表植被覆盖情况,先提取出生长季(4—10 月)的平均 NDVI 数据,这是因为在生长季内,NDVI 平均值分别与降水量和气温的平均值有着相关性,因此使用生长季 NDVI 的年平均值作为每年的 NDVI 值<sup>[13]</sup>。

2.1.2 气象数据 气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网,选取 1999—2010 年山西省及其周边完整且均匀分布的 19 个气象站台的旬值降水量和旬值气温数据资料。由于生长季的降水量和气温的平均值分别与 NDVI 平均值具有很强的相关性,所以本研究利用生长季平均的降雨量和气温值作为每年的降水量值和气温值<sup>[13]</sup>。首先计算出每年每旬降水量和气温的累积值,再根据累积值求出其平均值,然后在 ArcGIS 10.1 平台下通过反距离加权插值(inverse distance weighted, IDW)将降水、气温数据生成与 NDVI 数据具有同样投影和空间分辨率的栅格数据。

## 2.2 研究方法及数据处理

2.2.1 Sen+Mann—Kendall 法 生长季年际平均 NDVI 是将每年生长季内的 NDVI 累加,计算出 4—10 月的年平均值,将这个值作为生长季的年平均 NDVI 值。在 Matlab 环境下,利用 Sen 趋势方法分析 1999—2010 年植被变化趋势的空间分布特征,并通过 Mann—Kendall 方法进行检验,置信度为 0.05。Sen 趋势度的公式为:

$$\beta = \text{mean}\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right) \quad (\forall j > i)$$

式中: $x_j, x_i$ ——序列数据。若  $\beta > 0$  时表示上升趋势,反之表示下降趋势。

2.2.2 残差分析法 影响植被覆盖变化的因素主要包括气候因素和人为因素,在气候因素中,由于降水因子和气温因子的作用存在于 NDVI 变化的结果中,通过剔除生长季平均 NDVI 长时间序列变化中降水因素和气温的影响,将植被覆盖变化中的自然因素和人为因素分离开来。具体做法是在每个栅格单元上分别建立生长季 NDVI 与降水和气温的回归模型,通过该回归模型来预测每一个栅格单元上每年的生长季 NDVI 值,然后用遥感观测的 NDVI 真实值减去预测的 NDVI 值得到每年生长季 NDVI 的残差,以此作为人为因素对植被覆盖变化的影响<sup>[14]</sup>,再对生长季的 NDVI 残差序列与其相对应的时间计算出相关系数。用得到的相关系数来表示山西省生长季 NDVI 残差年际变化趋势的空间分布并进行相关性显著检验。残差法的表达式为:

$$\varepsilon = \text{NDVI}_{\text{真实值}} - \text{NDVI}_{\text{预测值}}$$

$$\varepsilon \begin{cases} < 0 & (\text{人类活动产生负面影响}) \\ \approx 0 & (\text{人类活动影响微弱}) \\ > 0 & (\text{人类活动产生正面影响}) \end{cases}$$

2.2.3 相关分析法 地理要素之间相关分析的任务,是揭示地理要素之间相互关系的密切程度。而地理要素之间相互关系密切程度的测定,主要通过相关系数的计算与检验来完成。

生长季平均 NDVI 与降水量及气温的相关性分析是通过逐栅格计算山西省 1999—2010 年生长季平均 NDVI 与降水量及之间的相关系数,并进行  $p < 0.1$  和  $0.01 < p < 0.05$  的显著性水平检验。

## 3 结果与分析

### 3.1 生长季平均 NDVI 变化特征

3.1.1 生长季平均 NDVI 年际变化趋势 山西省 1999—2010 年近 12 a 来,年际平均 NDVI 变化趋势如图 1 所示。从整体的年际变化上看,1999—2010

年植被生长季平均 NDVI 呈现显著上升趋势,其增加速率为 0.199 4/a,通过了 0.05 的置信度检验,表明植被覆盖率显著增加。NDVI 变化分为 6 个阶段,即 3 个上升阶段 3 个下降阶段,并分别在 2000,2004 和 2008 年出现波峰,其中以 2004 年的波峰最为明显;而在 2001 和 2006 年出现波谷。

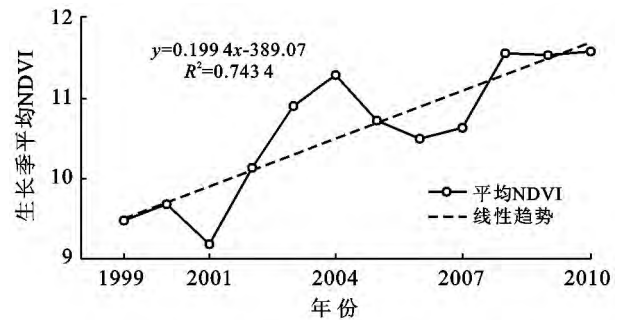


图 1 山西省 1999—2010 年生长季年际平均 NDVI 的变化趋势

3.1.2 生长季平均 NDVI 空间格局变化特征 从各区域之间来看,存在着明显的空间差异性。附图 7 是先将研究区内每个栅格的年内生长季平均 NDVI 序列与其相对应的时间序列进行计算得出相关系数,用计算出的相关系数来表示山西省植被覆盖生长季年际变化趋势的空间分布,若系数为正,表示生长季内平均 NDVI 值与植被覆盖的变化呈正相关,即在生长季内平均 NDVI 值呈上升趋势,植被的覆盖度就逐渐增加;反之,在生长季内平均 NDVI 值呈下降趋势,植被的覆盖度就逐渐减少。此外,再对相关系数进行显著性水平检验,并给出了极显著 ( $p < 0.01$ ) 与显著 ( $0.01 < p < 0.05$ ) 检验的植被生长季平均 NDVI 年际变化趋势的空间分布(附图 7)。

从附图 7 中可以看出,山西省大部分地区 NDVI 均有增加趋势,其中极显著增加区域达 72.94%,主要分布在山西省的黄土丘陵沟壑区及山区,包括东部的太行山脉、阳泉市、晋中市及周边各县市;西部的吕梁山脉(管涔山,芦芽山等);南部的中条山及沁水县、阳城县等;北部的恒山,以及忻州市边缘的各县市如五台县、代县、偏关县、岢岚县等。该区域由于受到大气环流及地形影响,降水较多,植被生长较为茂密,加之近年来山西省着力实施植树造林的绿化工程,使得生态环境得到十分显著的改善。在经济较发达的省会城市以及各地级市所在的地形单元中,如太原盆地、临汾盆地、运城盆地、长治盆地、忻定盆地、大同盆地及其周边地区,生长季平均 NDVI 呈不显著变化或者显著增加趋势。在太原市中心地区以及晋北地区的大同市、朔州市等生长季平均 NDVI 出现

小范围的显著减小和极显著减小, 这部分地区占总面积的 0.21%, 它与显著增加和极显著增加区域相互交织在一起, 说明这些地区植被覆盖变化的趋势渐渐趋于缓和且生长情况较为复杂, 这可能与当地的地貌、气候条件等存在一定的联系, 同时也与这些地区城市化进程的加快, 人类不合理的开矿及其它建设有密切联系, 使得植被破坏, 地表裸露。

### 3.2 生长季平均 NDVI 与气候因子的相关关系

#### 3.2.1 生长季平均 NDVI 与降水量的相关性分析

降水对植物的生长具有重要的影响, 尤其是对以干旱半干旱气候为主的山西省来说, 水分条件是植被生长发育的制约因子, 降水对植被的空间分布有着决定性的意义<sup>[12]</sup>。由附图 8 可以看出, 山西省生长季植被 NDVI 与降水量的相关性从整体上呈现出由北向南逐渐减少的特点。其中呈正相关的面积占总面积的 98.54%, 有 0.23% 和 1.34% 的面积分别通过了  $p < 0.01$  和  $0.01 < p < 0.05$  的显著性水平检验, 主要分布在忻定盆地, 滹沱河流域周围及大同盆地, 以及晋城泽州盆地等地区, 表明这些地区的植被对降水的依赖程度较高。占总面积 1.59% 的地区 NDVI 与降水量呈现负相关, 主要分布在五台山周围, 太原盆地, 运城盆地以及吕梁山脉南段。图 1 和图 2 对比显示, 在 NDVI 显著上升的同时, 平均降水量也在显著上升, 其速率为 3.676 8/a。平均降水量的趋势线与 NDVI 的趋势线十分相似, 分别出现 3 个波峰和波谷, 波峰出现在 2000, 2003, 2007 年; 波谷出现在 2001, 2005, 2009 年。说明植被在生长季的平均 NDVI 与降水的相关性比较高, 使得降水量成为植被生长的限制性因素<sup>[15]</sup>。

附图 8 中植被与降水的相关性所表现出的这种空间分布形态与当地的地理环境条件有着密切的联系。在自然地理环境条件下, 降水量对植被覆盖的影响受地形的影响很大, 在山区较多, 盆地较少; 同时也受区域水文条件的不同而变化, 在非沿河流域, 降水

对植被覆盖的影响较大; 此外, 还与地表覆盖的植被类型有关, 不同植被类型获取土壤水分能力的大小是不同的, 地表的植被覆盖为耕地、草地和灌丛, 降水量对其影响较大。因此, 有必要对不同植被类型的 NDVI 与降水量的相关性进行统计。

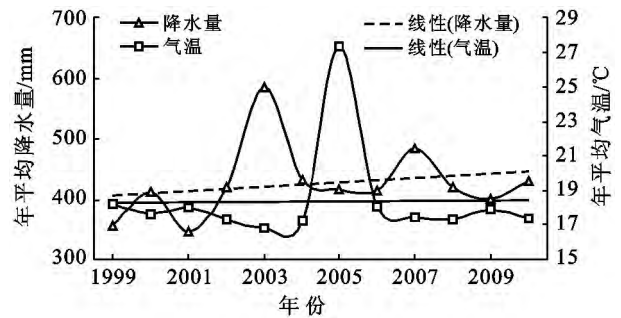


图 2 山西省 1999—2010 年年际平均降水量和平均气温的变化趋势

根据研究区的植被类型图, 计算出不同植被类型在 1999—2000 年内生长季的平均 NDVI 值, 对不同的植被类型在生长季的平均 NDVI 值与降水量做相关性统计, 得出 Pearson 相关系数, 以分析不同植被类型 NDVI 的变化特征(表 1)。由表 1 得出, 山西省不同植被类型 NDVI 值与降水量的相关性程度由高到低的顺序为: 一年一熟粮作和耐寒经济作物 > 草原和稀树灌木草原 > 针叶林 > 灌丛和萌生矮林 > 一年两熟或两年三熟旱作和暖温带落叶经济林(果树林) > 阔叶林。其中一年一熟粮作和耐寒经济作物以及草原和稀树灌木草原的 NDVI 与降水的相关性最高, 分别达到 0.537 和 0.518。表明随着降水量的增加, 这两种植被的 NDVI 值提高得速度越快, 这是由于处在干旱半干旱的山西省降水稀少, 蒸发量大, 年降水量仅在 400~650 mm, 且季节分配不均匀, 使得粮食作物、经济作物以及草地、低矮灌丛地等对水分条件的依赖程度较高。

表 1 不同植被类型生长季平均 NDVI 与降水量的相关性统计

植被类型	像元个数	比例/%	NDVI 与降水的相关性系数
一年一熟粮作和耐寒经济作物	8 650	15.69	0.537
草原和稀树灌木草原	5 861	10.63	0.518
针叶林	630	1.14	0.402
灌丛和萌生矮林	22 213	40.28	0.364
一年两熟或两年三熟旱作和暖温带落叶经济林	16 408	29.76	0.321
阔叶林	1 380	2.50	0.266

3.2.2 生长季平均 NDVI 与气温的相关性分析 受太阳辐射等天文因素的影响, 温度的变化对植被的季

节性生长也起到一定作用<sup>[16]</sup>。由附图 9 可以看出, 山西省大部分地区的植被生长季平均 NDVI 与气温

的相关系数为负,只有恒山,五台山一带,忻定盆地以及长治、晋城的东部地区植被在生长季的平均 NDVI 与气温的相关指数稍高些,但最高也只达到了 0.374,呈正的弱相关关系。通过对比图 1 和图 2,年平均气温的增加速率仅为 0.008 5/a,说明气温与 NDVI 的相关性较低。6—10 月是山西省植被生长最为旺盛的时期,水热条件和光照条件比一年当中其它时期充沛得多。将每个栅格中生长季平均 NDVI 与气温的相关系数进行平均,得到平均相关系数为 -0.415,呈负相关关系,即当温度升高,植被覆盖率减少。这是由于温度的升高一方面为植被提供热量,促进植被的生长,NDVI 值迅速增长;另一方面温度超过了植被生长的适宜温度,增加地表的蒸发量,使土壤水分流

失并不断干化,导致植被生长缺水,NDVI 值减少,这对于处在干旱半干旱地区的植被生长十分不利。显然,单从温度条件来讲,后者是影响山西省植被覆盖的主要原因。

对统计不同植被类型生长季的平均 NDVI 与气温做相关性统计如表 2 所示。由于所得系数是对同种植被的 NDVI 求平均值,可得所有植被类型的 NDVI 与气温的相关性系数都为负,表明所有植被在温度升高时,平均植被覆盖率下降。这可能是由于在数据处理过程中,对 NDVI 和气温数据进行多年平均所导致的;若将降水因素考虑进来,降水量增量小于由于温度升高引起的蒸发量增量,导致区域内植被覆盖率下降,水土流失现象加剧。

表 2 不同植被类型生长季平均 NDVI 与气温的相关性统计表

植被类型	像元个数	百分比/%	NDVI 与气温的相关性系数
一年一熟粮作和耐寒经济作物	8 650	15.69	-0.525
草原和稀树灌木草原	5 861	10.63	-0.493
针叶林	630	1.14	-0.310
灌丛和萌生矮林	22 213	40.28	-0.365
一年两熟或两年三熟旱作和暖温带经济林	16 408	29.76	-0.437
阔叶林	1 380	2.50	-0.362

### 3.3 人类活动对植被覆盖变化的影响

自然因素如降水、气温、地形、土壤、水文条件为植被覆盖的空间分布奠定了总体格局<sup>[17]</sup>,其中降水量和气温的变化是影响植被覆盖变化的主要原因。但是近年来由于人类采取不同的方式对地表生态环境进行干扰,引起地表过程和自然演化进程越来越显著,使得人类活动成为植被覆盖变化不可忽视的驱动因素。通过残差法剥离了降水和气温对植被覆盖变化的影响,得到人类活动作用下的影响。附图 10 为山西省生长季 NDVI 残差年际变化趋势空间分布的显著性检验图。从附图 10 可以看出,1999—2010 年山西省大部分地区人类活动对植被覆盖的影响总体是显著增加的趋势,但人类活动对生长季影响主要存在两个方面:(1)人类活动对生长季 NDVI 的增加起到促进的作用,即人类活动的正影响。(2)人类活动对生长季 NDVI 起到抑制的作用,即人类活动的负影响。如附图 10 所示,人类活动对植被的正影响区域(92.98%)远大于负影响区域(0.533%)。

植被 NDVI 的残差呈现显著增加的区域主要集中在西部的吕梁山脉,包括芦芽山、管岑山、以及汾河下游的临汾盆地,南部的中条山、晋城以西,东部的太行山脉以西,忻州的东部、阳泉、晋中地区东部、长治地区北部等。说明这些地区植被的生长不能仅用降

水因素来解释,特别是那些与降水呈负相关性的区域,植被 NDVI 的变化在很大的程度上体现出了人类活动的影响。如汾河下游的临汾盆地,化肥农药的大量使用和农田灌溉水利设施的建设等人来活动促进了植被覆盖的增加。加之近些年来国家出台了一系列的森林保护工程、退耕还林以及水土流失治理等相关政策法规,促进了山西省植被覆盖度的增加,生态效益正在日益显现。

植被 NDVI 的残差呈显著减少的区域主要分布在太原盆地内部,包括太原市,古交县,介休市、孝义市,在朔州市,河津市,长治潞城,大同,晋城地区内部也有零星分布。说明这些地区植被的生长状况落后于降水和气温预测的植被生长状况,可能是由于人类活动引起土地退化,植被覆盖减少。其中一个重要体现是在太原市西山煤矿、朔州宁武煤矿、大同煤矿、介休、晋城等煤矿区植被 NDVI 的残差呈显著减少,其可能的原因是人类不合理对煤炭资源的开发导致地表土层破坏,导致土壤肥力下降,水土流失严重,NDVI 值降低;同时改变了土地的利用方式,造成土地退化,植被被进一步破坏,生态环境恶化。人类活动的另一个表现为在经济发展速度较快的省会城市及以地级市为中心的如太原、大同和长治地区,人口大量集聚,工业化及城市化进程的加快导致建设用地

扩张,植被 NDVI 的显著减少。

此外,通过对比附图 7 和附图 10 可以看出,NDVI 残差的变化与 NDVI 变化的空间分布形式非常相似,可以理解为山西省植被 NDVI 的变化除了响应降水和气温的自然因素外,呈显著增加或减少的区域很大程度上都是由于人类活动引起的,也就是说,人类活动无论是对山西省植被覆盖的改善还是破坏都起到了关键作用。

## 4 结论

(1) 从年际变化上看,1999—2010 年植被生长季平均 NDVI 呈现显著上升趋势,其增加速率为  $0.1994/a$ ;从空间变化来看,研究区内大部分地区 NDVI 均有增加趋势,其中极显著增加区域达 72.94%,主要分布在山西省的黄土丘陵沟壑区及山区;而下降趋势地区的面积仅为研究区面积的 0.21%,成不均匀零星分布。

(2) NDVI 与降水量具有显著的相关性,山西省生长季植被 NDVI 与降水量的相关性从整体上呈现出由北向南逐渐减少的特点。占总面积 98.54% 的生长季植被平均 NDVI 与降水呈正相关。其中极显著和显著变化的区域仅占 0.23% 和 1.34%。NDVI 与气温的相关性不高,平均相关系数为  $-0.415$ 。NDVI 与降水之间的相关性高于 NDVI 与温度之间的相关性,表明植被在生长季的平均 NDVI 与降水的相关性比气温要高。

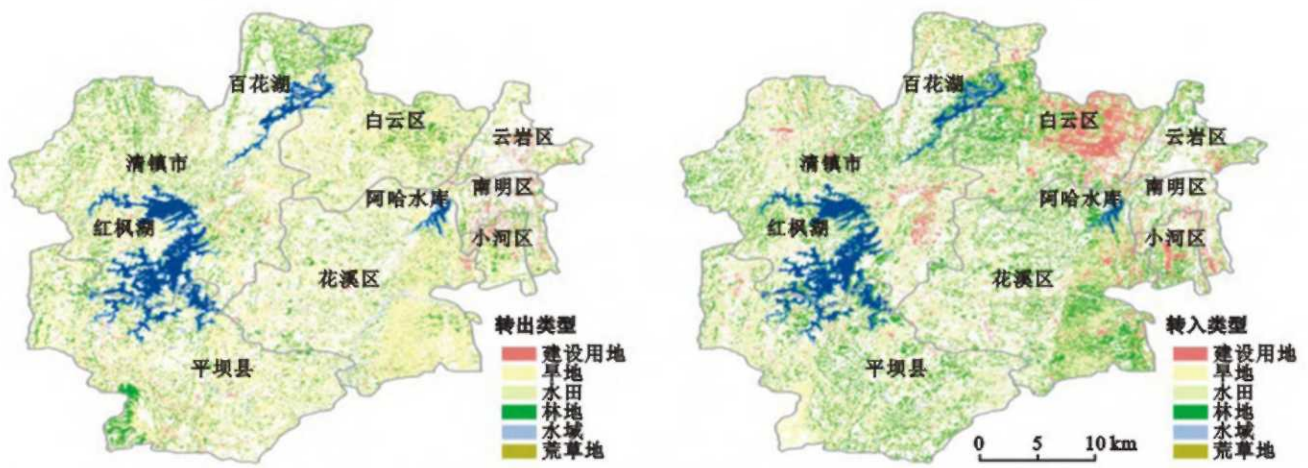
(3) 人类活动对山西省植被覆盖变化有很大的影响,植被 NDVI 残差年际变化的正相关区域面积要大于负相关面积,正影响区域占 92.98%,负影响区域占 0.533%。说明研究区内人类活动对植被促进作用要强于抑制作用。

(4) 山西省植被覆盖变化是气候变化与人类活动共同作用的结果。本研究仅在大尺度上分析了两大因素对植被覆盖率变化的影响,但具体到小区域范围内,植被覆盖的变化受气候因素影响更大还是人类活动影响更大仍需综合考虑后进行深入研究。同时,人类活动对植被覆盖影响的表现形式可根据研究区的具体情况进行进一步研究。

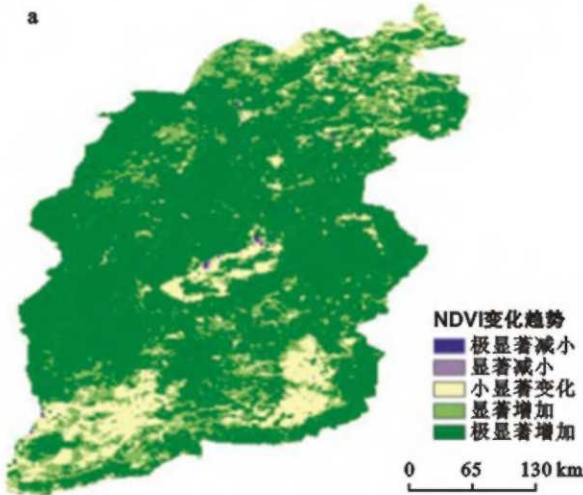
### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 甘春英,王兮之,李保生等. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J]. 地理科学,2011,31(8):1019-1024.
- [2] Wessels K J, Prince S D, Frost P E, et al. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of Northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series[J]. Remote Sensing of Environment, 2004,91(1):47-67.
- [3] Xin Zhongbao, Xu Jiongxin, Zheng Wei. Spatiotemporal variations of vegetation cover on the Chinese Loess Plateau (1981—2006): Impacts of climate changes and human activities[J]. Science in China Series (D): Earth Sciences, 2008,51(1):67-78.
- [4] 戴声佩,张勃,王海军,等. 中国西北地区植被覆盖变化驱动因子分析[J]. 干旱地区地理,2010,33(4):636-643.
- [5] 刘军会,高吉喜. 气候和土地利用变化对中国北方农牧交错带植被覆盖变化的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(9):2016-2022.
- [6] Henmann S M, Anyamba A, Tucker C J. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate [J]. Global Environmental Change, 2005,15(4):394-404.
- [7] Camberlin P, Martiny N, Philippon N, et al. Determinants of the interannual relationships between remote sensed photosynthetic activity and rainfall in tropical Africa[J]. Remote Sensing of Environment, 2007,106(2):199-216.
- [8] 陈效速,王恒. 1982—2003 年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化[J]. 地理科学,2009,64(1):84-94.
- [9] 南颖,刘志锋,董叶辉,等. 2000—2008 年长白山地区植被覆盖变化对气候的响应研究[J]. 地理科学,2010,30(6):921-928.
- [10] 张翀,任志远,袁鑫. 西北地区 NDVI 对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J]. 资源科学,2011,33(12):2356-2361.
- [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] 信忠保,许炯心,郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学(D 辑):地球科学,2007,37(11):1504-1514.
- [13] 黄森旺,李晓松,吴炳方,等. 近 25 年三北防护林工程区土地退化及驱动力分析[J]. 地理学报,2012,67(5):589-598.
- [14] 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.
- [15] 包刚,包玉海,覃志豪,等. 近 10 年蒙古高原植被覆盖变化及其对气候的季节响应[J]. 地理科学,2013,33(5):613-621.
- [16] 戴声佩,张勃,王海军,等. 中国西北地区植被覆盖变化驱动因子分析[J]. 干旱地区地理,2010,33(4):636-643.
- [17] 韩贵锋. 中国东部地区植被覆盖的时空变化及其人为因素的影响研究[D]. 上海:华东师范大学,2007.

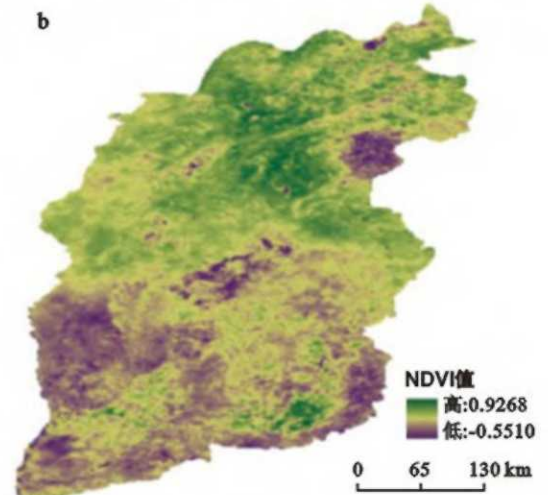




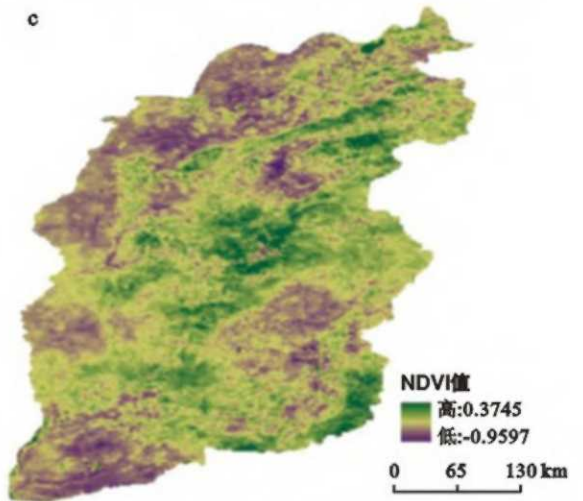
附图6 贵阳市“两湖一库”地区2001—2010年土地流转分析



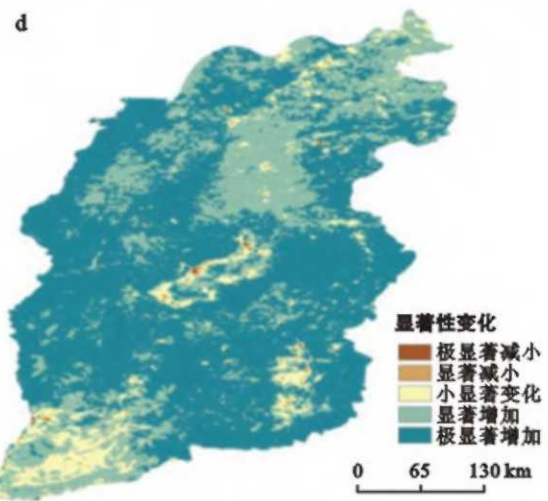
附图7 山西省1999—2010年NDVI变化趋势显著性检验



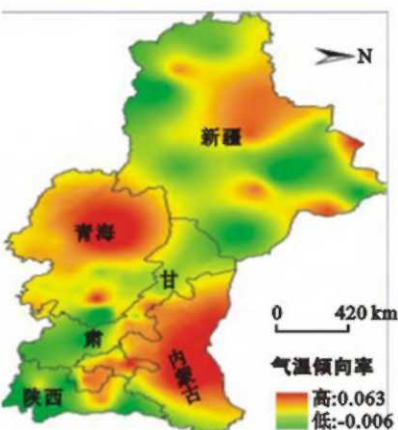
附图8 山西省1999—2010年NDVI与降水的相关系数



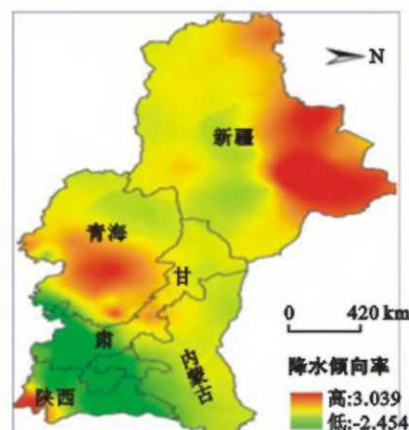
附图9 山西省1999—2010年NDVI与气温的相关系数



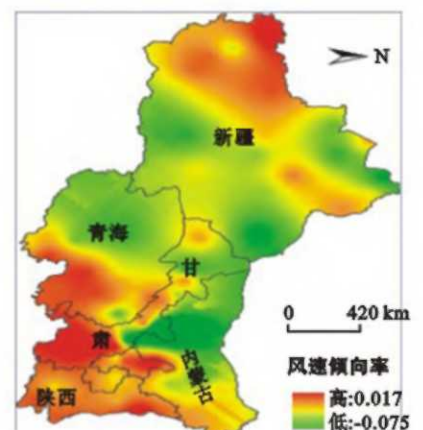
附图10 山西省1999—2010年累积NDVI残差变化趋势显著性检验



附图11 西北地区气温空间变化特征



附图12 西北地区降水空间变化特征



附图13 西北地区平均风速空间变化特征