

山西省 2003—2012 年植被时空变化格局及 对气候因子的响应

党跃军¹, 王礼霄², 严俊霞²

(1. 山西省水文水资源勘测局, 太原 030001; 2. 山西大学 黄土高原研究所, 太原 030006)

摘要:利用 2003—2012 年卫星遥感数据归一化植被指数(NDVI)、山西省 17 个气象站逐日气温、降雨量资料和土地覆盖数据,分析了山西省近 10 a 来 NDVI 的时空变化特征,及其对气候因子的响应。结果表明:近 10 a 月 NDVI 变化呈现单峰型;7—8 月份的植被整体呈中度改善;各个行政区中临汾、吕梁地区为明显改善;太原、忻州、晋中为中度改善;朔州、运城、长治、阳泉为轻度改善;大同与晋城地区基本不变;自然植被覆盖类型方面,林地、灌丛、草地 3 种自然植被覆盖类型都呈现改善趋势,林地为轻度改善,灌丛与草地为中度改善;山西省东南部地区的 NDVI 普遍高于西北部地区,且西北部的植被增长状况比东南部较好。基于月尺度的 NDVI 与气温呈显著正相关,而降雨量对 NDVI 变化存在一个阈值;基于年际尺度的 NDVI 与气温、降雨量的单变量相关不显著;基于月尺度的 NDVI 与同期的气温和降雨量的复合相关模型优于单变量相关模型。

关键词:山西; 归一化植被指数; 气候因子; 相关分析

中图分类号:Q141

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0235-06

Spatiotemporal Dynamics of Vegetation and Its Response to Climatic Factors in Shanxi Province from 2003 to 2012

DANG Yuejun¹, WANG Lixiao², YAN Junxia²

(1. Shanxi Hydrographic and Water Resources Survey Bureau, Taiyuan 030001, China;

2. Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Based on the normalized difference vegetation index(NDVI) data from moderate resolution imaging spectroradiometer(MODIS), the daily temperature and precipitation data from 17 meteorological stations, and the land cover data in the period from 2003 to 2012, this paper analyzed spatiotemporal variation patterns of the vegetation and their correlations with climatic factors in recent ten years in Shanxi Province. The results showed that the vegetation index of months indicated a single peak; in recent decade, the vegetation index of Shanxi Province indicated moderate improvement in July and August; the vegetation index improved in all regions, the obvious improvement was observed in Linfen and Lvliang, the moderate improvement was found in Taiyuan, Xinzhou and Jinzhong, and the slight improvement was found in Shuozhou, Yuncheng, Changzhi and Yangquan; with respect to different land cover types, the vegetation index showed moderate improvement in shrub land and grassland, but slight improvement was found in woodland; the values of NDVI in the southern and eastern regions were high, but low values were observed in the northern and western regions, and the improvement of NDVI in the northwest was better than the southeast. There is a significant positive linear correlation between the monthly average NDVI and the monthly mean temperature in the province. A threshold value of precipitation affecting NDVI existed, and NDVI did not increase significantly. There is a weak correlation between the NDVI and the interannual change of temperature and precipitation; the effect of univariate correlation models of monthly average NDVI and the monthly mean temperature/precipitation is better than the composite variables correlation models.

Keywords: Shanxi Province; NDVI; climatic factors; correlation analysis

归一化植被指数 NDVI 是植物生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子,与植被分布密度呈线性相关,可以作为指示植物覆盖程度的指标。植被是陆地生态系统的基础,也是生态环境的重要组成部分,植物的覆盖状况可直接反映该地区生态环境状况^[1]。卫星遥感数据以其时间、空间连续性优势,可以为研究地表植被变化提供可靠的实时数据源^[2],特别是 MODIS 等提供的 NDVI 产品已经广泛应用到地表植被变化的研究中。

植被—气候关系是全球变化研究中的重要组成,气候及气候变化是决定地表植被生存状态和分布的重要因素^[3]。因此,研究植被与气候变化之间的相互联系已经成为研究全球变化的重要内容^[4]。目前对 NDVI 的研究表明:20 世纪 80 年代以来,北半球中高纬地区的植被显著增加^[5],在不同地区、不同时期 NDVI 的变化情况及其与气候因子的关系有差异^[6-12]。研究者对浙江省 NDVI 的研究表明,植被是气候、地貌、土壤和人类活动长期相互作用的结果,从与气候要素年际变化来看,植被受湿润指数的影响最为明显,其次为降水、气温^[13];延安北部丘陵沟壑区植被覆盖状况在持续转好,年平均 NDVI 与年温度相关不明显,降雨量是引起 NDVI 年际波动的影响因子之一^[14];黄土高原地区的植被指数表现出明显的区域差异,气温、降雨量是决定该地区植被生长的主要气候因子^[1]。山西省处于黄土高原地区的东部,武永利^[15]等人用 NASA /GIMMS 的月植被指数对 1982—2006 年典型生态区的植被状况与气候响应研究表明,山西植被指数呈上升趋势,并存在明显的年际变化,林区的 NDVI 与气温则有较一致的相关性。但是利用 MODIS 数据对山西省近年来的 NDVI 时空变化格局鲜有研究。本文基于 2003—2012 年卫星遥感数据 TERRA/MODIS 的 250 m 分辨率 16 d 合成的 NDVI 数据、山西省 17 个气象站逐日气温、降雨量和土地覆盖数据,研究山西省近 10 a 来植被指数的时空变化特征,并以文峪河流域为例分析了 NDVI 与气温、降雨量的单变量简单与复合变量相关,以期对山西省生态环境恢复建设提供数据支撑。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

山西省地处我国第二级阶梯黄土高原东翼,全省面积 15.6 万 km²。省境地形多样,以山地、丘陵为主;西高东低,北高南低,呈阶梯状抬升。气候属于中

温带季风气候,即温带大陆性季风气候。冬季长而寒冷干燥,夏季短而炎热多雨,春季日温差大,风沙多,秋季短暂,气候温和。年平均气温 3~14℃,昼夜温差大,南北温差也大。平均降雨量为 400 mm 到 650 mm,但季节分布不均匀,夏季 6—8 月降雨量高度集中且多暴雨,降雨量约占全年的 60% 以上。植被指数对气候因子响应的研究选取文峪河流域为研究区,文峪河是汾河上游的一级支流,流域面积 1 842.13 km²,流域的气候属季风控制下的暖温带大陆性山地气候,年均温 4.2℃,平均年降雨量 550 mm。

1.2 数据来源及处理

NDVI 数据从美国国家航空航天局(NASA)网站订购(<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>)。该研究下载了 2003—2012 年的 TERRA /MODIS 全球 250 m 分辨率 16 d 合成产品(MOD13Q1),利用 HEG 软件重新投影为 GeoTIFF 格式,再用 ArcGIS 软件对植被指数值提取。土地覆盖类型数据使用的是中国科学院 WESTDC 2.0 土地利用产品。植被指数对气候因子的响应选取了文峪河流域为研究对象。气象数据从中国气象科学数据共享服务网下载,该研究下载了 2003—2012 年山西省 17 个气象站点逐日的气温与降雨量数据,月均温及月降雨量由 17 个台站的数据通过插值方法,再用 ArcGIS 软件裁剪、提取得到。

1.3 研究方法

基于 WESTDC 2.0 土地利用类型图(2000 年)、山西省行政区划图,分别提取不同地类,与对应的 NDVI 图层叠加,并利用 ArcGIS 地统计功能统计 NDVI,对 2003—2012 年 NDVI 的时空变化特征进行分析。利用变化斜率法^[14]分析以年为时间尺度的植被变化趋势,计算的斜率(公式 1,变量 i 为研究时间段的年序号,NDVI _{i} 表示第 i 年的 NDVI 值)若为负值,表示其植被覆盖呈减趋势,相反斜率为正值,植被覆盖呈增加趋势。为了更好地评价 NDVI 在时间序列上的变化状况,根据线性趋势系数将 NDVI 变化分为 7 个等级^[16]:严重退化(<-0.009 0)、中度退化(-0.004 5~-0.009 0)、轻微退化(-0.004 5~-0.000 9)、基本不变(-0.000 9~0.000 9)、轻微改善(0.000 9~0.004 5)、中度改善(0.004 5~0.009 0)、明显改善(>0.009 0)。趋势显著性检验采用 F 检验, $p < 0.05$ 为变化显著。

$$\text{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times \text{NDVI}_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中:Slope——线性趋势;NDVI——植被指数。

由于 NDVI 指示的是植物生长状态以及植被空间分布密度,因此研究 NDVI 对气候的响应应该尽量避免人类活动、或者其他非植被覆盖地区的干扰,本研究选取了基本由植被覆盖的文峪河流域来进行 NDVI 对气候因子的响应研究。文峪河流域西倚吕梁山脉中段,地势西北向东南倾斜,关帝山林区、庞泉沟自然保护区等都在流域内。基于 ArcGIS 的插值功能,对气温用克里金插值法、对降雨量用反距离权重法(IDW)^[17-18]进行插值,通过对山西省 17 个气象台站插值得到所研究区域的气温、降雨量资料,利用 SPSS 软件,通过 Pearson 相关分析及回归分析方法研究气温、降雨量与 NDVI 的单变量相关以及复合变量相关,得出回归方程,并进行 F 检验,试图揭示导致 NDVI 变化的原因。

2 结果与分析

2.1 山西省植被指数的时空变化

2.1.1 山西省植被指数的时间变化 图 1 为山西省 2003—2012 年的 NDVI 月变化图,可以看出,近 10 a 山西省月均 NDVI 呈现单峰型,全年变化范围在 0.33~0.77 之间,变异系数(CV)为 0.34。NDVI 从 3 月份以后开始增加,8 月份达到极大值为 0.77,9 月份出现下降,1 月份达到最低值附近。春季气温回升,作物开始生长,NDVI 开始增长,但比较缓慢;秋季除了自然植被变化外,农作物收割也是导致植被指数下降的因素之一。

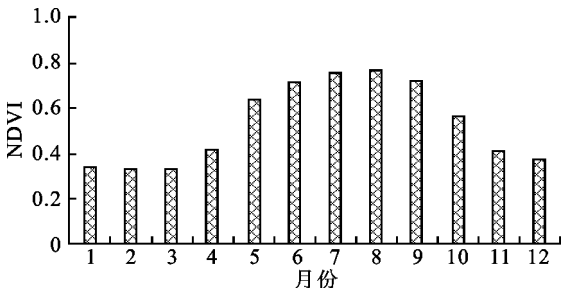


图 1 山西省 2003—2012 年 NDVI 月变化

7 月,8 月为植被长势最为良好的阶段,因而选取 2003—2012 年 7—8 月的 NDVI 平均值作为指标进行分析。图 2 为山西省 2003—2012 年 NDVI 年变化曲线,可以看出,山西省近 10 a 间 NDVI 线性趋势系数为正,表明山西省整体植被呈改善趋势。进一步分析表明,NDVI 与对应年份的拟合效果较好($R^2=0.5889$),因此,山西省 10 a 植被中度改善(线性趋势系数为 0.005 4,介于 0.004 5 与 0.009 0 之间),但是经过 F 检验, $p=0.10$,改善的趋势不显著。究其原因,有可能是由于时间序列较短造成的。

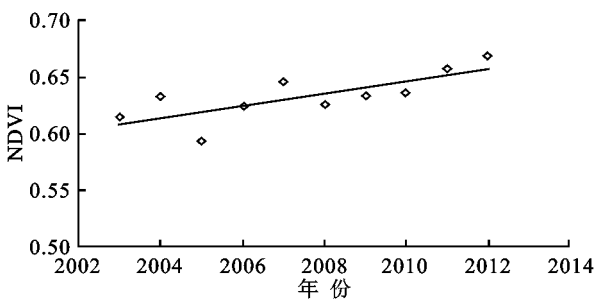


图 2 山西省 2003—2012 年 NDVI 年变化

表 1 为山西省 2003—2012 年各行政区的 NDVI 变化情况。可以看出,11 个行政区的线性趋势都为正值,表明各个行政区的植被在 10 a 间均有改善,其中临汾、吕梁地区为明显改善;太原、忻州、晋中为中度改善;朔州、运城、长治、阳泉为轻度改善;大同与晋城地区基本不变。F 检验的结果表明,临汾、吕梁、太原、忻州、晋中这五个地区 NDVI 的变化均达到了显著。临汾、吕梁地区 10 a 间增长率最大,分别达到了 13.79%,13.17%。总体将分为显著增加区与不显著区,其中临汾、吕梁、太原、忻州、晋中为显著增加区。造成这种结果的原因可能是,山西省南部的植被覆盖较北方要好,晋城、运城两个地区植被覆盖基础较好,改善空间也较小。在退耕还林、封山育林等政策下,植被覆盖基础薄弱的地区改善效果比较明显。

表 1 山西省 2003—2012 年各行政区 NDVI 均值、线性趋势系数和相关系数

地区	NDVI 均值	标准差	线性 趋势系数	相关 系数
临汾	0.65	0.0319	0.0095	0.90**
吕梁	0.61	0.0337	0.0099	0.89**
大同	0.54	0.0256	0.0007	0.09
太原	0.64	0.0293	0.0083	0.86**
忻州	0.62	0.0207	0.0053	0.78**
晋中	0.68	0.0229	0.0069	0.91**
晋城	0.72	0.0129	0.0003	0.06
朔州	0.53	0.0233	0.0044	0.58
运城	0.65	0.0217	0.0015	0.21
长治	0.70	0.0208	0.0032	0.47
阳泉	0.70	0.0142	0.0015	0.32

** 为 0.01 水平下极显著。下表同。

表 2 为山西省 2003—2012 年自然植被覆盖类型的 NDVI 变化情况。可以看出,山西省 10 a 间自然植被覆盖类型的线性趋势系数都为正,表明都呈现改善趋势。林地为轻度改善,灌丛与草地为中度改善。F 检验的结果表明,灌丛与草地的 NDVI 变化达到了显著水平。其中,林地 NDVI 的增长率为 2.66%;灌丛 NDVI 的增长率为 5.51%;草地 NDVI 的增长率达到了 11.17%。造成这种差异可能是由于这自然植被自身的生长,乔木原本的 NDVI 就高,没有灌

木、草可恢复的空间大,既原有基数差异所致。

表 2 山西省 2003—2012 年各自然植被 NDVI 均值、线性趋势系数和相关系数

覆盖类型	NDVI 均值	标准差	线性趋势系数	相关系数
林地	0.75	0.0278	0.0037	0.40
灌丛	0.71	0.0224	0.0060	0.81**
草地	0.62	0.0212	0.0067	0.95**

2.1.2 山西省植被指数的空间变化 图 3 为 2003—2012 年山西省 7 月 NDVI 空间分布图,可以看出,全省植被覆盖状况从西北向东南逐渐变好。进一步分析表明,NDVI 的分布呈现出晋城>长治>阳泉>晋中>临汾>运城>太原>忻州>吕梁>大同>朔州,位于东南部的晋城 NDVI 均值最高;位于西北部的朔州 NDVI 均值最低;位于北部的大同与朔州地区的 NDVI 与其他地区的差异较大。造成这种

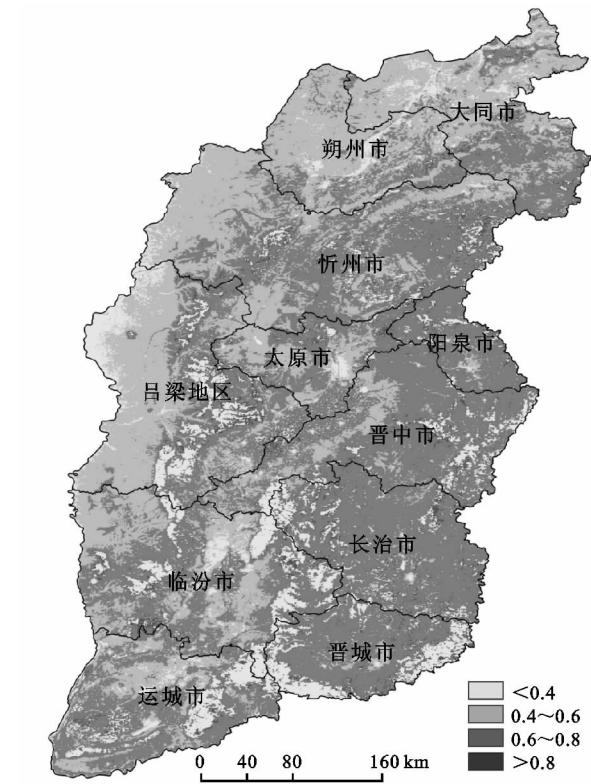


图 3 山西省 2003—2012 年 7 月 NDVI 空间分布

2.2 山西省植被指数对气候因子的响应

2.2.1 山西省月均植被指数与同期气温、降雨量的单变量相关分析 本研究以文峪河流域为例来进行 NDVI 对气候因子的响应研究。图 5 为 2003—2012 年月均 NDVI 与同期月均温和月降雨量的拟合曲线。可以看出,山西省 10 a 间月均 NDVI 与同期月均温之间呈现正的线性相关,相关系数为 0.900,达到极显著水平($p<0.001$)。月均降雨量和 NDVI 之间呈现非线性关系,降雨量对 NDVI 的作用存在一

差异可能是多种因素共同作用的,譬如长治地区相对处于低纬度,水热条件较好,运城地区虽然同样处于低纬度,但是盆地范围较大,人口数量相对较大,导致其植被覆盖状况不太好。

图 4 为 2003—2012 年 NDVI 的变化趋势图,植被覆盖整体上以改善趋势为主,NDVI 增加区域远大于减少区域,其中明显增加区域主要分布在中部地区,如吕梁地区东部、太原市北部、忻州市南部、晋中市西北部,说明近年来封山育林、植树造林、退耕还林等生态恢复措施取得了一定的成效。NDVI 退化区域比较分散,主要分布在、人口密集、工业较多的建城区。总之,在植被覆盖基础薄弱、采取了生态恢复措施的地区,植被指数增加趋势特别明显;在一些植被覆盖基础较好的地区,植被指数变化不太明显,如长治、晋城地区;而在人口密集、城市周边城建地区植被指数有减小的趋势。

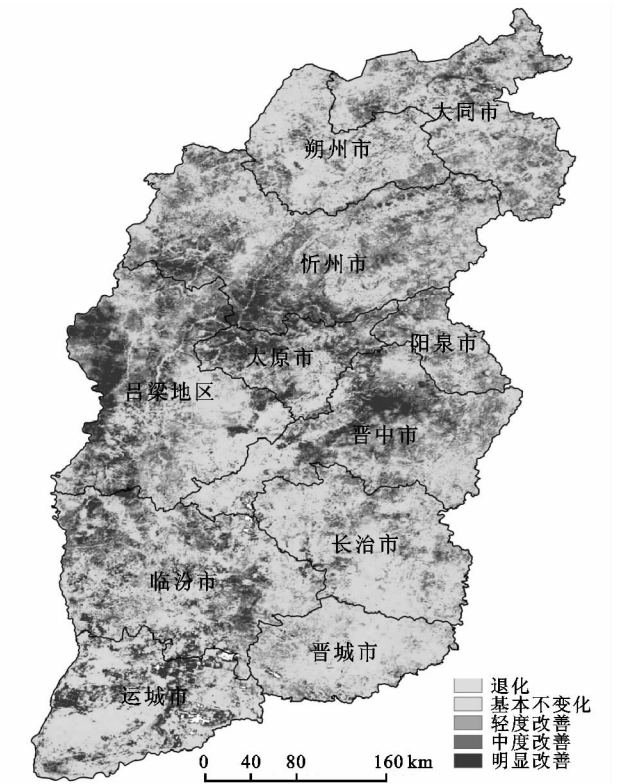


图 4 山西省 2003—2012 年 NDVI 变化趋势

个阈值,当降雨量<100 mm 时,NDVI 会随降雨量的增加而增加;当降雨量>80 mm 时,NDVI 不会随着降雨量的增加而有明显增加,维持在 0.7~0.8 之间的水平。

图 6 为年际尺度的 NDVI 与气温、降雨量的变化曲线。可以看出,年平均降雨量的波动与 NDVI 的波动基本相吻合,但是年平均气温的波动与 NDVI 的波动相关程度不显著。进一步分析表明,年平均气温与年平均降雨量的相关系数分别为-0.318,

0.239,相关性均不显著。

对 2003—2012 年的气温与降雨量做线性趋势分析,均未通过置信度 95% 的显著性检验,表明气温和降雨量 10 a 间均没有显著变化。因此,在年际尺度

上,年平均气温、年平均降雨量对 NDVI 变化影响都不显著,植被自身的生长规律,以及人类活动(如植树种草、放牧、伐树等)可能是影响该地区 NDVI 变化的主要因素。

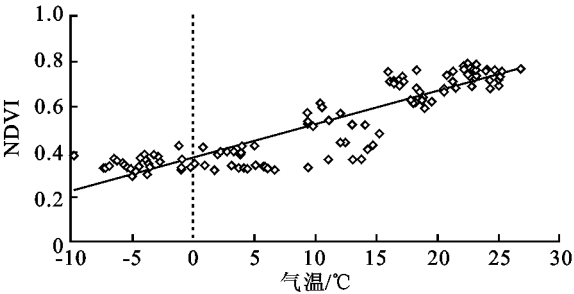


图 5 2003—2012 年月均 NDVI 与月均温、月均降雨量的回归曲线

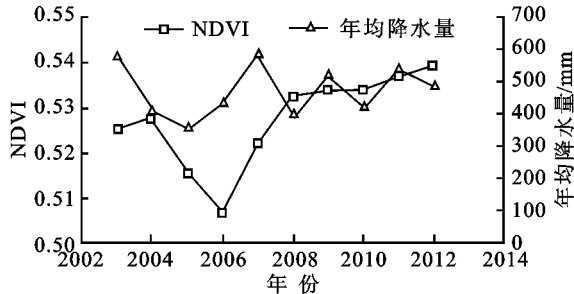
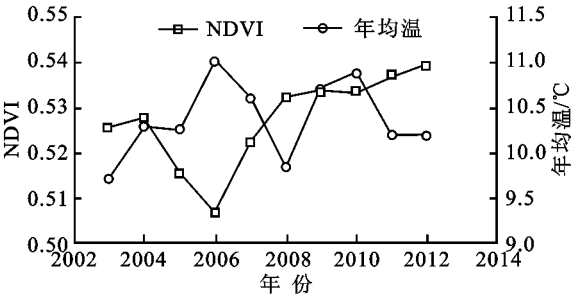
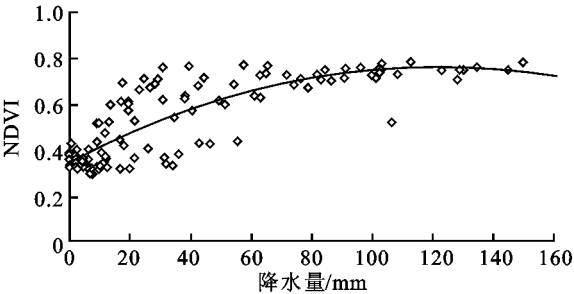


图 6 2003—2012 年年均 NDVI、年均温、年均降雨量的年际变化曲线

2.2.2 山西省月均植被指数与同期气温、降雨量的复合变量相关分析 我们分别用两种线性模型对 NDVI 与温度和降雨量的复合关系进行分析。表 3 为 2003—2012 年月均 NDVI 与同期月均温和月降雨量的拟合曲线参数。可以看出, $NDVI=0.011T+$

$0.001P+0.362$ 模型较两个单变量方程相比, R^2 均得到了提高,可以解释 NDVI 季节变化的 85%。因此,双变量的模型要优于单变量模型, $NDVI=0.011T+0.001P+0.362$ 模型能够较好地用气温和降雨量拟合 NDVI。

表 3 月均 NDVI 与月均气温、降雨量的回归分析及各项参数

方程	拟合方程	R^2	F	P
单变量方程	$NDVI=0.0147T+0.3751$	0.81	505.27	0.000
	$NDVI=0.0033P+0.3975$	0.63	198.28	0.000
复合变量方程	$NDVI=0.011T+0.001P+0.3620$	0.85	342.66	0.000

3 讨论

山西省 10 a 间整体植被状况呈改善趋势,植被覆盖基础薄弱的地区改善效果较覆盖基础较好的地区空间大,效果明显。但由于时间序列较短,部分类别的改善趋势不显著,这与相关研究^[17]基本一致;由于地形、水热条件以及非气候因素的差异,植被覆盖状况从西北向东南逐渐变好,这与黄土高原整体的植被空间变化格局相关研究^[1]结果一致。

植被的生长受气候条件的制约,月尺度的 NDVI 与同期的气温呈显著的正相关,降雨量对 NDVI 变化存在一个阈值,约在 80 mm,这与冯妍等^[19]的研究(降雨量对 NDVI 变化的阈值约在 100 mm)基本一致;年际尺度的 NDVI 与同期的气温和降雨量的相

关性都不显著,10 a 间气温和降雨量没有显著变化,但 NDVI 有显著的增加趋势,可以初步认为非气候因素是影响年际 NDVI 变化的主要原因,这与宋富强等^[20]的研究结论一致。温度和水分都是影响植物生长的生态因子,温度与水分的相互作用使得研究 NDVI 与气温和降雨量的关系变得复杂化。NDVI 与同期的气温和降雨量的复合模型优于单变量模型,表明 NDVI 年内月变化是气温与降雨量共同作用的结果,这与刘德义等^[21]的研究(气温和降水是影响植被指数的两个重要自然因素)结果一致。年际变化则非气候变化引起,如植被自身的生长规律,以及如植树种草、放牧、伐树等人为因素。

尽管我们对植被指数与气温、降雨量的相关性进行了研究,由于研究区域较小,还需要在更大范围进

行分析。气候变化是植被覆盖时空变化的重要影响因素,但非气候因素也不容忽视,在今后的研究中,应该考虑在更大区域尺度上更多的因素对植被指数的联合作用。

4 结论

1) 近 10 a 山西省月均 NDVI 呈现单峰型;基于线性趋势分析,山西省 10 a 间植被状况呈改善趋势,林地、灌丛、草地 3 种覆盖类型均有所改善。

2) 结合 GIS 地统计方法可以得出,全省植被覆盖状况从西北向东南逐渐变好,位于东南部的晋城 NDVI 均值最高,位于西北部的朔州 NDVI 均值最低;植被覆盖整体上以改善趋势为主,NDVI 增加区域远大于减少区域。其中明显增加区域主要分布在中部地区,NDVI 退化区域比较分散。

3) 基于回归与相关分析,月尺度的 NDVI 与同期的气温呈现显著地正相关,与同期降雨量呈现非线性相关,降雨量到达一定水平后,NDVI 增加不明显;NDVI 与同期的气温和降雨量的复合模型优于单变量模型。年平均气温、年平均降雨量对 NDVI 变化影响都不显著,植被自身的生长规律,以及人类活动(如植树种草、放牧、伐树等)可能是影响该地区 NDVI 变化的主要因素。

参考文献:

- [1] 徐茜,任志远,杨忍. 黄土高原地区归一化植被指数时空动态变化及其与气候因子的关系[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2012,40(1):82-87.
- [2] 高志海,李增元,魏怀东,等. 干旱地区植被指数(VI)的适宜性研究[J]. 中国沙漠,2006,26(2):243-248.
- [3] Piao S, Fang J, Zhou L, et al. Variations in satellite - derived phenology in China's temperate vegetation[J]. Global Change Biology,2006,12(4):672-685.
- [4] 徐兴奎,林朝晖,薛峰,等. 气象因子与地表植被生长相关性分析[J]. 生态学报,2003,23(2):221-230.
- [5] 张善红,白红英,高翔,等. 太白山植被指数时空变化及其对区域温度的响应[J]. 自然资源学报,2011,26(8):1377-1386.
- [6] 方精云,朴世龙,贺金生,等. 近 20 年来中国植被活动在增强[J]. 中国科学:C 辑,2004,33(6):554-565.
- [7] 王永立,范广洲,周定文,等. 我国东部地区 NDVI 与气温,降水的关系研究[J]. 热带气象学报,2009,25(6):

725-732.

- [8] 夏露,刘咏梅,柯长青. 基于 SPOT4 数据的黄土高原植被动态变化研究[J]. 遥感技术与应用,2008,23(1):67-71.
- [9] 刘志红,郭伟玲,杨勤科,等. 近 20 年黄土高原不同地貌类型区植被覆盖变化及原因分析[J]. 中国水土保持科学,2011,9(1):16-23.
- [10] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems[J]. Nature,2003,421(6918):37-42.
- [11] 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.
- [12] 王灿,任志远,张翀. 陕北地区 NDVI 对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J]. 水土保持研究,2014,21(1):173-177.
- [13] 何月,樊高峰,张小伟,等. 浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应[J]. 生态学报,2012,32(14):4352-4362.
- [14] 孙智辉,刘志超,雷延鹏,等. 延安北部丘陵沟壑区植被指数变化及其与气候的关系[J]. 生态学报,2010,30(2):533-540.
- [15] 武永利,夺镭右,王云峰,等. 山西典型生态区植被指数(NDVI)对气候变化的响应[J]. 生态学杂志,2009,28(5):925-932.
- [16] Li S, Yan J, Liu X, et al. Response of vegetation restoration to climate change and human activities in Shaanxi-Gansu-Ningxia Region [J]. Journal of Geographical Sciences, 2013,23(1):98-112.
- [17] 郑小波,罗宇翔,于飞,等. 西南复杂山地农业气候要素空间插值方法比较[J]. 中国农业气象,2008,29(4):458-462.
- [18] 蔡福,于慧波,矫玲玲,等. 降水要素空间插值精度的比较[J]. 资源科学,2006,28(6):73-79.
- [19] 冯妍,何彬方,唐怀瓯,等. 安徽省 2000—2009 年不同类型植被的变化及其与气温,降水的关系[J]. 生态学杂志,2012,31(11):2926-2934.
- [20] 宋富强,邢开雄,刘阳,等. 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价[J]. 生态学报,2011,31(2):354-363.
- [21] 刘德义,傅宁,范锦龙. 近 20 年天津地区植被变化及其对气候变化的响应[J]. 生态环境,2008,17(2):798-801.