

山西省不同生态分区增强型植被指数 (EVI) 对气候因子的响应

王虎威, 张福平, 燕玉超, 雷声剑

(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 利用 2000—2014 年 MODIS EVI 数据、27 个气象站点逐月气温和降雨量、MOD16 蒸散量数据, 分析了山西省 15 年来的植被覆盖变化及其对气温、降水和蒸散量的响应特征。结果表明: (1) 山西省植被总体呈现上升趋势, 增速为 $2.6\% \cdot 10a^{-1}$, 不同生态分区中 II 东部大行山山地 > III 中部盆地 > IV 西部山地 > I 晋北山地 > V 晋西黄土丘陵区。(2) 山西省植被覆盖具有较大的区域差异, 其中东南部的 EVI 明显高于西北部, EVI 频度图呈现“单峰结构”, 全省绝大部分地区呈现不变或增加趋势, 显著面积比例为 25.95%, 严重退化面积比例为 1.04%。(3) 基于年尺度的 EVI 与降水、蒸散量呈正相关, 与温度负相关, 基于月尺度的 EVI 与气温、蒸散量呈显著正相关, 蒸散量与 EVI 的相关性好于降水、温度单一因子, 而降雨量对 EVI 变化存在一个阈值。(4) 从生长季考虑, 从春季到夏季各大生态区蒸散量与 EVI 均为正相关并且逐渐加强, 秋季除 III 中部盆地外其它自然区均为负相关。

关键词: 增强型植被指数; 生态分区; 蒸散量; 气候因子; 山西省

中图分类号: S181; Q948.1 **文献标志码:** A

Response of enhanced vegetation index (EVI) to climatic factors in different ecological division of Shanxi Province

WANG Hu-wei, ZHANG Fu-ping, YAN Yu-chao, LEI Sheng-jian

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Using the data of MODIS EVI, monthly mean air temperature and precipitation from 27 weather stations and transpiration from MOD16 during 2000 to 2014, analyzed the vegetation cover change in recent 15 years in Shanxi Province and its response feature to temperature, precipitation and evapotranspiration. The result showed that: (1) Overall the vegetation cover showed an upward trend, the increasing speed was $2.6\% \cdot 10a^{-1}$. In the different ecological division, the eastern mountain area II > the central basin III > the western mountain area IV > the north Shanxi mountain area I > the west Shanxi loess V. (2) The vegetation cover in Shanxi Province possessed rather large regional difference. Among them and the EVI in southeast part was obvious higher than the northwest part. The EVI frequency chart was appeared “unimodal structure”. The most parts of province was showed unchange or increasing trend, the notable area ratio was 25.95% and the degradation area ratio was 1.04%. (3) The yearly EVI with the precipitation and evapotranspiration was assumed positive correlation, negative correlation with the temperature, The monthly EVI with the temperature and evapotranspiration was showed significantly positive correlation. The correlation between evapotranspiration and EVI was better than the single factor as precipitation and temperature. Also the precipitation with EVI change was existed a threshold value. (4) From growing season considered the evapotranspiration with EVI, we can known that from spring to summer each big ecological region total showed positive correlation and strengthened gradually. In autumn, all other natural areas were negative correlation except the middle part of the central basin III.

Keywords: EVI; ecological division; ET; climatic factors; Shanxi Province

收稿日期: 2015-12-14

基金项目: 国家科技支撑项目(2012BAC08B07); 国家人力资源和社会保障部留学人员科技活动项目择优资助项目; 中央高校基本科研业务费科研发展专项(GK201505112)

作者简介: 王虎威(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事资源环境遥感与 GIS 应用研究。E-mail: 861339097@qq.com。

通信作者: 张福平(1973—), 男, 山西吕梁人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事资源环境遥感与 GIS 应用研究。E-mail: zhang-fuping@163.com。

植被作为陆地的最主要组成部分,在地球系统中扮演着重要的角色,植被覆盖变化是生态环境变化的直接结果,它很大程度上代表了生态环境总体状况^[1],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^[2]。遥感影像以其较大空间尺度和较长的时间连续观测,现在已成为研究地表植被覆盖变化状况的重要数据^[3]。国内外许多学者对 NDVI 变化与气象因子的相关性进行了大量的研究工作^[4-7]。已有研究表明,NDVI 对植被背景的影响较为敏感,当植被覆盖度小于 15% 或大于 80% 时,由于土壤背景的影响与饱和度问题,导致 NDVI 对植被检测的灵敏度下降^[8];对大气干扰处理有限,大气残留噪音对 NDVI 指数影响严重;易受土壤背景干扰,特别是中等植被覆盖区,当土壤背景变暗时,NDVI 指数有增加的趋势,NDVI 对季节性不明显而表现为高平曲线,EVI (Enhanced Vegetation Index) 则具有季节性,呈钟形曲线^[9]。可知采用 EVI 代替 NDVI 数据来分析植被变化及与气候的变化更加适宜,更能反映研究区域内植被空间差异^[10]。

降水与温度是气候变化中最主要的两个气候因子,二者的变化会直接影响植被覆盖变化。地表实际蒸散发(ET)包括发生在土壤表面的蒸发和发生在植物叶片表面的蒸腾,不仅是水文循环和地表能量平衡的重要环节,也是植被生存必须的生理过程,蒸散量的变化与植被有着密切的联系^[11]。MOD16 通过了全球通量塔的验证^[12],模拟精度达到 86%,不仅提供了地表 ET 的各种参数,而且具备较高的时间分辨率以及免费获取等特点^[13],所以本文加入 ET 分析其与植被变化的关系。彭代亮^[8]研究浙江省 EVI 得出,浙江省大部分地区 EVI 对气温的最大响应没有时滞性,而对降水最大响应时滞为 1 个月左右,不同土地类型的植被 EVI 与气温的相关系数均大于降水;范瑛等^[14]研究得知,内蒙古高原西部植被覆盖退化面积大于改善面积,退化区主要分布在内蒙古农牧交错带北部边缘;黄土高原地区植被覆盖和降水关系密切,降水变化是植被覆盖变化的重要原因^[1];山西省位于黄土高原东部,党越军等^[15]山西省 2003—2012 年植被时空变化格局及对气候因子的响应研究表明:山西省 10 年间植被状况呈改善趋势,增加区域远大于减少区域;武永利等^[16]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,林区植被好于农业区,农业区好于农牧区,降水的年际变化对植被影响最大。结合前人研究的成果,本文基于 2000—2014 年的

MODIS EVI 数据分析了山西省不同生态区域内植被覆盖在时空上的分布特征及覆盖变化状况,以及与气候因子的相关性研究,不仅可以为该地区植被的变化趋势提供生态预警,也可以为当地评估环境政策的制定以及可持续发展提供理论意义。

1 研究区域概况

研究区位于华北平原黄土高原东部,东面以太行山脉为界与河北省相邻,西面以黄河为界与陕西相邻,北面以外长城为界与内蒙古相毗连。山西省气候在垂直和南北方向的变化都比较明显,恒山以北属温带季风型大陆型气候,以南属于暖温带季风型大陆型气候,年平均气温从 5℃ ~ 15℃ 不等,昼夜温差较大;年平均降水量介于 380 ~ 650 mm 之间,由西北向东南递增且集中在 7—9 月的夏、秋季节,冬、春降水较少。山西省疆域轮廓呈东北—西南走向的平行四边形,总面积大约为 15.6 万 km²,占全国总范围面积的比重为 1.6%。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据源

2.1.1 遥感数据与气象数据 遥感数据来自美国航空航天局 NASA 数据中心提供的 2000—2014 年的空间分辨率为 1 km、时间分辨率为 16 d 的 342 期 MODIS EVI 数据;气象数据是由国家气象局气候数据共享网 (<http://cdc.cma.gov.cn>) 提供的山西 2000—2014 年 27 个气象站点以及山西省附近的 15 个气象站点的月数据,植被图来源于“寒区旱区科学数据中心” (www://westdc.westgis.ac.cn)。

2.1.2 蒸散量数据 蒸散量数据来自于美国蒙大拿大学森林学院工作组。MOD16 - ET 产品的算法是 Mu 等^[13]在 Penman Monteith 公式基础上改进的,算法将地表分为裸土和冠层两种组分,根据不同下垫面的生物物理过程计算各自的空气动力学阻抗和冠层阻抗,再结合 MODIS 数据产品估算得到。

2.1.3 生态分区数据 根据 2008 年山西省分区依据以中国生态功能区划体系三级为基础,结合山西省的自然地理特点,特别是反映水平地带性规律以及大的地貌单元格局、高级植被类型单位、热量条件和典型的生态系统划分,山西省生态功能区划共分为 5 个生态大区,如图 1(见 273 页彩图)、表 1。

2.2 研究方法

由于山西省涉及到 MOD13A2 和 MOD16 蒸散量数据的 3 轨影像,所以利用 MRT (MODIS Reprojection Tools) 对影像进行拼接、重投影和提取,用 ENVI 软

件对拼合后的影像进行裁切,提取月最大的 EVI 和月蒸散量的影像。

2.2.1 趋势分析法 应用 ArcGIS10.0 栅格计算功能可以模拟每个栅格的变化趋势,以年为时间尺度的植被变化趋势, K_{slope} 为正值,则表示植被覆盖度存在增加的趋势,其值为负,则表示随着时间推移植被覆盖度下降,计算公式如下^[17]:

$$K_{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times EVI_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n EVI_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2}$$

式中, n 为总年数; i 为研究期中的第 i 年, EVI_i 为第 i 年的最大 EVI 值; K_{slope} 为一元回归斜率值。 $K_{slope} < 0$, 说明 EVI_{max} 降低, 数值越小, 降低越明显; $K_{slope} >$

0, 说明 EVI_{max} 增加, 数值越大, 增加越显著。根据线性趋势系数, 本研究将 K_{slope} 分为严重减少 ($K_{slope} \leq -0.04$)、轻微减少 ($-0.04 \leq K_{slope} \leq -0.02$)、基本不变 ($-0.02 \leq K_{slope} \leq 0.02$)、轻微增加 ($0.02 \leq K_{slope} \leq 0.04$) 和显著增加 ($K_{slope} \geq 0.04$) 共 5 类。

2.2.2 相关性分析 利用 EVI 与气温、降水、蒸散量栅格数据计算得出空间相关性的分布图, 并检验相关系数的显著性。计算公式^[18]:

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

式中, R_{xy} 为 x 与 y 之间的相关系数; \bar{x} 、 \bar{y} 为两样基本要素的平均值。

表 1 山西省生态区划系统

Table 1 The ecological region division systems in Shanxi Province

温度带 Temperature band	干湿地区 Wet and dry areas	分区代号及名称 The area code and name	主要植被 Vegetation
中温带 Middle temperate band	半干旱地区 Semiarid areas	I 晋北山地: 丘陵、盆地, 温带半干旱草原生态区 I The semiarid temperate grassland ecology zone in the hilly basin of northern Shanxi	草地、农田 Grassland, farmland
		II 东部太行山山地: 丘陵, 暖温带落叶阔叶林灌草生态 II The warm temperate band and deciduous forest shrub ecology zone in the hilly basin of Taihang Mountain	草地、农田、常绿针叶林、落叶阔叶林 Grassland, farmland, coniferous forest, deciduous broadleaf forest
		III 中部盆地: 农业生态区 III Agricultural ecology zone in the central Basin	农田 Farmland
暖温带 Warm temperate band	半湿润地区 Subhumid areas	IV 西部山地: 落叶针叶林与灌丛生态区 IV The aciculialvae and shrub ecology zone in western hilly of Shanxi	落叶阔叶林、混交林、草地 Deciduous broadleaf forest, mixed forest, grassland
		V 晋西黄土丘陵生态区 V Loess Hills ecology zone in Western Shanxi	草地、农田 Grassland, farmland

注: 下文提及到的生态分区均采用自然分区代号表示。

Notes: The eco-geographical region were represented by the natural zoning code below.

3 结果与分析

3.1 15 年来山西省年平均 EVI 的时空变化

数据经最大值合成法 (Maximum Value Composite, MVC) 处理后提取山西省及各分区 EVI 逐年平均值, 并绘制年 EVI 变化趋势图。从图 2 中可以看出, 山西省植被覆盖在 2000—2014 年总体是呈逐年上升趋势, EVI 值在 0.3414 ~ 0.4632 之间, 增速为 $2.6\% \cdot 10a^{-1}$, 通过了显著性检验。主要经历了 3 个阶段: (1) 2000—2004 年急剧上升, 是增加幅度最大的阶段, 增速达到 $9.7\% \cdot 10a^{-1}$, 反映出退耕还林还草工程初见成效, 植被覆盖状况明显得到改善; (2) 2004—2008 年以小幅波动略有下降为特征的时期, 降速为 $2.4\% \cdot 10a^{-1}$; (3) 2009—2014 上升阶段, 并在 2013 年达到 0.4632 的最高值, 增速为 $4.1\% \cdot$

$10a^{-1}$, 这与 2008 年山西省出台《山西省生态功能区划》文件, 促使各地方加大环境保护力度, 加强植被建设有关。

以山西省和 5 个自然分区的年平均 EVI 值为因变量 y , 年份为自变量 x , 进行回归分析得到年平均 EVI 随年份变化的线性回归方程如表 2。

可以看到 5 大自然区内均为正值, 表明各大自然区在近 15 a 期间为增长趋势, 其中 IV 西部山地和 V 晋西黄土丘陵区植被恢复速率明显快于其它自然区, 通过了 0.001 显著水平检验, 这与近年来黄土高原地区实施退耕还林还草工程有很大的关系; I 晋北山地和 III 中部盆地的植被增长率较低, 基本保持不变, 没有通过显著性检验; II 东部山地增长率介于上述两者之间, 呈缓慢上升趋势, 通过了 0.05 的显著水平检验。

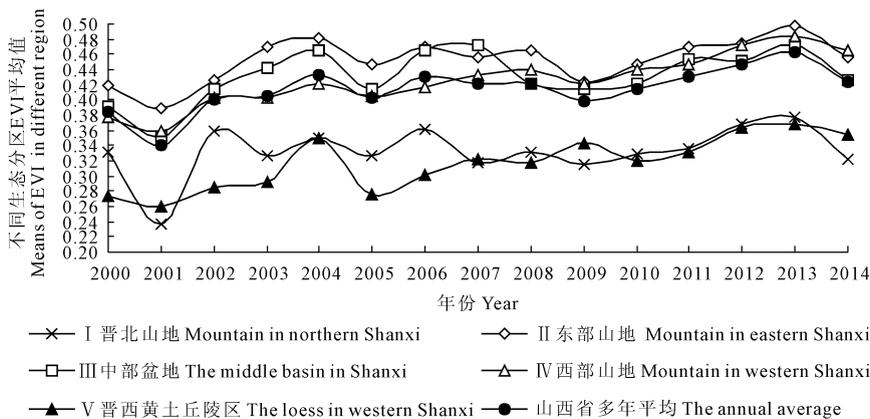


图 2 2000—2014 年山西省不同分区平均 EVI 变化趋势

Fig. 2 The change trend of average EVI for different region from 2000 to 2014 in Shanxi Province

表 2 山西省及 5 个自然区线性回归方程

Table 2 The linear regression equation of Shanxi Province and five natural regions

研究区域 Study area	线性回归方程 Linear regression	相关系数 R	显著性水平 The significant level
山西省 Shanxi	$y = 0.0045x - 8.5929$	0.7048 **	极显著 Highly significant
I	$y = 0.0026x - 4.8591$	0.3565	不显著 No significant
II	$y = 0.0036x - 6.7130$	0.5164 *	显著 Significant
III	$y = 0.0036x + 0.4030$	0.4837	不显著 No significant
IV	$y = 0.0072x - 13.971$	0.9330 ***	极显著 Highly significant
V	$y = 0.0065x - 12.772$	0.8399 ***	极显著 Highly significant

注: * 为在 0.05 水平上显著, ** 为在 0.01 水平上极显著, *** 为在 0.001 水平上极显著。

Notes: * is significant at 0.05 level, ** is very significant at 0.01 level, *** is very significant at 0.001 level.

图 3 给出了 2000—2014 年 EVI 平均值分布图和频度分布图,山西省 EVI 呈现“单峰结构”,EVI 平均值为 0.4146, 值域在 0.2 ~ 0.6 的像元占比达 94.15%, 其中 0.1 ~ 0.3 所占比例为 12.40%, 0.5 ~ 0.7 所占比例为 16.10%, 其中 0.3 ~ 0.5 所占比例最大, 达到 69.63%。

结合图 3 可知 II 东部太行山山地 > III 中部盆地 > IV 西部山地 > I 晋北山地 > V 晋西黄土丘陵区, 全省植被覆盖状况从西北向东南逐渐变好, 这与武永利等^[16]研究的结论相符。其中晋西黄土丘陵区地处吕梁山地以西和黄河以东的晋陕峡谷区, 以黄土丘陵为主, 经这里流入黄河的 11 条黄河 I 级支流, 大多源短流急, 河道比降很大, 加剧了水土流失,

区内地带性植被已被破坏殆尽, 现存的植被多数为次生灌丛和草本植物, 覆盖率 14.8%^[19], EVI 值在 0.26 ~ 0.37; 晋北山地属于半干旱温带干草原, 风沙大, 年降雨量 400 mm 以下且主要集中在 7—9 月, 分布极不均匀, 气候干冷, 该地区是山西省水热条件最差的地区, 近年来治理力度较大, 生态环境明显改善, 但受自然影响制约大, EVI 值在 0.24 ~ 0.38; 西部山地年降雨量在 500 mm 以上, 按林区划分为吕梁山土石山水源涵养林区和吕梁山东侧黄土丘陵水保林区, 森林覆盖率分别为 34.3% 和 18.4%, 前者是汾河以及吕梁山西部九条一级支流的发源地, 气候寒冷湿润, 自然植被茂盛, 主要植被为针叶林, 而吕梁山东侧以栎、侧柏、山杨天然次生林和疏林灌草丛为主^[20], EVI 值在 0.36 ~ 0.48; 中部盆地为大断裂谷, 主要为耕地, 植被覆盖率不足 10%, 人类开发力度大, 是山西省的产粮基地, 热量与降雨量北低南高, 降水较为丰富, EVI 值在 0.35 ~ 0.47; 东部山地面积极广阔, 山地之间分布着一些黄土冲积河谷及山间小盆地, 森林覆盖率在 2013 年为 26.15%, 年降水量在 500 ~ 650 mm 之间, 自然植被丰富, 五台山、太行山、太岳山和中条山森林覆盖很高, EVI 值在 0.39 ~ 0.50。

3.2 2000—2014 年山西省植被覆盖变化

整体上看, 研究区植被覆盖变化在空间上没有明显的规律, 从图 4 上看, 绝大部分地区 EVI 呈现不变或增加趋势, 其中严重减少的占总面积的 1.04%, 主要分布于各大盆地, 尤其是城市扩张边缘地带; 轻微减少的占总面积的 3.27%, 主要位于盆地城市与城市相连的区域, 以及城乡结合区, 如太原盆地各县域城郊区, 临汾洪洞地区, 运城盆地的临猗县、运城市等; 基本不变的占总面积的 17.49%, 位于各大盆地农业耕作区, 1999 年《基本农田保护条例》颁布之后, 促进了农田的保护, 各大山区的高海拔地区也基

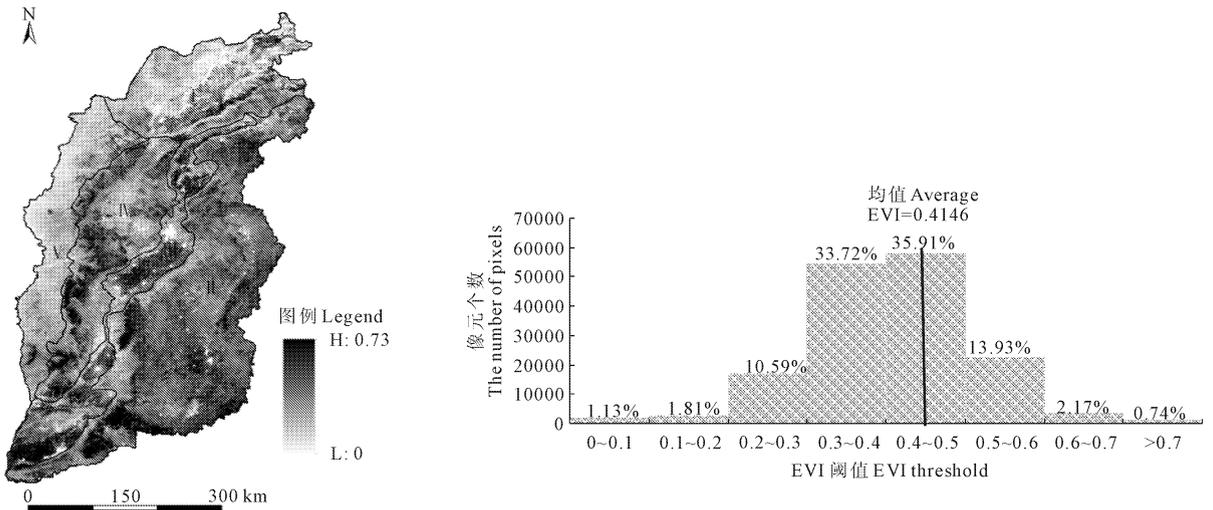


图 3 2000—2014 年山西省多年平均 EVI 空间变化及频度分布图

Fig.3 Spatial variation and frequency distribution chart of multi-year average EVI from 2000 to 2014 in Shanxi Province

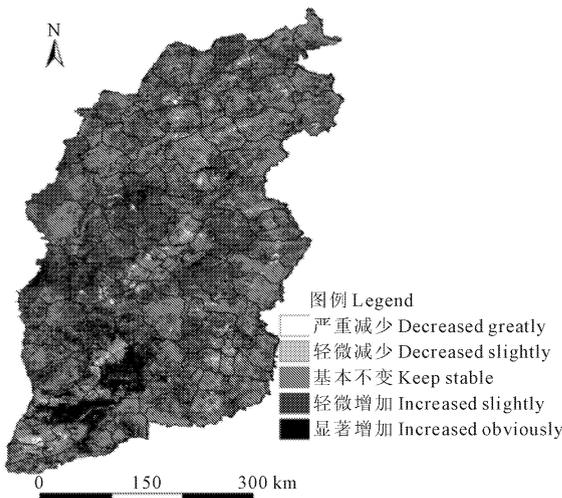


图 4 2000—2014 年山西省植被覆盖变化空间分布

Fig.4 Spatial distribution of vegetation cover change from 2000 to 2014 in Shanxi Province

本不变,这里植被覆盖茂盛,人迹罕至;轻微增加的占总面积的 52.25%,主要位于吕梁山、太行山腹地以及散落于晋西北黄土丘陵区,还有沿黄河滩涂区;显著增加的占总面积的 25.95%,静乐、娄烦作为汾河上游地区和水源地,植被增加明显,太岳山南麓的古县、浮山县、洪洞以东及翼城县的植被增加明显,万荣、闻喜及绛县的部分也增加明显。

3.3 气候变化和植被变化的关系

3.3.1 气候要素年际变化特征分析 山西省年降水量、蒸散量和年均温变化如图 5 所示,2000—2014

年山西省年降水量变化整体呈缓慢上升趋势,变化率为 $6.06 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$,蒸散量呈增加趋势,变化率为 $2.21 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。均温的年际变化趋势与降水变化相反,呈减小趋势,明显小于降水的变化率,由三阶多项式拟合曲线可知近 15 年来气温波动较大。

3.3.2 不同生态分区 EVI 变化特征与气象因子的相关性 利用 ENVI5.0 提取各个气象站点及随机点的月均 EVI 与年 EVI 值,再分别提取月平均和年平均的气温、降水量及实际蒸散量进行相关分析。

在年际变化上,从表 3 可以看出,EVI 与降水呈正相关,相关系数为 0.523,在 0.01 水平上显著,相关系数最大的为 II 区,并且通过了 0.05 水平上显著性检验, I 和 IV 区的相关系数在 0.35 ~ 0.4 之间, III 和 V 的相关系数低于 0.3。EVI 与蒸散量相关系数为 0.502,在 0.01 水平上显著, I、III 和 IV 区的相关系数在 0.31 ~ 0.33 之间,最大的为 II 区且在 0.05 水平上显著,最小的为 V 区。EVI 与气温呈负相关,相关系数为 -0.2,未达到显著性水平,5 大生态区的绝大部分地区未通过显著性检验, I 区 EVI 与温度负相关系数最大,表明温度对该区域植被的生长影响较大。可知,在年际上降水是影响植被覆盖变化的最重要的因子,这与信忠保^[1]等人研究黄土高原气候对植被覆盖变化影响的结果相一致,蒸散量次之,温度为负相关。

在年内变化上,如图 6 可以看出,山西省 15 年间月均 EVI 与同期月均温之间呈现正的线性相关,系数为 0.723,达到极相关性($P < 0.001$),月均降雨

量和 EVI 之间呈非线性关系,降雨量对 EVI 有一个限值约为 90 mm,当降雨量 < 90 mm 时,EVI 会随降雨量的增加而增加;当降雨量 > 80 mm,EVI 没有明显的增加,维持在 0.3 左右。15 年年内平均 EVI 为单峰型(图 7),在 7 月达到了最高峰,15 年年内平均蒸散量从 1 月到 12 月与 EVI 变化趋势基本一致,通过了 0.01 水平上的显著性检验,相关系数达到 0.978。可知,在年内实际蒸散量是影响植被最重要的因子,温度次之,降水对 EVI 增加的阈值在 90 mm 左右。

本文分析了植被生长季不同生态区蒸散量与 EVI 的相关性,从表 3、图 8(见 273 页)中可知,春季

ET 相关系数最大为 II 区,达到 0.428,并且通过 $P < 0.05$ 的信度检验,其次为 I、III、V 这三个自然区,最低的为 IV 区,这与该区域海拔、植被类型有较大关系;夏季 ET 与 EVI 相关系数达到最大,其中 I、V 区均达到 0.75 以上,都通过了 $P < 0.01$ 信度检验,其次为 IV、II 区,最低的为 III,这与该区域农作物夏收有很大的关系;秋季 ET 与 EVI 相关系数为负相关,尤其是 I、III、V 区,这是由于该区域秋收之后植被锐减,加之该区域以落叶林及草地为主,气温下降植被蒸腾作用减弱,II 区相关性不明显,但在高海拔区域相关性显著,III 自然区相关性为 0.136,与其它自然区相反,这与该区的冬小麦处于分蘖期正好相符。

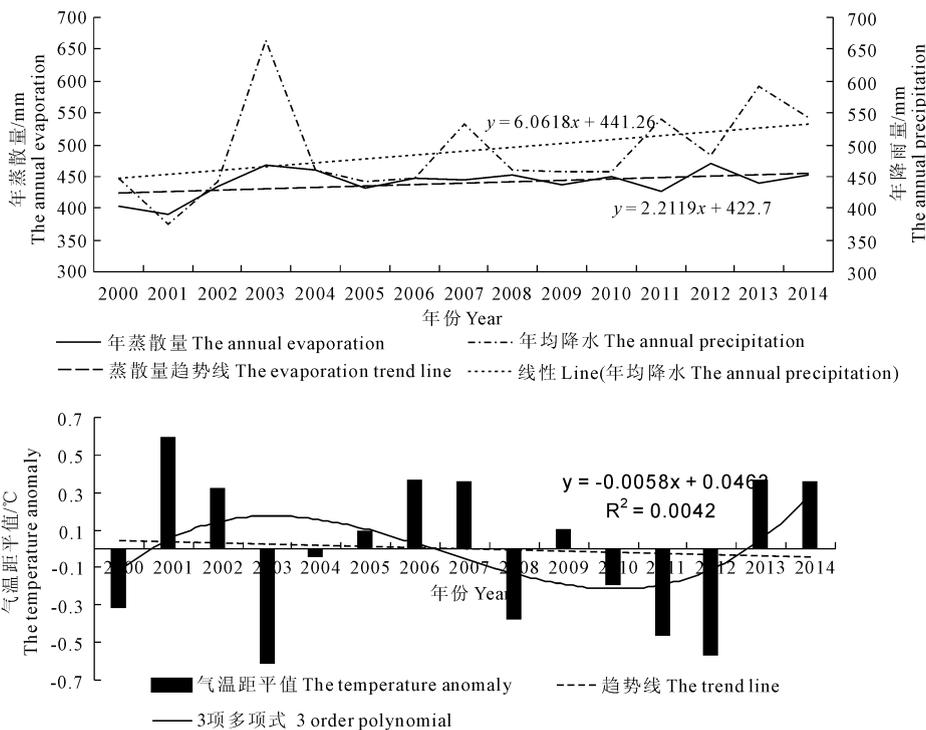


图 5 2000—2014 年山西省年降水、蒸散量和年均温变化

Fig.5 The change of yearly precipitation, evapotranspiration and temperature from 2000 to 2014 in Shanxi Province

表 3 不同生态分区 EVI 变化特征及其与气象因子的相关系数

Table 3 Change characteristics of EVI in different ecological regions and its correlation coefficients with climate factors

生态分区 Ecological zone	15 年平 均 EVI Average	相关系数 Correlation coefficient					
		EVI 与温度 EVI and temperature	EVI 与降水 EVI and precipitation	EVI 与蒸散量 EVI and evapotranspiration			
				全年 Year	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
山西省 Shanxi	0.415	-0.253	0.523 **	0.502 **	0.308	0.650	-0.218
I	0.349	-0.287	0.373	0.324	0.225	0.752 **	-0.460
II	0.453	-0.057	0.428 *	0.461 *	0.428 *	0.582	-0.069
III	0.432	-0.057	0.290	0.315	0.292	0.564	0.136
IV	0.426	-0.039	0.376	0.312	0.144	0.675	-0.355
V	0.333	-0.154	0.263	0.281	0.263	0.778 **	-0.520 *

注: * 代表在 0.05 水平上显著, ** 代表在 0.01 水平上极显著。

Notes: * represent significant at 0.05 level, ** represent very significant at 0.01 level.

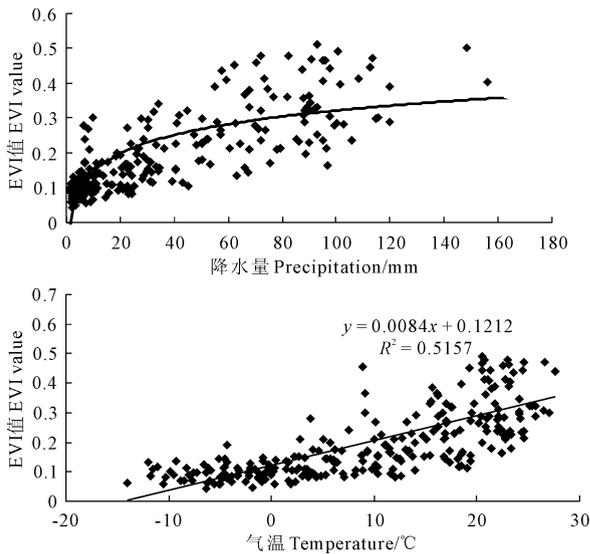


图 6 2000—2014 年月均 EVI 与月均温、降水量的回归曲线

Fig. 6 The regression curve of monthly EVI with monthly temperature and precipitation from 2000 to 2014

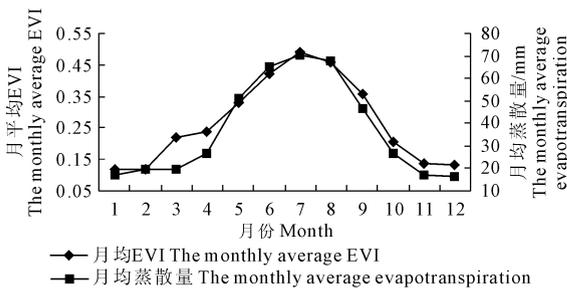


图 7 山西省多年月均蒸散量与 EVI 趋势图

Fig. 7 The trend chart of the monthly average evapotranspiration with EVI in Shanxi Province

4 结 论

通过基于长序列的 MODIS/EVI、ET 和气象数据,结合山西省生态分区,可以得到以下结论:

1) 山西省植被总体呈现上升趋势,增速为 $2.6\% \cdot 10a^{-1}$,不同生态分区中植被覆盖度状况是Ⅱ东部太行山山地 > Ⅲ中部盆地 > Ⅳ西部山地 > Ⅰ晋北山地 > Ⅴ晋西黄土丘陵区,其中Ⅳ西部山地和Ⅴ晋西黄土丘陵区植被恢复速率明显快于其它自然区。

2) 山西省植被覆盖具有较大的区域差异,其中东南部的 EVI 明显高于西北部, EVI 频度图呈现“单峰结构”。全省绝大部分地区呈不变或增加趋势,显著面积比例为 25.95%,严重退化面积比例为 1.04%。

3) 基于年尺度的 EVI 与降水、蒸散量呈正相关,与温度负相关;月尺度的 EVI 为“单峰型”,与气温、蒸散量呈显著正相关,蒸散量与 EVI 的相关性好

于降水、温度单一因子,而降雨量对 EVI 变化存在一个阈值,当降雨量达到一定值 EVI 不再增加。

4) 从生长季考虑蒸散量与 EVI 的关系可知,从春季到夏季各大生态区均为正相关并且逐渐加强,秋季除Ⅲ中部盆地外其它自然区均为负相关。

5 讨 论

由于山西省植被覆盖在空间上的差异性,通过利用 EVI 数据分析可以比较真实地反映该地区植被覆盖的状况,克服 NDVI 的一些缺点。研究发现山西省近 15 年间植被状况逐步改善,由于水热条件的影响,植被覆盖有很大的地域性,总体趋势是从西北向东南逐渐变好,这与信忠保等人研究黄土高原植被覆盖变化的结果一致^[1];不同生态区中Ⅱ东部山地植被覆盖最为良好,尤其是太岳山南麓及中条山部分地区,这是得益于该地区植被基础比较好,以及近年来大力植树造林。Ⅴ晋西黄土丘陵区植被状况最差,该区域地表支离破碎,沟壑纵横。据测算,该区域输沙量占整个黄河的近 $1/5$ ^[19];植被覆盖增加明显的区域主要集中于晋西南及汾河上游地区;退化区域比较分散,主要集中于各大盆地城市边缘地带,与这些地区高强度的土地开发利用密不可分;改变幅度较大的是Ⅳ西部山地和Ⅴ晋西黄土丘陵区,这与近十几年国家推行的退耕还林还草政策及山西省推出的“蓝天碧水工程”有很大的关系。

在生长季内的 EVI 为“单峰型”,呈钟形曲线,与王正兴^[9]等人研究结果一致。温度、降水与 EVI 为显著正相关^[21],降雨量对 EVI 存在一个阈值,大约在 90 mm 左右,这与党越军^[15]等人研究大致一致,实际蒸散量是影响植被覆盖变化的最重要的因子,从不同季节的研究可知,随着蒸散量的变大, EVI 也随之上升,这符合植被的生长状况。特别是Ⅱ东部山地和Ⅲ中部盆地正相关系数大于其它自然区,这与生态区玉米、小麦等粮食作物以及山区落叶林等的生长有关;随着蒸散量下降,到了秋季, EVI 随之下降,尤其是位于北部的Ⅰ晋北山地、Ⅴ晋西黄土丘陵区 and Ⅳ西部山地,负相关系数大于其它自然区,这与农作物的秋收、林木败落以及气温的下降有十分显著的关系。

人类活动对于植被覆盖变化的影响也是很大的。另外,不同自然区内的 EVI 并不是都与降水、蒸散量存在显著相关性,在一些地区,植被的覆盖还会有其它自然因素的影响,还有土壤质地、地形和政策条件等等对研究区植被覆盖同样起着很大的作用,这将成为下一步研究的重点。

参考文献:

[1] 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].中国地理科学:地球科学,2007,37(11):1504-1514.

[2] 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,(2):221-230.

[3] 马晓东,李卫红,朱成刚,等.塔里木河下游土壤水分与植被时空变化特征[J].生态学报,2010,30(15):4035-4045.

[4] Defries R S, Townshen J R G. NDVI - derived land cover classifications at a global scale[J]. Remote Sensing,1994,15(17):3567-3586.

[5] 李霞,李晓兵,王宏,等.气候变化对中国北方温带草原植被的影响[J].北京师范大学学报(自然科学版),2006,42(6):618-623.

[6] 李秀花,师庆东,常顺利,等.1981—2001年中国西北干旱区NDVI变化分析[J].干旱区地理,2008,34(1):940-945.

[7] 张戈丽,徐兴良,周才平,等.近30年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.

[8] 彭代亮,黄敬峰,王秀珍.基于MODIS-EVI区域植被季节变化与气象因子的关系[J].应用生态学报,2007,18(5):983-989.

[9] 王正兴,刘闯,陈文波,等.MODIS增强型植被指数EVI与NDVI初步比较[J].武汉大学学报(信息科学版),2006,31(5):407-410.

[10] 李红军,郑力,雷玉平,等.基于EOS/MODIS数据的NDVI与EVI比较研究[J].地理科学进展,2007,26(1):26-32.

[11] 黄会平,曹明明,宋进喜,等.1957—2012年中国参考作物蒸散量时空变化及其影响因子分析[J].自然资源学报,2015,30(2):315-326.

[12] Venturini, Islam S. Estimation of evaporative fraction and evapotranspiration from MODIS products using a complementary based model[J]. Remote Sensing of Environment,2008,112:132-141.

[13] Mu Q Z, Heinsch F A, Zhao M S, et al. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data[J]. Remote Sensing of Environment,2007,111:519-536.

[14] 范瑛,李小雁,李广泳.基于MODIS/EVI的内蒙古高原西部植被变化[J].中国沙漠,2014,34(6):1671-1677.

[15] 党跃军,王礼霄,严俊霞.山西省2003—2012年植被时空变化格局及对气候因子的响应[J].水土保持研究,2015,22(2):

235-240.

[16] 武水利,李智才,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.

[17] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alasha in the 1990s[J]. International Journal of Remote Sensing,2003,24(5):1111-1117.

[18] 马安青,高峰,贾永刚,等.基于遥感的贺兰山两侧沙漠边缘带植被覆盖演变及对气候响应[J].干旱区地理,2006,29(2):170-178.

[19] 苏志珠,朱东红,马义娟.晋西沿黄地区水土流失危害及防治对策研究[J].水土保持通报,2003,23(4):55-60.

[20] 崔本义.山西省林业区划体系研究[J].山西林业科技,2008,(1):14-16.

[21] 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.

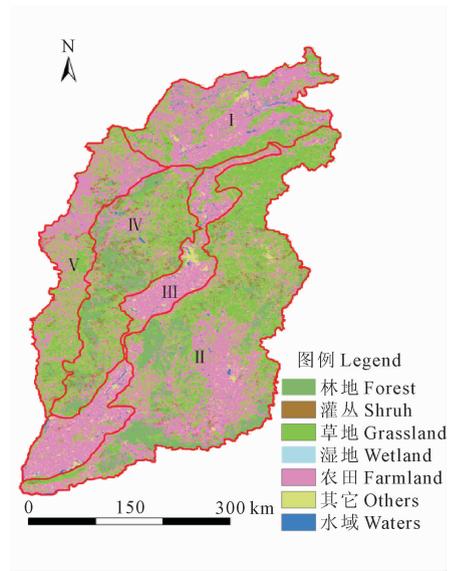


图 1 山西省植被与生态区分布图

Fig. 1 The distribution map of vegetation and ecological region in Shanxi Province

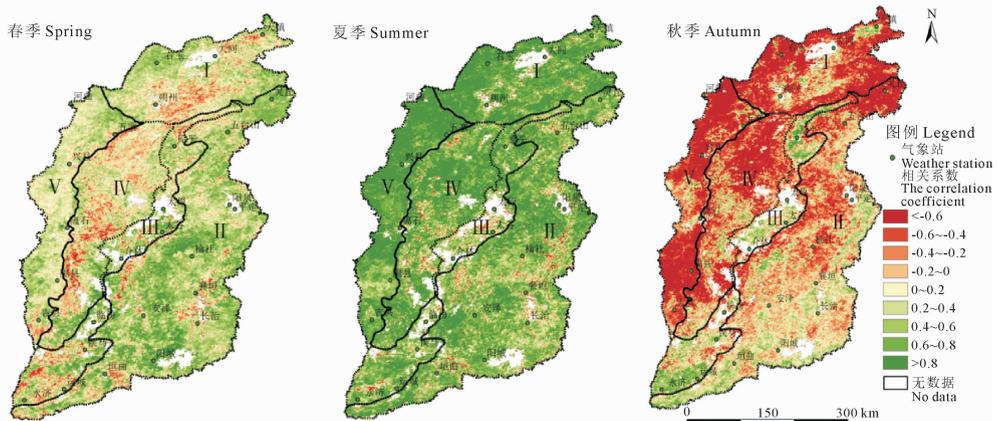


图 8 山西省不同分区各季节多年平均蒸散量与 EVI 的相关系数图

Fig.8 The correlation coefficient chart of multi-year average evapotranspiration with EVI in each season and different regions of Shanxi Province