

# 基于像元二分模型的伏牛山地区植被覆盖度变化

张成才<sup>1</sup>, 娄洋<sup>1</sup>, 李颖<sup>2,3</sup>, 姬兴杰<sup>4</sup>, 董萌佳<sup>5</sup>

(1. 郑州大学 水利科学与工程学院, 郑州 450001; 2. 中国气象局

河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450003; 3. 河南省气象科学研究所, 郑州 450003; 4. 河南省气候中心, 郑州 450001; 5. 河南省白沙水库管理局, 河南 禹州 461670)

**摘 要:** 植被覆盖度是反映区域生态环境的重要参数, 研究植被覆盖度对评估区域生态环境质量具有重要意义。选用 2000—2018 年每年 4—9 月的 MODIS NDVI 数据基于像元二分模型对伏牛山地区逐月进行了植被覆盖度的反演, 运用一元回归分析法, Hurst 指数法, 马尔科夫模型分析了伏牛山地区植被覆盖度的时空变化, 并探究气象因子对植被覆盖度的影响。结果表明: (1) 研究区植被覆盖较好, 覆盖度的分布整体上呈现中间高, 四周低的特点。 (2) 研究区内不同等级的植被覆盖度转化方式主要是由低水平覆盖度区向高水平覆盖度区的转化。 (3) 2000—2018 年研究区内有 68% 的地区其植被覆盖度呈增加趋势, 表明近 19 年来伏牛山地区植被覆盖度整体呈上升趋势。 (4) 预计未来研究区内植被覆盖度呈减少趋势的地区占 46%, 呈增加趋势的地区仅占 26%, 由此可见伏牛山地区植被覆盖度未来的变化预计以减少为主。 (5) 伏牛山地区植被覆盖度的变化与气温和降水均呈现较强相关, 其中气温是影响伏牛山地区植被覆盖度变化的主要因子。进一步分析该地区森林区域发现森林区域的植被覆盖度同样受气温的影响较大。

**关键词:** 植被覆盖度; 像元二分模型; 时空变化; 气象因子

中图分类号: Q948.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2020)03-0301-07

## Change of Vegetation Coverage in Funiu Mountain Regions Based on the Dimidiate Pixel Model

ZHANG Chengcai<sup>1</sup>, LOU Yang<sup>1</sup>, LI Ying<sup>2,3</sup>, JI Xingjie<sup>4</sup>, DONG Mengjia<sup>5</sup>

(1. School of Water Conservancy Engineering, ZhengZhou University, ZhengZhou 450001, China;

2. CMA-Hennan Key Laboratory of Agrometeorological Support and Applied Technique, Zhengzhou 450003,

China; 3. Henan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou 450003, China; 4. Henan Climate Centre,

ZhengZhou 450001, China; 5. Henan Baisha Reservoir Administrative Bureau, Yuzhou, Henan 461670, China)

**Abstract:** Vegetation coverage is an important parameter that reflects regional ecological environment. Research for vegetation coverage is important to assess the quality of regional ecological environment. We select the MODIS NDVI data from 2000—2018 to calculate the monthly vegetation coverage of the Funiu Mountain area based on the dimidiate pixel model. One element linear regression, Hurst Index Method, Markov Model were used to analyze the temporal changes and investigate the effect of meteorological factors for the vegetation coverage changes. The results showed that: (1) the vegetation coverage in the study area was favorable, and the distribution of coverage was generally high in the middle and low in the surrounding areas; (2) the conversion of different levels of vegetation coverage in the study area was mainly from the low level coverage area to the high level coverage area; (3) in the period 2000—2018, vegetation coverage showed the increase in 68% of the study area, indicating that the vegetation coverage in the Funiu Mountain area had increased in the past 19 years; (4) it is estimated that the area with decreasing trend of vegetation coverage will make up 46% of the research area, and the area with increasing trend of vegetation coverage will only account for 26% of the research area in the future; it can be seen that the future changes of vegetation coverage in Funiu Mountain area are expected to decrease; (5) the change of vegetation coverage in the Funiu

收稿日期: 2019-06-04

修回日期: 2019-08-06

资助项目: 气候变化专项课题(CCSF201934); 国家自然科学基金(41805090); 中国气象局; 河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室开放项目(AMF201802, AMF201807)

第一作者: 张成才(1964—), 河南郸城人, 男, 教授, 主要从事遥感技术及其研究。E-mail: zhangcc2000@163.com

娄洋(1993—), 河南郑州人, 男, 硕士在读, 主要从事遥感技术及其应用。E-mail: 648643138@qq.com

通信作者: 李颖(1984—), 河南郑州人, 女, 博士学位、高级工程师, 主要从事农业遥感与生态遥感。E-mail: walnutclip@163.com

Mountain area is strongly correlated with temperature and precipitation. And the temperature is the main factor affecting the change of vegetation coverage in Funiu Mountain. Further analysis of the forest area in this area found that the vegetation coverage in the forest area was also greatly affected by temperature.

**Keywords:** vegetation coverage; dimidiate pixel model; temporal changes; meteorological factor

植被作为地表生态系统重要的成分之一,与土壤、水、大气等构成一个生态循环系统<sup>[1]</sup>。植被覆盖受气候变化和人类活动的影响较大,开展植被覆盖研究揭示生态系统的变化特征成为了一个重要的研究领域。植被覆盖度是指某一区域内植被(包括叶、茎等)投影面积与该地域面积之比,它可以清晰的反映研究区的植被情况,是一项重要的生态环境参数<sup>[2]</sup>。越来越多的学者选择植被覆盖度作为量化指标进行植被时空变化和区域生态的研究。植被覆盖度反演主要有地面实测和遥感估算两种方法。地面实测目前所采用的方法有目测法,采样法,仪器法等,常用于小尺度测量。由于其精度较高,一般作为检验遥感估算覆盖度的手段。遥感估算植被覆盖度逐渐成为分析植被覆盖度变化的主要方法<sup>[3]</sup>。它适用于大尺度反演植被覆盖度,并且具有良好的时间和空间连续性,可以从多维度研究分析植被覆盖度的差异及其变化的规律<sup>[4]</sup>。遥感估算目前所采用的方法有回归模型法、植被指数法、混合像元法以及机器学习法等<sup>[5]</sup>。

目前,植被覆盖度的研究成果主要包括了对植被覆盖度动态变化的研究<sup>[6-7]</sup>、对植被覆盖度变化与生态环境因子的关系进行探究<sup>[8-9]</sup>、以及对植被覆盖度监测的研究<sup>[10-11]</sup>。赵舒怡等<sup>[12]</sup>对华北地区植被覆盖度与干旱条件进行了相关分析。张晓东等<sup>[13]</sup>利用TM卫星遥感影像采用像元二分模型对伏牛山整体植被变化趋势进行研究,阿多等<sup>[14]</sup>对华北平原气候时空变化及其对植被覆盖度的影响进行了分析。裴志林等<sup>[15]</sup>对黄河上游植被覆盖度分布特征和影响因素进行了分析,发现气候类环境因素对植被覆盖度的影响较大。赵明伟等<sup>[16]</sup>对2001—2015年我国陆地植被覆盖度时空变化及驱动力进行了分析,发现对于不同地区影响其植被覆盖度变化的因素不尽相同。

伏牛山生态功能区对区域生态环境起着重要的调节作用,本文则在前人研究的基础上基于像元二分模型采用 MODIS 数据反演伏牛山地区的植被覆盖度,并采用一元回归、Hurst 指数、马尔科夫矩阵等方法,分析研究该区域植被覆盖度的时空变化规律,探究气象因子对其的影响,为生态环境的监测提供依据并为下一步对研究区植被生态质量评估提供数据支撑。

## 1 研究区概况及数据来源

### 1.1 研究区概况

植被是陆地生态系统的主题,是保护生态系统的

重要屏障。2014 年《河南省主体功能区规划》确定构建全省以“四区三带”为主体的生态安全战略格局,其中伏牛山生态区为河南省重点生态功能区。因此,本文选择伏牛山生态区作为本文的研究区。研究区位于河南省西南部,见图 1。西与陕西省接壤、东至鲁山县、南召县,南至淅川、内乡县与南阳盆地的北缘相连、北至陕县、宜阳县,面积约为  $34\,471.5\text{ km}^2$ 。研究区温凉湿润,少旱区,地处中国南北气候的过渡带,属于北亚热带向暖温带的过渡地带。伏牛山山区气温:春季,4 月份平均气温在  $5^\circ\text{C}$  以上,平均每月增温为  $5\sim 6^\circ\text{C}$ ,是全年增温最快的季节;夏季,气温达到最高,最热月 7 月平均气温为  $26.5\sim 28.5^\circ\text{C}$ ;秋季,9 月基本上与 4 月相似,是气温日较差最大的季节。伏牛山山区年平均气温在  $12^\circ\text{C}$  左右,山区年平均降水量在  $800\sim 1\,100\text{ mm}$ ,7 月、8 月降水量为全年最多。植被属暖温带落叶阔叶林向亚热带常绿阔叶林的过渡类型,生物多样性十分丰富。主要植被类型分为 7 种,分别是针叶林,阔叶林,针阔叶混交林,竹林,灌丛及灌草丛,草甸,沼泽及水生植被<sup>[17]</sup>。伏牛山地区森林植被保存完好,森林覆盖率达  $42\%$ 。

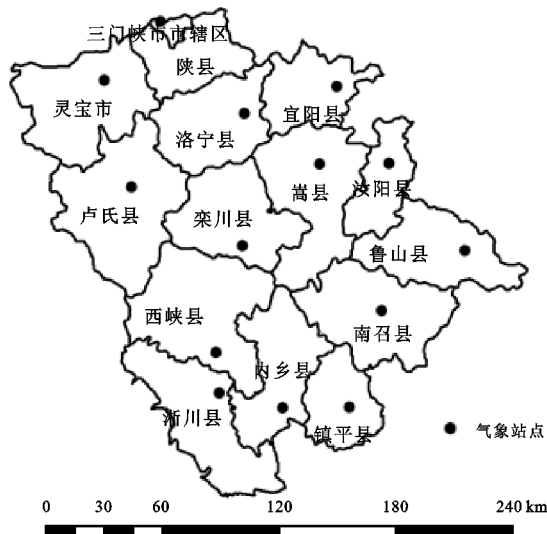


图 1 研究区分布概况

## 1.2 数据来源及预处理

植被覆盖度的变化受气候影响较大。北半球植被覆盖度与 20 世纪 80、90 年代相比,增长趋势变缓,气温与降水等气象因子是影响植被覆盖度变化的主要驱动力<sup>[18-21]</sup>。

本研究采用的气象基础数据来源于河南省气象局和中国气象科学数据共享服务网<sup>[22]</sup>。气象基础数

据包括了研究区域 2000—2018 年内共 14 个气象站的 4—9 月的月均温和月降水量数据。在 ArcGIS 中进行矢量化,并保证其坐标系与遥感数据的坐标系一致。运用克里金方法对气温和降水量数据进行克里金插值可以得到研究区域栅格化的月均温和月降水量的分布。研究区气象数据统计如图 2。研究区的降水与高温是同步的,属于雨热同期的气候,研究区平均气温 4 月最低,为 16℃,7 月最高为 26.4℃,而研究区的月降水量 4 月最低为 20.3 mm,7 月最高为 217 mm。

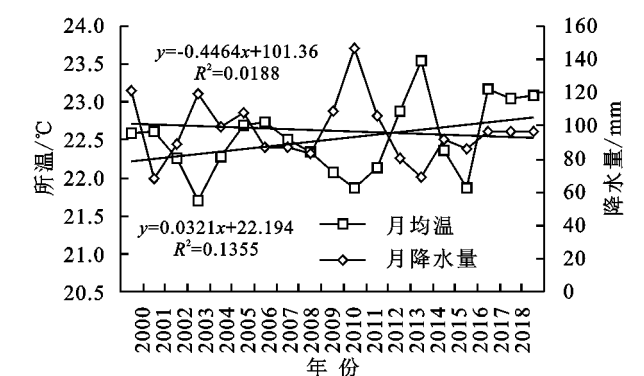


图 2 研究区 2000—2018 年月降水量和月均温变化

本研究采用的遥感数据来源于 NASA 的 MODIS 合成产品 MODIS13A1,它是分辨率为 500 m 的 16 d 合成的 L3 级产品。时间覆盖范围是 2000 年 4 月至 9 月到 2018 年 4 月至 9 月,共 19 a。河南省对应的正弦投影系统为 h27v05,使用 MRT 软件进行投影转换,并将投影转换为 Albers 等面积割圆锥投影。基于 ArcGIS 工具根据研究区行政边界对数据做裁剪处理并进行 NDVI 的 MVC 月合成,得到每月对应的 NDVI 值。

选用 2017 年 7 月的 landsat8 影像作为数据精度验证,首先进行辐射定标,然后基于 FLAASH 大气校正模块对影像进行大气校正,将 landsat8 影像变换坐标系、重采样为 500 m,并进行植被覆盖度的计算。随机选取 54 个点,分别提取 landsat8 的植被覆盖度与同期的植被覆盖度进行线性拟合,得到的拟合方程为  $y = 0.496x + 0.3801$ ,  $R^2$  为 0.71。说明利用 MODIS 数据基于像元二分模型计算的植被覆盖度可信度较高。

## 2 研究方法

### 2.1 像元二分模型

利用基于标准化植被指数(NDVI)<sup>[23]</sup>的像元二分模型对伏牛山研究区植被覆盖度(VFC)进行估算:

$$NDVI = NDVI_{veg} + NDVI_{soil} \quad (1)$$

式中:  $NDVI_{soil}$  为完全是裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值;  $NDVI_{veg}$  表示完全被植被覆盖的像元的

NDVI 值。模型中仅把像元划分为两类:裸土和纯植被,这样可以削弱大气,植被类型等因素的影响。

$$NDVI = VFC \times NDVI_{veg} + (1 - VFC) \times NDVI_{soil} \quad (2)$$

按照所占比例分析计算,进行等式变化可得:

$$VFC = \frac{(NDVI - NDVI_{soil})}{(NDVI_{veg} - NDVI_{soil})} \quad (3)$$

由于图像中不可避免的存在噪声,因此 NDVI 的极值并不一定是  $NDVI_{max}$  与  $NDVI_{min}$ 。在取值时需要选取一定置信区间内的最大值与最小值。选取累积概率为 1%, 99% 的 NDVI 值作为  $NDVI_{min}$  和  $NDVI_{max}$ 。基于像元二分模型对研究区植被覆盖度进行估算,并将植被覆盖度进行等级划分,分为 5 个等级(表 1)。

表 1 植被覆盖度等级划分	
覆盖度取值范围	等级
0~0.2	低覆盖度区
0.2~0.4	较低覆盖度区
0.4~0.6	中覆盖度区
0.6~0.8	较高覆盖度区
0.8~1	高覆盖度区

### 2.2 马尔科夫模型

对伏牛山地区的植被覆盖度变化情况采用马尔科夫模型进行分析,得到一个转移矩阵,可以定量的表明不同等级的植被覆盖度之间的变化情况。

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & \cdots & V_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{n1} & V_{n2} & \cdots & V_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$V_{ij}$  表示研究区第  $i$  种等级的植被覆盖度和第  $j$  种等级的植被覆盖度之间转化的面积。 $n$  为覆盖度的等级数量。 $i$  和  $j$  的取值为  $1, 2, \dots, n$ 。

### 2.3 一元线性回归分析法

利用逐像元拟合年均 VFC(植被覆盖度)的变化斜率得到植被覆盖度的时空变化数据,通过统计时空变化数据可以对每年的植被覆盖度做出在年序上的时间变化趋势分析。植被覆盖的变化趋势可以综合反映研究区内植被的时空发展演变特征<sup>[24]</sup>。利用一元线性回归分析法逐像元计算 2000—2018 年的趋势斜率:

$$\text{Slope} = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \cdot VFC_i) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n VFC_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (5)$$

式中:  $n$  是时间序列的长度 ( $n = 19$ );  $VFC_i$  是第  $i$  年的 VFC 值; Slope 代表研究时段内每个像元的植被覆盖度的变化趋势,当  $\text{Slope} > 0$  时,代表该像元处





究区内生态环境较好,植被覆盖度呈增长的趋势。较高覆盖度区转出面积为 158.5 km<sup>2</sup>,转入面积为 7 650.5 km<sup>2</sup>。转入面积大于转出面积,较高覆盖度区的面积有大幅度的增加。表明当地生态环境得到改善,大部分劣

等覆盖度区转为较高覆盖度区。高覆盖度区转出面积为 1 147 km<sup>2</sup>,转入面积为 12.5 km<sup>2</sup>。高覆盖度区的转出面积大部分转为了较高覆盖度区。表明较高覆盖度区和高覆盖度区相互转化较多。

表 2 研究区 2000 年、2010 年植被覆盖度转移矩阵

2000 年转 2010 年	低覆盖度区		较低覆盖度区		中覆盖度区		较高覆盖度区		高覆盖度区	
	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
低覆盖度区	399.25	77.45	81.00	2.32	10.75	0.08	3.25	0.03	0.25	0.003
较低覆盖度区	97.50	18.91	585.00	16.78	168.00	1.26	8.25	0.09	0.00	0.00
中覆盖度区	18.75	3.64	2677.25	76.77	6814.25	50.98	134.50	1.39	1.00	0.01
较高覆盖度区	0.00	0.00	144.00	4.13	6360.75	47.59	6382.25	65.83	1145.75	15.29
高覆盖度区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	12.50	32.67	3167.00	84.70

表 3 研究区 2010 年、2018 年植被覆盖度转移矩阵

2010 年转 2018 年	低覆盖度区		较低覆盖度区		中覆盖度区		较高覆盖度区		高覆盖度区	
	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
低覆盖度区	376.50	76.14	187.25	21.81	76.25	0.79	7.75	0.06	0.25	0.003
较低覆盖度区	57.500	11.63	465.00	54.15	791.00	8.20	77.50	0.55	0.25	0.003
中覆盖度区	37.50	7.58	205.5	23.93	6443.50	66.80	1971.00	14.05	1.50	0.02
较高覆盖度区	7.50	1.52	1.00	0.12	2329.75	24.15	6209.75	44.25	100.75	1.06
高覆盖度区	15.50	3.13	0.00	0.00	5.25	0.05	5766.75	41.10	9424.25	98.92

由表 3 可知 2010—2018 年研究区的植被覆盖度有 66.32% 的区域没有发生变化。低覆盖度区转出面积为 118 km<sup>2</sup>,转入面积为 271.5 km<sup>2</sup>,转出面积小于转入面积,低覆盖度区域的面积有所增加。较低覆盖度区转出面积为 393.75 km<sup>2</sup>,转入面积为 926.25 km<sup>2</sup>,其中由中覆盖度区转为较低覆盖度区占较低覆盖度区转出面积的 85.4%,劣等植被面积有所增加。中覆盖度区转出面积为 3 202.25 km<sup>2</sup>,转入面积为 2 215.5 km<sup>2</sup>,中覆盖度区面积有所下降。较高覆盖度区转出面积为 7 823 km<sup>2</sup>,转入面积为 2 439 km<sup>2</sup>,转出面积大于转入面积,且转出面积是转入面积的 3.2 倍,表明较高覆盖度区面积下降严重。高覆盖度区转出面积为 102.75 km<sup>2</sup>,转入面积为 5 787.5 km<sup>2</sup>,转入面积为转出面积的 56 倍,表明高植被覆盖度区面积增加明显,生态环境日益改善,生态治理有一定的效果。

综上可知,2000—2010 年低覆盖度区、较低覆盖度区及中覆盖度区的面积在减少,较高覆盖度区和高覆盖度区的面积在增加,研究区的植被覆盖度呈上升趋势。2010—2018 年较低覆盖度区和高覆盖度区的面积增加显著,而较高覆盖度区的面积有所下降,低覆盖度区和中覆盖度区的面积有所变化,但变化不大,研究区的植被覆盖度整体呈上升趋势。即近 19 a 研究区内的较多低水平植被覆盖度区转化为高水平植被覆盖度区,说明了当地十分重视保护生态环境。

3.3 植被覆盖度年际变化特征

由像元二分模型计算得到研究区 2000—2018 年植被覆盖度分布图。使用一元线性回归分析算法逐

像元的分析覆盖度变化并进行显著性检验,得到研究区覆盖度变化趋势图,见图 4。研究区植被覆盖度整体呈逐年上升的趋势,呈增加趋势的地区占整个研究区的 68%,5% 的区域其植被覆盖度呈不同程度的下降。对 Slop 进行 F 检验,并对研究区的植被覆盖度不同变化趋势进行等级划分,统计不同等级的植被覆盖度区域所占比重和其面积。73% 的研究区域通过了显著性检验,其中极显著增加的区域和显著增加的区域所占比重分别为 47% 和 21%,通过显著性检验且呈下降趋势的区域(极显著减少区域占比 2%,显著减少 3%)。下降的地区主要集中在灵宝市城区,洛宁东部地区,宜阳东部地区,栾川县城区,内乡县城区以及镇平县城区,说明这些地区 19 a 来城镇化水平不断提升。未来为了更好的保护研究区内的森林等自然资源,需要控制城镇用地的扩张。

3.4 植被覆盖度变化趋势

基于重标极差(R/S)分析法逐像元计算研究区的 Hurst 指数,并绘制研究区植被覆盖度的 Hurst 指数空间分布图。研究区的 Hurst 指数范围为 0~0.98,平均值为 0.47,其中 Hurst 指数大于 0.5 和小于 0.5 的像元分别占研究区的 65% 和 35%。将 Hurst 指数与通过显著性检验的 Slop 结合,可以对研究区内植被覆盖度的未来趋势进行预测,预测结果如图 5 所示。研究区未来覆盖度增加的地区仅占整体研究区的 26.5%。未来覆盖度减少的区域占比为 46.3%,接近一半的区域其植被覆盖度将延续减少的发展趋势。

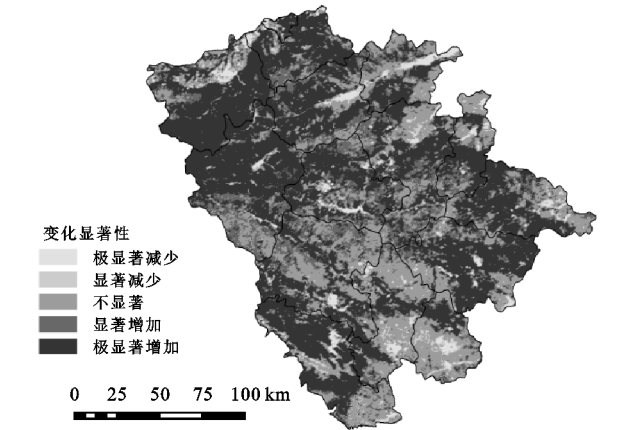


图 4 2000—2018 年研究区植被覆盖度变化趋势显著性

统计各变化趋势所占面积和比重可以发现,未来极显著增加地区的面积为 6 103.5 km<sup>2</sup>,所占比重为 17.1%,主要分布在栾川县,汝阳县,卢氏县,西峡县和南召县的伏牛山山区,由于对伏牛山山区的森林进行了多年的保护,这些地区的植被覆盖度未来呈极显著增长的趋势。对于未来呈显著增加趋势的地区,其主要分布在伏牛山山区,所占面积为 3 591.5 km<sup>2</sup>,占比仅为 9.4%,这些地区植被覆盖度未来转向良性发展或者继续保持当前良好的发展状态。而未来极显著减少和未来显著减少的地区分布范围较广,其中未来极显著减少占比高达 32.4%,表明未来覆盖度呈下降趋势的地区占比较大。面对脆弱的生态环境,需要坚持退耕还林的政策,应该重视未来呈极显著减少和显著减少地区的生态环境治理。

3.5 植被覆盖度与气象因子的相关性分析

由于气温和降水都会对研究区内的植被覆盖度的变化产生影响,将研究区内的植被覆盖度分别与月降水量和月均温进行偏相关分析,先选取代表年进分析,2000 年植被覆盖度与降水和均温的平均偏相关系数分别为 0.24,0.18,呈正相关的地区分别为 78%和 64%。2010 年植被覆盖度与降水和均温的平均偏相关系数分别 -0.13,0.54,呈正相关的地区分别为 36%和 84%。2018 年植被覆盖度与降水和均温的平均偏相关系数分别为 0.14,0.38,呈正相关的地区分别为 60%和 75%。然后对 2000—2018 年共 19 a 间的植被覆盖度与降水和均温进行偏相关分析,见图 6,植被覆盖度与同期降水量和气温的平均偏相关系数分别 0.067,0.097,呈正相关的所占比重分别为 56.18%和 63.97%。研究区内的植被覆盖度与气温的相关程度更紧密。进一步对研究区内的森林区域进行研究,发现研究区内的森林区域的植被覆盖度与气温的偏相关系数为 0.12,呈正相关的区域占森林区的 70%,与降雨的偏相关系数为 -0.13,呈正相关的区域占森林区的 27%,表

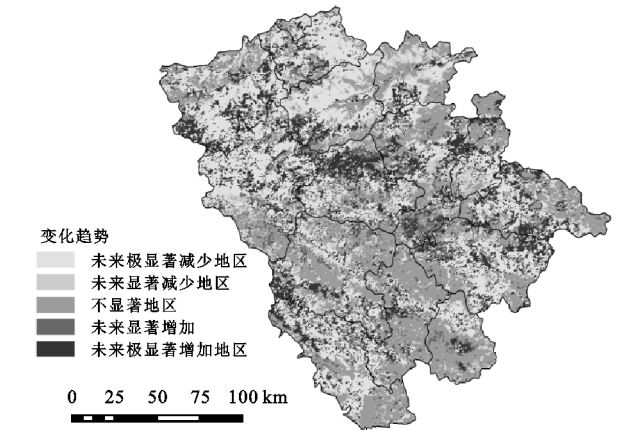


图 5 研究区植被覆盖度未来变化趋势  
明气温是影响森林覆盖度的主要因子(图 7)。

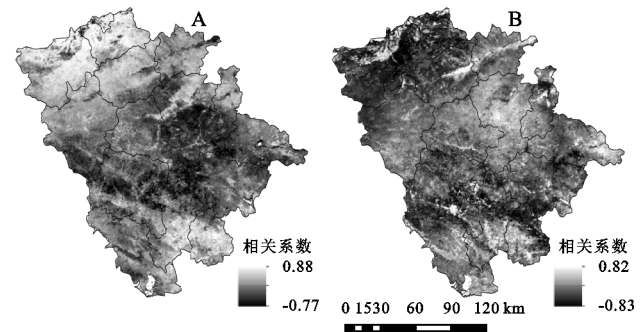


图 6 2000—2018 年研究区植被覆盖度与降水量和温度的偏相关系数

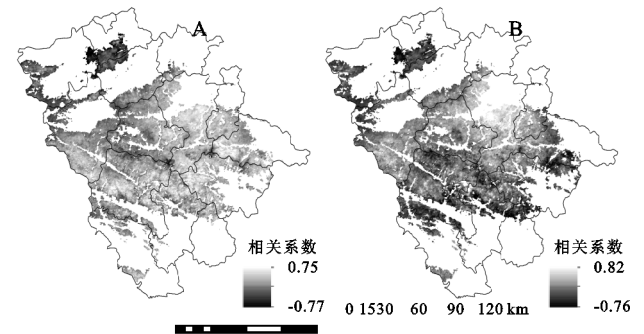


图 7 2000—2018 年研究区森林地区植被覆盖度与降水量和温度的偏相关数

4 结论与讨论

(1) 研究区植被覆盖度整体较好。(2) 不同等级植被覆盖度类型转化的特点是由低水平覆盖度区向高水平覆盖度区的转化。(3) 自 2000—2018 年,研究区植被覆盖度变化趋势以增长为主,研究区内一半以上的地区其植被覆盖度呈现上升趋势。(4) 研究区的植被覆盖度变化的反向持续性要强于同向持续性,并且持续性明显,未来植被覆盖度的变化趋势预计以减少为主。(5) 研究区植被覆盖度的变化受气温影响较大。其中森林区域的植被覆盖度同样受气温的影响较大。这与阿多<sup>[14]</sup>等对华北平原气候时



空变化及其对植被覆盖度的影响中的结论相一致即气温是影响森林生态区植被覆盖度的主导因子。本文与其均采用了较长的时间序列,可以较为充分地反映研究区植被覆盖度变化与气象因子之间的相关关系。张晓东<sup>[13]</sup>等在对伏牛山植被覆盖度的变化研究中,采用三期遥感影像,发现伏牛山地区的植被覆盖度变化和温度变化的关系不太明显,其推测是由于植被覆盖度的变化对气温的响应存有一定的滞后性导致的。由于采用的时间序列不同分析出的结果也不尽相同,综上对植被覆盖度与气象因子的分析采用长时间序列的遥感数据较为合理,可以降低气象因子的滞后性带来的影响。本研究没有考虑地形因素对研究区植被覆盖度的影响,研究地形因素对植被覆盖度的影响可作为以后的研究方向。

#### 参考文献:

- [1] 唐怡.冬小麦叶面积指数反演方法研究[D].北京:北京师范大学,2006.
- [2] Purevdorj T S, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19(18):3519-3535.
- [3] Li A, Liang S, Wang A, et al. Investigating the impacts of the North Atlantic Oscillation on global vegetation changes by a remotely sensed vegetation index[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012,33(22):7222-7239.
- [4] 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.
- [5] 贾坤,姚云军,魏香琴,等.植被覆盖度遥感估算研究进展[J].地球科学进展,2013,28(7):774-782.
- [6] 胡玉福,蒋双龙,刘宇,等.基于RS的安宁河上游植被覆盖时空变化研究[J].农业机械学报,2014,45(5):205-215.
- [7] 田贵全,曲凯.遥感和GIS支持下的山东省植被覆盖动态变化分析[J].水土保持研究,2007,14(4):000214-220.
- [8] 陈晓光,李剑萍,韩颖娟,等.宁夏近20年来植被覆盖度及其与气温降水的关系[J].生态学杂志,2007,26(9):1375-1383.
- [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] 姚国慧,陈冬花,杨芳,等.植被覆盖度时空变化遥感监测:以博尔塔拉蒙古自治州为例[J].遥感信息,2015,30(5):116-122.
- [11] 李娟,龚纯伟.兰州市南北两山植被覆盖度动态变化遥感监测[J].测绘科学,2011,36(2):175-177.
- [12] 赵舒怡,宫兆宁,刘旭颖.2001—2013年华北地区植被覆盖度与干旱条件的相关分析[J].地理学报,2015,70(5):717-729.
- [13] 张晓东,朱文博,崔耀平,等.基于TM影像的伏牛山植被覆盖度变化研究[J].河南大学学报:自然科学版,2016,46(6):657-664.
- [14] 阿多,赵文吉,宫兆宁,等.1981—2013华北平原气候时空变化及其对植被覆盖度的影响[J].生态学报,2017,37(2):576-592.
- [15] 裴志林,杨勤科,王春梅,等.黄河上游植被覆盖度空间分布特征及其影响因素[J].干旱区研究,2019,36(3):546-555.
- [16] 赵明伟,王妮,施慧慧,等.2001—2015年我国陆地植被覆盖度时空变化及驱动力分析[J].干旱区地理,2019,42(2):324-331.
- [17] 胡楠.伏牛山自然保护区森林生态系统植物功能群及其动态研究[D].郑州:河南大学出版社,2008.
- [18] Piao S, Wang X, Ciais P, et al. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006[J]. Global Change Biology, 2011,17(10):3228-3239.
- [19] Larson C. 'Third Pole' Glacier Research Gets a Boost From China[J]. Science, 2011,334(6060):1199-1199.
- [20] Chen B, Xu G, Coops N C, et al. Changes in vegetation photosynthetic activity trends across the Asia-Pacific region over the last three decades[J]. Remote Sensing of Environment, 2014,144:28-41.
- [21] Park H S, Sohn B J. Recent trends in changes of vegetation over East Asia coupled with temperature and rainfall variations[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2010, 115 ( D14 ), 10, 1029/2009 JD012752.
- [22] 中国气象科学数据共享服务网. <http://cdc.cma.gov.cn/>.
- [23] 田庆久,闵祥军.植被指数研究进展[J].地球科学进展,1998,13(4):327-333.
- [24] 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):897-908.
- [25] 江田汉,邓莲堂. Hurst 指数估计中存在的若干问题:以在气候变化研究中的应用为例[J].地理科学,2004,24(2):177-182.
- [26] 侯建荣,宋国乡.小波分析在Hurst指数估值中的应用[J].西安电子科技大学学报,2002,29(1):115-118.
- [27] 丁茜,付梅臣,王力.基于转移矩阵的重庆市北碚区土地利用变化分析[J].江苏农业科学,2017,45(12):198-204.