

1999—2018 年河南省植被覆盖时空演变分析

王文川, 薛 沛, 刘素华

(华北水利水电大学 水资源学院, 郑州 450046)

摘 要:为了研究河南省植被覆盖的时空演变特征,利用 slope 趋势分析、典型地市分析、典型年份和月份分析、土地利用类型改变对植被覆盖的影响分析等方法,分析了 1999—2018 年河南省植被覆盖时空演变特征。结果表明:(1) 河南省西部和南部植被覆盖改善十分明显,河南省北部和东部有轻微改善,而河南省中部植被覆盖有所退化;(2) 河南省 NDVI 分布具有较强的空间差异性,从南北向来看,NDVI 均值中部最低,南部最高,北部次之。从东西向来看,NDVI 均值中部最低,东部最高,西部次之。河南省 NDVI 平均值在空间上呈现两头高中间低的趋势;(3) 河南省月尺度的 NDVI 呈现出明显的季节性,最高值出现在夏季 8 月,最低值出现在冬季 1 月。(4) 居民用地的增加影响着河南省的植被覆盖状况,并且呈负影响;(5) 河南省自从实施“退耕还林”政策后,耕地明显减少、林地增多。由此可以得出,1999—2018 年河南省总体植被覆盖率改善,NDVI 值增加。

关键词:趋势分析法; 植被覆盖; 时空变化; 河南省

中图分类号:Q948; TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)02-0243-06

Spatiotemporal Evolution of Vegetation Cover in Henan Province from 1999 to 2018

WANG Wenchuan, XUE Pei, LIU Suhua

(College of Water Resources, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: In order to study the temporal and spatial evolution characteristics of vegetation cover in Henan Province, the temporal and spatial evolution characteristics of vegetation cover in Henan Province from 1999 to 2018 were analyzed by using the methods of slope trend analysis, typical city analysis, typical year and month analysis, and the impact of land use type change on vegetation cover. The results show that: (1) the improvement of vegetation cover in the west and south of Henan Province was obvious, there was a slight improvement in the north and east of Henan Province, while the vegetation cover in central Henan Province degraded; (2) the distribution of NDVI in Henan Province had strong spatial differences; from east to west, the NDVI average was the lowest in the middle, the highest in the east and the second highest in the west; the average of NDVI in Henan Province showed the trend of high in the surround areas and low middle part in provincial space; (3) the NDVI of monthly scale in Henan Province showed obvious seasonality, the highest value appeared in August in summer, and the lowest value appeared in January in winter; (4) the increase in residential land affected the vegetation coverage in Henan Province, and had a negative impact; (5) since the implementation of the policy of ‘returning farmland to forest’ in Henan Province, arable land had decreased significantly and forest land had increased. It can be concluded that the overall vegetation coverage of Henan Province had improved and the NDVI value had increased from 1999 to 2018.

Keywords: trend analysis method; vegetation coverage; temporal and spatial changes; Henan Province

植被是人类生存的重要媒介,在维护生态平衡方面发挥着重要的作用^[1]。同时,由于植被对自然环境的影响^[2],植被覆盖变化^[3]则成为了分析区域内生态

环境不可缺少的一部分,其不仅是研究气候变化^[4]、水土流失等的重要因素,也是影响生态环境变化的重要因素。归一化植被指数(Normalized Difference

Vegetation Index, NDVI)能够体现出植被状态和植被生长状况,常被用作反映植被覆盖的遥感指标和参数^[5]。鉴于此,国内外很多学者基于遥感技术^[6]对植被覆盖度动态变化展开了研究并取得了积极进展^[7-8]。目前,国内关于植被覆盖度时空动态变化的研究,重点集中于水土流失或人为干扰较大的区域,如陕西^[9-12],四川^[13],福建等^[14]。

河南处于中原地区,是我国的主要粮食产区。随着城市化和工业化进程的快速发展,植被覆盖发生剧烈变化,生态环境脆弱性逐步显现,针对河南省植被覆盖时空变化的相关研究也逐步增加,并取得一定进展,如熊强等^[15]选用 Terra 卫星 16 d 合成的 MODIS 植被指数产品为数据研究了河南省 NDVI 的变化特征,得到 NDVI 与增强型植被指数两种指数产品的特点。但是这些研究存在着时间尺度短,典型地市分析不足,植被覆盖与土地利用类型结合分析不充分等问题,对于河南省植被覆盖的长时间尺度动态变化情况评价效果有待提高和完善。

选择 1999—2018 年为研究时段,首先对全省的植被覆盖状况进行时间和空间演变分析,然后分别针对位于研究区不同方位,也即东、西、南、北和中部的 5 个典型城市的植被覆盖状况进行深入探索,以分析不同地理位置的植被覆盖的变化趋势。与此同时,结合土地利用数据研究土地利用覆盖的变化对植被覆盖的影响,有助于进一步深化对河南省长时间尺度植被覆盖变化特征的认识。

1 研究区概况

河南省处于华北平原的南部、黄河的中下游地区,其地理位置跨越四大流域,分别是长江流域、淮河流域、黄河流域和海河流域。河南省大部分地区都处于暖温带,气温适宜,风景优美,历史悠久。降雨以夏季最多,适合农作物生长。区域内河流大多发源于西部、西北部和东南部山区,适宜的温度、降雨、日照和地质条件都为河南省的生物提供了优越的生态环境,以便于生物的生存和演化。研究区地理位置位于华北平原南部的黄河中下游地区,西起东经 110°21',东至东经 116°39',跨经度 6°18',直线距离约 580 km。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究所选用的数据为植被覆盖数据、土地利用数据和气温数据,均来源于中科院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。NDVI 空间分布数据集是采用连续时间序列的 SPOT/VEGETATION

NDVI 卫星遥感数据,其空间分辨率为 1 km,时间跨度为 1999—2018 年,该数据是研究河南省植被覆盖时空演变的重要组成部分,对改善河南省生态环境有着重要意义。土地利用数据为 1 km 栅格数据,所选年份分别为 2000 年、2010 年和 2018 年。土地利用类型包括耕地、林地、草地、水域、居民用地和未利用土地 6 种类型。气温数据集的分辨率也为 1 km,由于最新数据只更新至 2015 年,因此选用了 2000 年、2010 年、2015 年的数据作为代表数据进行分析。以上数据都经过裁剪、辐射校正、几何校正,数据来源和质量真实可靠。

2.2 研究方法

利用 ArcGIS 10.2 提取分析与栅格计算模块对河南省 1999—2018 年植被覆盖的时空变化进行对比分析。为了研究分析河南省植被覆盖近 20 a 的变化情况,本文选用了 slope 趋势分析法,即用一元线性回归法对每个栅格点逐像元拟合斜率,反映植被覆盖时空演变特征。slope 计算公式如下:

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

式中: n 为所监测时间序列的长度; NDVI_i 为第 i 年的 NDVI 均值;slope 为趋势线增加的斜率。

本文选择的时间跨度为 1999—2018 年 20 a,除了进行 20 a 时间序列连续的 NDVI 相关分析之外,为了便于分析和更加直观地展示植被覆盖的变化过程,文中选择数据的起始年、中间年和结尾年,也即 1999 年、2008 年和 2018 年 3 个单独的年作为研究时间点,利用 ArcGIS 进行绘制植被覆盖年均分布图并进行定量对比。另外,为了分析 NDVI 时空演变与土地利用的关系,本研究选择与 1999 年、2008 年和 2018 年最相近的 3 年(2000 年、2010 年和 2018 年)土地利用数据开展土地利用类型和植被覆盖的关系。

最后,为了进一步探索植被覆盖在研究区内各个方位上的演变情况,分别选择东、西、南、北和中部代表性地市,也即选择东部(商丘市)、西部(三门峡市)、南部(信阳市)、北部(安阳市)和中部(郑州市),提取它们的植被覆盖结果并进行时空变化分析。

3 结果与分析

3.1 河南省植被覆盖时间变化分析

图 1 给出了河南省 1999—2018 年 20 a 的 NDVI 均值变化曲线,从 20 a 的时间序列曲线图可知,河南省 NDVI 呈现出波动上升趋势,即植被覆盖有所改善。其中,1999 年 NDVI 平均值最小,2013 年 NDVI 平均值最大。

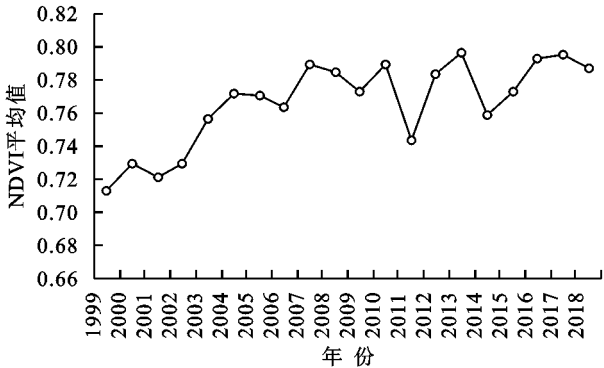


图 1 1999—2018 年河南省 NDVI 年平均值时间序列变化曲线

图 2 分别为 1999 年、2008 年和 2018 年的植被覆盖空间分布情况。为了更加直观和形象,本文将植被覆盖按照 NDVI 数值的高低,分别划分为低植被覆

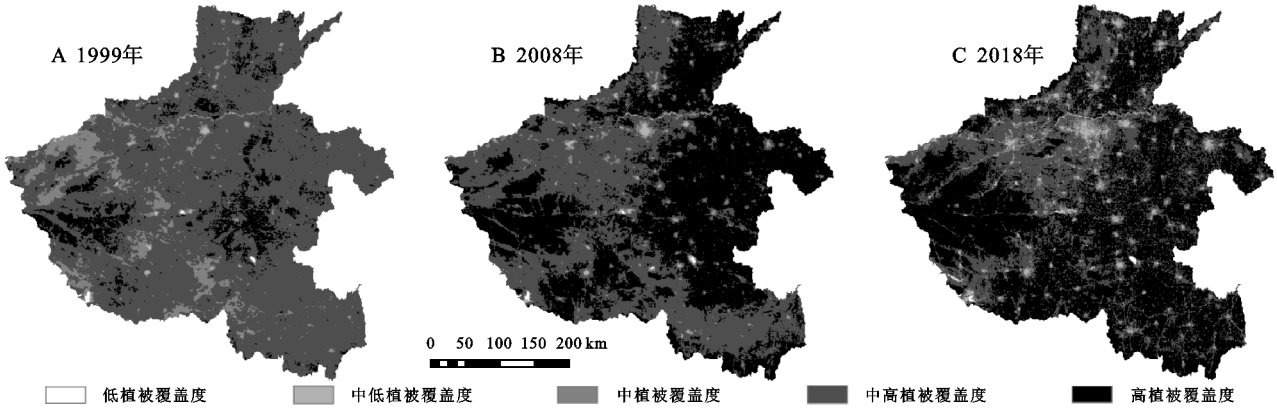


图 2 1999 年、2008 年、2018 年河南省植被覆盖空间分布情况

1999 年中高植被覆盖度占比最大,而 2008 年和 2018 年高植被覆盖度占比最大,表明了河南省植被覆盖程度提升了一个区间,有了显著的改善。为了对河南省的植被覆盖状况在时间变化上有更加直观的认识,本文给出了 1999 年、2008 年和 2018 年 3 a 的 NDVI 均值随月份,也即年内的变化情况(图 3)。图 3 反映出 2018 年各月的 NDVI 总体在 1999 年各月的 NDVI 之上,说明相比于 1999 年、2018 年的河南省植被覆盖增加明显,植被状况有所改善。

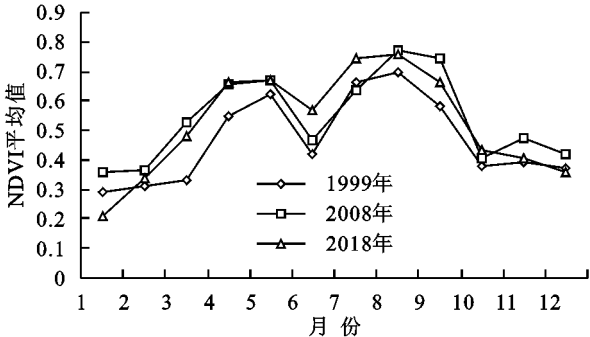


图 3 1999 年、2008 年、2018 年河南省各月 NDVI 平均值

3.2 河南省植被覆盖的空间变化分析

对于植被覆盖的空间变化情况,本文主要采用 slope 趋势线法计算时间段内的植被演变情况,为

盖度、中低植被覆盖度、中植被覆盖度、中高植被覆盖度和高植被覆盖度,对应 NDVI 的数值分别为 0~0.2,0.2~0.4,0.4~0.6,0.6~0.8,0.8~1.0。

从图 2 的对比可知,1999—2018 年,河南省的植被状况有明显的改善,高植被覆盖的区域明显增加。通过分析 1999 年、2008 年和 2018 年的河南省植被覆盖空间分布情况图可知,自 1999—2018 年以来,高植被覆盖度所占比例越来越大,从 1999 年的 9.61% 提高到 2018 年的 57.90%;低植被覆盖度所占比例越来越小,从 1999 年的 0.08% 减少到 2018 年的 0.07%,说明河南省 NDVI 在不断增大,植被覆盖明显改善。本文的研究结果与余玉洋等^[16]在 2019 年进行研究得出河南省植被覆盖状况在改善这一结果相似。

为了便于结果的直观展示,将植被覆盖的变化情况划分为极大改善、高度改善、中度改善、轻度改善和退化 5 种。由图 4A 可知,自 1999—2018 年河南省西南部 NDVI 增幅大,中部部分地区 NDVI 降幅较大。分析 1999—2008 年和 2008—2018 年计算得出的两张 slope 图可知,从东西向看,东部和西部均比中部增幅大,而中部部分地区有降幅;从南北向看,南部增幅最大。

因此,河南省 NDVI 分布具有很强的空间差异性,从南北向来看,NDVI 均值中部最低、南部最高、北部次之;从东西向来看,NDVI 均值中部最低、东部最高、西部次之。河南省 NDVI 平均值呈两头高中间低的趋势。

3.3 典型地市植被覆盖时空变化分析

为了对河南省的植被覆盖情况有更加深入和清晰的认知,本文选择位于河南省东、西、南、北和中部的 5 个地市作为典型区域研究其在 1999—2018 年的植被覆盖时空变化情况。东、西、南、北和中部的 5 个地市分别为商丘市、三门峡市、信阳市、安阳市和郑州市。

表 1 给出了 5 个地市在 3 个典型年份的 NDVI 均值,自 1999—2018 年安阳市、信阳市、三门峡市、商

丘市的 NDVI 均值都有所提高,但郑州市的 NDVI 均值呈下降趋势,其中,信阳市、三门峡市 NDVI 均值增幅较大,分别为 0.12,0.15。分析 1999—2008 年所选择地级市可知,其 NDVI 均值均增加,其中三门

峡市增幅最大。分析 2008—2018 年所选择地级市可知,信阳市、三门峡市的 NDVI 均值呈增长趋势,商丘市、郑州市呈下降趋势,而 2018 年安阳市的 NDVI 均值与 2008 年的 NDVI 均值持平。

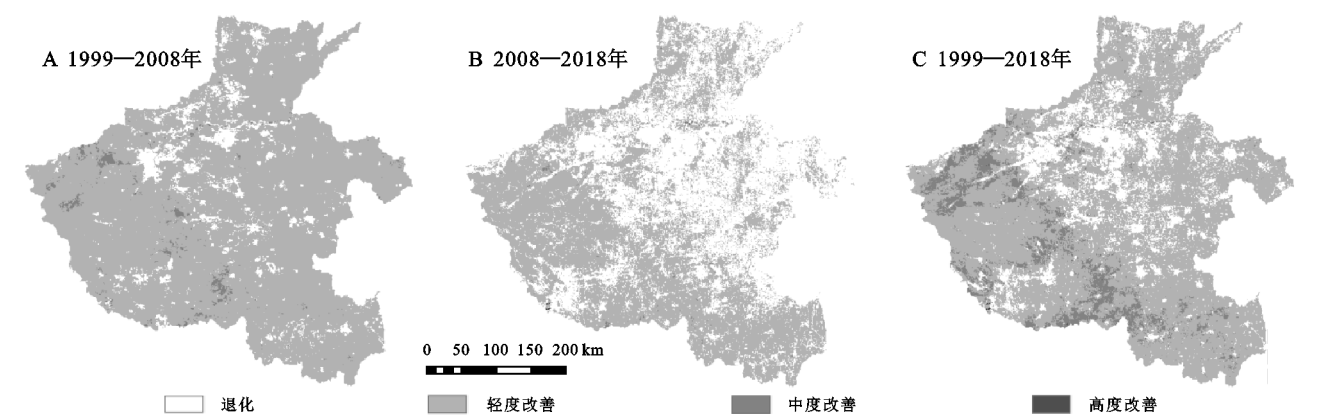


图 4 1999—2008 年、2008—2018 年、1999—2018 年河南省 slope 趋势结果

表 1 河南省部分地级市各年份 NDVI 均值

| 城市 | 方位 | 1999 年 | 2008 年 | 2018 年 |
|------|----|--------|--------|--------|
| 安阳市 | 北部 | 0.74 | 0.79 | 0.79 |
| 信阳市 | 南部 | 0.70 | 0.77 | 0.82 |
| 三门峡市 | 西部 | 0.65 | 0.76 | 0.80 |
| 商丘市 | 东部 | 0.74 | 0.84 | 0.79 |
| 郑州市 | 中部 | 0.66 | 0.71 | 0.64 |

表 2 是根据 slope 趋势法得到的各个地市的植被覆盖退化的统计情况,自 1999—2018 年,信阳市和三门峡市退化占比最小,整体植被覆盖率大幅改善;安阳市和商丘市退化占比分别为 22.84%,18.03%,植被覆盖状况大部分轻度改善,小部分退化;而郑州市退化占比高达 50.73%,说明郑州市植被覆盖下降,有所退化。自 1999—2008 年,各地级市植被覆盖退化占比都较小,说明 1999—2008 年河南省植被覆盖情况改善,而 2008—2018 年,信阳市和三门峡市退化占比相对其他城市占比较小,植被覆盖整体有所改善;安阳市退化占比为 46.14%,接近 50%,植被覆盖有轻微改善;而商丘市和郑州市退化占比较高,分别为 81.44%,70.87%,说明河南省中部和东部城市植被覆盖退化较严重。综上可知,河南省西部和南部植被覆盖改善趋势十分明显,河南省北部和东部有细微改善,而河南省中部植被覆盖退化严重。

表 2 河南省部分地级市植被覆盖退化占比 %

| 城市 | 1999—2018 年 | 1999—2008 年 | 2008—2018 年 |
|------|-------------|-------------|-------------|
| 安阳市 | 22.84 | 10.91 | 46.14 |
| 信阳市 | 4.66 | 5.59 | 18.04 |
| 三门峡市 | 4.78 | 1.32 | 20.61 |
| 商丘市 | 18.03 | 1.73 | 81.44 |
| 郑州市 | 50.73 | 22.72 | 70.87 |

3.4 土地利用类型对植被覆盖的影响分析

植被覆盖最直观的变化会体现在土地利用类型

图上,而土地利用类型的改变则会是植被覆盖变化的一个原因。为了分析河南省的植被覆盖时空变化与植被覆盖的关系,本文选择了与 1999 年、2008 年和 2018 年最临近年份的土地利用类型图,分别是 2000 年、2010 年和 2018 年,见图 5。我们将 1999 年的植被覆盖与 2000 年的土地利用类型图对应,2008 年的植被覆盖与 2010 年的土地利用类型进行对应。

由表 3 可知,河南省自从实施“退耕还林”政策后,耕地明显减少,林地增多。结合 slope 结果分析可知,1999—2018 年植被覆盖有所改善,表现为 NDVI 值增加。其中,土地利用类型中林地的增加对 NDVI 值的增加影响最大。

2000—2010 年居民用地平均每年变化值明显小于 2010—2018 年的平均每年变化值,结合分析 slope 各像元占比例统计可知,1999—2008 年退化占比 8.08%明显小于 2008—2018 年退化占比的 45.55%,说明居民用地的增加与植被覆盖的退化有着显著影响,并且是正影响,即对 NDVI 值有负影响。

为了进一步探究居民用地平均每年变化值对植被覆盖的影响,本文将河南省的东、西、南、北和中部的 5 个地市作为典型区域,研究其居民用地平均每年变化值与植被覆盖的关系,统计结果见表 4。

通过分析 2000—2018 年各地级市居民用地统计表可知,郑州市平均每年变化值最大,同期郑州市的 NDVI 降幅也最大。2000—2010 年的各地级市居民用地统计表的平均每年变化值明显比 2010—2018 年的各地级市居民用地的每年平均变化值小,而在 1999—2008 年的 NDVI 增加速率也明显比 2008—2018 年的快,由此可见居民用地变化值影响着 NDVI,并且呈负相关关系。

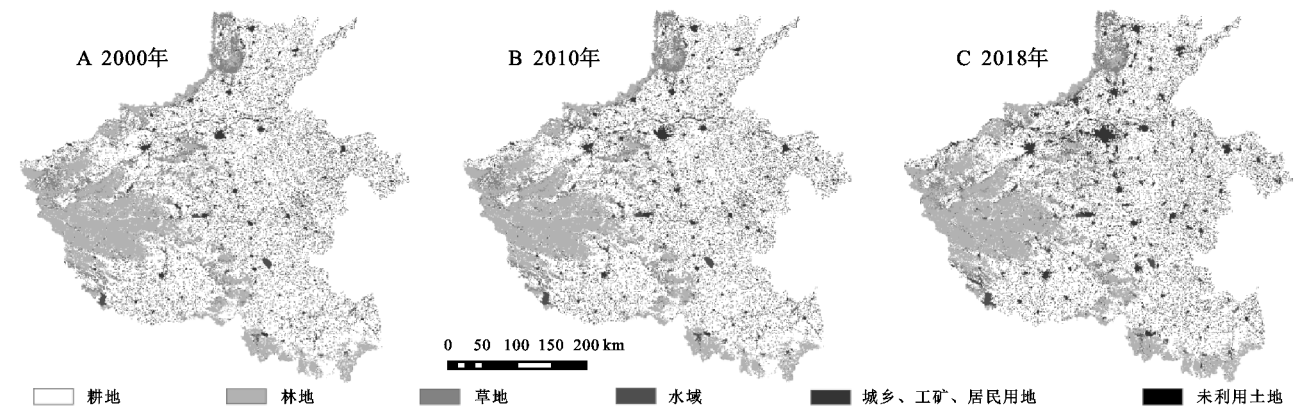


图 5 2000 年、2010 年、2018 年河南省土地利用类型

| 土地利用类型 | 面积/km ² | | | 2000—2018 年年平均 | 2000—2010 年年平均 | 2010—2018 年年平均 |
|--------|--------------------|--------|--------|---|---|---|
| | 2000 年 | 2010 年 | 2018 年 | 变化值/(km ² ·a ⁻¹) | 变化值/(km ² ·a ⁻¹) | 变化值/(km ² ·a ⁻¹) |
| 耕地 | 108692 | 107525 | 103475 | −274.58 | −106.09 | −450.00 |
| 林地 | 26798 | 26812 | 27212 | 21.79 | 1.27 | 44.44 |
| 草地 | 9411 | 9338 | 8858 | −29.11 | −6.64 | −53.33 |
| 水域 | 3536 | 4056 | 4184 | 34.11 | 47.27 | 14.22 |
| 居民用地 | 17036 | 17951 | 21854 | 253.58 | 83.18 | 433.67 |
| 未利用土地 | 89 | 60 | 31 | −3.05 | −2.64 | −3.22 |

表 3 河南省土地利用类型及变化情况

| 城市 | 面积/km ² | | | 年均变化值/(km ² ·a ⁻¹) | | |
|------|--------------------|--------|--------|---|-------------|-------------|
| | 2000 年 | 2010 年 | 2018 年 | 2000—2018 年 | 2000—2010 年 | 2010—2018 年 |
| 安阳市 | 886 | 930 | 1130 | 12.84 | 4.00 | 22.22 |
| 信阳市 | 1280 | 1324 | 1588 | 16.21 | 4.00 | 29.33 |
| 三门峡市 | 247 | 262 | 422 | 9.21 | 1.36 | 17.78 |
| 商丘市 | 2002 | 2065 | 2179 | 9.32 | 5.73 | 12.67 |
| 郑州市 | 854 | 1082 | 2069 | 63.95 | 20.73 | 109.67 |

4 讨论

对河南省 NDVI 出现季节性变化做出了一些深入研究,1999 年、2008 年、2018 年这 3 年的 1—8 月的 NDVI 平均值大体上呈上升趋势,但 6 月是一个转折点,相比较于 5 月和 7 月,6 月的值最小,在 8—12 月河南省 NDVI 平均值呈下降趋势。该种变化趋势与气温

和降雨有关,随着 1—8 月温度逐渐上升河南省 NDVI 平均值也上升,8—12 月温度下降河南省 NDVI 平均值也下降,而 6 月的拐点则是由于小麦成熟和收割造成的^[17]。河南省作为冬小麦的主要产区,6 月份进入小麦的成熟和收割期,小麦分布区的 NDVI 数值急剧下降,导致整个研究区内 NDVI 的均值呈现出拐点状下降。河南省冬小麦的生育周期如表 5 所示。

表 5 河南省冬小麦生育期

| 月份 | 10 月 | 11—1 月 | 2—3 月 | | 4 月 | 5 月 | 6 月 | |
|-----|------|--------|-------|----|-----|-----|-----|-----|
| 生育期 | 播种 | 分蘖—越冬 | 越冬 | 返青 | 拔节期 | 抽穗期 | 乳熟期 | 成熟期 |

分析表 5 可知,6 月为冬小麦的成熟期,需要收割,这影响了河南省的 NDVI 在夏季的上升趋势,所以河南省的 NDVI 在 6 月出现下降趋势,因此我们分析出冬小麦的生育周期与河南省 NDVI 在夏季 6 月出现转折点有着密切关系。

考虑到气候因子对 NDVI 的影响^[18-21],于是我们加入了气温的分析。我们在数据中挑选与之前 NDVI 数据和土地利用数据最接近的年份(2000 年、2010 年和 2015 年)作为代表年进行分析(图 6)。

河南省 2000 年、2010 年和 2015 年年平均气温分别为 14.90℃,15.03℃,15.24℃;河南省 2000 年、2010 年和 2015 年年平均 NDVI 值分别为 0.73,0.79,0.77。通过以上数据并不能分析出河南省年平均气温与河南省年平均 NDVI 的直接关系。因此,通过分析近十几年河南省 NDVI 的变化趋势、河南省土地利用变化趋势与河南省的气温变化趋势之间的关系,但发现其中也没有什么直接关系。因此,可以得出短期内河南省气温的变化对河南省的 NDVI 变化的影响并不显著。

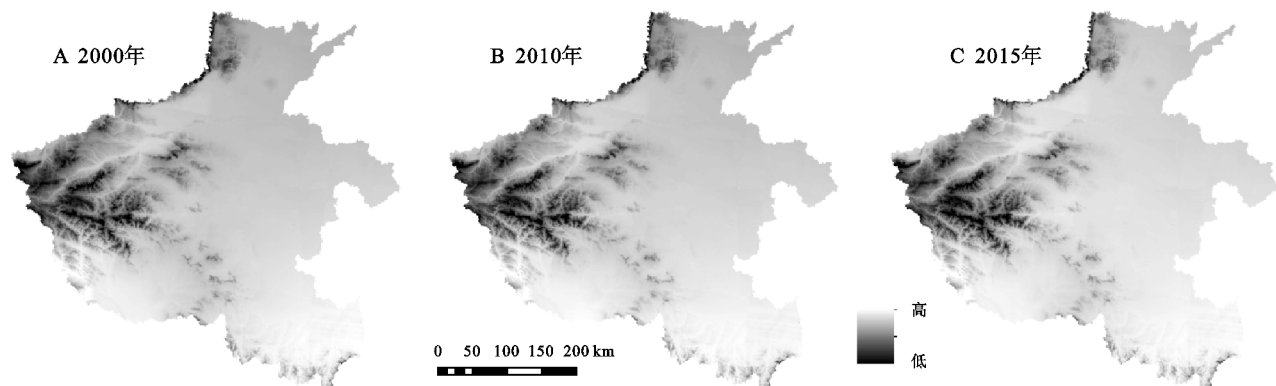


图 6 河南省 2000 年、2010 年、2015 年气温分布

5 结论

(1) 1999—2018 年河南省总体植被覆盖率改善, NDVI 值增加。河南省西部和南部植被覆盖改善十分明显, 河南省 NDVI 分布具有很强的空间差异性, 河南省 NDVI 平均值呈两头高中间低的趋势。1—8 月河南省 NDVI 平均值大体上呈上升趋势, 在 8—12 月河南省 NDVI 平均值呈下降趋势。

(2) 近 20 a 河南省植被覆盖度明显改善, 但前 10 a 改善状况明显好于后 10 a, 进行了土地利用类型分析后发现, 居民用地增加的速率越快越影响植被覆盖的改善程度并且是负影响。

(3) 研究结果更直观地反映了植被覆盖的变化情况, 在一定程度上丰富和补充了河南省植被变化情况相关方面的研究工作。成果有助于河南省更好地理解和分析生态系统的变化特性, 也有助于河南省在未来利用土地时考虑生态环境与经济的协调发展。

(4) 植被覆盖变化检测是一个长期的过程, 但本文针对河南省近 20 a 植被时空格局变化进行了探究和分析时, 仅考虑了人为因素对植被覆盖的影响, 忽略了自然因素的影响。如有更长时间序列数据则可在考虑人类活动因素对植被影响的同时加上自然因素对植被的影响分析。

参考文献:

- [1] 王二丽, 刘小芳, 候亚妮, 等. 1998—2013 年釜溪河流域植被覆盖时空演变及其驱动因子研究[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2017, 30(5): 83-89.
- [2] Hou P, Wang Q, Cao G Z, et al. Sensitivity analyses of different vegetations responding to climate change in inland river basin of China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2012, 22(3): 387-406.
- [3] 李骊, 张青青, 赵新风, 等. 和田河河岸近 17 a 天然植被动态变化及其驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(10): 153-159.
- [4] 陈舒婷, 郭兵, 杨飞, 等. 2000—2015 年青藏高原植被

NPP 时空变化格局及其对气候变化的响应[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2511-2527.

- [5] 郝成元, 范松克. 2001—2016 年河南省 NDVI 时空变化特征分析[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 860-867.
- [6] 李军, 曹志伟, 韩道军. 一种基于 WCF 的遥感数据验证系统的设计与实现[J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2014, 42(6): 148-153.
- [7] 赵梦杰, 姚文艺, 王金花, 等. 植被覆盖度对黄土高原地区土壤入渗及产流影响的试验研究[J]. 中国水土保持, 2015(6): 41-43.
- [8] 刘正才, 屈瑶瑶. 基于 SPOT-VGT 数据的湖南省植被变化及其对气候变化的响应[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(2): 80-87.
- [9] 贾路, 任宗萍, 李占斌, 等. 2000—2013 年西安市植被覆盖度时空演变[J]. 水土保持研究, 2019, 26(6): 274-279.
- [10] 王静, 万红莲, 张翀. 2001 年以来宝鸡地区植被覆盖时空演变及驱动力分析[J]. 植物科学学报, 2018, 36(3): 336-344.
- [11] 安佑志, 刘朝顺, 施润和, 等. 基于 MODIS 时序数据的长江三角洲地区植被覆盖时空变化分析[J]. 生态环境学报, 2012, 21(12): 1923-1927.
- [12] 秦超, 李君轶, 陈宏飞, 等. 陕西省植被覆盖时空演变特征及其与气候因子的关系[J]. 中国农业气象, 2015, 36(1): 108-114.
- [13] 肖建勇, 周德全, 白晓永, 等. 四川省植被覆盖时空演变及未来变化趋势分析[J]. 人民长江, 2018, 49(5): 16-21.
- [14] 王文辉, 马祥庆, 邹显花, 等. 2000—2010 年福建省植被覆盖度的时空演变特征[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 234-239.
- [15] 熊强, 王双亭. 河南省植被指数变化特征研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(2): 102-104.
- [16] 余玉洋, 王银苹, 秦奋, 等. 河南省植被覆盖指数变化及其对气候的响应[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(3): 280-286.
- [17] 李丹, 韩留生, 黄思宇, 等. 基于 HJ-1 数据的冬小麦种植面积、长势与收割进度遥感监测[J]. 中国农学通报, 2016, 32(12): 20-28.

- with a novel procedure for spatially explicit HRUs[J]. *Environ Manage.* 2016, 57(4):894-911.
- [23] 王赛男. 基于 SWAT 模型的气候变化与土地利用/覆被变化对岩溶断陷盆地水资源量的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [24] Lü Y R, Jiang T, Wang Y J, et al. Simulation and projection of climate change using CMIP6 Multi-models in the Belt and Road Region[J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2020, 12(6):389-403.
- [25] 梁淑琪, 王文圣, 黄伟军. 1937—2018 年岷江上游径流演变特征分析[J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2020, 50(5):761-770.
- [26] 于海超, 张杨, 马金珠, 等. 1969—2018 年黄河实测径流与天然径流的变化[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(5):7-13.
- [27] 商滢, 江竹. 黄河源区降水径流变化特征及响应分析[J]. *中国农村水利水电*, 2021(2):106-112.
- [28] 万育生, 王栋, 黄朝君. 丹江口水库来水情势分析与径流预测[J]. *南水北调与水利科技 (中英文)*, 2021, 19(3):417-426.
- [29] 尚华明, 范煜婷, 张瑞波, 等. 帕米尔高原东部径流量变化及其对气候变化的响应[J]. *气候变化研究进展*, 2021, 17(3):352-360.
- [30] 赵美亮, 曹广超, 曹生奎, 等. 1956—2016 年大通河温度和降水及其与径流变化的关系[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3):111-117, 125.
- [31] Yachongtuo B, 梁婕, 曾光明, 等. 基于 SWAT 模型的浏阳河流域径流对土地利用和气候变化的协同响应[J]. *水资源与水工程学报*, 2019, 30(2):88-94.
- [32] 刘卫林, 黄一鹏, 万一帆, 等. 盱江流域径流模拟及其对气候变化的响应[J]. *水电能源科学*, 2020, 3(8):18-21.
- [33] 姜华超, 刘瑞芬. 东洋河流域土地利用及气候变化对径流的影响[J]. *人民长江*, 2020, 51(7):82-88.
- [34] 王胜, 许红梅, 刘绿柳, 等. 全球增温 1.5℃ 和 2.0℃ 对淮河中上游径流影响预估[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(11):1966-1978.
- [35] Zhang H, Wang B, Liu L D, et al. Using an improved SWAT model to simulate hydrological responses to land use change: A case study of a catchment in tropical Australia[J]. *Journal of Hydrology*, 2020, 585:124822. DOI:10.1016/j.jhydrol.2020.124822.

(上接第 248 页)

- [18] 王丽霞, 余东洋, 刘招, 等. 渭河流域 NDVI 与气候因子时空变化及相关性研究[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(2):249-254.
- [19] 刘少华, 严登华, 史晓亮, 等. 中国植被 NDVI 与气候因子的年际变化及相关性研究[J]. *干旱区地理*, 2014, 37(3):480-489.
- [20] 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.
- [21] 韩雅, 朱文博, 李双成. 基于 GWR 模型的中国 NDVI 与气候因子的相关分析[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2016, 52(6):1125-1133.

(上接第 254 页)

- [7] 刘丹, 巩前文, 杨文杰. 改革开放 40 年来中国耕地保护政策演变及优化路径[J]. *中国农村经济*, 2018(12):37-51.
- [8] 牛海鹏, 张安录. 耕地保护的外部性及其测算: 以河南省焦作市为例[J]. *资源科学*, 2009, 31(8):1400-1408.
- [9] 冉清红, 岳云华, 杨玲, 等. 西部农户耕地保护生态外部性价值分析与启示[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(2):348-352.
- [10] 王坤鹏, 牛海鹏. 基于 CVM 不同支付方式的耕地保护外部性测度及其差异性分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(5):128-136.
- [11] 吴璟, 咎梦莹, 王征兵. 感知价值对农户参与耕地质量保护意愿的影响: 以陕西省为例[J]. *中国土地科学*, 2020, 34(6):66-74.
- [12] 臧俊梅, 郑捷航, 农股璇, 等. 耕地保护及其必要性: 不同兼业程度农户的认知与意愿: 基于珠三角的调查与实证[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(2):82-90.
- [13] 宋敏, 金贵. 规划管制背景下差别化耕地保护生态补偿研究: 回顾与展望[J]. *农业经济问题*, 2019(12):77-85.
- [14] 龙远, 李萍, 唐月亮, 等. 耕地保护情景下长浏平丘陵区土地利用变化模拟: FLUS 模型的应用[J]. *江西农业学报*, 2020, 32(5):126-134.
- [15] 罗双晓, 何政伟, 高笋, 等. 基于 CA_Markov 模型的天府新区土地时空变化预测[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(3):157-163.
- [16] 王旭, 马伯文, 李丹, 等. 基于 FLUS 模型的湖北省生态空间多情景模拟预测[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(1):230-242.
- [17] 陈兵飞, 廖铁军, 张莉坤. 生态红线约束下万州区土地利用情景模拟及生态价值评估[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(5):349-357, 364.
- [18] 张明阳, 罗为检, 刘会玉, 等. 基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(16):5067-5077.
- [19] 聂鑫, 章文波, 薛丽霞. 广西速生桉种植的空间分布及生态特征[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2017, 53(2):215-221.