

范松克, 郝成元. 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.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.016

2001–2016 年河南省 *NDVI* 时空变化特征分析

范松克, 郝成元

(河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000)

摘要: 基于 2001–2016 年 MOD13Q1 遥感数据集, 并结合 DEM 数据, 采用最大值合成法、一元线性回归趋势分析法, 对河南省归一化植被指数 (*NDVI*) 时空变化规律及不同海拔梯度下 *NDVI* 变化特征进行了分析研究。结果表明: (1) 河南省 16 年间 *NDVI* 值在 0.5 至 0.7 之间, 且空间分布存在明显区域性差异。(2) *NDVI* 总体呈增长趋势, *NDVI* 增大区域面积占河南省总面积的 86.65%, 减少区域主要集中在河南省北部地区, 人类活动影响可能是主因。(3) 河南省 *NDVI* 变化具有明显的海拔梯度差异特征。随着海拔升高, *NDVI* 显著增加和中度增加的面积比例逐渐下降, 主要位于南阳盆地; 而轻度增加的面积比例逐渐上升, 主要位于豫西伏牛山地区, 与 *NDVI* 呈增加趋势的空间分布格局一致。

关键词: *NDVI*; 趋势分析; 时空变化; 海拔梯度

中图分类号: X87 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)04-0860-08

Temporal and spatial variation analysis of *NDVI* in Henan from 2001 to 2016

FAN Song-ke, HAO Cheng-yuan

(College of Surveying Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: Based on remote sensing data set MOD13Q1 from 2001 to 2016 and DEM data, the temporal and spatial variations of the normalized difference vegetation index (*NDVI*) and variations of *NDVI* across different altitudinal gradients in Henan province were analyzed by using maximum synthesis and linear regression methods. Experimental results indicated that: (1) The regional *NDVI* value ranged from 0.5 to 0.7 in the past 16 years, and there was a significant regional difference in spatial distribution. (2) *NDVI* value showed an increasing trend, the region of *NDVI* increased accounted for 86.65% of the total area of Henan province, and the region of *NDVI* decreased mainly concentrated in the northern part of the function region, and the influence of human activities may be the main cause. (3) The change of *NDVI* had obvious difference characteristics of altitudinal gradient. With the increase of altitude, the proportion of *NDVI* increased dramatically and moderately was decreasing gradually, distributing in Nanyang Basin, and the proportion of *NDVI* increased slightly was increasing gradually, distributing in Funiu Mountain in the northern part of the function region, the spatial distribution pattern was consistent with that of *NDVI* increased.

Key words: *NDVI*; trend analysis; temporal and spatial variation; altitudinal gradient

收稿日期: 2018-11-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41371105); 河南省高校基本科研业务费专项 (NSFRG1630)

作者简介: 范松克 (1993-), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 研究方向为地理空间信息处理与应用。(E-mail) 1335124719@qq.com

通讯作者: 郝成元, (E-mail) haocy@hpu.edu.cn

植被作为生态系统的重要组成部分, 具有明显的年际和季节变化特点^[1-2], 对生态系统间的物质交换及能量传输具有重要作用^[3-4]。目前, 利用卫星遥感技术监测植被动态变化较为普遍^[5], 归一化

植被指数 (NDVI) 和增强型植被指数 (EVI) 是 MODIS 数据最常用的 2 种植被指数。NDVI 作为近红外波段 (NIR) 和红外波段 (R) 反射率的比值参数,其时间变化序列能够反映季节和人为活动变化对植被的影响,常用作表征植被覆盖变化遥感指标,能够直观反映植被生长和覆盖状况^[6-13],且在较大范围的植被动态监测中得到了印证,因此 MODIS-NDVI 数据被广泛地应用于全球和区域植被变化研究。

目前,国内外学者针对不同地区 NDVI 时空变化进行了研究。马守存等^[14]基于 NDVI 数据对黄河源区植被覆盖时空变化特征进行了研究,得出植被覆盖变化呈现东南向西北递减的空间特征。颜明等^[15]基于 1982–2012 年 NDVI 数据对黄河流域植被覆盖变化进行了多时间尺度研究,得出黄河流域植被覆盖变化在不同时间尺度上具有明显差异。张含玉等^[16]对黄土高原地区 NDVI 的时空分布及其对气候因子的响应特征进行了研究,得出黄土高原 NDVI 呈增加趋势,但在年及季节尺度上 NDVI 与气温、降水的相关性不显著。

河南省地处中原,地形起伏较大,生态环境脆弱,随着工业化和城镇化的不断发展^[17],植被覆盖遭到区域性破坏,针对该区域的植被覆盖变化研究逐渐增多。王新闯等^[18]利用四期 MODIS 数据对河南省植被覆盖度进行了初步的等级划分。张黛等^[19]基于 2001–2013 年 MODIS-NDVI 数据,研究了河南省植被时空动态变化,得出植被覆盖减少区域主要集中在人口密集区。张静静等^[20]基于 2000–2014 年 MODIS-NDVI 数据,研究豫西山地区植被 NDVI 时空变化特征,得出海拔较低地区植被覆盖呈增加趋势,海拔较高地区植被覆盖呈退化趋势。

以上关于河南省植被覆盖变化的研究多基于单一年际尺度,且空间范围较小。同时,河南省自东向西呈现由平原向丘陵山地过渡特征,海拔差异明显,基于不同海拔梯度下河南全省时间跨度长、空间分布广的多尺度 NDVI 时空变化研究还相对较少。因此,本研究基于 2001–2016 年河南省长时序 MODIS-NDVI 数据产品,分析河南省近 16 年 NDVI 年内及年际变化特征,同时结合 DEM 高程数据,深入探讨不同海拔梯度下的 NDVI 垂直差异特征,以期为河南省植被恢复、生态保护和水土流失综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据准备

本研究所用长时序遥感数据采用美国国家宇航局 (NASA) 提供的 Terra-MOD13Q1 16d 合成的产品数据,空间分辨率为 250 m,时间范围为 2001 年 1 月–2016 年 12 月,共 368 景遥感影像。MODIS 是搭载在 Terra 卫星上的重要传感器^[21],利用 NASA 研发的 MRT 工具对 2001–2016 年 MODIS-NDVI 影像数据进行投影变换处理,选取投影方式为 UTM 投影,坐标系为 GCS_WGS_84 坐标系,将数据由 HDF 格式转换为 TIFF 格式。然后在 ArcGIS 平台上用具有相同地理坐标系统的河南省矢量图层对其进行裁剪,得到研究区 NDVI 数据。

为研究近 16 年河南省 NDVI 变化特征及其演变规律,选取年均 NDVI 和季均 NDVI 作为研究指标,春季为 3–5 月、夏季为 6–8 月、秋季为 9–11 月,分析植被各个阶段的时空变化特征。由于冬季植被覆盖较低,因此本研究对冬季 NDVI 数据暂不考虑。

数字高程模型 (Digital elevation model, DEM) 数据在地理空间云平台下载 (<http://www.gscloud.cn/>),空间分辨率为 90 m,经过裁剪、投影转换、重采样等处理,使其与 NDVI 数据具有相同的空间分辨率。

1.2 研究方法

1.2.1 最大合成法 最大合成法 (Maximum value composites, MVC) 用 NDVI 最大值代表相应月的 NDVI 值。此方法可进一步消除云、大气、太阳高度角、传感器灵敏度等因素的部分干扰^[22-23]。计算公式如(1)所示:

$$NDVI_i = \text{Max}(NDVI_{ij}) \quad (1)$$

其中, $NDVI_i$ 为第 i 个月的 NDVI 值, $NDVI_{ij}$ 指第 i 个月上半月或下半月的 NDVI 值。本研究最大合成法采用 Python 代码批量运行实现。

1.2.2 均值法 采用最大值合成法将各旬数据合成为月数据,由月数据均值法得到河南省 2001–2016 年年均 NDVI 值,合成的年均 NDVI 数据不仅能避免极端月份的影响,而且消除了不同地区季节变化对 NDVI 值变化的影响^[24]。季均 NDVI 值计算与年均 NDVI 值的计算方法一致,计算公式如(2)所示:

$$NDVI = \frac{\sum_{i=1}^n NDVI_i}{n} \quad (2)$$

其中, $NDVI_i$ 为第 i 年 $NDVI$ 值, n 为研究时间序列长度, 取 16。

1.2.3 一元线性回归趋势分析法 对随时间变化的变量进行回归分析^[25], 定量研究 $NDVI$ 变化趋势的时空变化及空间差异特征。本研究采用基于最小二乘的一元线性回归趋势分析方法, 模拟每个栅格点 $NDVI$ 的变化趋势, 以每个栅格点 $NDVI$ 时间变化特征反映其空间变化规律, 综合反映区域时空格局演变^[26]。计算公式如(3)所示:

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \times p_i) - \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n p_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (3)$$

其中, k 为像元回归方程的斜率, p_i 为第 i 年 $NDVI$ 均值, n 为研究时间序列长度, 变量 i 从 1 到 n 。其中 $k > 0$, 代表该像元 $NDVI$ 变化趋势为增加, 且数值越大, 增加越明显; $k < 0$, 则表明该像元 $NDVI$ 变

化趋势为减少。

2 结果与分析

2.1 $NDVI$ 时间变化特征

借助 ArcGIS 平台的栅格计算器工具, 根据最大合成法得到月 $NDVI$ 值, 分别求取多年年均和季均 $NDVI$ 值, 绘制得到河南省 2001–2016 年年均 $NDVI$ 及各季 $NDVI$ 变化趋势曲线(图 1)、河南省 2001–2016 年 $NDVI$ 变化趋势(表 1)。从图 1、表 1 可知, 河南省 $NDVI$ 值随时间呈波动增加趋势, 年均、春季、夏季、秋季变化率分别为年 0.005 0、0.003 6、0.004 7、0.004 9, 表明近 16 年河南省 $NDVI$ 明显改善。其中 2001–2007 年的 $NDVI$ 增加幅度比 2007–2016 年稍大, 年均 $NDVI$ 值最低为 2001 年的 0.448, 最高为 2015 年的 0.548。各季 $NDVI$ 均呈现波动上升趋势, 其中夏季 $NDVI$ 值明显高于春季和秋季, 春季 $NDVI$ 随时间变化波动较大, 秋季 $NDVI$ 变化与年均 $NDVI$ 变化较为相近。

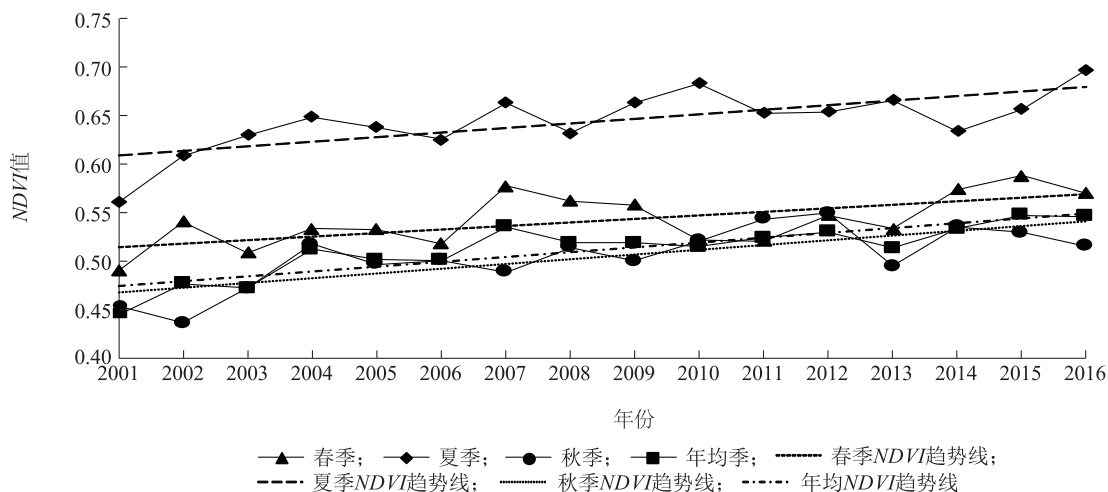


图 1 河南省 2001–2016 年年均及各季 $NDVI$ 变化趋势

Fig.1 Trends of the annual average and seasonal $NDVI$ change in Henan province during 2001–2016

表 1 河南省 2001–2016 年 $NDVI$ 变化趋势的回归方程

Table 1 Regression equation of $NDVI$ change trend in Henan province during 2001–2016

时间尺度	趋势回归方程	拟合优度 (R^2)
春季	$Y = 0.0036x - 6.7738$	0.3991
夏季	$Y = 0.0047x - 8.8393$	0.5065
秋季	$Y = 0.0049x - 9.2510$	0.5505
年均	$Y = 0.0050x - 9.4794$	0.7251

2.2 $NDVI$ 空间变化特征

2.2.1 $NDVI$ 水平分布特征 基于像元尺度计算 2001–2016 年河南省年均及季均 $NDVI$ 值, 得到河南省年均及各季 $NDVI$ 空间分布图(图 2)。从图 2 可知, 河南省 $NDVI$ 空间分布具有明显的区域性差异。中东部黄淮海平原、西南部南阳盆地及焦作北山地区 $NDVI$ 值在 0.5 至 0.6 之间; 豫西山区 $NDVI$ 空间分布差异较大, 其中伏牛山北部地区 $NDVI$ 值较低,

在 0.3 至 0.5 之间,南部地区 NDVI 值较高,在 0.6 至 0.7 之间。主要成因可能是雄伟延绵的伏牛山地所造就^[27-28]。

从各季 NDVI 的空间分布来看,河南省春季 NDVI 与夏秋两季 NDVI 空间分布存在显著差异,表明河南省 NDVI 空间分布具有明显的季节性差异。春季河南省 NDVI 值在 0.4 至 0.7 之间,东部黄淮海平原、南阳盆地 NDVI 值较高,主要与人类耕种以及

农作物、植被自身生长周期有关。夏季植被生长茂盛,NDVI 值整体较高,其中伏牛山地区、桐柏山和大别山一线及焦作北山地区等海拔较高山区 NDVI 值达到 0.8 以上;NDVI 较低值主要分布在河南省中北部地区,主要原因可能是该地区属黄河流域,地形较为平坦,人口密集,城镇化水平较高,导致该区域 NDVI 变化受人类活动影响较大^[29]。

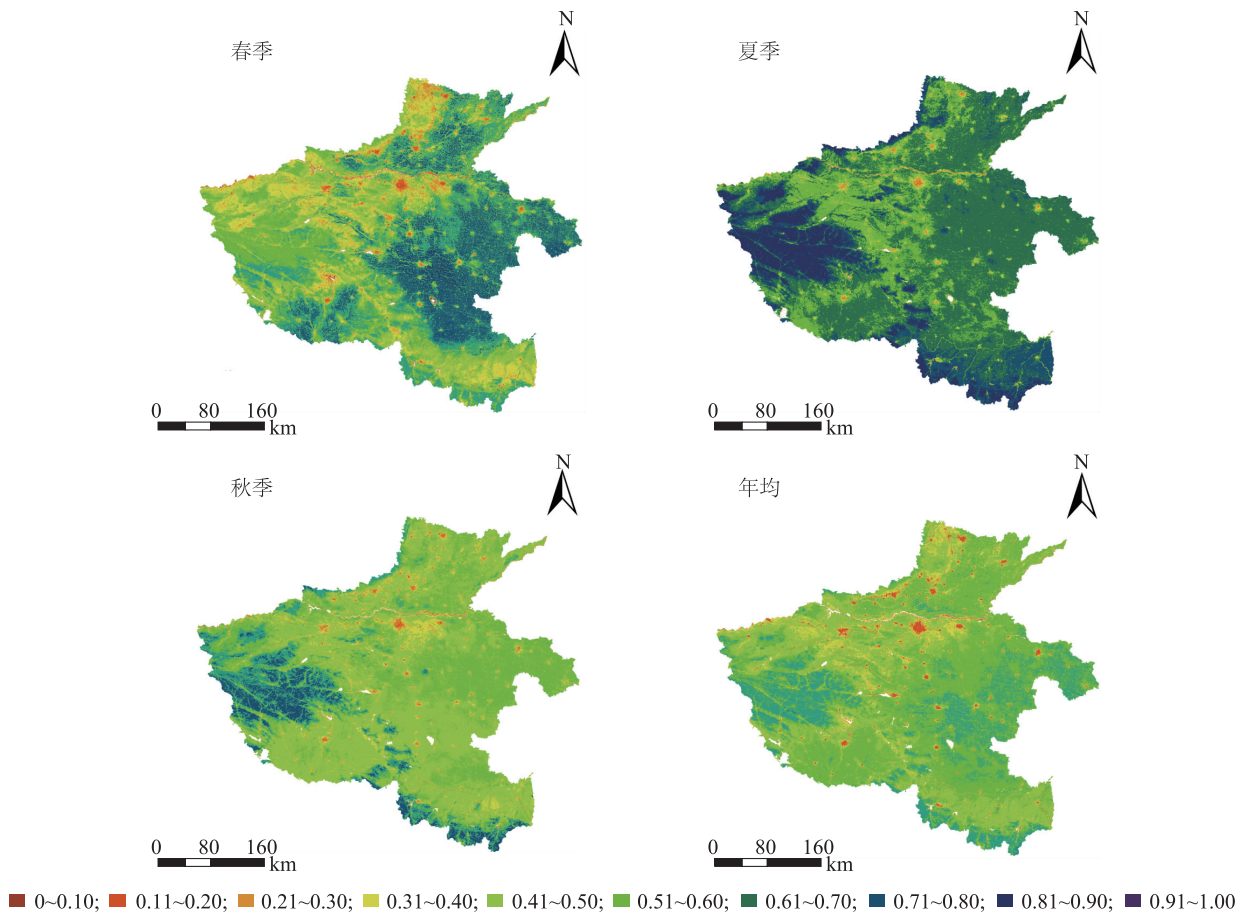


图2 河南省 2001–2016 年年均及季均 NDVI 空间分布

Fig.2 Spatial distribution of the annual average and seasonal NDVI in Henan province during 2001–2016

2.2.2 不同海拔梯度下年均 NDVI 空间特征 河南省地形起伏较大,总体呈现自东向西由平原向丘陵山地过渡的特征^[30]。不同海拔梯度下水热分配存在较大差异,影响其植被生长和覆盖。基于此,选取海拔这一地形因子,探讨不同海拔梯度下 NDVI 空间分布特征。

基于河南省西高东低的地势特点,参考《中华人民共和国地貌图集(1:1 000 000)》中中国 1:1 000 000 地貌类型空间分布数据的地貌类型划分

标准^[31],利用 ArcGIS 重分类工具将河南省海拔划分为 ≤ 50 m、50.1~100.0 m、100.1~200.0 m、200.1~500.0 m、500.1~1 000.0 m 和 $>1 000$ m 6 个级别。借助空间分析的提取分析功能,将河南省不同海拔的栅格图层作为掩膜,提取不同海拔梯度所对应的年均 NDVI 值,并进行重分类,统计得到不同海拔梯度下不同年均 NDVI 值所占面积比例(表 2)。从表 2 可知,随着海拔升高,NDVI 值整体呈先降后增的变化趋势。海拔小于 200 m 地区,NDVI 值主要

分布在 0.41 至 0.70 之间,各海拔梯度 (≤ 50.0 m、50.1~100.0 m、100.1~200.0 m) 下 *NDVI* 值为 0.41~0.70 所占面积比例分别为 97.66%、92.08%、87.07%;海拔 200~500 m 地区,*NDVI* 主要分布在 0.31 至 0.60 之间,*NDVI* 值为 0.31~0.60 所占面积

表 2 河南省 2001–2016 年不同海拔梯度下年均 *NDVI* 面积比例

Table 2 Proportions of the annual average *NDVI* under different altitude gradients in Henan province during 2001–2016

<i>NDVI</i> 分级	不同海拔梯度下不同 <i>NDVI</i> 值所占面积比例 (%)					
	<50 m	50~100 m	100~200 m	200~500 m	500~1 000 m	>1 000 m
<0.30	0.67	2.19	3.4	1.62	0.26	0.04
0.31~0.40	1.67	5.73	9.53	15.75	5.85	0.22
0.41~0.50	13.84	27.53	37.07	49.41	35.73	7.15
0.51~0.60	58.15	57.54	47.32	20.82	32.72	43.41
0.61~0.70	25.67	7.01	2.68	12.34	25.28	49.14
0.71~0.80	0	0	0	0.06	0.16	0.04

2.3 *NDVI* 变化趋势空间特征

2.3.1 *NDVI* 变化趋势水平分布特征 根据河南省 2001–2016 年多年年均和季均 *NDVI* 数据,采用趋势分析法计算河南省 *NDVI* 变化趋势,并采用自然分类法将结果分为显著减少、中度减少、轻度减少、基本不变、轻度增加、中度增加和显著增加 7 个等级,分级标准见表 3。同时借助 ArcGIS 平台进行空间可视化,得到年均及各季 *NDVI* 变化趋势空间分布图(图 3),并进行统计分析,得到河南省 2001–2016 年年均及各季 *NDVI* 变化趋势面积比例统计表(表 3)。从图 3、表 3 可知,河南省年均 *NDVI* 变化趋势范围在年-0.041 6 至年 0.044 3 之间,*NDVI* 增加的面积比例为 88.65%,减少的面积比例为 7.41%,基本不变的面积比例为 5.94%。*NDVI* 增加的面积比例远大于减少比例,表明河南省 *NDVI* 变化趋势整体以增加为主。*NDVI* 呈上升趋势的地区主要分布在南阳盆地和中东部平原,表明国家推行的退耕还林政策成效显著;*NDVI* 呈下降趋势的地区主要为分布

比例为 85.98%;海拔大于 500.0 m 地区,*NDVI* 主要分布在 0.41 至 0.70 之间,各海拔梯度 (500.1~1 000.0 m 和 >1 000.0 m) 下 *NDVI* 值 0.4~0.70 所占面积比例分别为 93.73%、99.70%。

在河南省北部的城市群,该区域人口密集,人类活动频繁,表明人类活动对该区域 *NDVI* 变化起负向作用^[32]。

从季均 *NDVI* 变化趋势来看,各季 *NDVI* 变化趋势的区域性差异显著,*NDVI* 增加的面积比例均大于 *NDVI* 减少的面积比例。春季 *NDVI* 增加的面积比例为 70.29%,其中显著增加的面积比例达到 14.38%,主要分布在河南省东部平原和南阳盆地,该区域属于河南省重要的粮食生产区,农业耕作活动频繁,自 2000 年以来,河南省实施可持续发展战略,退耕还林政策持续推行,农业用地逐渐向草地、林地转化,植被覆盖率得到一定改善。*NDVI* 减少的面积比例为 19.5%,主要分布在伏牛山及北部城市群。夏季和秋季 *NDVI* 变化趋势基本一致,其中增加的面积比例达到最大,分别为 84.25% 和 84.12%,主要分布在豫西山区和信阳地区,该地区地形复杂,海拔较高,人类活动对植被的影响较小,植被类型逐渐丰富。

表 3 河南省 2001–2016 年年均及季均 *NDVI* 变化趋势面积比例

Table 3 Proportions of the annual average and seasonal *NDVI* change trend in Henan province during 2001–2016

<i>NDVI</i> 斜率 (<i>k</i>) 分级	变化趋势	面积比例 (%)			
		春季	夏季	秋季	年均
$k \leq -0.010$	显著减少	3.50	1.15	0.53	0.91
$-0.010 < k \leq -0.005$	中度减少	4.83	1.99	1.77	1.86
$-0.005 < k \leq -0.001$	轻度减少	11.17	5.44	6.06	4.64
$-0.001 < k \leq 0.001$	基本不变	10.21	7.17	7.52	5.94
$0.001 < k \leq 0.005$	轻度增加	26.90	34.81	31.56	33.68
$0.005 < k \leq 0.010$	中度增加	29.01	39.11	43.43	43.19
$k > 0.010$	显著增加	14.38	10.33	9.13	9.78

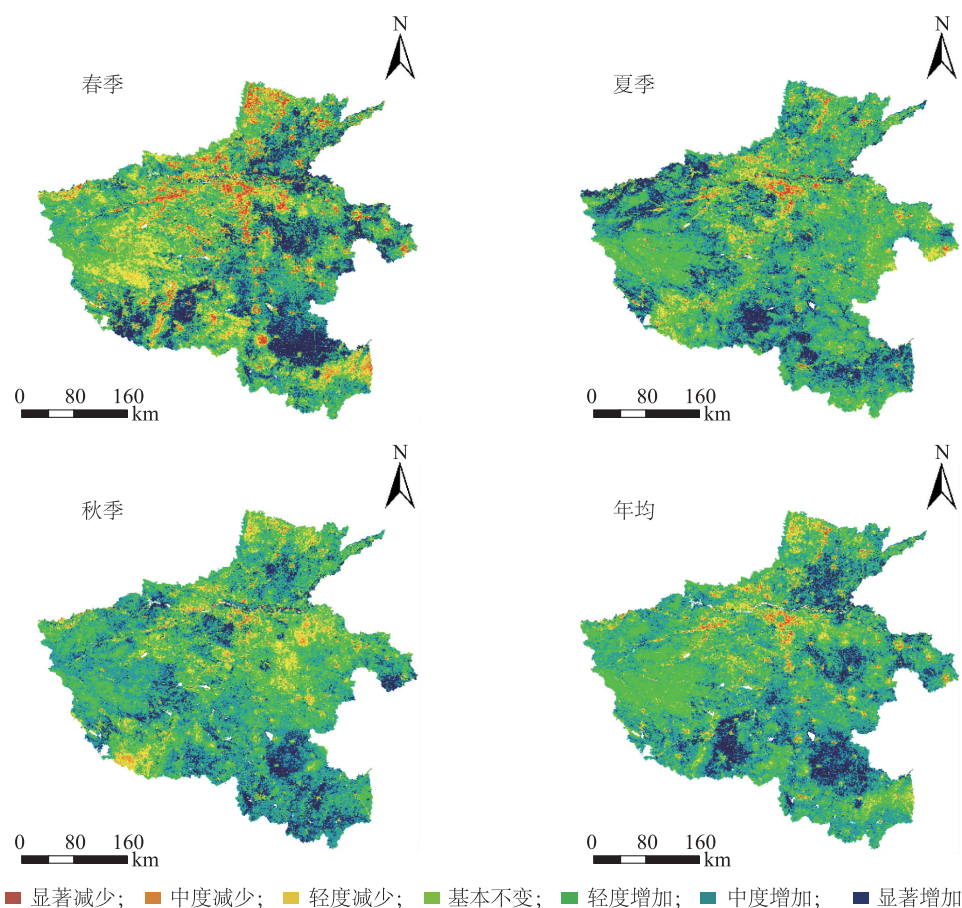


图3 河南省 2001–2016 年年均及季均 NDVI 变化趋势空间分布

Fig.3 Spatial distribution of the annual average and seasonal NDVI trend in Henan province during 2001–2016

2.3.2 不同海拔梯度下 NDVI 变化趋势空间特征

运用 ArcGIS 叠置分析工具分别将海拔分级图与年均及各季 NDVI 变化趋势空间分布图叠加,最终统计得到不同海拔梯度下 NDVI 变化趋势的面积比例(图4)。从图4可知,不同海拔梯度下 NDVI 变化趋势整体以增加为主,面积比例都达到 75%以上,其中 NDVI 轻度增加和中度增加的面积比例最大。

随着海拔升高,年均 NDVI 中度增加和显著增加的面积比例逐渐下降,主要位于南阳盆地;轻度增加的面积比例逐渐上升,主要位于豫西伏牛山地区。NDVI 减少的面积比例呈现先升后降的变化特征,这与 NDVI 呈增加趋势的水平方向空间分布一致。在气候变暖大背景下,海拔变化所引起的气候变化效应对植被覆盖类型变化具有重要影响。从季节性 NDVI 变化趋势来看,春季 NDVI 出现减少的面积比例最大,夏季和秋季 NDVI 以基本不变和增加趋势为主。

3 结论

本研究利用 2001–2016 年 MODIS-NDVI 数据,结合河南省 DEM 高程数据,对河南省 16 年间 NDVI 时空变化特征进行分析,探究不同海拔梯度下 NDVI 差异特征,明确了河南省不同地形单元 NDVI 分布差异。研究结论如下:(1)从时间变化来看,2001–2016 年河南省 NDVI 整体呈增长趋势,增长率为年 0.005,近 16 年河南省植被状况明显改善,表明退耕还林、还草政策成效显著。(2)从空间变化来看,2001–2016 年河南省 NDVI 空间分布具有明显的区域性差异特征。以伏牛山为界,南部地区 NDVI 值明显高于北部地区,应该是气候变暖背景下伏牛山山地水热阻隔效应引起植被覆盖类型变异所引起。东部平原春季 NDVI 比秋季较高,主要与农作物耕作制度、植被生长周期有关。河南省 NDVI 增加区域的面积比例达到 88.65%,主要位于东部平原及

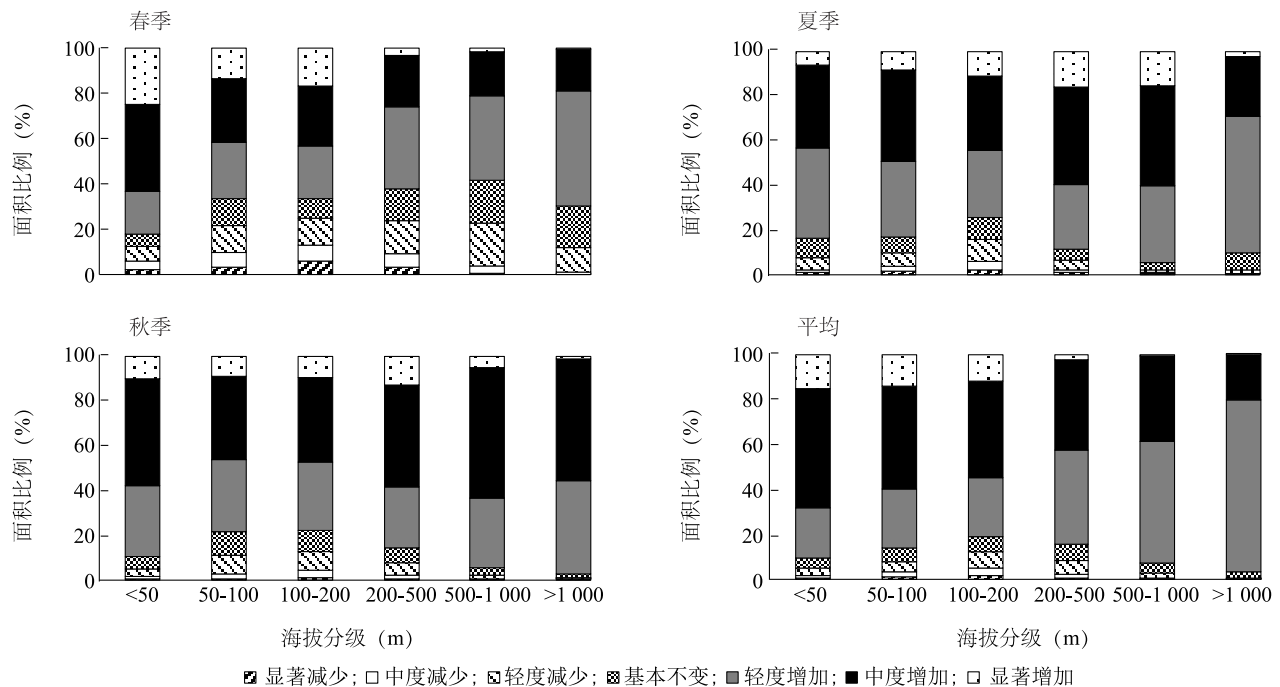


图4 河南省2001–2016年不同海拔梯度下年均及季均NDVI变化趋势面积比例

Fig.4 Proportions of the annual average and seasonal NDVI change trend under different altitude gradients in Henan province during 2001–2016

南阳盆地,主要得益于退耕还林政策和生态保护的持续推行;NDVI减少区域主要位于河南省北部城市群,主要与人类活动和城镇化的快速发展相关。(3)不同海拔梯度下年均及季均NDVI变化趋势整体以轻度增加和中度增加为主,面积比例达到75%以上。随着海拔升高,年均NDVI中度增加和显著增加面积比例逐渐减小,主要位于南阳盆地;轻度增加面积比例逐渐上升,主要位于豫西伏牛山地区,与上面NDVI呈增加趋势的空间分布一致,而豫西伏牛山等高海拔地区多年来NDVI的轻度减少应该与气候变化密切相关^[33]。

以上针对河南省NDVI时空变化的分析,基本可以得出NDVI变化是人类活动、气候变化、地形地貌等因素共同作用的结果。东部平原和南阳盆地NDVI增加得益于退耕还林、还草生态建设政策的推行,北部城市群NDVI减少主要与人类经济开发活动和城镇化用地快速扩展有关联。2000年以来,河南省实施可持续发展战略,开展封山育林等生态保护工作,该区域植被覆盖得到一定改善。在河南省未来社会发展过程中,增强植被生态保护意识、合理土地利用规划、实施中高海拔地区生态用地保护是需要重点关注的内容。

NDVI和EVI是MODIS数据最常用的2种植被指数,NDVI对植被覆盖稀疏地区植被变化较为敏感,在植被覆盖程度较好地区则存在饱和现象。本研究采用NDVI作为表征植被覆盖变化的指标,存在一定的局限性,后续研究可结合植被指数EVI或土地利用类型等指标对其进行补充分析。植被覆盖变化与气候变化、地形地貌等多重因素密切相关,本试验仅初步探讨了结合地形数据的NDVI时空分布特征,未将研究区NDVI与气候变化的关系纳入研究,事实上,在气候变暖大背景下,地形起伏变化所引起的气候变化效应对植被覆盖类型变化具有重要影响。在未来研究中可结合河南省同期气温、降水量数据,进一步开展该区域NDVI变化对气候因子的响应特征研究。

参考文献:

- [1] 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, 17(6): 921–928.
- [2] JACKSON R B, RANDERSON J T, CANADELL J G, et al. Protecting climate with forests[J]. Environmental Research Letters, 2008, 3(4): 269.
- [3] 王永财,孙艳玲,王中良. 1998–2011年海河流域植被覆盖变

- 化及气候因子驱动分析[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 594-602.
- [4] WANG Q, ZHANG Q P, ZHOU W. Grassland coverage changes and analysis of the driving forces in Maqu County[J]. Physics Procedia, 2012, 33: 1292-1297.
- [5] 安佑志, 高 炜, 高志强, 等. 中国北方地区秋季植被变化及对气候变化的响应研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(11): 25-29.
- [6] LEE R, YU F, PRICE K P, et al. Evaluating vegetation phenological patterns in inner mongolia using NDVI time-series analysis [J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(12): 2505-2512.
- [7] 黄启厅, 曾志康, 谢国雪, 等. 基于高时空分辨率遥感数据协同的作物种植结构调查[J]. 南方农业学报, 2017, 48(3): 552-560.
- [8] 罗 敏, 古丽·加帕尔, 郭 浩, 等. 2000-2013年塔里木河流域生长季NDVI时空变化特征及其影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2017, 32(1): 50-63.
- [9] 崔娟敏, 季文光, 李洋宰. 基于NDVI的山区土地生态环境质量时空变化研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(8): 264-267.
- [10] 童晓伟, 王克林, 岳跃民, 等. 桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3425-3434.
- [11] SCANLON T M, ALBERTSON J D, CAYLOR K K, et al. Determining land surface fractional cover from NDVI and rainfall time series for a savanna ecosystem [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 82(2): 376-388.
- [12] 王丝丝, 于兴修, 刘正佳. 沂蒙山区植被NDVI的时空特征及其对水热条件的响应[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(1): 61-68.
- [13] 边 琳, 叶 飞, 刘珊珊, 等. 基于NDVI的昆明市2001-2015年植被覆盖变化趋势分析[J]. 山东农业科学, 2018, 50(1): 107-110.
- [14] 马守存, 保广裕, 郭 广, 等. 1982-2013年黄河源区植被变化趋势及其对气候变化的响应[J]. 干旱气象, 2018, 36(2): 226-233.
- [15] 颜 明, 贺 莉, 王随继, 等. 基于NDVI的1982-2012年黄河流域多时间尺度植被覆盖变化[J]. 中国水土保持科学, 2018(3): 86-94.
- [16] 张含玉, 方怒放, 史志华. 黄土高原植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应[J]. 生态学报, 2016, 36(13): 3960-3968.
- [17] 樊鹏飞, 孟 悦, 梁流涛, 等. 耕地生态安全评价及时空格局分析——以传统农业区河南省周口市为例[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2017, 47(1): 16-23.
- [18] 王新闯, 刘文锴, 杨会军, 等. 河南省植被覆盖度及其景观格局时空变化[J]. 水土保持通报, 2015, 35(6): 241-247.
- [19] 张 黛, 曹艳萍. 基于MODIS-NDVI数据的河南省植被时空动态变化研究[J]. 白城师范学院学报, 2016, 30(11): 21-25.
- [20] 张静静, 刘亚亭, 朱连奇. 2000-2014年豫西山地植被NDVI时空变化特征分析[J]. 河南科学, 2015(8): 1440-1445.
- [21] 王俊霞, 朱秀芳, 刘宪锋, 等. 基于多源遥感数据的旱情评价研究——以河南省为例[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(1): 180-186.
- [22] 陈燕丽, 罗永明, 莫伟华, 等. MODI NDVI 与 MODIS EVI 对气候因子响应差异[J]. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1802-1812.
- [23] 赵紫薇. 1982-2013年青藏高原植被动态变化时序分析[J]. 测绘科学, 2017, 42(6): 62-70.
- [24] 袁沫汐, 邹 玲, 林爱文, 等. 湖北省地区植被覆盖变化及其对气候因子的响应[J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5315-5323.
- [25] STOW D, DAESCHNER S, HOPE A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of alaska in the 1990s[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(5): 1111-1117.
- [26] 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.
- [27] 马建华. 试论伏牛山南坡土壤垂直分异规律——兼论亚热带北界的划分[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 998-1011.
- [28] 张静静, 郑 辉, 朱连奇, 等. 豫西山地植被NDVI及其气候响应的多维变化[J]. 地理研究, 2017, 36(4): 765-778.
- [29] 陈 聪, 刘彦随. 我国农区城镇化时空格局及其影响因素——以河南省为例[J]. 经济地理, 2014, 34(12): 48-54.
- [30] 李京忠, 刘咏梅, 冯非凡, 等. 河南省植被覆盖度的时空变化特征[J]. 湖北农业科学, 2015(16): 3908-3910.
- [31] 中华人民共和国地貌集编辑委员会. 中华人民共和国地貌图集(1:1 000 000)[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [32] 王新闯, 王世东, 张合兵. 基于MOD17A3的河南省NPP时空格局[J]. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2797-2805.
- [33] 张静静. 豫西山地NDVI时空变化及其对气候因子的响应[D]. 开封: 河南大学, 2016.

(责任编辑: 张震林)