

# 近32年黄河流域植被覆盖时空演化遥感监测

贺振<sup>1</sup> 贺俊平<sup>1,2</sup>

(1. 商丘师范学院环境与规划学院, 商丘 476000; 2. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127)

**摘要:** 植被覆盖动态变化及其空间格局演化研究是了解土地资源和环境变化的重要方式,对科学合理地改善生态环境具有重要意义。基于1982—2013年GIMMS-NDVI时序数据,运用均值法、变异系数法、趋势分析法、Hurst指数法,分析了黄河流域植被覆盖时空格局和演化趋势。结果表明:在时间上,黄河流域32a来NDVI月平均波峰值主要出现在5—9月份,其中以8月份的0.546居首。在年际变化方面,黄河流域植被覆盖呈现较为缓慢的增长趋势,增速为0.018/(10a);在植被覆盖变异方面,黄河流域在1982—2013年间NDVI变化总体处于低态势的波动过程,其中变异系数小于0.1的低波动变化的区域占流域总面积的53.88%;在空间分布上,黄河流域NDVI多年均值小于0.4的低植被覆盖区域约占流域总面积的24.65%,大于0.6的植被覆盖较好的区域约占流域总面积的45.73%,植被分布从北至南呈阶梯状逐渐增强的变化态势;在变化趋势上,32a间黄河流域植被覆盖整体在不断完善,约59.49%的地区植被覆盖得到了改善,约33.96%的区域植被覆盖基本没有发生变化;在变化可持续性方面,黄河流域未来植被覆盖变化类型主要是基本不变和持续改善2类,分别占流域总面积的33.56%和58.81%。

**关键词:** 植被覆盖; 归一化植被指数; 时空演化; 黄河流域

中图分类号: TP751; Q948

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2017)02-0179-07

## Remote Sensing on Spatio-temporal Evolution of Vegetation Cover in the Yellow River Basin during 1982—2013

HE Zhen<sup>1</sup> HE Junping<sup>1,2</sup>

(1. College of Environment and Planning, Shangqiu Normal University, Shangqiu 476000, China

2. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China)

**Abstract:** It is an important way to understand the change of land resources and the environment by studying vegetation dynamic change and spatio-temporal evolution, which has important sense to improve the ecological environment scientifically. The spatio-temporal variation of vegetation cover in the Yellow River Basin was analyzed with mean method, variation coefficient method, trend analysis method and Hurst index, based on GIMMS-NDVI time series data (1982—2013). The results showed that the peaks of monthly average NDVI over the last 32 years were occurred mainly in the period of May to September from 1982 to 2013 in the Yellow River Basin, and the maximum was 0.546 in August. In annual variation, the vegetation cover had an increasing trend at the rate of 0.018/(10a). In the NDVI variation, the low fluctuation of NDVI was in leading position in the Yellow River Basin during 1982—2013, the area with variation coefficient less than 0.1 accounted for 53.88% of the total area. In spatial distribution of annual average of NDVI, the vegetation distribution pattern presented a stepped increasing trend from north to south. The area with mean annual of NDVI less than 0.4 accounted for 24.65% of the total area in the Yellow River Basin, and about 45.73% in better vegetation cover with mean annual of NDVI more than 0.6. In changing trend, as a whole, the vegetation cover showed a trend towards improvement over the last 32 years in the Yellow River Basin. Areas showing a trend towards improvement accounted for about 59.49% of the total area, and the area with no change accounted about 33.96%. In sustainable changes, the future changing type of vegetation cover would be unchanged and continuously improved, which accounted for 33.56% and 58.81% of the total area in the Yellow River Basin, respectively.

**Key words:** vegetation cover; NDVI; spatio-temporal evolution; Yellow River Basin

收稿日期: 2016-06-19 修回日期: 2016-07-28

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(U1304404)、2014年河南省哲学社会科学规划项目(2014CJJ087)、2015年度河南省教育厅人文社会科学重点项目(2015-ZD-085)和2017年度河南省高等学校重点科研项目(17A170003)

**作者简介:** 贺振(1977—),男,副教授,博士,主要从事遥感定量反演与农业环境监测研究, E-mail: hezh911@yeah.net

## 引言

生态退化是目前全球环境变化面临的主要问题,它不仅阻碍社会、经济的持续发展,而且威胁人类的生存与发展。作为自然生态系统中最活跃的因子,植被在地球系统中扮演了重要的角色。植被是连接大气、水体、土壤的自然纽带,在保持土壤、调节大气、维持生态系统稳定等方面具有十分重要的作用,已成为地球生态系统主要指标之一<sup>[1]</sup>。植被覆盖时空变化不仅体现了生态环境质量本身的变化,而且也体现了自然和人类对生态环境的作用过程<sup>[2]</sup>。由于黄河流域特殊的地理位置和气候条件,流域生态环境非常脆弱,已经成为中国乃至世界水土流失最为严重的地区之一,植被覆盖变化的动态监测对本区生态环境保护具有重要意义。对地表植被时空变化研究将有助于了解区域生态环境质量,掌握生态系统植被变化过程及影响机制,预知未来生态环境发展趋势。随着遥感技术的发展,归一化植被指数(Normalized different vegetation index, NDVI)已成为研究地表植被覆盖变化的重要监测指标之一,在水土保持、生态环境系统研究等领域都有广泛应用。在流域植被覆盖遥感监测方面,我国学者基于NDVI数据从流域尺度利用不同研究方法,对黄河流域、海河流域、淮河流域<sup>[3-7]</sup>等流域和其它地区<sup>[8-13]</sup>的植被覆盖变化做了大量研究工作,很好地揭示了研究区植被覆盖时空变化规律,得出了许多有意义的结论。植被覆盖变化过程是在自然与人类活动长期共同作用下的综合结果,其变化规律和发展趋势需要长期的观察才能得到科学的结论。然而,目前在流域植被覆盖研究方面,尤其是对黄河流域植被覆盖研究方面,研究时限大多集中于较短的时间段内,而对长时间尺度的植被覆盖时空变化特征的研究相对较少,这与植被覆盖变化需长期连续监测的基本要求不相符,也与植被覆盖发展变化的自然规律不一致,给植被覆盖变化的准确研究和有效评估带来了影响。

鉴于此,本文利用32 a(1982—2013)长时间序列GIMMS(Global inventor modeling and mapping studies)数据,运用趋势分析、变异分析、Hurst指数分析等方法,研究黄河流域植被覆盖的时空格局、演化规律和可持续性特征,进一步了解在全球变化背景下黄河流域植被覆盖的发展变化过程,掌握自然环境变化规律及发展趋势,以为黄河流域生态环境保护提供依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

黄河流域位于我国干旱、半干旱和半湿润地区,介于 $96^{\circ}\sim 119^{\circ}\text{E}$ 、 $32^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$ ,东西长约1 900 km,南北宽约1 100 km,总面积约 $8.0\times 10^5\text{ km}^2$ (图1)。黄河流域发源于青海巴颜喀拉山,从西到东横跨青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和黄淮海平原4个地貌单元,西部地区平均海拔高度在4 000 m以上,由一系列高山组成;中部地区海拔高度在1 000~2 000 m之间,主要为黄土地貌;东部由黄河冲积平原组成,海拔不超过100 m。黄河流域人口众多,地理和气候条件十分复杂,其人口、资源、环境与可持续发展一直是人们所关注的焦点。

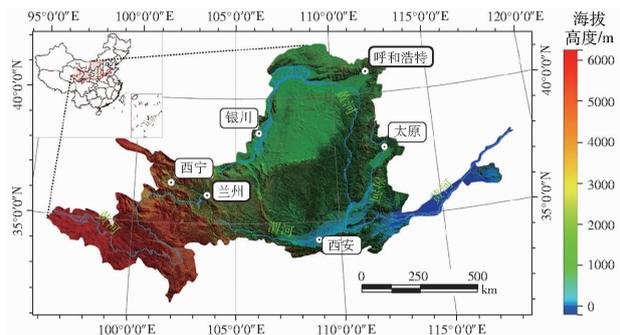


图1 黄河流域位置示意图

Fig. 1 Location of the Yellow River Basin

### 1.2 数据来源与处理

本文所用GIMMS-NDVI时序数据为美国全球检测与模型组发布的15 d合成的最大值NDVI数据集,其空间分辨率为8 km,时间跨度为1982—2013年,该数据是目前时间最长的NDVI序列数据集。GIMMS-NDVI数据每月2景(上半月和下半月),自1982年至2013年共计768景影像。为了进一步去除云的影响,采用最大值合成法获得了1982—2013年月尺度的NDVI数据。本数据在制备过程中已经进行了辐射校正、几何校正、除云、除坏线等预处理,保证了数据质量。在数据预处理过程中,主要采用ENVI遥感图像处理软件对NDVI图像进行了裁剪、数据格式转换、投影转换等处理,结合ArcGIS软件的栅格空间分析工具,对预处理后的遥感影像进行栅格图像的数学运算、函数运算、重分类等操作,以获取变异系数、Hurst指数、回归趋势斜率等数据,并分别按照指标等级进行面积计算和统计。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 均值法

分别取1982—2013年各月最大化NDVI的32 a平均值,然后再进行像元区域平均值计算,代表研究区逐月NDVI的基本情况,并制作NDVI月际变化

图,以分析 NDVI 的月际变化特征。其次,逐年对最大化 NDVI 值取区域像元平均值,代表当年植被覆盖基本情况,并制作 NDVI 年际变化图,以分析黄河流域 NDVI 年际变化特征。通过分析 NDVI 的月际和年际变化特征,了解黄河流域 NDVI 的时间变化特征。

为了进一步研究 NDVI 在 1982—2013 年间的空间分布整体格局,对逐年最大化 NDVI 值进行平均计算,计算每个栅格单元 32 a 的 NDVI 平均值,得到黄河流域 NDVI 多年平均值的空间分布格局。

### 1.3.2 变异系数法

变异系数是衡量各观测值变异程度的一个统计量,为标准差与平均数的比值。本文用变异系数表征每个像元在 1982—2013 年间 NDVI 值的变化情况。变异系数越大,则说明时间序列数据波动较大,时序不稳定;反之,则表明时间序列数据分布较为集中,时序较为稳定。变异系数的计算方法为

$$C_V = \frac{\sigma}{NDVI} \quad (1)$$

式中  $C_V$ ——变异系数

$\sigma$ ——NDVI 时间序列数据标准差

$NDVI$ ——像元在 1982—2013 年间 NDVI 的 32 a 均值

### 1.3.3 Hurst 指数分析法

Hurst 指数用于定量描述时间序列数据的可持续性,最早由英国水文学家 HURST 提出<sup>[14]</sup>,在气候学、水文学等领域得到了广泛应用<sup>[15-16]</sup>。具体计算过程如下:

定义 NDVI 时间序列为  $NDVI_{(t)}$ ,其中  $t = 1, 2, \dots, n$ ,对于任意正整数  $\tau \geq 1$ ,该时间序列的均值序列为

$$\overline{NDVI}_{(\tau)} = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} NDVI_{(i)} \quad (\tau = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

累积离差序列为

$$X_{(t,\tau)} = \sum_{i=1}^{\tau} (NDVI_{(t)} - \overline{NDVI}_{(\tau)}) \quad (3)$$

极差序列为

$$R_{(\tau)} = \max X_{(t,\tau)} - \min X_{(t,\tau)} \quad (1 \leq t \leq \tau; \tau = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

标准差序列为

$$S_{(\tau)} = \left[ \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} (NDVI_{(i)} - \overline{NDVI}_{(\tau)})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\tau = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

计算 Hurst 指数为

$$\frac{R_{\tau}}{S_{\tau}} = (c\tau)^H \quad (6)$$

式中  $H$ ——Hurst 指数  $c$ ——比例参数

对式(6)两边取对数,在双对数坐标系( $\ln(R_{\tau}/S_{\tau})$ ,  $\ln\tau$ )用最小二乘法拟合,得出直线斜率即为 Hurst 指数。当  $H = 0.5$  时,表明 NDVI 时间序列是完全独立的,没有相关性或只是短程相关;当  $0 < H < 0.5$  时,表明 NDVI 时间序列数据具有反持续性,未来的变化状况与过去趋势相反,且  $H$  值越小,反持续性越强;当  $0.5 < H < 1$  时,表明未来的变化状况与过去趋势一致,且  $H$  值越大,持续性越强。

### 1.3.4 趋势线分析法

趋势线分析法能很好地模拟影像中每个栅格像元的变化趋势,可综合反映研究区植被覆盖时空格局变化特征。本文采用此方法来模拟 1982—2013 年黄河流域年均 NDVI 的空间变化趋势。计算公式为

$$k = \frac{32 \sum_{i=1}^{32} (iNDVI_i) - \sum_{i=1}^{32} i \sum_{i=1}^{32} NDVI_i}{32 \sum_{i=1}^{32} i^2 - \left( \sum_{i=1}^{32} i \right)^2} \quad (7)$$

式中  $k$  为 1982—2013 年的回归趋势斜率,32 为监测时间段内的总年数, $NDVI_i$  为第  $i$  年像元的 NDVI 最大值。某像元的趋势线值就是这个像元 NDVI 在 32 a 间用一元线性回归模拟的一个总变化趋势,这个趋势并不是简单的最后一年与第一年的连线。如果  $k$  值为正,表示 NDVI 值随时间变化不断升高,区域植被覆盖度呈增加趋势,且数值越大增加趋势越明显;反之,若  $k$  值为负,表明 NDVI 值随时间变化呈下降趋势。

## 2 结果与分析

### 2.1 NDVI 时间分布特征

黄河流域全年 NDVI 月平均值变化呈现先增长后降低的发展过程(图 2),波峰主要出现在 5—9 月份,NDVI 值分别为 0.403、0.459、0.521、0.546、0.498,其中最大值为 8 月份的 0.546。其次,黄河流域全年 NDVI 月最大值主要出现在 5—8 月份,NDVI 分别为 0.940、0.947、0.943、0.929。

从年际变化情况来看(图 3),1982—2013 年黄河流域地区植被覆盖呈现较为缓慢的增长趋势,增速为 0.018/(10 a)。其中,NDVI 最大值为 2012 年的 0.646,最小值为 1982 年的 0.531;相比上一年 NDVI 变化较大的为 2011 年和 2012 年,相对变化率分别为 -4.16% 和 7.62%;对各年增长率变化统计分析后发现,相对上一年黄河流域 NDVI 增长率为正的年份共有 18 年,增长率为负的年份共有 13 年。总之,从年际变化和增长率分布来看,黄河流域

NDVI 正在不断增加, 植被覆盖情况在不断改善。

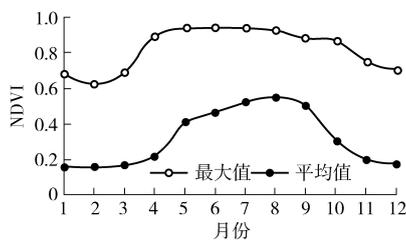


图2 黄河流域月际 NDVI 变化曲线

Fig. 2 Monthly variation curves of NDVI in the Yellow River Basin

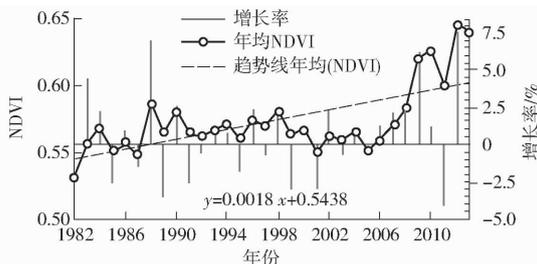


图3 黄河流域年际 NDVI 变化曲线

Fig. 3 Annual variation curves of NDVI in the Yellow River Basin

## 2.2 NDVI 空间分布特征

为了研究黄河流域 1982—2013 年 NDVI 的空间分布格局, 从像元尺度计算了 NDVI 的 32 a 平均值, 并绘制 NDVI 空间分布图(图 4)。32 a 来黄河流域植被覆盖状况整体较好, 植被指数很低( $0 < NDVI < 0.2$ )的区域面积为  $2.12 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占区域总面积的 2.57%, 主要分布在流域北部地区; 较低的植被覆盖区( $0.2 \leq NDVI < 0.4$ )占流域总面积的 22.08%, 主要分布在流域的西北部; 植被覆盖一般( $0.4 \leq NDVI < 0.6$ )的区域面积为  $2.44 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占流域总面积的 29.63%, 主要分布在流域中部区域; NDVI 值大于 0.6 的高植被覆盖区面积为  $3.77 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占流域总面积的 45.73%, 主要分布在黄河流域的南部区域。黄河流域植被分布从北至南呈阶梯状逐渐增强的变化趋势, 这主要与该流域的自然条件和降水分布有很大关系。

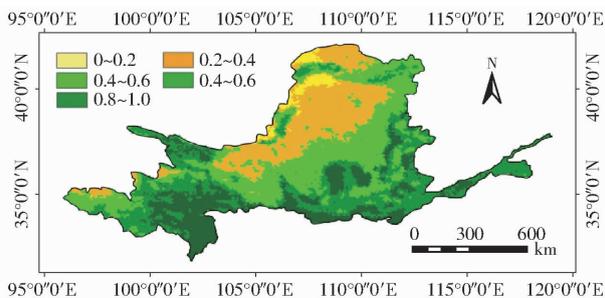


图4 黄河流域年均 NDVI 空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of annual average of NDVI in the Yellow River Basin

## 2.3 植被覆盖的变异分析

根据黄河流域 1982—2013 年各像元 NDVI 值变异性计算结果, 绘制流域植被覆盖波动状态图(图 5), 并依据计算结果和流域实际情况, 将变异值划分为 5 个等级。黄河流域在 1982—2013 年间 NDVI 变化总体处于低态势的波动变化过程。其中, 低波动变化( $0 < C_v < 0.05$ )的区域面积约为  $1.71 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占流域总面积的 20.67%, 较低波动变化( $0.05 \leq C_v < 0.1$ )的区域面积为  $2.74 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占流域总面积的 33.21%, 二者总和约占流域总面积的 53.88%, 主要分布于流域的南部地区; 中波动变化( $0.1 \leq C_v < 0.15$ )的区域面积约为  $1.97 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占流域总面积的 23.9%; 流域内较高波动变化( $0.15 \leq C_v < 0.2$ )和高波动变化( $C_v \geq 0.2$ )的区域面积总和约为  $1.83 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 仅占流域总面积的 22.22%, 主要分布于流域的中部和北部区域。植被覆盖年际波动变化主要由气候波动所引起, 由于南部区域降水比较稳定, 而北部地区由于特殊的地理和气候条件, 生态环境比较脆弱, 降水的不稳定带来了植被生长变化的多样性。

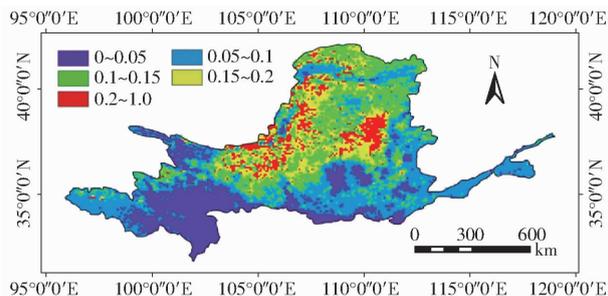


图5 黄河流域植被变异空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of variation coefficient of NDVI in the Yellow River Basin

## 2.4 NDVI 变化趋势分析

为了研究 NDVI 在 1982—2013 年间的变化趋势, 将趋势线斜率( $k$ )划分为 5 个等级, 分别对应于不同的 NDVI 变化性质, 并绘制变化趋势空间分布图(图 6), 以反映黄河流域 NDVI 的变化趋势状况和空间分布格局。近 32 a 来黄河流域植被覆盖整体得到了改善, 仅有约  $5.39 \times 10^4 \text{ km}^2$  的地区植被呈退化趋势。其中, 明显退化区域面积( $k < -0.005$ )约为  $500 \text{ km}^2$ , 只占流域总面积的 0.07%, 轻微退化( $-0.005 \leq k < -0.001$ )区域面积为  $5.34 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占流域总面积的 6.47%, 主要分布在流域的西部区域; 黄河流域约 59.49% 的地区植被覆盖得到了改善, 主要分布于流域中东部区域, 其中轻微改善( $0.001 \leq k < 0.005$ )的区域面积为  $4.16 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占流域总面积的 50.37%, 明显改善( $k \geq 0.005$ )的区域面积

为  $7.53 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占区域总面积的 9.12%; 流域植被基本没有发生变化 ( $-0.001 \leq k < 0.001$ ) 的区域面积约为  $2.80 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占流域总面积的 33.96%。

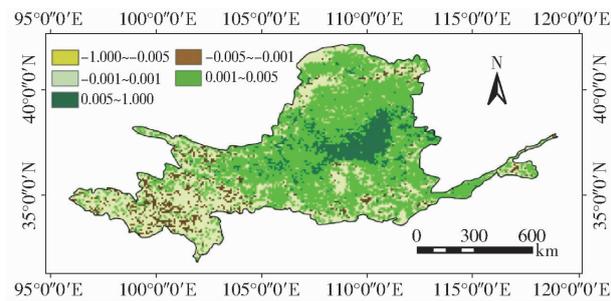


图 6 黄河流域 NDVI 变化趋势

Fig. 6 Changing trend of NDVI in the Yellow River Basin

## 2.5 NDVI 可持续性分析

基于 Hurst 指数值域和研究区实际情况,对黄河流域 NDVI 变化的可持续性进行了统计分析,得到 1982—2013 年 Hurst 指数面积统计和空间分布图(图 7)。黄河流域未来 NDVI 的发展整体上延续了过去植被变化态势。植被覆盖反持续性变化 ( $0 < H < 0.5$ ) 的区域面积为  $8.2 \times 10^3 \text{ km}^2$ , 仅占区域面积 1%; 变化不确定 ( $H = 0.5$ ) 区域面积为  $6 \times 10^3 \text{ km}^2$ , 占区域面积的 0.72%; 大部分区域的未来发展趋势将延续过去 32 a 来的发展态势,持续性发展 ( $0.5 < H \leq 1$ ) 的区域面积为  $8.11 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占区域总面积的 98.28%。

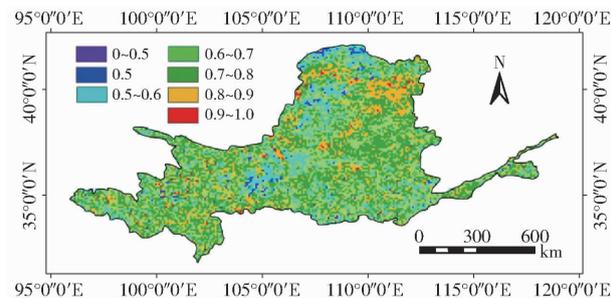


图 7 黄河流域 NDVI 可持续性空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of Hurst exponent of NDVI from 1982 to 2013

## 2.6 NDVI 综合变化分析

为进一步了解研究区植被覆盖变化趋势,将 NDVI 变化趋势图与 Hurst 指数图在 ArcGIS 中进行了耦合分析,得到了 NDVI 变化趋势与持续性组合的空间分布(图 8),并对每一组合进行了统计。黄河流域植被覆盖未来发展基本不变的区域面积约为  $2.77 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占区域总面积的 33.56%, 而未来发展方向不能确定的区域面积约为  $6.0 \times 10^3 \text{ km}^2$ , 仅占区域总面积的 0.72%; 持续性改善的区域面积比重达  $4.85 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占区域面积的 58.81%, 主要分布黄河流域的中东部区域; 持续性退化的植被覆盖

面积约为  $5.37 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占流域总面积的 6.52%, 零星分布于流域的西部地区。

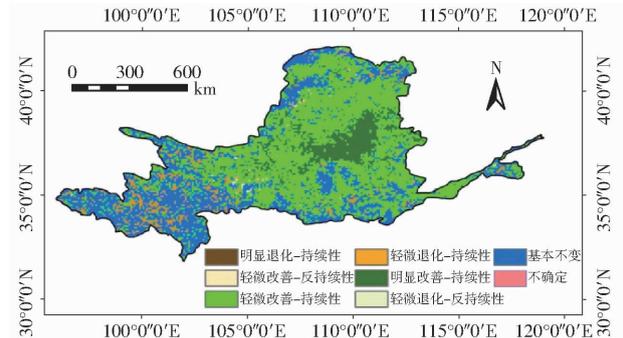


图 8 植被覆盖变化特征图空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of NDVI based on trend and Hurst exponent

## 3 讨论

本研究基于长时间序列 GIMMS - NDVI 数据,运用多种统计方法分析了黄河流域植被时空分布、变化趋势、可持续性特征。植被指数是了解植被过去、监测现状、迎接未来挑战的强有力工具<sup>[17]</sup>,而连续一致的时间序列数据是植被覆盖变化特征长期监测的基础和前提。虽然所使用的 GIMMS - NDVI 遥感时序数据空间分辨率较低,但其具有时间序列长、覆盖范围广、植被动态变化表征能力强等无可比拟的优势<sup>[18]</sup>,是公认的监测地区或全球植被变化的有效指标之一。从研究结果看,GIMMS - NDVI 能较准确、客观、有效地反映黄河流域植被宏观动态变化,为生态环境保护提供依据。监测结果符合该地区的实际情况,且与利用其它 NDVI 数据的监测结果具有一致性<sup>[19-20]</sup>。本文对研究区 NDVI 未来趋势变化的分析仅是建立在过去植被覆盖发展变化的基础上,并没有考虑未来诸如降水、气温、政策等不确定因素所带来的影响,这也是以后趋势变化分析所要考虑的问题。

植被覆盖变化是自然因素和人类活动因素综合作用的结果,其中,自然因素对植被覆盖变化具有决定性作用。然而,随着社会经济的发展,人类活动已成为影响植被覆盖变化的主要驱动力。自 1982 年以来,黄河流域植被覆盖在不断趋于改善,这主要得益于国家退耕还林(草)政策的实施。2000 年,黄河流域全面实施退耕还林(草)工程,对坡耕地和宜林荒山荒地实行退耕还林还草,并不断调整土地利用结构,改善农业生态环境。从图 3 中可以发现,在 1982 年至 2005 年间,黄河流域 NDVI 多年均值为 0.563,但自实施退耕还林(草)政策以来,NDVI 值从 2005 年的 0.552 增长到 2013 年的 0.640,其中最大值为 2012 年的 0.646。黄河流域植被覆盖整体

在不断改善,尤其是生态环境非常脆弱的黄土高原地区,植被覆盖改善较为明显,生态环境得到持续改善,这也主要归功于退耕还林(草)工程的实施。其次,对于植被覆盖波动较大的区域,表明其生态环境比较脆弱,极易受到外界因素的干扰。因此,应积极把握这些区域植被波动变化的主要原因,科学有效地改善生态环境质量。

## 4 结论

(1)与其它 NDVI 数据相比,尽管 GIMMS - NDVI 数据空间分辨率相对较低,但其时间跨度最长(32 a),从流域尺度上更能充分反映黄河流域植被覆盖时空演化特征和趋势。

(2)黄河流域植被变化具有明显的季节变化特点,最大值出现在8月份,NDVI为0.546,最小值出现在2月份,NDVI为0.148,这主要与黄河流域2月份气温相对较低且降水较少,而8月份降水相对较多有关。

(3)NDVI的年际变化趋势表明,自1982年以来,黄河流域的植被覆盖在不断增加,增速为0.018/(10 a),生态环境质量总体在不断趋于改善。从空间分布上看,黄河流域大部分地区植被覆盖状

况在不断改善,但仍有部分地区的植被呈退化趋势,主要分布于黄河流域的西部山区,约占流域总面积的6.54%,这些地区水土流失较为严重,应继续加强保护。

(4)基于 NDVI 时间序列历史数据分析发现,未来黄河流域生态环境将不断得到改善。其中,NDVI 持续性改善的面积占流域总面积的58.81%,基本不变的面积约占流域总面积的33.56%。黄河流域持续退化和未来变化趋势无法确定的区域面积虽然较小,但更需要研究人员和政府部门的格外关注。

(5)植被覆盖变化是一个缓慢复杂的过程,需要在不同时空尺度上进行长期监测研究。该研究中所用的 GIMMS - NDVI 数据的空间分辨率为8 km,时间跨度为32 a,在流域尺度上足以宏观反映研究区植被覆盖的发展变化过程。然而,植被覆盖变化是地形、气候、土地利用等自然和人文、政策等人类活动多因素综合作用的结果,不同土地利用类型上的植被变化差别较大,不同植被类型的变化过程也不尽相同。因此,应利用更高空间分辨率的遥感影像,在较小的空间尺度对地表植被进行微观研究,对流域内不同土地利用类型上的植被和不同植被类型的时空变化过程进行细致研究。

## 参 考 文 献

- 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报, 1998,2(3):204-210.  
SUN Hongyu, WANG Changyao, NIU Zheng, et al. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data[J]. Journal of Remote Sensing, 1998,2(3):204-210. (in Chinese)
- 杨胜天,刘昌明,孙睿. 近20年来黄河流域植被覆盖变化分析[J]. 地理学报, 2002,57(6):679-684.  
YANG Shengtian, LIU Changming, SUN Rui. The vegetation cover over last 20 years in Yellow River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2002,57(6):679-684. (in Chinese)
- CAO R, JIANG W G, YUAN L H, et al. Inter-annual variations in vegetation and their response to climatic factors in the upper catchments of the Yellow River from 2000 to 2010 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2014,24(6):963-979.
- 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.  
WANG Yongcai, SUN Yanling, WANG Zhongliang. Spatial-temporal change in vegetation cover and climate factor drivers of variation in the Haihe River Basin 1998—2011[J]. Resources Science, 2014,36(3):594-602. (in Chinese)
- 王情,刘雪华,吕宝磊. 基于 SPOT - VGT 数据的流域植被覆盖动态变化及空间格局特征——以淮河流域为例[J]. 地理科学进展, 2013,32(2):270-277.  
WANG Qing, LIU Xuehua, LV Baolei. Dynamic changes and spatial patterns of vegetation cover in a river basin based on SPOT - VGT data: a case study in the Huaihe River Basin[J]. Progress in Geography, 2013,32(2):270-277. (in Chinese)
- 李斌斌,李占斌,宇涛,等. 基于归一化植被指数的流域植被覆盖分形维数研究[J]. 农业工程学报, 2014,30(15):239-247.  
LI Binbin, LI Zhanbin, YU Tao, et al. Research on fractal dimension of vegetation cover based on normalized difference vegetation index in watershed scale [J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(15):239-247. (in Chinese)
- 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/OL]. 农业机械学报, 2014,45(5):205-215.  
[http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20140532&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140532&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.05.032.  
HU Yufu, JIANG Shuanglong, LIU Yu, et al. Temporal and spatial variation of vegetation coverage on Upper Anning River Based on RS[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014,45(5):205-215. (in Chinese)
- 刘洋,李诚志,刘志辉,等. 1982—2013年基于 GIMMS - NDVI 的新疆植被覆盖时空变化[J]. 生态学报, 2016,36(19):1-11.  
LIU Yang, LI Chengzhi, LIU Zhihui, et al. Assessment of spatio-temporal variations in vegetation cover in Xinjiang from 1982 to

- 2013 based on GIMMS-NDVI[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016,36(19):1-11. (in Chinese)
- 9 额尔敦格日乐,包刚,包玉龙,等. 2001—2013年西鄂尔多斯国家级自然保护区植被覆盖变化[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(1):110-116.
- ERDENEREL, BAO Gang, BAO Yulong, et al. Vegetation coverage changes in west Ordos National Natural Reserves during the period from 2001 to 2013[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016,23(1):110-116. (in Chinese)
- 10 赵健赞,彭军还. 基于MODIS NDVI的青海高原植被覆盖时空变化特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2016,30(4):67-73.
- ZHAO Jianyun, PENG Junhuan. Spatiotemporal variation of the vegetation coverage in Qinghai Plateau based on MODIS NDVI data[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016,30(4):67-73. (in Chinese)
- 11 朱会利,杨改河,韩磊. 延安市退耕过程植被覆盖度变化及其影响因子分析[J/OL]. *农业机械学报*, 2015,46(8):272-280. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20150838&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150838&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.08.038.
- ZHU Huili, YANG Gaihe, HAN Lei. Analysis of fractional vegetation coverage changes and its influence factors during farmland returned to forest period in Yan'an City[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015,46(8):272-280. (in Chinese)
- 12 孙刚,万华伟,王昌佐,等. 蒙陕甘宁能源金三角植被覆盖遥感监测与动态分析[J/OL]. *农业机械学报*, 2013,44(增刊2):247-250. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=2013s246&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s246&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.046.
- SUN Gang, WAN Huawei, WANG Changzuo, et al. Vegetation monitoring and analyzing of Golden Triangle Energy in Inner Mongolia, Shaanxi, Gansu, and Ningxia Region[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(Supp.2):247-250. (in Chinese)
- 13 马龙,王静茹,刘廷玺,等. 2000—2012年科尔沁沙地植被与气候因子间的响应关系[J/OL]. *农业机械学报*, 2016, 47(6):1-13. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160422&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160422&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.022.
- MA Long, WANG Jingru, LIU Tingxi, et al. Response relationship between vegetation and climate factors in Horqin sandy land from 2000 to 2012[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016,47(6):1-13. (in Chinese)
- 14 HURST H E. Long-term storage capacity of reservoirs[J]. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 1951, 116(12):770-808.
- 15 田义超,梁铭忠,胡宝清. 2000—2013年北部湾海岸带蒸散量时空动态特征[J/OL]. *农业机械学报*, 2015,46(8):146-158. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20150821&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150821&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.08.021.
- TIAN Yichao, LIANG Mingzhong, HU Baoqing. Temporal-spatial dynamic change characteristics of evapotranspiration in Beibu Gulf coastal zone during 2000—2013[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015,46(8):146-158. (in Chinese)
- 16 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.
- JIANG Tianhan, DENG Liantang. Some problems in estimating a Hurst exponent—a case study of applicatings to climatic change [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2004,24(2):177-182. (in Chinese)
- 17 VAN LEEUWEN WILLEM J D, ORR BARRON J, MARSH STUART E, et al. Multi-sensor NDVI data continuity: uncertainties and implications for vegetation monitoring applications[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006,100(1):67-81.
- 18 BECK HYLKE E, MCVICAR TIM R, VAN DIJK ALBERT I J M, et al. Global evaluation of four AVHRR-NDVI data sets: intercomparison and assessment against Landsat imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011,115(10):2547-2563.
- 19 张亚玲,苏惠敏,张小勇. 1998—2012年黄河流域植被覆盖变化时空分析[J]. *中国沙漠*, 2014,34(2):597-602.
- ZHANG Yaling, SU Huimin, ZHANG Xiaoyong. The spatial-temporal changes of vegetation restoration in the Yellow River Basin from 1998 to 2012[J]. *Journal of Desert Research*, 2014,34(2):597-602. (in Chinese)
- 20 贺振,贺俊平. 基于SPOT-VGT的黄河流域植被覆盖时空演变[J]. *生态环境学报*, 2012,21(10):1655-1659.
- HE Zhen, HE Junping. Spatio-temporal variation of vegetation cover based on SPOT-VGT in Yellow River Basin[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012,21(10):1655-1659. (in Chinese)