

2000—2016年黄河源区植被NDVI变化趋势及影响因素

刘启兴^{1,2}, 董国涛², 景海涛¹, 周俊利^{1,2}, 党素珍², 贾培培^{1,2}

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000;

2. 黄河水利委员会 黄河水利科学研究院 水利部 黄土高原水土保持流失过程与控制重点实验室, 郑州 450003)

摘要: NDVI是研究区域植被变化的重要表征性指数。基于2000—2016年的MODIS NDVI遥感数据和同时期地面气象数据,采用非参数检验方法曼—肯德尔法(Mann-Kendall)检验法、斜率变化趋势分析法、复直线回归分析法等多种时间与空间分析方法,研究了黄河源区生长季植被覆盖时空变化及其与气候因子的相关性,探索黄河源区植被与气候变化的时空耦合关系,分析了气候因素及人类活动对植被覆盖的影响。结果表明:黄河源区NDVI在2000—2016年期间没有特别明显的突变年份;源区70.4%的区域植被NDVI是增加的,增长率大部分处于0~0.004/a。复直线回归分析显示气象因素对源区植被生长变化起到主要的促进作用,99%的区域NDVI气候因素贡献值为正值。人类活动促使植被NDVI增加的区域占总面积的比例是55%,说明人类活动等因素对黄河源区的生态环境产生一定的积极影响,但仍有接近50%的区域人类活动使NDVI减少,高寒草地的退化的趋势没有得到有效遏制。

关键词: 黄河源区; 植被变化; NDVI; 人类活动; 气候因素

中图分类号: Q948.112

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)03-0086-07

Change Trend of Vegetation NDVI and Its Influencing Factors in the Source Region of the Yellow River in the Period from 2000 to 2016

LIU Qixing^{1,2}, DONG Guotao², JING Haitao¹, ZHOU Junli^{1,2}, DANG Suzhen¹, JIA Peipei^{1,2}

(1. College of Surveying and Geotechnical Engineering, Henan Polytechnic University,

Jiaozuo, Henan 454000, China; 2. Key Laboratory of Soil and Water Loss Process and Control, Loess Plateau,

Ministry of Water Resources, Yellow River Conservancy Research Institute, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: NDVI is an important characteristic index of vegetation change. This study is based on the MODIS NDVI from 2000—2016 and the surface meteorological data at the same period. The spatial and temporal changes of vegetation cover in the growing season of the Yellow River and its correlation with climatic factors, the temporal and spatial coupling relationship between vegetation and climate change in the source region of the Yellow River and the impact of climatic factors and the human activities on vegetation cover were analyzed and explored by using non-parametric test methods such as Mann-Kendall analysis, trend analysis, and multi-linear regression analysis. The results showed that the NDVI of the source region of the Yellow River had no significant abrupt year from 2000 to 2016; the NDVI of the 70.4% of the source region increased, and the growth rate was mostly between 0~0.004 a. The meteorological factors played the major role in promoting the vegetation growth in the source region, and climatic factors contributed the positive values in 99% of the area. The proportion of areas where human activities played the positive role in NDVI increase was 55%, indicating that human activities and other factors had a certain positive impact on the ecological environment in the source region of the Yellow River, human activities had reduced NDVI in nearly 50% of regional, indica-

收稿日期: 2018-05-07

修回日期: 2018-07-19

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402400); 国家自然科学基金(51779099, 41301496); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(HKY-JBYW-2017-10)

第一作者: 刘启兴(1991—), 男, 河南郑州市人, 硕士研究生, 研究方向为遥感和水土保持。E-mail: 1012633702@qq.com

通信作者: 董国涛(1982—), 男, 山东青州市人, 高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源遥感方面研究。E-mail: dongguotao@hky. yrcc. gov. cn

ting that the trend of degraded alpine grassland had not been effectively curbed.

Keywords: source region of the Yellow River; vegetation change; NDVI; human activity; climatic factors

植被作为土地覆被系统中的主要组分,是陆地生态系统存在的基础条件,也是连接土壤、大气、水分和人类土地利用的自然“纽带”^[1]。植被是陆地表面能量交换过程、生物地球化学循环过程和水文循环过程中重要的下垫层,在土地利用、覆被变化、全球变化研究中起着“指示器”的作用。归一化植被指数(NDVI)被认为是反映植被生长状态及植被覆盖程度的最佳指示因子,是监测区域或全球植被和生态环境变化最有效指标^[2-4],监测植被动态变化以及分析其与气候关系的响应情况已经成为全球变化研究中的重要应用方向之一^[5-6]。黄河源区位于青藏高原腹地,是黄河流域上游最重要产流区和水源涵养区,也是我国生态屏障的重要保障。因此,研究黄河源区植被覆盖的变化情况,对于整个黄河流域和青藏高原生态环境系统的演变具有重大意义^[7-8]。

国内外学者利用 NDVI 数据来监测植被覆盖变化以及探寻植被覆盖与气象因子之间存在的响应关系。对 NDVI 影响因素的研究有以下 3 个思路:将提取的研究区域植被指数面平均值与气象要素进行简单相关分析或回归分析^[9];在像元尺度上进行简单相关分析^[10];选取研究区气象站点周围的 NDVI 值与对应气象站点气象数据进行简单相关分析和多元回归分析^[11]。研究发现,植被覆盖与气象因子之间存在的响应关系受地理因素的影响^[12],不同植被类型 NDVI 与气温、降水的响应程度存在一定差异,但所有植被类型与气温、降水都呈现为正相关关系^[13-14],并且这种响应关系存在一定的滞后性^[15-16]。刘宪峰等基于 MODIS NDVI 数据分析了 2000—2011 年黄河源区植被覆盖的时空变化特征及驱动因素,结果表明黄河源区植被呈增加趋势,植被覆盖的增加主要与气候的暖湿化及生态保护工程的实施有关^[17]。李辉霞等探讨了三江源地区不同植被类型对气候变化的响应,通过分离气候变化与人类活动对植被 NDVI 的贡献定量评估了生态工程对植被变化的影响,认为气候要素对该区 NDVI 的贡献大于人类活动^[18]。目前尚未有研究对黄河源区 NDVI 进行像元尺度的多元回归分析,缺乏量化区分气象因素与人类活动对黄河源区内植被指数的影响的手段。开展 NDVI 像元尺度的分析,可以准确分析研究区域内每个地点的时空变化及气象因素对小范围的影响,空间连续性和异质性能更好地体现和分析;利用多元回归分析,同时考虑多个气象因素对植被指数的影响,能准确分

析气象因素对植被指数的影响及贡献,实现气象因素与人类活动对植被指数影响的定量区分,比较准确地基于像元尺度预测未来植被覆盖状况^[19-21]。

本文利用 M-K 检验及趋势分析在像元尺度上对黄河源区 2000—2016 年植被 NDVI 进行时空变化分析,并利用相关分析法及复直线回归分析方法,定量分析气象因素和人为因素对植被动态变化的影响。

1 研究区概况

黄河源区(31.5°—36.5°N, 95.5°—103.5°E)位于青藏高原东北部,面积约 12.2 万 km²,横跨青海、四川、甘肃三省(图 1),绝大部分在海拔 3 000~5 000 m 以上,区域内分布有高山、盆地、峡谷、草甸、湖泊和冰川、冻土等地貌。由于地处高海拔寒冷地区,黄河源是对气候变化响应最敏感和生态环境最脆弱的地区。黄河源区自然环境类型多样,高寒植被分布广泛,有高寒草甸、高寒草原、高寒沼泽、高山稀疏植被、高寒灌丛、常绿针阔叶林等植被类型,其中主要以高寒草甸和高寒草原为主,其约占黄河源区总面积的 70% 以上。

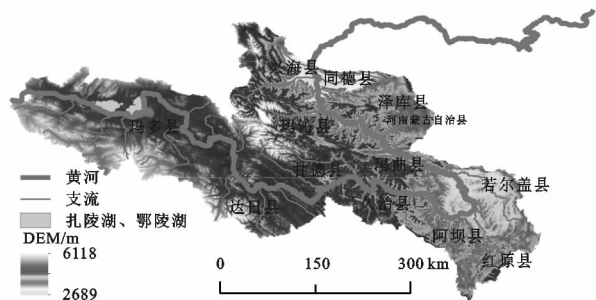


图 1 研究区位置及地形

2 数据源及分析方法

2.1 数据源

2.1.1 NDVI 数据来源及处理 本文采用遥感数据 MOD13Q1 为 NASA 网站 (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>) 免费下载,时间范围为 2000—2016 年。MOD13Q1 遥感影像数据是由美国对地观测计划 EOS/Terra 卫星携带的中分辨率成像光谱仪 MODIS (Moderate Resolution Imaging spectro radiometer) 获取的采用正弦曲线投影(SIN, sinusoidal Projection)方式的 3 级网格数据产品,具有 1 km 的空间分辨率和 16 d 的时间分辨率,单景影像覆盖面积为 1 200 × 1 200 km²,数据采用格式为 HDF—EOS。黄河源区地理范围覆盖全球正弦曲线投影 SIN 系统中编号为 h25v05 和 h26v05 的两个影像分带。

原始影像通过 MRT (MODIS Reprojection Tools) 工具统一进行投影拼接转换, 转换为 UTM 投影, 坐标系为 WGS84 坐标, 并利用黄河源区矢量边界对处理后的数据进行裁剪。为了消除云层、大气与太阳高度角等干扰影响, 将每年 NDVI 数据采用最大值合成法 (MVC, maximum Value Composites) 进行合成, 获得从 2000—2016 年的 17 幅影像图。

2.1.2 气象数据来源及处理 气温和降水数据来源于中国气象科学数据共享服务网 (<http://data.cma.cn/>) 下载的全国气象站点数据。利用研究区内站点站号, 通过 IDL 编程提取出黄河源区间内 9 个气象站点的月降水量和气温数据。由于气象因子存在空间不均匀性, 同时为了逐像元地分析气象因素和人类活动等不确定因素对植被覆盖的影响, 采用反距离权重插值法将研究区 9 个气象站点实测降水、气温数据插值为与 MODIS NDVI 数据集相同的空间分辨率栅格影像, 获得每一个像元的降水和气温数据。采用反距离权重插值法将站点实测降水、气温数据插值为与 MODIS NDVI 数据集相同的空间分辨率栅格影像。

2.2 分析方法

2.2.1 Mann-Kendall 检验法 Mann-Kendall 检验法被广泛应用在植被等的趋势分析中。其优点在于检测范围宽、人为影响小、定量化程度高。该方法对于变化要素从一个相对稳定状态变化到另一个状态的变化检验非常有效^[22]。利用 Mann-Kendall 检验法对黄河源区 MODIS NDVI 随时间序列变化的特征进行分析, 研究结果不仅从统计学意义上揭示植被随时间的变化趋势, 还揭示植被发生突变的时间段。在 Mann-Kendall 突变检验中, 对于具有 n 个样本量的时间序列 x , 构造一个秩序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

其中

$$r_i = \begin{cases} +1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

可见, 秩序列 s_k 是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计数。

在时间序列随机独立的假定下, 定义统计量:

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{var}(s_k)}} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: $UF_1 = 0$; $E(s_k)$, $\text{var}(s_k)$ 是累计数 s_k 的均值和方差, 在 x_1, x_2, \dots, x_n 相互独立, 且有相同连续分布时, 它们可由下式算出:

$$E(s_k) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (4)$$

$$\text{var}(s_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (5)$$

给定显著性水平 α , 将 UF_k 和 UB_k 两个统计量曲线和显著性水平线绘在同一个图上, 若 UF_k 和 UB_k 的值大于 0, 则表明序列呈上升趋势, 小于 0 则呈下降趋势。当超过临界直线时, 表明上升或下降趋势显著, 超过临界线的范围确定为突变的时间区域。如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点, 那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。

2.2.2 趋势分析 趋势分析是通过对一组随时间变化的变量进行线性回归分析, 从而预测其变化趋势的方法。该方法可计算研究区域监测时段内每个栅格点 NDVI 的变化趋势, 反映该区域植被 NDVI 变化的方向和速率。线性回归方法是研究植被变化趋势的常用方法, 其优点在于通过利用各个年份的数据值进行拟合, 可以消除研究时段内偶发性异常因素对植被长势的影响, 更真实地反映长时间序列植被变化趋势。

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \text{NDVI}_{gi} - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n \text{NDVI}_{gi})}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (6)$$

$$a = \overline{\text{NDVI}_g} - b \times \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

$$R = \frac{(x_n \times b + a) - (x_1 \times b + a)}{x_1 \times b + a} \times 100 \quad (8)$$

式中: x_i 表示研究时段内第 i 个年份; b 为变化趋势线的斜率; a 为截距; NDVI_g 为各个像元的 NDVI; R 为单个像元 NDVI_g 变化率; x_1 和 x_n 分别为研究时段的起始和终止年份。上述公式被广泛应用在 NDVI_g 的时间序列分析, 具有较好的稳定性^[20-22]。

2.2.3 相关性分析 采用 person 相关性分析法与 t 检验对 NDVI 与同期气象数据进行相关分析和显著性检验, 计算公式如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{NDVI}_{gi} - \overline{\text{NDVI}_g})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (\text{NDVI}_{gi} - \overline{\text{NDVI}_g})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (9)$$

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad \text{df} = n-1 \quad (10)$$

式中: y_i 表示研究时段内第 i 年的气象要素值; \bar{y} 为其多年平均值; r 为 Person 相关系数; t 为检验统计量; df 为自由度。

2.2.4 复直线回归分析 本文对 NDVI 与温度、降水之间进行复直线回归分析, 回归方程为:

$$z = a + bx + cy \quad (11)$$

参数计算公式为:

$$b=\frac{r_{xy}-r_{xy}r_{yz}}{1-r_{xy}^2}\times\frac{\sigma_z}{\sigma_x}$$
(12)

$$c=\frac{r_{yz}-r_{xy}r_{xz}}{1-r_{xy}^2}\times\frac{\sigma_z}{\sigma_x}$$
(13)

$$a=z-b\bar{x}-c\bar{y}$$
(14)

式中： $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ 为气温数据 x 、降水数据 y 和 NDVI 数据 z 的均值； $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 分别为各自数据系列的均方差； r_{xz}, r_{xy}, r_{yz} 分别是 x 和 z, x 和 y, y 和 z 的相关系数。

NDVI 模拟残差计算公式：

$$\text{residual}=\text{NDVI}-\text{NDVI}_p$$
(15)

式中：residual 为 NDVI 复直线回归方程的残差；ND-
VI 为 NDVI 时间数据集；NDVI_p 是根据复直线回归
模型预测的 NDVI 值。

3 结果与分析

3.1 黄河源区植被时空变化特征

3.1.1 黄河源区植被 NDVI 在时间上的动态变化
分析 图 2 为利用 matlab 对黄河源区 2000—2016
年的 MODIS NDVI 进行 MK 趋势检验图。

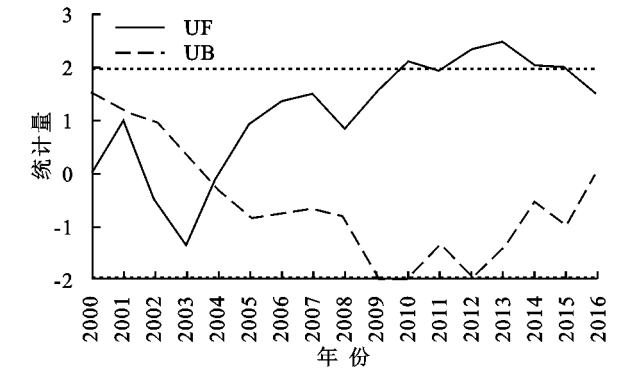


图 2 2000—2016 年黄河源区 NDVI 非参数检验

黄河源区 2000—2016 年的植被 NDVI 趋势分析
表明：UF 统计量在 2004—2016 年大于零，说明黄河
源区 NDVI 整体呈增加趋势；虽然在 2002—2004 年
UF 统计量小于零，并且 UF 线与 UB 线在 2004 年出
现交点，说明在这期间 NDVI 的变化趋势发生较大
变化，但交点统计量并未超过显著性 $\alpha<0.05$ 的临界
值 1.96，大体可以判断出黄河源区 NDVI 在 2000—
2016 年期间整体比较平稳，没有特别明显的突变年
份；从 2010 年起 UF 统计量超过了显著性 $\alpha<0.05$
的临界值 1.96，说明黄河源区 NDVI 在 2010 年后增
长趋势显著。

3.1.2 黄河源区植被 NDVI 在空间上的动态变化
分析 图 3 为源区植被 NDVI 年际变化趋势空间分
布图，由图可以看到大部分区域呈浅色，说明 2000—2016
年黄河源区大部分区域 NDVI 是增加的，大部分区域
的变化趋势为 $0\sim0.004/a$ ，变化趋势最大达到 $0.213/a$ ；
NDVI 在 2000—2016 年在减少的区域主要分布在扎陵
湖和鄂陵湖西部与南部、黄河源区的中南部以及若尔盖
湿地的北部。变化趋势最小值为 $-0.031/a$ 。源区整体
植被 NDVI 变化趋势均值为 $0.0012/a$ 。

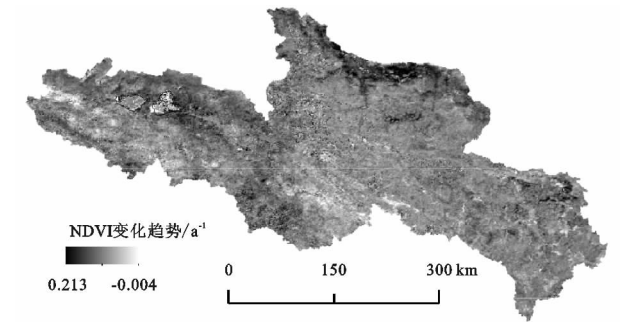


图 3 2000—2016 年黄河源区 NDVI 年际变化趋势空间

表 1 黄河源区 NDVI 一元线性回归分析变化

NDVI 变化趋势/a ⁻¹	面积/km ²	比例/%	NDVI 变化趋势/a ⁻¹	面积/km ²	比例/%
变化趋势<-0.004	2273.60	1.89	-0.001<变化趋势<0	16804.14	14.02
-0.004≤变化趋势<-0.003	2292.08	1.91	0≤变化趋势<0.004	70189.20	58.55
-0.003≤变化趋势<-0.002	4669.36	3.89	0.004≤变化趋势<0.008	13090.42	10.92
-0.002≤变化趋势<0.001	9377.72	7.82	变化趋势≥0.008	1182.48	0.99

表 1 为黄河源区 NDVI 不同级别变化趋势面积
统计表。植被 NDVI 年变化趋势 <0 的面积为 3.54
万 km^2 ，占黄河源区总面积的 29.54%，其中变化趋势
在 $-0.001\sim0$ 之间的面积为 1.68 万 km^2 ，占黄河源区总
面积的 14.02%；植被 NDVI 年变化趋势 >0 的面积为
10.31 万 km^2 ，占黄河源区总面积的 70.46%，其中变化
趋势在 $0\sim0.004/a$ 之间的面积为 70 189.20 km^2 ，占黄
河源区总面积的 58.55%。结果表明黄河源区在
2000—2016 年期间 NDVI 整体呈增加趋势，且变化
趋势都在 $0\sim0.004/a$ ，黄河源区部分地区植被覆盖

情况正逐年好转。
3.1.3 2000 年和 2016 年植被 NDVI 变化比较 黄
河源区 2016 年植被 NDVI 年最大值影像减去 2000
年植被 NDVI 年最大值影像，得到两个年份 NDVI
差值空间分布图(图 4)，并且做出不同差值范围面积
比例统计表(表 2)。2016 年植被 NDVI 同 2000 年相
比，大部分区域植被 NDVI 差值在 $-0.2\sim0, 0\sim0.2$ 这
两个范围。说明近 17 来，黄河源区植被覆盖并未出现
特别显著的变化。NDVI 差值分布图中，NDVI 减少地
区域分布和 NDVI 年际变化趋势空间分布中变化趋

势 <0 的区域基本相同。

2016 年 NDVI 值较 2000 年减少的区域面积为 57 362 km², 占黄河源区总面积的 47.84%, 其中 NDVI 差值在 $-0.2\sim 0$ 的区域面积为 57 073 km², 占总面积的 47.6%。NDVI 差值大于 0 的区域面积为 62 517 km², 占黄河源区总面积的 52.15%; 其中 NDVI 差值在 $0\sim 0.2$ 的区域面积为 61 931 km², 占总面积的 51.66%。结果表明 2016 年黄河源区植被覆盖较 2000 年基本保持不变有轻微改善。

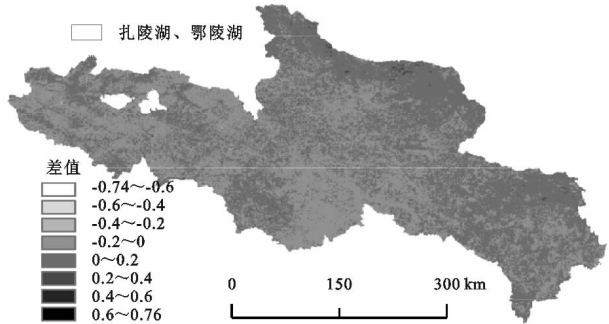


图 4 2016 年与 2000 年 NDVI 差值分布

表 2 2016 年与 2000 年 NDVI 差值分布

差值	面积/km ²	比例/%	差值	面积/km ²	比例/%
NDVI <-0.6	1.02	0.0008	$0<NDVI<0.2$	61931.34	51.66
$-0.6\leq NDVI<-0.4$	5.13	0.004	$0.2\leq NDVI<0.4$	580.97	0.48
$-0.4\leq NDVI<-0.2$	282.27	0.23	$0.4\leq NDVI<0.6$	4.10	0.003
$-0.2\leq NDVI<0$	57073.11	47.61	NDVI ≥ 0.6	1.02	0.0008

3.2 黄河源区 NDVI 动态变化驱动因素定量分析

已有研究表明, 植被 NDVI 对降水、气温的响应关系存在一定的滞后性。为了较为准确地定量分析植被 NDVI 对降水和气温的响应关系, 本文在获得每个像元的降水和气温数据之后, 分别求出黄河源区植被 NDVI 与历年降水、气温数据的 6 月、7 月、8 月、6 月和 7 月均值、7 月和 8 月均值及 6—8 月 3 个月均值的相关系数, 并进行 t 分布检验。结果表明黄河源区 NDVI 与 7 月份的降水总量和 6 月份的平均气温相关系数最大, 且均通过了 $\alpha>0.05$ 的置信度检验。所以本文选择了 2000—2016 年 9 个站点每年 7 月份的降水总量和 6 月份的平均气温作为降水和气温的研究序列。

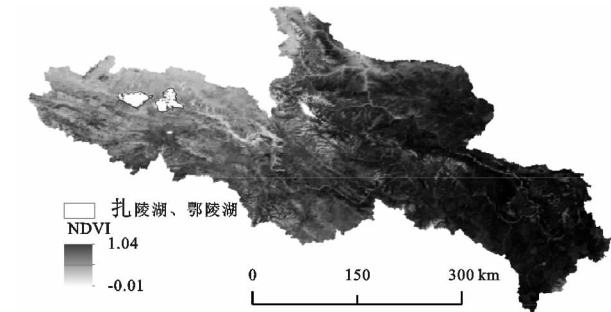


图 5 黄河源区 2016 年植被 NDVI 气候因素贡献分布

在复直线回归分析中, 利用 NDVI 的 2000—2016 年时间序列数据和降水气温数据求出 a, b, c 参数, 接着利用确定的 NDVI 与降水、气温之间的回归方程以及相应的降水和气温数据得出 NDVI 预测值。这个值即为气候因素对 NDVI 的贡献值, 用实际 NDVI 减去 NDVI 预测值得到的残差即为人为因素和其他不确定因素对 NDVI 的影响。

图 5 为通过复直线回归分析得到的 2016 年黄河源区 NDVI 预测值即降雨和气温对 NDVI 贡献值空

间分布, 黄河源区东部和东南部区域 NDVI 预测值多在 0.5 以上, 而在北部和西北部区域 NDVI 预测值较小。这是由于黄河源区属于大陆性高原气候, 气温降水总体上呈现为由东南向西北逐渐递减的空间分布特征且北部和西北部地区靠近柴达木盆地, 土壤水分不足, 植被自我更新和自我生长能力较差, 植被生长受降水、气温等气候条件限制更大。

表 3 是气温、降水对黄河源区 2016 年植被 NDVI 贡献值。99% 以上的区域 NDVI 气候因素贡献值为正值, 其中贡献值在 $0.5\sim 0.6$ 的面积为 17 054 km², 占总面积的 14.23%; 贡献值在 $0.6\sim 0.7$ 的面积为 21 651 km², 占总面积的 18.06%; 贡献值在 $0.7\sim 0.8$ 的面积为 34 565 km², 占总面积的 28.83%, 三者总计面积为 73 271 km², 占总面积的 61.12%。这说明仅在气候因素的作用下, 2016 年黄河源区 NDVI 大部分在 $0.5\sim 0.8$ 的水平, 而 2016 年 NDVI 实际观测值在 $0.5\sim 0.6$ 的面积为 16 733 km², 占黄河源区总面积的 13.96%; 观测值在 $0.6\sim 0.7$ 的面积为 21 449, 占总面积的 17.89%; 观测值在 $0.7\sim 0.8$ 面积为 34 443 km², 占总面积的 28.73%, 观测值和实际值的差别不大, 可以看出目前气候因素仍是黄河源区植被覆盖的主要驱动因素。

为了定量化分析人类活动对黄河源区植被覆盖的影响, 将实际观测的 NDVI 减去复直线回归分析预测的 NDVI, 即计算出残差, 该残差即可认为是人类活动对植被 NDVI 影响的部分(图 6 和表 4)。人类活动对植被 NDVI 起削减作用的区域面积为 53 265 km², 占黄河源区总面积的 44.43%; 主要分布在黄河源区西北部的扎陵湖和鄂陵湖周边以及东南部的若尔盖盆地南部等地区。人类活动对黄河源区植被 NDVI 起

促进作用的区域面积为 66 613 km²,占黄河源区总面积的 55.57%,其中贡献值在 0~0.02 的区域面积为 64 190 km²,占总面积的 53.54%。说明这些区域人类活动等因素促进了植被覆盖度增加。

表 3 气温降水对黄河源区 2016 年 NDVI 贡献值

NDVI 贡献值	面积/km ²	比例/%	NDVI 贡献值	面积/km ²	比例/%
NDVI<0	71.85	0.06	0.4<NDVI<0.5	11950.02	9.97
0≤NDVI<0.1	129.33	0.11	0.5≤NDVI<0.6	17054.60	14.23
0.1≤NDVI<0.2	1310.79	1.09	0.6≤NDVI<0.7	21651.08	18.06
0.2≤NDVI<0.3	8217.82	6.86	0.7≤NDVI<0.8	34565.97	28.83
0.3≤NDVI<0.4	10658.74	8.89	NDVI>0.8	14268.79	11.90

表 4 人类活动对黄河源区 NDVI 贡献值

NDVI 贡献值	面积/km ²	比例/%	NDVI 贡献值	面积/km ²	比例/%
NDVI<0	53265.98	44.43	0.02<NDVI<0.03	2002.62	1.67
0≤NDVI<0.01	52259.03	43.59	NDVI≥0.03	419.82	0.35
0.01≤NDVI<0.02	11931.55	9.95			

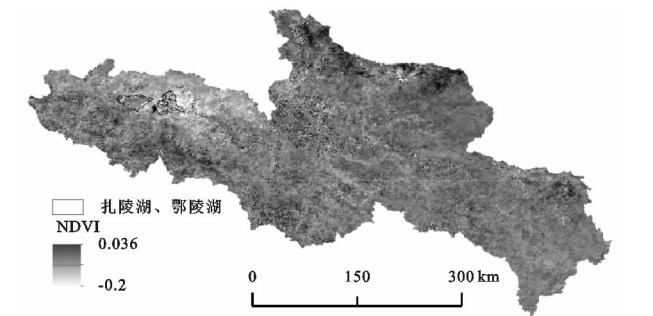


图 6 人类活动对黄河源区 2016 年 NDVI 的贡献值空间分布

黄河源区地区政府自 2003 年起开展退牧还草和减畜工程,2015 年平均牲畜存栏量减少至 1 959.8 万头,减幅达到 8.60%^[23-24]。同时 2000 年国家批准成立三江源国家级自然保护区和一期工程,对黄河源区等地的生态环境产生了积极影响^[25]。但仍有接近 50%的区域残差小于零,说明在全球气候变化和人类活动的影响下,对全球变化高度敏感的高寒生态系统已经开始加速退化,导致高寒草原覆盖度不断降低,景观破碎化加剧,草地水源涵养能力降低,水土流失加剧,这也与众多研究结果相吻合^[26-28]。

4 讨论与结论

黄河源区超过 70%的区域 NDVI 是增加趋势,增加速率在 0~0.004/a。2016 年同 2000 年相比,黄河源区较大部分地区的植被 NDVI 是增加的,但在扎陵湖、鄂陵湖西部和南部、黄河源区的中南部以及若尔盖湿地的北部等相当大的一部分地区,植被 NDVI 减少了 0~0.2。

气候因素对植被生长变化起到了主要的促进作用,西部和西北地区贡献较小,西部和西北部地区由于临近柴达木盆地,土壤水分不足,植被自我更新和

自我生长能力较差。植被覆盖与气候因子之间的响应作用是一个复杂的交互系统,本文目前只考虑了气候因素中的降水和气温,忽略了日照、风速、湿度等气候因子对植被覆盖的影响,深刻揭示其他各种相关因素对植被生长作用机理的研究还有待进行。

从复直线回归分析结果可以看出:人类活动对黄河源区整体植被覆盖产生一定显著的影响,源区高寒草地的退化趋势未得到有效遏制。黄河源区草场资源丰富,但可利用耕地面积少,是青藏高原地区重要的畜牧业基地之一。黄河源区在历史上很长的一段时间内一直处于严重超载过牧的状态。过牧是引起该区草地生态系统退化的主要因素。公路建设期间大量土石方的搬运工作造成的沿线 50 m 以内植被的破坏,仍然没有恢复,而且随着历次公路的改扩建活动,破坏的面积和范围在进一步扩大,从公路开始修建到历次的改扩建活动,由于其间隔时间很短,加之这一地区降雨、温度较低和植被的生长期短,自我恢复能力差,使得其沿线植被得不到很好的恢复,进而造成了水土流失、泥石流和滑坡等地质灾害的频发。因此要加强黄河源区生态保护力度,国家已经成立三江源自然保护区,并于 2005 年颁布《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》,采取了牧区产业结构调整、转变经济发展方式、牧民进城以及禁牧补贴等一系列有效措施,提高了群众的环保意识,大幅降低人为因素对长江黄河源区高寒草地破坏,延缓草地的退化。

农作物由于人为管理存在,导致 NDVI 值较大,存在对黄河源区 NDVI 分析结果产生影响的可能。通过分析 2000 年、2005 年以及 2010 年三期黄河源区土地覆被数据发现,黄河源区耕地面积仅占黄河源

区总面积的0.4%,因此,农作物对分析黄河源区植被NDVI的影响可以忽略不计。

通过植被NDVI动态分析可以有效地监测黄河源区封禁、退牧还草等政策落实和实施效果;且在现阶段人类活动变化幅度不大的情况下,可以根据各种气候模式预测的未来气温、降水数据预测黄河源区未来植被覆盖状况的理论值,以此为黄河源区生态保护和生态修复提供参考。

参考文献:

- [1] 毛德华,王宗明,罗玲,等.基于MODIS和AVHRR数据源的东北地区植被NDVI变化及其与气温和降水间的相关分析[J].遥感技术与应用,2012,27(1):77-85.
- [2] 彭保发,陈端吕,李文军,等.土地利用景观格局的稳定性研究:以常德市为例[J].地理科学,2013,33(12):1484-1488.
- [3] Gao J, Li X L, Cheung A, et al. Degradation of wetlands on the Qinghai-Tibet Plateau: A comparison of the effectiveness of three indicators[J]. 山地科学学报, 2013,10(4):658-667.
- [4] 孟丹,李小娟,宫辉力,等.京津冀地区NDVI变化及气候因子驱动分析[J].地球信息科学学报,2015,17(8):1001-1007.
- [5] 徐冠华,葛全胜,宫鹏,等.全球变化和人类可持续发展:挑战与对策[J].科学通报,2013,58(21):2100-2106.
- [6] 郭敏杰,张亭亭,张建军,等.1982—2006年黄土高原地区植被覆盖度对气候变化的响应[J].水土保持研究, 2014,21(5):35-40.
- [7] 吴喜芳,李改欣,潘学鹏,等.黄河源区植被覆盖度对气温和降水的响应研究[J].资源科学,2015,37(3):512-521.
- [8] 杜加强,贾尔恒·阿哈提,赵晨曦,等.三江源区近30年植被生长动态变化特征分析[J].草业学报,2016,25(1):1-12.
- [9] 徐丽萍,郭鹏,刘琳,等.天山北麓土地利用与土地退化的时空特征探析[J].水土保持研究,2014,21(5):316-321.
- [10] 沈斌. NDVI与气候因子关系在不同时间尺度上的结果差异[J].遥感学报,2016,20(3):481-490.
- [11] 欧朝蓉,朱清科,孙永玉.元谋干热河谷旱季植被覆盖度的时空异质性[J].林业科学,2017,53(11):20-28.
- [12] Karlsen S R, Tolvanen A, Kubin E, et al. MODIS-NDVI-based mapping of the length of the growing season in northern Fennoscandia[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2008,10(3):0-266.
- [13] 杜加强,赵晨曦,房世峰,等.近30 a新疆月NDVI动态变化及其驱动因子分析[J].农业工程学报,2016,32(5):172-181.
- [14] 徐丽萍,郭鹏,王玲,等.天山北麓中段植被NDVI变化及其对气候因子的响应[J].水土保持研究,2013,20(6):158-161.
- [15] Yang Q, Wu J, Li Y, et al. Using the particle swarm optimization algorithm to calibrate the parameters relating to the turbulent flux in the surface layer in the source region of the Yellow River[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2017,232:606-622.
- [16] 李超,赵淑清,方精云.1975—2014年福建省植被覆盖变化及其驱动因素[J].植物生态学报,2017,41(2):157-164.
- [17] 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.
- [18] 李辉霞,刘国华,傅伯杰.基于NDVI的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究[J].生态学报,2011,31(19):5495-5504.
- [19] 栾金凯,刘登峰,黄强,等.近17年陕西榆林植被指数的时空变化及影响因素[J].生态学报,2018,38(8):179-189.
- [20] 张春森,胡艳,史晓亮.基于AVHRR和MODIS NDVI数据的黄土高原植被覆盖时空演变分析[J].应用科学学报,2016,34(6):702-712.
- [21] 孙庆龄,李宝林,许丽丽,等.2000—2013年三江源植被NDVI变化趋势及影响因素分析[J].地球信息科学学报,2016(12):131-140.
- [22] Hashemi R, Madoliat R, Afshar A. Prediction of forming limit diagrams using the modified M-K method in hydroforming of aluminum tubes[J]. International Journal of Material Forming, 2016,9(3):297-303.
- [23] 薛天翼,白建军.基于TVDI和气象数据的陕西省春季旱情时空分析[J].水土保持研究,2017,24(4):240-246.
- [24] 刘璐璐,曹巍,邵全琴.近30年来长江源区与黄河源区土地覆被及其变化对比分析[J].地理科学,2017,37(2):311-320.
- [25] 邵全琴,樊江文,刘纪远,等.基于目标的三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估及政策建议[J].中国科学院院刊,2017,32(1):35-44.
- [26] 杜际增,王根绪,李元寿.近45年长江黄河源区高寒草地退化特征及成因分析[J].草业学报,2015,24(6):5-15.
- [27] 范微维,易桂花,张廷斌,等.黄河源区青海省玛多县2000—2014年NDVI变化及气候驱动因子[J].水土保持通报,2017,37(1):335-340.
- [28] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等.1982—2012年中国植被覆盖时空变化特征[J].生态学报,2015,35(16):5331-5342.