

引用格式:FANG Chunshuang,ZHU Rui,LU Rui,*et al.*Analysis of vegetation cover change characteristics and influencing factors in the Shiyang River basin based on GEE[J].Remote Sensing Technology and Application,2023,38(5):1167-1179.[方春爽,朱睿,卢睿,等.基于GEE的石羊河流域植被覆盖变化特征及其影响因素分析[J].遥感技术与应用,2023,38(5):1167-1179.]
DOI:10.11873/j.issn.1004-0323.2023.5.1167

基于GEE的石羊河流域植被覆盖变化特征及其影响因素分析

方春爽¹,朱睿¹,卢睿¹,陈泽霞¹,王凌阁¹,山建安¹,尹振良²

(1.兰州交通大学 测绘与地理信息学院/地理国情监测技术应用国家地方联合工程研究中心/

甘肃省地理国情监测工程实验室,甘肃 兰州 730000;

2.中国科学院西北生态环境资源研究院 国家冰川冻土沙漠科学数据中心,甘肃 兰州 730000)

摘要:植被作为陆地生态系统的重要组成部分,常被用作评估气候变化和生态恢复成效的指标。以石羊河流域为研究对象,基于Google Earth Engine (GEE)平台采用Theil-Sen趋势分析和Mann-Kendall检验(TS-MK)、Hurst指数揭示植被覆盖变化特征;采用偏相关分析、残差分析和地理探测器探究植被覆盖变化的影响因素。结果表明:2001~2020年间石羊河流域植被NDVI呈现波动增长趋势,增长率为0.023/10 a;呈显著增加趋势和显著减少趋势的面积占比分别为72.32%和2.40%。未来植被NDVI变化趋势保持一致(Hurst>0.5)的面积占比为63.84%,其中持续性显著增加的面积占比最大,为47.37%。偏相关分析结果表明降水对植被生长的影响较强,而温度、太阳辐射和饱和水汽压差的影响相对较弱。残差分析结果表明气候要素和人类活动影响下植被NDVI呈显著增加趋势的面积占比分别为21.59%和60.07%,石羊河流域的植被变化主要受人类活动的积极影响。此外,地理探测器的结果表明植被NDVI的空间分布主要受水热条件分布特征的影响。该研究结果有助于深化对植被覆盖变化影响因素的认识,为石羊河流域生态保护提供借鉴。

关键词:NDVI;影响因素;Google Earth Engine;地理探测器;石羊河流域

中图分类号:Q948;TP79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2023)05-1167-13

1 引言

植被是陆地生态系统的核心组成部分,影响着区域乃至全球尺度下的气候变化、陆地碳循环、水量平衡以及能量交换^[1-4]。作为表征生态环境变化的综合指示器,其变化可以有效反映气候要素和人类活动对生态系统的影响^[3]。全球气候变暖已成为不争的事实,因此长期监测植被覆盖的变化规律,并探索影响其变化的潜在因素,已成为全球变化领

域的热点研究^[5-6]。

基于归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)的遥感监测具有监测范围广、周期短、信息量大的优点,可以有效反映植被物候、结构和覆盖范围的空间分布,是植被变化监测研究领域常用的植被指数之一^[7-11]。有学者基于NDVI时序数据采用趋势分析、相关分析等方法研究发现植被覆盖变化与气候要素密切相关^[12-14]。如Myneni等^[12]研究发现1981~1991年间北半球中高

收稿日期:2022-06-06;修订日期:2023-09-03

基金项目:国家自然科学基金项目(42161018、52179026、41901100),中国科学院青年创新促进会项目(2021424),甘肃省重大科技计划项目(21ZD4NF044-02)。

作者简介:方春爽(1997-),男,山东济宁人,硕士研究生,主要从事水土资源耦合研究。E-mail: 12211915@stu.lzjtu.edu.cn

通讯作者:朱睿(1983-),女,甘肃平凉人,副教授,主要从事干旱区水土资源耦合研究。E-mail: zhur@mail.lzjtu.cn

纬度地区的植被活性增强与气候变暖密切相关。在我国祁连山自然保护区^[13]、青藏高原^[14]等区域的相关研究中也得出类似结论。部分学者通过残差分析法量化归因人类活动影响下的植被覆盖变化^[15-16]。如田智慧等^[15]研究发现 2001~2020 年间黄河流域植被 NDVI 整体呈增长趋势,人类活动的影响具有双重性,一方面表现为生态工程实施的积极影响,另一方面表现为城市化进程的消极影响;崔浩楠等^[16]分析 1982~2019 年间长江经济带植被覆盖变化的影响因素,结果发现人类活动对植被覆盖变化的影响强于气候要素。相较于上述基于时序数据的研究,地理探测器作为度量和挖掘空间异质性的工具,在空间分异性的探索性分析中发挥着重要作用;其通过探测因变量和自变量之间空间分布的一致性,判定自变量对因变量空间分布的解释力,逐渐在土地利用、生态环境等方面得到应用^[17]。如彭文甫等^[18]基于地理探测器研究发现四川省植被生长主要受土壤类型、海拔和平均温度的影响;肖建勇等^[19]研究发现喀斯特区域植被 NDVI 的空间分布容易受气候要素和人类活动的影响,而非喀斯特区域更容易受地形因子的影响。随着 3S 技术的不断发展,植被覆盖的变化特征及其驱动机制逐渐清晰。

石羊河流域作为我国西北干旱区的内陆河流域之一,是典型的气候响应敏感区和生态环境脆弱区^[20]。在气候要素和人类活动的共同影响下,流域内的植被覆盖状况发生了显著变化,导致沙尘暴频发、生态环境脆弱性等均发生显著变化。在此背景下,研究石羊河流域植被覆盖的变化特征及其影响因素尤为重要。近年来,部分学者对此展开研究,如李丽丽等^[20]研究发现 2000~2015 年间石羊河流域的植被覆盖状况总体恢复较好,水分是限制植被生长的主要因素;关文茜^[21]研究发现降水分布决定着石羊河流域植被 NDVI 的空间分布,而温度则是通过改变土壤中的有效水分间接影响植被生长;张立峰^[22]综合考虑气候要素和人类活动,研究发现降水是影响石羊河流域植被生长的主要气候要素,而人类活动对植被生长主要起抑制作用。目前,多数研究主要关注石羊河流域植被覆盖与温度和降水的关系,忽略了与植被光合作用和蒸腾作用密切相关的太阳辐射、饱和水汽压差等气候要素的影响,且未考虑植被覆盖空间分异的影响因素。

Google Earth Engine (GEE) 作为全球尺度的

地理空间分析云平台,因其海量的遥感数据和强大的并行运算能力,在植被变化监测、水体变化分析、土地利用分类等研究领域得到广泛应用,已成为地学及相关研究领域的有力工具^[23-25]。因此,实验基于 GEE 平台综合运用 Theil-Sen 趋势分析和 Mann-Kendall 检验、Hurst 指数揭示石羊河流域植被 NDVI 的变化特征;采用相关分析、残差分析和地理探测器探究影响植被 NDVI 变化的主要因素。通过以上研究,有助充分认识西北干旱区植被—气候—人类活动之间的相互关系,以期为该区域植被恢复和生态保护提供参考。

2 研究区及数据处理

2.1 研究区概况

石羊河流域位于 37.2°~39.5°N, 101.1°~104.2°E 之间,总面积约为 $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[26]。流域内气候干燥、降水少且集中,属于温带大陆性气候;自上游到下游,年降水量逐渐减少,年蒸发量和干旱程度逐渐增加^[27]。流域内地形地貌特征表现为南高北低,自西南向东北倾斜,依次为祁连山山地、河西走廊平原、北山山地和阿拉善高原^[28]。流域水系发源于上游祁连山山区,自东向西依次为大靖河、古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营河、东大河、西大河 8 条支流及众多条小河小沟^[29]。依据石羊河流域的气候特征、地形地貌特征、水文特征,流域内植被自上游到下游依次表现为:Ⅰ、冰雪寒冻垫状植被;Ⅱ、高山草甸、灌丛及水源涵养林;Ⅲ、浅山草原和荒漠草原;Ⅳ、绿洲;Ⅴ、荒漠^[30],如图 1 所示。

2.2 数据来源及预处理

2.2.1 MODIS—NDVI 数据

NDVI 数据来源于 MODIS MOD13A2 和 MYD13A2 数据集,时间分辨率均为 16 d,空间分辨率均为 1 km,时间序列为 2001~2020 年^[11]。将每年的 4~10 月份视为生长季。为了进一步消除云、大气以及太阳高度角等因素的干扰,对同一月内的 NDVI 采用最大值合成法 (Maximum Value Composite, MVC) 生成月尺度 NDVI,基于生长季的月尺度 NDVI 采用均值法生成年尺度 NDVI。

2.2.2 气候数据

温度、降水数据来源于国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据中心—黄土高原分中心 (<http://loess.geodata.cn>)^[31]。饱和水汽压差、太阳辐射来源于 GEE 平台的 TerraClimate 全球陆

地表面每月气候和气候水平衡数据集^[32]。研究选取与NDVI同期的温度、降水、饱和水汽压差和太阳辐射数据,通过GEE平台预处理,生成相同空间分辨率的年尺度气候要素数据集。

2.2.3 其它数据

土地利用数据来源于GlobeLand30全球地表覆盖数据(<http://www.globallandcover.com/>),时间

为2000年和2020年。本研究主要关注耕地、林地、草地和裸地的NDVI变化特征及其影响因素,通过土地利用转移矩阵提取上述地类中未发生变化的区域。人口密度数据来源于GEE平台的WorldPop发布的Population Density数据。DEM数据来源于GEE平台的美国奋进号航天飞机的雷达地形测绘(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM)数据。

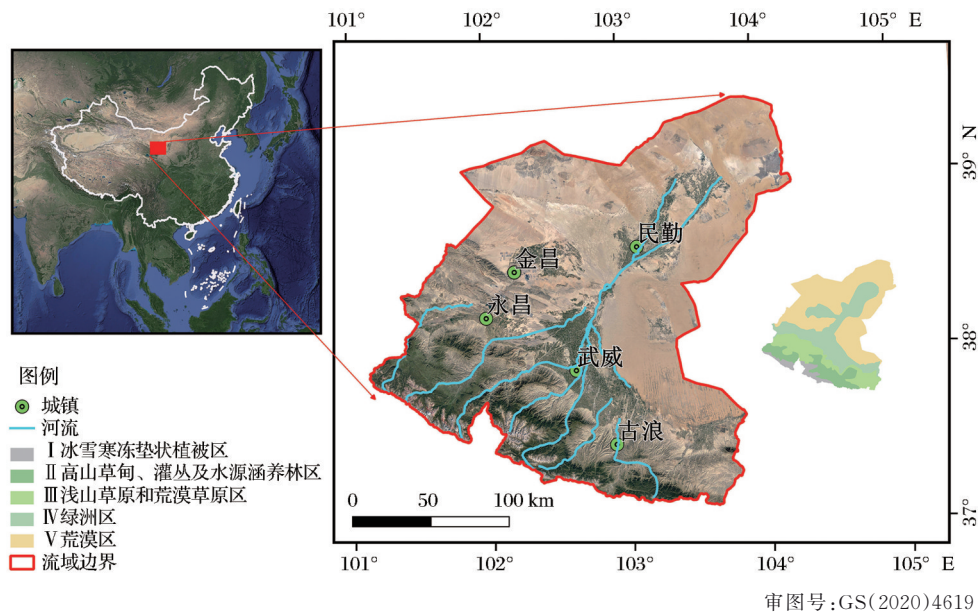


图1 石羊河流域区域示意图

Fig.1 The location of Shiyang River Basin

3 研究方法

3.1 Theil-Sen 趋势分析和 Mann-Kendall 检验

Theil-Sen 趋势分析可以有效处理离群值和噪声的干扰,且不要求数据满足序列自相关和正态分布等假设条件^[15]。计算公式如下:

$$S = \text{Median} \left(\frac{\text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i}{j - i} \right), \forall j > i \quad (1)$$

其中: S 表示 NDVI 变化的趋势值; NDVI_i 和 NDVI_j 分别表示第 i 年和第 j 年的 NDVI 值; Median 表示取中值。

Mann-Kendall 检验是一种常用的非参数检验法,不易受特殊分布和异常数据的影响^[15]。统计量 Z_s 的计算公式如下:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(\text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i) \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

$$\text{sgn}(\text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i) = \begin{cases} 1, & \text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i > 0 \\ 0, & \text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i = 0 \\ -1, & \text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中: sgn 为符号函数; NDVI_i 和 NDVI_j 分别表示第 i 年和第 j 年的 NDVI 值; n 为数据集的时间长度。将 Sen 趋势值与 MK 检验结果叠加,定义变化趋势类型(表1)^[33]。

3.2 Hurst 指数

基于重标极差法(R/S)的 Hurst 指数,能够定量描述特定时间段内时序数据的持续性和反持续性,对于正态和非正态分布的时序数据都具有很好的适用性^[33]。对于长度为 N 的时序数据集, Hurst 指数的计算过程如下:

(1) 首先,将长度为 N 的时序数据集划分为长度为 n 的 d 个子序列 $Z_{im} (i = 1, 2, \dots, n; m = 1, 2, \dots, d)$ 。

(2) 计算每个子序列的累积离差序列:

$$X_{im} = Z_{im} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{im} \quad (6)$$

$$Y_{im} = \sum_{i=1}^i X_{im} \quad (7)$$

(3) 依据 Y_{im} 计算每个子序列的极差 R_m 和标准差 S_m , 然后计算每个子序列的重标极差 R_m/S_m :

$$R_m = \max_{1 \leq i \leq n} Y_{im} - \min_{1 \leq i \leq n} Y_{im} \quad (8)$$

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Y_{im}^2}{n}} \quad (9)$$

(4) 计算所有子序列重标极差的均值:

$$(R/S)_n = \frac{1}{d} \sum_{m=1}^d (R_m/S_m) \quad (10)$$

(5) 假设 $(R/S)_n$ 与子序列长度 n 之间存在如下的关系: $(R/S)_n \approx cn^H$ 。基于上式公式的对数变换形式: $\log(R/S)_n = \log c + H \log n$, 通过不断增加子序列的长度 n , 采用线性回归计算 H 值。

Hurst ($\in [0, 1]$) 指数表现为以下 3 种情况:

若 $H < 0.5$, 表明时序数据变化趋势具有反持续性; 若 $H = 0.5$, 表明时序数据变化趋势呈随机游走; 若 $0.5 < H$, 表明时序数据变化趋势具有持续性。将 Sen 趋势值、MK 检验和 Hurst 指数叠加, 定义变化趋势类型及其持续性的双重信息(表 1)^[33]。

3.3 偏/复相关分析法

本文通过偏/复相关系数和显著性检验判定 NDVI 与温度、降水、太阳辐射和饱和水汽压差的相关关系。偏相关分析是将其他要素的影响排除在外, 单独研究因变量与自变量的相关性^[33]。计算公式如下:

$$r_{xy \cdot z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} \quad (11)$$

其中: x 表示 NDVI; y 表示某气候要素; z 表示其余气候要素; $r_{xy \cdot z}$ 表示固定 z 后 x 和 y 的偏相关系数。

表 1 变化趋势类型和变化趋势持续性的定义

Table 1 The definition of variation trend types and sustainability of variation trend type

Sen 趋势值与 MK 检验	变化趋势类型	Sen 趋势值、MK 检验和 Hurst 指数	变化趋势的持续性
$S > 0.0001, Z > 1.96$	显著增加	$S > 0.0001, Z > 1.96, H > 0.5$	持续性显著增加
$S > 0.0001, Z \leq 1.96$	不显著增加	$S > 0.0001, Z \leq 1.96, H > 0.5$	持续性不显著增加
$S \leq 0.0001$ 或 $S \geq -0.0001$	无明显变化	$S \leq 0.0001$ 或 $S \geq -0.0001, H > 0.5$	持续性无明显变化
$S < -0.0001, Z \leq 1.96$	不显著减少	$S < -0.0001, Z \leq 1.96, H > 0.5$	持续极不显著减少
$S < -0.0001, Z > 1.96$	显著减少	$S < -0.0001, Z > 1.96, H > 0.5$	持续性显著减少
		$H < 0.5$	未来变化趋势不确定

复相关系数表示多个自变量与因变量之间的相关关系, 能够反映多个气候要素对 NDVI 的综合影响^[34]。计算公式如下:

$$r_{y \cdot x_1 x_2 x_3 x_4} = r_{y \cdot \hat{y}} = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (12)$$

其中: y 表示是 NDVI; x_1, x_2, x_3, x_4 分别表示温度、降水、太阳辐射和饱和水汽压差 4 种气候要素; \hat{y} 表示多元回归拟合的 NDVI 值; $r_{y \cdot x_1 x_2 x_3 x_4}$ 表示 NDVI 与 4 种气候要素的复相关系数; 而 $r_{y \cdot \hat{y}}$ 表示 y 与 \hat{y} 的简单相关系数。

3.4 残差分析

基于 Evans 和 Geerken 提出的残差分析法^[35], 实现气候要素和人类活动对 NDVI 影响的定量分离。计算公式如下:

$$\text{NDVI}_{pre} = b_0 + b_1 \text{PRE} + b_2 \text{TEM} + b_3 \text{SARD} + b_4 \text{VPD} + \varepsilon \quad (13)$$

$$\text{NDVI}_{res} = \text{NDVI}_{obs} - \text{NDVI}_{pre} \quad (14)$$

其中: PRE 表示降水; TEM 表示温度; SARD 表示

太阳辐射; VPD 表示饱和水汽压差; b_0 表示回归截距; $b_i (i=1, 2, 3, 4)$ 表示偏回归系数; ε 为随机误差项; NDVI_{pre} 表示多种气候要素综合影响下的 NDVI; NDVI_{res} 表示人类活动影响下的 NDVI; NDVI_{obs} 表示实际观测的 NDVI。

3.5 地理探测器

研究基于王劲峰等^[15]提出的地理探测器, 探测各影响因素对 NDVI 空间分布的解释力。地形因子包括海拔(X1)、坡度(X2)、坡向(X3); 气候要素包括温度(X4)、降水(X5)、太阳辐射(X6)、饱和水汽压差(X7); 人类活动用人口密度(X8)表征。将海拔以 500 m 为间隔划分为 6 层, 坡度依据《土地利用现状调查技术规范》划分为 5 层, 坡向划分为 4 层, 气候要素和人口密度依据自然间断法划分为 5 层。计算公式如下:

$$q_{X_i} = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{L_{X_i}} N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{\text{SSW}}{\text{SST}} \quad (15)$$

其中: $q_{X_i} (\in [0, 1]; i = 1, 2, \dots, 8)$ 表示某影响因素 X_i 的解释力, q 值越大解释力越强; h 为影响因素 X_i 的分层数; $L_{X_i} (X_i = 1, 2, \dots, 8)$ 为总层数; N_h 和 N 分别为 h 层和研究区的采样数; σ_h^2 和 σ^2 分别是 h 层和研

究区采样 NDVI 的方差; SSW 和 SST 分别表示层内方差之和和研究区内总方差之和。

为进一步展示处理过程和研究思路, 绘制如图 2 所示的技术流程图。

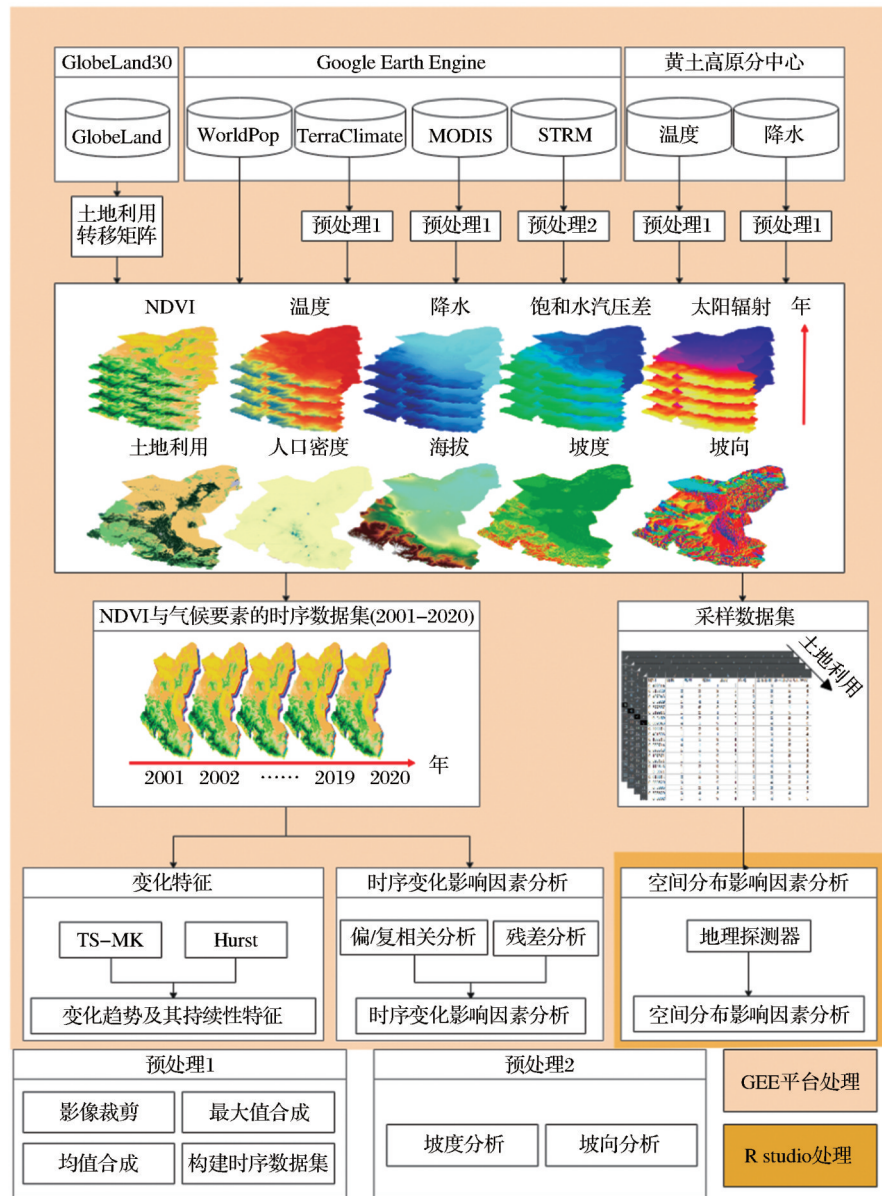


图 2 技术流程图

Fig.2 Overall technical flow chart

4 结果分析

4.1 植被 NDVI 的时空特征

2001~2020 年间, 研究区 NDVI 整体呈现波动增长趋势, 增长率为 0.023/10 a; 前 10 a 为缓慢增长阶段, 增长率为 0.004/10 a; 后 10 a 则为快速增长阶段, 增长率为 0.037/10 a; 2001 年的 NDVI 值最低 (0.186), 2019 年的 NDVI 值达到整个研究期间的峰

值 (0.269) (图 3(a))。受地形因子、气候要素和人类活动等因素的共同影响, 研究区 NDVI 的空间分布具有明显的差异性, 整体呈现上游高下游低, 中部绿洲高两侧荒漠低的空间分布特征 (图 3(b))。

4.2 植被 NDVI 的变化特征

由 Sen 趋势值与 MK 检验的叠加结果 (图 4(a)) 可知, 2001~2020 年间研究区 NDVI 以增加趋势为

主。其中,呈显著增加趋势的面积占总面积的72.32%,相对均衡的分布于整个研究区;呈不显著增加趋势的面积占19.73%,主要分布在冰雪寒冻垫状植被区和荒漠区;呈显著减少和不显著减少趋势的面积占比分别为2.40%和4.19%,集中分布在武威绿洲和民勤绿洲。不同土地覆被类型中,增加趋

势的面积占比均大于减少趋势的面积占比,且均以显著增加趋势为主(图4(b))。林地中呈显著增加趋势的面积占其总面积的95.14%,草地(77.24%)和裸地(72.82%)次之,耕地最少(64.08%)。由此可知,近20 a间石羊河流域的植被覆盖状况总体得到改善,其中林地改善状况最为明显。

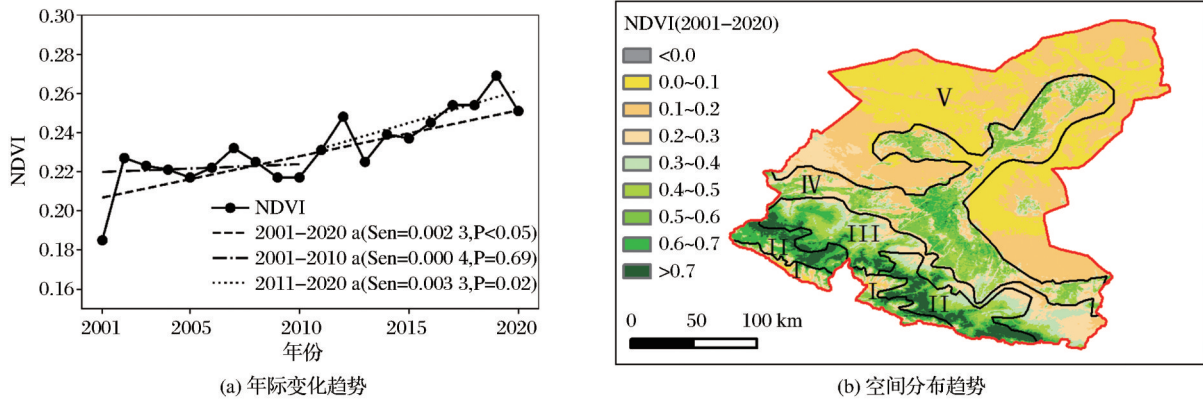


图3 2001~2020年石羊河流域NDVI的年际变化趋势及其空间分布特征

Fig.3 Interannual variation trend of NDVI in Shiyang River Basin from 2001 to 2020 and its spatial distribution

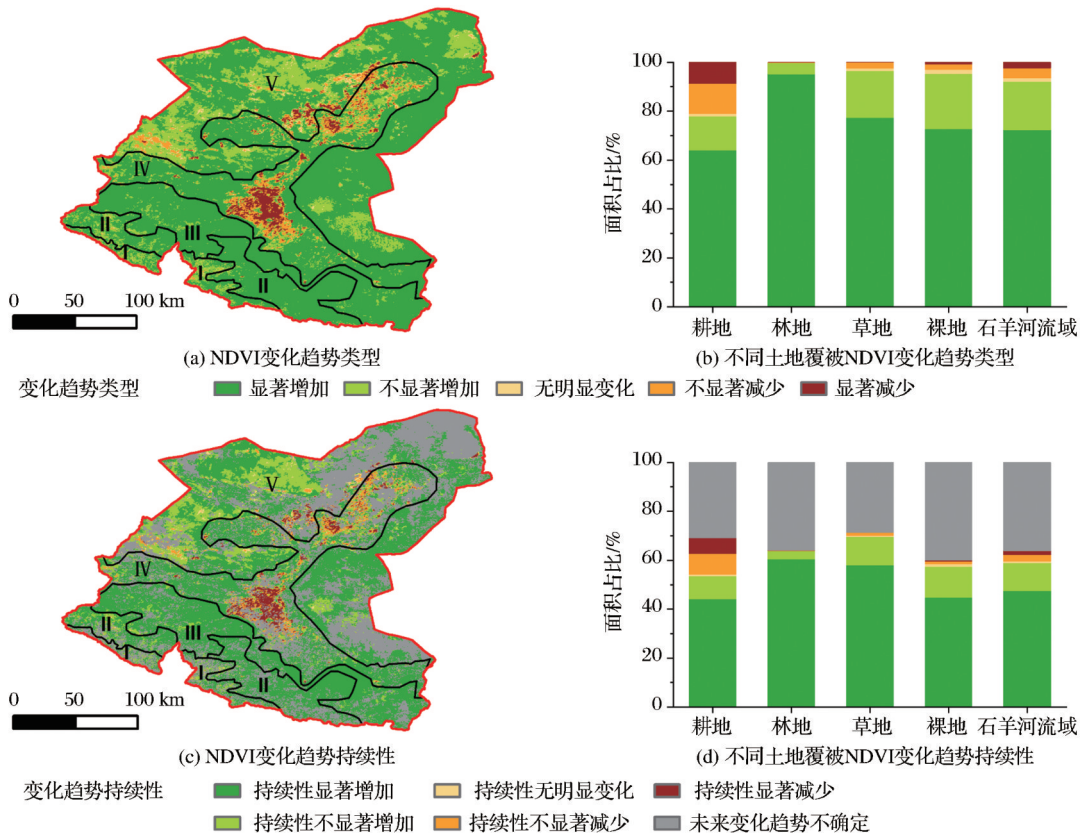


图4 植被NDVI的变化趋势及其不同土地覆被下的分布特征和植被NDVI变化趋势持续性及其在不同土地覆被下的分布特征

Fig.4 The change trend of vegetation NDVI and its distribution characteristics in different land cover. The continuity of vegetation NDVI change trend and its distribution characteristics in different land cover

将变化趋势类型与Hurst指数叠加,获得变化趋势类型与其持续性的双重信息(图4(c))。研究

区NDVI的未来变化趋势保持一致($H>0.5$)的面积占其总面积的63.84%,其中呈持续性显著增加趋

势的面积占47.37%,主要分布在浅山草原和荒漠草原区、金昌绿洲、永昌绿洲、以及民勤绿洲东侧荒漠区;呈持续性不显著增加趋势的面积占11.46%,主要分布在绿洲西北侧荒漠区;呈持续性减少(持续性显著减少和持续性不显著减少)趋势的面积占4.26%,集中分布在武威绿洲和民勤绿洲的城镇及周边区域。研究区NDVI未来变化趋势不确定($H < 0.5$)的面积占总面积的36.16%,主要分布在冰雪寒冻垫状植被区、绿洲两侧的荒漠区以及武威绿洲和民勤绿洲周边区域。不同土地覆被类型中(图4(d)),NDVI呈持续性显著增加趋势的面积占比最大,均大于40%;其次,未来变化趋势不确定的面积占比均大于30%,说明不同土地覆被类型的NDVI未来变化趋势均以持续性显著增加为主。

4.3 植被NDVI与气候要素的相关性分析

逐栅格计算NDVI与气候要素的偏相关关系(图5),偏相关性的空间分布具有明显的差异。整体上,NDVI与温度和降水呈正相关,偏相关系数均值分别为0.12和0.36;与太阳辐射和饱和水汽压差呈微弱负相关,偏相关系数均值分别为-0.10和-0.04。统计发现,NDVI与温度的偏相关关系中通

过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验的面积占11.72%,主要分布在民勤绿洲东北侧荒漠区;NDVI与降水的偏相关关系中通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验的面积占34.74%,主要分布在高山草甸、灌丛及水源涵养林区、浅山草原和荒漠草原区以及绿洲东侧荒漠区;NDVI与饱和水汽压差的偏相关关系中通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验的面积占5.12%,主要分布在高山草甸、灌丛及水源涵养林区;而与太阳辐射的偏相关关系中通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验的面积占比不足1%。由此可知,研究区内的植被生长受降水影响较强,而温度、饱和水汽压差和太阳辐射对植被生长的影响相对较弱。就不同土地覆被类型而言(表2),耕地、林地、草地和裸地中NDVI与降水呈显著相关的面积分别占其总面积的28.85%、43.46%、51.33%和31.27%;温度对耕地和裸地的影响相对较大,呈显著相关的面积占比分别为16.67%和12.19%;饱和水汽压差对林地的影响相对较大,呈显著相关的面积占比为18.39%;太阳辐射对不同土地覆被类型的影响均较弱。

通过NDVI与气候要素的复相关关系,进一步探究气候要素对NDVI的综合影响(图6)。研究区

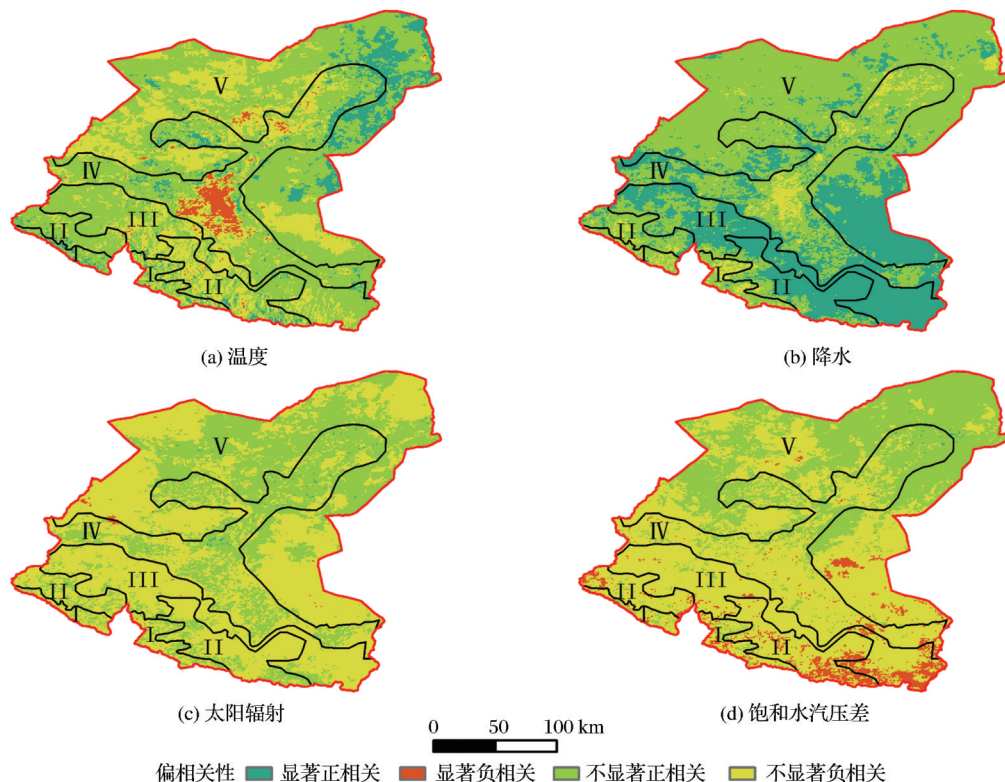


图5 石羊河流域NDVI与温度、降水、太阳辐射和饱和水汽压差的偏相关性空间分布

Fig.5 Spatial distribution of partial correlation between NDVI and temperature, precipitation, solar radiation and saturated vapor pressure difference in Shiyang River Basin

表 2 不同土地覆被类型 NDVI 与气候要素呈显著相关的面积占比 (%)

Table 2 Area ratios of significantly related between NDVI and climate factors in different land cover types (%)

土地覆被类型	温度	降水	太阳辐射	饱和水汽压差
耕地	16.67	28.85	0.70	6.92
林地	8.23	43.46	0.00	18.39
草地	4.39	51.33	0.50	6.03
裸地	12.19	31.27	0.23	2.67

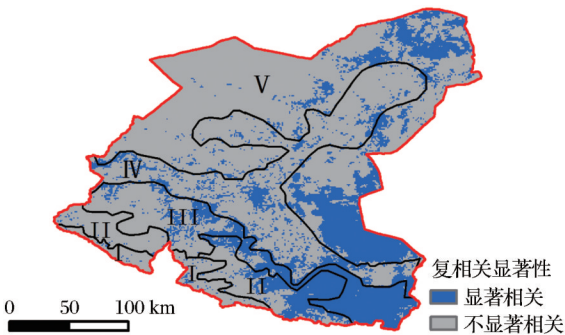


图 6 植被 NDVI 与气候要素复相关性的空间分布
Fig.6 Spatial distribution of multiple correlation coefficient between NDVI and climatic factors.

内呈显著复相关的面积占其总面积的 28.63%，主要分布在浅山草原和荒漠草原区、部分高山草甸、灌丛及水源涵养林区、以及古浪、武威绿洲西北侧荒漠区。

草地和裸地中呈显著相关的面积分别占其总面积的 30.48% 和 30.2%，高于耕地 (25.15%) 和林地 (19.91%)，表明气候要素对草地和裸地植被生长的综合影响力更强。

4.4 气候要素和人类活动影响下植被 NDVI 的变化特征

残差分析结果表明，气候要素和人类活动影响下的植被 NDVI 变化特征均以增加为主。研究区内 $NDVI_{pre}$ 呈显著增加趋势和显著减少趋势的面积占比分别为 21.59% 和 1.37%，显著增加的区域主要分布在古浪绿洲、永昌绿洲、金昌绿洲以及部分荒漠区，而显著减少区域则集中分布在武威绿洲和民勤绿洲区 (图 7(a))。 $NDVI_{res}$ 呈显著增加趋势的面积占 60.07%，遍布除冰雪寒冻垫状植被区、武威绿洲和民勤绿洲区外的其它区域；而 $NDVI_{res}$ 呈显著减少的面积仅占 1.38%，集中分布在武威绿洲和民勤绿洲区 (图 7(c))。

在气候要素影响下，耕地和裸地中 $NDVI_{pre}$ 显著增加的面积分别占其总面积的 28.56% 和 20.27%，高于林地和草地的 16.45% 和 15.09%；局部耕地受到气候要素的负面影响， $NDVI_{pre}$ 显著减少的面积占其总面积的 6.29% (图 7(b))。人类活动干预下，林地中 $NDVI_{res}$ 呈显著增加趋势的面积占总

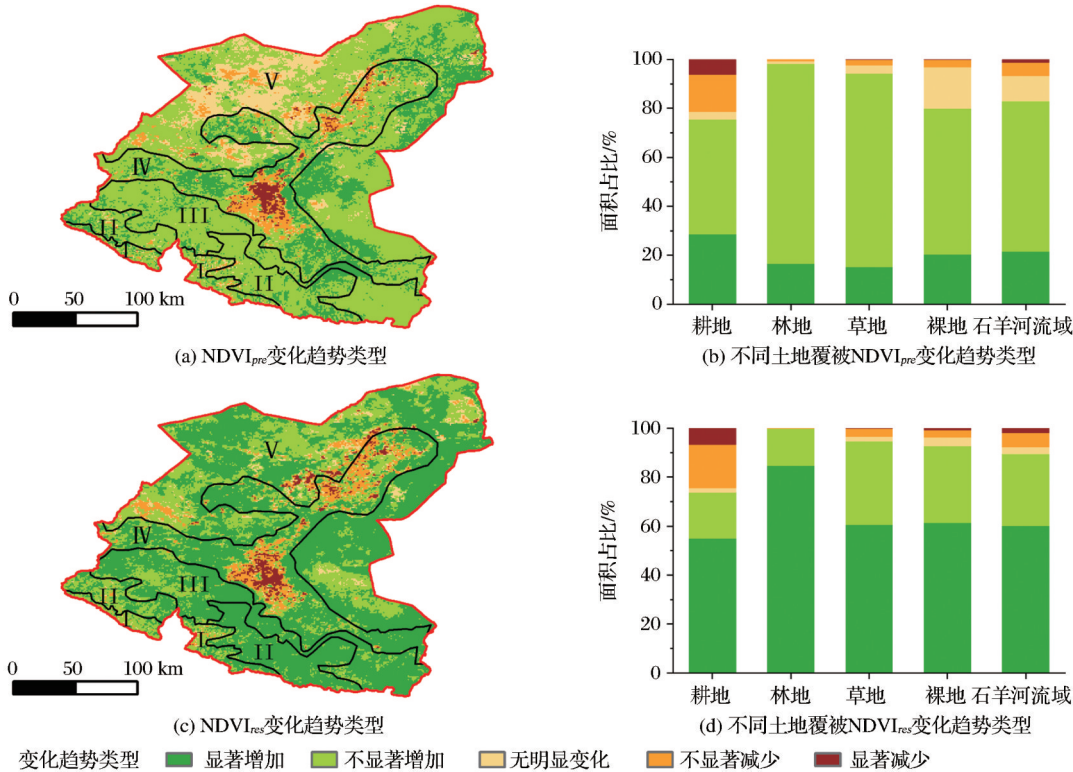


图 7 $NDVI_{pre}$ 和 $NDVI_{res}$ 变化趋势特征及其在不同土地覆被下的分布特征
Fig.7 The variation trends of $NDVI_{pre}$ and $NDVI_{res}$ and its spatial distribution in different land cover

面积的84.62%,高于草地、裸地和耕地的60.62%、61.34%和54.87%;从退化的角度来看,人类活动对耕地的负面影响较大,NDVI_{res}显著减少的面积占6.75%(图7(d))。

表3 地理探测器探测器结果
Table 3 The results of GeoDetector

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
石羊河流域	0.52	0.29	0.01	0.49	0.48	0.30	0.47	0.10
耕地	0.05	0.00	0.01	0.05	0.04	0.02	0.02	0.11
林地	0.29	0.04	0.00	0.14	0.15	0.00	0.00	0.01
草地	0.60	0.14	0.01	0.58	0.48	0.29	0.47	0.12
裸地	0.61	0.37	0.01	0.51	0.58	0.21	0.54	0.11

4.5 植被NDVI空间分布影响因素分析

基于地理探测器探测不同影响因素对NDVI空间分布的解释力(表3)。整体上,海拔对研究区NDVI空间分布的解释力最大,其次为温度、降水、饱和水汽压差、太阳辐射、坡度、人口密度和坡向。耕地NDVI的空间分布受人口密度的影响最大;林地NDVI的空间分布受海拔、温度、降水的影响较大;草地和裸地NDVI的空间分布除受海拔、温度、降水的影响外,饱和水汽压差的影响同样不可忽视。总体而言,水热条件的分布特征是影响研究区NDVI空间分布的主要因素。

5 讨论

5.1 植被NDVI变化分析

本文研究结果表明,石羊河流域植被NDVI的变化趋势整体表现为显著增加趋势。流域尺度下,生长季植被NDVI呈显著增加趋势,增加速率为0.023/10 a。像元尺度下,72.32%区域内的植被NDVI呈现为显著增加趋势,该结论与张立峰^[22]的研究结论相似,而与李丽丽等^[20]和关文茜^[21]研究结论上存在略微差异,可能与所采用的研究方法以及研究的时间跨度差异有关。虽然研究区的植被覆盖状况整体得到改善;但局部区域仍存在不同程度的退化,主要集中在武威绿洲和民勤绿洲,很大程度上是因为关井压田、农业产业结构调整等措施的实施使得耕地植被生长受到限制。植被NDVI的变化趋势持续性结果表明,绿洲两侧荒漠区以及绿洲城镇周边区域的未来变化趋势不确定,植被NDVI前后波动较大,因此应该加强对绿洲城镇周边区域植被的保护,防止植被遭到破坏,而在荒漠区则应该加强监测和治理,预防生态工程成果恶化。

5.1 植被NDVI影响因素分析

气候变化和人类活动均会对植被覆盖变化产生影响^[11]。在某种程度上,气候要素对植被生长起主导作用,而人类活动对植被生长具有决定性影响^[36]。已有研究发现,西北干旱区和半干旱区的植被生长与降水之间存在较强的相关性,降水小幅度变化也会导致植被生长的显著变化^[37]。而温度作为影响植被生长的另一个重要气候要素,与植被光合作用和蒸腾作用密切相关^[38]。在全球变暖背景下,北半球植被物候、结构和覆盖范围发生了显著的变化^[12]。自20世纪80年代,西北干旱半干旱地区的气候特征开始由暖干向暖湿转型,良好的水热条件为植被生长提供了适宜的生存环境,使得植被活性增强^[11,37]。深入了解植被NDVI与气候之间的相关性对于预测植被动态变化和有效生态恢复的管理至关重要。本研究通过偏相关分析研究生长季植被NDVI与降水、温度、太阳辐射和饱和水汽压差的相关性了解植被生长对气候因子的响应。植被NDVI与降水和温度呈显著相关的面积占比分别为34.74%和11.72%,而与饱和水汽压差和太阳辐射呈显著相关的面积占比较少,表明石羊河流域植被生长受降水的影响较强,而温度、太阳辐射和饱和水汽压差对植被生长的影响较弱,该结论与已有的研究结论基本一致^[20-22]。主要是因为该流域地处西北干旱气候区,受水资源的限制,植被生长所需水分主要依赖于降水,故气候要素中降水是保证植被生长的重要因素;而温度、太阳辐射和饱和水汽压差通过影响植被的光合作用和蒸腾作用,对植被生长起到间接的调节作用^[38]。就不同土地覆被类型而言,降水对林地、草地植被生长的影响强于耕地与裸地,主要是因为林地、草地植被生长所需的水分主要依赖于自然降水;耕地植被生长所需水分除自然降水外还有人工灌溉补给;而裸地植被稀疏、降水少,大部分降水以蒸发形式消耗,植被可吸收利用的水分少。

许多研究将20世纪80年代初石羊河流域的荒漠化加剧归因于过度开垦、过度放牧等一系列非理性的人类活动^[29]。然而,21世纪初人类通过植树造林、关井压田以及调整农业种植结构等一系列的生态保护措施使得植被覆盖度得到改善^[29]。近20 a间石羊河流域植被NDVI的整体变化表现为前10 a为缓慢增长阶段,后10年为快速增长阶段,这主要得益于《石羊河流域重点治理规划》的实施^[39]。上

游加大生态环境保护、修复水资源涵养能力;中游落实水资源利用的动态监控与管理;下游大力实施关井压田、调整农业种植结构。至2010年,近期目标基本实现,有效缓解了石羊河流域的水土资源矛盾,流域内生态用水总量增加,地下水水位上升,植被覆盖面积逐年增加,流域内生态环境得到进一步恢复与改善。残差分析结果表明,政策驱动下的生态保护极大地促进了石羊河流域植被的恢复。虽然暖湿化的气候特征在一定程度上促进了植被的生长,但研究时段内温度、降水、太阳辐射和饱和水汽压差并没有显著变化,故石羊河流域植被覆盖变化主要受到人类活动的积极影响。

相较于基于时序数据的影响因素分析,地理探测器可以量化探测植被NDVI空间分布的影响因素^[18]。本文研究发现海拔、温度、降水、饱和水汽压差是影响石羊河流域植被NDVI空间分布的主要因素。适宜的气候条件是决定了植被的生长,石羊河流域植被NDVI在空间分布的异质性主要是因为复杂的地形地貌特征导致水热条件差异悬殊,进而影响植被的生长,故石羊河流域内气候要素的空间分布对植被生长环境的影响不容忽视。

6 结 论

本文以石羊河流域为研究对象,基于GEE平台探究植被覆盖的变化特征及其影响因素。主要结论如下:

(1)流域尺度上,2001~2020年间石羊河流域植被NDVI整体表现为显著增加趋势,增加速率为0.023/10 a;像元尺度下72.32%的区域表现为显著增加趋势,这主要得益于气候暖湿化和生态修复工程的共同影响。未来植被NDVI变化趋势保持一致($Hurst > 0.5$)的面积占比为63.84%,持续性显著增加的面积占比最大,为47.37%。

(2)偏相关分析结果表明气候要素中降水对植被的影响较强,其余气候要素的影响相对较弱。在气候要素和人类活动的影响下,NDVI_{res}显著增加的面积占比大于NDVI_{pre}显著增加的面积,表明石羊河流域植被NDVI的变化主要受人类活动的积极影响。地理探测器结果表明石羊河流域植被NDVI的空间分布主要受水热条件分布特征的影响。

(3)由于植被生长是一个缓慢的过程,即使在最适宜的气候条件下,植被生长对气候要素的响应也存在滞后性^[6,40]。本文研究发现植被NDVI与温

度、太阳辐射和饱和水汽压差显著相关的面积占比较少,可能是因为未考虑时滞效应导致结果存在偏差。此外,有学者认为影响因素之间并非简单的线性叠加关系,而是多因素耦合驱动的复杂生态过程^[17],因此,针对植被NDVI变化的定量归因和驱动机制的研究还需进一步加深。

参考文献(References):

- [1] ZHAO Jie, DU Ziqiang, WU Zhitao, *et al.* Seasonal variations of day- and nighttime warming and their effects on vegetation dynamics in China's temperate zone[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 395-404. [赵杰, 杜自强, 武志涛, 等. 中国温带昼夜增温的季节性变化及其对植被动态的影响[J]. *地理学报*, 2018, 73(3): 395-404.]
- [2] GONG Z, ZHAO S, GU J. Correlation analysis between vegetation coverage and climate drought conditions in north china during 2001 - 2013 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(2): 143-160. DOI: 10.1007/s11442-017-1369-5
- [3] ZHANG Y, ZHANG C, WANG Z, *et al.* Vegetation dynamics and its driving forces from climate change and human activities in the three-river source region, China from 1982 to 2012 [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 563: 210-220. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.223
- [4] LI Xin, MA Hanqing, RAN Youhua, *et al.* Terrestrial carbon cycle model-data fusion: Progress and challenges [J]. *Science China Earth Sciences*, 2021, 64 (10): 1645 - 1657. [李新, 马瀚青, 冉有华, 等. 陆地碳循环模型—数据融合: 前沿与挑战[J]. *中国科学: 地球科学*, 2021, 51(10): 1650-1663.]
- [5] KARL T R, TRENBERTH K E. Modern global climate change [J]. *Science*, 2003, 302 (5651): 1719-1723. DOI: 10.1126/science.1090228
- [6] KONG D, MIAO C, WU J, *et al.* Time lag of vegetation growth on the Loess Plateau in response to climate factors: Estimation, distribution, and influence [J]. *Science of The Total Environment*, 2020, 744: 140726. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140726
- [7] HAO Binfei, HAN Xujun, MA Mingguo, *et al.* Research progress on the application of Google Earth Engine in geoscience and environmental sciences [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2018, 33(4): 600-611. [郝斌飞, 韩旭军, 马明国, 等. Google Earth Engine在地球科学与环境科学中的应用研究进展[J]. *遥感技术与应用*, 2018, 33(4): 600-611.]
- [8] HAO F, ZHANG X, OUYANG W, *et al.* Vegetation NDVI

- linked to temperature and precipitation in the upper catchments of Yellow River[J]. *Environmental Modeling and Assessment*, 2012, 17(4): 389-398. DOI: 10.1007/s10666-011-9297-8
- [9] ZHANG Xuexia, GE Quansheng, ZHENG Jingyun. Impacts and lags of global warming on vegetation in Beijing for the last 50 years based on remotely sensed data and phenological information[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(2): 123-130. [张学霞, 葛全胜, 郑景云. 近50年北京植被对全球变暖的响应及其时效——基于遥感数据和物候资料的分析[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(2): 123-130.]
- [10] 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]. *National Remote Sensing Bulletin*, 1998, 2(3): 204-210. [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.]
- [11] SHI S, YU J, WANG F, *et al.* Quantitative contributions of climate change and human activities to vegetation changes over multiple time scales on the Loess Plateau[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 755: 142419. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142419
- [12] MYNENI R B, KEELING C D, TUCKER C J, *et al.* Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991 [J]. *Nature*, 1997, 386(6626): 698 - 702. DOI: 10.1038/386698a0
- [13] DAI Shengpei, ZHANG Bo, WANG Qiang, *et al.* Variation in grassland vegetation ndvi and its ten-day response to temperature and precipitation in the Qilian Mountains[J]. *Resources Science*, 2010, 32(9): 1769-1776. [戴声佩, 张勃, 王强, 等. 祁连山草地植被NDVI变化及其对气温降水的旬响应特征[J]. *资源科学*, 2010, 32(9): 1769-1776.]
- [14] KONG Dongdong, ZHANG QIANG, HUANG Wenlin, *et al.* Vegetation phenology change in Tibetan Plateau from 1982 to 2013 and its related meteorological factors[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 39-52. [孔冬冬, 张强, 黄文琳, 等. 1982-2013年青藏高原植被物候变化及气象因素影响[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 39-52.]
- [15] TIAN Zhihui, REN Zuguang, WEI Haitao, *et al.* Driving mechanism of the spatiotemporal evolution of vegetation in the Yellow River Basin from 2000 to 2020[J]. *Environmental Science*, 2022, 43(2): 743-751. [田智慧, 任祖光, 魏海涛. 2000~2020年黄河流域植被时空演化驱动机制[J]. *环境科学*, 2022, 43(2): 743-751.]
- [16] CUI Haonan, LUO Honghai, ZHANG Xuezheng. Temporal and spatial characteristics of green vegetation cover changes in the Yangtze River Economic Belt from 1982 to 2019[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, 40(8): 2517-2529. [崔浩楠, 罗海江, 张学珍. 1982—2019年长江经济带植被覆盖变化的时空特征, *生态学杂志*, 2021, 40(8): 2517-2529.]
- [17] WANG Jinfeng, XU Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134. [王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [18] PENG Wenfu, ZHANG Dongmei, LUO Yanmei, *et al.* Influence of natural factors on vegetation NDVI using geographical detection in Sichuan Province[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(9): 1758-1776. [彭文甫, 张冬梅, 罗艳玫, 等. 自然因子对四川植被NDVI变化的地理探测[J]. *地理学报*, 2019, 74(9): 1758-1776.]
- [19] XIAO Jianyong, WANG Shijie, BAI Xiaoyong, *et al.* Determinants and spatial-temporal evolution of vegetation coverage in the Karst critical zone of South China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(24): 8799-8812. [肖建勇, 王世杰, 白晓永, 等. 喀斯特关键带植被时空变化及其驱动因素[J]. *生态学报*, 2018, 38(24): 8799-8812.]
- [20] LI Lili, WANG Dawei, HAN Tao. Spatial-temporal dynamics of vegetation coverage and responding to climate change in Shiyang River Basin during 2000—2015[J]. *Journal of Desert Research*, 2018, 38(5): 1108-1118. [李丽丽, 王大为, 韩涛. 2000—2015年石羊河流域植被覆盖度及其对气候变化的响应[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(5): 1108-1118.]
- [21] GUAN Wenqian. Spatiotemporal NDVI variations and driving factors in hexi corridor and its surrounding area[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2017. [关文茜. 河西走廊及其周边地区NDVI的时空变化及其驱动因子研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.]
- [22] ZHANG Lifeng. On Vegetation cover change and its influencing factors in Typical Inland River Basins of Northwest ecological environment fragile regions[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2017. [张立峰. 西北生态环境脆弱区典型内陆河流域植被覆盖变化及其影响因素研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2017.]
- [23] NOEL G, MAT H, MIKE D, *et al.* Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 18-27.
- [24] ZHANG Tao, TANG Hong. Vegetation cover changed and urban expansion in Beijing-Tianjin-Hebei during 2001~2015 based on Google Earth Engine[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2018, 33(4): 593-599. [张滔, 唐宏. 基于

- Google Earth Engine 的京津冀 2001~2015 年植被覆盖变化与城镇扩张研究[J]. 遥感技术与应用, 2018, 33(4): 593-599.]
- [25] HUANG Zhongliang, HE Jing, LIU Gang, *et al.* Research progress of remote sensing image analysis and application oriented to GEE platform[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(3): 1-8.[黄仲良,何敬,刘刚,等.面向 GEE 平台的遥感影像分析与应用研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(3): 1-8.]
- [26] ZHOU J, ZHAO Y, HUANG P, *et al.* Impacts of ecological restoration projects on the ecosystem carbon storage of inland river basin in arid area, China [J]. Ecological Indicators, 2020, 118: 106803. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106803
- [27] GUO Zecheng, WEI Wei, PANG Sufei, *et al.* Spatio-Temporal evolution and motivation analysis of ecological vulnerability in Arid Inland River Basin based on SPCA and remote sensing index: A case study on the Shiyang River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7): 2558-2572.[郭泽呈,魏伟,庞素菲,等.基于 SPCA 和遥感指数的干旱内陆河流域生态脆弱性时空演变及动因分析——以石羊河流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(7): 2558-2572.]
- [28] WANG Ning, SU Xiaoling. Singular spectrum analysis of climate variables and runoff in the Shiyang river basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(12): 180-185.[王宁,栗晓玲.石羊河流域水文气象要素变化的奇异谱分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(12): 180-185.]
- [29] LIU Shizeng. Changes of riparian vegetation and its driving factors at the middle and lower reaches of Shiyang River Basin [D]. Beijing: BeiJing Forestry University, 2010.[刘世增.石羊河流域中下游河岸植被变化及其驱动因素研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.]
- [30] QI Yong'an, LI Jijun, ZHANG Jianming, *et al.* Research on eco-functional regionalization in Shiyang River Basin[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2006, 42(4): 29-33.[祁永安,李吉均,张建明,等.石羊河流域生态功能区研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2006, 42(4): 29-33.]
- [31] PENG S, DING Y, LIU W, *et al.* 1 km monthly temperature and precipitation dataset for China from 1901 to 2017 [J]. Earth System Science Data, 2019, 11(4): 1931-1946. DOI: 10.5194/essd-11-1931-2019
- [32] ABATZOGLOU J T, DOBROWSKI S Z, PARKS S A, *et al.* TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958 - 2015[J]. Science Data, 2018, 5: 170191. DOI: 10.1038/sdata.2017.191
- [33] TU You, JIANG Liangliang, LIU Rui, *et al.* Spatiotemporal changes of vegetation NDVI and its driving forces in China during 1982—2015[J]. 2021, 37(22): 75-84.[涂又,姜亮亮,刘睿,等.1982—2015 年中国植被 NDVI 时空变化特征及其驱动分析. 农业工程学报, 2021, 37(22): 75-84.]
- [34] YANG Yanping, CHEN Jianjun, QIN Qiaoting, *et al.* Temporal and spatial variation of vegetation and its response to topography, climate and land use in Guangxi during 2000-2018 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(17): 234-241.[杨艳萍,陈建军,覃巧婷,等.2000-2018 年广西植被时空变化及其对地形、气候和土地利用的响应[J]. 农业工程学报, 2021, 37(17): 234-241.]
- [35] EVANS J, ROLAND G. Discrimination between climate and human-induced dryland degradation[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 57(4): 535-554. DOI: 10.1016/S0140-1963(03)00121-6
- [36] ZHOU Wei, GANG Chengcheng, LI Jianlong, *et al.* Spatial-temporal dynamics of grassland coverage and its response to climate change in China during 1982-2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 15-30.[周伟,刚成诚,李建龙,等.1982-2010 年中国草地覆盖度的时空动态及其对气候变化的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 15-30.]
- [37] SUN Z, MAO Z, YANG L, *et al.* Impacts of climate change and afforestation on vegetation dynamic in the Mu Us Desert, China[J]. Ecological Indicators. 2021, 129. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.108020
- [38] GAO W, ZHENG C, LIU X, *et al.* NDVI-based vegetation dynamics and their responses to climate change and human activities from 1982 to 2020: A case study in the Mu Us Sandy Land, China [J]. Ecological Indicators, 2022, 137. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108745
- [39] XU Xiaoyu, GUO Ping, ZHANG Fan, *et al.* Analysis for changing ecological effects under policy-driven in Shiyang River Basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation. 2020, 34(6): 185-191.[徐晓宇,郭萍,张帆,等.政策驱动下石羊河流域生态效应变化分析[J]. 水土保持学报, 2020, 34(6): 185-191.]
- [40] YIN G, HU Z, CHEN X. *et al.* Vegetation dynamics and its response to climate change in Central Asia[J]. Journal of Arid Land, 2016, 8(3): 375-388. DOI: 10.1007/s40333-016-0043-6

Analysis of Vegetation Cover Change Characteristics and Influencing Factors in the Shiyang River basin based on GEE

FANG Chunshuang¹, ZHU Rui¹, LU Rui¹, CHEN Zexia¹, WANG Lingge¹,
SHAN Jian'an¹, YIN Zhenliang²

(1.Faculty of Geomatics / National-Local Joint Engineering Research Center of Technologies and Applications for National Geographic State Monitoring / Gansu Provincial Engineering Laboratory for National Geographic State Monitoring, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730000, China;

2.National Cryosphere Desert Data Center, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: As an important part of terrestrial ecosystems, vegetation is often used as an indicator to assess the effectiveness of climate change and ecological restoration. In this study, the Shiyang River Basin is taken as an example, Theil-Sen and Mann-Kendall models, and the Hurst index were used to analyze the change characteristics of vegetation cover. The correlation analysis, residual analysis and Geodetector were used to explore the influencing factors of vegetation cover change. The results showed that the vegetation NDVI demonstrated a fluctuating but upward trend from 2001 to 2020, with a rate of increase of 0.023/10 a. Areas with significant increased and significant decreased accounted for 72.32% and 2.4%, respectively. Areas with sustainability ($Hurst > 0.5$) accounted for 63.84 % of the entire area, among which 47.37% showed continuously significant increasing trend. The correlation results between NDVI and climatic factors indicated that the impact of precipitation was particularly significant, and the impacts of temperature, solar radiation and saturated vapor pressure deficit were relatively weak. The area of $NDVI_{pre}$ showed a significant increase trend accounted for 21.59%, while the area of $NDVI_{res}$ showed a significant increase trend accounted for 60.07%, so interannual variation of NDVI in Shiyang River Basin was greatly affected by human activities. Geodetector results showed that the spatial distribution characteristics of water-heat conditions. It is noted that the spatial distribution of NDVI of cultivated land is greatly affected by population density. The results of this study are helpful to deepen the understanding of the driving factors of vegetation change and provide scientific reference for ecological protection and restoration of Shiyang River Basin.

Key words: NDVI; Influencing factors; Google Earth Engine; Geodetector; Shiyang River Basin