

doi: 10.6046/zrzyyg.2021086

引用格式: 姚金玺, 张志, 张焜. 基于 GEE 的诺木洪洪积扇植被时空变化特征、成因及趋势分析[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(1): 249–256. (Yao J X, Zhang Z, Zhang K. An analysis of the characteristics, causes, and trends of spatio-temporal changes in vegetation in the Nuomuhong alluvial fan based on Google Earth Engine[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(1): 249–256.)

基于 GEE 的诺木洪洪积扇植被时空变化特征、成因及趋势分析

姚金玺¹, 张志¹, 张焜²

(1. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 武汉 430074; 2. 青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室, 西宁 810300)

摘要: Google Earth Engine(GEE)平台使植被遥感监测突破了数据获取难、本地存储量大和处理效率低的限制。基于 GEE 平台, 利用空间分辨率为 30 m 的 Landsat 卫星数据和空间分辨率为 250 m 的 MODIS 卫星数据, 结合温度和降水气象数据研究 2000—2017 年间青海省诺木洪洪积扇地表植被的时空变化趋势及持续性, 并分析不同时代洪积扇上枸杞种植园和盐碱化区的植被关系及未来变化。结果表明: ①2000—2017 年间最大合成归一化差异植被指数年均值从 0.029 上升到 0.054, 增幅为 0.025, 最大增强植被指数(enhanced vegetation index, EVI)年均值从 0.633 上升到 0.771, 增幅为 0.138, 多年 EVI 最大化的均值结果显示峰值区间在每年的 5—10 月; ②对最大 EVI 均值与温度、降水量数据进行相关分析和偏相关分析, 最大 EVI 均值与温度相关系数为 0.839, 表现为强相关性, 与降水量相关系数为 0.457, 表现为弱相关性, 且最大 EVI 均值与温度、降水均存在显著的正相关关系; ③在 18 a 内枸杞种植园植被改善较快, 而盐碱化区植被有所衰减; ④未来枸杞种植区与盐碱化区植被变化均具有强持续性, 枸杞种植区植被增长对盐碱化区植被有一定的制约效应, 且在未来一段时间会持续存在。

关键词: 诺木洪洪积扇; 植被变化; 植被指数; Hurst 指数; Google Earth Engine

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2022)01-0249-08

0 引言

植被是陆地生态系统中的重要组分。理解植被对气候变化的响应对认识与预测未来生态系统的演化具有重要意义^[1], 是干旱、半干旱区生态环境监测的内容^[2]。近几十年来, 受到全球气候变暖的影响, 青海省诺木洪地区气候向暖湿化发展, 径流有所增加。尽管对诺木洪河的管理得到加强, 但由于农业用水的增加, 对下游生态用水、植被发育产生一定的影响。

利用时间序列植被指数监测陆地植被生长变化规律并探讨气候要素的驱动作用已成为植被-气候相互作用研究中的重要方向之一^[3-4]。气候变化和人类活动可能导致植被出现新的变化, 需要对其重新认识^[5]。基于传统数据平台和低空间分辨率影

像分析大区域植被变化和驱动因素已开展较多研究^[6-9]。基于遥感和地理信息系统(geographic information system, GIS)技术, 徐浩杰等^[6]和王林林等^[7]利用生长季 MODIS 数据分析植被季节时空变化及其驱动因子, 发现柴达木盆地植被覆盖呈逐步改善趋势; 张斯琦等^[8]和李艳丽等^[9]利用 MODIS 数据分析植被覆盖度及人类活动与植被演化、径流改变之间的关系。但前人研究多利用低空间分辨率遥感数据监测大区域植被宏观变化, 并采用传统方法下载、存储与处理遥感影像, 研究成果精度与效率低。

Google Earth Engine(GEE)平台中数据包括近 40 a 的全球卫星影像, 且提供超过 800 种功能函数^[10]。基于云计算的 GEE 平台可在线高效处理大规模地理数据集, 有效地解决了遥感大数据中的处理难题^[11-12]。

基于 GEE 平台, 利用 2000—2017 年 MODIS 增

收稿日期: 2021-03-23; 修订日期: 2021-09-08

基金项目: 青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室开放课题“青海柴南缘林草湿资源长时间系列遥感自动提取方法——以察汗乌苏镇—诺木洪乡段为例”(编号: 2019-kz-01)和青海省科技厅创新平台建设专项项目“青海省自然资源要素与生态状况一体化遥感监测应用平台”(编号: 2019-ZJ-T04)共同资助。

第一作者: 姚金玺(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向为生态环境遥感。Email: 1812283850@qq.com。

通信作者: 张志(1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向为生态地质和遥感地质。Email: 171560655@qq.com。

强植被指数(enhanced vegetation index, EVI)数据和 Landsat 归一化差异植被指数(normal difference vegetation index, NDVI)数据,分析长时间序列植被变化特征,重点研究不同年代诺木洪洪积扇上枸杞种植区和盐碱化区植被变化特征以及气候对植被变化的影响。在此基础上分析人为因素在植被时序演化中所起到的作用,并利用重标极差分析方法研究诺木洪洪积扇植被变化趋势的可延续性,以期对诺木洪河水资源综合管理和可持续发展决策提供参考。

1 研究区概况及数据源

研究区主体位于青海省海西蒙古族藏族自治州都兰县诺木洪地区,地理坐标为 $N36^{\circ}10' \sim 36^{\circ}35'$, $E96^{\circ}15' \sim 96^{\circ}40'$,海拔为 2 767 ~ 3 191 m(图 1),属高原干旱大陆性气候,干燥少雨,年均气温为 $1.2 \sim 4.3^{\circ}\text{C}$,降水量为 17.8 ~ 177.5 mm,集中在 6—9 月,表现出雨热同季^[13]。区内主要植被类型为梭梭、怪柳和芦苇等植物,覆盖度不高,在晚期洪积扇扇缘及河流沿岸等含水量高的地区,植被长势良好。

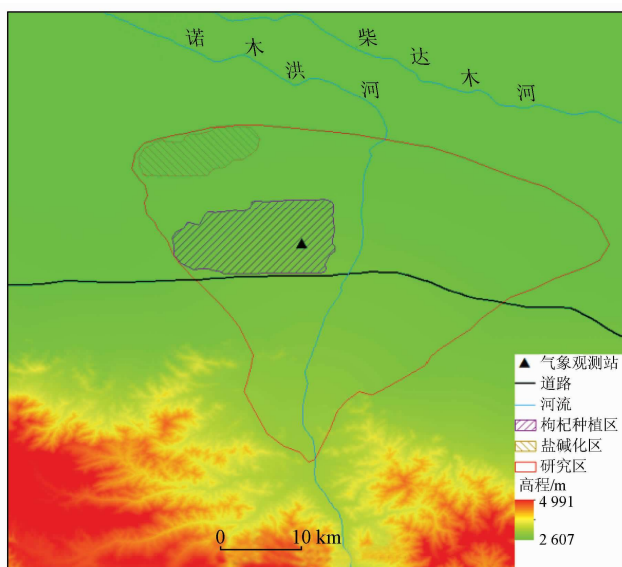


图 1 诺木洪洪积扇位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the location of Nuomuhong alluvial fans

本文 MODIS, Landsat5 与 Landsat8 卫星数据均经过了辐射定标和大气校正,使用的 EVI 数据是 250 m 空间分辨率的 MODIS 卫星 16 d 合成的 EVI 产品 MOD13Q1^[14], NDVI 数据是基于 Landsat5 与 Landsat8 影像计算所得。通过 GEE 算法去云得到高质量的影像数据后还需进行空间和时间双维度的数据筛选,空间筛选利用 clip 或 clipToCollection 函数,时间跨度为 2000—2017 年。预处理过程和数值计算等操作在 GEE 平台上由 JavaScript 语言编程实现。

气象数据为诺木洪气象观测站的年均温度及总降水量,时间跨度为 2000—2017 年,其来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)。

2 研究方法

研究主要包括:遥感影像的收集与预处理,获取降水量和温度数据;计算植被覆盖特征因子和自然环境因子;变化特征的分析及结果验证;植被变化影响因素分析和未来变化趋势分析 4 个部分。技术路线如图 2 所示。

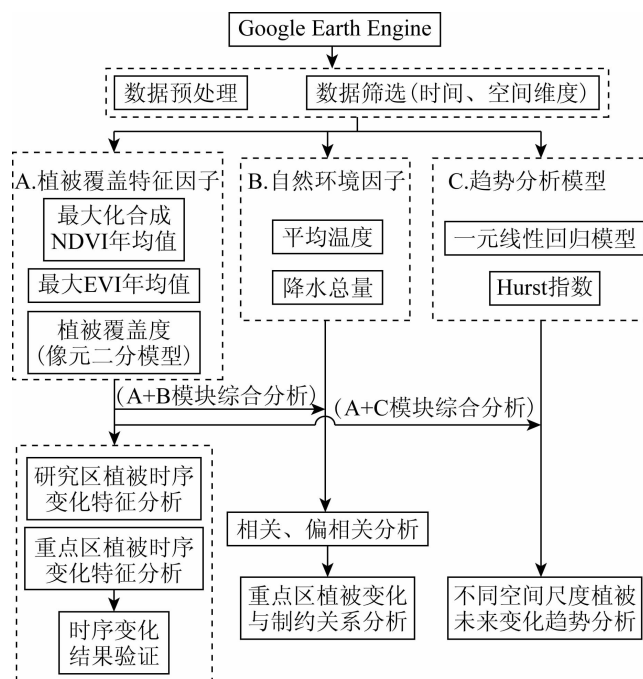


图 2 技术路线

Fig. 2 Technical route

2.1 最大化合成与最大值计算法

对 2000—2017 年研究区 Landsat 卫星数据进行计算 NDVI 值,并筛选每个像素的 NDVI 最大值,予以合成,针对 MODIS 卫星 EVI 产品进行筛选最大的 EVI 值。利用 2 组数据以及不同的计算方法来表达整个区域当年植被生长最繁茂的时期,分析该时间段内月际、年际植被变化特征。

2.2 Pearson 相关分析与一阶偏相关分析法

对温度、降水量和各个时间点的最大 EVI 值数据做相关分析与偏相关分析,由此解释温度、降水量与最大化 EVI 数据的相关程度^[15]。2 个变量之间 Pearson 相关系数 ρ_{XY} 定义为这 2 个变量的协方差与二者标准差积的商,即

$$\rho_{XY} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E\{[X - E(X)][Y - E(Y)]\}}{\sigma_X \sigma_Y}, \quad (1)$$

式中: X 和 Y 为 2 个变量; $\text{cov}(X, Y)$ 为 X 与 Y 的协

方差; $\sigma_X \sigma_Y$ 为 X 与 Y 的标准差之积; $E(X)$ 为 X 的数学期望。

当相关系数处于 $[0.8, 1]$ 时,二者高度相关;处于 $[0.5, 0.8)$ 时,二者中度相关;处于 $[0.3, 0.5)$ 时,二者低度相关;小于 0.3 时则为弱度相关。

在 3 个变量中,任意 2 个变量的偏相关系数是在排除其余一个变量影响后计算得到的,称为一阶偏相关系数,公式为:

$$r_{ij \cdot h} = \frac{r_{ij} - r_{ih}r_{jh}}{\sqrt{(1 - r_{ih}^2)(1 - r_{jh}^2)}}, \quad (2)$$

式中: $r_{ij \cdot h}$ 为排除变量 X_h 影响后的 X_i 和 X_j 的偏相关系数; r_{ij} 为变量 X_i 与 X_j 的简单相关系数; r_{ih} 为变量 X_i 与 X_h 的简单相关系数; r_{jh} 为变量 X_j 与 X_h 的简单相关系数。

偏相关系数检验的零假设为: 总体中 2 个变量间的偏相关系数为 0。使用 t 检验方法,公式为:

$$t = \frac{r \sqrt{n - k - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}, \quad (3)$$

式中: r 为相应的偏相关系数; n 为样本观测数; k 为可控制变量的数目; $n - k - 2$ 为自由度。当 $t > t_{0.05}(n - k - 2)$ 或 $p < 0.05$ 时,拒绝原假设。

2.3 Hurst 指数

Hurst 指数常用于定量描述时间序列变化趋势的可延续性^[16],可以更好地分析植被的年际变化特征。Hurst 指数由英国水文学家 Hurst^[17] 提出,现已应用于地质、遥感和水文等领域中。

本文中利用重标极差分析方法计算 Hurst 指

数,分析研究区域内未来短期的植被变化趋势。Hurst 指数值 H 总体处于 $[0, 1]$ 区间之内,将此区间进行划分代表着不同的含义。当 $0 \leq H < 0.5$ 时,表明时间序列具有长期相关性,但将来的总体趋势和过去相反,即反持续^[18];当 $H \geq 0.5$ 时,表明时间序列具有长期相关的特征,即此过程具有持续性,且 H 越接近 1,持续性越强。

3 结果与分析

3.1 植被时序变化特征分析

3.1.1 植被覆盖度

利用像元二分模型结合 NDVI 数据获取研究区 2000 年和 2017 年的植被覆盖度(图 3)。参考相关植被覆盖度划分的文献^[19],结合该研究区的气象数据、植被生长状态以及实地勘察情况,综合分析可知,在戈壁以及盐碱化严重的区域,往往只有少量梭梭树以及怪柳,覆盖度比较低,而在枸杞种植园地由于人为的作用,植被发育较好。因此,将植被覆盖度以 0.5 为节点,处于 $[0, 0.3)$, $[0.3, 0.5)$, $[0.5, 0.8)$ 和 $[0.8, 1]$ 分别划分为极低植被覆盖度、低等植被覆盖度、中等植被覆盖度与高等植被覆盖度。在整个区域 18 a 的时间内,极低植被覆盖度由 66.04% 上升到 67.71%,低等植被覆盖度由 12.84% 上升到 13.63%,中等植被覆盖度由 12.33% 下降到 11.28%,高等植被覆盖度由 8.79% 下降到 7.38%,总体上来看植被变化并不大,整体植被发育比较弱。

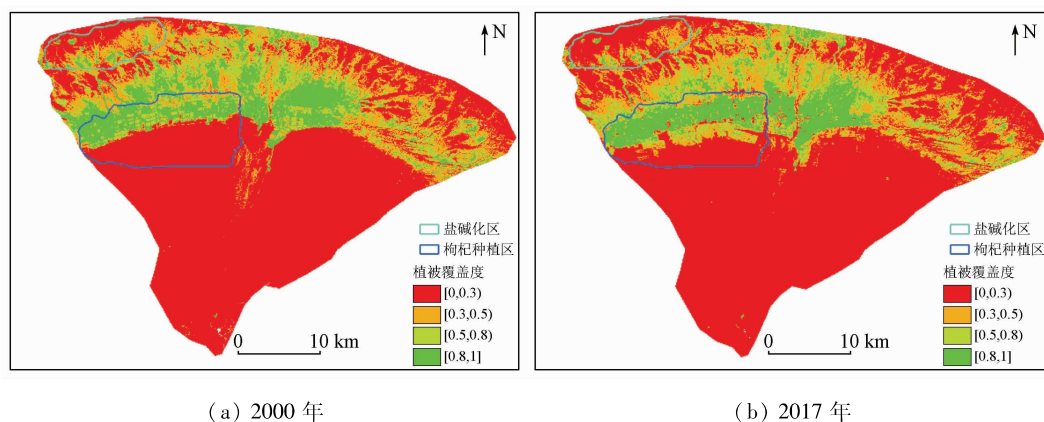


图 3 2000 年和 2017 年研究区植被覆盖度

Fig. 3 Vegetation coverage of the study area in 2000 and 2017

3.1.2 植被指数

MODIS 卫星和 Landsat 卫星的空间分辨率分别为 250 m 和 30 m,时间分辨率分别为 1 d 和 16 d。采用不同空间、时间分辨率的卫星产品,在不同空间、时间尺度上分析植被的变化特征,以对比分析使

结果更具代表性。

利用最大化合成法得到的 NDVI 年均值和最大 EVI 年均值来表达每年植被最茂盛的时期(图 4)。最大化合成 NDVI 年均值由 0.029 上升到 0.054,增幅为 0.025,平均年增速为 0.208% ($k = 0.00219$,

$R^2=0.806\ 73$); 最大 EVI 年均值从 0.633 上升到 0.771, 增幅为 0.138, 平均年增速为 1.15% ($k=0.007\ 73$, $R^2=0.816\ 56$)。结果显示在 2000—2008

年内 2 组数据均处于相对平稳状态, 在此时间段内植被变化不大, 在 2008—2017 年内 2 组数据显示的植被变化趋势处于大幅度的上升状态。

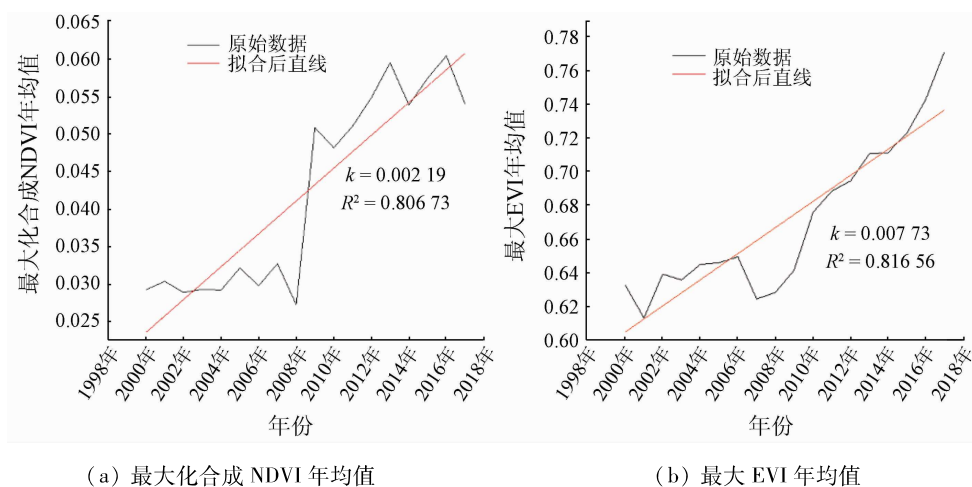


图 4 2000—2017 年研究区植被年际变化

Fig. 4 Inter-annual changes of vegetation in study area from 2000 to 2017

利用时间分辨率为 1 d 的 MODIS 数据分析月际植被变化特征, 最大 EVI 月均值的结果高值集中在每年 5—10 月 (图 5(a)), 以此判断植被比较茂盛

的时间段是在 5—10 月份, 植被增长最快的时间约为每年 6—7 月。

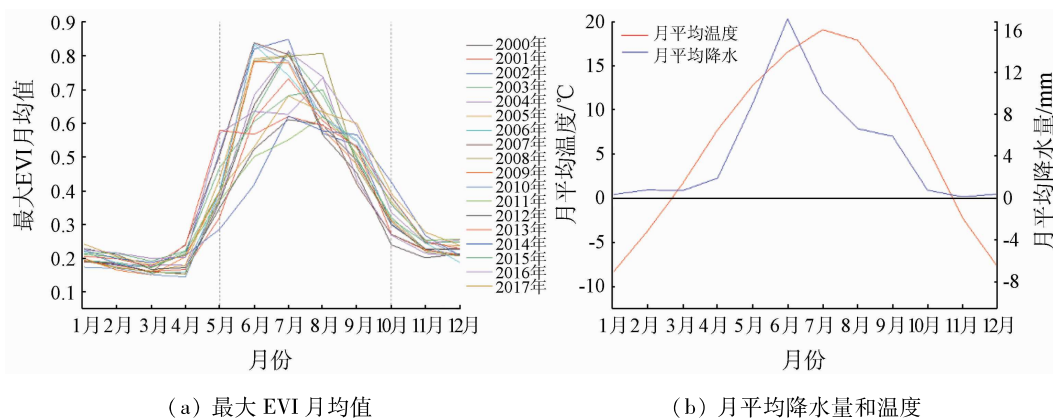


图 5 2000—2017 年研究区植被月际变化

Fig. 5 Inter-monthly changes of vegetation in study area from 2000 to 2017

植被变化时间特征与降水量、温度在每年的月际分布基本一致, 平均降水量和温度在 1 月份出现最小值 (0.3 mm, $-8.4\ ^\circ\text{C}$), 在 6—7 月份出现最大值 (17.1 mm, $19.0\ ^\circ\text{C}$)。从 5 月份开始, 温度逐渐上升, 降水量也有所增加 (图 5(b)), 且最大 EVI 月均值对降水、温度的变化亦有所响应, 为了进一步反映它们之间的关联, 则引入相关与偏相关分析方法。植被生长季开始前温度多在 $0\ ^\circ\text{C}$ 以下, 温度升高有利于植物萌发。在植物生长季期间, 平均温度约为 $10\ ^\circ\text{C}$, 热量充足且降水量的增加有利于提高土壤的含水量, 进而促进植被发育^[20]。

3.2 植被变化影响因素分析

基于 18 a 间诺木洪洪积扇的 MODIS 卫星 16 d 合成的 EVI 产品 MOD13Q1, 1 a 内会有比较多的合

成时间点, 对每 2 个合成时间点间的温度数据取平均, 降水量取总和, 初步形成对应时间点的变量集合 (时间点也称为样本点, 根据时间点筛选自然因素数据更有利于研究其与植被变化之间的关系)。为了使每个月的数据点具有代表性, 对每个月的最大化 EVI 和温度数据取平均值, 降水数据取累计便得到需要进行分析的最大化 EVI、温度与降水变量集合 (3 个数据集的变量个数均为 411 个)。

对最大化 EVI 值的平均数据集分别与平均温度数据集、降水数据集进行相关分析, 结果显示 EVI 数据集与温度数据集之间的 Pearson 相关系数是 0.839, 显著性 $0.000 < 0.01$, 说明二者之间高度相关, 即温度的变化在植被变化过程中起到很大的作用。EVI 数据集与降水数据集之间的 Pearson 相关

系数是 0.457, 显著性 $0.000 < 0.01$, 说明二者之间具有低度相关性, 则该研究区域的植被对温度的敏感度要大于对降水的敏感度。

对 3 个变量集合进行一阶偏相关分析, EVI 数据集与温度、降水数据集的一阶偏相关系数分别为 0.816 和 0.327, 显著性 $0.000 < 0.01$ 。2 个一阶偏相关系数均大于 0, 即 EVI 数据与温度、降水均呈现正相关的相关关系, 且 EVI 数据和温度、降水之间的正相关具有显著性。

综合分析结果可知: 在 2000—2017 年间, EVI 数据与温度之间具有显著的强正相关性, 与降水量则是呈现出弱正相关关系, 说明温度与降水是影响植被发育的重要因素, 且影响该区域植被变化的主要因素为温度, 而降水对植被变化的影响效果比较弱。原因是诺木洪洪积扇降水总体稀少, 年降水量仅 17.8 ~ 177.5 mm, 植被多为农作物与人工防护

林, 生产用水多依靠地下水与远程高山融雪^[21]。

3.3 枸杞种植区和盐碱化区植被变化与制约关系

3.3.1 重点区植被覆盖度变化趋势分析

诺木洪洪积扇植被在 18 a 内整体变化并不明显, 但枸杞园地和盐碱化区变化则是相对突出, 故在研究区内圈定 2 个重点研究区——枸杞种植区和盐碱化区 (图 1 斜线区域), 划分依据是以研究区 2000 年和 2017 年植被覆盖度等级图为基础, 结合水系支流数量和方向, 将诺木洪河左侧支流 (哈西瓦河)、青藏公路和新扇扇缘部分划为良好绿洲——枸杞种植区。水是影响盐碱化区植被发育好坏的最重要的因素, 一般河流尾部是植被变化相对剧烈的位置^[22], 故将早期洪积扇的扇缘位置划为盐碱化区。

根据像元二分模型对枸杞种植区和盐碱化区近 18 a 内的植被覆盖度进行计算和拟合 (图 6)。

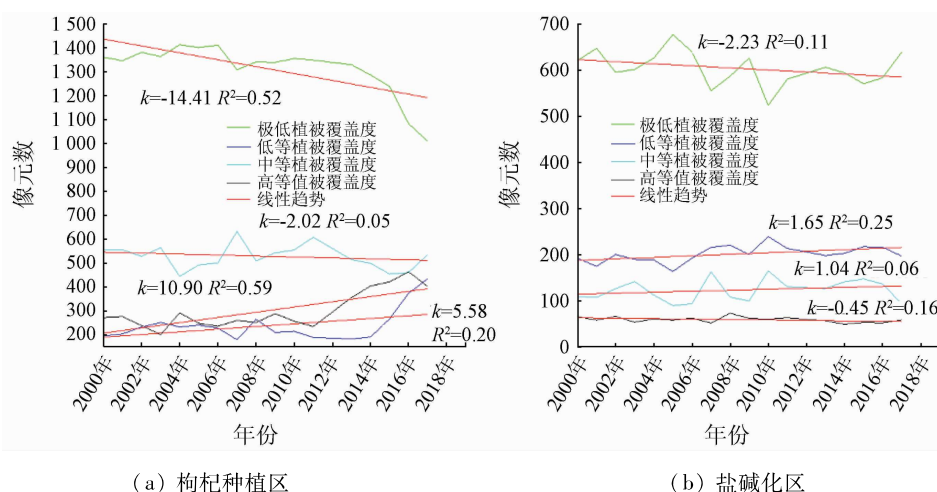


图 6 枸杞种植区和盐碱化区植被覆盖度年际变化

Fig. 6 Interannual changes of vegetation coverage in the wolfberry planting area and salinization area

枸杞种植区的极低植被覆盖度等级在时间段内有很大程度降低 ($k = -14.41$), 中等植被覆盖度有所降低, 但变化程度不大 ($k = -2.02$); 相反高等植被覆盖度上升较多 ($k = 10.90$), 低等植被覆盖度也有所上升 ($k = 5.58$)。综合分析枸杞种植区极低覆盖度降低而高等植被覆盖度上升现象, 即在 2000—2017 年内枸杞种植区植被发育较好。而盐碱化区的各个植被覆盖度等级变化均不大, 高等植被覆盖度有降低的趋势 ($k = -0.45$), 低等和中等植被覆盖度虽有略微上升趋势, 结合覆盖度等级之间转变关系及该区域主要受高等植被覆盖度影响分析, 盐碱化区域在近 18 a 内植被是有所退化的。

3.3.2 重点区植被覆盖度变化趋势验证

利用 GEE 平台在枸杞种植区和盐碱化区均匀生成验证点, 计算近 18 a 的 NDVI 进行一元线性回归以获取 NDVI 值和时间回归方程的斜率值 k , 如图 7 所

示。枸杞种植区的 k 值较大, 即植被改善速率较快,

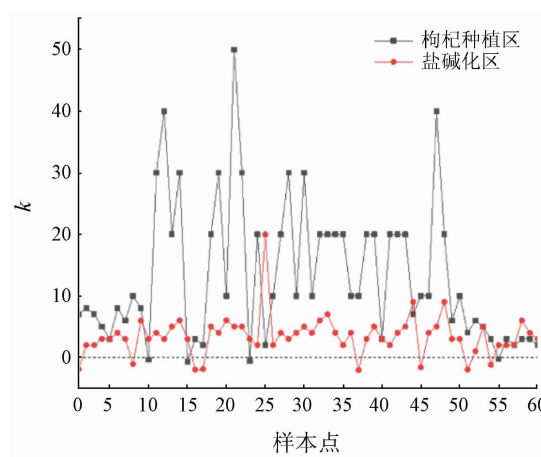


图 7 2000—2017 年间诺木洪洪积扇枸杞种植区和盐碱化区 NDVI 变化 k 值

Fig. 7 The k value of NDVI change in Nuomuhong alluvial fan wolfberry planting area and salinization area from 2000 to 2017

而样本点 10,15,23 和 55 斜率值为负值,说明有些地块植被出现衰减,考虑其是不适合农作物生长的地块,通过人为因素的干预导致植被衰减。盐碱化区 k 值比较小,多数值处于 $[0,5]$,说明盐碱化区域植被在此时间段内并没有很大的改善。相反,样本点 1,8,16,17,37,45,51 和 54 斜率值出现负值,说明盐碱化区域部分植被退化与消亡。

综合分析 18 a 整个区域内植被逐渐发育,但枸杞种植区和盐碱化区植被改善速率差异较大,枸杞种植区植被变化速率 k 均值为 13.23,下游植被变化速率均值为 3.47。故考虑是由于枸杞种植区域植被受到人为作用的干扰^[23],导致用水量逐渐增大,导致盐碱化区域水资源减少,进而使得盐碱化区

植被改善速率远低于枸杞种植区,反而有部分区域植被逐渐退化。

3.4 不同空间尺度的植被未来变化趋势分析

3.4.1 研究区植被未来变化趋势

利用 Hurst 指数对研究区未来变化趋势分析(图 8),研究区像元的 H 主要集中在 0.5~0.8 区间之内, $H \geq 0.5$ 的像元占比为 95.89%, $H < 0.5$ 的像元占比为 4.11%。故在未来一段时间内该区域植被变化与 18 a 来植被变化具有极大的一致性,洪积扇扇缘位置的持续性要低于扇中和扇根位置,原因是扇缘有发育较好的植被,植被发育受多方面因素影响,而扇中和扇根主要是戈壁和岩体,植被发育很低。

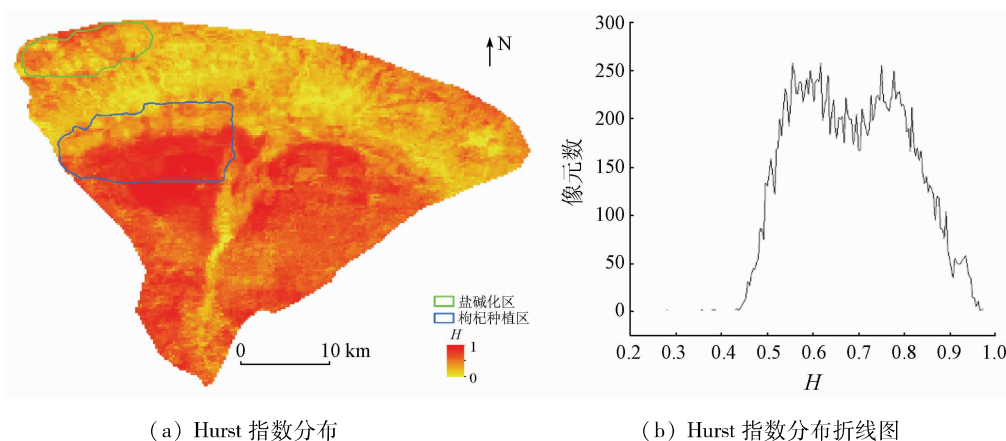


图 8 研究区 Hurst 指数分布

Fig. 8 Hurst exponent distribution in the area of study area

3.4.2 重点区植被未来变化趋势

枸杞种植区植被变化具有强持续性(图 9(a)), H 均值为 0.759,其中: $H \geq 0.5$,即持续性比重为 99.169%, $H < 0.5$,即反持续性比重为 0.764%,即表示未来一段时间内植被变化与 18 a 间植被变化趋势有很大程度的一致性。

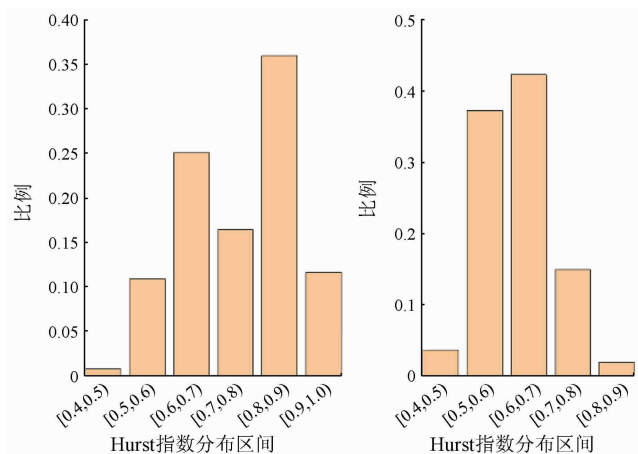
盐碱化区植被变化持续性相对于枸杞种植区要弱,但仍具有强持续性(图 9(b)), H 均值为 0.624, $H \geq 0.5$,即持续性比重为 95.788%, $H < 0.5$,即反持续性比重为 3.605%,即表示未来一段时间内盐碱化区植被变化与 18 a 间的植被变化趋势有较大程度一致性。

分析可知盐碱化区的持续性相对于枸杞种植区要低,由于盐碱化区除了受到温度和降水等气象因素的影响之外,更重要的还受上游枸杞地种植区植被变化影响,上游人为因素干扰使得上游植被进一步发育时,则会导致下游区域植被持续退化。

4 结论

通过对研究区与重点区进行综合分析其植被变化特征、植被变化成因以及未来趋势,可以得到以下结论:

1)2000—2017 年间,诺木洪洪积扇植被向好的方向转变,但改善速率不大,主要原因是受到气象因子的影响,且温度的影响要远大于降水的影响。



(a) 枸杞种植区 Hurst 指数分布 (b) 盐碱化区 Hurst 指数分布

图 9 枸杞种植区和盐碱化区 Hurst 指数分布

Fig. 9 Hurst index distribution of wolfberry planting area and salinization area

2) 枸杞种植区受到人为作用使得植被持续发育,枸杞种植区的植被增长对盐碱化区植被有着一定的制约效应,且在未来一段时间内会一直存在。

3) 未来枸杞种植区与盐碱化区均具有明显的强持续性。

本文是依托于自然因素对植被变化的影响上来反映人类活动的作用,虽然采用 18 a 间的遥感和气候数据进行分析,时间上满足长时间序列分析的要求,但研究区内地表植被的变化十分复杂,物候信息在植被变化中也十分重要,若增加每个时间段内植被物候信息,分析结果精度将会进一步提高,也可以更好地说明人类活动的作用。

参考文献 (References):

- [1] 张学珍,郑景云,何凡能,等. 1982—2006 年中国东部秋季植被覆盖变化过程的区域差异[J]. 自然资源学报,2013,28(1):28—37.
Zhang X Z, Zheng J Y, He F N, et al. Spatial differences of variations in autumn fractional vegetation coverage in Eastern China during 1982—2006 [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28 (1): 28—37.
- [2] Wang X, Hua T, Lang L, et al. Spatial differences of aeolian desertification responses to climate in arid Asia[J]. Global and Planetary Change, 2017, 148: 22—28.
- [3] Yang L M, Bruce K W, Larry L T, et al. An analysis of relationships among climate forcing and time-integrated NDVI of grasslands over the U. S. Northern and Central Great Plains[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 65(1): 25—37.
- [4] Yang W, Yang Z, Merchant J W. An assessment of AVHRR NDVI eco-climatological relations in Nebraska, USA[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(10): 2161—2180.
- [5] 陈发虎,傅伯杰,夏军,等. 近 70 年来中国自然地理与生存环境基础研究的重要进展与展望[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(11): 1659—1696.
Chen F H, Fu B J, Xia J, et al. Major advances in studies of the physical geography and living environment of China during the past 70 years and future prospects[J]. Science China: Earth Sciences, 2019, 49(11): 1659—1696.
- [6] 徐浩杰,杨太保. 柴达木盆地植被生长时空变化特征及其对气候要素的响应[J]. 自然资源学报, 2014, 29(3): 398—407.
Xu H J, Yang T B. Spatial-temporal variations of vegetation activities and its responses to climatic factors in the Qaidam Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(3): 398—407.
- [7] 王林林,刘普幸,王允. 近 14 年来柴达木盆地 NDVI 时空变化及其影响因素[J]. 生态学报, 2015, 34(6): 1713—1722.
Wang L L, Liu P X, Wang Y. Spatial and temporal variations of NDVI and its influencing factors in Qaidam Basin in the last 14 years[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(6): 1713—1722.
- [8] 张斯琦,陈辉,宋家明,等. 2000—2015 年柴达木盆地植被覆盖度时空变化及其与环境因子的关系[J]. 干旱区地理, 2019, 42(5): 1124—1131.
Zhang S Q, Chen H, Song J M, et al. Spatial and temporal variation of fractional vegetation cover and its relationship with environmental factors in the Qaidam Basin during 2000—2015[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(5): 1124—1131.
- [9] 李艳丽,杨太保,曾彪. 基于 MODIS 数据的柴达木盆地南缘绿洲土地覆盖动态变化研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1): 34—41.
Li Y L, Yang T B, Zeng B. Land cover change of southern fringe oasis in the Qaidam Basin from 2000 to 2009 based on MODIS data [J]. Journal of Desert Research, 2011, 31(1): 34—41.
- [10] Gorelick N, Hancher M, Dixon M, et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 202: 18—27.
- [11] Goldblatt R, You W, Hanson G, et al. Detection the boundaries of urban areas in India: A dataset for pixel-based image classification in Google Earth Engine[J]. Remote Sensing, 2016, 8(8): 634.
- [12] Dong J, Xiao X, Menarguez M A, et al. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat8 image, phenology-based algorithm and Google Earth Engine[J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 185: 142—154.
- [13] Fu Y, Chen H, Niu H, et al. Spatial and temporal variation of vegetation phenology and its response to climate changes in Qaidam Basin from 2000 to 2015 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(4): 400—414.
- [14] 孙雷刚,刘剑锋,徐全洪. 河北坝上地区植被覆盖变化遥感时空分析[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(1): 167—172. doi:10.6046/gtzyyg. 2014. 01. 28.
Sun L G, Liu J F, Xu Q H. Remote sensing based temporal and spatial analysis of vegetation over changes in Bashang area of Hebei Province [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26 (1): 167—172. doi:10.6046/gtzyyg. 2014. 01. 28.
- [15] 徐嘉昕,方世波,张廷斌,等. 2000—2016 年三江源区植被生长季 NDVI 变化及其对气候因子的响应[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(1): 237—246. doi:10.6046/gtzyyg. 2020. 01. 32.
Xu J X, Fang S B, Zhang T B, et al. NDVI changes and its correlation with climate factors of the Three River-Headwater region in growing seasons during 2000—2016 [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(1): 237—246. doi:10.6046/gtzyyg. 2020. 01. 32.
- [16] 蔡博峰,于嵘. 基于遥感的植被长时序趋势特征研究进展及评价[J]. 遥感学报, 2009, 13(6): 1170—1186.
Cai B F, Yu R. Advance and evaluation in the long time series vegetation trends research based on remote sensing [J]. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(6): 1170—1186.
- [17] Hurst H E. Long term storage capacity of reservoirs[J]. American Society of Civil Engineers Transactions, 1951, 116(776): 770—808.
- [18] Granero M A S, Segovia J E T, Pérez J G. Some comments on Hurst exponent and the long memory processes on capital markets[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2008, 387 (22): 5543—5551.
- [19] 刘明霞,刘友存,陈明,等. 2000—2018 赣江上游植被覆盖度时空演化及其对气候变化的响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40 (5): 284—290.
Liu M X, Liu Y C, Chen M, et al. Spatiotemporal evolution of vege-

- tation coverage and its response to climate change in upper reaches of Ganjiang River basin during 2000—2018 [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2020, 40(5): 284–290.
- [20] 徐浩杰, 杨太保. 1981—2010 年柴达木盆地气候要素变化特征及湖泊和植被响应 [J]. *地理科学进展*, 2013, 32(6): 868–875.
- Xu H J, Yang T B. Climate factors change and its impact on lake area and vegetation growth in the Qaidam Basin during 1981—2010 [J]. *Progress in Geography*, 2013, 32(6): 868–875.
- [21] 梁守真, 禹定峰, 王 猛, 等. 应用遥感时序数据研究植被变化与气候因子的关系——以环渤海地区为例 [J]. *国土资源遥感*, 2015, 27(3): 114–121. doi:10.6046/gtzyyg. 2015. 03. 19.
- Liang S Z, Yu D F, Wang M, et al. Application of remote sensing time-series data to investigate the relationship between vegetation change and climatic factors: A case study of Circum-Bohai Sea area [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2015, 27(3): 114–121. doi:10.6046/gtzyyg. 2015. 03. 19.
- [22] 张 华, 安徽敏. 基于 GEE 的 1987—2019 年民勤绿洲 NDVI 变化特征及趋势分析 [J]. *中国沙漠*, 2021, 41(1): 28–36.
- Zhang H, An H M. Analysis of NDVI variation characteristics and trend of Minqin Oasis from 1987 to 2019 based on GEE [J]. *Journal of Desert Research*, 2021, 41(1): 28–36.
- [23] 常 纯, 王心源, 杨瑞霞, 等. 基于 DEM-NDVI 的高山植被带定量刻画 [J]. *地理研究*, 2015, 34(11): 2113–2123.
- Chang C, Wang X Y, Yang R X, et al. A quantitative characterization method for alpine vegetation zone based on DEM and NDVI [J]. *Geographical Research*, 2015, 34(11): 2113–2123.

An analysis of the characteristics, causes, and trends of spatio-temporal changes in vegetation in the Nuomuhong alluvial fan based on Google Earth Engine

YAO Jinxi¹, ZHANG Zhi¹, ZHANG Kun²

(1. *Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences (Wuhan)*, Wuhan 430074, China; 2. *Key Laboratory of the Northern Qinghai-Tibet Plateau Geological Processes and Mineral Resources, Xining 810300, China*)

Abstract: Google Earth Engine enables some limitations in the remote sensing monitoring of vegetation to be overcome, including difficult data acquisition, large local storage capacity, and low processing efficiency. Using GEE, the data of satellites Landsat and MODIS (spatial resolution: 30 m and 250 m, respectively), and temperature and precipitation data, this study investigated the spatio-temporal change trends and sustainability of the vegetation in the Nuomuhong alluvial fan in Qinghai Province during 2000—2017. Moreover, this study analyzed the relationships of vegetation between wolfberry plantations and salinized areas on the alluvial fans of different eras and the future changes of the relationships. The results are as follows: ① The average annual maximum synthetic normalized difference vegetation index (NDVI) increased from 0.029 to 0.054 during 2000—2017, with an increased amplitude of 0.025. The average annual enhanced vegetation index (EVI) increased from 0.633 to 0.771 during these years, with an increased amplitude of 0.138. The multiyear average maximum EVI showed that EVI peaks occurred from May to October each year. ② A correlation analysis and a partial correlation analysis were conducted between the average maximum EVI and the temperature and precipitation data. According to the analytical results, the correlation coefficient between the average maximum EVI and temperature was 0.839, indicating a strong positive correlation. Meanwhile, the correlation coefficient between the average maximum EVI and precipitation amount was 0.457, indicating a weak positive correlation. ③ Over 18 years, the vegetation in wolfberry plantations was rapidly improved, while the vegetation in the salinized area degenerated. ④ The future changes in the vegetation in wolfberry planting areas and salinized areas will have strong sustainability. The vegetation growth in wolfberry planting areas will continuously restrict the vegetation in the salinized area to a certain extent in a period in the future.

Keywords: Nuomuhong alluvial fan; vegetation change; vegetation index; Hurst index; Google Earth Engine

(责任编辑: 张 仙)