

Suitability Evaluation of Ecological Control Measures for Typical Small Watershed Soft Rock Area Based on TVDI and NDVI changes

Jing Liu^{1,*}, Li-Ga Bai², Shan Yin², Guo Jianyin

¹ Institute of Water Resources for Pastoral Area of the Ministry of Water Resources of China, Hohhot 010020,

² Inner Mongolian Normal University, Hohhot 010020, P.R. Inner Mongolia, China;

*Corresponding author Email: mksliujing@163.com

ABSTRACT

The spatiotemporal variation characteristics of soil moisture and vegetation change are important factors to monitor the effect of water and soil loss control in a watershed. Based on the multi-source remote sensing data from 2015 to 2019, the temporal and spatial variation laws of LUCC, TVDI and NDVI in small watershed are analyzed, and the relationship and change trend of TVDI and NDVI are analyzed by Hurst index. The results showed that: (1) after 5 years of management, the spatial structure of land use, soil moisture TVDI and vegetation coverage NDVI have changed significantly, and the differences of soil moisture and vegetation coverage among different land use types are obvious. The recovery of trees and shrubs accounted for 43.52% of the total area of the small watershed. (2) The area of extremely humid area in the study area increased significantly, and the extreme drought was alleviated. (3) The mean Hurst index of TVDI and NDVI were 0.47 and 0.62, respectively. The results showed that soil moisture in small watershed increased as a whole, but the area of soil moisture increased, indicating that the carrying capacity of soil moisture to vegetation decreased in the process of watershed management, which should be paid attention to. The area of NDVI continuous improvement accounted for 43.62%, and the area of degradation to improvement accounted for 9.24%. The overall vegetation situation in the study area continued to turn better. (4) The statistical order of the suitability area of small watershed management was as follows: high suitable area > more suitable area > unsuitable area. The results show that many years of soil and water conservation measures have greatly improved the regional climate and water conservation capacity, but there are also high vegetation arid areas and large areas of unsuitable areas, which are particularly worthy of attention. It is necessary to reflect the idea of regional soil and water bearing capacity based on water determined vegetation in the future governance planning and allocation, and comprehensively consider the soil, terrain and other factors in the Soft Rock Area we should adjust the management mode in time, scientifically select suitable tree species and measures, and fully consider the necessity, adaptability and sustainability of ecological construction.

Keywords: LUCC, TVDI, NDVI, Hurst, Soft Rock Area, Small watershed

基于 TVDI 与 NDVI 变化的砒砂岩区典型小流域生态治理措施适宜性评价

刘静¹, 白力嘎², 银山², 郭建英^{1*}

¹水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特, 010020

²内蒙古师范大学, 呼和浩特, 010020

* 通讯作者. 电子邮箱: mksluijing@163.com

摘要

土壤水分和植被变化的时空变异特征是监测流域水土流失治理成效的重要因素, 本文基于 2015 年-2019 年多源遥感数据分析了小流域 LUCC、TVDI、NDVI 的时空变化规律, 采用 Hurst 指数分析了 TVDI 与 NDVI 相互关系及变化趋势。结果表明: (1) 经过 5 年的治理, 苏布尔嘎小流域的土地利用空间结构、土壤水分-TVDI、植被盖度-NDVI 都发生了明显变化, 不同土地利用类型土壤水分、植被盖度差异明显。乔灌木林地恢复占小流域总面积的 43.52%。(2) 研究区极度湿润区面积增加明显, 极度干旱减轻。(3) TVDI 及 NDVI 的 Hurst 指数均值分别为 0.47、0.62。表明小流域土壤水分整体上升, 但反持续面积的增加, 说明流域治理过程中土壤水分对植被的承载能力有下降趋势, 应引起注意。NDVI 持续发生改善的面积占 43.62%, 退化转为改善的面积占 9.24%, 研究区整体植被情况呈持续转好趋势。(4) 小流域治理适宜性分区面积统计排序为, 适宜区>较适宜区>不适宜区。结果说明多年的水保措施治理, 对区域气候改善, 水源涵养能力有了很大提升, 但也出现了高植被干旱区和大面积的不适宜区域, 这是特别值得关注的区域, 需要在今后的治理规划及配置时体现以水定植被的区域水土承载力思路, 综合考虑砒砂岩区土壤、地形等因素及时调整治理模式, 科学选取适宜树种和措施, 充分考虑生态建设的必要性、适应性、可持续性。

关键词: LUCC, TVDI, NDVI, Hurs, 砒砂岩区, 小流域

1 引言

我国在 2011 年制定的《全国水土保持规划(2015-2030 年)》总体目标为在我国所有陆地实施全面预防保护, 从源头上有效控制水土流失, 以维护和增强水土保持功能为原则, 充分发挥生态自然修复作用, 多措并举, 形成综合预防保护体系, 扩大林草植被覆盖。其中重点提出要推广“以小流域治理为单元, 实施综合治理”的防治经验。本文选取砒砂岩区具有典型性和代表性的小流域作为研究区域, 运用多源遥感数据对其实施的生态恢复措

施的适宜性进行评价。

土壤水分是陆地与大气直接能量交换过程的重要因子, 是陆地生态系统循环的重要环节^[1-2], 土壤水分与植被生长状况密切相关, 对区域生态恢复、生态系统的稳定性有重大影响。植被盖度的变化情况对区域生态环境的恢复有指示性作用。因此在整个流域范围内监测土壤水分与植被覆盖相互之间的时空变化关系, 对科学评价小流域水土保持综合治理措施对区域生态系统的修复作用具有重要理论和现实意义。

2 研究区概况

苏布尔嘎小流域位于黄河中游一级支流皇甫川流域上游,行政区划隶属于内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗暖水乡、沙圪堵镇^[3],地理坐标为东经 110° 41' 35" ~110° 45' 00", 北纬 39° 45' 00" ~39° 47' 00", 按水土流失类型划分属黄土沟壑丘陵区第一副区;研究区面积为 6818.0km²,地理位置图见图 1。流域属于典型大陆性干旱气候,年平均气温 6.2—7.2 °C, ≥10 °C 积温约 2900—3500 °C。日照强烈,干旱少雨,年降雨量 300mm 左右,降雨多集中在夏季 6-8 月,占全年降雨总量的 61%,且多数为集中性暴雨。冬季大风强烈,年均风速 2-3m/s,大风日数大于 30 天。水蚀风蚀兼有,土壤侵蚀严重^[3]。流域地貌类型属典型的黄土丘陵沟壑区^[13],沟内砒砂岩裸露。土壤类型为砂岩及泥岩土,土壤养分、水分条件差,风大沙多,植物生长困难稀疏,物种多样性不丰富,生态环境敏感。

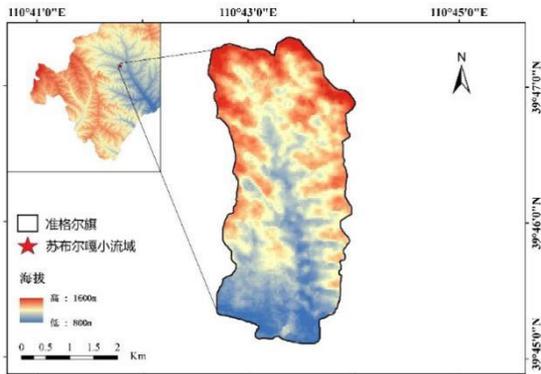


图 1 苏布尔嘎小流域地理位置图

3 数据与方法

3.1 多源数据来源及处理

本文采用 GF-1、DEM、Landsat-8 多源遥感数据源,经过投影转换、辐射校正、几何校正等预处理后备用。其中 GF-1 数据选取 2015 年 7 月和 2019 年 7 月数据,分辨率为 2m 多光谱和 8m 全色,用来人工目视解译研究区土地利用-LUCC。Landsat-8 获取时间为 2015-2019 年连续 5 年分辨率 30 米的多光谱和热红外数据,用于近地表温度-LST、植被指数-NDVI、表层土壤水分-TVDI 及 Hurst 指数

计算分析。30 米分辨率的 DEM 数据用来确定研究区的流域、小流域位置和研究区流域图。

3.2 土地利用动态变化分析

采用本文确定的地物分类标准,按照影像纹理特征完成目视解译,本文严格按照技术规范内容图斑判对率大于 90%,小流域实地核查验证图斑大于 10%。在 ARCMAP 中根据解译结果,分别统计出 2015 年和 2019 年各土地利用类型面积、图斑数、百分比、图斑的最大值和最小值。通过计算小流域治理初、末期各土地利用类型面积差值的正负变化情况,来量化各土地利用类型动态变化趋势和结构特征。计算公式为^[4-6]:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

公式(1)中, U_a 为研究初期某一土地利用类型面积, U_b 为研究末期某一土地利用类型面积, U_c 为研究时段内某一土地利用类型面积变化幅度, UC' 为年动态度, T 为研究时段。

3.3 NDVI 模型原理及参数计算方法

植被指数是两个或多个波长范围内的地物放射率的组合运算,用以增强植被某一特征或者细节^[7-8]。本文选取宽带绿度指数 (Broadband Greenness Index) 中的归一化植被指数 (NDVI) 来计算,其计算公式为^[9]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

式中: NIR 为近红外波段, Red 为红光波段,经过波段运算, NDVI 值越高,代表植被覆盖率越高。NDVI 的取值范围为-1~1,一般绿色植被区的范围为 0.2~0.8。

3.4 TVDI 模型原理及参数计算方法

相关研究表明^[10-13],对于研究区内植被覆盖范围较大且非均质地表,可通过遥感影像数据反演地表温度 LST 和植被指数 NDVI,构建二者的特征空间 (近似三角形或梯形),实现区域反演土壤水分

的估算。其原理为任意一个 NDVI 值均能够对应唯一一组温度的极值（极大值、极小值），所有最高温和最低温分别构成特征空间干边和湿边。计算公式(4)~(5)采用杨茹（2020）的相关研究方法[9]。

TVDI 计算公式为：

$$TVDI = \frac{(LST - T_{min})}{(T_{max} - T_{min})} \quad (3)$$

式中：TVDI 为温度植被指数；LST 为给定像元的地表温度；Tmax、Tmin 分别为特征空间的干边和湿边，对 Tmax、Tmin 进行线性回归，回归方程为：

$$T_{min} = A_1 + B_1VI \quad (4)$$

$$T_{max} = A_2 + B_2VI \quad (5)$$

式中：A1、A2、B1、B2 分别为特征空间干、湿边方程的截距和斜率，VI 为给定像元的植被指数。TVDI 的取值范围为[0,1],其构成的特征空间干边对应值为 1，湿边对应值为 0。由于 TVDI 的温度与植被指数呈负相关关系，即 TVDI 值越大，土壤含水量越低；TVDI 值越小，土壤含水量越高。

3.5 Hurst 指数原理及 R/S 分析法计算

Hurst 指数是用来定义了偏随机游动的统计量，其意义在于用来度量长时间序列的趋势变化及强度。其原理为将时间序列 x_1, x_2, \dots, x_n 按子序列长度 $r=r_1, r_2, \dots, r_m$ 分组。如果子序列长度等间隔分布，则 $r_i=r_{i-1}+d$ $i=2, 3, \dots, m$ ，并且 $r_m=n/2$ 的整数部分。对每一分组，按 R/S 分析法计算可得到统计量 $t(\overline{RS}$ 或 SRS)。由此得到数据 $(\log r_i, \log t_i)$ $i=1, 2, 3, \dots, m$ 。以 $\log r_i$ 为自变量， $\log t_i$ 为因变量，用此 m 对数据做线性回归，得到的直线斜率及为 Hurst 指数，计算在 python 软件中编程实现。Hurst 用 H 表示，取值范围为 (0,1)，其计算结果意义如下：

(1) 当 $0 < H < 0.5$ 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，即反持续性。而这种反持续性的强烈程度与 H 距 0 点的距离相关，距离越小，反持续性越强，反之，方持续性越弱。

(2) 当 $H=0.5$ 时，表明时间序列是随机的不相关的，现在对未来没有影响。

(3) 当 $0.5 < H < 1$ 时，表明时间序列具有长期相关的特征，也就是过程具有持续性。这种持续性的强烈程度与 H 距 1 的距离相关，越接近 1，持续性越强；反之，越远离 1 持续性越弱。

(4) 当 $H=1$ 时，其时间序列是一条直线，表明未来完全可以用现在来预测。

4 结果与分析

4.1 LUCC 时空变化结果与分析

研究区 2015 年和 2019 年的土地利用空间分布情况如图 2、图 3 所示。这种情况表明，小流域土地利用类型转移状态和情况表明小流域经过 5 年治理，天然牧草地和灌木林转入量增加明显，其中天然牧草地的增加了 1660.86 km²，主要来源是裸地和灌木林地，转化比例分别为 54.47%，22.23%。灌木林地的新增量 749.27km²，其主要来源是天然牧草地和有林地，各占 49.56%和 17.16。而直得关注的是裸地转入量中有 83.26%是来源于天然牧草地。转出减少量最多的土地利用类型是的是裸地、天然牧草地和灌木林地，其中裸地有 83.61%转出为了天然牧草地，灌木林地则有 70.14%转出为天然牧草地。公共用地则全部转出为天然牧草地、灌木林地和有林地。

通过对比研究区的土地利用空间转移结果和土地利用空间分布图分析，苏布尔嘎小流情况域由北向南裸地治理效果最为明显，转移矩阵表明其转出为天然牧草地，表明小流域经过科学规划治理，区域环境转好，草地适生性增强，植被覆盖度增加。小流域东部大部分侵蚀沟底深达几十米，治理难度巨大，均无措施布设，这是大量裸地的主要来源。



图2 苏布尔嘎小流域 2015 年土地利用空间分布图

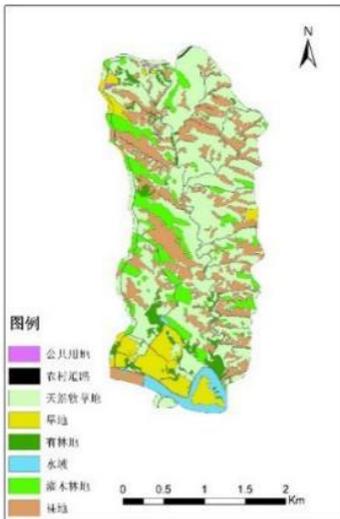


图3 苏布尔嘎小流域 2019 年土地利用空间分布图

4.2 NDVI、TVDI 计算结果与相互关系分析

研究区的 TVDI 与 NDVI 表现出强负相关性，即随植被指数增加土壤水分减少的植被高需水规律和地表植被蒸散规律。由于反演时间为植被生长最旺盛期，地表温度高且蒸发强烈，植被需水量高，研究区出现片状分布的高 NDVI 高 TVDI 区域，也就是高植被干旱区域，面积高达 14.23%。研究区 2015 年土壤含水量总体集中在[0.4,0.8]区间内，到 2019 年土壤含水量则总体集中在了[0.2,0.7]，研究区的 TVDI 下降，干旱区域减少，极度干旱消失，

土壤水分整体呈上升趋势。研究区极度湿润 (TVDI<0.15) 的面积由 12.85 %增加到 27.90%，干旱和极度干旱 (TVDI>0.60) 总面积由 43.74%减少为 42.79%，研究区干旱减轻。湿润及正常区域面积明显增加。



图4 苏布尔嘎小流域2015年NDVI空间分布图

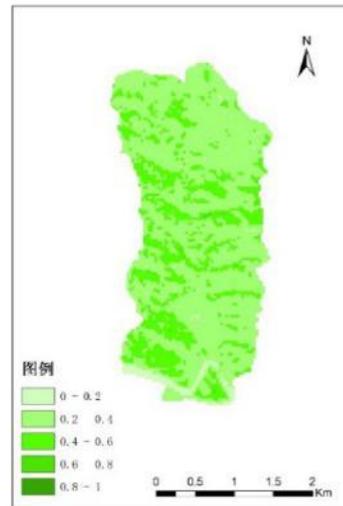


图5 苏布尔嘎小流域2019年NDVI空间分布图

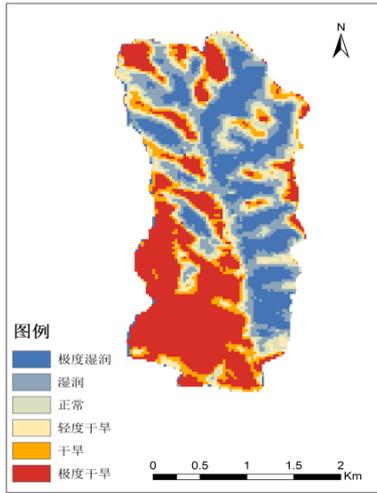


图6 苏布尔嘎小流域2015年TVDI空间分布图

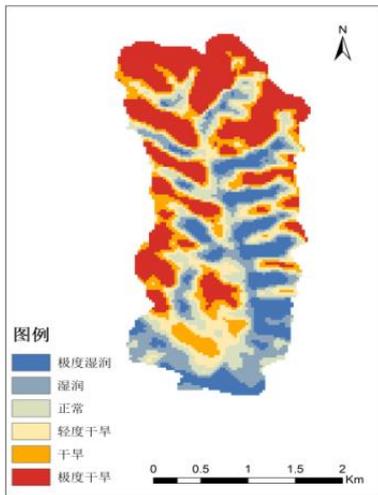


图7 苏布尔嘎小流域2019年TVDI空间分布图

4.3 Hurst 指数计算结果与变化趋势分析

本文用Hurst指数描述植被恢复或退化的可能性。将Hurst计算结果与NDVI、TVDI叠加分析，划分出等级来评价生态治理措施的适宜性，按照TVDI下降NDVI增加，生态环境质量转好，生态恢复力增强，生态适宜性增加的分类原则。将研究区分为高适宜区($0.5 < H < 1$)、中等适宜区($H = 0.5$)、低适宜区($0 < H < 0.5$)。NDVI多年的Hurst指数均值为0.62，根据NDVI的未来变化特征，NDVI持续发生改善的面积占43.62%，退化转为改善的面积占9.24%，研究区整体植被情况呈持续转好趋势。

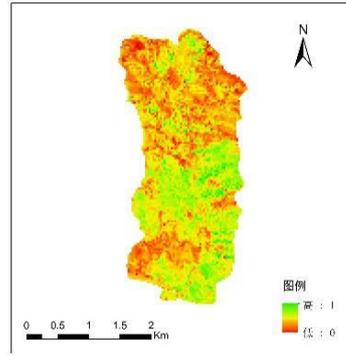


图8 苏布尔嘎小流域2015-2019年Hurst变化趋势

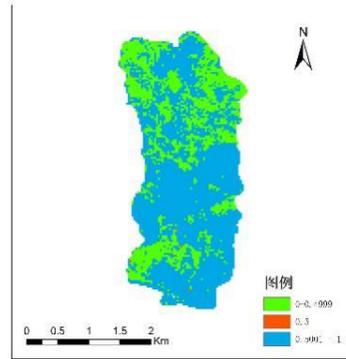


图9 苏布尔嘎小流域2015-2019年生态适宜分区图

5 结论

本文以砒砂岩区典型小流域综合治理区域的水土保持植物措施的生态适宜性评价为目的。通过运用多源遥感数据反演计算了苏布尔嘎小流域LUCC、TVDI、NDVI的时空变化数据,并通过R/S分析法计算了长时间序列NDVI的Hurst指数,协同分析了TVDI与NDVI变化及相互之间的影响情况。最终根据Hurst指数的等级划分,对研究区的生态适宜性进行了分区描述、评价。得出以下结论:

(1) 经过5年的治理,苏布尔嘎小流域的LUCC、TVDI、NDVI都发生了明显变化,不同土地利用类型TVDI、NDVI指数差异明显。土壤水分规律总体表现为随植被指数增加土壤水分降低的趋势(高植被覆盖度高需水量规律),其土地利用类型主要为乔灌木林,占小流域总面积的43.52%。

(2) 土壤水分 $TVDI < 0.15$ 的面积由 12.85% 上升至 27.90%, 极度湿润区面积增加明显; $TVDI > 0.6$ 的面积由 43.74% 下降至 42.79%, 极度干旱减轻。主要分布在小流域南部;流域北部有小面积土壤水分下降区域,流域整体TVDI显著增加,在北

部有经过治理后湿润度明显提高。

(3) 研究区 TVDI 的 Hurst 指数均值为 0.47, 根据 TVDI 的未来变化特征, 小流域土壤水分整体上升。但反持续面积的增加, 说明流域治理过程中土壤水分对植被的承载能力有下降趋势, 应引起注意。NDVI 的 Hurst 指数均值为 0.62, 根据 NDVI 的未来变化特征, NDVI 持续发生改善的面积占 43.62%, 退化转为改善的面积占 9.24%, 研究区整体植被情况呈持续转好趋势。

(4) 小流域治理适宜性分区面积统计排序为, 高适宜区>中适宜区>低适宜区。结果说明多年的水保措施治理, 对区域气候改善, 水源涵养能力有了很大提升, 但也出现了高植被干旱区和大面积的不适宜区域, 这是特别值得关注的区域, 需要在今后的治理规划及配置时体现以水定植被的区域水土承载力思路, 综合考虑砒砂岩区土壤、地形等因素及时调整治理模式, 科学选取适宜树种和措施, 充分考虑生态建设的必要性、适应性、可持续性。

参考文献

- [1] ROUSE J W, HAAS R H, SCHELL J A, et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with E R T[C]//Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt, MD, USA, 1973: 3010-3017.
- [2] PRICE J C. Thermal inertia mapping: a new view of the earth[J]. Journal of Geophysical Research, 1977, 82(18): 2582-2590.
- [3] 孙特生, 李波, 张新时. 北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例. 生态学报, 2012, 32(9): 6155-6167.
- [4] 孟晋杰, 王建华. 高分一号影像数据城市生态用地监测[J]. 测绘科学, 2016, 41(9): 33-37.
- [5] 郭燕, 武喜红, 程永政, 等. 用高分一号数据提取玉米面积及精度分析[J]. 遥感信息, 2015, 30(6): 31-36.
- [6] 李成蹊, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 用高分一号卫星数据识别多时相山区积雪[J]. 遥感信息, 2017, 32(2): 71-78.
- [7] IDSOS B, JACKSON R D, PINTE R J P J, et al. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability[J]. Agricultural Meteorology, 1981, 24: 45-55.
- [8] JACKSON R D, IDSO S B, REGINATO R J, et al. Canopy temperature as a crop water stress indicator[J]. Water Resources Research, 1981, 17(4): 1133-1138.
- [9] 杨茹, 高超, 查芊郁等. 不同植被指数在基于 TVDI 方法反演土壤水分中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(02): 33-37.
- [10] 赵杰鹏, 张显峰, 廖春华, 等. 基于 TVDI 的大范围干旱区土壤水分遥感反演模型研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(6): 742-750.
- [11] 徐沛, 张超. 土壤水分遥感反演研究进展[J]. 林业资源管理, 2015(4): 151-156.
- [12] 王植, 陈烜君, 董斌. 基于 TVDI 的 2013-2017 年沈阳市旱情等级评估[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(11): 12-17.
- [13] 路中, 雷国平, 马泉来, 等. 基于重构的 Landsat-8 时间序列数据和温度植被指数的区域旱情监测[J]. 水土保持研究, 2018, 25(5): 371-384.