

基于遥感大数据的龙门县2014~2021年植被动态变化及地形响应探究

李坤熹

北京师范大学珠海校区文理学院, 广东 珠海

收稿日期: 2022年7月28日; 录用日期: 2022年8月9日; 发布日期: 2022年8月26日

摘要

本文探究了中国南方丘陵区以及矿产开发影响下的植被动态变化, 运用趋势分析、Hurst指数以及残差分析方法对2014~2021年的龙门县NDVI动态变化特征进行探究。结果显示龙门县县域NDVI在时间上呈现微弱上升的变化, 空间上正向趋势主要集中于东部地区, 而负向以及不显著趋势主要集中在西部地区, 县域Hurst指数在海拔高度上呈现“先减少后增加”的变化特征, 在低海拔区表现持续性的原因主要为城镇扩张和矿产开发, 在高海拔区表现持续性的原因主要为山地石漠化。

关键词

NDVI, 残差分析, 石漠化, Hurst指数, 地形效应

Evaluation of the Dynamic Change of Vegetation and Its Topographic Response in Longmen County during 2014~2021 Based on Remote Sensing Big Data Applications

Kunxi Li

Faculty of Arts and Science, Beijing Normal University at Zhuhai, Zhuhai Guangdong

Received: Jul. 28th, 2022; accepted: Aug. 9th, 2022; published: Aug. 26th, 2022

Abstract

This article evaluated the dynamic changes of vegetation in the southern China's hilly areas where under the influence of mineral development, using trend analysis, Hurst exponent and residual

analysis methods to explore the characteristics of the dynamic changes of NDVI in Longmen County during 2014~2021. The results show that the NDVI of Longmen County shows a slight increase in time, the positive spatial trend is mainly in the eastern part, while the negative and insignificant trend is mainly in the western part, and the Hurst exponent of the county shows a “decreasing and then increasing” change in altitude. The main reasons for persistence in the higher elevation areas are the expansion of towns and mineral development, and the main reason for persistence in the higher elevation areas is deteriorated mountains region.

Keywords

NDVI, Residual Analysis, Stone Desertification, Hurst Exponent, Topographic Effects

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

植被生长动态的变化是衡量生态系统稳定性的重要指标之一，对社会经济以及农业都具有深远的影响，而降水、温度、地形等自然影响因子以及土地类型转换等人为影响因子的变化也会对植被生长变化产生影响[1]。影响因子的变化不仅反映在绿度上，同时也使得植被的各类指标产生同向或者反向变化，如通过蒸散机制对局地中尺度大气环流产生影响[2]，通过地表以及地下径流的截流作用对局地水循环的影响[3] [4]，有研究表明全球变暖的背景下春季气温的回升增强了植被对土壤水分的获取强度，有可能造成未来更频繁的季节性干旱[5]；以农业作物为主的植被的生产力变化对于当地农业活动稳定性也同样具有重要作用，如有研究表明气温上升对湿润地区水稻作物的产量减少存在相关作用[6]。因此对植被绿度变化机制的深入研究有助于对区域内物候因子作用机制的深入理解，同时也对于研究区域内生态环境的修复以及区域宏观的生态文明建设提供了重要参考[7]。

近年来对植被变化的自然影响因素中的主要研究对象有降水量和日照时数[8]、饱和水气压[9]等气候因子；对人为因素影响的研究则集中于政府决策对研究区域内植被覆盖度的相关影响[10]；更多的是对人为和自然因素对植被生长综合影响的探究，尤其集中在碳排放行为在自然碳循环系统的影响贡献，比如不同尺度下人类和自然因素对植被生长具有不同的影响程度[11]以及人类的生态恢复措施在气候过渡区中植被覆盖增加的重要地位[12]。而由于高精度气候数据获取难度较大，与中高分辨率的多光谱观测数据匹配度不足，使得小尺度地区植被动态变化难以归因，此外宏观政策数据也难以体现研究区域植被生长的异质性，而地形数据具有较好的获取性以及分辨率匹配性，并且由于在小尺度区域内局地地形极大地决定了水热分配，因此使用局地地形数据进行绿度变化归因能够更好地反映小尺度区域内的植被生长异常的空间分布以及强度特征[13]。

2. 材料与方法

2.1. 区域概况

龙门县为广东省惠州市下辖县，位于广东省中部，区域总面积 2295 平方公里，经度，纬度。县域位于亚热带季风气候区域内，但是受到地形影响局地气候变异性较大，山地气候。龙门县矿产资源丰富，分布有较多的高岭土矿区[14]。

2.2. 数据来源与预处理

本文所使用的数据有:

1) Landsat 8 卫星影像 Collection2 Tier 1 的 32 天合成 NDVI 数据

该数据分辨率为 30 m, 同时采用季最大值合成方法(Seasonal Maximum-Value Composite, MVC)进一步提升数据质量以及尽量减少中国南部季风气候影响下的云层对影像地物的遮盖造成的 NDVI 误差。龙门县地处亚热带温度带, 因此局地植被可以认为是全年都处于生长状态, 则本文数据范围包括 2013 年 3 月到 2021 年的所有数据。

2) ALOS DSM: Global 30m v3.2 (AW3D30)地形高程数据

该数据分辨率为 30 m, 能够较好地与 Landsat 数据匹配。以上 NDVI 以及地形数据的获取以及预处理平台为 Google Earth Engine (GEE), 该平台的交互式功能使得多时相的影像获取更为简易, 能够在不下载大量影像的前提下使用云计算功能对数据集进行一系列预处理和相关运算操作[15]。

2.3. 趋势分析

本文采用基于最小二乘原理的线性回归方法表示植被生长变化趋势, 拟合公式为[16]

$$\theta = \frac{n \times \sum_{i=1}^n NDVI_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n NDVI_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (1)$$

式中 i 表示影像对应的年份, n 表示总的研究年数, $NDVI_i$ 表示了第 i 年的 NDVI 值, 趋势 θ 反映了植被随时间的变化趋势程度, 对回归结果使用 Z 检验的方法进行显著性检验, 根据显著性 P 值结果将 P 值大于 0.05 的回归结果划分为不显著的变化趋势。

2.4. Hurst 指数

Hurst 指数常用于揭示时间序列当前趋势在未来的可持续性。对于 Hurst 指数的计算通常采用的是 R/S 分析法。首先对时间序列按照一定的子序列长度 $m(m=2,4,6,\dots)$ 划分, 将划分后的序列分成若干个组, 对按照子序列长度划分好的各组序列求取组内各子序列的离差序列[17]

$$D_i = X_i - E(X_i) \quad (2)$$

式中 X_i 为第 i 组子序列, $E(X_i)$ 为该组子序列的均值。计算各组子序列的标准差

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - E(X_i))^2} \quad (3)$$

式中 n 为子序列组数, X_i 为第 i 组子序列, $E(X_i)$ 为该组子序列的均值。计算各序列的最大差距

$$R_i = \max(D_1, D_2, \dots, D_n) - \min(D_1, D_2, \dots, D_n) \quad (4)$$

式中 $\max(\dots)$ 和 $\min(\dots)$ 分别表示各组序列的最大值和最小值。计算各序列的 R/S 值

$$RS = \left(\frac{R}{S} \right)_i = \frac{R_i}{\sigma_i} \quad (5)$$

式中 R 表示各组子序列的最大差距, σ 表示各序列的标准差。计算总体均值 ARS

$$ARS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{\sigma_i} = \frac{1}{n} RS \quad (6)$$

式中 n 表示子序列的数量。根据各个子序列长度划分的 ARS 对数和子序列长度的对数进行回归得到的斜率值, 该值即为 Hurst 指数。

Hurst 指数在 0~1 内变化, 当 Hurst 指数趋近于 0 时, 说明该序列未来的变化趋势与当前趋势更可能出现相反的变化趋势; 当 Hurst 指数趋近于 1 时, 意味着该序列未来的变化趋势与当前趋势更可能保持相同的变化趋势; 当 Hurst 指数接近 0.5 时, 意味着该序列未来的变化趋势呈现随机变化的特征, 没有呈现出显著的同向或者反向的变化趋势。本文中对将 Hurst 指数结果与趋势分析结果的作为未来趋势的变化特征, 指定趋势斜率值为正的像元为改善像元, 指定斜率值为负的像元为恶化像元, 指定 Hurst 指数大于 0.5 的像元为持续像元, Hurst 指数小于 0.5 的像元为反持续像元, 最终划定持续改善、持续恶化、反持续改善(当前趋势为恶化, 但未来趋势趋向改善)以及反持续恶化(当前趋势为改善, 但未来趋势趋向恶化)四种未来趋势变化类型。

2.5. 残差分析

在不考虑人类影响的前提下, 植被 NDVI 的变化只与自然要素变化有关, 因而使用自然要素对 NDVI 进行线性拟合的理想残差值为 0, 而实际上由于人类作用导致 NDVI 变化受到额外影响, 拟合残差值往往不等与 0, 而, 对这部分残差进行分析可以揭示人类活动的影响强度以及影响的空间部分特征: 若残差小于 0, 则说明人类对植被生长存在负向作用, 若残差大于 0 则说明人类活动具有正向影响, 残差的绝对值越大说明影响程度越大[18]。

由于缺少相同分辨率的降水和气温分布数据, 本文使用海拔高度、坡度以及坡向等地形数据对 NDVI 进行残差分析, 由于研究区域范围较小, 并且位于亚热带南方丘陵地区, 可以认为自然要素的变动主要受到海拔高度等非地带性要素的控制, 即海拔高度以及坡度、坡向等因素为局地气温、降水等主要决定因素。

3. 结果分析

对龙门县 2014~2021 年的 NDVI 动态变化进行趋势分析, 结果见图 1。在时间变化特征上, 龙门县 2014~2021 年的 NDVI 变化总体呈现微弱的波动上升趋势, NDVI 的变化速率为 0.0015%/月; 在空间变化特征上, 龙门县主要的上升趋势集中分布在北部和东部地区, 而下降趋势则在西南部地区零散分布, 中部地区主要表现不显著的变化趋势。

对龙门县 NDVI 的未来变化以及对 NDVI 变化的人为影响因素进行进一步分析, 首先逐像元计算 Hurst 指数, 持续类型见图 2(a)。观察到持续改善的分布与正趋势变化的像元分布基本一致, 反持续改善的像元基本也集中在持续改善类型区域的周边, 显示近年龙门县生态环境改善由密集区向外扩散的特征。利用地形数据对龙门县 2014~2021 年 NDVI 变化的人为影响要素进行残差分析并将残差结果进行极差标准化, 得到的结果见图 2(b), 从残差空间分布结果中发现残差较大的区域主要分布在县域的东部和北部, 而残差较小的区域则分布在县域西部, 结合图 2(a)的变化趋势结果得到受到人类影响较大的区域植被的变化趋势更加显著, 而受人类活动影响较小的区域内部的植被动态变化则趋向随机游走状态, 呈现不显著的变化趋势。

对趋势显著的像元统计其 Hurst 指数与海拔高度的散点关系, 散点结果见图 3(a)。由图可以大致得到 Hurst 指数与海拔高度的散点关系, 即随着海拔高度的增加, 各个像元 Hurst 指数的分布由 0.3~1.0 不等的变化趋势逐渐趋向 0.6 左右的微弱的正向变化趋势。将海拔高度分为 < 200 m、200~400 m、400~600 m、600~800 m 以及 > 800 m 五个高度区间, 对各高度区间内包含的散点分别统计其平均值, 在图上用蓝线标识, 可以发现随着海拔高度增加, Hurst 均值呈现“先减小, 后增大”的变化特征, 由 0~200 m 区间的 0.73 逐渐降低到 600~800 m 区间的 0.65, 而在 > 800 m 区间又增大到 0.81。

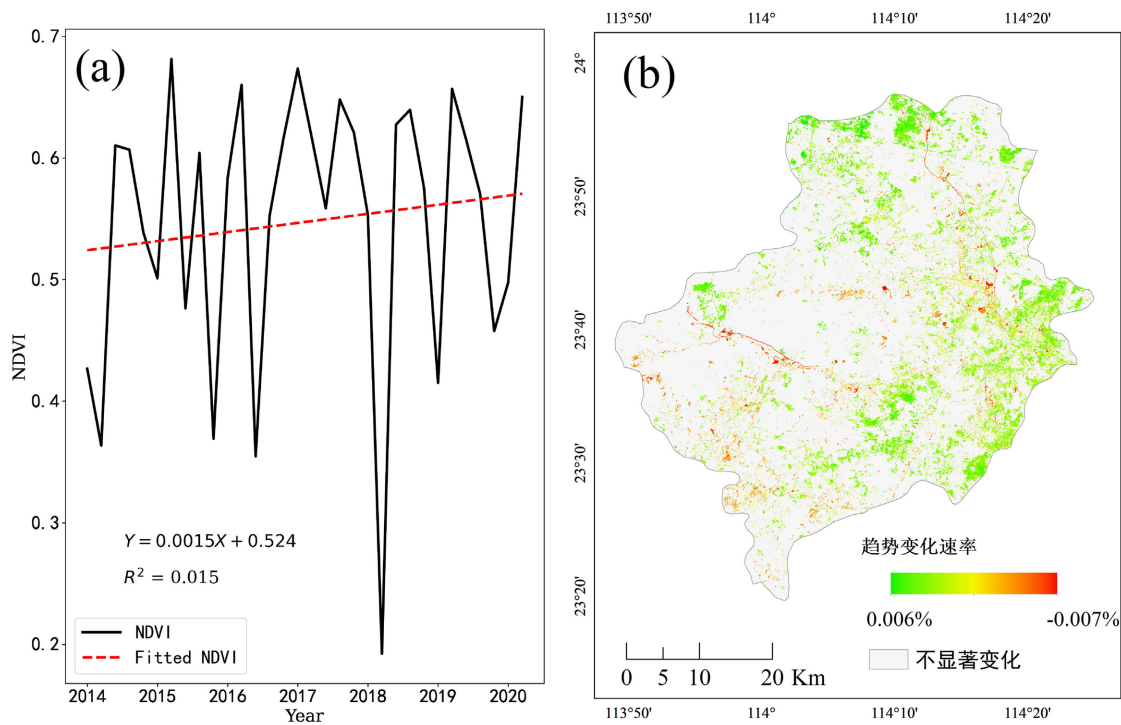


Figure 1. Vegetation dynamics in Longmen County during 2014~2021 (a) Characteristics of NDVI temporal variation in Longmen County (b) Spatial distribution characteristics of NDVI changes in Longmen County

图 1. 龙门县 2014~2021 年植被动态变化(a) 龙门县 NDVI 时间变化特征(b) 龙门县 NDVI 变化空间分布特征

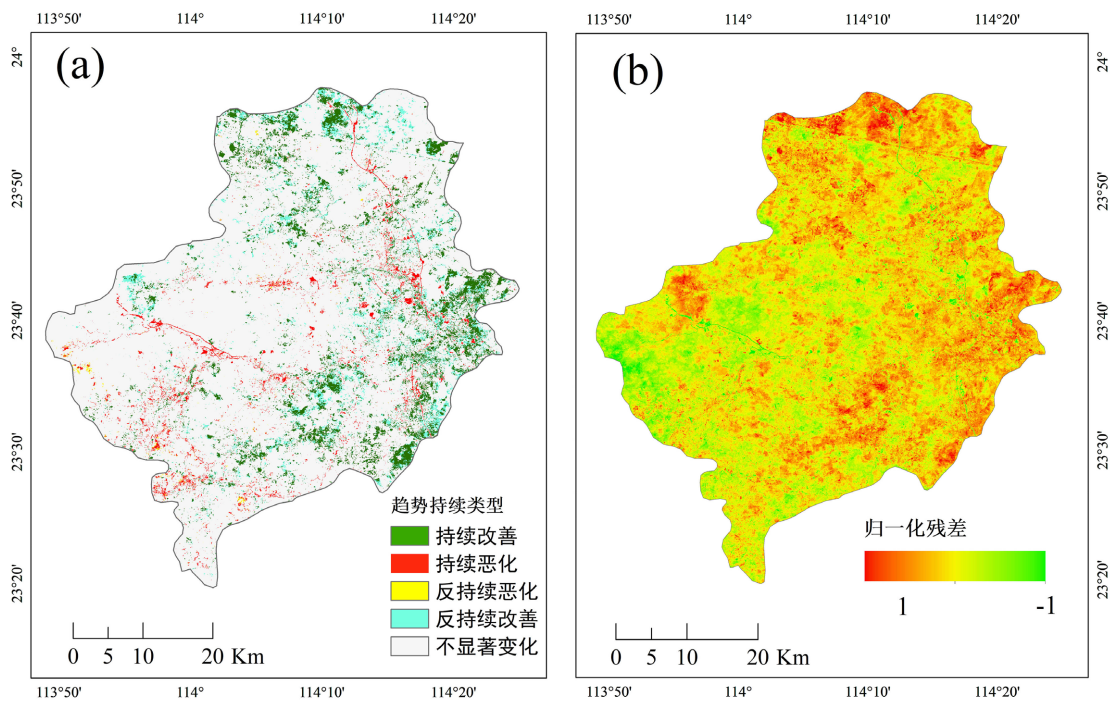


Figure 2. (a) Continuous trends in vegetation change in Longmen County (b) Normalized residual distribution of vegetation and topography in Longmen County

图 2. 龙门县植被未来变化与人类影响空间分布(a) 龙门县植被未来变化持续趋势(b) 龙门县植被与地形归一化残差分布

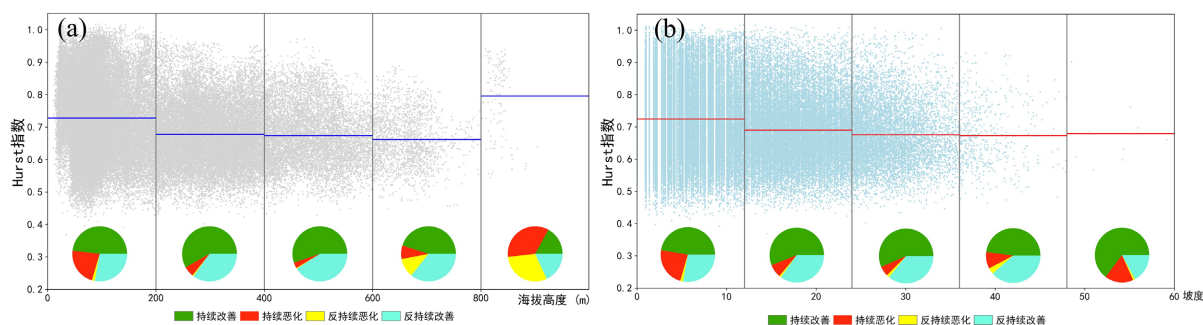


Figure 3. Scatterplot of Hurst exponent versus altitude of NDVI change in Longmen County

图 3. 龙门县 NDVI 变化 Hurst 指数与海拔高度散点图

此外对各个高度区间内的像元计算其未来趋势持续类型所占比例，结果见图 3(b)中饼图。不难发现在所有高度区间中，持续改善为主要的未来趋势变化类型，其比例随着海拔变化呈现由 48.09%先增加到 58.12%，随后又减少到 45.05%的变化特点，相反持续恶化类型则随着海拔变化呈现先减少后增加的特征，比例由 22.29%减少到 3.36%，随后又增大到 34.74%；对于反持续类型的像元，反持续改善的像元比例与持续改善的变化趋势相同，比例由 27.89%增加到 40.91%，再减少到 18.75%，而反持续恶化类型的像元比例逐渐上升，比例由 1.71%增加至 30.21%。

一般来说不同的海拔高度的坡度分布存在差异，而坡度对于植被生长所需要的水热条件具有重要的重分配作用。为了消除坡度对影响，按照 12°的坡度梯度进行分组，对各个坡度区间内的像元计算其未来趋势持续类型所占比例，结果见图 3(b)。可以看到在各个坡度区间内 Hurst 指数变化较海拔高度而言更加平稳，并且各个坡度区间内的未来趋势持续类型比例基本一致。说明海拔高度的变化对龙门县植被生长的影响与水热再分配过程关系较小。

4. 讨论

根据龙门县政府公开平台的数据，龙门县的主要城镇建成区位于县域东部的地势低平区，并且矿区也基本集中在县域东部的龙华镇、平陵镇等地区。因此东部低海拔地区的 Hurst 均值呈现正向持续的特征，并且以持续改善、持续恶化以及反持续改善为主要变化类型，反应了城市扩张以及矿产开采对植被的破坏以及政策驱动下的生态环境恢复。

在龙门县的县域西部分布有南昆山国家森林公园以及较大范围的丘陵区，地势基本处于中高海拔高度区，而由于森林公园对人类活动的限制，该地区的 NDVI 呈现不显著的变化趋势或者稍微的下降趋势，推测 NDVI 的下降与南方丘陵区的石漠化进程有关，石漠化对于植被的影响主要为土壤水分含量的减少以及土壤肥力的下降[19]，这些影响都会随着海拔高度的增加而增大，而这也与上面的结论相一致。

5. 结论

本文选取了龙门县 2014~2021 年的 NDVI 影像，结合地形分析了县域近年的 NDVI 动态变化趋势以及植被变化与地形以及人类活动的联系，得到以下结论：

- 1) 县域 NDVI 时间上呈现微弱上升的变化，空间上正向趋势主要集中于东部地区，而负向以及不显著趋势主要集中在西部地区
- 2) NDVI 变化可持续性在海拔高度上呈现“先减少后增加”的变化特征，在坡度上则不显示明显的变化特征。
- 3) 在低海拔区表现持续性的原因主要为城镇扩张和矿产开发，在高海拔区表现持续性的原因主要为

山地石漠化。

参考文献

- [1] 彭晶晶, 闫如柳. 湖南省植被覆盖度动态变化监测及影响因素分析[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(7): 51-54.
- [2] Piao, S., Liu, Q., Chen, A., *et al.* (2019) Plant Phenology and Global Climate Change: Current Progresses and Challenges. *Global Change Biology*, **25**, 1922-1940. <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- [3] Kim, J.H., Hwang, T., Yang, Y., *et al.* (2018) Warming-Induced Earlier Greenup Leads to Reduced Stream Discharge in a Temperate Mixed Forest Catchment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, **123**, 1960-1975. <https://doi.org/10.1029/2018JG004438>
- [4] Huntington, T.G. (2007) CO₂-Induced Suppression of Transpiration Cannot Explain Increasing Runoff. *Hydrological Processes*, **22**, 311-314. <https://doi.org/10.1002/hyp.6925>
- [5] Stéfanon, M., Drobinski, P., D'Andrea, F., *et al.* (2012) Effects of Interactive Vegetation Phenology on the 2003 Summer Heat Waves. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **117**, D24103. <https://doi.org/10.1029/2012JD018187>
- [6] Ali, M.G.M., Ibrahim, M.M., El Baroudy, A., *et al.* (2020) Climate Change Impact and Adaptation on Wheat Yield, Water Use and Water Use Efficiency at North Nile Delta. *Frontiers of Earth Science*, **14**, 522-536. <https://doi.org/10.1007/s11707-019-0806-4>
- [7] 张成业, 李军, 雷少刚, 等. 矿区生态环境定量遥感监测研究进展与展望[J]. 金属矿山, 2022(3): 1-27.
- [8] Tang, W., Liu, S., Kang, P., *et al.* (2021) Quantifying the Lagged Effects of Climate Factors on Vegetation Growth in 32 Major Cities of China. *Ecological Indicators*, **132**, Article ID: 108290. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108290>
- [9] Yuan, W., Zheng, Y., Piao, S., *et al.* (2019) Increased Atmospheric Vapor Pressure Deficit Reduces Global Vegetation Growth. *Science Advances*, **5**, eaax1396. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1396>
- [10] Zhou, H., Van Rompaey, A. and Wang, J. (2009) Detecting the Impact of the “Grain for Green” Program on the Mean Annual Vegetation Cover in the Shaanxi Province, China Using SPOT-VGT NDVI Data. *Land Use Policy*, **26**, 954-960. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.11.006>
- [11] Ma, W., Wang, X., Zhou, N., *et al.* (2017) Relative Importance of Climate Factors and Human Activities in Impacting Vegetation Dynamics during 2000-2015 in the Otindag Sandy Land, Northern China. *Journal of Arid Land*, **9**, 558-567. <https://doi.org/10.1007/s40333-017-0062-y>
- [12] Yuan, W., Wu, S.-Y., Hou, S., *et al.* (2019) Normalized Difference Vegetation Index-Based Assessment of Climate Change Impact on Vegetation Growth in the Humid-Arid Transition Zone in Northern China during 1982-2013. *International Journal of Climatology*, **39**, 5583-5598. <https://doi.org/10.1002/joc.6172>
- [13] 刘梁美子, 占车生, 胡实, 等. 黔桂喀斯特山区植被变化及其地形效应[J]. 地理研究, 2018, 37(12): 2433-2446.
- [14] 刘强, 陈汉钿, 石燕飞, 等. 7 个造林树种在广东龙门高岭土石漠化山地的早期生长及其土壤肥力研究[J]. 林业科技通讯, 2016(4): 27-31.
- [15] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., *et al.* (2017) Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sensing of Environment*, **202**, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- [16] 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等. 2000-2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7798-7806.
- [17] Mielniczuk, J. and Wojdyło, P. (2007) Estimation of Hurst Exponent Revisited. *Computational Statistics & Data Analysis*, **51**, 4510-4525. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2006.07.033>
- [18] 王强, 张勃, 戴声佩, 等. 三北防护林工程区植被覆盖变化与影响因子分析[J]. 中国环境科学, 2012, 32(7): 1302-1308.
- [19] 高南, 马士彬, 杨昌红, 等. 岩溶山区石漠化变化与土地利用关系坡度分异规律研究[J]. 安徽农学通报, 2022, 28(11): 102-108.