引文格式：卫鸿飞,张唯,吉宸佳,等. 基于GEE的阿拉善左旗植被时空变化特征及驱动因子分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(2): 55-60. doi:10.3969/j.issn. 1672-4623.2024.02.013

基于GEE的阿拉善左旗植被时空变化特征及驱动因子分析

卫鸿飞[1]，张　唯[1*]，吉宸佳[1]，韩松洁[1]
（1. 中国地质大学（武汉） 地理与信息工程学院，湖北 武汉 430000）

摘　要：利用MODIS归一化植被指数产品（MOD13A1）和ERA5气象数据，基于GEE云平台以内蒙古阿拉善左旗为研究对象，研究该地区2000—2020年生长季植被覆盖度的时空变化特征，并结合降水、气温和地形数据研究气象要素、人类活动和地形条件对植被覆盖变化的驱动性。结果表明：①阿拉善左旗的植被覆盖主要集中在西北部，20 a间生长季植被覆盖度整体呈下降趋势，但在2012—2016有明显上升趋势。②降水和气温对阿拉善左旗的植被覆盖影响不明显，但降水影响程度略高于气温，而人类活动则明显有助于阿拉善左旗植被的改善。③阿拉善左旗植被覆盖度在不同海拔高度上呈现明显差异，海拔越高植被覆盖度越大，有必要针对不同海拔高度制定相应的改善措施。

关键词：阿拉善左旗；植被覆盖度；Google Earth Engine；像元二分模型；MODIS
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）02-0055-06

Spatio-temporal Variation Characteristics and Driving Factors of Vegetation in Alxa Zuoqi Based on GEE

WEI Hongfei[1], ZHANG Wei[1], JI Chenjia[1], HAN Songjie[1]
(1. China University of Geosciences, Wuhan 430000, China)

Abstract: Using MODIS normalized vegetation index product (MOD13A1) and ERA5 meteorological data, taking Alxa Zuoqi of Inner Mongolia as the research object, based on GEE cloud platform, we studied the spatio-temporal variation characteristics of vegetation coverage in the growing season from 2000 to 2020. Meanwhile, we combined precipitation, temperature and topographic data to study the driving nature of meteorological elements, human activities and topographic conditions on changes in vegetation coverage. The results indicate that ①the vegetation coverage of Alxa Zuoqi is mainly concentrated in the northwest, with an overall decreasing trend in vegetation coverage during the growing season over a 20-year period, but with a clear upward trend from 2012 to 2016. ②The influence of precipitation and temperature on vegetation coverage in Alxa Zuoqi is not obvious, but the influence of precipitation is slightly higher than that of temperature, while human activities clearly contribute to the improvement of vegetation coverage in Alxa Zuoqi. ③The vegetation coverage of Alxa Zuoqi shows significant differences at different altitudes, the higher the altitude the greater the vegetation coverage, and it is necessary to develop corresponding improvement measures for different altitudes.

Key words: Alxa Zuoqi, vegetation coverage, GEE, dimidiate pixel model, MODIS

植被覆盖度是指在一个统计区域中，单位范围内植物的垂直投影面积所占的比例。它是反映一定范围内植被覆盖度变化的主要尺度，能够显示一定区域的生态环境状况，被广泛用于描述陆地生态系统植被质量和变化[1]。研究植被覆盖度变化趋势，不仅可以预测未来气候变化下的植被变化特征，而且有利于从宏观层面对生态全面监测并实施改善[2]。

目前，基于长时间序列数据提取植被覆盖度较成熟的模型是像元二分模型[3]。研究植被覆盖度变化趋势的方法主要分为线性回归法和Theil-Sen趋势分析法。而相比于线性回归法，Theil-Sen趋势分析法作为非参数估计方法，受异常值的影响较小，更适合用于研究较长时间序列的植被变化特征。例如王晓蕾[1]和徐勇[4]等分别运用该方法研究黄河流域和长江

收稿日期：2022-09-30。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41501584）；中国地质大学（武汉）实验技术研究项目（SJ-202108）；湖北省重点研发计划项目（2022BCA080）。
第一作者简介：卫鸿飞（1999—），硕士研究生，研究方向为遥感数据分析，E-mail：1539485637@qq.com。
通信作者：张唯（1980—），博士，副教授，研究方向为地理信息科学，E-mail：weizhang@cug.edu.cn。

流域长时序的植被覆盖时空变化趋势，结果表明该方法可以较好地避免数据在时间序列上间断不连续的影响。

随着更多学者对更高空间分辨率和较长时间序列的数据进行研究分析，仅采用本地计算机的性能难以满足要求。而高性能地球科学数据分析平台（Google Earth Engine，GEE）既可以在处理大尺度较高分辨率数据时保证影像的质量，又可以在处理长时间序列的数据上大大缩短影像的处理时间[1]。姚春阳[5]等基于GEE云平台对哈尔滨市的植被覆盖度进行动态监测，证实GEE的云计算处理能力可以实现大面积、长时序的动态监测。本文基于GEE平台以MODIS-NDVI为数据源，研究阿拉善左旗2000—2020年生长季植被覆盖度的空间分布和时空变化特征，并分析气象要素和人类活动对植被覆盖度的驱动影响，从而为阿拉善左旗生态保护提供因地制宜的决策支持和科学指导。

1 研究区概况

阿拉善左旗地处内蒙古自治区阿拉善盟东部，总面积为80 412 km^2，地理坐标为37°24′~41°53′S，103°21′~106°52′E，地势东南高，西北低。阿拉善左旗属于大陆性气候，年降水量仅有80~220 mm，降雨主要集中在6~9月，约占全年的62%；蒸发量较大，年蒸发量2 900~3 300 mm[6]；平均气温为8.7±0.7℃，7月最高气温可达41.1℃。

2 数据来源

遥感影像数据来源于美国国家航空航天局（National Aeronautics and Space Administration，NASA），通过GEE平台（https://code.earthengine.google.com/）获取了2000—2020年MODIS陆地植被指数产品MOD13A1，影像分辨率为500 m，时间分辨率为16 d。地形数据是通过GEE平台获取的USGS/SRTMGL数据。有研究表明植被的分布不是完全在等间距的高程和坡度均匀分布[7]。因此，本文利用ArcGIS 10.8通过自然间断法对高程因子进行重分类，再借助分区统计工具进行不同高程因子等级的植被覆盖度变化分析。2000—2020年阿拉善左旗的降水和气温数据来源于GEE平台的再分析资料ECMWF/ERA5/MONTHLY。ERA5再分析数据是欧洲中尺度天气预报中心推出的最新大气再分析资料，以0.25°×0.25°的网格覆盖地球，该数据基于改进的三维变分技术[8]，有分辨率高、更新快等优点，故ERA5降水数据被广泛应用于水文监测观测降水[9]。由于研究区内气象站点数量极少，并且考虑到从栅格层面对气象数据和植被覆盖度进行各种分析，所以本文应用ERA5数据进行实验分析。

3 研究方法

3.1 植被覆盖度

归一化植被指数NDVI常用于表现某区域内的植被生长状况，而该指数与植被覆盖度之间存在显著的线性关系[10]，故成为科研人员使用最为广泛的指数之一。本文基于GEE云平台，以MODIS-NDVI数据为研究对象，采用像元二分模型计算阿拉善左旗的植被覆盖度FVC（fractional vegetation cover，FVC）。计算公式如式（1）所示。

$$\mathrm{FVC}=\frac{N-N_{\mathrm{soil}}}{N_{\mathrm{veg}}+N_{\mathrm{soil}}} \tag{1}$$

式中，N为普通像元的NDVI值；N_{soil}为无植被像元的NDVI值；N_{veg}为纯植被像元的NDVI值；N_{soil}和N_{veg}的理论值分别接近于0和1。本文以研究区域内0.5%置信度获取NDVI的上下限阈值，结合阿拉善左旗植被覆盖情况，将N_{soil}和N_{veg}分别取累计频率为99.5%和0.5%时对应的NDVI值。

3.2 趋势分析

Theil-Sen趋势分析法可以有效避免时间维度上数据缺失的影响，也可以有效降低异常值对数据的干扰[11]。Manna-Kendall检验能够有效剔除异常值，适用于非正态分布的数据[12]。因此，本文将Theil Sen趋势分析与Manna-Kendall检验相结合，基于GEE云平台分析阿拉善左旗生长季的植被覆盖度的变化趋势及其显著性。计算公式如式（2）~（6）所示。

$$S_{\mathrm{FVC}}=\mathrm{median}\frac{\mathrm{FVC}_j-\mathrm{FVC}_i}{j-i} \tag{2}$$

式中，i，j为时间序列年数（$1<i<j<n$）；FVC_j，FVC_i分别为i，j时间序列的FVC值；S_{FVC}为植被覆盖度在时间维度的变化趋势，$S_{\mathrm{FVC}}>0$为FVC呈上升趋势，$S_{\mathrm{FVC}}<0$为FVC呈下降趋势。

$$\mathrm{sgn}(\mathrm{FVC}_j-\mathrm{FVC}_i)=\begin{cases}1 & \mathrm{FVC}_j-\mathrm{FVC}_i>0\\ 0 & \mathrm{FVC}_j-\mathrm{FVC}_i=0\\ -1 & \mathrm{FVC}_j-\mathrm{FVC}_i<0\end{cases} \tag{3}$$

$$S=\sum_{j=1}^{n-1}\sum_{i=j+1}^{n}\mathrm{sgn}(\mathrm{FVC}_j-\mathrm{FVC}_i) \tag{4}$$

$$\mathrm{VAR}(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \tag{5}$$

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{\mathrm{VAR}(S)}} & S>0\\ 0 & S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\mathrm{VAR}(S)}} & S<0\end{cases} \tag{6}$$

式中，$\mathrm{sgn}(\mathrm{FVC}_j-\mathrm{FVC}_i)$ 为插值函数；$\mathrm{VAR}(S)$ 为方差；Z 为统计量。

3.3　相关分析

本研究利用GEE云平台，采用Person相关分析法分析基于像元尺度的植被覆盖度与同期降水和气温之间的相关关系。Person相关系数和t检验计算公式如式（7）所示。

$$R_{xy}=\frac{\sum_{i=1}^{n}[(X_i-E(X))(Y_i-E(Y))]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i-E(X))^2\sum_{i=1}^{n}(Y_i-E(Y))^2}} \tag{7}$$

式中，X_i 为植被覆盖度；Y_i 为气象要素降水和气温；$E(X)$ 和 $E(Y)$ 分别为植被覆盖度和气象要素的均值；n 为年数；R_{xy} 为植被覆盖度与气象要素的相关系数；$R_{xy}>0$ 呈正相关，$R_{xy}<0$ 呈负相关，$R_{xy}=0$ 则不相关，表示降水或气温与植被覆盖度不具有线性相关关系。采用 t 检验对相关系数进行显著性检验，计算公式如式（8）所示。

$$t=r_{xy}\sqrt{\frac{n-2}{1-r_{xy}^{2}}} \tag{8}$$

式中，n 为样本数量，r_{xy} 为相关系数。

3.4　残差分析

残差分析法常用于计算人类活动对FVC的影响[13]。本文基于GEE云平台，先利用多元线性回归模型计算出受降水和温度影响的预测值FVC，再计算预测值与实际值之差[14]。残差分析计算公式如式（9）所示。

$$\varepsilon=\mathrm{FVC}_r-\mathrm{FVC}_p \tag{9}$$

式中，FVC_r 为利用NDVI计算出来的植被覆盖度实测值；FVC_p 为受气象要素影响的植被覆盖度预测值；ε 为残差，$\varepsilon>0$ 表示人类活动对该地区的FVC有积极作用，反之表示消极作用。

4　结果分析

4.1　FVC空间变化特征

根据《土壤侵蚀分类分级标准》（SL190-2007）中对FVC的分级标准[15]，FVC被划分为5个等级，如表1，FVC值越高则等级越高，代表植被覆盖情况越好。

2000—2020年阿拉善左旗年平均生长季FVC的空间分布特征存在明显差异，家别立镇、吉兰泰镇南部、巴彦浩特镇东部等区域的植被覆盖度较高，而乌力吉苏木乡、银根苏木、乌斯太镇等区域的植被覆盖度明显较低。结合表1可知，年平均生长季FVC为中高等和高等级植被覆盖度占整个阿拉善左旗区域的25.43%，主要分布在阿拉善左旗东南部和南部，而阿拉善左旗北部和西南部年均生长季FVC普遍较低。

表1　植被覆盖度等级表

FVC值/%	等级	各等级面积占比/%
0~30	低等级	37.36
30~45	中低等	23.3
45~60	中等级	13.91
60~75	中高等	9.44
75~100	高等级	15.99

利用Theil Sen-MK趋势变化分析方法分析阿拉善左旗2000—2020年生长季的植被覆盖变化趋势，本文根据S_{FVC}数值将变化趋势分为退化、稳定和改善3类，根据Mann-Kendall检验在5%置信度上的结果将显著性分为显著变化和不显著变化。将趋势分级结果与检验结果叠加，得到阿拉善左旗20 a的生长季FVC在像元尺度上的变化趋势，变化趋势划分为5种类型（如表2）。

表2　2000—2020年生长季FVC变化趋势统计表

S_{FVC}	Z 值	趋势变化	像元个数	百分比%
< -0.000 5	< -1.96	明显退化	1 440	0.0
< -0.000 5	-1.96~1.96	轻微退化	60 653 824	52.6
-0.000 5~0.000 5	-1.96~1.96	稳定不变	15 065 224	13.1
⩾ 0.000 5	-1.96~1.96	轻微改善	39 588 171	34.3
⩾ 0.000 5	⩾ 1.96	明显改善	4	0.0

由表2可知，2000—2020年阿拉善左旗生长季FVC整体呈退化趋势，退化区域占阿拉善左旗总面积的52.6%，其中几乎全部面积呈现轻微退化趋势，主要分布在阿拉善左旗的西南部和东北部。在退化区域中，大部分面积分布在腾格里沙漠和乌兰布和沙漠，由于沙漠地区土质不利于植物的生长，并且常年气候干旱，降雨量较少，故植被覆盖度常年处于较低水平。虽然2001—2018年在沙漠边缘地区开展了人工造林及飞播造林工程[16]，但由于技术尚不成熟以及历年梭梭林生态区的破坏[17]，使得植被覆盖度总体呈退化趋势。

阿拉善左旗34.3%的区域植被覆盖度呈现改善趋势，几乎全部面积呈现轻微改善趋势，主要分布在阿拉善左旗的北部、南部及东部部分地区。其中，大部分改善区域主要得益于国家和政府在经济上的支持和政策上的导向，比如深入实施草原奖补，退耕还草计划，建设公益林补偿政策，保护当地天然林政策，以及建设三北防护林等国家政策和重点工程[18]。在社会公益事业方面，阿拉善左旗是“蚂蚁森林”项目实施的重点地区之一，其中梭梭树林地主要分布在吉兰泰镇等区域，2017年从遥感影像上已经清晰可见点状分布的梭梭树地块[19]，这也是使得吉兰泰镇部分地区植被覆盖度呈轻微改善的原因之一。

4.2 FVC时间变化特征

如图1所示，分析2000—2020年阿拉善左旗各等级FVC分布及面积比例变化可知，各等级FVC随时间变化呈波动状态。其中低等级FVC波动幅度最大，由2000年的32%增加到2012年的47%，达到顶峰后降低到2020年的40%，而中低等由2000年的26%持续降低到2016年的16%，到2020年又大幅升高到22%。整体而言，2000—2012年低等级FVC面积占比持续升高，高等级FVC面积占比较稳定，在此年间植被覆盖度下降相对较快，主要是由于中低等级FVC转变为低等级FVC。2000—2012年由中低等转变为低等FVC的区域主要是西南部腾格里沙漠覆盖区域，并且该区域主要转变为低等级FVC，说明该区域沙漠化日益严重。

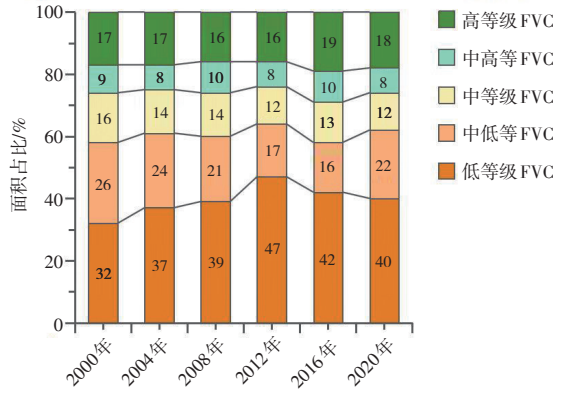


图1 2000–2020年各等级FVC时间变化趋势

2012—2016年，高等级和中高等FVC面积分别增加3%和2%，低等级和中低等FVC面积分别减少5%和1%，在此年间植被覆盖度有明显改善现象，主要改善区域分布在阿拉善左旗中部区域。改善原因主要有以下几点：①2013—2016年颁布了《阿拉善左旗草原生态保护补助奖励机制实施办法》，面向本地农牧民实施草地生态补贴激励政策[20]。政策不仅引领了农牧民由原来的粗放型天然放牧转变为集约型生产生活，同时也对生态保护措施有一定推动作用。②“十二五”期间制定了《阿拉善左旗草原功能区划分方案》[21]，将巴彦浩特镇、巴润别立镇、吉兰泰镇等10个镇划分为草原生态保护建设区，规划退牧还草项目区，在腾格里沙漠东缘设置人工撒播区和飞播区。这些功能区和工程方案大幅降低了草原退化沙化，为生态恢复起到重要作用。③形成了以梭梭、苁蓉、葡萄等沙产业，通过发展沙产业可以有效降低风蚀强度，有效治理沙化土地。

4.3 FVC变化的驱动分析

4.3.1 气候对FVC的影响

阿拉善左旗生长季降水和气温与FVC的呈不显著正相关的像元面积占比分别为50.5%、44.6%，均主要分布在巴彦诺日公苏木乡、吉兰泰镇、巴彦木仁苏木乡西部等区域。降水和气温与FVC呈不显著负相关的像元面积占比分别为44.6%、45.6%，主要分布在乌力吉苏木乡、银根苏木、超格图呼热苏木等区域。

研究表明，气象因子和人类活动是影响植被覆盖变化的重要因素，其中降水和温度是主控气象因子，而随着降水量和气温增大，FVC将呈上升趋势[22]。根据姜艳丰[23]等的研究结果表明，阿拉善左旗年降水量仅有80~220 mm，处于干旱与极干旱之间，20 a来降水量和气温呈上升趋势，潜在蒸散呈下降趋势，气象要素呈改善趋势。但是根据阿拉善左旗20 a来各等级FVC的面积比例变化趋势可知，年平均生长季FVC呈先下降后上升的浮动趋势，并且降水和气温与FVC呈显著相关的区域面积占比分别仅有4.9%、5.8%。绝大部分区域呈不显著相关。综上，在阿拉善左旗地区，气象因子降水和气温对2000—2020年生长季FVC的影响程度不明显，并不是主要驱动因子。

4.3.2 人类活动对FVC的影响

Jing [24]等研究表明NDVI的变化主要受到人类活动的驱动，而非气候因子，故有必要研究人类活动对FVC的驱动影响。残差为正表示人类活动对FVC具有正向作用，残差值表示人类活动对FVC的影响程度，绝对值越大影响程度越大。20 a来阿拉善左旗残差结果均为正值并覆盖全旗，表示在不考虑气象因素的条件下，人类活动对植被覆盖具有不同程度的正向积极作用，说明20 a来人们积极应对土地沙漠化和植被退化等生态环境问题。

根据实际情况，将人类活动对植被覆盖的影响程

度按残差值划分为3个等级：0~0.07（弱）、0.07~0.14（中）、0.14~0.4（强）。结果表明，人类活动影响程度较强和中等的区域面积占比为分别为10%、29.6%，分布区域面积占比较少，主要分布在吉兰泰镇、宗别立镇、巴彦浩特镇等区域。这些区域在这20 a里植被覆盖呈改善趋势。阿拉善左旗地广人稀，全境约有15万人口，主要分布在阿拉善左旗东南部。十一五之后，开展实施“护城锁边”工程，在腾格里沙漠东南缘和乌兰布和沙漠西南缘建设人工防风固沙林[25]，有效阻止沙漠的前移。另外，飞播造林技术的提高、沙产业的发展、社会公益活动“蚂蚁森林”的组织，不仅在生态上改善了植被覆盖，也在经济发展上为当地农牧民提供了机会。

整体而言，尽管2000—2020年阿拉善左旗整体的生长季FVC有所降低，但是在2012年之后，随着政府大力展开治沙活动、当地农牧民改变传统畜牧方式以及社会公益事业的关注，人类活动影响较强的区域植被覆盖度大幅提高。研究结果表明阿拉善地区人类活动对植被覆盖度的升高有很大的促进作用，是该地区影响植被覆盖较强的驱动因子。

4.3.3　高程对FVC的影响

植被生长的主要驱动因子存在着明显的地域差异性[26]，而地形也可能是导致植被覆盖度变化的限制因子。Zuo[27]等研究结果表明高程与降水的交互作用对植被变化的影响力较强。本文将高程统计分类结果分别与年平均生长季FVC等级占比结果、年平均生长季FVC变化统计结果叠加，得到在不同高程下的FVC等级占比及变化趋势占比结果（图2、3）。

根据图2结果可知FVC各等级面积占比随着高程的变化而有明显的差异。其中低等级和高等级FVC的面积占比随高程的升高而变化较大，低等级FVC由97%降低到不足1%，高等级FVC由不足1%增加到100%。阿拉善左旗生长季FVC的趋势变化随着海拔的变化也有明显的地形响应。明显改善和明显退化的面积占比变化最小，轻微退化和轻微改善的面积占比都随着海拔的升高而先增高后减少，而稳定不变面积占比变化最大。

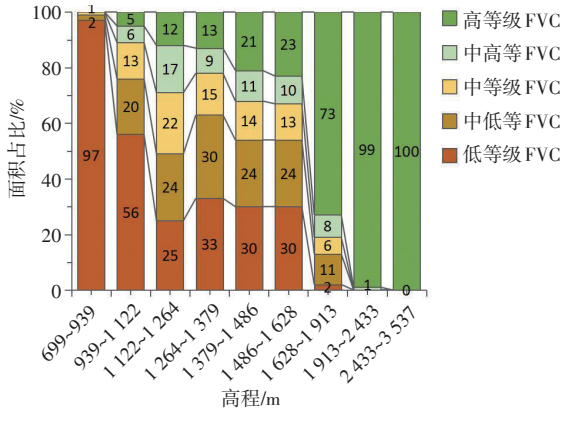


图2　不同高程的年均生长季FVC等级占比

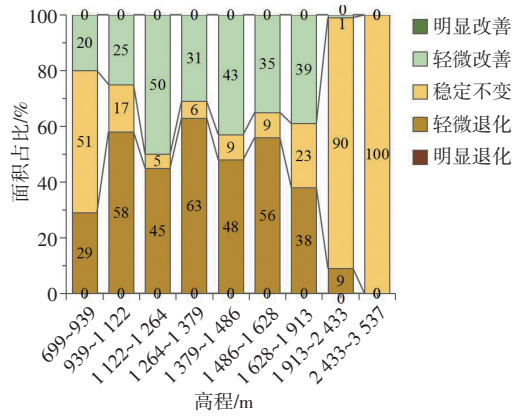


图3　不同高程的年平均植被覆盖度变化统计

5　结　论

1）20 a以来，阿拉善左旗的植被覆盖主要集中在西北部。2000—2020年生长季FVC整体呈下降趋势，植被覆盖呈明显退化或明显改善趋势的像元面积占比不足1%，整体下降趋势幅度不大。2012年之后，受益于草地生态补贴激励和草原功能划分等相关政策，中部FVC有明显上升趋势，至2016年高等级FVC面积占比增加3%，低等级FVC降低5%。

2）阿拉善左旗植被覆盖度变化受降水和气温的影响并不明显。其中降水的影响略高于气温，以降水为主导气象因子的像元面积占比为52.6%，但分布较为零散。

3）2000—2020年阿拉善左旗人类活动有助于植被的改善，残值结果均为正值。其中影响程度较强的区域与FVC轻微改善区域的分布基本一致，表明“护城锁边”等相关政策在该地区的生态环境恢复中取得了良好成效。

4）20 a以来，阿拉善左旗的人类活动主要集中在海拔1 122~1 628 m之间，该区域除沙漠外的FVC均呈现轻微改善趋势，平均改善面积占比为40%，表明人类活动有助于植被增加，有效抑制沙漠化进程。阿拉善左旗植被覆盖度在不同海拔高度上呈现明显差异，海拔越高植被覆盖度越大，海拔939 m以下低等级面积占比为97%，而海拔1 913 m以上高等级面积占比为99%。因此，阿拉善左旗生态环境的恢复有必要针对不同海拔高度制定相应的措施，形成高效精准的沙漠化治理能力。

6 展 望

本文基于GEE平台，实现了对阿拉善左旗20 a来的植被覆盖度时空变化特征分析，并从气象要素、人类活动和地形三方面分析了阿拉善左旗植被覆盖变化的驱动影响。但由于数据等因素的限制，本文在研究人类活动方面不能具体分析相关政策、社会公益事业、矿区、文化旅游等条件对植被覆盖度的影响，各种人类活动带来的影响程度需要进一步考虑，从而为当地政府对不同地形条件实施方针政策提供基础支撑。此外，本文选用ERA5再分析数据作为气象分析数据，其较低的空间分辨率会在一定程度上影响驱动因子分析的结果，后续将考虑使用区域高精度的气象产品进行进一步分析。

参考文献

[1] 王晓蕾,石守海. 基于GEE的黄河流域植被时空变化及其地形效应研究[J]. 地球信息科学学报,2022,24(6):1 087-1 098

[2] 滑永春,张恒,王冰,等. 1982—2015年内蒙古地区NDVI时空变化及驱动力分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2021,41(6):175-182

[3] 佟斯琴,包玉海,张巧凤,等. 基于像元二分法和强度分析方法的内蒙古植被覆盖度时空变化规律分析[J]. 生态环境学报,2016,25(5):737-743

[4] 徐勇,郑志威,郭振东,等. 2000－2020年长江流域植被NDVI动态变化及影响因素探测[J]. 环境科学,2022,43(7):3 730-3 740

[5] 姚春阳. 基于Google Earth Engine和Sentinel-2数据的植被覆盖度动态监测研究[J]. 经纬天地,2021(3):36-38

[6] 张洁,秦富仓. 2009-2017年阿拉善左旗沙漠化土地空间分布格局及驱动机制[J]. 水土保持研究,2020,27(6):174-179

[7] 张兴航,张百平,王晶,等. 神农架林区植被分布与地形的关系研究[J]. 地球信息科学学报,2020,22(3):482-493

[8] 刘婷婷,朱秀芳,郭锐,等. ERA5再分析降水数据在中国的适用性分析[J]. 干旱区地理,2022,45(1):66-79

[9] Lavers D A, Simmons A, Vamborg F. An Evaluation of ERA5 Precipitation for Climate Monitoring[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2022, 148(748): 3 152-3 165

[10] 张志强,刘欢,左其亭,等. 2000—2019年黄河流域植被覆盖度时空变化[J]. 资源科学,2021,43(4):849-858

[11] 陶帅,邝婷婷,彭文甫,等. 2000—2015年长江上游NDVI时空变化及驱动力:以宜宾市为例[J]. 生态学报,2020,40(14):5 029-5 043

[12] Sheng Y, Paul P, George C. Power of the Mann−kendall and Spearman's Rho Tests for Detecting Monotonic Trends in HydrologicalSeries[J]. Journal of Hydrology, 2002,259(1): 254-271

[13] 杨少康,刘冀,魏榕,等. 长江上游流域生长季植被覆盖度时空变化特征及其成因[J]. 长江流域资源与环境,2022,31(7):1 523-1 533

[14] 陶格日勒. 保护和恢复阿拉善梭梭生态林的探讨[J]. 内蒙古环境保护,2002(4):24-26

[15] 屈莹波,赵媛媛,丁国栋,等. 气候变化和人类活动对锡林郭勒草原植被覆盖度的影响[J]. 干旱区研究,2021,38(3):802-811

[16] 党梦娇,刘雪娟,杨世荣,等. 阿拉善左旗近35年植被NDVI动态变化趋势分析[J]. 防护林科技,2022(4):12-16

[17] 王瑾,闫庆武,谭学玲,等. 内蒙古地区植被覆盖动态及驱动因素分析[J]. 林业资源管理,2019(4):159-167

[18] 戈明. 阿拉善左旗第十四届人民代表大会第四次会议上的工作报告[M]. 北京:方志出版社,2017

[19] 王可心. 互联网时代,从“蚂蚁森林”看环境保护[J]. 通讯世界,2019,26(3):270-271

[20] 温都娜,郑淑华,吴团荣,等. 阿拉善左旗草原生态保护补助奖励政策对农牧民生产和生活方式的影响[J]. 安徽农业科学,2018,46(33):203-208

[21] 马金明,包根晓,黄廷升,等. 阿拉善左旗草原功能区划分及分类保护的主要措施[J]. 草原与草业,2015,27(1):20-23

[22] 陈琪,杨九艳,闫瑞玲,等. 荒漠区不同植被类型NDVI变化特征分析:以内蒙古阿拉善盟为例[J]. 中国草地学报,2022,44(3):17-28

[23] 姜艳丰,弓泓. 1961—2019年阿拉善左旗降水集中度和集中期特征分析[J]. 内蒙古气象,2020(4):27-30

[24] Wang J, Hu Y, Yang L Y. Spatial and TemporalVariations of Vegetation Coverage and Their Driving Factors Following Gully Control and Land Consolidation in Loess Plateau, China[J]. Open Geosciences,2022,14(1):1 160-1 169

[25] 赵玉山,贾金山,沈学芳,等. 阿拉善左旗沙漠治理及取得的成效[J]. 内蒙古林业调查设计,2013,36(3):30-31

[26] 岳奕帆,陈国鹏,王立,等. 基于GEE平台的舟曲县1998—2019年植被覆盖变化分析[J]. 草地学报,2022,30(6):1 534-1 542

[27] Zuo Y F, Li Y H, He K N. Temporal and Spatial Variation Characteristics of Vegetation Coverage and Quantitative Analysis of Its Potential Driving Forces in the Qilian Mountains, China, 2000—2020[J]. Ecological Indicators, 2022, 143:109 429