

郭洋楠,雷少刚,任立新,等.基于皮尔逊时序算法的植被变化空间异质性检测[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2023,38(4):119-124. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2023.04.015

GUO Y N, LEI S G, REN L X, et al. Spatial Heterogeneity Detection of Vegetation Change Based on Pearson Time Series Algorithm[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2023, 38(4): 119-124. doi: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2023.04.015

基于皮尔逊时序算法的植被变化 空间异质性检测

郭洋楠¹,雷少刚^{2*},任立新²,段雅婷²,李园园²,段磊³

(1.神华神东煤炭集团有限责任公司,陕西 神木 719315;2.中国矿业大学 矿山生态修复教育部工程研究中心,江苏 徐州 221116;
3.山东省采煤塌陷地与采空区治理工程研究中心,山东 济宁 272100)

摘要:煤炭资源开发不可避免地会对开采地区的土壤及水分分布等造成剧烈的扰动,同时也会影响当地植被变化的空间异质性.以西部半干旱矿区——神东矿区为例,利用2005年—2013年的MODIS-NDVI数据,将地质统计学中的纹理特征等思想与皮尔逊算法相结合,提出一种识别西部半干旱地区植被变化空间异质性的检测分析方法.通过对研究数据进行处理及分析,得到神东矿区植被变化的空间分布图,根据数据分布特点对其进行分级得到分级图,结合现场数据及高分辨率卫星数据对结果进行验证,统计分析神东矿区及其中心区内各个级别的扰动因素.结果表明:以井工开采为主的神东中心区植被重度干扰区域的面积占比低于非中心区,植被中度干扰区域的面积占比高于非中心区,总体上神东中心区的植被受扰动影响的面积占比高于非中心区.

关键词:植被变化;空间异质性;相似系数;时序遥感

中图分类号:X828 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2023)04-0119-06

Spatial Heterogeneity Detection of Vegetation Change Based on Pearson Time Series Algorithm

GUO Yangnan¹, LEI Shaogang², REN Lixin², DUAN Yating², LI Yuanyuan², DUAN Lei³

(1. Shenhua Shendong Coal Group Corporation Limited, Shenmu 719315, China;

2. Engineering Research Center of Ministry of Education for Mine Ecological Restoration,
China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

3. Engineering Research Center for Coal Mining Subsided Land and Goaf Treatment of Shandong, Jining 272100, China)

Abstract: The exploitation of coal resources will inevitably cause severe disturbance to the soil and water distribution in mining areas, and affect the spatial heterogeneity of local vegetation changes. Taking Shendong mining area, a semi-arid area in western China as an example, this paper uses MODIS-NDVI data from 2005 to 2013, combines the idea of texture features in geostatistics with Pearson algorithm, and proposes a detection and analysis method to identify the spatial heterogeneity of vegetation change in western semi-arid area. The spatial distribution map of vegetation change in Shendong mining area is obtained by processing and analyzing the

收稿日期:2021-11-23

修改日期:2023-06-28

基金项目:中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司科技创新项目资助(202016000036);国家自然科学基金重大项目课题资助项目(52394193)

*通信作者, E-mail: lsgang@126.com

research data, and the classification map is obtained according to the data distribution characteristics. The results are verified by field data and high-resolution satellite data. According to the statistical analysis of disturbance factors of different levels in Shendong mining area and its central area, the results show that the area ratio of seriously disturbed area is lower than that of non-central area, and the area ratio of moderately disturbed area is higher than that of non-central area. On the whole, the area ratio of disturbed area in Shendong central area is higher than that of non-central area.

Keywords: vegetation change; spatial heterogeneity; similarity coefficient; time series remote sensing

在人为因素和自然因素的影响下,半干旱生态脆弱区的植被生长状况容易呈现明显的波动变化^[1-2]。由于生态本底与扰动因素的差异性,半干旱地区的植被将呈现明显的空间异质性。快速有效地检测植被的空间异质特征,对差异化地调控植被生态系统扰动行为具有重要的参考价值。

目前,对于植被变化的空间异质性研究主要是基于大量现场或遥感数据和经验公式,推算得到定量分析模型。现场实地调查能够在一定程度上反映植被变化的空间分布,由于采样的随机程度和密度的限制,会使植被变化的空间分布信息存在一定误差^[3],而遥感影像凭借其大范围且瞬时成像的优势,可弥补实地调查的不足,并能很好地应用到植被覆盖变化检测中^[4-6]。定量分析模型主要包括多元线性回归分析模型^[7]、植被变化与主要影响因素相关性分析^[8]、主成分分析^[9]和 Logistic 回归模型^[10-11]等。运用以上方法可以很好地对植被变化的来源及其影响方式进行研究及阐述,然而,这些方法主要考虑离散点上外部驱动因子与植被变化之间的关系,很少考虑植被变化在空间上的相关性。植被的生长主要受当地自然气候、土壤、地形和人为因素的影响,其中,自然气候、土壤及地形等自然因素在一定空间范围内具有较强的相关性,人为因素则在空间上具有离散的特点。在一定范围内,植被变化均表现出一定的空间自相关,且这种空间自相关性随着距离的变化而变化。人为因素在空间上具有离散特性,所以植被变化的空间相关性主要由气候、土壤及地形等自然因素所决定。这就说明在无人为因素干扰的自然因素驱动条件下,一定小范围内的植被变化在空间上的相关性应该非常高;如果小范围内植被变化的相关性较低,则说明该范围内存在人为因素干扰,空间相关性分析的优势显而易见。

本文结合遥感手段和空间相关性分析,对植被时序数据进行空间相关性分析,研究矿区内部植被变化的空间分布,并加入矿区煤炭生产数据及高分辨率遥感数据,验证植被变化的空间分布。

1 研究区概况及时序遥感数据

1.1 研究区概况

神东矿区坐落于内蒙古自治区鄂尔多斯市东胜区南部及陕西省榆林市的府谷县西部、神木县北部。神东矿区先后建设了大柳塔煤矿(含大柳塔井和活鸡兔井)、补连塔煤矿、榆家梁煤矿、上湾煤矿、乌兰木伦煤矿、哈拉沟煤矿、马家塔煤矿和康家滩煤矿等8座矿井,其中大柳塔煤矿、补连塔煤矿、榆家梁煤矿和上湾煤矿等7座矿井达到生产能力10 Mt/a的水平。煤炭储存方面,神东矿区煤系地层包括神东侏罗系和河东石炭二叠系(康家滩矿区)。其中侏罗纪煤田总面积为31 172 km²,探明地质储量为2 236 亿t,远景储量为10 000 亿t,占全国探明储量的四分之一,相当于70个大同矿区,160个开滦矿区,是我国现已探明储量最大的煤田^[12]。

神东矿区是晋陕蒙接壤处及鄂尔多斯高原与黄土高原的交界地带。南部有黄土高原,北部有毛乌素沙漠。气候类型为全球典型的中纬度半干旱性温带季风气候,矿区北部由于与毛乌素沙漠接壤,再加上当地矿山生产及其他生产活动的影响,植被较为稀少,南部与黄土高原接壤,植被覆盖率高。

1.2 时序遥感数据的获取

本研究采用2005年—2013年空间分辨率为250 m的Aqua卫星MODIS-NDVI数据。MODIS全称为中分辨率成像光谱仪,搭载在Terra和Aqua卫星上,是当前世界上新一代具有“图谱合一”特点的光学传感器,共36个光谱波段,涵盖了可见光及热红外全光谱。MODIS具有时间分辨率高的特点,最短时间分辨率可达一天4次。此外,MODIS数据还具有拍摄时间较早和全球免费的特点,最早从2000年开始,这在数据

方面为本研究的进行提供了可能性.植被归一化指数(NDVI)指在遥感影像学中,近红外波段反射值与红光波段反射值的差与和的比值,主要用来表示植被生长状态和植被覆盖度等.本研究所使用的植被归一化指数数据从 NASA 官网直接下载得到,之后将其按时间顺序叠加,得到植被指数的遥感时序数据.

2 研究方法

2.1 皮尔逊相似系数

采用的时序数据相似系数为皮尔逊相似系数,皮尔逊相似系数又称皮尔逊相关系数,在因素分析中多用于计算因素之间的相关程度,如在时序分析中可以计算时序数据的相似程度^[13].本文采用皮尔逊相似系数来衡量像素时序数据变化之间的相似程度,从而衡量植被变化的异同.时序数据及像素时序变化如图1所示.结合实际时序数据构成方式(图1b),皮尔逊相似系数的计算公式如式(1)所示.

$$\sigma_{xy} = \frac{N \sum_i X_i Y_i - \sum_i X_i \sum_i Y_i}{\sqrt{\sum_i X_i^2 - (\sum_i X_i)^2} \sqrt{\sum_i Y_i^2 - (\sum_i Y_i)^2}}. \quad (1)$$

式中: x, y 为任意两个像素时间序列数据; N 为 x, y 像素时间序列的总波段数,实际共204个; X_i, Y_i 为像素 x, y 在第 i 个时间节点的值; σ_{xy} 为像素 x, y 的皮尔逊相似系数, σ_{xy} 越大,说明 x, y 的时间序列变化越相似.

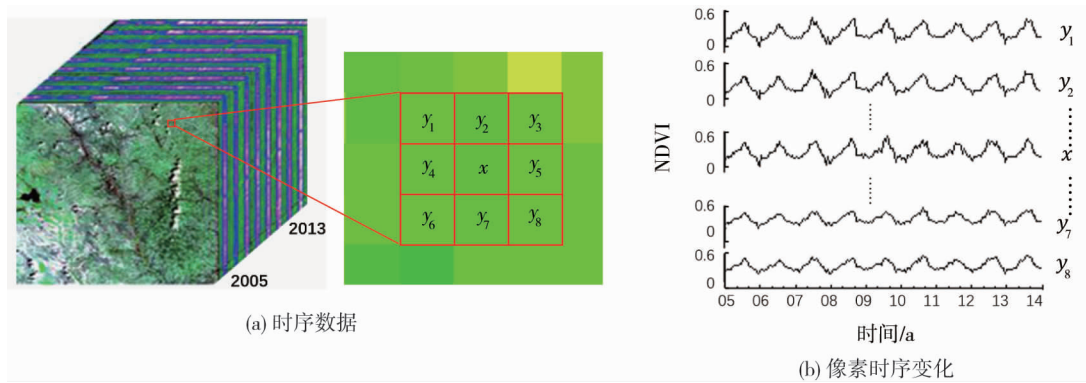


图1 时序数据及像素时序变化

2.2 平均相似系数

在时序遥感数据中,除数据边缘部分像素外任意像素都有8个像素与之存在相邻关系(图1a),为了综合衡量中间像素与周围像素时间序列的相似性,采用平均相似系数进行计算,中心像素 x 时间序列与周围像素 y_i 时间序列的平均相似系数 $\bar{\sigma}_x$ 的计算公式如式(2)所示.

$$\bar{\sigma}_x = \frac{\sum_i \sigma_{xy_i}}{8}. \quad (2)$$

$\bar{\sigma}_x$ 越大,说明像素 x 的植被时间序列与周围的相似性越高,同时也说明该像素对应实际位置的植被变化与周围相似,反之,则说明该像素对应实际位置的植被变化与周围不相似.

运用式(1)和式(2)对整个时序数据逐像元进行计算即可得到植被相似系数的空间分布图.需要说明的是,本研究通过计算神东矿区2005年—2013年NDVI的相似系数来衡量植被变化相似性,而2005年之前的非植被区及河流会对计算结果产生较大影响,通过对2005年初的影像构建非植被掩膜可以对以上影响进行一定程度的消除,最终得到研究区植被变化的人为扰动图.

3 试验结果与分析

3.1 时空数据空间相似系数结果分析

时空数据空间相似系数结果如图2所示.运用上述方法,将植被归一化指数时序数据进行逐像元计

算,得到植被变化相似系数的空间分布如图 2a 所示;将空间相似系数结果进行像元统计,得到像元频率分布如图 2b 所示;利用乌兰木伦降雨观测站 2005 年—2013 年观测到的降雨数据,计算植被时间序列数据和降雨数据的相关系数,进而得到空间相似系数及其之间的关系如图 2c 所示。

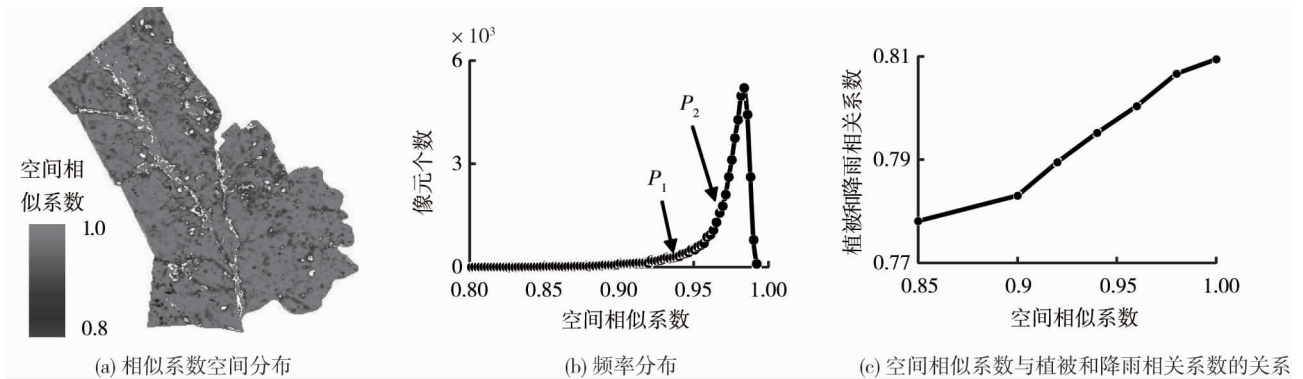


图 2 时空数据空间相似系数结果

植被变化相似系数可以反映植被变化的差异,图 2a 中,浅灰色表示该地区的植被变化与周围植被的变化趋势一致,而深灰色表示该地区植被变化的形式比较多,说明其植被变化与周围相比存在差异性.在自然气候、土壤和地形等因素的影响下,一定区域内植被变化的相关性较高,而深灰色区域内相关系数较其他区域低,说明深灰色区域的植被变化存在一定人为因素的影响.颜色越深,说明这些人为因素影响的程度越深.图 2b 是相似性分析结果的像元频率分布图,由图 2b 可知:空间相似系数大部分集中在 0.9~1.0,占总像素的 95%,说明相对于气候因素来说,人为因素对植被时间序列变化的影响较小。

由于神东矿区地处毛乌素沙漠与黄土高原接壤处,气候属大陆性干旱半干旱气候,所以降雨是当地自然植被变化中影响力最大的自然因素^[10].降雨对植被的影响力大小可由植被时间序列数据与降雨数据相关系数来表示,其相关系数越大说明植被受降雨的影响越大.由图 2c 可知:随着植被空间相似系数的增加,植被变化与降雨数据的相关性也随之增加.也就是说,空间相似系数可以在一定程度上反映降雨对植被的影响,空间相似系数越大,人为影响因素越少,降雨在该区域的影响越大;空间相似系数越小,人为影响因素越多,降雨在该区域的影响越小.这与空间相似系数能够反映植被变化差异性这一假设一致。

3.2 植被变化差异分级

对图 2b 中的像元频率分布曲线求导可知:空间相似系数频率分布图有 2 个拐点 P_1 和 P_2 .其中 P_1 的横坐标为 0.939 4, P_2 的横坐标为 0.974 0.在拐点 P_1 之前,空间相似系数的频率分布几乎保持不变,其一阶导数保持在 0 附近波动;而在 P_1 至 P_2 之间,空间相似系数的频率分布随着空间相似系数的增大而增大,且一阶导数也随着空间相似系数的增大而增大; P_2 点之后,空间相似系数的频率分布呈一定的正态分布形态,其一阶导数随着空间相似系数的增大而减少.本文将空间相似系数分布图以 P_1 、 P_2 点的横坐标为分界点,将整个神东矿区进行分级:空间相似系数为 0~0.939 4 属于重度干扰区,0.939 4~0.974 0 为中度干扰区,0.974 0~1 为轻度干扰区.植被变化差异分级及样点如图 3 所示.在分级结果图(图 3)上选取样点,结合现场情况及 Google Earth 等数据,判定其实际地物类型。

由图 3 可知:神东矿区重度干扰面积占比为 9.18%,主要集中在西部和北部;中度干扰和轻度干扰面积占比分别为 23.02%, 67.80%,主要集中在东南部.通过选取样本对照实际情况可知:重度干扰区域大多为河流、新增建筑用地及露天采场,其中,新增建筑用地和露天采场在开发时会对周围的植被进行毁灭性破坏,使该区域的植被迅速减少,其 NDVI 时序数据的变化与周围植被的变化呈现出较低的相似性;在干旱半干旱区域,河流周围植被对降雨的敏感性较低,而其他区域植被受降雨的影响较大,所以其植被时间序列与其他区域植被时间序列的相似系数较低.中度干扰区域主要由植被修复区、煤炭井工开采区和耕地等构成,其中,植被修复区和耕地区域的植被在生长过程中,除受自然因素影响外,还会受到土地复垦、灌溉等人为因素的影响,而井工开采上方的植物除了受自然因素影响,还会受到由井工开采引起的地表沉降和土壤水变化等因素的影响.需要指出的是,植被空间差异分级图只是对植被变化进行相似评价,这些人

为因素对植被的影响方式及其正负性有待进一步探索.

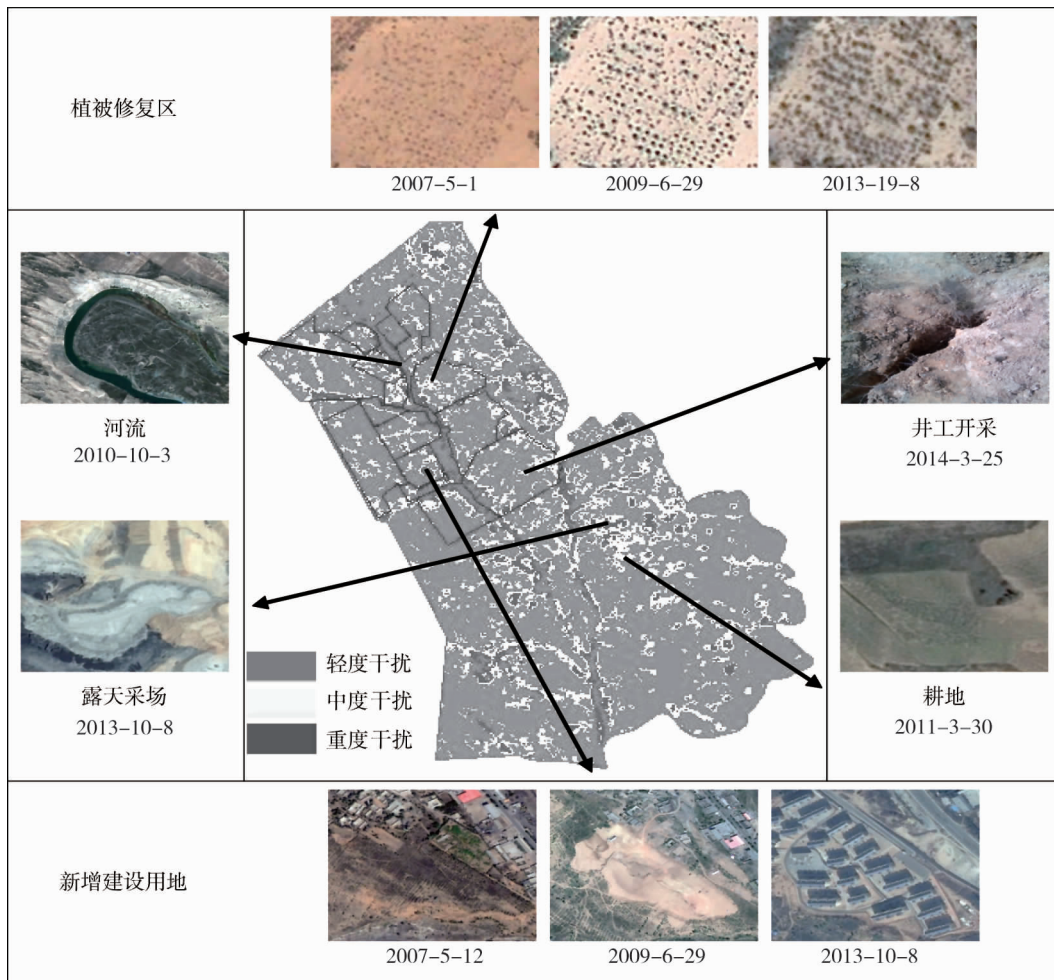


图 3 植被变化差异分级及样点

3.3 煤炭井工开采对植被变化的影响

神东矿区内部煤炭井工开采主要发生在内蒙古南部与陕西北部的神东中心区(图 3 中黑色虚线为中心矿区边界),主要包括大柳塔、补连塔和布尔台等 10 个井田,是神东主要煤炭井工生产地.通过对神东中心区与矿区内部非井工开采活动区域的植被变化差异性进行统计分析,可以研究井工煤炭开采方式对植被的影响.神东中心区与非中心区植被变化差异的统计结果如表 1 所示.

表 1 神东中心区与非中心区植被变化差异统计结果

矿区类型	面积占比/%		
	重度干扰	中度干扰	轻度干扰
中心区	7.83	26.85	65.32
非中心区	8.89	23.84	67.27
神东矿区	9.18	23.02	67.80

由表 1 可知:中心区的重度干扰面积占比为 7.83%,比非中心区低 1.06 个百分点,比神东矿区低 1.35 个百分点.中心区的重度干扰面积占比低于非中心区和整个神东矿区,主要是因为神东中心区的煤炭生产方式主要为井工开采,而神东矿区的露天开采区多分布于非中心区,在煤炭露天开采过程中,不论是采区还是排土场,都会对地表植被产生强烈的干扰,甚至会直接毁灭地表植被.

中心区的中度干扰面积占比为 26.85%,比非中心区高 3.01 个百分点,比神东矿区高 3.83 个百分点.中心区的中度干扰面积占比高于非中心区和整个神东矿区,这是由于神东煤炭井工开采主要集中在中心区,致使中心区的井工开采所影响的区域大于非中心区和整个神东矿区,此外,神东集团及当地政府于

2005年—2013年在中心区进行过多次植被修复区的建设,导致中心区的植被变化中度干扰的面积占比高于其他区域.

中心区的轻度干扰面积占比为65.32%,比非中心区低1.95个百分点,中心区的轻度干扰面积占比小于非中心区,说明中心区的井工开采方式对植被的影响要小于非中心区的露天开采对植被的影响.

4 结论

1)将纹理特征研究思路及相似系数的算法相结合并应用于植被时序数据分析,为西部矿区的植被变化扰动分析提供一种思路和方法.

2)神东矿区植被中度干扰多是由于煤炭井工开采、耕地和植被修复等因素造成,重度干扰则主要是由于河流、新增建筑及露天开采等因素造成.

3)以井工开采为主的神东中心矿区植被的重度干扰面积占比低于非中心区区域,植被中度干扰面积占比高于非中心区,总体上神东中心区植被的受干扰面积占比高于非中心区.

参考文献:

- [1] 刘英,雷少刚,陈孝杨,等.神东矿区植被覆盖度时序变化与驱动因素分析及引导恢复策略[J].煤炭学报,2021,46(10): 3319-3331.
- [2] YANG Z, SHEN YY, JIANG H W, et al. Assessment of the environmental changes in arid and semiarid mining areas using long time-series Landsat images[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021,28(37): 52147-52156.
- [3] 李明娟,赵娟娟,江南,等.深圳近海公园植物群落结构特征及其与景观格局的相关性[J].生态学报,2021,41(22): 8732-8745.
- [4] 李园园,王藏姣,雷少刚,等.基于 BFAST 算法的神东矿区地表温度突变检测及影响分析[J].河南理工大学学报(自然科学版),2021,40(6):92-100.
- [5] FENG D R, FU M C, SUN YY, et al. How large-scale anthropogenic activities influence vegetation cover change in China? A review[J]. Forests, 2021,12(3): 320.
- [6] NIE T, DONG G T, JIANG X H, et al. Spatio-temporal changes and driving forces of vegetation coverage on the Loess Plateau of northern Shaanxi[J]. Remote Sensing, 2021,13(4): 613.
- [7] 张军,娄和震,杨胜天,等.河道流量对疏勒河中下游河岸带植被变化的影响评价[J].干旱区资源与环境,2022,36(2): 123-129.
- [8] 高江波,焦珂伟,吴绍洪.1982—2013年中国植被 NDVI 空间异质性的气候影响分析[J].地理学报,2019,74(3): 534-543.
- [9] JIN H Y, CHEN X H, WANG Y M, et al. Spatio-temporal distribution of NDVI and its influencing factors in China[J]. Journal of Hydrology, 2021,603: 127129.
- [10] 李晓婷,杨丽帆,邹友峰,等.采煤胁迫下干旱区植被生长周期红边指数动态变化[J].煤炭学报,2021,46(5): 1508-1520.
- [11] CALEF M P, DAVID MCGUIRE A, EPSTEIN H E, et al. Analysis of vegetation distribution in Interior Alaska and sensitivity to climate change using a logistic regression approach[J]. Journal of Biogeography, 2005,32(5): 863-878.
- [12] 杨景才,王金力,王安,等.实现高产高效的管理模式[J].煤炭科学技术,2002,30(S1):1-7.
- [13] 赵晓军.时间序列的相关性及复杂性研究[D].北京:北京交通大学,2015.