引文格式：李鹏傲,姜永涛,张珍珍,等. 河南省植被覆盖度时空变化及其原因分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(11): 76-80. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.11.018

河南省植被覆盖度时空变化及其原因分析

李鹏傲[1,2]，姜永涛[2*]，张珍珍[2]，韩梦雨[2]
（1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院，河南 焦作 454003；
2. 河南城建学院 测绘与城市空间信息学院，河南 南阳 473061）

摘　要：基于河南省2010—2019年MODIS NDVI数据，利用像元二分模型估算植被覆盖度，利用一元线性回归获取变化趋势，并利用Pearson相关系数法探究河南省的植被指数和植被覆盖度的时空变化原因，可为河南省生态现状、生态环境建设规划和布局提供参考。结果表明：①2010—2019年河南省年度最大NDVI均值存在波动，呈微弱下降趋势；②河南省较高和中等植被覆盖度占比较大，且存在中等植被覆盖度向高植被覆盖度和低或无植被覆盖度的转换，社会因素是中等分化到低或无植被覆盖度的主要因素；③不同类型植被对降水变化的敏感性存在差异，森林、降水丰富地区和以灌溉为主的农业区受降水变化影响较弱，城镇、乡村和以降水为主的农业区受降水影响较强。

关键词：河南省；NDVI；植被覆盖度；像元二分模型；Pearson相关系数法
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）11-0076-05

Spatio-temporal Changes of Vegetation Coverage and Its Causes in Henan Province

LI Peng'ao[1,2], JIANG Yongtao[2], ZHANG Zhenzhen[2], HAN Mengyu[2]
(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;
2. School of Surveying and Urban Spatial Information, Henan University of Urban Construction, Nanyang 473061, China)

Abstract: Based on MODIS NDVI data from 2010 to 2019 in Henan Province, we used pixel dichotomous model to estimate vegetation coverage, used linear regression method to analyze the change trend of NDVI and vegetation coverage, and used Pearson correlation coefficient method to explore the spatio-temporal changes of vegetation index and vegetation coverage in Henan Province, which could provide reference for the ecological status, ecological environment construction planning and layout in Henan Province. The results showed that ①from 2010 to 2019, the mean value of annual maximum NDVI in Henan Province fluctuated. ② The high and medium vegetation coverage accounted for a large proportion in Henan Province, and there was a trend of transformation from medium vegetation coverage to high vegetation coverage and low or no vegetation coverage. Social factors were the main factors for the differentiation of medium vegetation coverage to low or no vegetation coverage in urban areas. ③Vegetation of different land coverage types in Henan Province showed different sensitivity to precipitation change. Forest, precipitation rich areas and agricultural areas with irrigation were less affected by precipitation change, and urban, rural and agricultural areas with precipitation were more affected by precipitation.

Key words: Henan Province, NDVI, vegetation coverage, pixel dichotomous model, Pearson correlation coefficient method

植被与外界环境因素相互影响，在生态系统、环境保护和水土保持中处于关键地位，是区域生态系统和环境变化的重要指标[1]。归一化植被指数（NDVI）对植被的生物物理特征十分敏感，通常被用于植被分类和植被覆盖度研究[2-3]。植被覆盖度是指单位面积内植被地上部分（包括叶、茎、枝）在地面的垂直投影面积占比，是植物群落覆盖地表状况的一个直观、综合的量化指标[4]。植被覆盖度遥感估算主要包括物理模型法和统计模型法[5]，前者以辐射传输模型和几何光学模型为主，考虑植被生化组分对光谱特征的影响，但通常输入变量多且难以准确测量；后者以回归模型、像元分解法、人工神经网络、分类决策树和植被指数法为主[6]，其中像元分解法和植被指数法无需建立回归模型，对实测数据依赖较小，是常用的植被覆盖度计算方法[5,7]。近年来，很多学者对我国不同地区的植被覆盖情况展开相关研究，吴云[8]等以像元二分模型为基础，构建了基于NDVI的植被覆盖度定量估算模型，研究了三北防护林工程区2001—2007年的

收稿日期：2022-07-12。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41201099）；南阳师范学院青年资助项目（208251）。
第一作者简介：李鹏傲（1998—），硕士研究生，主要从事地理信息科学研究，E-mail：lipengaofly@163.com。
通信作者：姜永涛（1985—），博士，讲师，主要从事植被生态遥感监测研究，E-mail：jytwlm@nynu.edu.cn。

植被覆盖度时空变化情况；刘英[9]等基于2000—2014年MODIS NDVI产品，借助像元二分模型和一元线性回归估算并分析了黄土高原植被覆盖时空变化规律；徐焕[10]基于MODIS卫星遥感数据，研究了黄土高原2000—2015年植被覆盖度时空变化特征，探讨了植被覆盖与气候和人类活动之间的关系；郑朝菊[11]等基于MODIS NDVI数据，利用像元二分模型获取2000—2014年的月度植被覆盖度数据，并采用趋势分析、相关分析和残差分析等方法，研究了我国西南地区植被覆盖的时空变化及其与气候、人类活动的关系；余玉洋[12]等利用遥感数据分析了2000—2015年河南省NDVI时空变化与气候因子的相关性，探讨了不同植被类型变化对气候因子的滞后性；刘晶[13]等结合2001—2018年MOD13A1数据、像元二分模型、回归模型对黄河源区高寒草地区域植被覆盖度进行了反演，并利用无人机获取的实测数据验证了反演精度；许玉凤[14]等基于MODIS数据，采用阈值设定、一元线性回归分析和稳定性分析等方法，对黔南州近15 a的植被覆盖状况进行分析研究，结果表明植被覆盖面积变化受气候变化和建设用地面积扩大的影响。本文基于MODIS NDVI数据，采用像元二分模型估算了河南省植被覆盖度，利用一元线性回归获取了植被变化趋势，进而研究2010—2019年河南省NDVI和植被覆盖的时空分布和演化特征，并探讨影响植被覆盖度变化的原因，为生态环境建设规划和布局提供参考。

1　研究区概况

河南省位于我国中东部、黄河中下游地区，总面积约为16万 km^2；地势西高东低，北、西和南三面分别为太行山、伏牛山、桐柏山、大别山，呈半环形分布，中东部为黄淮海冲积平原，西南部为南阳盆地；大部分地区地处温带，南部地区跨亚热带，具有自东向西、由平原向丘陵山地过渡的气候特征，四季分明、雨热同期、复杂多样、气象灾害频繁；由南向北年均气温为10.5～16.7℃，年均降水量为407.7～1 295.8 mm，降雨集中在每年6—8月，全年无霜期为201～285 d，适宜多种农作物生长。

2　数据来源与研究方法

2.1　数据来源

本文采用的数据为河南省2010—2019年MODIS Aqua NDVI 3级植被指数产品（MYD13Q1），空间分辨率为250 m，时间分辨率为16 d（https://earthdata.nasa.gov/）。研究区全年NDVI峰值集中在6—8月。同时，为消除云、雾、气溶胶、云阴影、视角和太阳高度角等干扰，本文采用最大值合成法获取河南省每年夏季（6—8月）NDVI最大值（NDVImax）时序数据[12]。

2.2　研究方法

本文利用ArcMap 10.3、PIE-Engine平台对MODIS MYD13Q1产品和相关数据进行处理（图1）。

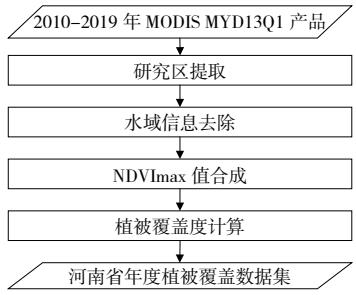


图1　MODIS NDVI数据处理流程图

1）像元二分法模型无需建立回归模型，对实测数据依赖较小，并能削弱大气、土壤等影响，是常用的植被覆盖度计算方法[15]。

$$F=\frac{\mathrm{NDVImax}_{max}-\mathrm{NDVImax}_{max,soil}}{\mathrm{NDVImax}_{max,veg}-\mathrm{NDVImax}_{max,soil}} \quad (1)$$

式中，$\mathrm{NDVImax}_{max,veg}$、$\mathrm{NDVImax}_{max,soil}$分别为本年度纯植被像元和纯土壤像元的NDVI值。由于植被分布、近邻地物辐射等因素影响，在没有大量实测数据为参考的情况下，纯植被像元和纯土壤像元的NDVI取值通常采用累积百分数5%和95%[16]。

为验证像元二分模型的植被覆盖度计算精度，首先基于PIE-Engine平台对河南省2018年6—8月Sentinel-2影像进行最少云量合成，同时获取2018年高精度土地覆盖产品（CLCD），该产品基于5 463个独立参考样本，产品整体精度为79.31%[17]；然后从本文2018年植被覆盖度结果中分别提取F为0%与100%的区域，统计分析其CLCD地表覆盖情况，结果显示F为0%的区域中不透水面、耕地（已收获的农田或建设用地周围的荒地）的面积占比分别约为70.48%、28.19%，F为100%的区域中林地、耕地（处于生长期的绿色作物，如玉米、大豆）面积占比分别约为79.61%、18.76%；最后目视检查这些区域Sentinel-2真彩色合成影像与植被覆盖度的对应情况，结果显示本文的植被覆盖度计算结果可靠。为便于进一步分析，本文将河南省的植被覆盖度划分为6个等级：(0,0.7]无植被覆盖、(0.7,0.75]低植被覆盖度、(0.75,0.8]

较低植被覆盖度、(0.8,0.85]中等植被覆盖度、(0.85,0.9]较高植被覆盖度、(0.9,1.0]高植被覆盖度[10-11]。

2）一元线性回归分析。本文采用最小二乘线性回归模型计算河南省2010—2019年NDVImax均值的变化趋势[13]，即

$$\hat{x}_i = a + bt_i \tag{2}$$

式中，$\hat{x}_i$ 为 t_i 年份河南省NDVImax均值 x_i 的线性回归值；a、b 分别为常数项和趋势项，$b<0$ 表明NDVImax均值呈下降趋势，反之呈上升趋势，绝对值越大，表明变化幅度越大，反之越小。

3）相关系数分析法。为探索植被与降水的关系，本文利用Pearson相关系数法计算河南省NDVImax均值与降水序列的相关分析，即

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}} \tag{3}$$

式中，$\bar{x}$、$\bar{y}$ 分别为 x、y 的均值；R_{xy} 为 x、y 的相关系数，介于[-1,0)区间，表明 x、y 呈负相关，介于(0,1]区间，表明呈正相关，若为0时，则二者不存在相关性。

3 研究结果与分析

3.1 河南省植被指数时空变化特征

本文利用2010—2019年河南省NDVImax年度数据，计算年度NDVImax均值曲线、年度差分和变化趋势（图2），可以看出，河南省NDVImax均值2010—2011年小幅提升，约增加1.2%；2011—2012年明显下降，约减少2.76%；2013—2015年呈显著“下降—恢复”特征，2013—2014年约减少3.38%，2014—2015年约增加5.49%；2015—2019年呈下降趋势，变化较平缓。2014年河南省NDVImax均值是近10年的最低值，可能与2014年7月河南省特大旱情[18]以及2015年河南降水量增加旱情得到缓解有关。2010—2019年河南省的NDVImax均值一元线性回归斜率为-0.000 573 31，说明河南省植被指数整体呈现较小的下降趋势。

由河南省NDVImax年度差分空间分布可知：①2010—2011年河南省中西部NDVImax值减少，东部增加，而2011—2012年呈相反的变化特征；②2013—2015年植被指数变化呈“下降—恢复”特征，2013—2014年河南省中西部NDVImax值明显减少，东南部增加，而2014—2015年中西部增加，东南部减少；③河南省西北地区NDVImax值在2016—2017年减少，而在2017—2018年增加。这些空间变化特征反映了植被对气候异常的响应，如2014年7月河南遭遇63 a来最严重的“夏旱”，高温、少雨、干旱天气持续发展，导致河南省中西部和北部部分地区发生较严重的旱情[18]，影响了植被生长。

3.2 河南省植被覆盖时空变化特征

由2010—2019年河南省植被覆盖度空间分布可知，河南省植被覆盖整体较好，且具有明显的空间分布特征，其中太行山、伏牛山、桐柏山和大别山区域的植被覆盖度最高，这些地区高植被覆盖度和较高植被覆盖度占比较大；植被覆盖度较低的区域主要分布在人口密集的城镇地区，如郑州、洛阳、三门峡、平顶山、南阳、驻马店、信阳等，说明植被覆盖度与城镇分布呈现强相关性。

河南省2010—2019年不同植被覆盖度占比变化曲线和变化趋势见图3，可以看出，河南省较高植被覆盖度和中等植被覆盖度占比最大，在2011—2019年均呈下降趋势，下降速率分别为0.15%和0.58%；河南省无植被覆盖和低植被覆盖占比较小，呈上升趋势，上升速率分别为0.41%和0.15%；2011—2019年较低植被覆盖度呈微弱下降趋势，下降速率约为0.11%；2010—2019年高植被覆盖度占比明显增加，

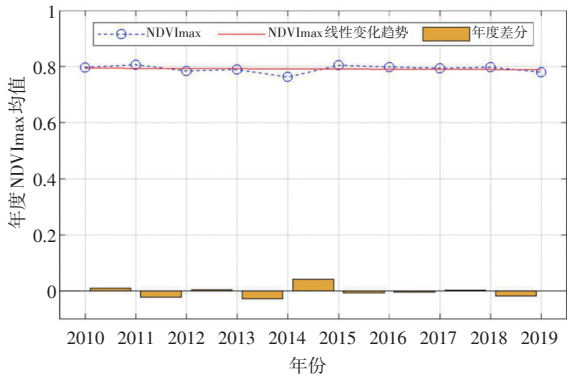


图2 2010—2019年河南省NDVImax均值年度变化

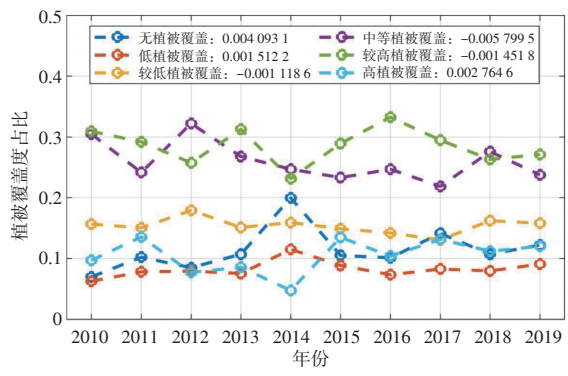


图3 河南省2010—2019年不同类型植被覆盖度占比

增速为0.28%；综合分析发现，河南省植被覆盖存在显著的由中等植被覆盖度分化为高植被覆盖度和低或无植被覆盖度的趋势。此外，2013—2014年较高和高植被覆盖度急速下降，无植被覆盖度和低植被覆盖度迅速激增，均与2014年河南省干旱气候异常有关。

3.3　影响河南省植被指数和植被覆盖度变化的因素

1）社会因素。河南省常住人口和城镇化率变化图（图4）来源于河南省人民政府网www.henan.gov.cn。2010—2019年河南省城市化进程的加快和人口急剧增加影响和改变了生态环境[19]，将对河南省植被覆盖演化产生一定的影响。本文利用GHSL城市化数据集，提取了河南省城镇化较快的几个区域，并研究了这些区域的植被覆盖度演化与城镇化的关系，结果见图5，可以看出，人口的增加加剧了城镇化，城区的植被覆盖度变化多为0，即未发生明显变化；城市化区域的植被覆盖度普遍下降，可能由非建筑用地转化为建筑用地所致；城市周边的部分农村地区植被覆盖度上升，可能与国家保护耕地和生态环境政策有关。

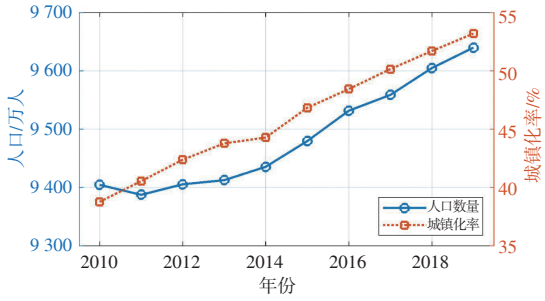


图4　2010—2019年河南省常住人口和城镇化率

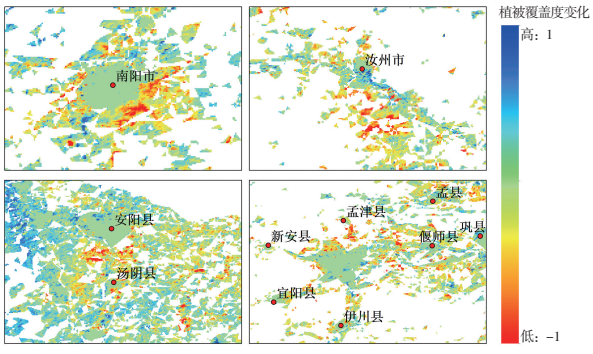
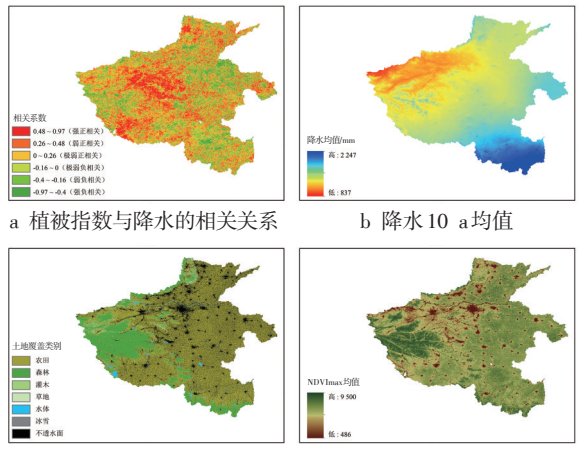


图5　2010—2015年城镇扩张区域的植被覆盖变化

2）气候因素。植被生长受气候因素影响，在一些气候异常的年份，植被覆盖度会出现明显的响应。为研究降水对植被演化的影响，本文从国家青藏高原科学数据中心（http://data.tpdc.ac.cn）下载了中国1 km分辨率逐月降水量数据集[20]，计算得到2010—2019年每年6—8月的降水均值；再利用Pearson相关系数法逐像元计算植被指数序列与降水序列的相关关系，结果见图6，可以看出，不同地表覆盖类型对降水变化的敏感性存在差异，西部森林覆盖地区的NDVI均值较高，降水相对较少，植被指数变化与降水多呈现不相关、甚至负相关；不透水面区域（城镇和乡村）多位于平原地区和峡谷地带，海拔相对较低，NDVI均值较低，这些区域的植被指数变化与降水呈较强的正相关关系，说明降水是影响不透水面区域植被变化的主要因素；农田多位于平原和盆地地区，降水较丰富的农业区（西南部地区）和以灌溉为主的农业区（开封、商丘等）的植被指数变化与降水的相关性不明显，说明这些农业区的植被覆盖受降水影响较弱[21-22]；而主要依靠降水的农业区（如南襄盆地），植被指数变化与降水变化呈强正相关性，说明这些区域的植被更易受降水变化影响[22-23]。



a 植被指数与降水的相关关系　　b 降水10 a均值

c 2018年地表覆盖类型（取自CLCD）　　d NDVImax均值

图6　2010—2019年河南省降水与地表覆盖的关系

4　结　语

本文利用MODIS NDVI数据，研究了2010—2019年河南省植被指数和植被覆盖的时空分布和演化特征，从人口变化、城镇化进程、国家政策和气候等角度探讨了影响植被和植被覆盖度变化的原因，主要结论包括：

1）2010—2019年河南省NDVImax年度均值存在一定的波动，整体呈微弱下降趋势，变化速率约为−0.000 573 31。2013—2015年NDVImax均值呈显著“下降—恢复”特征，与2014年7月的河南特大旱情以及2015年河南降水量增加旱情得到缓解有关。在空间分布上，NDVImax均值存在3个明显的“变化—反向变化”时间段，明显反映了植被对年度气候异常特征的响应。

2）河南省植被覆盖整体较好，具有明显的空间分布特征。太行山、伏牛山、桐柏山和大别山区域的植被覆盖度最高，人口密集的城镇地区植被覆盖度最低。2011—2019年河南省较高和中等植被覆盖度占比较大，且存在明显的由中等植被覆盖度分化为高植被覆盖度和低或无植被覆盖度的变化趋势。河南省人口和城镇化率的不断上升是河南省（城镇区）中等植被覆盖分化为低或无植被覆盖度的主要因素。

3）河南省不同地表覆盖类型的植被对降水和降水变化的敏感性存在差异，森林、降水丰富地区和以灌溉为主的农业区受降水变化影响较小，城镇、乡村和以降水为主的农业区受降水变化影响较大。

参考文献

[1] 付战勇,马一丁,罗明,等. 生态保护与修复理论和技术国外研究进展[J]. 生态学报,2019,39(23):9 008-9 021

[2] 王晓利,侯西勇. 1982—2014年中国沿海地区归一化植被指数(NDVI)变化及其对极端气候的响应[J]. 地理研究,2019,38(4):807-821

[3] 赵维清,李经纬,褚琳,等. 近10年湖北省植被指数时空变化特征及其驱动力[J]. 生态学报,2019,39(20):7 722-7 736

[4] Purevdorj T, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships Between Percent Vegetation Cover and Vegetation Indices[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(18):3 519-3 535

[5] 周志强,曾源,张磊,等. 南水北调中线水源区植被覆盖度遥感监测分析[J]. 国土资源遥感,2012,24(1):70-76

[6] 尹占娥. 现代遥感导论[M]. 北京:科学出版社,2008

[7] 吴云,曾源,赵炎,等. 基于MODIS数据的海河流域植被覆盖度估算及动态变化分析[J]. 资源科学,2010,32(7):1 417-1 424

[8] 吴云,曾源,吴炳方,等. 基于MODIS数据的三北防护林工程区植被覆盖度提取与分析[J]. 生态学杂志,2009,28(9):1 712-1 718

[9] 刘英,岳辉. 基于MODIS的2000-2014年黄土高原植被覆盖度估算及其时空变化分析[J]. 环境与可持续发展,2016,41(3):181-184

[10] 徐焕. 黄土高原植被覆盖时空变化的遥感监测及其驱动力分析[D]. 北京:中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所),2017

[11] 郑朝菊,曾源,赵玉金,等. 近15年中国西南地区植被覆盖度动态变化[J]. 国土资源遥感,2017,29(3):128-136

[12] 余玉洋,王银苹,秦奋,等. 河南省植被覆盖指数变化及其对气候的响应[J]. 森林与环境学报,2019,39(3):280-286

[13] 刘晶,党星海,陈丽丽,等. 基于MODIS数据的黄河源区植被覆盖度反演研究[J]. 地理空间信息,2021,19(11):57-62

[14] 许玉凤,向清,潘网生,等. 贵州省黔南州植被覆盖时空变化分析[J]. 地理空间信息,2018,16(12):13-17

[15] Montandon L M, Small E E. The Impact of Soil Reflectance on the Quantification of the Green Vegetation Fraction from NDVI[J]. Remote Sensing of Environment, 2008,112(4):1 835-1 845

[16] 刘静,银山,张国盛,等. 毛乌素沙地17年间植被覆盖度变化的遥感监测[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(7):162-167

[17] Yang J, Huang X. 30 m Annual Land Cover and Its Dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data,2021,13(8):3 907-3 925

[18] 刘晓璐,周廷刚,温莉,等. 基于VSWI和SPI的2000-2016年河南省干旱特征研究[J]. 干旱区地理,2018,41(5):984-991

[19] 黄娅雯,崔显林. 中国城市化发展进程中对环境保护问题的思考[J]. 经济研究导刊,2011(4):122-124

[20] Peng S Z, Ding Y X, Liu W Z, et al. 1 km Monthly Temperature and Precipitation Dataset for China from 1901 to 2017[J]. Earth System Science Data,2019,11(4):1 931-1 946

[21] 李波. 河南农田水利节水灌溉技术的改造与应用[J]. 农业工程技术,2017,37(5):35-36

[22] 张少宇,邹时林,余弦. 基于Google Earth Engine的河南省1982-2018年植被干旱研究[J]. 湖南生态科学学报,2022,9(3):79-88

[23] 班春广,刘宁强,谢奎,等. 淅川县生态农业发展研究[J]. 现代化农业,2014(3):37-39