

湖北省植被覆盖度时空变化特征与影响因素分析

李彩霞¹ 胡砚霞² 邓帆^{1, 3} 许诺¹ 杨欢¹ 付含聪¹ 相龙伟¹ 龚杰^{1, 41}

(1. 长江大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430100;

2. 湖北大学 资源环境学院, 湖北 武汉 430062;

3. 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室, 广东 深圳 518034;

4. 中国地质大学 (武汉)地质调查研究院, 湖北 武汉 430074)

【摘要】: 湖北省植被结构变化受自然和人类活动因素的影响较大, 揭示湖北省植被变化的空间特征对其生态环境改善具有重要意义。基于 MOD13Q1NDVI 数据计算湖北省的植被覆盖度, 结合气象、DEM 数据分析湖北省 2000~2020 年植被覆盖度的时空变化及分布格局, 并探讨了其对气候变化、人类活动的响应。结果表明: (1) 2000~2020 年湖北省植被覆盖度总体呈现增加的趋势, 增大区域集中在湖北省的西北部, 十堰、神农架林区 and 随州周围; (2) 局部地区存在植被退化现象, 退化面积呈先减小后增加的趋势。2000~2005 年植被恢复区域主要集中在西北部和西南部, 退化区域分布在武汉、襄阳、仙桃和黄石等地区; 2005~2010 年湖北省整体植被覆盖状况相对较差, 退化区域分布在西北部和东南部, 十堰和武汉较为明显, 改善区域集中湖北省中部、神农架林区、襄阳、随州和天门; 2010~2015 年湖北省植被退化面积减少, 分布在东部和西北部; 2015~2020 年植被覆盖度整体呈现下降趋势; (3) 湖北省的东北部、西南部以及襄阳等地区的植被覆盖度与气温、降水呈现正相关, 随着海拔的升高, 气温、降水及风速和植被覆盖度正相关和负相关所占比重逐渐减少; (4) 人类因素对湖北省的生态环境有正影响, 对植被恢复有促进作用; 负影响主要集中在武汉周边城市、襄阳、荆州等区域。

【关键词】: 植被覆盖度 空间变化 植被退化 影响因素

【中图分类号】: X835;Q948 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227 (2021) 08-1829-10

植被覆盖度 (Fractional Vegetation Cover, FVC) 是植被垂直投影到地面阴影面积占总体面积的百分比, 是气象、水文模型的重要因子^[1], 是衡量生态环境的一个重要综合指标^[2~5]。植被覆盖监测主要通过野外实测结合的方式进行, 在小范围区域内具有准确度高、误差小等优点, 但易受人为主观性和地面空间异质性影响, 未能较好的满足大范围区域植被覆盖监测的要求。遥感监测技术具有覆盖范围广^[6]、时间和空间连续性长^[7]等优点, 一定程度上可以弥补野外实测方法在大范围区域监测中的不足^[8]。目前, 遥感衍生的植被指数有十几种^[9], 其中归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 与植被覆盖度的关系较为密切^[10], 因此被广泛应用于植被动态监测^[11]。

作者简介: 李彩霞 (1994~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为资源环境遥感. E-mail: licaixia179@163.com

邓帆 E-mail: dengfan@yangtzeu.edu.cn

基金项目: 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室开放基金资助课题; 国家自然科学基金 (42004007); 长江大学优秀硕士学位论文培育计划资助项目

1.2 数据源

数据主要包括：(1)NDVI 数据集。来源于美国国家航空航天局(<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>), 时间从 2000 年 1 月至 2020 年 10 月, 类型为 16d 合成的 Terra-MOD13Q1NDVI 产品, 空间分辨率为 250m。使用 MRT (MODISReprojectionTools, MRT) 软件完成 NDVI 数据的镶嵌与投影处理, 投影转换为 WGS84, 原始数据格式由 HDF 转换为 TIFF 格式。对每个月的 MOD13Q1NDVI 数据利用最大值合成法 (MVC) 进行处理, 目的是消除大气、太阳高度角等因素对原始数据的影响。(2)2000~2019 年气象数据。①2015~2019 年数据通过湖北省共计 66 个有效气象站的气温、降水和风速数据整理得到; ②2000~2015 年数据使用中国地面累年值月数据集, 以上数据都来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn>)。气象数据使用反距离加权法 (InverseDistanceWeight, IDW) 进行空间插值, 像元大小设置为 250m, 获取湖北省 2000~2019 年气温、降水和风速的空间分布栅格数据。(3)DEM 数据。30m 分辨率的 ASTERGDEM 数据, 来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。

2 研究方法

2.1 基于 NDVI 植被覆盖度的提取方法

根据改进的像元二分模型^[24], NDVI 值由被植被覆盖部分与无植被覆盖部分组成, 植被覆盖度像元二分模型如公式 (1) 所示。

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \quad (1)$$

式中: FVC 代表植被覆盖度; $NDVI_s$ 是裸土、荒漠或无植被覆盖区域的 NDVI 值; $NDVI_v$ 代表地表被植被覆盖区域的 NDVI 值, 在实际运用中, 土地利用类型在一定程度上会影响植被覆盖, NDVI 的取值范围为 $[-1, 1]$, 根据改进后的像元二分模型, 选用 NDVI 值累计概率为 94%~95% 和 4%~5% 确定 $NDVI_v$ 和 $NDVI_s$ 的值。

2.2 植被变化分析方法

植被覆盖度变化分析由线性斜率 k 和植被覆盖度变化百分比 F 两部分组成, 计算公式如下^[25]:

$$k = \frac{N \times \sum_{i=1}^N i \times FVC_i - (\sum_{i=1}^N i) \times (\sum_{i=1}^N FVC_i)}{N \times \sum_{i=1}^N i^2 - (\sum_{i=1}^N i)^2} \quad (2)$$

式中: N 为总年数; k 用于分析整体植被覆盖度的变化趋势, 当 $k > 0$ 时, 表示整体植被覆盖度增加, 当 $k < 0$ 时, 表示整体植被覆盖度降低; FVC_i 为年份 i 的植被覆盖度; FVC_n 和 FVC_{n-1} 表示 2 个不同年份的植被覆盖度值;

$$F = (FVC_n - FVC_{n-1}) / FVC_{n-1} \quad (3)$$

F 作为衡量植被变化状况的指标, 依据植被覆盖度的变化百分率划分为 5 个级别: 明显改善 ($\geq 15\%$)、变化不明显 ($[-15\%, 15\%]$)、轻度退化 ($[-25\%, -15\%]$)、中度退化 ($[-35\%, -25\%]$) 和重度退化 ($\leq -35\%$)^[26]。

2.3 气象因子与人类因素贡献的估算

(1) 以 2000~2020 年湖北省植被仅受气候的影响, 计算 FVC 与气温、降水和风速之间的相关关系, 其中以像元为计算单元, 计算公式如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (FVC_i - \overline{FVC}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (FVC_i - \overline{FVC})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

式中: r 为相关系数; $r>0$ 代表正相关; $r<0$ 为负相关, 取值范围为 $[-1, 1]$; $\overline{FVC}$ 为植被覆盖度的平均值, $\bar{y}$ 为气象因子的平均值; FVC 为植被覆盖度, y 为气象因子。

(2) 基于残差分析法的人类活动影响估算^[26, 27]

李辉霞等在三江源地区采用残差分析法分析了气象因子和人类活动对植被覆盖度生长的影响, 高黎明等在此基础上探究了青海湖流域植被覆盖度的空间变化及影响因子。本文在前人的研究基础上将气温、降水和风速数据进行标准化处理后作为自变量, 建立与 FVC 之间的线性回归关系:

$$FVC^* = e + a_1 T_1 + a_2 T_2 + \cdots + a_{n+1} T_{n+1} + b_1 P_1 + b_2 P_2 + \cdots + b_{n+1} P_{n+1} + c_1 W_1 + c_2 W_2 + \cdots + c_{n+1} W_{n+1} \quad (5)$$

式中: FVC^* 为植被覆盖度的模拟值; a_1 、 $a_2 \cdots a_{n+1}$ 、 b_1 、 $b_2 \cdots b_{n+1}$ 、 c_1 、 $c_2 \cdots c_{n+1}$ 和 e 为待定系数, T_1 、 $T_2 \cdots T_{n+1}$ 、 P_1 、 $P_2 \cdots P_{n+1}$ 、 W_1 、 $W_2 \cdots W_{n+1}$ 分别代表气温、降水和风速值。

将 2000~2020 年实际的 FVC 值与式 (5) 拟合出的 FVC^* 作差, 得出的结果就是人类活动对 FVC 造成的改变量, 称为残差值。

3 结果及分析

3.1 植被覆盖度空间变化

根据公式 (2) 计算 2000~2020 年的植被覆盖率 (图 2)。2000~2020 年湖北省植被覆盖度变化率的平均值为 3.2%/20a, 湖北省整体的植被覆盖度呈现增加趋势, 从 2000~2020 年的植被覆盖度变化率的空间分布来看, 植被覆盖度增大的区域集中在湖北省的西北部, 其中十堰、神农架林区和随州周围增加较为明显, 降低的区域范围集中在东南部, 其中武汉、仙桃、黄冈、黄石等周围地区较为明显。



图 2 2000~2020 年湖北省植被覆盖度变化率

3.2 植被退化空间格局

对湖北省各时间段植被覆盖度进行分级(公式 3), 分析湖北省植被退化的空间格局(图 3)。

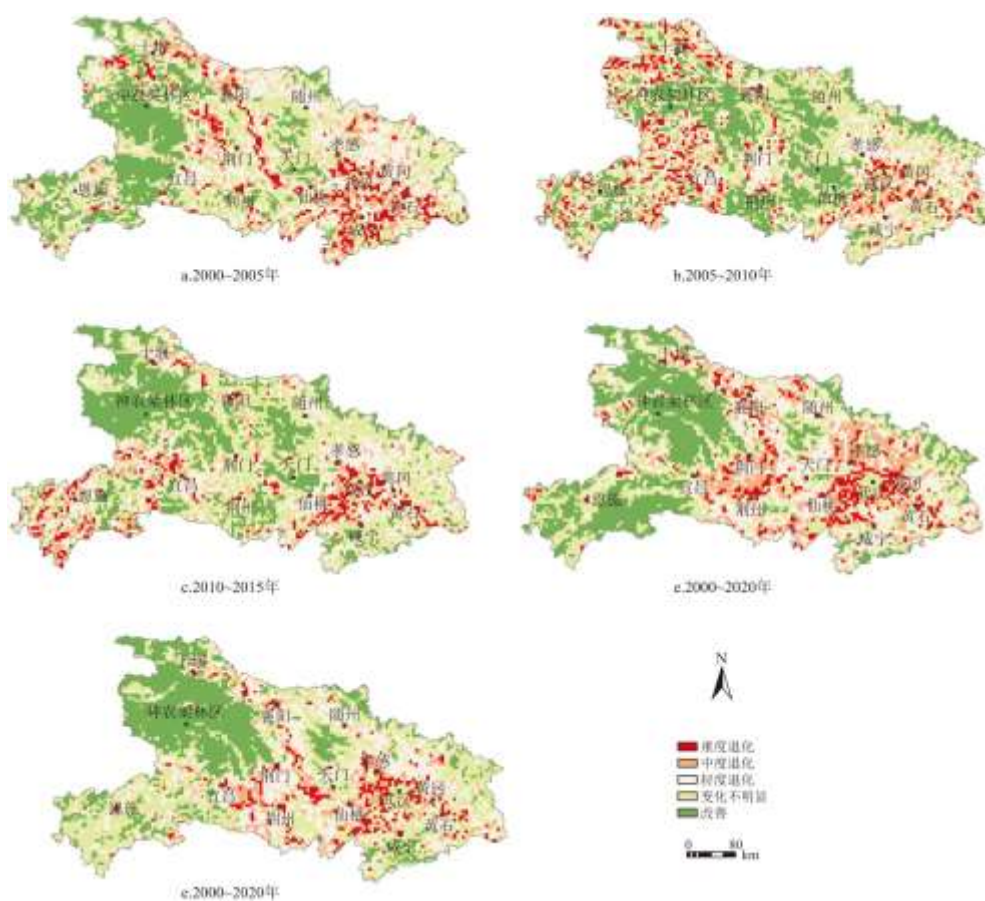


图 3 湖北省 5 个时期植被退化空间格局

2000~2005 年湖北省植被明显改善的区域主要集中在西北部和西南部这两个区域, 神农架林区周围以及恩施较为明显, 改

善的面积达到 62685.48km², 占湖北省总面积的 33.72%。变化不明显的区域面积占比为 38.59%, 分布在西北部和中部地区, 武汉周边、襄阳、随州和荆门等地区所占面积较大, 总体面积已达到 71738.81km²。重度退化、中度退化和轻度退化的面积占比分别为 2.42%、6.93%、18.34%。重度退化面积占比最低, 面积为 4498.78km², 分布集中在城市发展较为迅速的地区, 武汉城市周边较为明显, 其次为襄阳、仙桃、咸宁等地区。中度退化区域分布在东北部, 孝感、黄石等城市周围; 轻度退化较为明显的区域集中在东部和中部地区, 荆门、随州等地区较多。

2005~2010 年相比于 2000~2005 年, 重度退化和中度退化的面积在扩大, 集中分布在西北部和东南部的城市周围, 十堰和武汉较为明显。改善区域集中在湖北省中部, 神农架林区、襄阳、随州和天门, 占比达到 35.69%, 比上年提高了 1.97%, 面积达到 66347.71km²。变化不明显的区域占比达到 34.68%, 轻度退化面积占比为 16.87%, 而湖北省中度退化和重度退化的面积都升高了, 说明湖北省整体的植被覆盖状况与 2000~2005 年的情况相比较差。

2010~2015 年, 湖北省植被覆盖整体相对于 2005~2010 年都有了明显的提高。改善的面积相对于上年有了小幅度的升高, 占比为 36.62%, 面积为 68076.58km², 东北部, 十堰、神农架林区较为明显。轻度退化、中度退化和重度退化面积占比降低, 分别为 16.22%、7.10%和 2.63%。

2015~2020 年相比上个时期总体呈现降低的趋势。重度退化、中度退化和轻度退化面积占比增加了 0.54%、4.31%和 6.07%, 分布在湖北省中部、孝感; 变化不明显和改善面积占比分别减少了 8.32%和 2.6%, 受人类活动影响较大。

总体来看, 2000~2020 年这 20 年湖北省植被整体有明显的改善, 经历了改善、局部退化加剧、改善明显和退化 4 个阶段。2000~2020 年总体改善面积达到 71683.04km², 占总面积的 38.56%。变化不明显区域占 17.15%, 分布在中部城市周边; 轻度退化、中度退化和重度退化比重分别为 24.33%、14.96%和 2.92%, 集中在城市周边, 主要与经济发展密切相关。

3.3 植被空间变化的影响因素分析

3.3.1 气温、降水和风速对 FVC 变化的影响

影响植被覆盖度空间变化的因子较多, 气候因素是主要因素之一。近年来, 湖北省地面年平均气温呈显著上升趋势^[28], 年平均降水量呈现“少-多-少”的变化特征^[29], 气温和降水是影响植被的主要因素, 风速对植被的影响也渐渐得到重视^[30], 过高的风速在一定程度上会抑制植被生长。

湖北省植被覆盖度与气温、降水和风速之间的关系通过相关系数表示。利用 ArcGIS 中的栅格计算器, 计算每个格点植被覆盖度与该格点的气温、降水和风速间的相关系数图(图 4)。

从图 4(a)、图 4(b)和图 4(c)的空间分布图可得出, 湖北省东南部的气温、降水相对较高, 西北部的神农架与恩施气温、降水和风速较低, 湖北省西北部的降水量比东南部高, 而风速分布主要呈现低-高-低的趋势, 风速较低主要集中在西部和东部, 较高的区域集中在中部地区。湖北省的西北部、西南部以及襄阳等地区的植被覆盖度与气温呈现正相关(图 4d), 襄阳地区、神农架和随州等地区呈现正相关(图 4e)。神农架等地区与风速呈现正相关(图 4f)。

3.3.2 不同海拔高度的气象因子对 FVC 的影响

为了分析不同海拔高度的气温、降水和风速对植被覆盖度的影响, 将海拔分为了 600m 以下、600~1300、1300~2100、2100~2800 和 3000m 以上, 计算了植被覆盖度与气温、降水和风速不同相关关系所占的比重(图 5)。随着海拔升高, 降水和植被覆盖度的正相关关系比重呈现逐渐降低的趋势, 负相关呈现降-升-降的趋势, 海拔升高, 降水减少, 不利于植被的生长(图 5a)。气

温和植被覆盖度的正负相关关系随着海拔的升高呈现下降的趋势，气温过高，一定程度上会抑制植被生长(图 5b)。风速与植被覆盖度的负相关关系逐渐降低，在 2100~2800m 以上正相关最大，说明风速对植被生长有一定的影响(图 5c)。

3.3.3 人类活动因素对植被覆盖度的影响

通过残差分析法分离出人类活动对湖北省植被覆盖度的贡献因子，表示人类因素对湖北省植被覆盖度的影响。计算 2000~2020 年植被覆盖度与 2000~2019 年的降水($R^2=0.81$)、气温($R^2=0.83$)和风速($R^2=0.65$)的相关系数，建立两者之间的线性回归模型，通过 $P<0.005$ 的显著性检验。利用 2000~2019 年的气象数据，并结合公式(5)计算出湖北省植被覆盖度的模拟值，通过与实际的 2000~2020 年植被覆盖度值作差，最后得到两者之间的残差图(图 6)。

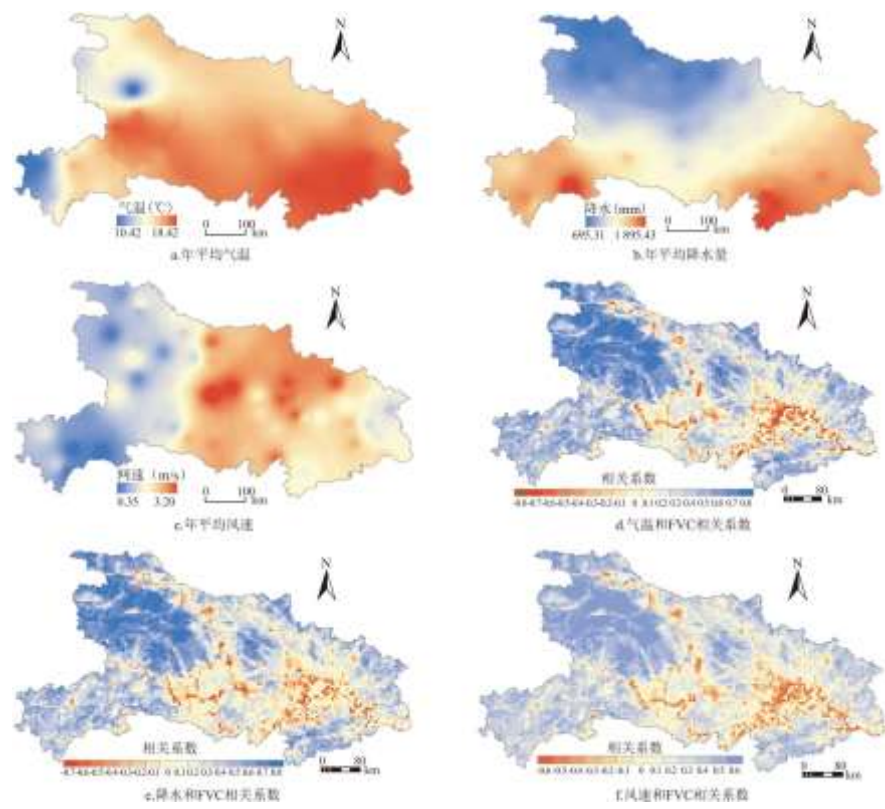


图 4 湖北省气温、降水和风速空间分布及植被覆盖度与气温、降水和风速相关性空间分布

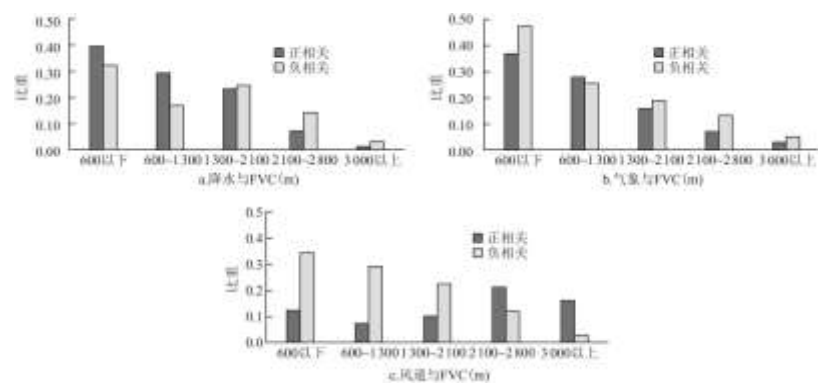


图 5 不同海拔气温、降水和风速与植被覆盖度的相关关系

湖北省植被覆盖度残差平均值为 0.132, 说明人类活动在一定程度上对生态环境产生了正向影响。近些年, 国家实行生态环境保护红线的生态保护和治理措施均取得了一定的效果^[31, 32]。神农架林区、恩施和十堰等西北部地区的 FVC 残差值在 0.15~0.63, 该地区生态环境保护措施产生了较好的效果。出现负值的地区集中在湖北省中部和城市周边。这些区域是湖北省人口和工农业集中分布区。

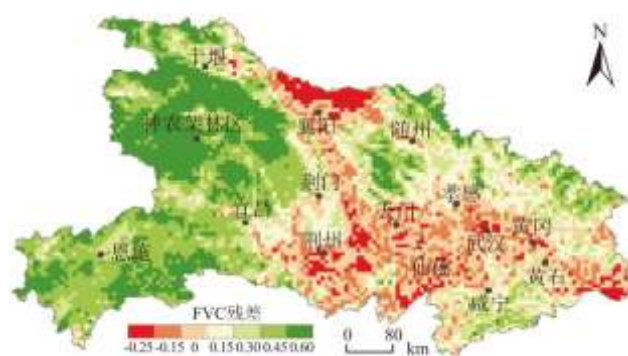


图 6 湖北省人类活动影响力变化趋势

4 结论与讨论

近 20 年来湖北省植被覆盖度变化具有明显的区域分异性。

(1) 2000~2020 年湖北省植被覆盖度整体呈现增加的趋势。湖北省的西北部, 十堰、神农架林区和随州周围增加较为明显。2000~2005 年植被改善明显, 2005~2010 年相比上个时期局部退化明显, 2010~2015 年, 植被整体有了明显的提高, 2015~2020 年, 由于受人类活动因素影响较大, 部分区域的植被覆盖度呈减少趋势。

(2) 人类活动因素是影响湖北省植被覆盖度空间变化的主要因素, 植被改善区域集中在西北部和西南部, 而东南部地区植被覆盖度呈现下降趋势。

(3) 气候因素对湖北省植被覆盖度的影响具有差异性。襄阳等地区的植被变化与气温呈现正相关, 武汉周边等地区气温与植被覆盖度呈负相关, 风速与植被覆盖度的相关性较弱。

湖北省植被覆盖度总体呈现增加的趋势。尤其是西北部地区、神农架林区、恩施等地, 主要原因是湖北省建立生态保护区和设立生态功能区等措施保护土壤、涵养水源, 为植被创造了良好的生长条件。但植被覆盖度变化受多种因素共同作用, 本文从气候和人类活动因素出发, 分析湖北省植被覆盖度时空变化的影响因素, 但气候因素对植被变化的影响存在滞后性^[33, 34], 而人类活动因素采用残差分析法计算, 得出的结果还需要结合不同土地覆被利用的具体情况来研究, 因为农用地、耕地和城市建设用地等都是在不断变化, 而这些变化在一定程度上会对植被覆盖度的计算产生影响。所以后续研究需要深入分析土地覆被利用数据、人类活动因素和植被覆盖度之间的关系, 从多角度考虑影响湖北省植被覆盖度空间变化的原因, 为保护湖北省植被的生态环境提供重要参考。

参考文献:

[1] 孙红雨, 李兵. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204-210.

-
- [2]李新鸽,朱连奇,陈超男. 2000~2015 年河南省植被 NDVI 时变化特征分析[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2018, 48(5): 554-564.
- [3]候勇, 陈文龙, 钟成. 内蒙古地区植被覆盖度时空变化遥感监测[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(11):35-40.
- [4]黄林峰,田鹏举,帅士章,等. 2000~2016 年赤水河流域植被生态质量变化分析[J]. 中低纬山地气象, 2018, 42(5):20-24.
- [5]郑海亮,房世峰,刘成程,等. 青藏高原月 NDVI 时空动态变化及其对气候变化的响应[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(2): 201-214.
- [6]熊俊楠,彭超,程维明,等. 基于 MODIS-NDVI 的云南省植被覆盖度变化分析[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(12):1830-1840.
- [7]李彩霞,龚杰,邓帆,等. 基于植被覆盖度的广西平果县植被动态变化研究[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2019, 48(3):273-278.
- [8]李彩霞,邓帆,张佳华,等. 基于时序植被指数的湖北省物候空间特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(7):1583-1589.
- [9]武黎黎,陈月庆,蚩志锋,等. 3 种 NDVI 遥感数据产品在大别山区的对比分析[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2019, 32(4):584-589.
- [10]蒋元春,李栋梁,郑然. 1971~2016 年青藏高原积雪冻土变化特征及其与植被的关系[J]. 大气科学学报, 2020, 43(3):481-494.
- [11]TONG X, BRANDT M, HIERNAUX P, et al. Revisiting the coupling between NDVI trends and cropland changes in the Sahel dry lands: A case study in western Niger[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 191:286-296.
- [12]ZHAO J, ZHANG H, ZHANG Z, et al. Spatial and temporal changes in vegetation phenology at middle and high latitudes of the Northern Hemisphere over the past three decades [J]. Remote Sensing, 2015, 7(8):10973-10995.
- [13]赵明伟,王妮,施慧慧,等. 2001-2015 年间我国陆地植被覆盖度时空变化及驱动力分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(2):324-331.
- [14]刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1):3-14.
- [15]刘纪远,张增祥,庄大方,等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003(1):1-12.
- [16]张亮,丁明军,张华敏,等. 1982~2015 年长江流域植被覆盖度时空变化分析[J]. 自然资源学报, 2019, 33(2):324-331.
- [17]高黎明,张乐乐,陈克龙. 青海湖流域湿地小气候特征分析[J]. 干旱区 S 研究, 2019, 36(1):186-192.

-
- [18]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):7722-7736.
- [19]钟红平,王宏志.2007~2016年湖北省归一化植被指数时空变化特征分析[J].华中师范大学学报(自然科学版),2018,52(4):582-588.
- [20]袁沫汐,邹玲,林爱文,等.湖北省地区植被覆盖变化及其对气候因子的响应[J].生态学报,2016,36(17):5315-5323.
- [21]车风,黄国清,刘韬,等.2004~2015年湖北省植被 NPP 时空分布特征及其与气候因素关系[J].水土保持研究,2019,26(6):198-204,225.
- [22]杨啸.基于时序 NDVI 的湖北省植被覆盖动态变化监测分析[J].长江流域资源与环境,2013,22(2):226-231.
- [23]曹磊,谢飞,吴颖超,等.江苏省 NDVI 时空变化特征及其与气候因子的关系[J].水土保持通报,2015,35(2):151-154.
- [24]王宁,陈民,郝多虎,等.基于 NDVI 估算植被覆盖度的研究——以滁州市为例[J].测绘与空间地理信息,2013,36(5):51-54,57.
- [25]高黎明,张乐乐.青海湖流域植被盖度时空变化研究[J].地球信息科学学报,2019,21(9):1318-1329.
- [26]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.中华人民共和国国家标准:天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [27]李辉霞,刘国华,傅伯杰.基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究[J].生态学报,2011,31(19):5495-5504.
- [28]余文昌.湖北省生态保护红线与生态空间管治研究[D].华中师范大学,2018.
- [29]邹洪坤.湖北省植被覆盖度动态变化及其对气候变化的响应[D].武汉大学,2018.
- [30]孙智妍,周秋文,罗雅雪,等.黄壤径流小区植被覆盖度对土壤湿度的影响[J].水资源与水工程报,2019,30(4):39-46.
- [31]TONG X,BRANDT M,HIERNAUX P,et al.Revisiting the coupling between NDVI trends and cropland changes in the Sahel dry lands:A case study in western Niger[J].Remote Sensing of Environment,2017,191:286-296.
- [32]赵丽红,王屏,欧阳勋志,等.南昌市植被覆盖度时空演变及其对非气候因素的响应[J].生态学报,2016,36(12):3723-3733.
- [33]GUO W,NI X,JIANG D,et al.Spatial-temporal patterns of vegetation dynamics and their relationships to climate variations in Qinhai Lake Basin using MODIS time-series data[J].Journal of Geographical Sciences,2014,24(6):1009-1021.
- [34]何杰,阳坤.中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集[OL].寒区旱区科学数据中心,2011.