

2000—2018年赣江上游植被覆盖度时空演化及其对气候变化的响应

刘明霞¹, 刘友存², 陈明², 李奇^{2,3}, 梁旗², 邹杰平², 乔丽潘古丽·吐尔洪²

(1. 江西理工大学 建筑与测绘工程学院, 江西 赣州 341000; 2. 江西理工大学

资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000; 3. 江西环境工程职业学院 生态建设与环境保护学院, 江西, 赣州 341000)

摘要: [目的] 对赣江上游植被覆盖度时空演化及其对气候变化响应的研究, 为区域的生态环境保护提供科学依据和数据支撑。[方法] 基于 MODIS NDVI 数据, 结合年平均气温和年降水量数据, 运用趋势分析、变异系数、Hurst 指数与相关分析等方法对赣江上游 2000—2018 年的植被覆盖度时空演化及其对气候变化的响应进行了分析。[结果] ① 赣江上游植被覆盖度呈显著增加趋势, 增速为 5.21%/10 a, 空间上呈现四周高中间低的特征, 且以高植被覆盖为主; 研究区植被覆盖度呈极显著和显著增加的分别占 25.59% 和 39.7%, 极显著和显著减少的分别占 1.32% 和 2.46%, 而变化不显著的占 57.84%; ② 研究区植被覆盖总体上比较稳定, 平均变异系数为 14.73%; Hurst 分析显示赣江上游植被变化反持续性要强于持续性, 总体上以弱反持续性为主; ③ 研究区植被生长总体上受气温影响强于降水量, 但存在空间差异。[结论] 赣江上游植被覆盖度变化较小, 未来将呈微弱下降趋势, 气温是影响植被生长的主要气候因子。

关键词: 植被覆盖度; 时空变化; 气候变化; 趋势分析; 赣江上游

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)05-0284-07

中图分类号: X171, TP79

文献参数: 刘明霞, 刘友存, 陈明, 等. 2000—2018 年赣江上游植被覆盖度时空演化及其对气候变化的响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 284-290. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.05.041; Liu Mingxia, Liu Youcun, Chen Ming, et al. Spatiotemporal evolution of vegetation coverage and its response to climate change in upper reaches of Ganjiang River basin during 2000—2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5): 284-290.

Spatiotemporal Evolution of Vegetation Coverage and Its Response to Climate Change in Upper Reaches of Ganjiang River Basin During 2000—2018

Liu Mingxia¹, Liu Youcun², Chen Ming², Li Qi^{2,3}, Liang Qi², Zou Jieping², Qiaolipanguli · Tuerhong²

(1. School of Architectural and Surveying & Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China; 2. School of Resources and Environmental Engineering,

Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China; 3. School of Ecological Construction and Environmental Protection, Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

Abstract: [Objective] The spatiotemporal evolution of vegetation coverage and its response to climate change in the upper reaches of the Ganjiang River basin were studied to provide a scientific basis and data support for regional ecological environmental protection. [Methods] Based on MODIS normalized difference vegetation index (NDVI) data, combined with annual average temperature and annual precipitation data, the trend analysis, coefficient of variation, Hurst index, and correlation analysis were used to analyze the spatiotemporal evolution of vegetation coverage and its response to climate change in the upper reaches of the Ganjiang River basin from 2000 to 2018. [Results] ① The fractional vegetation coverage in the upper reaches of the Ganjiang

收稿日期: 2020-05-20

修回日期: 2020-07-08

资助项目: 国家自然科学基金项目“稀土矿区典型流域水沙过程与氮磷及重金属多界面迁移机制研究”(41861002); 江西省自然科学基金资助项目(20181BAB203026); 赣州市创新人才项目(赣市科发 2019[60]号); 江西省教育厅科技项目(GJJ190443)和江西省“双千计划”创新人才项目(JXSQ2018106054)。

第一作者: 刘明霞(1995—), 女(汉族), 河南省周口市人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境遥感。Email: x2649043990@163.com。

通讯作者: 刘友存(1977—), 男(汉族), 河北省迁安市人, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要从事流域水资源与水环境方面的教学研究工作。Email: liuyoucun@126.com。

River basin showed a significant increase, with a growth rate of 5.21%/10 a. Spatially, the vegetation coverage showed the distribution characteristics of being low in the middle and high in the surroundings, mainly with high vegetation coverage. The fractional vegetation coverage in the study area showed an extremely significant increase and a significant increase account for 25.59% and 39.70%, respectively, and an extremely significant decrease and a significant decrease account for 1.32% and 2.46%, respectively. Insignificant change accounts for 57.84%. ② The vegetation coverage was generally stable in the study area, with an average coefficient of variation of 14.73%. Hurst analysis showed that the antisustainability of vegetation changes in the upper reaches of the Ganjiang River basin was stronger than the sustainability, and weak antisustainability was mainly dominant. ③ The vegetation growth in the study area was generally more affected by temperature than by precipitation, but there were spatial differences. [Conclusion] The fractional vegetation coverage in the upper reaches of Ganjiang River basin changes little and will decrease slightly in the future. Temperature is the main climate factor affecting vegetation growth.

Keywords: fractional vegetation coverage; spatiotemporal variation; climate change; trend analysis; upper reaches of Ganjiang River basin

全球气候变化与陆地生态响应是国际地圈生物圈计划(IGBP)的核心研究内容^[1],受到了国内外学者和国际社会的高度关注。而作为陆地生态系统的重要组成部分,植被具有保持水土、涵养水源、改善土壤、调节气候、净化空气等生态功能^[2]。植被覆盖度(fractional vegetation coverage, FVC)反应了植被的生态势,是描述生态系统的重要基础数据,在植被动态监测以及区域生态环境评价等方面具有重要意义^[3]。植被覆盖度的测算方法主要有地面实测和遥感估算,遥感适用于大范围、长时间序列的植被覆盖度计算,因而被广泛运用^[4-6]。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是检测植被生长状态、植被覆盖度的最佳指示因子,与植被覆盖度有较好的相关性,被广泛运用在植被覆盖度动态监测研究中^[7-8]。与此同时,气候变化又直接影响植被覆盖度,如气温和降水通过影响有效积温和土壤水分来影响植被生长^[9-11]。因此,分析植被覆盖度时空变化规律,研究气候因素对其驱动作用,对评价区域环境质量和维护区域生态系统平衡具有重要意义^[12]。

赣江上游矿产资源丰富,矿产尤其是稀土矿的大量开采,造成了植被破坏、水土流失、泥石流及水污染等生态环境问题^[13-15]。赣江上游流域为水源涵养区,其生态环境状况将直接影响赣江及鄱阳湖流域的生态环境质量及经济发展。而植被覆盖度能够客观地反映区域生态环境的整体状况。李恒凯等^[16]分析了赣州市 2008,2011 年植被覆盖空间分布特征及其与地貌因子的关系。曾广林^[17]分析了赣州市植被覆盖度和碳储量的变化特征及两者之间的关系。现有的研究没能分析赣江上游植被覆盖度对气候变化的响

应。因此,本文基于 MODIS NDVI 数据,结合年平均气温和年降水量数据,运用趋势分析、变异系数、Hurst 指数和相关分析等方法分析了赣江上游 2000—2018 年植被覆盖度时空演化及其对气候变化的响应,以期为区域的生态环境保护提供科学依据和数据支撑。

1 研究区概况

赣江上游流域在江西省南部,位于 113°54′—116°38′E,24°29′—27°09′N,高程 98—1990 m,流域面积 36 818 km²^[13]。赣江上游山地纵横,支流众多,主要有湘水、濂江、梅江、平江、桃江、上犹江等。地貌以山地、丘陵为主,地势四周高中间低;气候属亚热带季风气候,气候温和,雨量丰沛,春季阴雨连绵,夏季先涝后旱少酷暑,秋季晴朗少雨,冬季温和少雨;土壤类型为红壤、黄壤和紫色土;因地处中亚热带南缘,植物类型多样。

2 数据与方法

2.1 数据来源与预处理

本文中选用的 2000—2018 年植物生长季(1—12 月)的 227 景 MODIS MOD₁₃Q₁ 数据产品(时间分辨率为 16 d,空间分辨率为 250 m×250 m)来源于美国国家航空航天局(NASA)戈达德航天中心 LAADS DAAC(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>)。MODIS NDVI 产品经过水、云、重气溶胶等处理,数据质量较高,被广泛应用于区域植被覆盖变化研究。预处理主要包括:①运用 MRT(MODIS re-projection tools)将下载的 MODIS NDVI 进行格式

和投影转换;②采用 Savitzky-Golay 滤波对 MODIS NDVI 进行平滑处理,剔除噪声影响;③应用 MVC (maximum value composite) 合成年最大 NDVI。由于年最大 NDVI 能很好地反映该年植被长势最好时期的植被覆盖情况,消除大气、云、太阳高度角等因素对遥感影像的影响,因此采用年最大 NDVI 分析植被覆盖度的时空变化特征。气象数据采用赣江上游 2000—2018 年 12 个气象站点的年均气温和年降水量数据(宁都、龙南、崇义、上犹、大余、信丰、兴国、瑞金、于都、会昌、安远、赣县)。

2.2 研究方法

2.2.1 植被覆盖度估算 像元二分模型在一定程度上减少了大气及土壤背景的影响,且操作简单,因此被广泛运用于植被覆盖度的遥感估算^[18]。像元二分模型的原理为假设一个像元的信息由植被和非植被组成,像元中植被所占比例即为该像元的植被覆盖度^[19],计算公式为:

$$FVC = \frac{S - S_s}{S_v - S_s} \quad (1)$$

式中:FVC 为植被覆盖度; S 为混合像元遥感信息; S_v 为纯植被覆盖时遥感信息; S_s 为纯非植被覆盖时遥感信息。植被覆盖度与 NDVI 存在很强的相关性,根据李苗苗等的研究^[20],建立基于 NDVI 的植被覆盖度估算模型,计算公式为:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (2)$$

式中:FVC 为植被覆盖度;NDVI 为混合像元的 NDVI 值; $NDVI_{\max}$ 为纯植被像元的最大 NDVI 值,理论上接近 1; $NDVI_{\min}$ 为纯非植被像元的最小 NDVI 值,理论上接近 0。

受气象要素、植被类型、季节等因素的影响,不同遥感影像的 $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 存在一定差异。 $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 通常取一定置信区间内 NDVI 最大值和最小值。目前,多数学者将置信区间设置为 1%~99% 和 5%~95%^[21-22], 本文根据实际情况,发现采用 1%~99% 的置信区间估算赣江上游植被覆盖度更加准确。参考众多植被覆盖划分的文献^[23-25],结合研究区的实际情况,将植被覆盖分为 5 级:Ⅰ低植被覆盖(0%~10%)、Ⅱ较低植被覆盖(10%~30%)、Ⅲ中度植被覆盖(30%~50%)、Ⅳ较高植被覆盖(50%~70%)、Ⅴ高植被覆盖(70%~100%)。

2.2.2 Hurst 指数分析 Hurst 指数是定量描述时间序列信息长期依赖性的有效方法,最早由英国水文学家 Hurst 提出,可以用于预测未来植被覆盖度的

变化情况^[26]。本文采用 R/S(重标极差)分析法计算植被覆盖度变化的 Hurst 指数,基本原理为:

对于时间序列 $\{FVC(t)\}$, $t=1, 2, \dots, n$, 定义均值序列为:

$$\overline{FVC}_\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} FVC_{(t)} \quad (\tau=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

定义累积离差为:

$$X(t, \tau) = \sum_{t=1}^{\tau} [FVC_{(t)} - \overline{FVC}_{(\tau)}] \quad (1 \leq t \leq \tau) \quad (4)$$

定义极差为:

$$R_{(\tau)} = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) \quad (\tau=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

定义标准差为:

$$S_{(\tau)} = \left\{ \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} [FVC_{(t)} - \overline{FVC}_{(\tau)}]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\tau=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$\frac{R_{(\tau)}}{S_{(\tau)}} = (c\tau)^H \quad (7)$$

式中: H 为 Hurst 指数; c 为常数; τ 为时间序列长度。

Hurst 指数存在如下规律:① $0.5 < H < 1$, 表示该时间序列为持续性序列,未来的变化趋势与过去一致, H 越接近 1,持续性越强;② $H = 0.5$, 表示该时间序列为随机序列,未来的变化趋势与过去无关;③ $0 < H < 0.5$, 表示该时间序列为反持续性序列,未来的变化趋势与过去相反, H 越接近 0,反持续性越强。

2.2.3 偏相关性分析 偏相关分析是指当两个变量同时与第 3 个变量相关时,剔除第 3 个变量的影响,只分析这两个变量的相关程度的过程^[27]。计算公式为:

$$R_{(x_1, y)} = \frac{\sum y_i x_{1i} \sum x_{2i}^2 - \sum y_i x_{2i} \sum x_{1i} x_{2i}}{\sum x_{1i}^2 \sum x_{2i}^2 - (\sum x_{1i} \sum x_{2i})^2} \quad (8)$$

式中: y 为植被覆盖度; x_1 为计算相关性的变量; x_2 为固定变量。

3 结果与分析

3.1 植被覆盖度时间变化特征

2000—2018 年赣江上游平均植被覆盖度随时间变化趋势见图 1。研究区植被覆盖度呈显著上升趋势($p < 0.001$),增速为 5.21%/10 a。其中,2000 年植被覆盖度为 60.53%,为近 19 a 来最低值,而最高值为 2018 年的 71.28%。这主要是因为 2000 年以来赣州市实施了限制矿产开采、植树造林以及矿区复垦等有利于生态改善的措施。赣江上游地区素有八山一水半分田之称,耕地面积少。赣江上游地区经济不发达,劳动人口大多外出务工,弃耕现象较为严重,因而植被覆盖度上升。

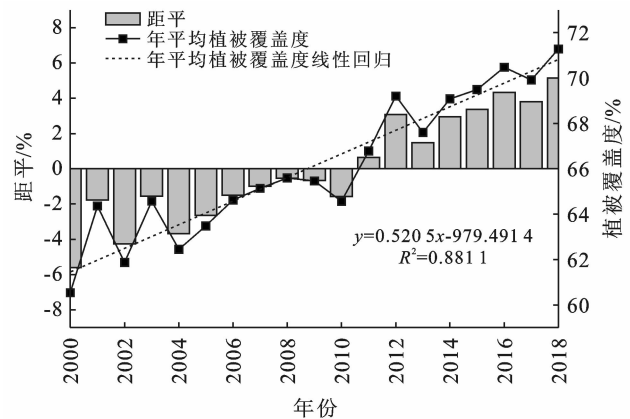


图 1 2000—2018 年赣江上游平均植被覆盖度时间变化趋势

3.2 植被覆盖度空间变化特征

3.2.1 空间分布特征 图 2 为赣江上游不同时间段

的平均植被覆盖度空间分布。赣江上游总体植被覆盖状况良好,以高植被覆盖为主,且呈现四周高中间低的分布特征。从图 2 可以看出,从 2000—2018 年植被覆盖度呈增加趋势,2000—2006,2007—2012,2013—2018 这 3 个时段平均植被覆盖度分别为 62.71%,65.67%和 69.24%,而 2000—2018 年的多年平均植被覆盖度为 66.13%。其中,低植被覆盖区域占赣江上游总面积的 0.87%,较低植被覆盖区域占 2.65%,中度植被覆盖区域占 12.93%,较高植被覆盖区域占 38.48%,高植被覆盖区域占 45.07%。赣江上游地势周高中低、南高北低。低植被覆盖地区主要位于赣州市区、赣县城区、南康城区、于都县城、宁都县城、信丰县城、兴国县城、会昌县城、瑞金市区、龙南县城等城镇人口聚集区,而高植被覆盖地区主要位于人类活动较少的中低山区。

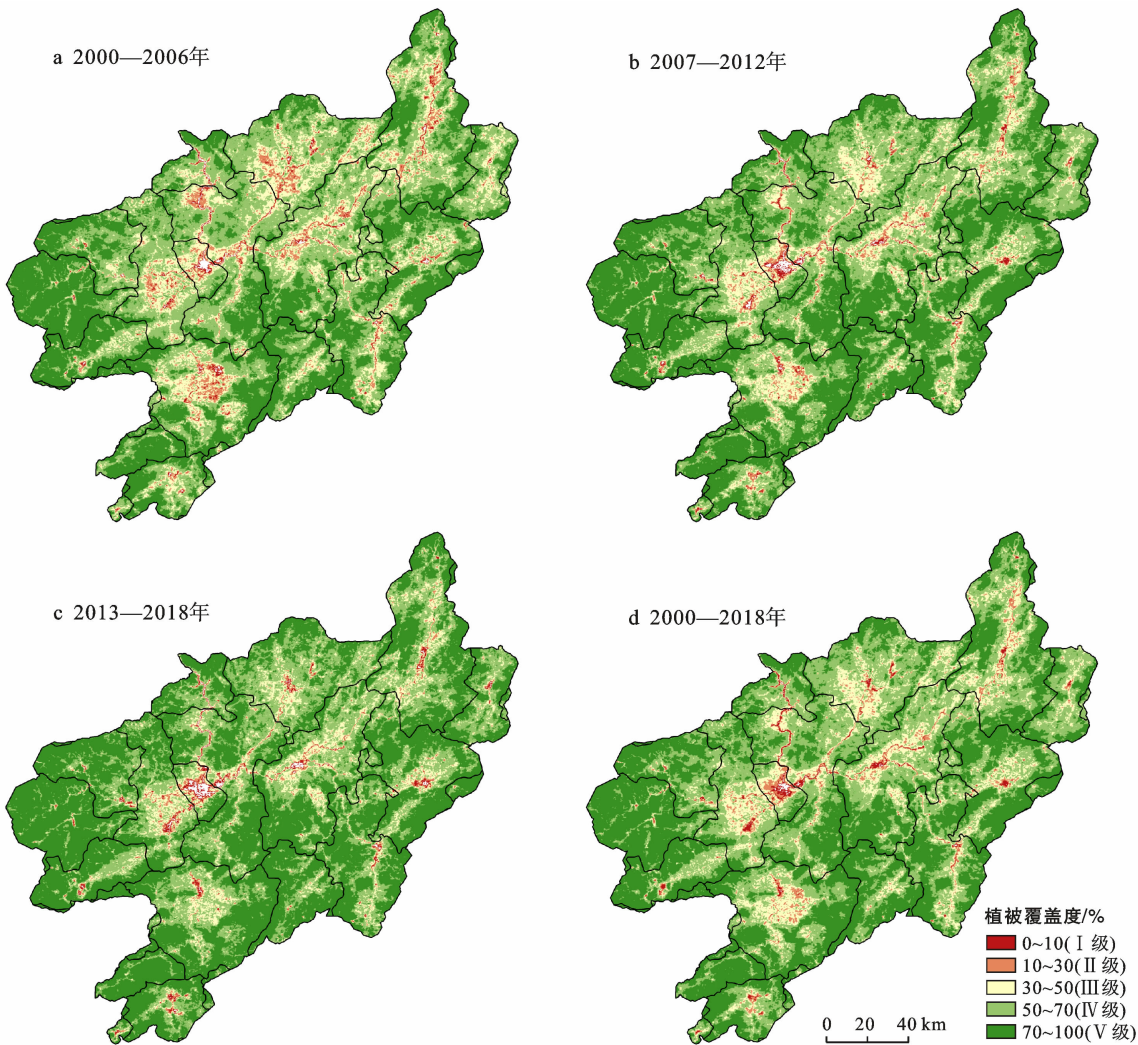


图 2 2000—2018 年赣江上游平均植被覆盖度等级空间分布

3.2.2 空间趋势特征 植被覆盖度呈上升趋势的占 82.56%,主要分布在信丰县中部、赣县北部、兴国县

南部。信丰县近年来注重脐橙产业与生态环境的协调发展,重视对生态环境的保护,因此植被覆盖度显

著增加。赣县北部和兴国县南部植被覆盖度显著增加是因为限制矿产资源开采、植树造林和矿区土地复垦政策的实施。植被覆盖度呈下降趋势的占 17.44%，主要分布在赣州市中部、南康区中东部、瑞金市中部。赣州市中部、南康区中东部和瑞金市中部植被覆盖度显著减少是由于城市扩张。植被覆盖度呈极显著增加的占 25.59%，呈显著增加的占 39.70%，呈极显著减少的占 1.32%，呈显著减少的占 2.46%，变化不显著的占 57.84%。其中，植被覆盖度呈显著增加的主要分布在赣县北部、万安县南部、兴国县南部、信丰县中部等地势较低处，植被覆盖度呈显著减少的主要分布在赣州市中部、南康区中东部、瑞金市中部以及各个城市周边。

3.2.3 植被覆盖度稳定性 变异系数表示数据分布的离散性、波动性，变异系数值越大，表示数据分布越分散，波动性越大，变化越大，反之亦然。变异系数低于 15% 的为稳定区域，变异系数在 15.00%~40.00% 之间的为不稳定区域，变异系数高于 40.00% 的为极不稳定区域^[12]。研究区植被覆盖情况总体比较稳定，变异系数介于 2.39%~107.75% 之间，且平均变异系数为 14.73%。其中，植被覆盖度稳定区域占研究区总面积的 64.98%，主要分布在四周山区，说明四周山区的植被覆盖度变化最小。山区的人类活动较少，有利于植被生长，因此山区的植被覆盖度变化最小。植被覆盖度不稳定区域占 33.04%，主要分布在南康区南部、信丰县中部、于都县北部、兴国县南部，说明这些地区的植被覆盖度变化次之。植被覆盖度极不稳定区域占 1.99%，主要分布在信丰县中部、南康区中部、于都县中部、兴国县南部、瑞金市中部，说明这些地区的植被覆盖度变化最剧烈。信丰县近年来注重脐橙产业与生态环境的协调发展，加大对生态环境的保护，因此植被覆盖度变化剧烈。南康区中部和瑞金市中部植被覆盖度变化剧烈是由于城市扩张。于都县中部和兴国县南部植被覆盖度变化剧烈是因为植树造林、封山育林以及矿区土地复垦政策的实施。

3.2.4 植被覆盖度 Hurst 指数分析 2000—2018 年赣江上游植被覆盖度的 Hurst 指数空间分布见图 3。从图 3 可以看到，研究区植被覆盖度 Hurst 指数平均值为 0.473 875，Hurst 指数小于 0.5 的像元数占 62.75%，Hurst 指数大于 0.5 的像元数占 37.25%。赣江上游植被变化反持续性要强于持续性，说明赣江上游植被覆盖度未来将呈下降趋势。其中，赣江上游植被覆盖度呈强反持续性的像元数占 9.64%，呈弱反持续性的像元数占 53.11%，呈弱持续性的像元数占

33.38%，呈强持续性的像元数占 3.87%（见表 1）。赣江上游植被变化总体上以弱反持续性为主，说明赣江上游植被覆盖度未来将呈微弱下降趋势。

表 1 2 000—2018 赣江上游植被覆盖度变化可持续性统计

Hurst 指数	等 级	面积/km ²	所占比例/%
Hurst≤0.35	强反持续性	2 826.94	9.64
0.35<Hurst≤0.50	弱反持续性	15 572.06	53.11
0.50<Hurst≤0.65	弱持续性	9 786.38	33.38
0.65<Hurst	强持续性	1 135.00	3.87

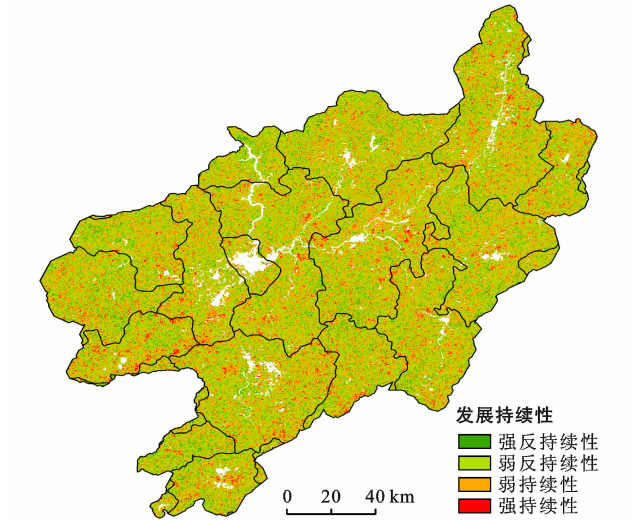


图 3 2000—2018 年赣江上游植被覆盖度 Hurst 指数空间分布

3.3 植被覆盖度对气候变化的响应

图 4 为赣江上游 2000—2018 年植被覆盖度与年均气温和年降水量的显著性检验结果。从图 4 上可以发现：植被覆盖度与年均气温的平均偏相关系数为 0.19。植被覆盖度与年均温呈正相关的占研究区总面积的 75.83%，主要分布在赣县北部、兴国县南部、宁都县中部、会昌县、于都县东部、瑞金市西部、安远县北部、信丰县中部、南康区西部和北部、万安县西南部，说明这些地区的植被覆盖度受气温的影响较大。植被覆盖度与年均温呈负相关的占 24.17%，主要分布在各城市及周边地区。城市地区因热岛效应温度较高，再加上频繁的人类活动导致植被覆盖度较低。植被覆盖度与年均温呈显著正相关($p<0.05$)的占 14.18%，主要分布在赣县北部、兴国县南部、于都县东部、会昌县东南部。植被覆盖度与年均温呈显著负相关($p<0.05$)的占 1.41%，主要分布在赣州市区、瑞金市区、宁都县城、龙南县城、南康城区周边(图 4a)。

植被覆盖度与年降水量的平均偏相关系数为 0.03。植被覆盖度与年降水量呈正相关的占 54.18%，主要分布在宁都县中西部、于都县北部、瑞金市西北部、崇义县中部、石城县中部，说明这些地区的植被覆

盖度受降水量的影响较大。植被覆盖度与年降水量呈负相关的占 45.82%，主要分布在河流附近。生长在河流附近的植被水分充足，降水增加汇入河流反而不利于河流附近的植被生长。植被覆盖度与年降水量呈显著正相关($p<0.05$)的占 1.92%，主要分布在宁都县中西部、石城县中部、崇义县中部(图 4b)。植被覆盖度与年降水量呈显著负相关($p<0.05$)的占 0.96%。整体来看，赣江上游植被生长受气温影响要强于降水。气温升高往往伴随晴朗少云天气，辐射增加，有利于植被的生长。赣江上游流域降水丰沛，因

此气温成为影响赣江上游植被生长的主要气候因素。植被覆盖度与年均气温和年降水量的平均复相关系数为 0.34。赣县北部、兴国县南部、于都县东部、会昌县南部、安远北部的植被覆盖度与年均温和年降水量相关性较高，说明这些地区的植被覆盖度受气温和降水量的综合影响较大。植被覆盖度与年均温和年降水量呈显著相关($p<0.05$)的占 25.81%，主要分布在赣县北部、兴国县南部、于都县东北部、宁都县中部、石城县中部、会昌县、安远县北部、信丰县东部(图 4c)。



图 4 2000—2018 年赣江上游植被覆盖度与气温和降水量的显著性

4 讨论与结论

本文基于 MODIS NDVI 数据、年均气温、年降水量数据，运用趋势分析、变异系数、Hurst 指数及相关分析等方法，分析了 2000—2018 年赣江上游植被覆盖度时空演化及其对气候变化的响应，主要结论如下：

(1) 时间上，2000—2018 年赣江上游植被覆盖度呈显著($p<0.001$)增加趋势，增速为 5.21%/10 a。空间上，赣江上游植被覆盖度呈现四周高中间低的分布特征，以高植被覆盖为主，多年平均植被覆盖度为 66.13%。其中，空间上呈极显著增加、显著增加、极显著减少和显著减少分别占 25.59%，39.7%，1.32% 和 2.46%，变化不显著的占 57.84%。

(2) 赣江上游植被覆盖总体上比较稳定，平均变异系数为 14.73%。信丰县中部、南康区中部、于都县中部、兴国县南部和瑞金市中部植被覆盖变化最大，南康区南部、信丰县中部、于都县北部和兴国县南部次之，四周山区植被覆盖变化最小。Hurst 分析显示，植被变化反持续性要强于持续性，总体上以弱反持续性为主，Hurst 指数平均值为 0.47。

(3) 赣江上游植被生长总体上受气温的影响要强于降水量，赣县北部、兴国县南部、宁都县中部、会

昌县、于都县东部、瑞金市西部、安远县北部、信丰县中部、南康区西部和北部、万安县西南部的植被覆盖度主要受气温影响，宁都县中西部、于都县北部、瑞金市西北部、崇义县中部、石城县中部的植被覆盖度主要受降水量影响，而赣县北部、兴国县南部、于都县东部、会昌县南部、安远县北部的植被覆盖度主要受气温和降水量的综合影响。

本文分析了赣江上游植被覆盖度的时空演化及其对气候变化的响应，然而影响赣江上游植被覆盖度的因素有很多，如人类活动、海拔、坡度、坡向等。因此定量分析各个因素对植被覆盖度的影响程度，对比各个因素的影响力大小，找到主要影响因素，针对主要影响因素采取相应措施，提高赣江上游的植被覆盖度，更好地保护赣江上游的生态环境，将是下一步的研究重点。另外，研究中使用了 MODIS NDVI 数据，未使用多源 NDVI 数据进行相互验证，不同 NDVI 数据的分辨率和质量不同，植被覆盖度的估算结果也不同，今后将分析对比不同 NDVI 数据的植被覆盖度计算结果，以得到更加准确的结果。

[参 考 文 献]

- [1] Walker B, Steffen W. The Terrestrial Biosphere and Global Change: Implications for Natural and Managed

- Ecosystems [R]. IGBP Science (1): A Synthesis of GCTE and Related Research. Stockholm: IGBP(International Geosphere Biosphere Programme), 1997:1-24.
- [2] Duveiller G, Hooker J, Cescatti A. The mark of vegetation change on Earth's surface energy balance [J]. Nature Communications, 2018,9(1):679.
- [3] Pabi O. Understanding land-use/cover change process for land and environmental resources use management policy in Ghana [J]. GeoJournal, 2007,68(4):369-383.
- [4] 贾坤,姚云军,魏香琴,等. 植被覆盖度遥感估算研究进展[J]. 地球科学进展,2013,28(7):774-782.
- [5] 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.
- [6] Zhang Yanjun, Zhai Jun, Ma Hongpu, et al. Spatio-temporal variation of fractional vegetation coverage and response to climatic factors in Three Gorges Reservoir area from 2010 to 2014 [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017,94:012126.
- [7] Wang Bin, Xu Guoce, Li Peng, et al. Vegetation dynamics and their relationships with climatic factors in the Qinling Mountains of China [J]. Ecological Indicators, 2020,108:105719.
- [8] Jiménez-Muñoz J, Sobrino J, Plaza A, et al. Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: Case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area [J]. Sensors, 2009,9(2):768-793.
- [9] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报,2012,67(9):1255-1268.
- [10] Liu Youcun, Liu Yan, Chen Ming, et al. Characteristics and drivers of reference evapotranspiration in hilly regions in Southern China [J]. Water, 2019,11(9):1914.
- [11] 丁倩倩,刘友存,焦克勤,等. 赣江上游典型流域水沙过程对全球气候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2020,29(1):174-186.
- [12] 祝聪,彭文甫,张丽芳,等. 2006—2016 年岷江上游植被覆盖度时空变化及驱动力[J]. 生态学报,2019,39(5):1583-1594.
- [13] 丁倩倩,刘友存,焦克勤,等. 赣江上游典型流域水沙过程及驱动因素[J]. 水土保持通报,2018,38(4):19-26.
- [14] 边晓辉,刘友存,王杰,等. 赣江上游太平江流域景观格局演变及驱动因素分析[J]. 江西理工大学学报,2019(1):54-61.
- [15] 岳琦,张林波,刘成程,等. 赣江上游的土地利用类型对山洪灾害的敏感性[J]. 水土保持通报,2016,36(4):16-21.
- [16] 李恒凯,刘小生,李博,等. 红壤区植被覆盖变化及与地貌因子关系:以赣南地区为例[J]. 地理科学,2014,34(1):103-109.
- [17] 曾广林. 基于遥感的植被覆盖度与碳储量变化特征研究[D]. 江西 赣州:江西理工大学,2017.
- [18] 何宝忠,丁建丽,张喆,等. 新疆植被覆盖度趋势演变实验性分析[J]. 地理学报,2016,71(11):1948-1966.
- [19] 赵舒怡,宫兆宁,刘旭颖. 2001—2013 年华北地区植被覆盖度与干旱条件的相关分析[J]. 地理学报,2015,70(5):717-729.
- [20] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京:中国科学院研究生院(遥感应用研究所),2003.
- [21] 刘宪锋,杨勇,任志远,等. 2000—2009 年黄土高原地区植被覆盖度时空变化[J]. 中国沙漠,2013,33(4):1244-1249.
- [22] 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]. 湖北 武汉:武汉大学,2018.
- [23] Guan Kaiyu, Wood E F, Caylor K K. Multi-sensor derivation of regional vegetation fractional cover in Africa [J]. Remote Sensing of Environment, 2012,124(124):653-665.
- [24] Qu Sai, Wang Lunche, Lin Aiwen, et al. Distinguishing the impacts of climate change and anthropogenic factors on vegetation dynamics in the Yangtze River basin, China [J]. Ecological Indicators, 2020,108:105724.
- [25] Sun Yanling, Shan Mei, Pei Xinrui, et al. Assessment of the impacts of climate change and human activities on vegetation cover change in the Haihe River basin, China [J]. Physics And Chemistry Earth (Parts A/B/C), 2020,115:102834.
- [26] 刘宪锋,潘耀忠,朱秀芳,等. 2000—2014 年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 地理学报,2015,70(5):705-716.
- [27] 郭紫晨,刘树林,康文平,等. 2000—2015 年毛乌素沙区植被覆盖度变化趋势[J]. 中国沙漠,2018,38(5):1099-1107.