

北江流域植被覆盖时空变化及其对降水的响应

刘占明, 李健鹏, 邱宇皓

佛山科学技术学院, 空间信息与资源环境系, 广东 佛山

收稿日期: 2023年7月28日; 录用日期: 2023年8月15日; 发布日期: 2023年8月31日

摘要

本文采用2000~2019年MODIS NDVI数据及同期降水数据, 利用数理统计方法, 主要分析了北江流域月度植被、降水时空变化及两者间的响应关系。结果表明: 1) 流域NDVI年均值为0.58, 年内分布方面, 2月份最低(0.41), 2~9月逐渐上升, 9月最高(0.72), 9月~次年2月逐渐下降。流域NDVI整体呈波动上升趋势; 从年内变化看, 下半年(7~12月)上升较快。植被覆盖较低的区域主要分布在流域南部及中北部的河谷平原。2) 流域降水呈下降趋势, 月降水空间分布大致分为由东南部向周边递减、由南向北递减、由北向南递减及无明显变化趋势四种类型。3) NDVI与同期及前期降水的相关性分析表明, 1、2、11、12月, NDVI与同期及前期1~3月降水主要表现为正相关, 4~9月, NDVI与同期及前期1~3月降水主要表现为负相关。

关键词

NDVI, 时空变化, 降水, 时滞相关, 北江流域

Spatial-Temporal Variation of Vegetation Cover and Its Response to Precipitation in Beijiang River Basin

Zhanming Liu, Jianpeng Li, Yuhao Qiu

Department of Spatial Information and Resources and Environment, Foshan University, Foshan Guangdong

Received: Jul. 28th, 2023; accepted: Aug. 15th, 2023; published: Aug. 31st, 2023

Abstract

Using MODIS NDVI data from 2000 to 2019 and precipitation data of the same period, this paper mainly analyzed the spatiotemporal changes of monthly vegetation and precipitation in Beijiang River Basin and the response relationship between them by mathematical statistics. The results showed as follows: 1)

作者简介: 刘占明(1979-), 男, 河南信阳人, 博士, 副教授, 从事生态水文学研究, Email: liuzhanminglzm@163.com

The annual average of NDVI was 0.58. In terms of the distribution within the year, the lowest was in February (0.41), and gradually increased from February to September. The highest was in September (0.72), and gradually decreased from September to the following February. NDVI showed an overall fluctuating upward trend. From the perspective of annual change, the second half year (July-December) increased rapidly. Areas with low vegetation cover were mainly distributed in the southern and north-central valley plains. 2) The annual precipitation showed a downward trend, and the spatial distribution of monthly precipitation was roughly divided into four types: decreasing from southeast to the periphery, decreasing from south to north, decreasing from north to south, and no obvious change trend. 3) The correlation analysis between NDVI and precipitation in the same period and the previous quarter showed that NDVI was mainly positively correlated with precipitation in the same period and the previous quarter in January, February, November and December, while NDVI was mainly negatively correlated with precipitation in the same period and the previous quarter from April to September.

Keywords

NDVI, Spatial-Temporal Variation, Precipitation, Delay Correlation, Beijiang River Basin

Copyright © 2023 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

全球变暖背景下,气候变化与陆地生态系统的关系是国际社会关注的热点问题[1]。植被作为陆地生态系统的主体,是各个圈层进行物质能量交换和信息传递的关键,在气候调节、水土保持以及生物多样性保护等生态服务功能中发挥着重要作用[2]。植被指数是宏观表征地表植被覆盖变化的有力度量。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)能够指示植被生长状况,而且与植被覆盖度存在显著线性关系,因而常用于

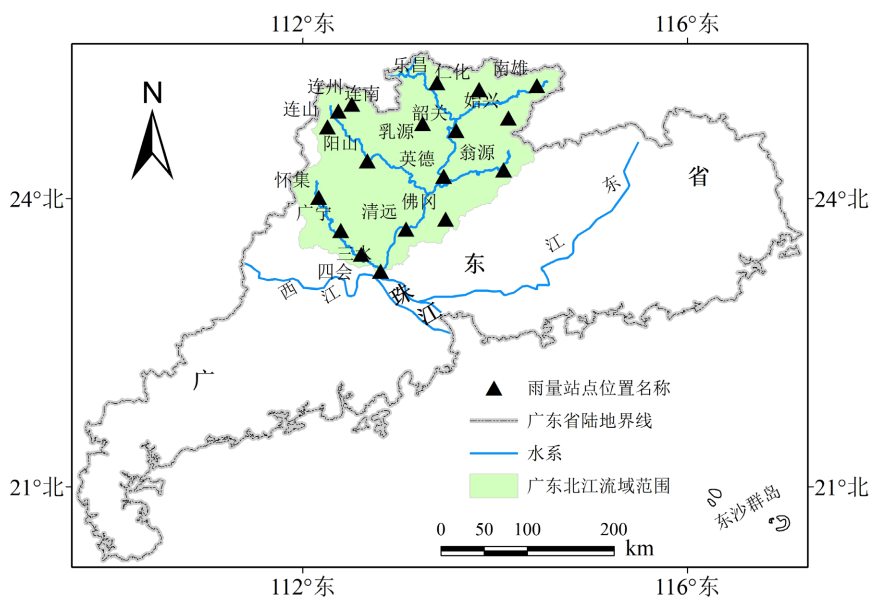


Figure 1. The range of Beijiang River basin in Guangdong Province and the distribution of rainfall stations

图 1. 广东北江流域范围及雨量站分布

研究植被覆盖变化对生态因子(如气候因子、土地利用、人类活动等)的响应[3]。目前,学者们分别在全球尺度、国家尺度和区域尺度研究了不同植被 NDVI 变化特征及其与气候因素的相关关系,结果表明气候变化对植被生长具有明显影响[4] [5]。由于气候变化对植被影响具有累积效应,植被的反馈通常会滞后,在研究植被对气候因子的响应中应考虑滞后效应[6]。

北江流域(图 1)是珠江三角洲乃至粤港澳大湾区的重要生态屏障和水源涵养地。在全球变暖背景下,开展北江流域植被覆盖时空变化及其对降水的响应,对区域生态安全建设具有重要意义,也可为有效减缓和应对气候异常提供依据。从以往研究来看,具体到北江流域的相关研究中,很少出现 NDVI 与月降水的相关性研究。本文采用 2000~2019 年 MODIS NDVI 数据及同期降水数据,利用数理统计方法,分析北江流域月度 NDVI、降水时空变化及两者间响应关系。研究结果对于认识该区生态系统演变、进行生态安全建设具有理论与现实意义。

2. 数据与方法

2.1. 降水数据资料

降水数据选取北江流域分布较均匀的 18 个国家基准站(图 1)月降水数据,数据来源于中国国家气象局。

2.2. 遥感数据来源及处理方法

遥感数据来自美国国家航空航天局(NASA)发布的 MODISQ1 数据(<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/>),空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 d,产品数据集已经过几何校正、辐射校正、大气校正等预处理,保证了数据质量。数据时间跨度为 2000~2019 年,每年覆盖北江流域的影像有 23 幅。具体处理过程如下:

① 对下载的 MODIS 影像数据通过 MRT 软件进行投影坐标系转换(统一为 WGS84 坐标投影)、波段运算、格式转换。

② 由于原数据是 16 天一幅影像,为了获得月、年数据,需要对数据进行合成,合成方法采用目前国内外普遍使用的最大化合成法 MVC (maximum Value Composites),该方法可以进一步消除云、大气,太阳高度角等的干扰[7],使用 Arcgis10.2 软件对数据进行最大化处理以获取月、年 NDVI 数据,公式如下:

$$MNDVI_i = \text{Max}(NDVI_1, NDVI_2) \quad (1)$$

式中: i 为月序号,取值范围为 1~12; $MNDVI_i$ 为第 i 月的 NDVI 值; $NDVI_1$ 和 $NDVI_2$ 分别为第 i 月的上下半月的 NDVI 值。同样据此方法得到年度 NDVI 值。

③ 对最大化合成后的 NDVI 数据进行去除异常值操作,由于 NDVI 取值范围在-1 到 1 之间,而 $NDVI < 0$ 表示无植被覆盖,故使用 Arcgis10.3 软件去负值操作,然后按掩膜提取出研究区 NDVI 图像。

2.3. 研究方法

本研究采用的数理统计方法,如 Mann-Kendall(简称 M-K)趋势检验法、线性趋势分析法、Pearson 相关系数法,均是该研究领域广大专家、学者普遍采用的、成熟的方法,具体计算公式不再赘述。

3. 结果分析

3.1. NDVI 变化分析

3.1.1. 时间变化分析

如表 1 所示,2000~2019 年间北江流域各月份 NDVI 介于 0.41~0.72 之间;就各月份来看,1、2、3、4 月在 0.41~0.50 之间,其中 2 月份最低,为 0.41;其他月份在 0.58~0.72 之间,其中 9 月份最高,为 0.72。从年内变化来看,2 月~9 月逐渐上升,9 月~次年 2 月逐渐下降。

Table 1. Monthly and annual change statistics of NDVI in Beijiang River basin from 2000 to 2019
表 1. 2000~2019 年间北江流域 NDVI 月度、年度变化统计量

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
均值	0.49	0.41	0.43	0.49	0.58	0.59	0.65	0.67	0.72	0.69	0.63	0.61	0.58
线性趋势/10a	0.031	0.024	0.002	-0.001	0.001	-0.009	0.063*	0.036*	0.034*	0.039*	0.032	0.068*	0.022

注：*表示通过 0.05 置信检验。

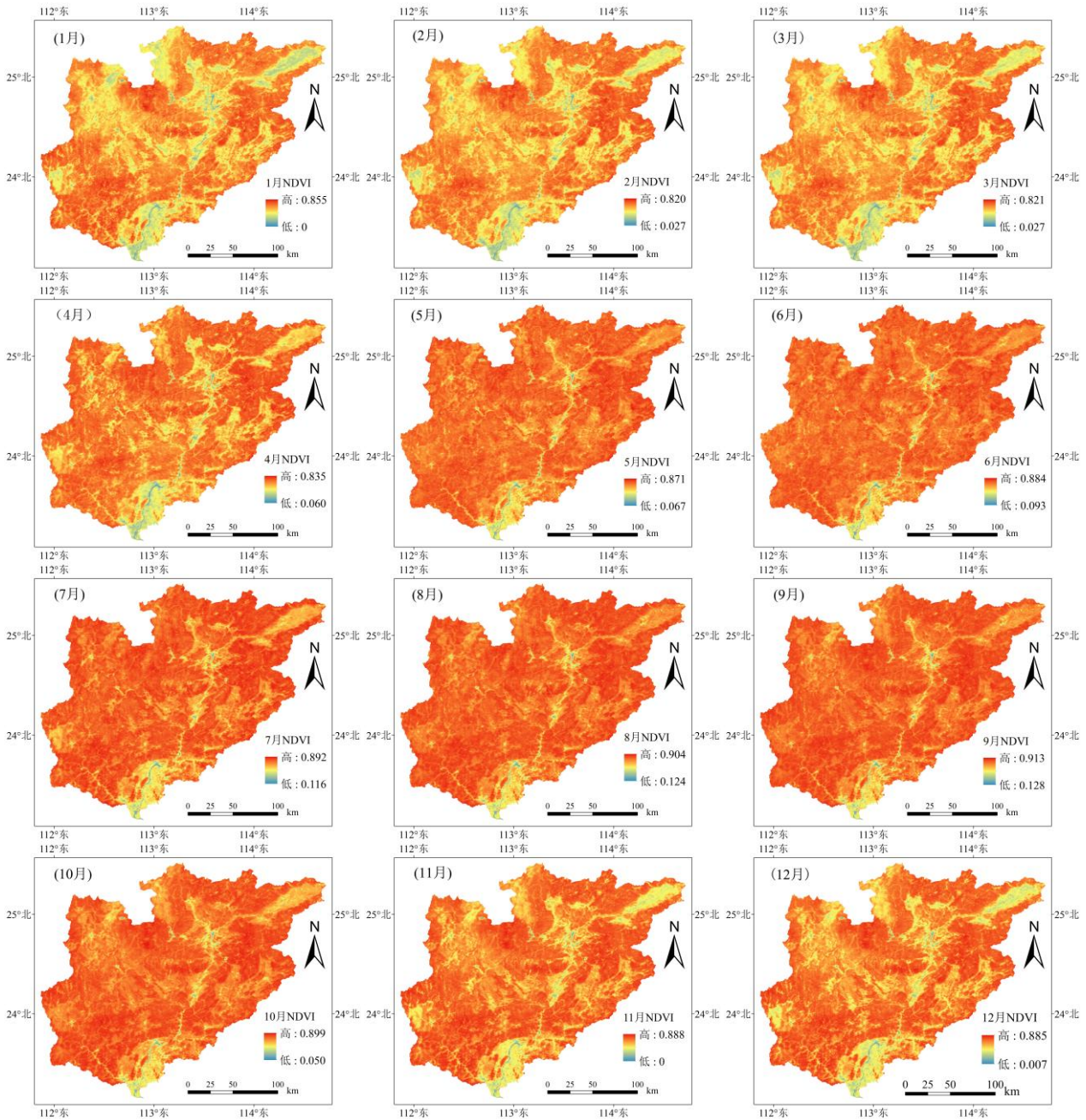


Figure 2. Monthly NDVI spatial distribution in Beijiang River basin
图 2. 北江流域月度 NDVI 空间分布

从各月份 NDI 变化趋势看(表 1), 4、6 月轻微下降(分别为 0.001/10a、0.009/10a); 其他月份均为上升, 其中, 7~10 月、12 月上升较快(通过 0.05 置信检验), 如 8~10 月上升率为介于 0.03/10a~0.04/10a, 7、12 月上升率分别为 0.063/10a、0.067/10a。年尺度上(表 1), 2000~2019 年间 NDVI 呈上升趋势(但没有通过 0.05 置信检验), 多年平均值为 0.58。

3.1.2. 月度植被指数空间变化分析

如图 2 所示, 总体来看, 5~10 月, 北江流域整体 NDVI 较高, 大部分区域差别较小; NDVI 较低的区域主要分布在靠近珠三角的南部及中北部的河谷平原, 原因可能是这些区域人口(城镇)集中分布, 人类活动干预强度较大, 原有植被破坏严重。11 月~次年 4 月, 区域差异比较明显, 尤其是 1~3 月, NDVI 较低的集中连片区域广泛分布, 这可能与气候条件变化(季节更替)造成的气温、降水、光照等因素变化有关。

3.2. 降水变化分析

3.2.1. 时间变化分析

Table 2. Monthly and annual change statistics of precipitation in Beijiang River basin from 2000 to 2019

表 2. 2000~2019 年间北江流域降水月度、年度变化统计量

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年
均值	61.63	52.45	130.11	182.53	285.98	264.25	172.78	170.52	101.02	55.26	68.42	48.71	1667.24
M-K 值	-0.80	-1.70	1.10	-2.01*	0.95	-0.94	-1.37	-1.55	-0.95	0.79	1.63	-0.57	-0.53

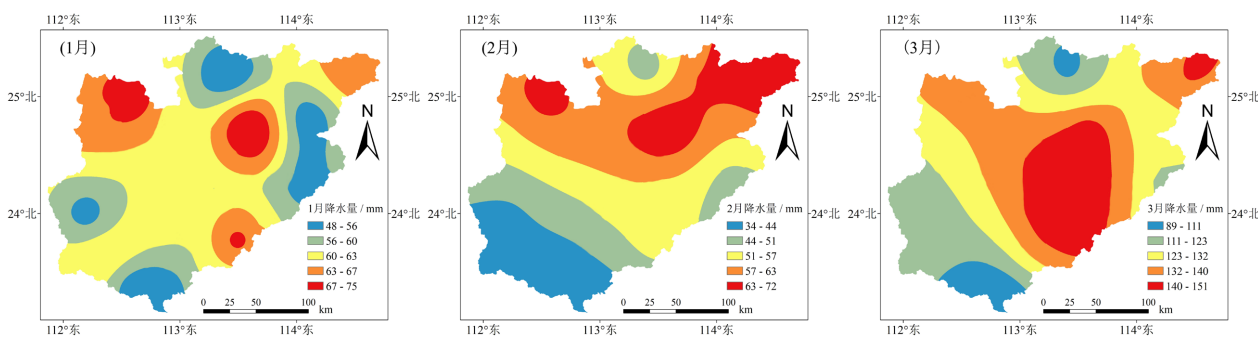
注: *表示通过 0.05 置信检验。

如表 2 所示, 2000~2019 年间北江流域各月份降水介于 48.71~285.98 mm 之间, 平均值为 138.71 mm; 就各月份来看, 1 月、2 月、10 月、11 月、12 月介于 48~70 mm 之间, 其中 12 月份最低, 为 48.71 mm; 3 月、4 月、7 月、8 月、9 月介于 101~185 mm 之间, 5 月、6 月在 260 mm 以上, 其中 5 月份为 285.98 mm, 为全年最高。

Mann-Kendall 趋势检验表明(表 2), 1 月、2 月、4 月、6 月~9 月、12 月呈下降趋势, 其中 4 月为显著下降(通过 0.05 置信检验); 其他月份上升, 但不显著。就年尺度而言, 2000~2019 年间流域降水总体呈下降趋势。

3.2.2. 月降水空间变化分析

如图 3 所示, 2000~2019 年北江流域月降水空间变化大致可分为如下 4 种类型: 1) 由东南部高值中心(清远、佛冈、英德)向周边(南、北、西)递减型, 如 3、4、5、6 月。2) 由南向北递减型, 如 7、8、9 月。3) 由北向南递减型, 如 11 月、12 月、2 月。4) 高低值区域相间分布, 无明显变化趋势型, 如 1 月、10 月。



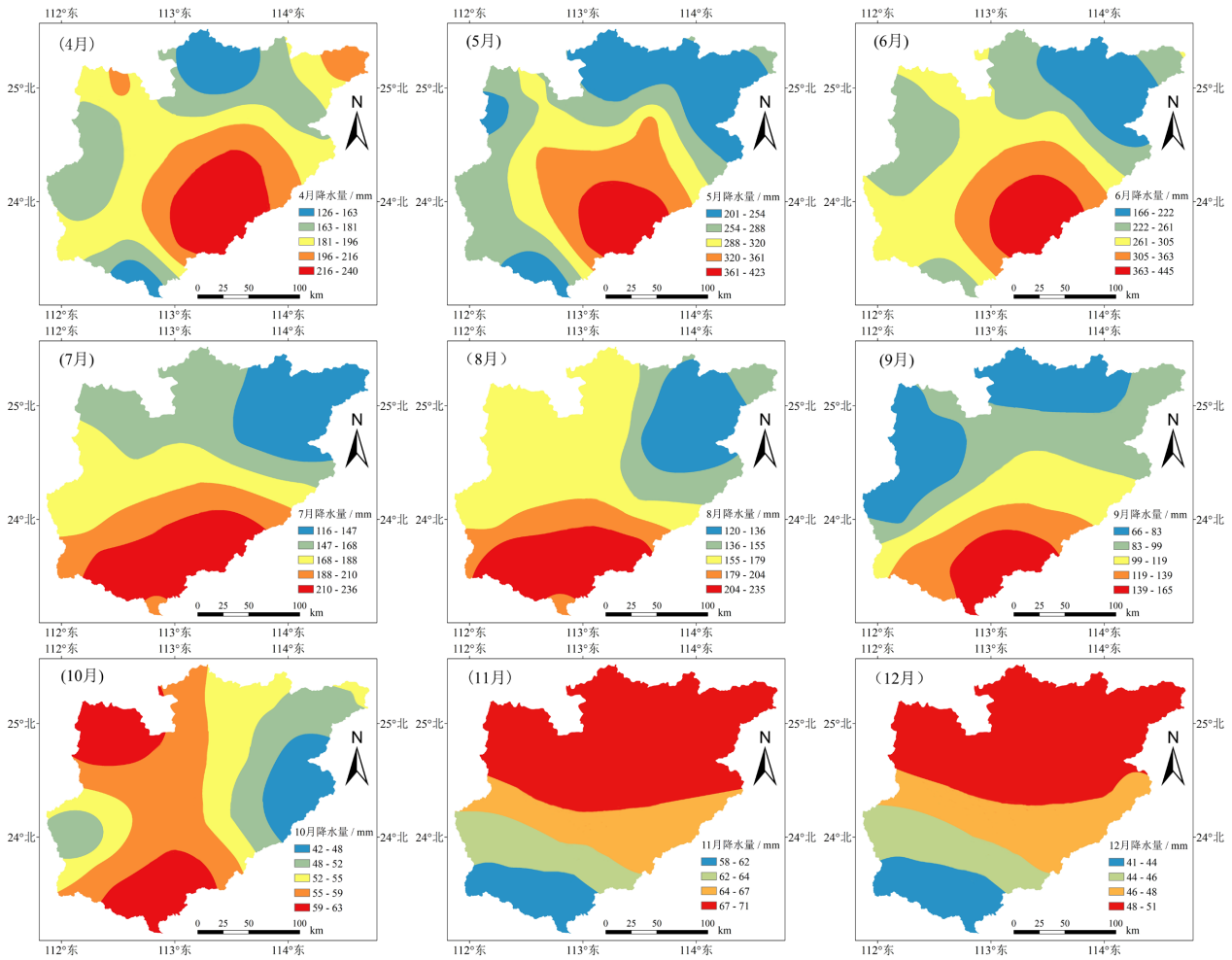


Figure 3. Spatial distribution of monthly precipitation in Beijiang River basin (interpolation by Kriging method)
图 3. 北江流域月降水空间分布(采用克里金法插值)

3.3. NDVI 与降水的时滞相关性分析

Table 3. Correlation statistics of NDVI with precipitation in the same period and previous period
表 3. NDVI 与同期及前期降水的相关性统计

降水 \ NDVI	同期	前 1 月	前 2 月	前 3 月	前 4 月	前 5 月	前 6 月
1 月	0.011	0.357	0.677*	0.275	-0.026	0.212	0.075
2 月	0.068	0.174	0.365	0.235	0.256	0.257	0.112
3 月	-0.150	0.084	0.161	-0.014	-0.218	0.048	0.007
4 月	-0.358	-0.164	-0.093	-0.362	-0.355	-0.094	-0.166
5 月	-0.190	-0.121	-0.374	-0.431*	0.346	0.057	0.088
6 月	-0.338	-0.052	0.413*	-0.011	-0.093	-0.011	0.144
7 月	-0.402*	-0.006	0.347	-0.380	0.357	-0.365	-0.027
8 月	-0.032	0.276	-0.151	-0.115	-0.186	-0.097	-0.389

Continued

9月	-0.289	-0.133	-0.258	-0.055	0.020	0.012	0.287
10月	0.261	0.434*	-0.413*	-0.253	-0.106	0.085	-0.407*
11月	-0.328	0.128	0.115	0.275	-0.328	-0.104	-0.310
12月	0.256	0.630*	0.303	-0.169	-0.207	-0.097	-0.387

注: *表示通过 0.05 置信检验。

如表 3 所示, 1 月、2 月、10 月、12 月, NDVI 与同期降水表现为正相关, 其他月份为负相关, 其中 7 月份相关性显著(通过 0.05 置信检验)。1、2、3、11、12 月, NDVI 与前期 1~3 月降水主要表现为正相关; 4~10 月, NDVI 与前期 1~3 月降水主要表现为负相关; 1、2、3、5、9 月, NDVI 与前期 4~6 月降水主要表现为正相关; 4、6、7、8、10、11、12 月, NDVI 与前期 4~6 月降水主要表现为负相关。NDVI 与前期 1~6 月降水的相关性中, 通过 0.05 置信检验的月份主要集中在前 1、前 2、前 3 月份, 即前 1 季度。

考虑到降水对植被生长的时效性, 在此主要分析 NDVI 与同期及前期 1~3 月降水是相关性情况。结合表 3 数据及上述分析, 可以看出, 1 月、2 月、11 月、12 月, NDVI 与同期及前期 1~3 月降水主要表现为正相关, 结合表 2 可发现 11 月~次年 2 月, 刚好是少雨期, 甚至经常出现干旱[8], 有限的降水不足以满足植被的正常生长需要, 而降水的适当增加可以促进植被的生长。4~9 月, NDVI 与同期及前期 1~3 月降水主要表现为负相关, 结合表 2, 可发现 4~9 月为一年中的汛期(降水量占全年 70%以上), 降水充沛[9]; 且流域地处中亚热带向南亚热带过度区域, 4~9 月间光热资源充足, 这些都有利于植被生长。但流域地形以山地、丘陵为主, 且岩溶、红层地貌发育, 4~9 月的汛期, 大量降水容易诱发地表土壤侵蚀、滑坡等地质灾害[10], 进而影响植被, 这可能是汛期内植被覆盖与降水表现为负相关的原因。

4. 结论

本文采用 2000~2019 年 MODIS NDVI 数据及同期降水数据, 利用数理统计方法, 主要分析了北江流域月度 NDVI、降水时空变化及两者间的响应关系。结果表明:

1) 流域 NDVI 年均值为 0.58, 年内分布方面, 2 月份最低(0.41), 2~9 月逐渐上升, 9 月最高(0.72), 9 月~次年 2 月逐渐下降。流域 NDVI 整体上呈波动上升趋势(线性趋势为 0.022/10a); 从各月份变化趋势看, 4、6 月轻微下降, 7、8、9、10、12 月上升较快。空间分布方面, 5~10 月, 流域整体 NDVI 较高, 大部分区域差别较小; 11 月~次年 4 月, 区域差异比较明显; NDVI 较低的区域主要分布在南部及中北部的河谷平原。

2) 1 月、2 月、10 月、11 月、12 月降水介于 48~70 mm 之间, 其中 12 月份最低(48.71 mm); 5 月、6 月在 260 mm 以上, 其中 5 月为 285.98 mm, 为全年最高。年降水呈下降趋势, 月降水变化方面, 有 2/3 的月份表现为下降。月降水空间分布大致可分为由东南部向周边递减、由南向北递减、由北向南递减及无明显变化趋势四种类型。

3) 月度 NDVI 与同期及前期降水的相关性分析发现, 1、2、11、12 月, NDVI 与同期及前期 1~3 月降水主要表现为正相关, 4~9 月, NDVI 与同期及前期 1~3 月降水主要表现为负相关。

基金项目

教育部人文社会科学基金 2017 年度青年项目(17YJCZH114)。

参考文献

- [1] MO, K. L., CHEN, Q. W., CHEN, C., et al. Spatiotemporal variation of correlation between vegetation cover and precipitation in an arid mountain-oasis river basin in northwest China. *Journal of Hydrology*, 2019, 574: 138-147.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.044>

- [2] ZHU, Y. K., ZHANG, J. T., ZHANG, Y. Q., et al. Responses of vegetation to climatic variations in the desert region of northern China. *CATENA*, 2022, 175: 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.007>
- [3] 陈超男, 朱连奇, 田莉, 等. 秦巴山区植被覆盖变化及气候因子驱动分析[J]. *生态学报*, 2019, 39(9): 3257-3266.
CHEN Caonan, ZHU Lianqi, TIAN Li, et al. Spatial-temporal changes in vegetation characteristics and climate in the Qinling-Daba Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(9): 3257-3266. (in Chinese)
- [4] CRAINE, J. M., OCHELTREE, T. W., NIPPERT, J. B., et al. Global diversity of drought tolerance and grassland climate-change resilience. *Nature Climate Change*, 2013, 3(1): 63-67. <https://doi.org/10.1038/nclimate1634>
- [5] 金凯, 王飞, 韩剑桥. 1982-2015年中国气候变化和人类活动对植被NDVI变化的影响[J]. *地理学报*, 2020, 75(5): 961-974.
JIN Kai, WANG Fei, HAN Jianqiao, et al. Contribution of climatic change and human activities to vegetation NDVI change over China during 1982-2015. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(5): 961-974. (in Chinese)
- [6] LI, C. L., WANG, J., HU, R. C., et al. Relationship between vegetation change and extreme climate indices on the Inner Mongolia Plateau, China, from 1982 to 2013. *Ecological Indicators*, 2021, 89: 101-109.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.066>
- [7] PIAO, S. L., WANG, X. H., CIAIS, P., et al. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006. *Global Change Biology*, 2011, 17(10): 3228-3239. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02419.x>
- [8] 陈子燊, 黄强, 刘曾美. 1962-2007年广东干湿时空变化特征分析[J]. *水科学进展*, 2013, 24(4): 469-476.
CHEN Zishen, HUANG Qiang and LIU Zengmei. Analyzing the spatial-temporal variation of wet and dry spells during 1962-2007 in Guangdong Province. *Advances in Water Science*, 2013, 24(4): 469-476. (in Chinese)
- [9] 刘占明, 徐丹, 魏兴琥, 等. 北江流域汛期降水结构变化特征[J]. *热带地理*, 2020, 40(1): 145-153.
LIU Zhanming, XU Dan, WEI Xinghu, et al. Variation characteristics of the precipitation structure during the rainy season in the Beijiang River basin, China. *Tropical Geography*, 2020, 40(1): 145-153. (in Chinese)
- [10] LIU, Z., YANG, H., WEI, X. and LIANG, Z. Spatiotemporal variation in extreme precipitation in Beijiang River basin, Southern Coastal China, from 1959 to 2018. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, 11: 73.
<https://doi.org/10.3390/jmse11010073>