

# 孟加拉国博多河流域 NDVI 时空变化及其与气候因子的相关性

李思楠<sup>1</sup>, 赵筱青<sup>1</sup>, 谭琨<sup>1</sup>, 王茜<sup>1</sup>, 普军伟<sup>2</sup>, 苗培培<sup>1</sup>

(1.云南大学 地球科学学院, 昆明 650500; 2.云南大学 国际河流与生态安全研究院, 昆明 650500)

**摘要:**为了解孟加拉国博多河流域植被生长特征及其与气候因子的关联程度,研究以 Landsat 影像为数据源提取 1980 年、2000 年、2017 年博多河流域归一化植被指数(NDVI),利用 GIS 的空间分析方法结合数学统计方法,分析了流域 NDVI 的变化特征和变化趋势,并用 Pearson 相关系数对 NDVI 与气候因子之间的相关关系进行了探讨。结果表明:(1) 1980 年、2000 年流域 NDVI 以裸露区为主,2017 年以低覆盖区为主,近 40 年 NDVI 空间分布状况呈东部、南部高,西部、北部低的分布模式;(2) 流域 NDVI 在 1980—2000 年呈下降趋势,在 2000—2017 年呈上升趋势,近 40 年流域植被状况显著好转;(3) 1980—2017 年博多河流域年总降雨量逐年递增,年平均温度先减少后增加且整体呈增加趋势;(4) 流域 NDVI 对降雨量的变化更为敏感,其中降雨量对流域的干旱地区 NDVI 的影响显著,而温度对流域降雨量较高地区的 NDVI 影响显著。研究结果不仅可为博多河流域植被的增加和生态环境的修复提供参考,而且可为中国“一带一路”区域发展在生态方面的建设提供理论依据。

**关键词:**NDVI; 气候变化; 相关性; 一带一路; 博多河流域

中图分类号:S181

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)01-0139-08

## Spatiotemporal Variation of NDVI and Its Relationship with Climate in Padma River Basin of Bangladesh.

LI Sinan<sup>1</sup>, ZHAO Xiaoqing<sup>1</sup>, TAN Kun<sup>1</sup>, WANG Qian<sup>1</sup>, PU Junwei<sup>2</sup>, MIAO Peipei<sup>1</sup>

(1.College of Earth Science, Yunnan University, Kunming 650500, China;

2.Institute of International Rivers & Eco-security, Yunnan University, Kunming 650500, China)

**Abstract:** In order to understand the characteristics of vegetation growth in the Padma River Basin of Bangladesh and its relationship with climate change, the Landsat data was used as data sources to extract normalized difference vegetation index (NDVI) of Padma River Basin of Bangladesh in 1980, 2000 and 2017. And we analyzed the characteristics and the trends of NDVI of Padma River Basin by using the spatial analysis method of GIS and mathematical statistical method. Finally, Pearson correlation coefficient was used to analyze the correlation between NDVI and climatic factors. The results showed that: (1) NDVI was dominated by the bare areas in 1980 and 2000, and it was dominated by the low coverage areas in 2017; the distribution of NDVI in the past 40 years was high in the east and south, and it was low in the west and north; (2) the change of NDVI showed a downward trend from 1980 to 2000, and it was on the rise from 2000 to 2017; the vegetation situation in Padma River Basin had improved significantly in the past 40 years; (3) from 1980 to 2017, the annual total rainfall of Padma River Basin increased year by year; the annual average temperature decreased first and then increased, and the general trend was rising; (4) the effect of rainfall on NDVI was higher than temperature overall, the impact of rainfall on NDVI was more pronounced in arid areas of the basin, and the effect of temperature on NDVI was more pronounced in areas with higher rainfall. These

收稿日期:2019-11-04

修回日期:2019-11-18

资助项目:国家自然科学基金(41361020);云南省科技厅—云南大学联合基金(2018FY001-017);云南大学国际化与文化遗产创新:孔子学院转型建设与中外人文交流项目(C176250202);云南大学研究生创新人才培养项目(C176230200)

第一作者:李思楠(1994—),男,云南普洱人,硕士,研究方向:土地利用变化及国土空间规划。E-mail:lsn0705@163.com

通信作者:赵筱青(1969—),女,云南大理人,教授,博导,研究方向:土地利用与土地覆被变化及国土空间优化。E-mail:xqzhao@ynu.edu.cn

results not only provide references for the increase of vegetation in Padma River Basin and the restoration of ecological environment, but also provide a theoretical basis for the ecological development of Chinese regional development of the Belt and Road.

**Keywords:** NDVI; climate change; correlation; the Belt and Road; Padma River Basin

地表植被是陆地生态系统的核心组成部分,不仅能够促进地球生态系统平衡、能量流动、水循环以及气候变化<sup>[1-2]</sup>,而且对于生态系统之间的能量传输和物质交换起着重要作用<sup>[3]</sup>。同时,它也是生态环境变化的敏感因子,是监测生态环境变化的一种重要的工具<sup>[4]</sup>。温度和降水等气候因子作为植物生长发育的必要环境因素,对植被的生长和物候等具有重要影响<sup>[5]</sup>,气候变化必然也影响植物的生长状态<sup>[6]</sup>。因此,植被常常被视为全球环境变化的重要指示器<sup>[7]</sup>。植被覆盖变化严重受制于气候变化和人类活动的共同影响<sup>[8]</sup>,其中,气温和降水是影响植被生长的主要自然因素<sup>[9]</sup>。由于研究植被变化及其与气候因子的关系可以为应对全球变化提供重要的理论依据<sup>[10]</sup>,近年来,开展植被覆盖研究揭示区域生态系统演化特征已成为全球变化研究的一个重要领域<sup>[11]</sup>。

归一化植被指数(Normal Difference Vegetation Index, NDVI)是植被要素的重要表征之一<sup>[12]</sup>,能较好地反映植被生长活动的季节变化和年际变化,因此被广泛应用于全球或区域尺度上植被覆盖变化特征及其对气候的响应模式的研究上<sup>[13-14]</sup>。在之前的研究中,研究者们侧重于分析均态气温和降水与植被覆盖之间的相关性,结果表明气温一般有利于水资源丰富地区的植被生长,降水则通常对于干旱地区或者干湿季差异明显地区的植被活动具有显著的胁迫性<sup>[15-17]</sup>。有学者在中国三江源地区的研究中发现气候条件的变化对植被生长产生负面影响<sup>[18]</sup>。并且气温是决定流域植被绿度的控制因素,植被对降水的响应相对较低<sup>[19]</sup>。此外,也有学者在不同区域开展了长时间序列植被指数的动态分析<sup>[20-21]</sup>、植被覆盖变化驱动因子分析<sup>[22]</sup>、气候变化及人类活动对植被覆盖的影响<sup>[23]</sup>等研究,取得了很多丰厚的研究成果。区域植被覆盖度与气候变化的响应成为全球变化科学研究的热点。

博多河流域位于孟加拉国境内,是该国社会经济发展的核心区和战略区,而孟加拉国是中国“一带一路”发展倡议沿线重要节点国家,研究沿线国家的植被—气候环境,对于恢复和建设区域生态安全具有重要的意义和价值。研究以孟加拉国博多河流域为研究区,基于 1980 年、2000 年、2017 年流域遥感影像数

据和流域内各城市气温与降水数据,采用 GIS 软件和数理统计分析工具相结合的方法,分析 1980—2017 年近 40 a 间博多河流域 NDVI 变化情况和气候变化情况,并试图分析两者间的关联性,旨在为改善流域生态安全状况、丰富流域植被变化与气候变化的响应研究提供科学参考。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 研究区概况

博多河流域位于孟加拉国境内,起源于喜马拉雅山脉,是恒河在孟加拉国西端的两条分支之一,流域总面积约 31 000 km<sup>2</sup><sup>[24-25]</sup>。途经纳瓦布干、拉杰沙希、巴布纳、库什蒂亚、里德、拉杰巴里和坚德布尔区等 7 个区,属于恒河平原区,地势平坦(图 1)。流域大部分地区属亚热带季风型气候,湿热多雨。博多河流域是孟加拉国最重要的流域,将孟加拉国分为西南和东北两个大部分,同时给沿岸的地区带来了丰富的水源和营养物质,对该国大气环境的改善和水资源的保护发挥着不可替代的作用。流域范围内耕地面积占流域总面积的 70% 以上,这也造成流域整体生态环境压力较大,植被覆盖指数较低。

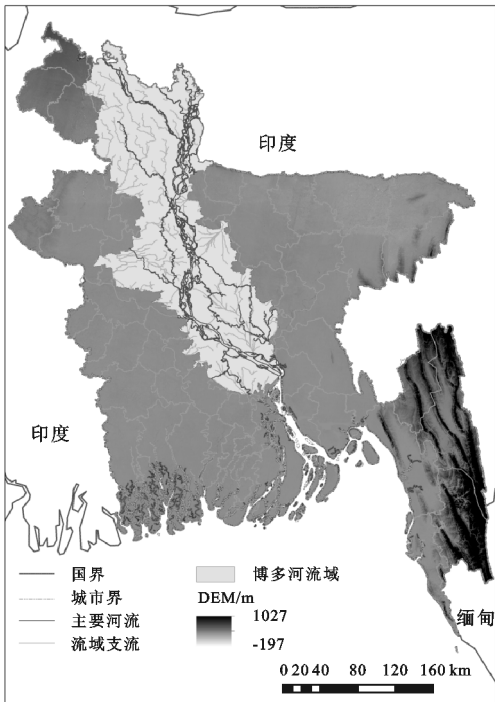


图 1 研究区位置

1.2 数据来源及处理

1.2.1 NDVI 数据 研究使用 60 m 空间分辨率的 1980 年 7 月 Landsat 3 MSS 影像以及 30 m 空间分辨率的 2000 年、2017 年 7 月 Landsat 5 TM 影像(NDVI 数据在每年 6—8 月效果最佳<sup>[26]</sup>),因此本文选取中间月份计算流域 NDVI,以上影像均来自美国地质勘探局(<http://glovis.usgs.gov/>)。利用 ENVI 5.1 和 ArcGIS 10.2 对遥感影像进行几何校正、图像增强、镶嵌和裁剪等处理后,通过 ENVI 5.1 的 Band Math 工具计算博多河流域 1980 年、2000 年、2017 年流域 NDVI 数据,其值在-1~1。同时,为同步各年份 NDVI 计算结果的尺度大小,本研究综合考虑遥感影像的分辨率及转化后的影像效果,将所有影像的栅格单元大小转化为 60 m×60 m。

为更好地分析植被覆盖动态变化,根据博多河流域 NDVI 值和土地利用覆盖情况,除了将 NDVI≤0 的区域设为裸露区外,将 NDVI>0 的区域通过自然断点法<sup>[27]</sup>分为以下 5 个等级:裸露区、低覆盖区、中等覆盖区、较高覆盖区和高覆盖区。

1.2.2 气象数据 研究采用年总降雨量和年平均温度作为影响地表植被动态变化的气候要素,其中 1980 年、2000 年、2017 年的气象数据来源于美国国家海洋和大气管理局(<https://www.noaa.gov/>)。综合考虑结果的准确性和城市气象数据的可获取性,本研究选取达卡、博格拉、拉杰沙希和朗布尔等 10 个城市作为气象点(10 个城市均匀分布于博多河流域全境范围内),在 ArcGIS 10.2 中采用 Kriging 插值进行空间插值处理,再通过掩膜提取,最终获得博多河流域 1980 年、2000 年、2017 年的年总降雨量和年平均温度的空间分布数据,其空间分辨率为 60 m。

1.3 研究方法

1.3.1 NDVI 趋势分析 由于数据的获取限制,本研究采用差值法<sup>[28]</sup>对 1980 年、2000 年、2017 年 NDVI 的变化趋势进行分析,计算公式如下:

C<sub>i-j</sub>=NDVI<sub>i</sub>-NDVI<sub>j</sub> (1)

式中:C<sub>i-j</sub>为第 i 年 NDVI 与第 j 年 NDVI 的差值。

借鉴相关学者的研究,将 NDVI 的变化趋势分为以下 7 个等级:高度改善(C<sub>i-j</sub>>0.25)、中度改善(0.15<C<sub>i-j</sub>≤0.25)、轻度改善(0.05<C<sub>i-j</sub>≤0.15)、无变化(-0.05<C<sub>i-j</sub>≤0.05)、轻度退化(-0.15<C<sub>i-j</sub>≤-0.05)、中度退化(-0.25<C<sub>i-j</sub>≤-0.15)和高度退化(C<sub>i-j</sub><-0.25)。

1.3.2 NDVI 与气候因子的相关性分析 基于 1980 年、2000 年、2017 年博多河流域 NDVI 与气候数据(降雨

和温度),通过 ArcGIS 10.2 中的 Raster Calculator 工具逐像元计算 Pearson 相关系数,来反映不同降雨和温度与植被指数的相关性<sup>[29]</sup>。计算公式如下:

r<sub>x,y</sub>=
$$\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i-\bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i-\bar{y})^2}}$$
 (2)

式中:r<sub>x,y</sub>为 x,y 两变量的 Pearson 相关系数;x<sub>i</sub>为第 i 年 NDVI 的值;y<sub>i</sub>为第 i 年气候因子; $\bar{x}$ 为 1980—2017 年 NDVI 的平均值; $\bar{y}$ 为 1980—2017 年气候因子平均值;i 为年份<sup>[29]</sup>。相关系数的值在-1~1,r<sub>x,y</sub>>0 表示正相关,r<sub>x,y</sub><0 表示负相关,相关系数的绝对值越大,相关性越强。

同时,对相关性的显著性水平进行分级,|r<sub>x,y</sub>|<0.3 为弱相关,0.3<|r<sub>x,y</sub>|<0.5 为低度相关,0.5<|r<sub>x,y</sub>|<0.8 为显著相关,0.8<|r<sub>x,y</sub>|<1 为极显著相关<sup>[30]</sup>。

2 结果与分析

2.1 博多河流域 NDVI 时空变化特征

2.1.1 NDVI 数量变化 1980 年、2000 年、2017 年孟加拉国博多河流域各等级下 NDVI 的数量结构见表 1,1980 年、2000 年流域以裸露区为主,均占流域总面积的 80%以上,其余 4 个等级所占流域面积比例较少。同时,1980 年存在 0.37 km<sup>2</sup>的高覆盖区,而在其他年份中均无高覆盖区。2017 年博多河流域 NDVI 整体呈上升趋势,且低覆盖区所占比例较多,占流域总面积的 40.45%,其次为裸露区和中等覆盖区,分别占 31.79%和 27.64%。较高覆盖区在各年份中所占比例较小,分别占流域总面积的 0.003 5%,0.066%和 0.12%。从 NDVI 变化结构上看,流域植被整体生长状况开始好转。

表 1 1980—2017 年博多河流域不同类型

NDVI 数量结构百分比					%
年份	NDVI 等级				
	裸露区	低覆盖区	中等覆盖区	较高覆盖区	高覆盖区
1980	82.92	16.57	0.5053	0.0035	0.0012
2000	84.54	14.03	1.364	0.066	0
2017	31.79	40.45	27.64	0.12	0

2.1.2 NDVI 空间变化 1980—2017 年孟加拉国博多河流域植被覆盖状况呈现上升趋势(图 2)。由图可知:(1) 裸露区:除水域范围外,1980 年裸露区主要分布于流域北部和中部,在东南部有少量集中连片分布,2000 年流域北部和中部的裸露区范围有扩大趋势,且主要由低覆盖区转入,2017 年裸露区主要分



布于流域东南部以及河流周边；(2) 低覆盖区：1980 年、2000 年、2017 年都主要分布于流域南部和东南部，同时在 2017 年流域的西北部存在大片低覆盖区，并主要由裸露区转入；(3) 中等覆盖区：1980 年、2000 年中等覆盖区在流域范围内分布较少，主要分布于流域南部靠近河流入海口的区域，在 2017 年中等覆盖区呈现显著的扩张趋势，其扩张范围主要分布于流域北部和中部且主要由裸露区转入；(4) 较高覆盖区：1980 年主要分布于流域东南部并为零星分布，2000 年在流域东南部的分布有明显的扩张且主要由中等覆盖区转入，而 2017 年则主要分布于流域中部；(5) 高覆盖区：1980 年零星分布于流域东南部且分布范围极小，在其他年份没有分布。

利用 1980 年、2000 年、2017 年流域整体 NDVI 数据，计算 1980—2017 年博多河流域 NDVI 平均值并得到平均 NDVI 空间分布图(图 3)。从图 3 可以看出，博多河流域 1980—2017 年平均 NDVI 呈现东、南部高，西、北部低的分布模式。流域东部林地分布广泛且降雨较多，南部则位于博多河入海口位置，生态多样性丰富，生态环境质量相比其他区域更好，因此在这些地区 NDVI 较高，整体处于 0.2~0.5，属于低覆盖区和中等覆盖区；流域南部和西部存在广泛的耕地分布，且主要为旱地，水田面积较小，因此在这些区域植被覆盖程度较弱，NDVI 较低，集中处于 0.1~0.2。NDVI 值小于 0.1 的无植被覆盖区域主要为河流、湖泊和荒滩等。

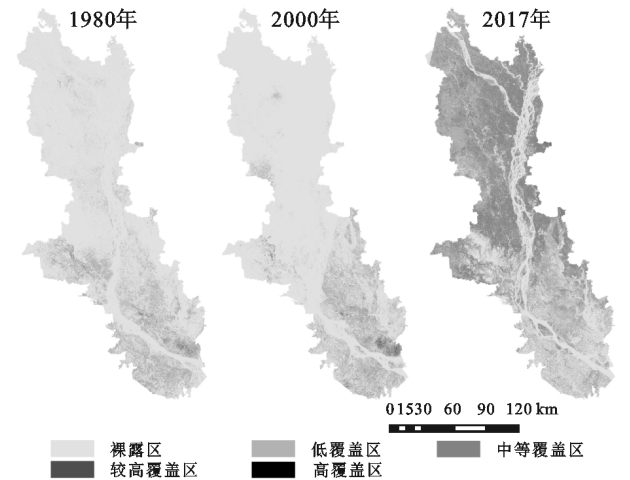


图 2 1980 年、2000 年、2017 年博多河流域 NDVI 空间分布

2.1.3 NDVI 变化趋势 博多河流域 1980—2000 年植被覆盖指数呈下降趋势(表 2)，退化区面积占流域总面积的 47.91%，并主要以轻度退化区为主，其次为无变化区，占 30.97%。如图 4A 所示，退化区主要位于流域北部、西部和中部，其中轻度退化区主要位于

流域北部和西部；无变化区主要位于流域西北部 and 北部，在流域东南部有少量零星分布；改善区主要位于流域南部和东部且以轻度改善为主。

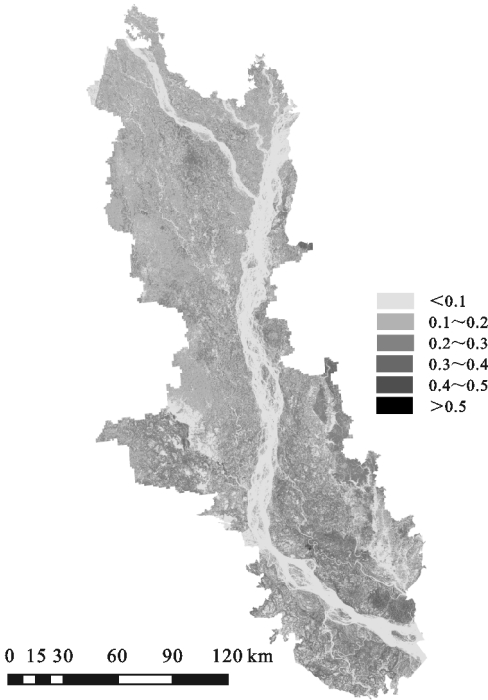


图 3 博多河流域 1980—2017 年年均 NDVI 空间分布

博多河流域 2000—2017 年植被覆盖状况呈现好转趋势(表 2)，改善区面积占流域总面积的 73.45% 且以高度改善为主，退化区较 1980—2000 年期间有明显减少，仅占流域总面积的 15.27%，无变化区的减少也很显著。如图 4B 所示，高度改善区在流域北部、西北部、东北部、东部和中部有大规模连片分布，中度改善区和轻度改善区主要分布于流域东部和东南部，无变化区在流域西部和东南部有少量分布，3 种类型的退化区集中分布于流域南部和东南部。

从 1980—2017 年博多河流域 NDVI 的整体变化趋势上看，流域植被覆盖状况有明显的好转(表 2)，3 种类型的改善区所占面积比例较大，占流域总面积的 70.64%，其中，高度改善区面积最大。其他趋势类型按面积占比从大到小依次为：无变化区，轻度退化区，高度退化区和中度退化区。从空间分布上看，见图 4C 所示，博多河流域 NDVI 呈现快速增长趋势，且在流域北部和中部增长较为显著，在流域东南部也存在规模分布的中度改善区和轻度改善区，退化区则主要分布于流域南部和东南部，其中高度退化区主要位于博多河周边范围内，而无变化区在流域东部和东南部有少量连片分布。

2.2 博多河流域气候变化特征

2.2.1 年总降雨量变化 1980—2017 年博多河流域年总降雨量呈现逐年的显著增长(图 5A)，年最高降雨量增

长率分别为 49.94%和 231.14%,年最低降雨量增长率分别为 362.65%和 245.90%。

表 2 博多河流域不同年份不同 NDVI 变化趋势类型的面积百分比 %

年份区间	NDVI 变化趋势类型						
	高度改善	中度改善	轻度改善	无变化区	轻度退化	中度退化	高度退化
1980—2000	2.09	5.21	13.82	30.97	32.46	11.18	4.27
2000—2017	47.21	13.59	12.65	11.28	6.74	4.72	3.81
1980—2017	38.30	18.44	13.90	11.72	8.19	4.70	4.75

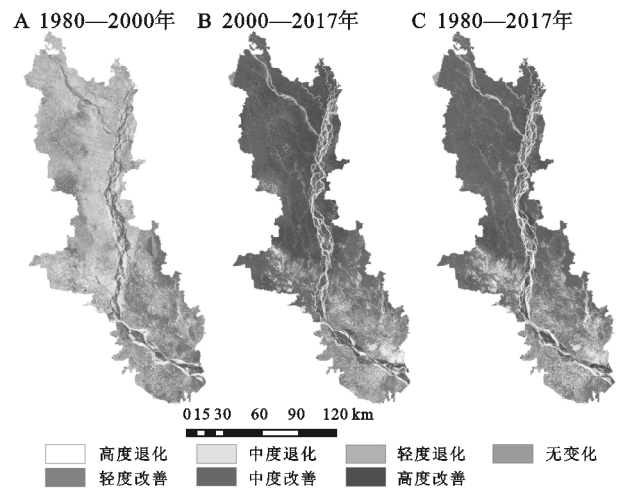
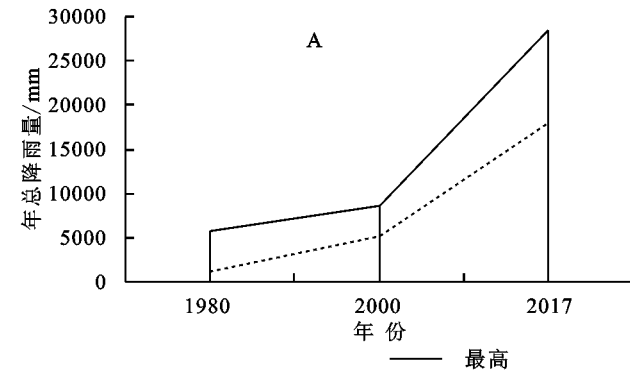


图 4 博多河流域 1980—2017 年 NDVI 变化趋势空间分布

从空间分布上看(图 6),1980 年博多河流域年总降雨量呈现自北向南逐渐增加的空间分异特征,降雨量较高的区域主要位于流域南部靠近河流入海口的区域,降雨量较低的区域则主要位于流域西北部和中部。2000 年最高降雨量位于流域南部和东南部,最



低降雨量位于流域西北部,全年降雨量呈现自西北向东南逐渐增加的趋势。2017 年最高降雨量主要位于流域北部河流广泛分布区和流域南部河流入海口处,年最低降雨量则主要位于流域西部水资源量较少的区域。

2.2.2 年平均温度变化 1980—2017 年博多河流域年平均温度呈先减少后增加的趋势(图 5B),在 1980—2000 年期间,流域年平均最高温度下降 0.7℃,下降率为 2.66%,年平均最低温度下降 0.68℃,下降率为 2.74%;在 2000—2017 年期间,年平均最高温度增加 0.93℃,增长率为 3.66%,年平均最低温度增加 0.90℃,增长率为 3.73%。从近 40 a 温度变化上看,年均最高温度上升 0.24℃,年均最低温度上升 0.22℃。

从空间分布上看(图 6),1980—2017 年年均最低温度都主要分布于流域北部,随着时间的增长,最低温度线呈现显著的向流域南部推移的趋势;年均最高温度则主要分布于流域东南部,其分布范围随着时间的增长逐渐向东南部缩小。

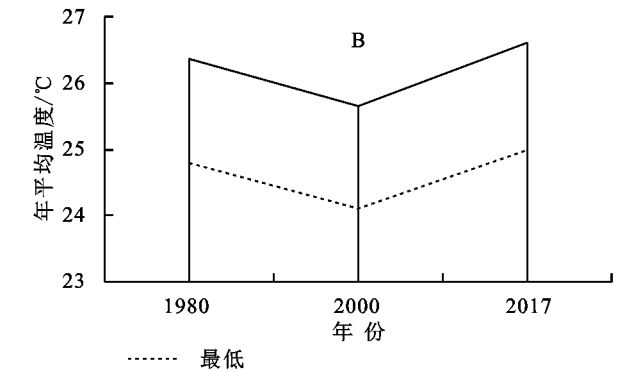


图 5 1980 年、2000 年、2017 年博多河流域气候变化对比

2.3 博多河流域 NDVI 与气候之间相关性分析

为进一步分析博多河流域 NDVI 变化与气候变化之间的关系,本研究从年总降雨量和年均温度两个角度,通过相关系数对流域 NDVI 变化与气候变化进行相关性分析。

2.3.1 NDVI 与降雨量的相关性 博多河流域 NDVI 与年总降雨量之间相关系数的平均值为 0.40, NDVI 与年总降雨量之间的相关性较大,并主要呈现正相关关系,其中显著正相关所占比例最多,占流域总面积的 53.09%,由此表明降雨的多少对博多河流域植被的生长活动总体上造成了显著的正向影响。

如图 7A 所示,在 1980—2017 年博多河流域年降雨量较低的北部和中部地区,流域 NDVI 与年降雨量之间的相关系数较高且主要为显著正相关关系,这说明在气候条件干旱的地区,降雨的增加有利于植被的生长发育,促进覆盖指数的增加;相反,在河流等水域周边范围及南部沿海等水资源丰富的地区,相关系数较低并整体趋于弱负相关关系,从而表明在水源丰富的地区降雨量的多少对区域植被的生长不会产生促进作用,甚至可能会产生不利的影响。

2.3.2 NDVI 与温度的相关性 博多河流域 NDVI 与年均温度之间的相关系数平均值为 0.20,远低于

NDVI 与年总降雨量之间的相关系数,且主要为中度正相关和弱正相关,占流域总面积的 62.47%,由此表明温度对博多河流域植被生长状况的影响没有降雨量高,温度的变化不是流域植物生长最主要的影响因素。如图 7B 所示,流域北部以中度正相关为主,在该地区植被的生长发育受到温度的正向影响最为显著,流域西部和东南部则以弱正相关为主;在流域中部、东部和南部,相关性均呈负向趋势,特别是在南部地区,存在集中连片的中度负相关区域,由此表明在这些地区温度的增加会阻碍植物生长。

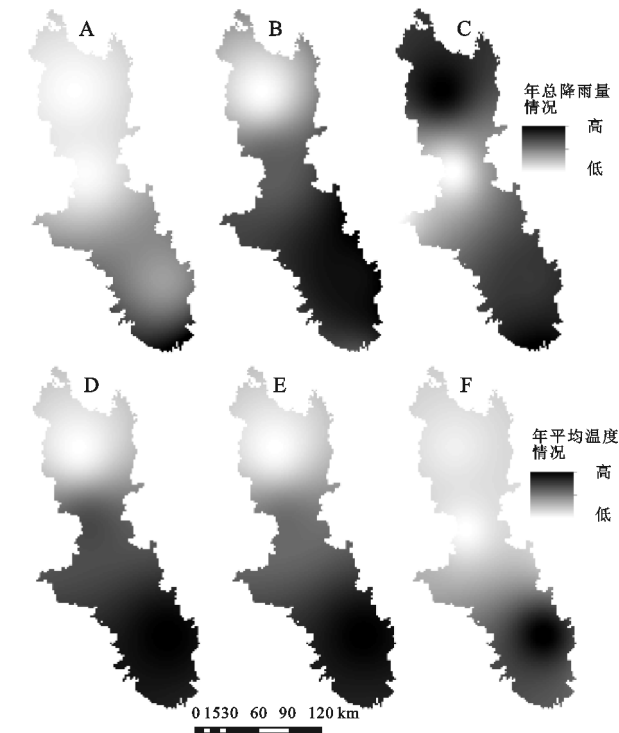


图 6 1980 年、2000 年、2017 年博多河流域气候变化空间分布

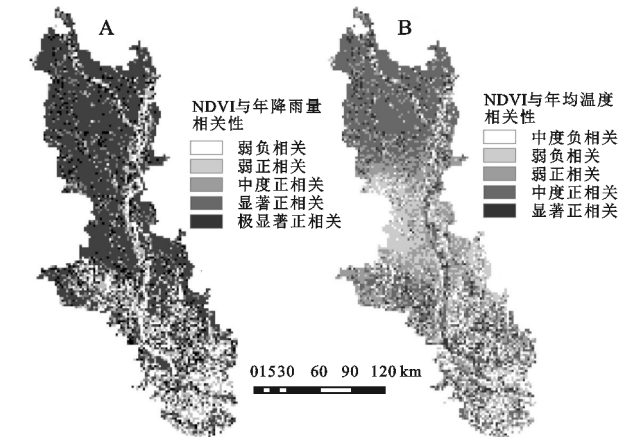


图 7 1980—2017 年博多河流域 NDVI 与气候因子的相关性

### 3 讨论

#### 3.1 NDVI 与气候变化的相关性分析方法

对于区域 NDVI 变化与气候变化两者间的响应研究,旨在为区域植被生长和生态安全提供最优的改

善思路和科学基础。目前,对于 NDVI 变化与气候变化的相关性研究方法包括基于 Theil-Sen median 趋势分析耦合 Mann-Kendall 检验方法的 NDVI 驱动力分析<sup>[17,31]</sup>和基于相关系数计算方法的 NDVI 相关性分析<sup>[5,10,32]</sup>等。前者是判断长时间序列数据趋势的重要方法并且已经逐渐应用到植被长时间序列分析中<sup>[31]</sup>,然而这种方法需要序列数据作为数据基础<sup>[31]</sup>,对于长时间间隔的数据并不适用。后者是分析不同因子间关联程度的重要基础,它不需要序列数据作为数据源,可对单一年份或间隔年份两个因子间的关联程度进行评价<sup>[10]</sup>,这是它与前者最大的区别。综合考虑本文数据的可获取性和研究结果的科学性,我们基于 Pearson 相关系数的计算公式,对 1980 年、2000 年、2017 年博多河流域 NDVI 数据与气候变化数据进行逐像元计算后发现,我们的研究结果和其他众多学者对于 NDVI 变化与气候因子的相关性研究结果一致,说明研究方法适合流域对区域变化的研究,同时也为类似区域中长时间尺度的 NDVI 与气候要素的相关性研究提供参考。

#### 3.2 博多河流域 NDVI 与气候变化的相关性结果

我们的研究结果验证了植被活动随气候因子的变化过程存在明显的阈值<sup>[33]</sup>。1980—2017 年博多河流域 NDVI 与降雨量存在显著的正相关关系,特别是在降雨量较少的干旱地区,由于降水量稀少,蒸发量大,植被生长对降水量极为敏感,此研究结果与其他学者对于 NDVI 与降雨量的相关性研究结果一致<sup>[34]</sup>。同时,我们的研究也发现,在水资源充沛的地区,降雨量与 NDVI 表现出负相关关系,即降雨量的增多会导致植被生长状况的下降。究其原因,我们不难发现,在河流分布区和河流入海口等水资源充足的地区,植被已拥有满足其生长需求的水资源量,当植被生长区的水资源总量超过一定阈值<sup>[35]</sup>,就会干扰植被根系对水的吸收,影响植被生长。

1980—2017 年博多河流域 NDVI 与温度存在正相关关系,但相关性低于降雨与 NDVI 之间的相关性。区域温度的上升会导致植被光合作用的加强并促进植物的生长<sup>[36]</sup>,特别是在降雨量较高的区域<sup>[37]</sup>。同时,张晓东<sup>[9]</sup>、李艳菊<sup>[15]</sup>和尤山南<sup>[32]</sup>等的研究结果都已表明在温度较低的地区植被生长与温度之间呈现显著的正相关关系。然而,当不断上升的温度超过植被生长所需的最优值,过高的温度会导致植被蒸发的加快,植被生理活动受温度限制较大,从而严重阻碍植被的生长<sup>[38-39]</sup>。



值得注意的是,区域 NDVI 的变化受到多重气候要素的影响,而本文对于博多河流域 NDVI 变化特征与气候因子的相关性研究由于数据和区域的限制,只是从降雨量和温度两个方面对其展开分析,针对气候变化对植被生长的季节性差异和滞后性问题<sup>[26]</sup>没有考虑,同时,对于区域人类活动对植被覆盖的影像也没有展开研究,今后将在这些方面对博多河流域展开更加深入的研究。

## 4 结论

(1) 从 NDVI 的数量和空间变化上看,1980 年、2000 年流域 NDVI 以裸露区为主,流域南部的植被生长状况较好,2017 年以低覆盖区为主,流域北部和中部的植被生长状况较好。流域 1980—2017 年的平均 NDVI 呈东部、南部高,西部、北部低地域分布模式。

(2) 从 NDVI 的变化趋势上看,1980—2000 年博多河流域 NDVI 呈现下降趋势,2000—2017 年呈显著上升,从 1980—2017 年流域整体 NDVI 变化状况上看,近 40 a 流域植被状况显著好转。1980 年、2000 年、2017 年增长区和退化区的空间分布呈现显著的空间差异特征。

(3) 1980—2017 年博多河流域年总降雨量逐年递增,1980 年自南部向北部增递减,2000 年自南部和东南部向西北部递减,2017 年自南部和北部向西部递减。流域年平均温度先减少后增加,且整体呈上升趋势,流域 1980 年、2000 年、2017 年温度均呈现自东南部向北部递减的趋势。

(4) 博多河流域年总降雨量和年平均温度与 NDVI 的相关系数平均值分别为 0.40、0.20,降雨量对 NDVI 的影响要高于温度。其中,NDVI 与年降雨量在流域北部和中部相关系数较高并主要为显著正相关关系,在水域周边及南部沿海地区,相关系数较低并整体趋于弱负相关关系;NDVI 与年平均温度在流域北部以中度正相关为主,西部和东南部则以弱正相关为主,而在流域中部、东部和南部,相关性均呈负向趋势。

### 参考文献:

- [1] Gong Z, Zhao S, Gu J. Correlation analysis between vegetation coverage and climate drought conditions in North China during 2001—2013[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017,27(2):143-160.
- [2] 赵杰,杜自强,武志涛,等.中国温带昼夜增温的季节性变化及其对植被动态的影响[J].*地理学报*,2018,73(3):395-404.
- [3] Wang Q, Zhang Q P, Zhou W. Grassland coverage changes and analysis of the driving forces in Maqu county[J]. *Physics Procedia*, 2012,33:1292-1297.
- [4] Forkel M, Carvalhais N, Rodenbeck C, et al. Enhanced seasonal CO<sub>2</sub> exchange caused by amplified plant productivity in northern ecosystems[J]. *Science*, 2016,351(6274):696-699.
- [5] 邵雅琪,姜群鸥,胡中民,等.张承地区植被指数时空演变特征及其与气候因子的关系[J].*中国农业大学学报*, 2018,23(7):96-106.
- [6] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems [J]. *Nature*, 2003,421:37-42.
- [7] Jing W, Wang K, Zhang M, et al. Impacts of climate change and human activities on vegetation cover in hilly southern China[J]. *Ecological Engineering*, 2015,81:451-461.
- [8] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, et al. Climate-driven increased in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999[J]. *Science*, 2003,300:1560-1563.
- [9] 张晓东,朱文博,张静静,等.伏牛山地森林植被物候及其对气候变化的响应[J].*地理学报*,2018,73(1):41-53.
- [10] 刘家福,马帅,李帅,等.1982—2016 年东北黑土区植被 NDVI 动态及其对气候变化的响应[J].*生态学报*, 2018,38(21):7647-7657.
- [11] Liu F J, Huang C, Pang Y, et al. Assessment of the three factors affecting Myanmar's forest cover change using Landsat and MODIS vegetation continuous fields data[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2016,9(6):562-585.
- [12] 程东亚,李旭东,杨江州.西南山地流域 NDVI 变化特征及降水敏感性:以贵州沅江流域为例[J].*生态学报*, 2020,40(4):1161-1174.
- [13] Zheng K, Ye J S, Jin B C, et al. Effects of agriculture, climate, and policy on NDVI change in a semi-arid river basin of the Chinese Loess Plateau[J]. *Arid Land Research and Management*, 2019,33(3):1-18.
- [14] Pang G J, Wang X J, Yang M X. Using the NDVI to identify variations in, and responses of, vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012[J]. *Quaternary International*, 2017,444:87-96.
- [15] 李艳菊,丁建丽,张钧泳,等.2001—2015 年天山北坡植被覆盖对干旱的响应:基于土地利用/土地覆盖分析[J].*生态学报*,2019,39(17):6206-6217.
- [16] 阿多,赵文吉,宫兆宁,等.1981—2013 华北平原气候时空变化及其对植被覆盖度的影响[J].*生态学报*,2017,37(2):576-592.
- [17] 孔春芳,岳永财,徐凯.2000—2015 年江汉平原区域植

- 被 NPP 时空特征及其对气候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(6): 1460-1469.
- [18] Zhang Y, Zhang C, Wang Z, et al. Vegetation dynamics and its driving forces from climate change and human activities in the Three-River Source Region, China from 1982 to 2012[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 564: 210-220.
- [19] Lamchin M, Lee W K, Jeon S W, et al. Long-term trend and correlation between vegetation greenness and climate variables in Asia based on satellite data[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 618: 1089-1095.
- [20] Gamon J A, Huemmrich K F, Stone R S, et al. Spatial and temporal variation in primary productivity (NDVI) of coastal Alaskan tundra: Decreased vegetation growth following earlier snowmelt[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 129(15): 144-153.
- [21] Detsch F, Otte I, Appelhans T, et al. Seasonal and long-term vegetation dynamics from 1 km GIMMS-based NDVI time series at Mt. Kilimanjaro, Tanzania[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 178: 70-83.
- [22] 丁玥, 阿布都热合曼·哈力克, 陈香月, 等. 和田地区植被覆盖变化及气候因子驱动分析[J]. 生态学报, 2020, 40(4): 1258-1268.
- [23] Tian H, Cao C, Chen W, et al. Response of vegetation activity dynamic to climatic change and ecological restoration programs in Inner Mongolia from 2000 to 2012[J]. *Ecological Engineering*, 2015, 82(4): 276-289.
- [24] Dewan A, Corner R, Saleem A, et al. Assessing channel changes of the Ganges-Padma River system in Bangladesh using Landsat and hydrological data[J]. *Geomorphology*, 2017, 276: 257-279.
- [25] Islam S N. Char-lands erosion, Livelihoods and cyclic displacement of people in Ganges-Padma River Basin in Bangladesh[J]. *Asia-Pacific Journal of Rural Development*, 2010, 20(1): 151-174.
- [26] 杜加强, 赵晨曦, 贾尔恒·阿哈提, 等. 近 30 a 新疆月 NDVI 动态变化及其驱动因子分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 172-181.
- [27] Zhu H. Geographical elements of seed plants suggest the boundary of the tropical zone in China[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2013, 386: 16-22.
- [28] 周梦甜, 李军, 朱康文. 近 15 a 新疆不同类型植被 NDVI 时空动态变化及对气候变化的响应[J]. 干旱区地理, 2015, 38(4): 779-787.
- [29] 张韵婕, 桂朝, 刘庆生, 等. 基于遥感和气象数据的蒙古高原 1982—2013 年植被动态变化分析[J]. 遥感技术与应用, 2016, 31(5): 1022-1030.
- [30] 索玉霞, 王正兴, 刘闯, 等. 中亚地区 1982—2002 年植被指数与气温和降水的相关性分析[J]. 资源科学, 2009, 31(8): 1422-1429.
- [31] 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分析[J]. 生态学报, 2019, 39(20): 7722-7736.
- [32] 尤南山, 蒙古军, 孙慕天. 2000—2015 年黑河流域中上游 NDVI 时空变化及其与气候的关系[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2019, 55(1): 171-181.
- [33] Krishnaswamy J, John R, Joseph S. Consistent response of vegetation dynamics to recent climate change in tropical mountain regions[J]. *Global Change Biology*, 2014, 20(1): 203-215.
- [34] 王春雨, 王军邦, 孙晓芳, 等. 孟印缅地区农田生产力脆弱性变化及气候影响机制: 基于 1982—2015 年 GIMMS3g 植被指数[J]. 生态学报, 2019, 39(21): 7793-7804.
- [35] Shen Q, Gao G Y, Fu B J, et al. Responses of shelterbelt stand transpiration to drought and groundwater variations in an arid inland river basin of Northwest China[J]. *Journal of Hydrology*, 2015, 531(3): 738-748.
- [36] Piao S, Yin G, Tan J, et al. Detection and attribution of vegetation greening trend in China over the last 30 years[J]. *Global Change Biology*, 2015, 21(4): 1601-1609.
- [37] 韩炳宏, 周秉荣, 颜玉倩, 等. 2000—2018 年青藏高原植被覆盖变化及其与气候因素的关系分析[J]. 草地学报, 2019, 27(6): 1651-1658.
- [38] 赵筱青, 李思楠, 谭琨, 等. 城镇—农业—生态协调的高原湖泊流域土地利用优化[J]. 农业工程学报, 2019, 35(8): 296-307, 336.
- [39] Piao S, Yin G, Tan J, et al. Detection and attribution of vegetation greening trend in China over the last 30 years[J]. *Global Change Biology*, 2015, 21(4): 1601-1609.