

# 2001—2017 年新疆 NDVI 变化及其对极端气候的响应

张晋霞<sup>1,2</sup>, 徐长春<sup>1,2</sup>, 杨秋萍<sup>1,2</sup>

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** [目的] 研究新疆 2001—2017 年植被覆盖变化, 并分析其与气候指数之间的响应特征, 以期为该地区生态环境保护和区域可持续发展提供理论依据。[方法] 基于 2001—2017 年的 MOD<sub>13</sub>Q<sub>1</sub> NDVI 数据, 采用最大合成法、Savitzky-Golay(SG)滤波法和相关分析等方法, 并结合同期气温和降水数据, 分析新疆生长季归一化植被指数(NDVI)和极端气候之间的响应关系。[结果] ① 2001—2017 年, 新疆地区植被覆盖普遍不高, 自 2009 年开始表现出缓慢改善趋势, 且未来一段时间内, 该趋势具有一定的持续性; ② NDVI 总体上呈西北向东南降低趋势, 天山山脉和伊犁河谷地区是 NDVI 高值区, 北疆各子区域生长季 NDVI 普遍高于南疆地区; ③ NDVI 在北疆中部和南疆西南部等地区与极端气温指数多呈负相关, 日平均温差(DTR)和冷夜日数(TN<sub>10p</sub>)是主要的影响指数; NDVI 与平均气温指数在沙漠地区多呈负相关, 在部分山区呈正相关, 这主要与年平均气温(T<sub>y</sub>)的变化有关; ④ NDVI 与降水指数之间多呈正相关, 且单日最大降水量(RX<sub>1d</sub>), 连续 5 日最大降水量(RX<sub>5d</sub>)和年降水量(TP<sub>y</sub>)对 NDVI 的影响都很显著。[结论] 新疆植被覆盖总体向良好方向发展。NDVI 对降水指数的响应高于气温指数, 其中, 降水指数以正向影响为主, 气温指数则以负向影响为主, 降水对新疆植被改善有着明显的促进作用。

**关键词:** 归一化植被指数(NDVI); 时空动态; 极端气温指数; 极端降水指数; 新疆

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)05-0250-07

中图分类号: Q948.1

**文献参数:** 张晋霞, 徐长春, 杨秋萍. 2001—2017 年新疆 NDVI 变化及其对极端气候的响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 250-256. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2020. 05. 036; Zhang Jinxia, Xuchang Chun, Yang Qiuping. NDVI variations and its response to extreme climate in Xinjiang Uygur Autonomous Region during 2001—2017 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5): 250-256.

## NDVI Variations and Its Response to Extreme Climate in Xinjiang Uygur Autonomous Region During 2001—2017

Zhang Jinxia<sup>1,2</sup>, Xuchang Chun<sup>1,2</sup>, Yang Qiuping<sup>1,2</sup>

(1. College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China; 2. MOE Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

**Abstract:** [Objective] The vegetation cover in Xinjiang Uygur Autonomous Region from 2001 to 2017 and its response to the extreme climate index were analyzed in order to provide a theoretical basis for the ecological-environmental protection and sustainable development of the region. [Methods] Data of the MOD<sub>13</sub>Q<sub>1</sub> normalized difference vegetation index (NDVI), temperature, and precipitation during the period from 2001 to 2017 were used along with the maximum synthesis method, Savitzky-Golay (SG) filtering method, and a correlation analysis to investigate the relationship between the NDVI and the extreme climate index during the growing season. [Results] ① The vegetation cover in Xinjiang was not high overall from 2001 to 2017, with a slowly improving trend since 2009, which is likely to continue in the future. ② In general, the NDVI decreased from northwest to the southeast. The Tianshan Mountains and Ili River valley were the areas with the highest values, and the NDVI in the sub-regions of Northern Xinjiang was generally higher than that of the Southern Xinjiang. ③ The NDVI was negatively correlated with the extreme temperature index in the

收稿日期: 2020-04-10

修回日期: 2020-07-08

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于水资源变化的干旱内陆区典型流域绿洲适宜规模研究”(41561023)

第一作者: 张晋霞(1996—), 女(汉族), 山西省太原市人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区水资源与气候变化。Email: zjx039617@163.com.

通讯作者: 徐长春(1977—), 女(汉族), 江苏省赣榆县人, 博士, 教授, 主要从事干旱区气候、水文与水资源研究。Email: xcc0110@163.com.

central part of Northern Xinjiang and the southwest part of Southern Xinjiang. The diurnal temperature range (DTR) and number of cool nights ( $TN_{10p}$ ) were the main influencing indices. The NDVI was negatively correlated with the average temperature index in desert areas, whereas it was positively correlated in some mountainous areas, which was mainly due to the variation of the annual average temperature ( $T_y$ ). ④ The NDVI was positively correlated with the precipitation index. The maximum 1-day precipitation amount ( $RX_{1d}$ ), maximum 5-day precipitation amount ( $RX_{5d}$ ), and annual precipitation ( $TP_y$ ) were the main contributors. [Conclusion] The vegetation coverage in Xinjiang is developing in a positive direction. The response of the NDVI to the precipitation index was higher than its response to the temperature index. The precipitation index mainly exhibited a positive influence, while the temperature index had a negative influence. Precipitation had an obvious promoting effect on the improvement of vegetation in Xinjiang.

**Keywords:** normalized difference vegetation index (NDVI); spatiotemporal dynamics; extreme temperature index; extreme precipitation index; Xinjiang Uygur Autonomous Region

植被是连接土壤—植被—大气连续体的重要枢纽<sup>[1]</sup>,是气候变化的“指示器”<sup>[2]</sup>。气候变化会影响植被群落的组成和结构,进而影响到植被的覆盖状况<sup>[3]</sup>。IPCC第五次报告中指出,气候变化不仅包括平均态的气候变化,还包括极端气候变化<sup>[4]</sup>。与气候平均态相比,极端气候对植被在敏感度、地域差异性等方面影响更大<sup>[5-6]</sup>。新疆深居中国西北干旱区,自然条件复杂多变,水热条件差异显著,生态环境敏感脆弱,植被生长影响因素具有明显的地带性和区域性<sup>[7]</sup>。在新疆“暖湿化”和全球气候变暖的背景下<sup>[8]</sup>,新疆地区的植被覆盖发生了显著的变化。因此开展新疆植被覆盖变化及其对极端气候的响应研究对该地区生态系统的保护以及生态环境的改善具有重要意义。

归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是反应植被生长状况、植被生产力和检测区域生态环境变化的有效指标,被广泛应用于地理学、生态学等领域<sup>[9-10]</sup>。自然因素和人类活动共同作用于植被覆盖,其中,对植被生长发育影响最大的自然因素是气温和降水。近年来,通过植被与气候的关系来揭示区域或全球植被的动态变化对气温和降水的响应已经成为一个热点研究问题<sup>[11]</sup>。有学者研究表明,在全球范围内植被活动表现出上升的趋势<sup>[12]</sup>,其中仅中国就占到全球植被叶面积净增加的25%<sup>[13]</sup>。干旱区植被变化一直得到广泛的关注,许多学者就干旱区植被与气候的关系进行了深入研究。侯小丽<sup>[14]</sup>研究表明,在全球尺度上,干旱区植被覆盖变化对气候响应呈现空间差异性,温度与植被变化表现负相关,而降水为正相关;郑艺等<sup>[15]</sup>发现,降水是影响干旱区植被生长发育的主要气候因子,但温度对干旱区植被的影响也不可忽略,随着干旱程度的增

加,温度对植被生长的促进作用减弱,而抑制作用增强;Li等<sup>[16]</sup>探讨了中亚地区植被覆盖对气候变化的响应,指出1982—2013年中亚地区天然植被NDVI呈上升趋势。可见,前人的研究多侧重于分析平均气温、平均降水与植被覆盖变化之间的关系。迄今为止,新疆地区植被变化对极端气候的响应尚不明确。因此,本文基于2001—2017年MOD<sub>13</sub>Q<sub>1</sub>数据,探讨新疆地区NDVI时空变化及其对极端气候的响应,以为该地区植被保护和生态环境的改善提供科学依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

新疆地处中国西北干旱区西部,总面积 $1.66 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,是中国陆地面积最大的省级行政区。远离海洋,降水稀少,气候干燥,总体为温带大陆性干旱气候。由于其特殊的水热条件和地形地貌,植被类型结构单一,覆盖度低,生态环境极为脆弱。全区被阿尔泰山、准噶尔盆地、天山、塔里木盆地、昆仑山分割并形成独特的山盆地貌格局。据此,由北向南将全区依次划分为I区(阿尔泰山区)、II区(准噶尔盆地区)、III区(天山山区)、IV区(塔里木盆地区)、V区(昆仑山区)。考虑到伊犁地区在新疆的特殊性,将其单独划分为第VI区(伊犁河谷区)(见封3,附图11),基于审图号GS(2019)3333号底图制作,底图来自自然资源部标准地图服务系统(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn>)。

### 1.2 数据来源与处理

NDVI数据:源自美国航空航天局NASA提供的MOD<sub>13</sub>Q<sub>1</sub>数据(<http://reverb.echo.nasa.gov>),选用时段为2001年1月至2017年12月,空间分辨率为250 m,时间分辨率为16 d,共391景。原始数据已经过水、云、重气溶胶等处理,消除了非植被因素,保证了数据质量。在处理数据时,首先基于

MRT(MODIS reprojection tool)软件对原始数据进行投影和格式转换,并利用 Savitzky-Golay(SG)滤波法<sup>[17]</sup>对数据进行平滑除噪,提高光谱的平滑性,并降低噪音干扰,进一步提升数据计算精度。然后通过最大合成法<sup>[18]</sup>(MVC)得到新疆生长季内(4—10月)各月 NDVI 数据和整个生长季 NDVI 数据。

气象数据:来自中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn>),共选取 2001—2017 年新疆 50 个气象站点的日降水量、日最高气温、日最低气温数据。利用 RCLimDex 模型<sup>[19]</sup>计算获得日最高气温的极高值、日最低气温的极低值、单日最大降水量、连

续 5 d 最大降水量等 10 个极端气候指数,并选取月平均气温、年平均气温、月降水量、年降水量 4 个平均态气候指数(见表 1)。通过 ANUSPLIN 插值<sup>[20]</sup>获得 14 个指数的图像,从而分析 NDVI 数据对极端态和平均态气候指数的响应并分析其差异。极端气候指数从 ETCCDMI 提供的极端气候指标体系中选出,其中,日最高气温的极高值、日最低气温的极低值、日平均温差、冷夜日数、暖夜日数、冷昼日数、暖昼日数可以反映气温温差的边缘态,选取单日最大降水量、连续 5 d 最大降水量、降水强度表征降水的极端态过程。

表 1 气候指数的定义与分类

分类	代码及名称	含义
温度指数	$T_m$ 月平均气温	每月的气温平均值/°C
	$T_y$ 年平均气温	每年的气温平均值/°C
	$TX_x$ 日最高气温的极高值	每月内日最高气温的最大值/°C
	$TN_n$ 日最低气温的极低值	每月内日最低气温的最小值/°C
	$DT_R$ 日平均温差	日温差的平均值/°C
	$TN_{10p}$ 冷夜日数	日最低气温 < 10% 分位数的日数/d
	$TN_{90p}$ 暖夜日数	日最低气温 > 90% 分位数的日数/d
	$TX_{10p}$ 冷昼日数	日最高气温 < 10% 分位数的日数/d
$TX_{90p}$ 暖昼日数	日最高气温 > 90% 分位数的日数/d	
降水指数	$TP_m$ 月降水量	每月所有降水日的总降水量/mm
	$TP_y$ 年降水量	全年所有降水日的总降水量/mm
	SDII 降水强度	降水量 ≥ 1 mm 的总量与日数之比/(mm · d <sup>-1</sup> )
	$RX_{1d}$ 单日最大降水量	每月最大 1 日降水量/mm
	$RX_{5d}$ 连续 5 日最大降水量	每月连续 5 日最大降水量/mm

### 1.3 研究方法

1.3.1 Hurst 指数 本研究中使用  $R/S$  算法计算 Hurst 指数, Hurst 指数可以预测 NDVI 未来变化趋势的持续性<sup>[21]</sup>。 $H$  为 Hurst 指数,其值介于  $[0, 1]$  之间,当  $H = 0.5$ ,说明 NDVI 序列未来的变化趋势与过去的趋势不存在长期相关性;当  $0 \leq H < 0.5$ ,表示 NDVI 序列有反持续性,未来的变化趋势与过去的相反;当  $0.5 < H \leq 1$ ,表明 NDVI 序列有持续性,未来的变化趋势与过去的趋势一致。

1.3.2 ANUSPLIN 插值法 ANUSPLIN 是采用普通薄盘和局部薄盘样条进行插值的一种方法,局部薄盘样条是对薄盘光滑样条方法的改进,它可以把参数线性亚模型添加到插值中,从而实现对多变量数据的插值。其计算公式为:

$$Z_i = f(x_i) + b^T y_i + e_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: $Z_i$  表示  $i$  点的自变量;  $x$  为独立变量;  $f(x_i)$  是  $x$  需要进行估算的未知光滑函数;  $y$  是协变量;  $b$  是  $y_i$  的  $p$  维系数;  $e_i$  为自变量随机误差。

为检验 ANUSPLIN 插值在本研究区的插值精度,通过计算插值数据与实测值的均方根误差(RMSE)、平均绝对误差(MAE)、平均相对误差(MRE)作为检验插值精度的标准。选取插值计算中未使用的 6 个气象站点,分别计算 RMSE, MAE, MRE 值。

结果显示 14 个指数插值数据的 RMSE, MAE, MRE 均值分别为 9.13, 6.86, 0.73。对比其他研究结果<sup>[22-23]</sup>,本文中的插值数据符合精度要求,ANUSPLIN 插值方法适合新疆地区气象数据插值,其插值结果在气象站点稀少、分布不均匀的地区具有很好的适用性。

1.3.3 相关分析 相关分析<sup>[24]</sup>是研究随机变量之间相关关系的统计方法。本研究使用基于像元的空间分析方法来分析新疆多年生长季 NDVI 与极端气候指数之间的相关性,利用 Pearson 相关系数来表示 NDVI 与极端气候指数之间的相关程度,以此来分析 NDVI 对不同极端气候指数的响应程度。

## 2 结果与分析

### 2.1 NDVI 时空变化特征

2.1.1 NDVI 时间变化特征 由表 2 和图 1 可知, 2001—2017 年新疆生长季 NDVI 表现出波动上升的趋势, 从 2009 年开始有一个逐步回升的过程, 整体趋势相对平稳, 但增长幅度并不显著, 这与其他学者的研究结果是相匹配的<sup>[25]</sup>。17 a 里, 新疆地区生长季 NDVI 多年均值为 0.14, 2001 年最低 (0.132), 2016 年最高 (0.156), 各子区域生长季多年均值在 0.09~0.46 之间变动, 整个研究区内部显示出了明显的差异。其中, 伊犁地区由于受到北大西洋气流影响, 再加上其西南部特殊的敞开状地形, 形成亚干旱地区的降雨中心<sup>[26]</sup>, 成为全疆 NDVI 多年均值最高的地区。塔里木盆地多年 NDVI 生长季均值仅为 0.09, 大面积的沙漠、戈壁极大程度限制了植物的生长, 高温不仅加剧了土壤蒸发, 还很大程度上抵消了降水增多给植被带来的正向效应, 恶劣的生存环境使得该区域植被覆盖度极低。

由表 3 可知, 从整个研究区来看, 未来一段时间

段内, 新疆生长季 NDVI 将继续保持现在的趋势, 逐渐上升, 但其区域内部 NDVI 的变化趋势有一定的差异性。各子区域中, 准噶尔盆地地区和塔里木地区生长季 NDVI 的  $H$  值分别为 0.37, 0.42, 表现出反持续性, 表明这两个区域生长季 NDVI 变化趋势将与过去相反, 呈现下降趋势; 其他区域  $H$  值均大于 0.5, 预示这些区域生长季 NDVI 仍将继续上升, 植被变化整体将朝人类友好方向发展。

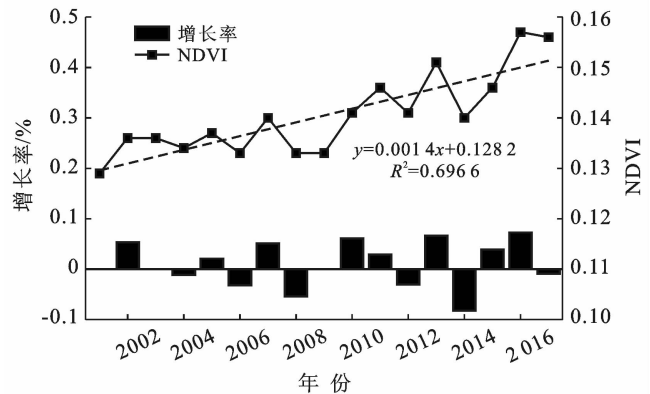


图 1 2001—2017 年新疆 NDVI 的际年变化规律

表 2 2001—2017 年新疆生长季 NDVI 的多年变化值

区域	I 区	II 区	III 区	IV 区	V 区	VI 区	全区
平均值±标准差	0.35±0.19	0.19±0.14	0.27±0.2	0.09±0.09	0.09±0.07	0.46±0.17	0.14±0.14

表 3 2001—2017 年新疆生长季 NDVI 变化趋势的 Hurst 指数

区域	I 区	II 区	III 区	IV 区	V 区	VI 区	全区
$H$ 值	0.69	0.37	0.51	0.42	0.53	0.55	0.51

2.1.2 NDVI 空间变化趋势 由附图 12(见封 3)可知, 新疆生长季 NDVI 大体上呈西北向东南降低的空间分布特征, 全疆植被覆盖度整体不高, 大部分地区多年生长季 NDVI 均值在 0.5 以下。研究区内 NDVI 分布表现出极其严重的两极分化现象, 内部差异显著。其中阿尔泰山、天山、塔里木盆地周边绿洲、伊犁地区植被覆盖情况相对较好, 这些地区靠近山区, 降水丰沛, 植被生长条件优越, 属于 NDVI 高值区。而天山以北大部分地区以及塔里木盆地、昆仑山部分地区生长季 NDVI 多年均值介于 0~0.3 之间, 这些地区通常是戈壁和荒漠, 只有沙漠边缘绿洲有植被分布, 因而植被覆盖度极低。从而全疆形成了植被沿山脉、绿洲、河流呈点状、岛状、线状分布的独特格局。

### 2.2 NDVI 对极端气候指数的响应

2.2.1 NDVI 对气温指数的响应 从图 2a—g 可以

看出, 整体而言, NDVI 与极端气温指数相关程度普遍不高, 新疆 84% 的区域 NDVI 与极端气温指数的相关系数在 -0.4~0.4 之间; 仅有约 16% 的区域相关系数的绝对值在 0.4~0.6 之间。除  $TN_n$ ,  $TX_{10p}$ ,  $TN_{90p}$  以外, 其他指数对生长季 NDVI 的影响均以负相关为主, 可见, 极端气温对植被产生抑制作用的可能性更大。NDVI 与  $TN_n$ ,  $TX_{1p}$ ,  $TN_{90p}$  之间呈正负相关的区域面积大致相等, 显示出微弱的负相关。其中,  $TN_n$  和  $TN_{90p}$  呈负相关的站点在天山周边区域和新疆北部更为集中,  $TX_{10p}$  呈负相关的站点主要分布在北疆中部地区。DTR,  $TN_{10p}$ ,  $TX_x$ ,  $TX_{90p}$  对 NDVI 的影响以负相关为主, 其面积分别占到 64%, 72%, 62%, 60%, 呈负相关的站点主要分布在天山以北和塔里木盆地西南边缘绿洲地区。从显著性来看, NDVI 与 DTR,  $TN_{10p}$  之间相关系数显著的像元点较  $TX_x$ ,  $TN_n$ ,  $TN_{10p}$ ,  $TN_{90p}$ ,  $TX_{90p}$  多, 分别为 15% 和 14%, 以新疆北部最为明显, 表明在过去的 17 a 里, 新疆更多的地区受 DTR 和  $TN_{10p}$  影响更大。

从图 2h—i 可以看出, NDVI 与平均气温类指数相关系数的绝对值大多在 0.4 以下, 普遍相关程度不

高;仅20%的站点相关系数的绝对值在0.4~0.6之间,相关程度较强。 $T_m$ 对NDVI的影响以负相关为主,该类站点主要分布在新疆北部和南部;NDVI与 $T_y$ 之间以正相关为主,该类区域大约占到80%,主要

分布在新疆北部、西部和东部。就显著性而言,NDVI与 $T_y$ 之间相关系数显著的像元点明显高于 $T_m$ ,占比达到18%,主要集中分布在新疆西部、西北部和东部,表明 $T_y$ 对NDVI的影响要大于 $T_m$ 。

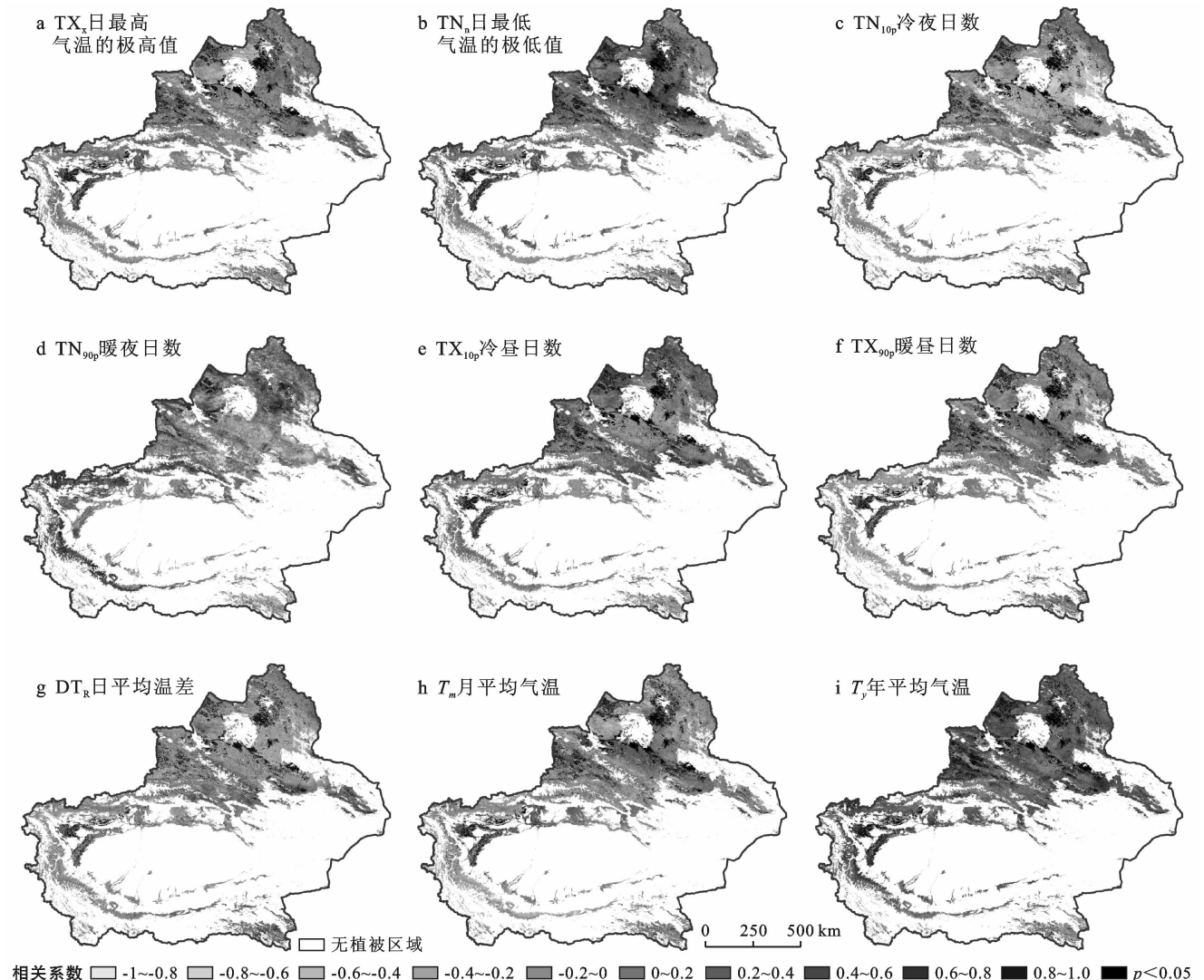


图2 2001—2017年新疆生长季NDVI与气温类指数相关系数的空间分布

2.2.2 NDVI对降水指数的响应 由图3a—c可知,NDVI与极端降水指数之间的相关系数大部分地区在-0.2~0.4之间,相关程度不高,仅少数地区相关系数在0.4~0.6之间。NDVI与 $RX_{1d}$ ,  $RX_{5d}$ ,  $SDII$ 之间都表现出了明显的正相关,其正相关分布面积分别为84.2%,84%,66%。 $SDII$ 表现出正相关的站点在新疆北部分布比较明显; $RX_{1d}$ 呈正相关的站点主要分布在新疆北部、西南部和东部地区; $RX_{5d}$ 呈正相关的站点分布与 $RX_{1d}$ 相似,但其分布更加集中,分布范围更广。就显著性来看, $RX_{1d}$ 和 $RX_{5d}$ 通过检验的像元点明显多于 $SDII$ ,分别有19.8%和

19.4%通过了显著性检验,该类站点多分布在山区附近,以天山和昆仑山地区最为突出。由图3d—e可知,NDVI与平均降水指数之间的相关系数在-0.2~0.6之间,相关程度较强。 $TP_m$ 和 $TP_y$ 对NDVI的影响都以正相关为主。其中,NDVI与 $TP_m$ 之间呈正相关的站点主要分布在新疆中部、西部和南部,正相关分布面积约占到总面积的65%;NDVI与 $T_y$ 之间有78%的站点呈正相关,这类站点在新疆北部和西部分布明显。在显著性这方面, $TP_y$ 通过显著性检验的像元点明显多于 $TP_m$ ,约20%的区域通过了检验,集中分布在新疆西部、西北部和东部。

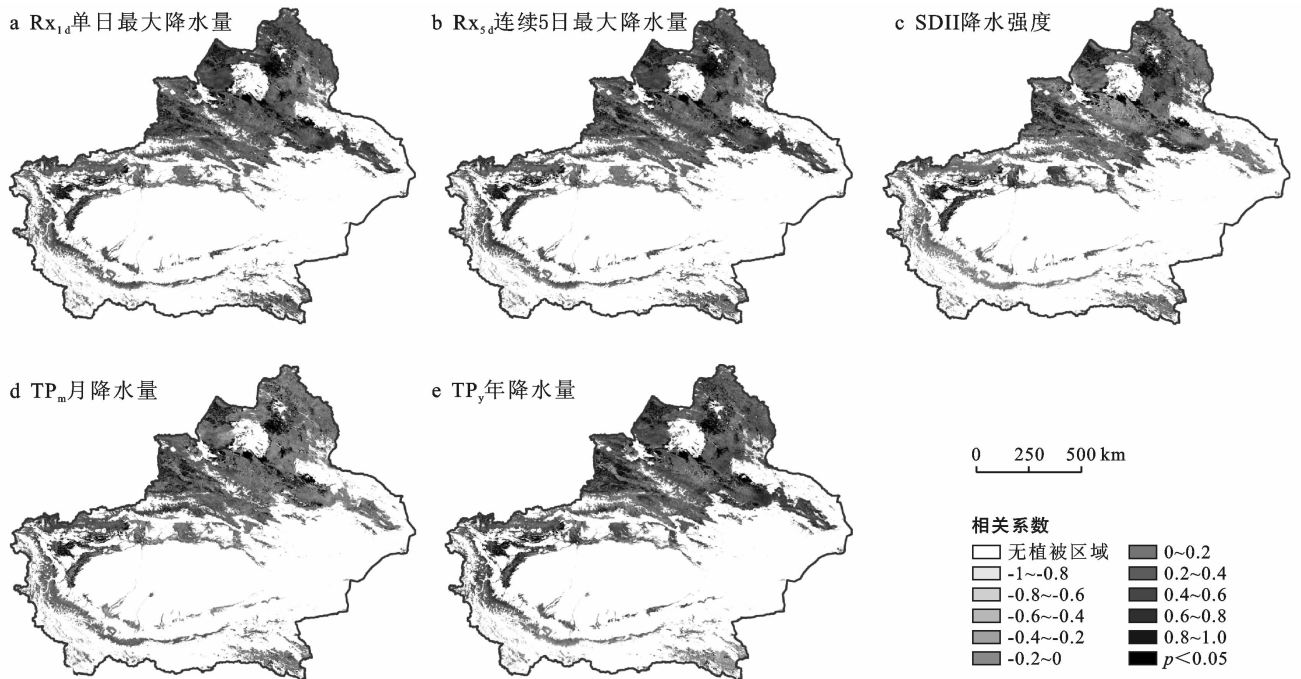


图 3 2001—2017 年新疆生长季 NDVI 与降水类指数相关系数的空间分布

## 3 讨论

### 3.1 NDVI 动态变化

2001—2017 年,新疆生长季 NDVI 总体呈不显著上升趋势,且未来一段时间内将继续向友好方向发展,这与 NDVI 在全球<sup>[12]</sup>、全中国<sup>[13]</sup>、中国北方<sup>[27]</sup>的变化趋势相一致。就空间分布特征而言,北疆生长季 NDVI 年均值总体高于南疆地区,这主要与北疆独特的气候条件和丰富的降水有着密切的关系。有学者研究发现,年降水量是影响新疆植被覆盖变化的主要因素<sup>[28]</sup>。北疆全年水汽增加多于南疆,且新疆北部在水资源分布上有着明显的优势<sup>[29]</sup>。北疆特别是准噶尔盆地和天山地区,由于绿洲农业的发展,加之天然林保护区、生物多样性保护区、禁牧轮牧等大规模生态保护措施的不断推进<sup>[30]</sup>,使得近些年该地区植被有明显改善。

### 3.2 对气温类指数的响应

新疆生长季 NDVI 与极端暖指数和极端冷指数之间都以负相关为主,在北疆中部和环塔里木盆地边缘地区表现得尤为明显,表明极端气温的升高或降低,对植物的生长有阻碍作用。这与前人<sup>[31]</sup>研究结果一致。这些地区戈壁滩、荒漠广布,气温上升,使得土壤水分大量蒸发,植被蒸腾作用更加旺盛,从而使得地表中的水分过度消耗,这对于水资源原本缺乏的新疆地区的植被生长非常不利,尤其当气温超过植被生长的最适温度时,植被的净光合作用效率便会下降,最终影响植物的正常生长;气温下降,植物生长期

缩短,当气温过低时,会导致植物生长所需的积温不足,甚至会引起大范围的低温灾害,从而对植物的生长发育产生影响。加之近十几年来塔里木盆地南缘和准噶尔盆地西缘日最高气温的大幅上升,这也加强了对植被生长的限制作用<sup>[31]</sup>。

NDVI 与平均气温指数呈正相关的区域主要分布在天山和伊犁地区,表明气温升高,有利于这些地区植被的生长。高山地区的冰川和积雪融水是新疆主要的水源来源,已有研究表明,在山区,气温升高会增加雨/雪比率,使春季融雪速率增加,从而形成更大、更早的河流径流<sup>[32]</sup>。新疆季节性积雪资源丰富,冬季和春季的积雪主要分布在天山以北,其次是伊犁地区,加之气温上升带来的冰川消融,自 1980 年以来,新疆多数河流的径流量都有增加<sup>[29]</sup>。气温升高使得新疆地区水文过程发生了明显的变化,天山和伊犁地区获得了更加丰富的水资源,对植被生长具有明显的促进作用。

### 3.3 对降水类指数的响应

新疆生长季 NDVI 对降水指数的响应以正向为主,降水对新疆多数地区的植被生长有积极作用,尤其在山地地区促进作用非常明显。新疆降水稀少且时空分布不均,土壤含水量低,但自 1987 年以来,新疆降水趋势突变,全疆降水呈增加趋势,且增长趋势非常显著<sup>[33]</sup>。谢培等研究也表明,1961—2015 年,新疆地区降水量以及雨日整体表现出上升趋势,且降水的增加主要表现为雨日的增长<sup>[34]</sup>。丰富的水资源,保证了植物的代谢过程,为植物的生命活动提供了条

件,有利于植被的生长发育,从而有效提高了这些地区的植被覆盖度。

## 4 结论

本文利用 MOD<sub>13</sub>Q<sub>1</sub> NDVI 数据和逐日气象资料,分析了新疆 2001—2017 年 NDVI 的时空分布特征,并探讨了 NDVI 对极端态气候指数和平均态气候指数的响应特征,主要得出以下结论:

(1) 新疆生长季 NDVI 呈缓慢上升趋势,且该趋势具有一定的持续性,但全疆植被覆盖度总体上不高。NDVI 多年空间分布特征呈西北向东南降低的趋势,且北疆各子区域 NDVI 多年均值高于南疆各子区域。

(2) 新疆 NDVI 与气温类指数之间以负相关为主。极端气温指数在北疆中部和南疆西南部多呈负相关,DTR 和 TN<sub>10p</sub> 是主要的影响指数;平均气温指数在沙漠地区多呈负相关,少数山地地区呈正相关,与  $T_m$  相比, $T_y$  对 NDVI 的影响更显著。

(3) NDVI 与降水指数之间以正相关为主,北疆是变化较为明显的地区。其中,RX<sub>1d</sub>,RX<sub>5d</sub> 和 TP<sub>y</sub> 对 NDVI 的影响都很显著,降水对这一区域尤其是山区植被生长起到了很好的促进作用。

本研究分析了 NDVI 与极端气候之间的相关性,但气候和人类活动共同作用于植被覆盖。城市绿化、退耕还林、农田开垦等人类活动对植被覆盖的影响仍然存在。今后的研究中,应在辨析影响植被覆盖的人为因素和自然因素及其各自权重方面作出突破,对影响植被覆盖的归因进行更加深入的研究与探讨。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 姜汉侨,段昌群,杨树华,等. 植物生态学[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社,2010:11-17.
- [2] 杜怀玉,赵军,师银芳,等. 气候变化下中国潜在植被演替及其敏感性[J]. 生态学杂志,2018,37(5):1459-1466.
- [3] 白文龙,张福平,倪海燕,等. 关中地区植被覆盖变化及其对气候因子的响应研究[J]. 农业现代化研究,2013,34(1):104-108.
- [4] Stocker T. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014:134-136.
- [5] 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.
- [6] Zhong Lei, Ma Yaoming, Salama M S, et al. Assessment of vegetation dynamics and their response to variations in precipitation and temperature in the Tibetan Plateau [J]. Climatic Change, 2010,103(3/4):519-535.
- [7] 何宝忠,丁建丽,李焕,等. 新疆植被物候时空变化特征[J]. 生态学报,2018,38(6):2139-2155.
- [8] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊,等. 新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J]. 干旱区地理,2002,25(3):194-200.
- [9] 孙晓鹏,王天明,寇晓军,等. 黄土高原泾河流域长时序序列的归一化植被指数动态变化及其驱动因素分析[J]. 植物生态学报,2012,36(6):511-521.
- [10] 张佳华,王长耀. 区域归一化植被指数(NDVI)对植被光合作用响应的研究[J]. 干旱区资源与环境,2003,17(1):91-95.
- [11] 包刚,包玉海,覃志豪,等. 近 10 年蒙古高原植被覆盖变化及其对气候的季节响应[J]. 地理科学,2013,33(5):613-621.
- [12] Eastman J, Sangermano F, Machado E, et al. Global trends in seasonality of normalized difference vegetation index (NDVI), 1982—2011 [J]. Remote Sensing, 2013,5(10):4799-4818.
- [13] Chen Chi, Park T, Wang Xuhui, et al. China and India lead in greening of the world through land-use management [J]. Nature Sustainability, 2019,2(2):122-129.
- [14] 侯小丽. 基于 MODIS 数据的全球干旱区植被变化及其与气候关系的研究(2002—2011 年)[D]. 山东 泰安:山东农业大学,2016.
- [15] 郑艺,张丽,周宇,等. 1982—2012 年全球干旱区植被变化及驱动因子分析[J]. 干旱区研究,2017,34(1):59-66.
- [16] Li Zhi, Chen Yaning, Li Weihong, et al. Potential impacts of climate change on vegetation dynamics in Central Asia [J]. Journal of Geophysical Research (Atmospheres), 2015,120(24):12345-12356.
- [17] Steinier J, Termonia Y, Deltour J. Smoothing and differentiation of data by simplified least square procedure [J]. Analytical Chemistry, 1972,44(11):1906-1909.
- [18] 孟梦,牛铮. 近 30 a 内蒙古 NDVI 演变特征及其对气候的响应[J]. 遥感技术与应用,2018,33(4):676-685.
- [19] Zhang Xuebin, Yang Feng. RCLIMDEX(1.0) User Manual [R]. Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario Canada, 2004.
- [20] 钱永兰,吕厚荃,张艳红. 基于 ANUSPLIN 软件的逐日气象要素插值方法应用与评估[J]. 气象与环境学报,2010,26(2):7-15.
- [21] 江田汉,邓莲堂. Hurst 指数估计中存在的若干问题:以在气候变化研究中的应用为例[J]. 地理科学,2004,24(2):177-182.
- [22] 任璇,郑江华,穆晨,等. 不同气象插值方法在新疆草地 NPP 估算中的可靠性评价[J]. 草业科学,2017,34(3):439-448.

- 245-250.
- [12] 郭子坚,刘俊舒,王文渊,等.港口时空演化对区域景观格局影响研究[J].港工技术,2016,53(5):60-63.
- [13] 王丽萍,周寅康,金晓斌.港口城市土地利用变化特征分析:以江苏省连云港市中心城区为例[J].生态经济,2014,30(12):133-136.
- [14] 徐涵秋.利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J].遥感学报,2005,9(5):589-595.
- [15] Lyon J G, Yuan Ding, Lunetta R S, et al. A change detection experiment using vegetation indices [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1998, 64(2):143-150.
- [16] Kauth R J, Thomas G S. The tasselled cap: A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by LANDSAT [EB/OL]. 1976.
- [17] 查勇,倪绍祥,杨山.一种利用 TM 图像自动提取城镇用地信息的有效方法[J].遥感学报,2003,7(1):37-40.
- [18] Rikimaru A. Landsat TM data processing guide for forest canopy density mapping and monitoring model [C]//ITTO workshop on utilization of Remote Sensing in site assessment and planning for rehabilitation of logged-over forest. Bangkok, Thailand, 1996:1-8.
- [19] 王思远,刘纪远,张增祥,等.中国土地利用时空特征分析[J].地理学报,2001,56(6):631-639.
- [20] 吴婷婷.基于遥感和 GIS 的土地利用/覆盖变化分析[D].北京:中国地质大学(北京),2012.
- [21] 宋伟东,杨冬,李恩宝,等.盘锦市湿地信息提取与动态变化监测[J].测绘科学,2016,41(9):60-65.
- [22] 马泉来,高凤杰,张志民,等.东北农林交错区土地利用景观及生态服务价值变化[J].水土保持通报,2016,36(1):265-271.
- [23] 范丽娟,田广星.1995—2015年上海市土地利用及其景观格局变化[J].水土保持通报,2018,38(1):287-292.
- [24] 郑新奇,付梅臣.景观格局空间分析技术及其应用[M].北京:科学出版社,2010.
- [25] 李翠漫.钦州湾海岸带景观格局时空演变及生态系统健康评价[D].广西南宁:南宁师范大学,2019.
- [26] 付刚,肖能文,乔梦萍,等.北京市近二十年景观破碎化格局的时空变化[J].生态学报,2017,37(8):2551-2562.
- [27] 宗玮.上海海岸带土地利用/覆盖格局变化及驱动机制研究[D].上海:华东师范大学,2012.
- [28] 桑潇,国巧真,潘应阳,等.基于 TM 和 OLI 数据山西省潞城市土地利用动态变化分析与预测[J].国土资源遥感,2018,30(2):125-131.

(上接第 256 页)

- [23] 谭剑波,李爱农,雷光斌.青藏高原东南缘气象要素 Anusplin 和 Cokriging 空间插值对比分析[J].高原气象,2016,35(4):875-886.
- [24] 周梦甜,李军,朱康文.近 15a 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.
- [25] 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.
- [26] 王倩,杨太保,杨雪梅.新疆伊犁河流域植被变化动态监测与评价[J].干旱区资源与环境,2015,29(8):126-131.
- [27] 何航,张勃,侯启,等.1982—2015年中国北方归一化植被指数(NDVI)变化特征及对气候变化的响应[J].生态与农村环境学报,2020,36(1):70-80.
- [28] 杨光华,包安明,陈曦,等.1998—2007年新疆植被覆盖变化及驱动因素分析[J].冰川冻土,2009,31(3):436-445.
- [29] 李佳秀,陈亚宁,刘志辉.新疆不同气候区的气温和降水变化及其对地表水资源的影响[J].中国科学院大学学报,2018,35(3):370-381.
- [30] 王计平,郭仲军,黄继红,等.北疆不同生态功能区近 30 年来植被盖度时空变化[J].林业资源管理,2015(6):64-70.
- [31] 祝稳.西北干旱区植被覆盖动态及其对极端气温和降水过程的响应[D].甘肃兰州:西北师范大学,2015.
- [32] 沈永平,苏宏超,王国亚,等.新疆冰川、积雪对气候变化的响应(I):水文效应[J].冰川冻土,2013,35(3):513-527.
- [33] 张扬,楚新正,杨少敏,等.近 56a 新疆北部地区气候变化特征[J].干旱区研究,2019,36(1):212-219.
- [34] 谢培,顾艳玲,张玉虎,等.1961—2015年新疆降水及干旱特征分析[J].干旱区地理,2017,40(2):332-339.