

曲学斌,孙小龙,冯建英,等. 呼伦贝尔草原 NDVI 时空变化及其对气候变化的响应[J]. 干旱气象, 2018, 36(1): 97-103, [QU Xuebin, SUN Xiaolong, FENG Jianying, et al. Temporal and Spatial Variation of NDVI in Hulun Buir Grassland and its Response to Climate Change[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(1): 97-103], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-01-0097

呼伦贝尔草原 NDVI 时空变化及其对气候变化的响应

曲学斌^{1,2}, 孙小龙³, 冯建英¹, 范雪松²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 内蒙古呼伦贝尔市气象局, 内蒙古 呼伦贝尔 021008; 3. 内蒙古农业气象与生态中心, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要:利用 2001—2016 年 MODIS NDVI 数据和气象站点资料, 分析呼伦贝尔草原 NDVI 的时空变化特征及其对气候变化的响应。结果表明, 呼伦贝尔草原 NDVI 整体呈上升趋势, 平均倾向率为 $0.041 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 其中新巴尔虎右旗西北部、新巴尔虎左旗中部和陈巴尔虎旗西部等地增加显著; NDVI 的年变化主要受降水驱动, 两者呈极显著的正相关; 生长季内, 5 月气温和 5、6 月总辐射与 NDVI 普遍呈正相关, 北部草原达到显著或极显著水平, 但之后逐渐转为负相关。NDVI 与降水普遍呈正相关, 5 月下半月开始有台站达到显著或极显著水平, 7 月达到显著或极显著的台站数量最多, 并存在明显滞后。生长季内, 典型草原 NDVI 与降水显著或极显著正相关的台站次数明显多于草甸草原。

关键词: NDVI; 呼伦贝尔草原; 时空变化; 气候响应

文章编号: 1006-7639(2018)01-0097-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-01-0097

中图分类号: P405

文献标志码: A

引言

IPCC 第四次评估报告指出, 全球许多生态系统受到气候变暖的影响, 而植被作为陆地生态系统的重要组成部分, 是连结土壤和大气的天然纽带, 在气候变化研究中充当“指示剂”作用^[1]。在现有植被指数中, NDVI (归一化植被指数) 不仅计算简便、易获取, 而且能在很大程度上反映地表植被状况, 与植被总初级生产力、光合有效辐射、叶面积指数等重要植被特征存在显著关系, 是目前最常用的植被指数^[2-5]。近年来许多学者在全球或区域尺度上, 开展 NDVI 动态及其对气候变化的响应研究^[6]。吕洋等^[7]、刘芳等^[8]研究发现雅鲁藏布江流域和伊犁河谷地区的植被均与降水呈显著正相关。白淑英等^[9]的研究结果表明长江流域植被总体上对气温的响应程度大于降水, 植被对气温变化最大响应无滞后而对降水变化的最大响应滞后 1 个月。何月等^[10]研究发现降水量和干湿程度对浙江省 NDVI 的年变化起决定作用。张景华等^[11]研究表明澜沧江流域 NDVI 受气温的影响要强于降水。然而, 目

前主要针对的区域以省或流域为主, 研究区较大, 可能存在多种生态类型, 由于不同植被对气候变化的响应及滞后程度不同, 微观信息常会被掩盖。且目前研究的时间尺度偏长, 多以月、季为主, NDVI 和气象资料也常使用平均值进行分析, 这些也同样会造成部分信息的丢失。

呼伦贝尔草原以草甸草原和典型草原为主, 植被相对单一, 在中纬度半干旱草原中具有很高的代表性, 对揭示草原植被对气候变化的响应特点具有重要意义。气候异常和超载过牧现象的存在, 严重威胁呼伦贝尔草原生态系统, 该地区已然成为全球气候变化过程中的生态敏感区和脆弱区^[12]。开展呼伦贝尔草原植被监测及其对气候的响应研究, 可以更好地理解气候变化对该地区植被不同生长阶段的影响机理, 为开展生态环境保护提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

呼伦贝尔草原位于内蒙古自治区呼伦贝尔市西南部, 是我国主要的畜牧业生产基地 (图 1)。

收稿日期: 2017-08-09; 修回日期: 2017-12-07

基金项目: 干旱气象科学研究基金 (IAM201706)、内蒙古自治区气象局青年基金项目 (nmqnxq201704)、内蒙古自然科学基金项目 (2017MS0410)、中国气象局气候变化专项项目 (CCSF201721) 和内蒙古自治区遥感创新团队项目共同资助

作者简介: 曲学斌 (1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事应用气象学研究。E-mail: qxhtd@qq.com。

平均海拔 714.4 m, 地形总体上呈东高西低, 东部为大兴安岭林地与草原的交错带, 中部以草甸草原为主并向西逐步过渡为典型草原。呼伦贝尔草原属温带大陆性季风气候, 冬季寒冷漫长、夏季温凉短促、春秋干燥风大。研究区内的多年平均降水量为 277.4 mm (2001—2016 年), 其中新巴尔虎右旗最少 (197.8 mm), 海拉尔区最多 (337 mm), 呈自东向西逐渐减少分布。年平均气温为 0.2 °C (2001—2016 年), 其中陈巴尔虎旗最低 (-0.5 °C), 新巴尔虎左旗最高 (1.0 °C), 呈自南向北逐渐降低分布^[13]。

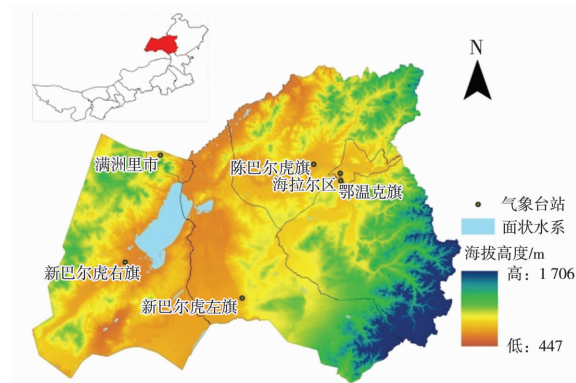


图 1 呼伦贝尔草原气象台站分布
Fig. 1 The distribution of meteorological stations in Hulun buir pasture land

1.2 数据源及预处理

气温、降水数据采用满洲里市、新巴尔虎右旗、新巴尔虎左旗、陈巴尔虎旗、海拉尔区、鄂温克旗 6 个气象台站 (图 1) 2001—2016 年的逐日气象观测数据。总辐射使用如下公式^[14] 计算获得:

$$S_s = S_a \times (a + b \times \frac{n}{N}) \quad (1)$$

式中: S_s 为总辐射; S_a 为地球外辐射, 由太阳常数、太阳磁偏角和日序求得; n 为实际日照时数, 使用 6 个气象观测站的实测资料; N 为根据台站所在纬度计算出的可照时数; a, b 为经验系数, 将海拉尔区辐射站 2005—2016 年的太阳总辐射实际观测值与同期地球外辐射 S_a 的比值作为因变量, 以日照百分率 (n/N) 作为自变量, 通过最小二乘法拟合出公式 (1) 中的 a, b , 拟合值分别为 0.387 和 0.293。

NDVI 采用 NASA 提供的 2001—2016 年 MOD13Q1 植被监测产品, 共获取植被生长季 (5—9 月) 影像 320 景, 影像空间分辨率为 250 m。MOD13Q1 是逐日 NDVI 通过最大值合成法 (MVC) 得到的植被产品, 可以保证像元值最大并减少云的影响, 使用专业处理软件 MRT 对同期影像数据进行投影、拼接和格

式转换, 统一采用双线性 (bilinear) 重采样方式和兰勃特投影 (Lambert azimuthal) 方式处理, 投影的中央经纬度设置为 (50°N, 120°E)。由于 NDVI 产品的时间分辨率为 16 d, 因此气候数据也按照每 16 d 为一期进行统计。以每年第 8 期 NDVI 影像为生长季始期, 第 17 期 NDVI 影像为生长季末期, 描述时将 16 d 近似看做半个月, 例如第 12 期 (6 月 26 日至 7 月 11 日) 近似为 7 月上半月 (简称 7 月上)。

1.3 研究方法

趋势线分析是通过计算每一个栅格上 NDVI 线性变化的倾向率, 来反映空间上植被的变化趋势和速度, 其计算公式如下:

$$a = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times \text{NDVI}_i) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (2)$$

式中: n 为研究期长度; NDVI_i 为第 i 年 NDVI 的值; a 为趋势线的倾向率, 当 $a > 0$ 时说明研究期内该地区的 NDVI 有增加趋势, 反之呈减少趋势^[16-17]。

2 结果与分析

2.1 植被的年际变化与气候变化的关系

2.1.1 植被的空间分布

图 2 为 2001—2016 年年最大 NDVI 的多年平均分布, NDVI 整体呈现由东向西依次递减分布。鄂温克旗东部和陈巴尔虎旗东部为林牧交错带, 植被覆盖度相对较高, 年 NDVI 最大值在 0.8 以上。鄂温克旗西部、陈巴尔虎旗西部、海拉尔区和新巴尔虎左旗东部以草甸草原为主, 年最大 NDVI 值为 0.6~0.8。新巴尔虎右旗、新巴尔虎左旗中西部、满洲里市以典型草原为主, 植被覆盖度偏低, 年最大 NDVI 为 0.2~0.6。

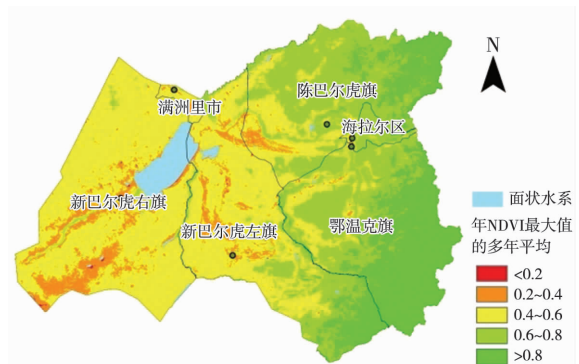


图 2 2001—2016 年年最大 NDVI 的多年平均
Fig. 2 The annual average of annual maximum NDVI from 2001 to 2016

2.1.2 植被的空间变化

利用趋势线法对 2001—2016 年呼伦贝尔草原年最大 NDVI 的变化[图 3(a)]进行分析,并对线性趋势进行显著性检验,根据是否达到 0.05 的显著性水平,将变化趋势分为 4 类:增加显著($R \geq 0.468$),增加不显著($0 < R < 0.468$),减少不显著($-0.468 < R < 0$),减少显著($R \leq -0.468$)[图 3(b)]。增加显著的面积占呼伦贝尔草原总面积的 35.2%,主要分布在新巴尔虎右旗西北部、新巴尔虎左旗中部、陈巴尔虎旗西部,其中新巴尔虎右旗西北部的倾向率在 $0.1 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 以上,其余为 $0.05 \cdot (10 \text{ a})^{-1} \sim 0.1 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,该区域 NDVI 整体呈增加趋势,植

被长势持续改善。增加不显著的面积占呼伦贝尔草原总面积的 60.8%,主要位于新巴尔虎右旗东南部、新巴尔虎左旗西部和东南部、陈巴尔虎旗中东部、鄂温克旗大部,NDVI 的变化倾向率为 $0 \cdot (10 \text{ a})^{-1} \sim 0.05 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。减少不显著区域占呼伦贝尔草原总面积的 4%,零星分布在陈巴尔虎旗、鄂温克旗、海拉尔区和满洲里市境内,变化倾向率多数为 $-0.05 \cdot (10 \text{ a})^{-1} \sim 0 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,少部分区域的倾向率小于 $-0.05 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。减少显著区域仅占呼伦贝尔草原总面积的 0.1%,集中分布在满洲里市和海拉尔区,该区域植被减少主要是由近年来的城市化、工业化建设进程加速使原有植被遭到破坏所造成。

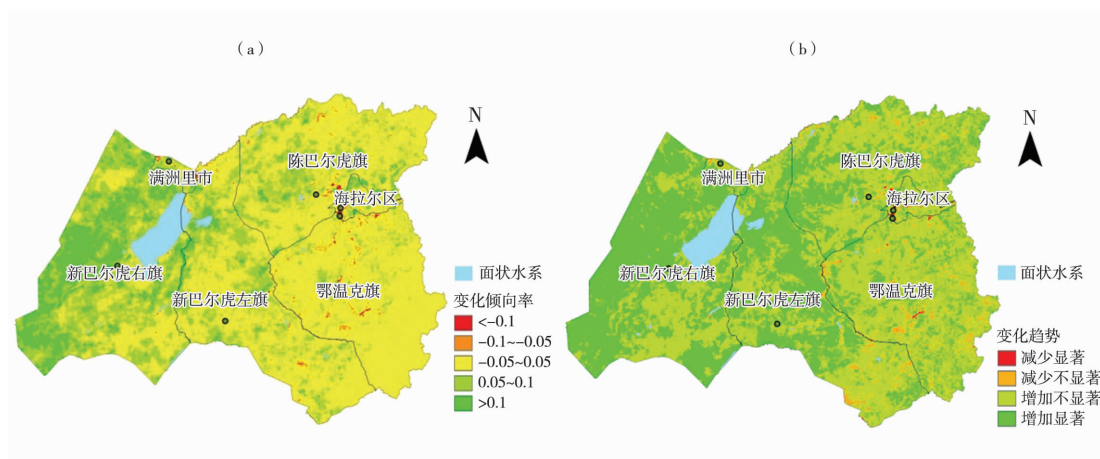


图 3 2001—2016 年 NDVI 的变化倾向率空间分布(a)及其显著性检验(b)

Fig. 3 The change rate of NDVI (a) and its significant test (b) from 2001 to 2016

2.1.3 植被和气象要素的年际变化

由呼伦贝尔草原 6 个气象台站的年最大 NDVI、年平均气温、年降水量和年总辐射的区域平均值变化(图 4)可知,2001—2016 年 NDVI 整体呈上升趋势,变化倾向率为 $0.041 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$;平均气温总体呈下降趋势,气候倾向率为 $-0.4 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$;年降水量总体呈上升趋势,倾向率为 $65.8 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$;年总辐射呈上升趋势,气候倾向率为 $22.18 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。但均未通过 0.05 的显著性水平。

2.1.4 植被对气候年际变化的响应

2001—2016 年区域年最大 NDVI 与区域年平均气温、降水量、总辐射做相关及偏相关分析,年最大 NDVI 与年降水量的相关系数为 0.689,偏相关系数为 0.656,均通过 0.01 的显著性水平;年最大 NDVI 与年平均气温和总辐射的相关系数和偏相关系数均未通过显著性检验。说明在年际尺度上,降水对呼伦贝尔草原 NDVI 起决定性作用,良好的水分条件增大了植被的生长势,使植被生长更加迅速。

2.2 年内生长季植被变化与气候变化的关系

2.2.1 生长季植被和气象要素变化特征

从呼伦贝尔草原生长季 NDVI 最大值的多年区域平均变化[图 5(a)]可以看出,5 月上至 7 月下,植被指数逐渐增加,主要是因为牧草 5 月开始全面返青,处于快速生长阶段;8 月上半月 NDVI 达到一年中的峰值,之后随着气温转凉、降水减少,牧草逐渐停止生长,并快速进入黄枯期。

呼伦贝尔草原生长季呈现雨热同期的气候特征,5 月上区域内台站的平均气温为 $9.9 \text{ } ^\circ\text{C}$,之后缓慢上升,6 月下至 8 月上平均气温维持在 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 以上,之后气温开始下降[图 5(b)];5 月上半月的降水量为 40.0 mm ,7 月上降水量达到峰值为 114.9 mm ,之后又开始缓慢下降[图 5(c)];总辐射的分布与气温和降水略有不同,最高值在 5 月下半月出现,为 $5724.2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$,受降水增多、降水云系遮挡日照影响,5 月下至 7 月下的总辐射一直处于波动状态,8 月上开始缓慢下降[图 5(d)]。

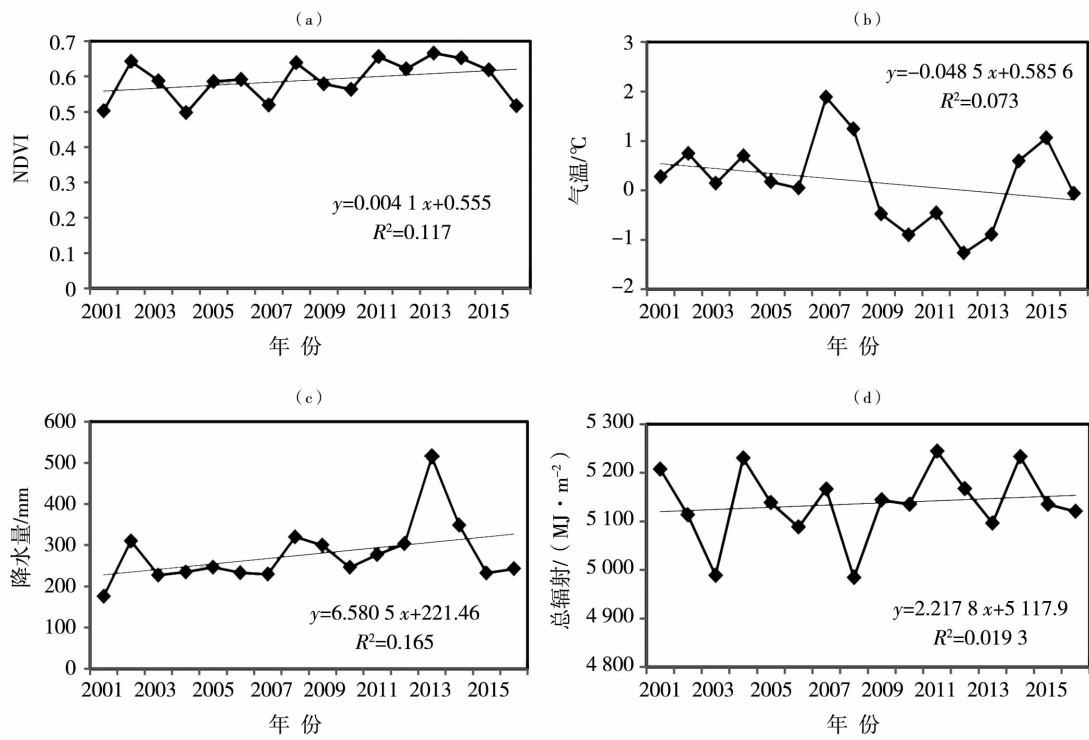


图4 2001—2016年区域年最大NDVI(a)、年平均气温(b)、年降水量(c)、年总辐射(d)的年际变化

Fig.4 The inter-annual change of annual maximum NDVI (a), annual mean temperature (b), annual precipitation (c) and annual total radiation(d) from 2001 to 2016

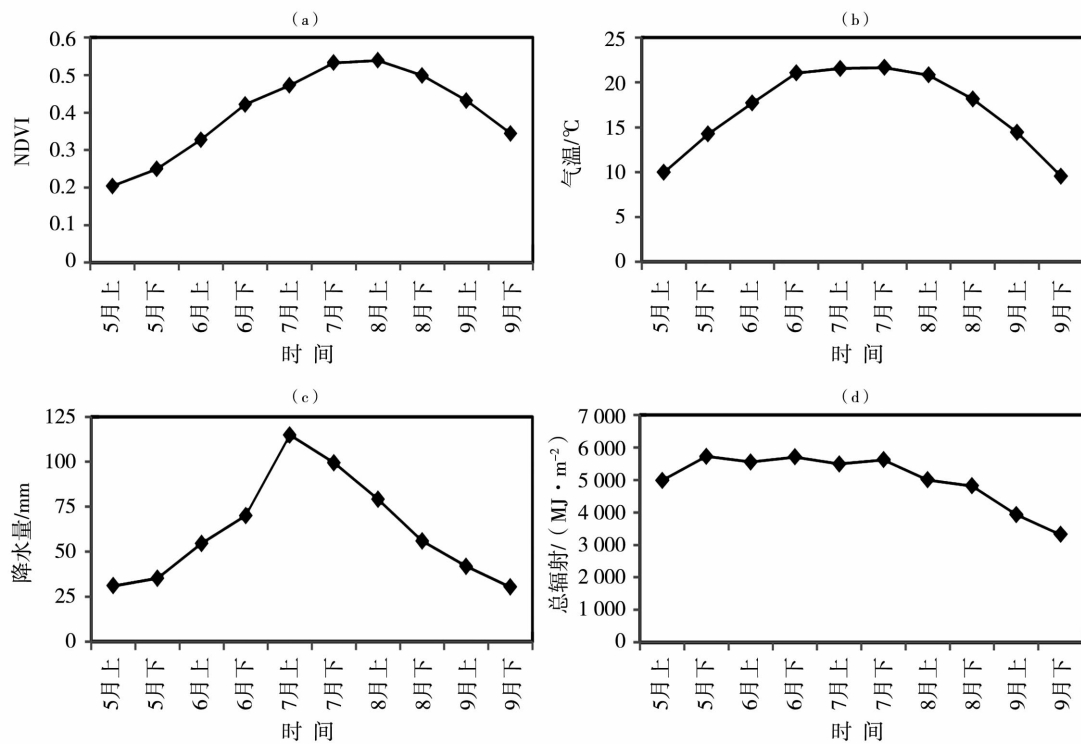


图5 2001—2016年生长季内呼伦贝尔草原平均最大NDVI(a)、平均气温(b)、降水量(c)、总辐射(d)的月际变化

Fig.5 Monthly changes of mean maximum NDVI (a), mean temperature (b), precipitation (c) and total radiation (d) in Hulunbuir pasture land during the growing season from 2001 to 2016

2.2.2 植被对气象要素变化的响应

气象要素对植被生长的影响主要表现在对其季节韵律的控制上,分析气象要素与植被生长之间的关系,能更好地解释植被在不同生长时期主要受哪些气象要素影响。以 6 个气象台站为中心建立 10 km 缓冲区,分别统计缓冲区内的平均 NDVI,以及 6 个气象台站监测同期和前 1 期(前 1~16 d)、前 2 期(前 16~32 d)、前 3 期(前 32~48 d)、前 4 期(前 48~60 d)的平均气温、降水量和总辐射,并分站点进行相关性分析。各半月通过 0.05 或 0.01 显著性水平的台站数量如表 1 所示。

5 月呼伦贝尔草原 NDVI 与气温普遍呈正相关,6 月开始逐渐转为负相关。5 月上陈巴尔虎旗、满洲里市和新巴尔虎右旗的 NDVI 与监测同期或前 1 期的气温呈显著或极显著正相关,5 月下陈巴尔虎旗的 NDVI 与监测前 1 期气温呈显著正相关。6 月上各台站 NDVI 与气温均无显著相关。6 月下至 7 月上只有满洲里市 NDVI 与监测同期或前 1 期气温呈显著负相关。7 月下除陈巴尔虎旗外所有台站 NDVI 与监测同期的气温均呈现显著或极显著负相

关。8 月上至 9 月下,各台站陆续有 NDVI 与气温的显著或极显著负相关出现,且滞后时间逐渐增加,但从达到显著或极显著的台站数量来看,主要集中在监测前 1 期。从以上分析可以看出,NDVI 与温度的正相关主要出现在牧草生长初期,这是因为牧草生长初期的热量条件普遍不足,温度对牧草生长的限制作用明显,而在牧草生长中后期,热量条件可以满足生长需要,且由于温度偏高时降水也相对偏少,NDVI 与温度的关系转为以负相关为主。

呼伦贝尔草原 NDVI 与降水普遍呈正相关。5 月下海拉尔区、鄂温克旗和满洲里市 NDVI 与监测同期的降水呈显著或极显著正相关。6 月上至 9 月下,各台站均有 NDVI 与降水的显著或极显著正相关出现,从台站数量来看,主要集中在监测前 1 期和前 2 期,植被对降水的响应存在明显滞后。NDVI 与降水的显著正相关主要出现在牧草生长的中后期,呼伦贝尔草原冬季积雪在春季融化,保证了土壤墒情可以满足牧草返青的需要,因而水分不足对植被的影响主要体现在牧草生长的中后期。

表 1 呼伦贝尔草原各半月 NDVI 与平均气温、降水量、总辐射
相关系数通过 0.05 及 0.01 显著性水平的台站数

Tab. 1 The number of stations of correlation coefficients passing the 0.05 and 0.01 significance level between NDVI and the average temperature, precipitation, total radiation in Hulunbuir pasture land every half month

气象要素	5月上	5月下	6月上	6月下	7月上	7月下	8月上	8月下	9月上	9月下
T_{NDVI-0}	1/3			0/-1		-3/-5		0/-1	0/-1	
T_{NDVI-1}	0/1	0/1			0/-1		-3/-3	-2/-3	-1/-3	0/-1
T_{NDVI-2}							0/-3	-2/-3	0/-1	0/-1
T_{NDVI-3}								-1/-3	-2/-3	
T_{NDVI-4}									-1/-3	-1/-3
R_{NDVI-0}		1/3	0/1	0/1	1/5	0/1	0/2	0/1		0/2
R_{NDVI-1}			1/5	3/6	2/4	4/6	1/4	4/5	2/2	
R_{NDVI-2}			0/2	1/2	5/6	1/2	0/3	2/3	3/4	4/4
R_{NDVI-3}						1/5	1/1		0/2	1/1
R_{NDVI-4}							0/1		1/1	1/1
S_{NDVI-0}			0/1					0/-1		
S_{NDVI-1}	0/2	0/1		0/1		0/-2	-1/-3	0/-3	0/-2	
S_{NDVI-2}	0/1	2/4			0/-1		0/-1	0/-1	-1/-4	-2/-2
S_{NDVI-3}			0/3						0/-1	0/-1
S_{NDVI-4}				0/2						-1/-1

注:“/”左右两侧分别代表通过 0.01、0.05 显著性水平的台站数,正值为正相关台站数,负值为负相关台站数。

T_{NDVI-0} 、 T_{NDVI-1} 、 T_{NDVI-2} 、 T_{NDVI-3} 、 T_{NDVI-4} 分别表示监测同期、监测前 1 期、前 2 期、前 3 期、前 4 期气温,其余类推。

呼伦贝尔草原 NDVI 与总辐射的相关性同气温类似,5—6 月普遍呈现正相关,7 月开始逐渐转为负相关。5 月上和 5 月下满洲里市、陈巴尔虎旗、海拉尔区和鄂温克旗的 NDVI 指数与监测前 1 期的总辐射呈显著或极显著正相关,表明总辐射与呼伦贝尔草原北部的牧草返青和初期生长关系密切,但与气温相比稍有滞后。牧草生长中后期由于降水与辐射的相互影响,各台站均有 NDVI 与总辐射的显著或极显著负相关出现,从达到显著或极显著负相关的台站数量来看,主要集中在监测前 1 期和前 2 期。

图 6 为不同台站 NDVI 与监测同期、前 1 期、前 2 期、前 3 期、前 4 期的平均气温、降水量和总辐射达到显著相关的次数。NDVI 与平均气温的显著正相关仅存在于位置偏北的满洲里市和陈巴尔虎旗,其余台站均为显著负相关,结合呼伦贝尔草原的气温分布情况,说明温度对呼伦贝尔草原的限制作用随纬度的增加而增强,北部草原生长初期的热量条件更显不足;NDVI 与降水的显著正相关在满洲里市出现次数最多,典型草原的出现次数明显多于草甸草原,且由于呼伦贝尔草原的降水量自东向西依次递减,说明典型草原受降水影响更加明显;NDVI 与总辐射的显著正相关在海拉尔区出现最多,大致呈现出由北向南依次递减的分布,新右旗 NDVI 与总辐射无显著正相关。

2.2.3 植被与气象要素的关系模型

根据生长季内各半月 NDVI 与气象要素的相关性,运用 SPSS 软件提供的逐步回归方法,建立不同时期 NDVI 指数与各时段气象要素的综合关系模型,

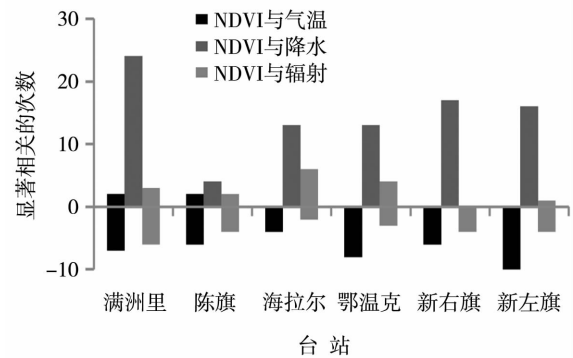


图 6 各台站 NDVI 与平均气温、降水、总辐射相关系数通过 0.05 显著性水平的次数 (正相关次数为正,负相关次数为负)

Fig. 6 The frequency of the correlation coefficients passing the 0.05 significance level between NDVI and mean temperature, precipitation and total radiation of each station, respectively (positive value for positive correlation frequency, negative value for negative correlation frequency)

如表 2 所示。

从表 2 中可以看出 6 月上、6 月下和 9 月下 NDVI 与气象要素建立的回归方程的相关系数不足 0.7,显著性水平较差,但也通过了 0.01 的显著性水平。其他时间段回归方程的显著性相对较好,7 月上的显著性水平最高,达到 0.932。关系模型的建立表明,在一定的时间段内,呼伦贝尔草原的植被长势可以用气象要素变化来进行估算或预测。

表 2 呼伦贝尔草原不同时段 NDVI 指数与气象要素的关系模型

Tab.2 The regression equation between NDVI and meteorological elements at different periods in Hulunbuir pasture land

时间	回归方程	相关系数
5 月上	$NDVI = 0.00256T_{NDVI-0} + 0.002120T_{NDVI-1} + 0.00022S_{NDVI-1} + 0.119$	0.817 **
5 月下	$NDVI = 0.00058R_{NDVI-0} + 0.001540S_{NDVI-2} - 0.202$	0.809 **
6 月上	$NDVI = 0.00066R_{NDVI-0} + 0.00180S_{NDVI-3} - 0.208$	0.697 **
6 月下	$NDVI = 0.00231R_{NDVI-1} + 0.372$	0.675 **
7 月上	$NDVI = 0.00254R_{NDVI-1} + 0.001380R_{NDVI-2} + 0.387$	0.932 **
7 月下	$NDVI = -0.0169T_{NDVI-0} + 0.001120R_{NDVI-1} + 0.001140R_{NDVI-3} + 0.827$	0.853 **
8 月上	$NDVI = -0.0186T_{NDVI-1} + 0.007240R_{NDVI-1} - 0.001350S_{NDVI-1} + 1.394$	0.796 **
8 月下	$NDVI = 0.00164R_{NDVI-1} - 0.000270R_{NDVI-2} - 0.00157S_{NDVI-2} + 0.969$	0.871 **
9 月上	$NDVI = -0.0128T_{NDVI-4} + 0.0006791R_{NDVI-3} - 0.001259S_{NDVI-2} + 1.103$	0.850 **
9 月下	$NDVI = -0.00608T_{NDVI-2} - 0.00086S_{NDVI-2} - 0.000765S_{NDVI-3} + 0.985$	0.681 **

注:“**”代表通过 0.01 的显著性水平。

3 结 论

(1) 2001—2016年,呼伦贝尔草原的NDVI整体呈上升趋势,平均倾向率为 $0.041 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。增加显著的区域主要位于新巴尔虎右旗西北部、新巴尔虎左旗中部和陈巴尔虎旗西部;呼伦贝尔草原NDVI增加显著和增加不显著的面积共占呼伦贝尔草原总面积的96%,植被环境的改善较为明显。

(2) 呼伦贝尔草原NDVI的年变化主要受降水驱动,与气温和总辐射的相关性较小。生长季内,北部气象站5月气温和5—6月总辐射与NDVI呈显著正相关,热量与辐射条件在北部牧草返青和生长初期有一定限制作用,随后NDVI与气温、总辐射的关系逐渐转为负相关。NDVI与降水普遍呈正相关,5月下旬有正相关达到显著的台站出现,7至8月达到显著的台站数量最多。NDVI对降水的响应存在滞后,且典型草原出现显著或极显著相关的台站次数明显多于草甸草原,典型草原受降水影响更加明显。

(3) NDVI与气象要素建立的回归方程均通过0.01的显著性水平。除6月上、6月下和9月下外相关系数均超过0.7,表明呼伦贝尔草原的植被长势可以用气象要素的变化进行估算或预测。

参考文献:

- [1] 范微维,易桂华,张廷斌,等. 黄河源区玛多县2000—2014年NDVI变化及气候因子驱动[J]. 水土保持通报,2017,37(1):13-18.
- [2] 沙沙,郭锐,李耀辉,等. 三套NDVI长时间序列植被指数的对比——以玛曲为例[J]. 干旱气象,2013,31(4):657-665.

- [3] 周秉荣,朱生翠,李红梅. 三江源区植被净初级生产力时空特征及对气候变化的响应[J]. 干旱气象,2016,34(6):958-965.
- [4] 范瑛,李小雁,李广泳. 基于遥感数据的内蒙古草原灌丛物候变化研究[J]. 干旱气象,2014,32(6):902-908.
- [5] 孙小龙,刘朋涛,李平. 近三十年来锡林郭勒草原植被NDVI指数动态分析[J]. 中国草地学报,2014,36(6):23-28.
- [6] 侯美亭,赵海燕,王笋,等. 基于卫星遥感的植被NDVI对气候变化响应的研究进展[J]. 气候与环境研究,2013,18(3):353-364.
- [7] 吕洋,董国涛,杨胜天,等. 雅鲁藏布江流域NDVI时空变化及其与降水和高程的关系[J]. 资源科学,2014,36(3):603-611.
- [8] 刘芳,张红旗,董光龙,等. 伊犁河谷草地植被NDVI变化及其降水敏感性特征[J]. 资源科学,2014,36(8):1724-1731.
- [9] 白淑英,王莉,史剑桥. 长江流域NDVI对气候变化响应的时滞效应[J]. 中国农业气象,2012,33(4):579-586.
- [10] 何月,樊高峰,张小伟,等. 浙江省植被NDVI动态及其对气候的响应[J]. 生态学报,2012,32(14):4352-4362.
- [11] 张景华,封志明,姜鲁光,等. 澜沧江流域植被NDVI与气候因子的相关性分析[J]. 自然资源学报,2015,30(9):1425-1435.
- [12] 王希平,赵慧颖. 内蒙古呼伦贝尔市林牧业气候资源与区划[M]. 北京:气象出版社,2006:9-12.
- [13] 曲学斌,吴昊. 呼伦贝尔市53年气候变化特征分析[J]. 水土保持研究,2014,21(1):178-182.
- [14] 袁淑杰,李钰春,向乐,等. 起伏地形下四川省太阳直接辐射时空分布特征[J]. 干旱气象,2016,34(1):20-25.
- [15] 刘世梁,田韞钰,尹艺洁,等. 云南省植被NDVI时间变化特征及其对干旱的响应[J]. 生态学报,2016,36(15):4699-4707.
- [16] 年雁云,王晓利,蔡迪花. 黑河流域下游额济纳三角洲气候及生态环境变化分析[J]. 干旱气象,2015,33(1):28-37.
- [17] 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.

Temporal and Spatial Variation of NDVI in Hulun Buir Grassland and its Response to Climate Change

QU Xuebin^{1,2}, SUN Xiaolong³, FENG Jianying¹, FAN Xuesong²

- (1. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China;
2. Hulun Buir Meteorological Bureau of Inner Mongolia, Hulun Buir 021008, Inner Mongolia, China;
3. Inner Mongolia Ecology and Agro-Meteorology Center, Hohhot 010051, China)

Abstract: In order to study temporal and spatial variation of NDVI and its response to climate in Hulun Buir grassland, MODIS NDVI and meteorological data had been analyzed during 2001-2016. The results showed that NDVI was raising at a rate of $0.041 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ in Hulun Buir grassland, the northwest of Xin Barag Right Banner, the central Xin Barag Left Banner and the western of Prairie Chenbarhu Banner it increased remarkably. The annual variation of NDVI was driven mainly by precipitation, and there was a significant correlation between them. During the growth season, the temperature in May and the total radiation from May to June were positively correlated with NDVI, and some of them had achieved significant or very significant level in the northern grasslands, but later they gradually became negative correlation. NDVI was common positively correlated with precipitation, and the correlation began to reach significant level in some stations in May, especially in more and more stations in July, and there was an obvious lag. During the growth season, the number of stations with a significant positive correlation between NDVI and precipitation in typical grassland were more than that of stations in meadow grassland.

Key words: NDVI; Hulun Buir grassland; temporal and spatial variation; climate response