

中蒙两国中部边界草原区近 30 a 气候与植被变化特征

萨日盖¹, 马秀枝¹, 韩晓荣¹, 梁 蕾¹, 朝 宝¹, 李小梅², 刘爱业²

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 乌拉特前旗农牧和科技局, 内蒙古 乌拉特前旗 014400)

摘 要: 中蒙两国草原区域毗邻, 但受气候变化、国家有关草原管理政策以及社会因素等影响, 两国生态环境质量存在着一定的差异。本文基于 1982—2015 年中蒙两国中部边界草原区域植被动态以及同一区域气候变化数据, 探究影响中蒙两国生态环境差异的主要驱动因子。结果表明: 中蒙中部边界草原区域年际 NDVI 均值增长趋势达到极显著水平 ($P < 0.01$)。1982—2015 年中国的 NDVI 值均高于蒙古国。夏季、春季和冬季 NDVI 均呈增长趋势, 秋季 NDVI 呈降低趋势, 其中最大值出现在夏季, 最小值出现在冬季, 两国草原区域 NDVI 趋势波动相似。1989—2018 年间中蒙中部边界草原区域年均气温均呈增长趋势, 中国变化幅度高于蒙古国。两国研究区最高年平均气温分别为中国 7.4 °C、蒙古国 6.9 °C; 中国年极端最高气温和年极端最低气温均高于蒙古国, 变化幅度中国高于蒙古国。气温与 NDVI 变化具有显著正相关关系。1989—2018 年中蒙中部边界草原区域年均降水量呈增长趋势, 中国的多年平均降水量高于蒙古国, 两国趋势变化速率中国高于蒙古国。中蒙中部边界草原区域降水量均与 NDVI 变化呈极显著正相关关系。降水量对中蒙中部边界草原区域 NDVI 的影响大于气温, 是 NDVI 变化的主要影响因子。1982—2015 年中蒙中部边界草原区域 NDVI 总体增长趋势显著, 草原覆盖状况改善明显。

关键词: 中国; 蒙古国; 边境草原区; 气候变化; 植被指数

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1007-4066(2022)02-47-08

Variation Characteristics of Climate and Vegetation in The Grassland Area of Central Boundary of China and Mongolia for Recent 30 Years

Sarigai¹, MA Xiu-zhi¹, HAN Xiao-rong¹, LIANG Lei¹, Chaobao¹, LI Xiao-mei², LIU Ai-ye²

(1. Forestry College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Urad Front Banner Bureau of Agriculture, Animal Husbandry, Science and Technology, Inner Mongolia, Urad Front Banner 014400, China)

Abstract: Grassland areas of China and Mongolia are adjacent to each other, but there are some differences in ecological environment quality between the two countries, which may be affected by climate change, national grassland management policies and social factors. Based on the vegetation dynamics and climate change data of the grassland area in the central boundary of China and Mongolia from 1982 to 2015, this paper explored the main driving factors affecting the differences in ecological environment between China and Mongolia. The results showed that the mean annual NDVI increased significantly in the grassland regions ($P < 0.01$). From 1982 to 2015, the NDVI value in China was higher than that in Mongolia. NDVI increased in summer, spring and winter, and decreased in autumn. The maximum mean value appeared in summer and the minimum value appeared in winter. There was similar NDVI trend fluctuation of grassland areas in China and Mongolia. From 1989 to 2018, the average annual temperature in the grassland area of the central boundary of China and Mongolia showed an increasing trend, and the variation range in China was higher than that in Mongolia. The maximum annual average temperature was 7.4°C in China and 6.9°C in Mongolia. Both annual extreme maximum temperature and annual extreme minimum temperature in China were higher than those in Mongolia, and the variation range was higher in China than that in Mongolia. There was a significant positive correlation between air temperature and NDVI. From 1989 to 2018, the average annual precipitation in grassland area of China and Mongolia showed an increasing trend. The average annual precipitation in China was higher than that in Mongolia, and the trend change rate in China was higher than that in

收稿日期: 2021-12-22

修回日期: 2022-04-08

资助项目: 内蒙古自治区研究生科研创新项目(B20210167Z)

作者简介: 萨日盖(1995—), 女(蒙古族), 内蒙古锡林郭勒人, 研究生, 从事全球变化生态学研究。E-mail: 2821013362@qq.com

通讯作者: 马秀枝(1974—), 女, 内蒙古呼和浩特人, 教授, 从事全球变化生态学研究。E-mail: luckmxy@imau.edu.cn

Mongolia. There was a significant positive correlation between precipitation and NDVI change in the studying grassland area of China and Mongolia. Precipitation had a greater impact on NDVI than air temperature, which was the main influencing factor of NDVI change. From 1982 to 2015, the overall growth trend of NDVI in the central boundary of China and Mongolia was significant, and the grassland coverage improved significantly.

Key words: China; Mongolia; border grassland area; climate change; vegetation index

全球气候变化造成的生态系统失衡以及气候环境灾害已引起全世界对生态环境的广泛关注^[1-2]。气候变化通过气温和降水对陆地生态系统植被的生长、光合、蒸腾作用等生理过程产生重大影响。植被作为陆地生态系统的重要组成部分,是大气与土壤联系的主要纽带,并在调节区域气候、维持生态系统平衡与稳定等方面发挥着重要作用^[3]。植被指数作为反应植被状况的重要指标,不仅可以全面反映地表植被的生长状态、植被覆盖度,也可以对水土流失和荒漠化的发生进行预警。植被对于气温和降水等气候变化较为敏感。水热条件通过影响地表植被的生长和空间分布,从而使植被生长展现出一定的规律性。研究气温和降水与植被指数之间的关系,可以测算植被的动态变化状况以及气候变化对生态环境的影响,有利于评估气候变化对植被生长的影响以及植被对气候变化的反应,为气候变化背景下植被管理提供理论依据^[4-7]。

蒙古国作为我国北部重要的邻国,其气候变化和植被指数影响着两国的生态环境和可持续发展。

本文选择中蒙两国中部边界草原区域各 5 个研究样点,对比分析了近 30 a 来中蒙两国相邻区域的气候及植被变化,探讨影响植被变化的主要影响因子,分析气温和降水对两国生态环境变化的贡献率,揭示气候变化以及植被变化的特征和规律^[8],以期为研究区草原生态系统的适应性管理、植被恢复以及社会经济可持续发展提供重要的参考依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区域

本研究选择中国内蒙古自治区北部区域和蒙古国南部区域各 5 个气象站点,共计 10 个站点,气象站点相关信息见表 1。中国研究区站点包括阿巴嘎旗、二连浩特市、苏尼特右旗、东乌珠穆沁旗和乌拉特中旗,研究区域总面积为 $1.2 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。蒙古国研究区站点包括赛音山达盟(Saynshand)、曼德勒戈壁盟(Mandalgovi)、达兰扎德嘎德盟(Dalanzadgad)、乔巴山盟(Choybalsan)和西乌尔特盟(Baruun-Urt),研究区域总面积为 $3.1 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 。

表 1 中蒙两国中部边界草原区域研究区站点位置

Tab.1 Location of sample sites in adjacent grassland areas of China and Mongolia

国家	研究区	纬度	经度	海拔/m	面积/hm ²
中国	阿巴嘎旗	43°04'35"—45°26'15"N	113°27'27"—116°10'30"E	1 250	2 749 500
	二连浩特市	42°56'39"—43°48'05"N	111°21'10"—112°26'35"E	993	401 510
	苏尼特右旗	42°45'52"—45°05'42"N	111°24'26"—115°08'52"E	1 114	2 230 000
	东乌珠穆沁旗	44°40'59"—46°04'27"N	115°06'29"—119°56'57"E	1 059	4 755 400
	乌拉特中旗	41°07'24"—42°27'34"N	107°18'01"—109°43'20"E	1 315	2 309 600
蒙古国	赛音山达盟	44°34'20"—45°32'04"N	110°06'23"—111°56'26"E	961	230 000
	曼德勒戈壁盟	45°22'25"—46°04'39"N	105°48'48"—106°05'58"E	1 395	1 100
	达兰扎德嘎德盟	43°20'39"—43°37'02"N	104°18'12"—104°40'29"E	1 470	47 600
	乔巴山盟	47°58'03"—48°09'26"N	114°21'16"—114°42'29"E	747	28 100
	西乌尔特盟	46°20'20"—47°33'50"N	112°20'39"—114°54'04"E	981	5 900

1.2 数据来源

本研究选取了中蒙两国中部边界线的 10 个国家气象站的气象数据,并进行归一化植被指数(NDVI)数据。中国气象数据是由中国气象数据共享服务系统提供,该数据集时间跨度为 1989—2018 年。蒙古国气象数据来源于蒙古国统计网站(<https://en.nso.mn/>)以及蒙古国统计年鉴信息,时间跨度为 1989—2018 年。两国研究区归一化植被指数数据是由美国国家航空航天局(NASA)最新提

供的第三代 NDVI 数据集(GIMMS NDVI3g V1.0)。该数据集时间跨度为 1982—2015 年,时间分辨率为 15 d,空间分辨率为 8 km。

2 数据处理

2.1 归一化植被指数

归一化植被指数经过几何精校正、辐射校正、大气校正、图像增强等预处理。使用 Matlab 对 GIMMS NDVI3g 数据进行格式转换、图像镶嵌、图像裁剪、

Albers 等面积投转换等处理,形成中蒙两国研究区的 NDVI 时空数据集。用最大值合成法(MVC, Maximum Value Composites)对 GIMMS NDVI3g 序列数据进行合成处理,提取 1982—2015 年中蒙两国研究区的 NDVI 值。

2.2 降水距平百分率计算

降水距平百分率能直观反映降水异常引起的干旱,是表征某时段降水量较常年同期值偏多或偏少的重要指标之一,同时也是气象干旱评估的主要参数之一。降水距平百分率采用如下计算公式:

某时段降水距平百分率(P_a) 计算:

$$P_a = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 为某时段降水量; \bar{P} 为计算时段同期气候平均降水量。

某时段同期气候平均降水量(\bar{P}) 计算:

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

式中: P_i 为时段 i 时的降水量 n 为 1~30 年 $i=1, 2, \dots, n$ 。

此外,本研究运用 Excel 2010 对数据进行整理,使用 Origin 2010 进行图形绘制。采用 SAS 9.4、SPSS 23 进行 NDVI 与气温、NDVI 与降水之间的相关性分析。

3 结果与分析

3.1 中蒙两国研究区植被指数动态

由图 1 可见,中蒙两国研究区归一化植被指数均呈增长趋势,两国研究区 NDVI 呈极显著正相关(0.731**),1982—2015 年两国研究区 NDVI 变化范围分别为中国 0.18~0.21、蒙古国 0.15~0.19,平均值分别为 0.19 和 0.16。1982—2015 年,中国最小值为 0.176(1989 年),最大值达 0.213(2012 年);蒙古国平均值为 0.160,最小值为 0.147(2004 年),最大值达 0.188(2012 年)。同一时期的蒙古国研究区 NDVI 增长速率相比中国研究区 NDVI 增长速率要高,中国研究区 NDVI 整体高于蒙古国。

1982—2015 年,两国研究区四季 NDVI 均呈增长趋势(图 2),季节之间 NDVI 差异极显著($P < 0.01$),中国的差异指数春季为 0.157 4、夏季为 0.299 7、秋季为 0.199 3、冬季为 0.103 4,蒙古国的差异指数春季为 0.135 2、夏季为 0.245 5、秋季为 0.169 0、冬季为 0.095 6。各季节中,中国研究区 NDVI 均值高于蒙古国,中蒙中部边界草原区域 NDVI 波动趋势相似。

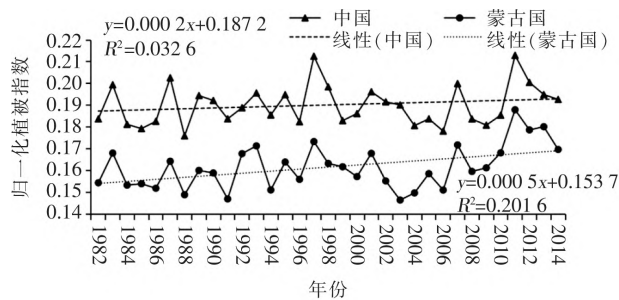


图1 中蒙两国研究区 1982—2015 年植被动态变化

Fig.1 Dynamic change of vegetation in the studying area of China and Mongolia from 1982 to 2015

春季,NDVI 的波动变化不是很明显,但可以看出两国研究区的 NDVI 呈增长趋势。中国研究区 NDVI 最大值为 0.171(2014 年),NDVI 最小值为 0.142(1987 年)。蒙古国研究区 NDVI 最大值为 0.153(2013 年),最小值为 0.122(1987 年)。

夏季,NDVI 的波动变化很明显,NDVI 均呈增长趋势,两国研究区 NDVI 值差异明显。中国最大值为 0.377(2012 年),最小值为 0.261(2007 年)。蒙古国最大值为 0.317(2012 年),最小值为 0.204(2007 年)。蒙古国夏季研究区 NDVI 增长速率高于中国。

秋季,NDVI 的波动变化比较明显,中国研究区 NDVI 呈减少趋势,蒙古国研究区 NDVI 呈增长趋势。中国均值为 0.199,最大值 0.229(1998 年),最小值为 0.174(2010 年)。蒙古国均值为 0.169,最大值为 0.196(2012 年),最小值为 0.145(1992 年)。

冬季,NDVI 的波动变化不明显,两国研究区均呈降低趋势。中国研究区 NDVI 多年平均值为 0.103,最小值为 0.086(2003 年),最大值为 0.131(1984 年)。蒙古国研究区 NDVI 多年平均值为 0.096,最小值为 0.079(2003 年),最大值为 0.121(1984 年)。中国研究区 1982—2015 年各年份 NDVI 值均高于蒙古国,但蒙古国增长速率高于中国。

3.2 中蒙两国研究区气温的年际动态

3.2.1 中蒙两国研究区年平均气温变化特征

中蒙两国研究区年平均气温变化趋势总体呈增长状态(图 3),其中中国二连浩特市的气温变化幅度最大,从 1989 年的 3.9℃ 上升到了 2018 年的 5.8℃,30 a 间上升了 1.9℃。蒙古国达兰扎德嘎德盟的气温变化幅度最小,由 1989 年的 5.5℃ 上升到了 2018 年的 5.6℃,30 a 间仅上升了 0.1℃。中国苏尼特右旗、乌拉特中旗显著高于中国其他 3 个样点,蒙古国达兰扎德嘎德盟显著高于蒙古国其他 4 个样点,中国 5 个样点年平均气温高于蒙古国 5 个样点。

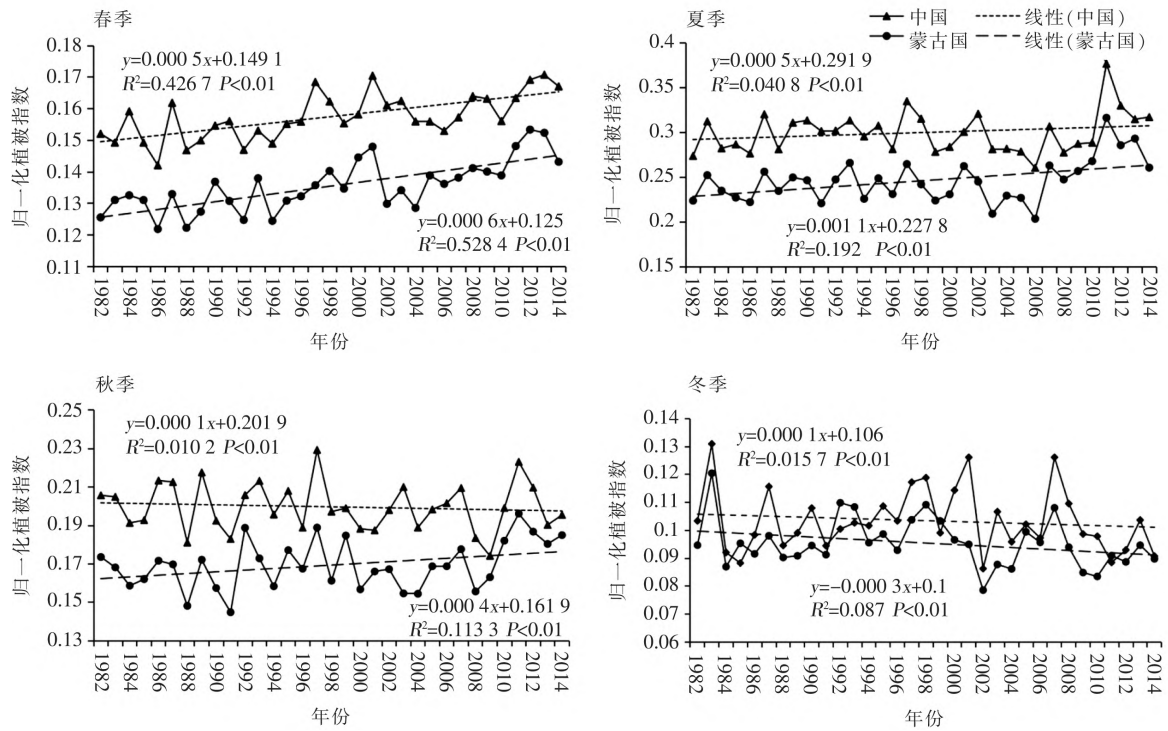


图2 中蒙两国研究区植被指数的四季变化规律

Fig.2 Seasonal variation of vegetation index in the studying area of China and Mongolia

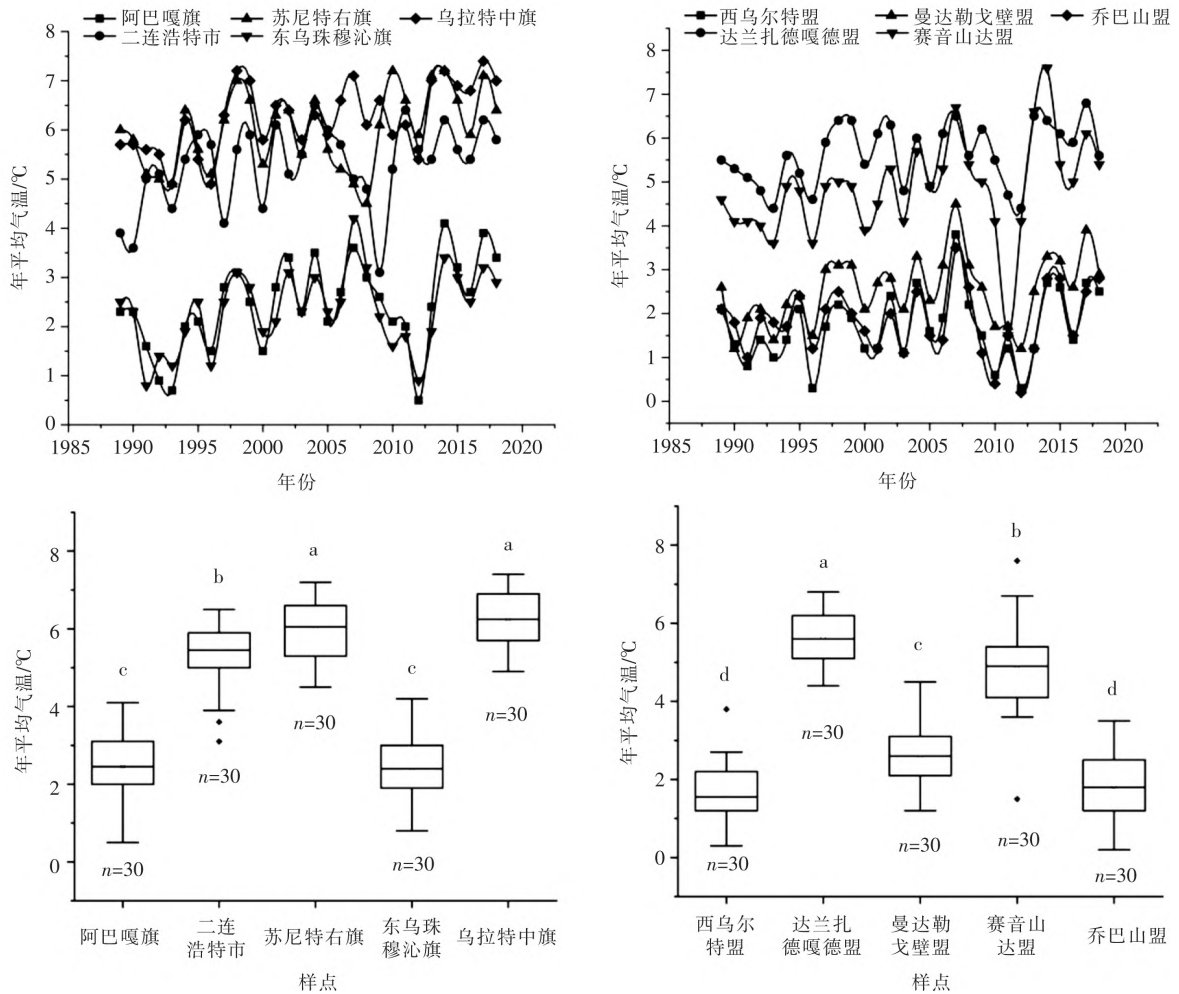


图3 中蒙两国研究区年平均气温

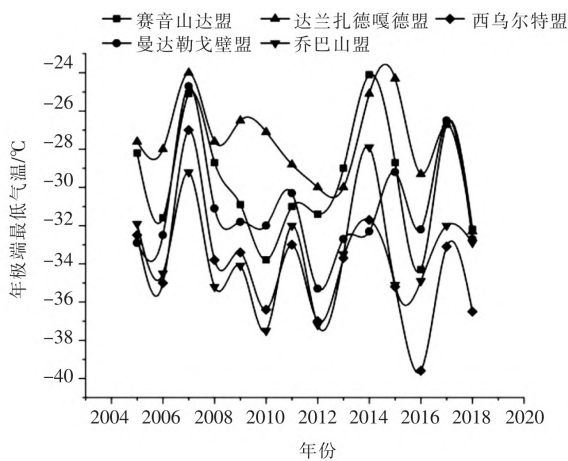
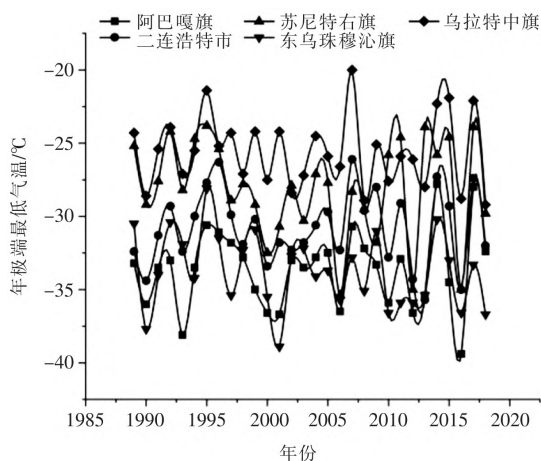
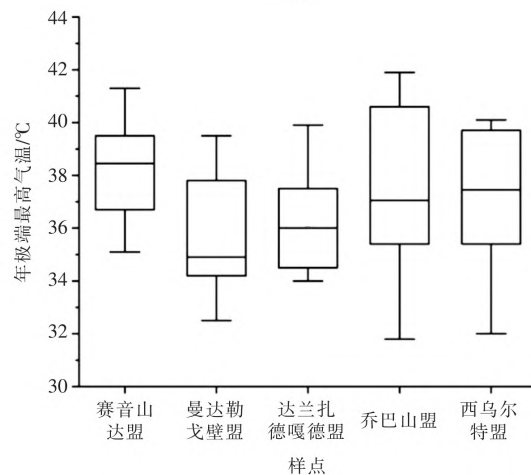
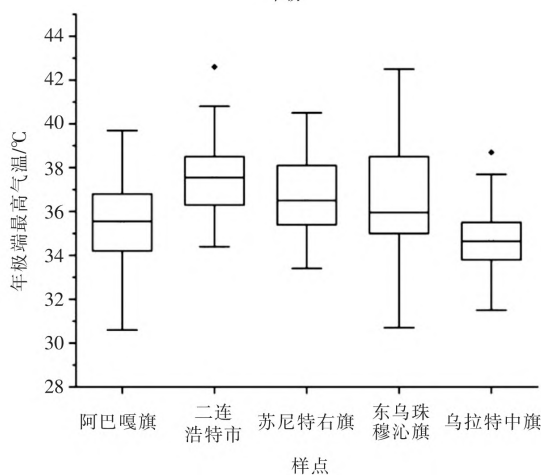
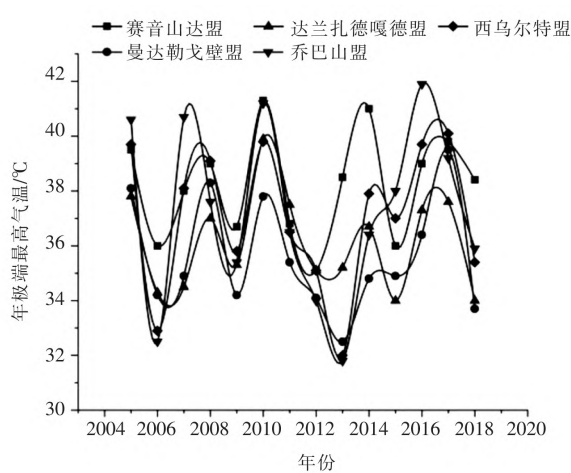
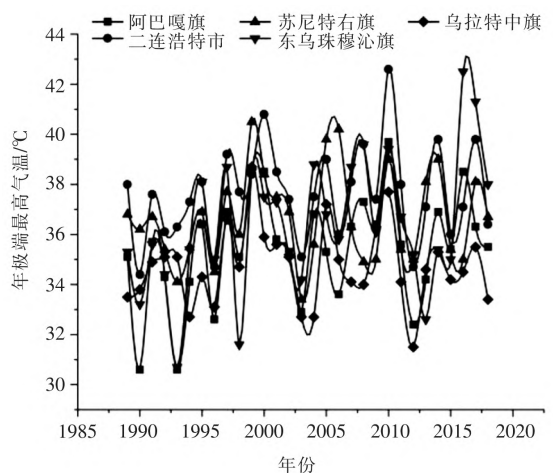
Fig.3 Annual mean temperature in the studying area of China and Mongolia

3.2.2 中蒙两国研究区年极端气温变化特征

中蒙两国研究区年极端最高气温变化趋势总体呈下降状态(图 4), 其中中国东乌珠穆沁旗的年极端最高气温变化呈上升状态, 中蒙两国研究区多年年极端高温范围分别为 30.6~42.6 °C 和 32.5~41.9 °C。中国研究区最弱年极端最高气温出现于 1993 年的阿巴嘎旗, 最强年极端最高气温出现于 2010 年的二连浩特市。蒙古国研究区最弱年极端最高气温出现于 2013 年的曼达勒戈壁盟和 2006 年的乔巴山盟, 最强年极端最高气温出现于 2016 年的乔巴山盟。由此可见, 乔巴山盟年极端最高气温波动很大, 最强最弱年极端最高气温均出现于此处。整体来

看, 蒙古国研究区年极端最高气温高于中国, 趋势波动中国研究区高于蒙古国研究区。

中蒙两国研究区年极端最低气温变化趋势总体上呈增长状态, 中蒙两国研究区多年年极端低温范围分别为 -20~-39.4 °C 和 -24.1~-39.6 °C。中国研究区年极端最低气温出现于 2007 年的乌拉特中旗, 最弱年极端最低气温出现于 2016 年的阿巴嘎旗。蒙古国研究区最强年极端最低气温出现于 2014 年的赛音山达盟, 最弱年极端最低气温出现于 2016 年的西乌尔特盟, 整体来看蒙古国研究区年极端最低气温低于中国研究区。



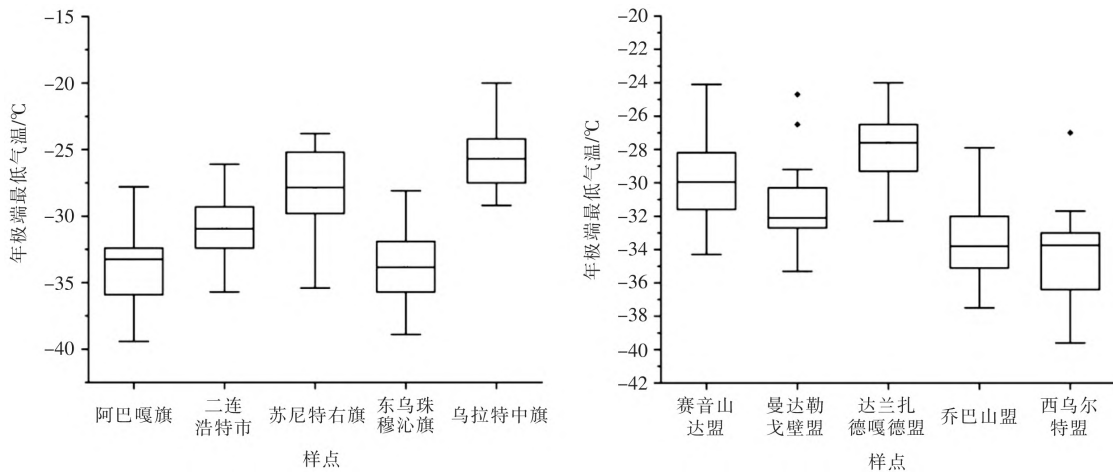


图 4 中蒙两国年研究区极端最高和年极端最低气温

Fig.4 Annual extreme maximum temperature and annual extreme minimum temperature in the studying area of China and Mongolia

3.3 中蒙两国研究区降水量动态变化

3.3.1 降水量年际动态

从图 5 中可以看出,1989—2018 年中蒙两国研究区年降水量均呈现增长趋势,中国阿巴嘎旗与乌拉特中旗显著高于中国的其他 3 个样点,蒙古国西乌尔特盟与乔巴山盟显著高于蒙古国的其他 3 个样点。中国 1989—2018 年年降水量为东乌珠穆沁旗 275.35 mm、

阿巴嘎旗 241.21 mm、二连浩特市 136.21 mm、苏尼特右旗 177.84 mm 和乌拉特中旗 213.38 mm; 蒙古国 1989—2018 年年降水量为乔巴山盟 236.15 mm、西乌尔特盟 208.65 mm、赛音山达盟 111.50 mm、曼德勒戈壁盟 137.82 mm 和达兰扎德嘎德盟 131.93 mm。总体来说中国研究区样点的多年平均降水量均高于蒙古国样点,中国研究区年增长速率也高于蒙古国。

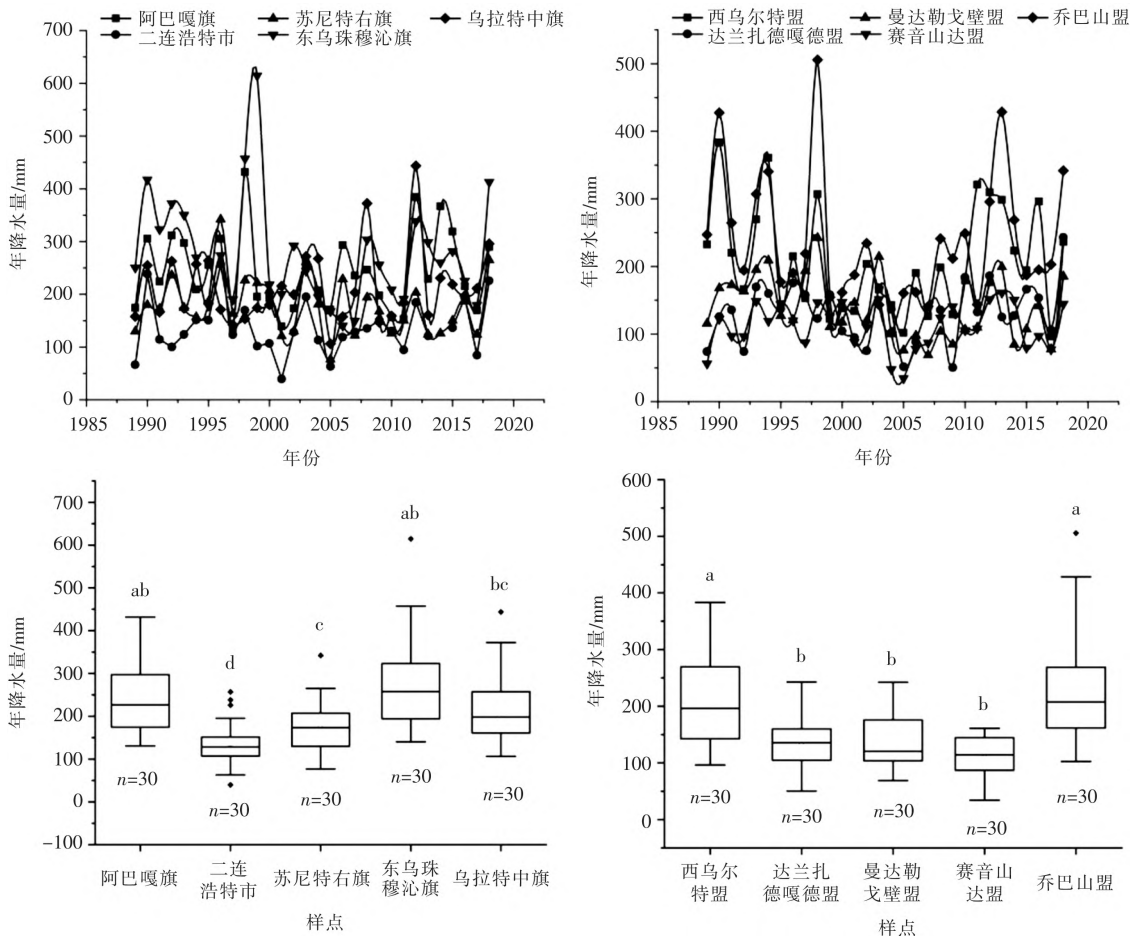


图 5 中蒙两国研究区年降水量的年际动态

Fig.5 Interannual dynamics of annual precipitation in the studying area of China and Mongolia

3.3.2 降水距平百分率动态变化

如表 2 所示,对中蒙两国研究区各样点分别统计降水距平百分率,结果为 1989—2018 年中国内蒙古研究区样点负值均超过 15 a,蒙古国研究区中 4 个样点负值超过 15 a。中蒙两国中部边界草原区域 10 个样点均连续负值为 3 a 及 3 a 以上,更为严重的是蒙古国 2 个样点连续负值达到 8~9 a,说明蒙古国研究区干旱情况比中国恶劣。

表 2 中蒙两国研究区降水距平百分率的负值统计

Tab.2 Negative value statistics of precipitation anomaly percentage in the study area of China and Mongolia

国家	研究区	降水距平百分率	出现次数/次	连续负值的上限年数/a	
中国	阿巴嘎旗	-1%~-25%	9	4	
		-25%~-50%	8		
		-50%~-80%	0		
	东乌珠穆沁旗	-1%~-25%	9	5	
		-25%~-50%	8		
		-50%~-80%	0		
	二连浩特市	-1%~-25%	11	4	
		-25%~-50%	5		
		-50%~-80%	4		
	苏尼特右旗	-1%~-25%	7	3	
		-25%~-50%	8		
		-50%~-80%	1		
乌拉特中旗	-1%~-25%	10	5		
	-25%~-50%	7			
	-50%~-80%	1			
西乌尔特的盟	-1%~-25%	7	3		
	-25%~-50%	6			
	-50%~-80%	2			
	达兰扎德嘎德盟	-1%~-25%		5	3
		-25%~-50%		5	
		-50%~-80%		3	
蒙古国	乔巴山盟	-1%~-25%	9	9	
		-25%~-50%	9		
		-50%~-80%	0		
	曼达勒戈壁盟	-1%~-25%	10	8	
		-25%~-50%	7		
		-50%~-80%	1		
赛音山达盟	-1%~-25%	9	4		
	-25%~-50%	3			
		-50%~-80%	3		

3.6 NDVI 与气温、降水量之间的相关性分析

两国研究区 NDVI 与气温和降水量的相关性分析表明(表 3),中国研究区 NDVI 与年均气温、春季和冬季气温呈显著正相关($P<0.05$),NDVI 与夏季

气温呈极显著负相关($P<0.01$)。蒙古国研究区 NDVI 与春季气温呈显著正相关($P<0.05$),NDVI 与夏季气温呈显著负相关($P<0.05$);两国研究区 NDVI 与年均降水量、春季和夏季降水量均呈极显著正相关($P<0.01$)。

表 3 植被归一化指数与气温、降水量的相关性分析

Tab.3 Correlation analysis between NDVI and temperature and precipitation

研究区	NDVI 与气候	年际	春季	夏季	秋季	冬季
中国研究区	气温	0.493*	0.463*	-0.534**	-0.15	0.479*
	降水量	0.699**	0.562**	0.591**	0.271	0.227
蒙古国研究区	气温	0.221	0.477*	-0.494*	-0.092	-0.245
	降水量	0.628**	0.573**	0.722**	0.367	0.340

注: * 表示 0.05 水平下显著相关, ** 表示 0.01 水平下极显著相关。

4 讨论与结论

4.1 讨论

植被覆盖率变化是气候、地形、人为等多种因素共同作用的结果^[8],在干旱和半干旱地区,植被活动受气候变化特别是降水的强烈影响^[9]。内蒙古地区 NDVI 变化与降水相关的高值区分布于内蒙古中部的草地^[10]。内蒙古地区 NDVI 与气象数据差值生成的标准降水达到显著正相关关系,主要分布于内蒙古中部偏北的地区^[11]。本研究表明,年均降水量与 NDVI 呈显著正相关的地区分布于中国内蒙古中部边界线地区以及与蒙古国接壤的边界地区。蒙古国研究区与中国内蒙古中部规律一致,这可能与地理状况、气候变化、人口数量、放牧文化以及国家环境政策等因素有关。本研究中,中蒙两国研究区 1998 年的降水量增长时两国 NDVI 也在增长,说明降水量是影响 NDVI 的重要因素之一,由于降水在植物生长期内分配不均,不能很好地与植物需水时间完全吻合,造成植物生长期内的降水总量无法准确表征降水要素与 NDVI 间的相关性。

本研究结果与滑永春等^[10]、李慧静等^[11]、杨舒畅等^[12]的结论基本一致。单一降水因子并不能充分解释植被的变化。一些研究表明,近几十年来中国北方气温的快速上升可能抑制了植物的生长^[13-14],中蒙中部边界草原区气温在 1989—2018 年呈上升趋势,并且春季气温与 NDVI 呈显著正相关关系、夏季气温与 NDVI 呈显著负相关关系,其原因是干旱半干旱地区夏季气温过高而导致 NDVI 的下降。有研究表明,与单独降水、气温因子相比,气温和降水耦合作用对植被有更大的影响^[15],本研究结论也验证了此观点。

此外,本研究中的 NDVI 变化是由 GIMMS NDVI 数据分析得出,该数据时间序列比较长(1982—2015 年),但 2015 年以后的数据较少。如果用 MODIS NDVI 代替,就会出现由于数据源的不同而带来的差异。同时,本研究只考虑了气温和降水因子,未考虑其他因素对 NDVI 的影响,例如风速、沙尘暴等。与气候因子相比,人类活动和国家管理政策等因素更具有复杂性(包括放牧、开垦、围栏、生态工程等)相关数据难以收集。因此,本研究缺少人类活动因子的具体分析,在后续研究中要进一步探讨相关因素的耦合机制。

4.2 结论

(1) 自 1982 年以来,中蒙两国研究区年际归一化植被指数呈现增长趋势,两国研究区 NDVI 呈极显著正相关(0.731)。春季、夏季和冬季 NDVI 均呈增长趋势,秋季 NDVI 呈降低趋势,中国研究区 NDVI 的值要高于蒙古国,但蒙古国的增长速率高于中国。中蒙中部边界草原区域 NDVI 趋势波动相似。

(2) 1989—2018 年,两国中部边界研究区年均气温有增长趋势,样点平均气温中国均高于蒙古国,中国研究区最高年平均气温 7.4℃、蒙古国 6.9℃,中国年极端最高气温和年极端最低气温均高于蒙古国,变化幅度中国高于蒙古国。中国研究区 NDVI 变化与气温具有显著正相关关系。

(3) 1989—2018 年,中蒙中部边界研究区年降水量呈增长趋势,NDVI 与降水变化具有极显著正相关关系($P < 0.01$),中国研究区多年平均降水量高于蒙古国。中国最高值为 614.6 mm,出现在 1999 年的东乌珠穆沁旗;蒙古国最高值为 505.6 mm,出现在 1998 年的乔巴山盟,增长速率中国高于蒙古国。

(4) 1989—2018 年中蒙两国研究区降水量对 NDVI 的影响大于气温的影响,而且降水量是 NDVI

变化的主要影响因素,但不可忽视降水量和气温耦合作用对 NDVI 的影响。

参考文献:

- [1] 王永兴. 基于 NDVI 数据的合肥市植被覆盖变化及其对气候因子的响应研究[D]. 合肥: 合肥学院, 2019.
- [2] MFA B, JXA B, YC C, et al. Modeling streamflow driven by climate change in data-scarce mountainous basins [J]. *Science of The Total Environment*, 2021(790): 148256.
- [3] 陈海山, 钱满亿, 华文剑. 中南半岛春季植被覆盖变化及其与 ENSO 的联系[J]. *大气科学学报*, 2020, 43(6): 1065-1075.
- [4] 付雨龙. 太岳山主要森林土壤碳周转关键驱动因子分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [5] 张娟, 李剑萍, 王誉陶, 等. 西北干旱地区气候变化及其对草地生产潜力的影响[J]. *生态科学*, 2020, 39(3): 182-192.
- [6] 张卓群. 气候变化对西双版纳植被覆盖的影响[J]. *农业与技术*, 2021, 41(7): 104-109.
- [7] 梁晓燕. 巴丹吉林沙漠湖泊区暖岛效应研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [8] 李玥. 全球半干旱气候变化的观测研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2015.
- [9] 刘珞丹, 李晶, 柳彩霞, 等. 2000—2015 年长江经济带植被覆盖时空变化特征及影响因素分析[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(6): 330-336, 347, I.
- [10] 滑永春, 张恒, 王冰, 等. 1982—2015 年内蒙古地区 NDVI 时空变化及驱动力分析[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2021, 41(6): 175-182.
- [11] 李慧静, 包玉海, 包刚, 等. 基于 MODIS-NDVI 的内蒙古植被变化遥感监测[J]. *测绘科学*, 2009, 34(5): 25-27, 51.
- [12] 杨舒畅, 杨恒山. 1982—2013 年内蒙古地区干旱变化及植被响应[J]. *自然灾害学报*, 2019, 28(1): 175-183.
- [13] ZHANG W, ZHAO W J, ZHAO L. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences—The time-space exploration from Earth core to galaxies [J]. *National Science Review*, 2021, 8(6): 195-212.
- [14] 杜加强, 赵晨曦, 贾尔恒·阿哈提, 等. 近 30a 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.
- [15] 田志秀. 内蒙古草原植被覆盖时空变化及对气候响应[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2019.