

博斯腾湖流域归一化植被指数变化及其对气候变化的响应

徐培军¹, 徐丽萍², 位宏², 李晓蕾²

(1. 新疆塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒 841000; 2. 石河子大学 理学院, 新疆 石河子 832003)

摘要: 利用2003–2012年MODIS-NDVI数据,结合23个气象站同期气温和降水数据,分析10年间博斯腾湖流域NDVI变化趋势及其对气温和降水变化的响应机制。结果表明:10年间,博斯腾湖流域NDVI呈波浪式上升态势,NDVI显著增加和极显著增加区主要分布在巴音布鲁克草原和博斯腾湖附近的核心绿洲区,NDVI变化不显著区占研究区总面积的87.35%;近10年博斯腾湖流域的降水和气温都呈下降趋势,气温增温率自流域西北部向东南部递增,增温中心位于库尔勒和焉耆附近的核心绿洲区,降水倾向率自流域西北部向东南部递减,研究区中部降水减少最明显;年际水平上,10年间博斯腾湖流域NDVI总体与气温呈负相关,与降水量呈正相关。与降水量极显著正相关的区域主要分布在巴伦台和巴音布鲁克附近,月际水平上,4–10月博斯腾湖流域NDVI与同时期降水和气温呈现很强的正相关,滞后现象不明显。

关键词: NDVI; 气温; 降水; 气候变化响应; 博斯腾湖流域

中图分类号: P467; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)01-0086-07

Changes of NDVI and its response to climate change in Boston Lake Basin

XU Peijun¹, XU Liping², WEI Hong², LI Xiaolei²

(1. Xinjiang Tarim River Basin Management Bureau, Korla 841000, China; 2. College of Sciences, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: Based on the MODIS-NDVI data from 2003 to 2012, combined with the temperature and precipitation data of 23 weather stations, the NDVI change trend of the Boston Lake basin in 10 years and its response to temperature and precipitation were analyzed. The results showed that: During the past 10 years, the NDVI of Boston Lake basin showed a wavy rising tendency. The NDVI of the core oasis around Bayanbulak Grassland and Boston Lake increased significantly, while the NDVI of 87.35% areas in Boston Lake basin did not change significantly. In the past 10 years, the precipitation and temperature of the Boston Lake decreased. The temperature increase rate is increasing from the northwest of the basin to the southeastern part. The warming center is located in the core oasis area near Korla and Yanqi. The precipitation rate decreases from the northwest to the southwest. And the precipitation in the middle of the study area is the most obvious. On the inter-annual level, the NDVI in the Boston Lake basin was negatively correlated with the temperature in 10 years, and positively correlated with the precipitation. Areas that are significantly positively correlated with precipitation mainly distributed near the Baluntai Terrace and Bayanbulak. On the month level, the NDVI of the Boston Lake basin in April to October showed a strong positive correlation with the precipitation and temperature at the same time, and the lag phenomenon was not obvious.

Key words: normalized difference vegetation index (NDVI); temperature; precipitation; climate change response; Boston Lake basin

收稿日期: 2017-09-20; 修回日期: 2017-10-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(31760151、41001387)

作者简介: 徐培军(1980-), 男, 四川绵阳人, 学士, 助理工程师, 研究方向为水资源与水产技术。

通讯作者: 徐丽萍(1978-), 女, 新疆库尔勒人, 副教授, 研究方向为土地覆被变化与景观生态。

1 研究背景

陆地生态系统是人类赖以生存和发展的生命支持系统,作为全球陆地生态系统的主体,植被在调节陆地碳平衡和气候方面有着举足轻重的作用^[1-2]。植被是全球变化的“指示器”,不仅具有分布广、可再生的特点,同时也是生态安全的天然屏障^[3-4]。因此,对植被的动态监测一定程度上可以揭示气候变化的趋势。降水与温度是气候变化中最主要的两个气象因子,也是影响植被生长的主要驱动因子,二者的变化会直接影响植被的生长状况,尤其在干旱半干旱地区,植被生长对气候要素的年际变化极其敏感^[5-6]。研究植被变化与气候因子之间的关系可为应对全球气候变化提供重要的理论依据^[7-10]。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, *NDVI*)是应用最广的表征植被覆盖程度的参数,它可以较好地反映植被覆盖、生长力以及生物量等情况^[11-13]。

20 世纪 90 年代以来,国内外许多学者利用 *NDVI* 数据研究了区域植被覆盖变化趋势及其与气候因子之间的关系。姜红涛等^[14]利用 1 km 分辨率的 MODIS - *NDVI* 数据研究了艾比湖流域 *NDVI* 变化及其与气温和降水的关系,发现 2000 - 2012 年间艾比湖流域 *NDVI* 总体呈上升趋势,降水对 *NDVI* 的影响高于温度。王宇琛等^[15]利用 2001 - 2013 年汾河流域 MODIS - *NDVI*、地表温度(LST)和降水等实测资料,分析了汾河流域 *NDVI* 的时空变化特征及其对气候因子的响应,结果表明近 13 年来汾河流域的植被覆盖率有所提高;基于月尺度的 *NDVI* 与 LST 呈显著正相关,降水量与 *NDVI* 的相关关系为抛物线型。He Yuhong 等^[16]通过分析加拿大生态区 1985 - 2007 年的 AVHRR - *NDVI* 数据发现,加拿大生态区的 *NDVI* 指数呈上升趋势,气温是 *NDVI* 变化的主要驱动因素。Chang Chunte 等^[17]分析了台湾地区植被与高程、降水和温度的关系,结果表明在低海拔地区,植被覆盖与降水呈正相关而与温度呈负相关;在高海拔地区,植被覆盖与降水和气温均呈正相关。

目前,关于植被 *NDVI* 对气候变化响应的研究较多,主要集中在全国和区域尺度上^[18-19],对中小流域的研究还比较少。为此,通过定量研究博斯腾湖流域 *NDVI* 变化趋势及其与气候因子的年际动态变化,在了解近 10 年博斯腾湖植被 *NDVI* 的变化趋势和气温、降水的年际变化情况的基础上对近 10 年博斯腾湖流域植被 *NDVI* 和气温、降水这 2 个气候因子之间的关系进行分析。

2 研究区概况

博斯腾湖流域地处新疆巴音郭楞蒙古自治州境内,地理位置位于 $41^{\circ}25' \sim 43^{\circ}34'N$, $82^{\circ}57' \sim 88^{\circ}18'E$ 之间,流域面积约为 $4.33 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该区域北侧为天山中段,南侧为霍拉山 - 库鲁克塔格低矮山地(图 1)。流域地处亚欧大陆中心,光照充足,空气干燥,雨量稀少,蒸发量大。湖区多年平均降水量 68.2 mm,最大降水量 105 mm,年蒸发量为 1 800 ~ 2 000 mm,年平均气温 7.9°C ,平均日照率达 67% ~ 68%,是典型的内陆干旱气候。

流域西北部为巴音布鲁克草原,海拔在 2 400 ~ 4 500 m 之间,气候为高寒山区气候,土地覆盖以高寒草甸、高寒草原和高寒低地沼泽草甸为主。流域东南部为焉耆盆地,海拔在 1 000 ~ 2 000 m 之间,气候为温带大陆性干旱气候,土地覆盖以荒漠、农田和 水体为主。

3 研究数据与方法

3.1 研究数据

博斯腾湖流域的植被生长季始于 4 月下旬,结束于 10 月下旬^[20]。基于此,本文采用的数据为 2003 - 2012 年每年 4 - 10 月的 MODIS - *NDVI* 数据,空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 d;气象数据为博斯腾湖流域及其周边 300 km 范围内的 23 个气象站同期的月降水量和月平均温度数据。

3.2 数据处理

利用 MRT(MODIS Reprojection Tools) 软件对 MODIS 数据做投影转换,然后进行格式转换和数值处理。运用 ArcGIS 软件批量裁剪出博斯腾湖流域的 MODIS - *NDVI* 数据。使用国际通用的最大值合成(Maximum Value Composites, MVC)法对 *NDVI* 数据进行合成,以消除一部分云、大气以及太阳高度角的影响,提高数据的可靠性。并将 16 d 的 MODIS - *NDVI* 数据进行月合成,公式为:

$$I_{NDVI_{ij}} = \max(I_{NDVI_{j1}}, I_{NDVI_{j2}}) \quad (1)$$

式中: $I_{NDVI_{ij}}$ 表示第 i ($i = 2003, 2004, \dots, 2012$) 年第 j ($j = 4, 5, \dots, 10$) 月的月 *NDVI* 最大合成值; $I_{NDVI_{j1}}$ 和 $I_{NDVI_{j2}}$ 表示第 i 年第 j 月上旬和下甸的 *NDVI* 值。

将月 MODIS - *NDVI* 数据进行年合成,公式为:

$$Y_{NDVI_i} = \max(I_{NDVI_{ij}}) \quad (2)$$

式中: Y_{NDVI_i} 为第 i ($i = 2003, 2004, \dots, 2012$) 年的 *NDVI* 最大合成值。一般认为,生长季节 *NDVI* 小于 0.1 表示地表无植被覆盖。本研究中,水体及 *NDVI*

值小于 0.1 的像元赋值为 0。以此计算博斯腾湖流域 4–10 月的月平均 *NDVI* 值,以及 2003–2012 年流域各年的 *NDVI* 平均值。

根据流域内的 34 个气象站点数据,统计流域 4–10 月的月平均降水量及平均温度。依据月平均气象数据计算流域年平均温度及年降水量,然后利用克里金法(Kriging)进行空间插值,最后裁剪出研究区平均温度和年降水量空间分布图,并重采样为 250 m × 250 m,与 *NDVI* 数据分辨率保持一致。

3.3 研究方法

建立基于像元的一元线性回归方程,模拟 2004–2013 年的各年最大合成 *NDVI* 值的变化趋势,公式如下:

$$S = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (i \cdot NDVI_i) - (\sum_{i=1}^n i) \cdot \sum_{i=1}^n NDVI_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (3)$$

式中: S 为趋势斜率, $S < 0$ 表示 *NDVI* 呈下降趋势, $S > 0$ 表示 *NDVI* 呈上升趋势; i 为 2003–2012 年序号($i = 1, 2, \dots, 10$); $NDVI_i$ 表示第 i 年的 *NDVI* 最大合成值。*NDVI* 线性趋势检验采用 F 检验,显著性检验表示回归方程置信程度的高低。 F 检验的公式为:

$$F = U \cdot \frac{n-2}{Q} \quad (4)$$

式中: $U = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ 为回归平方和; $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ 为误差平方和。其中 y_i 为第 i 年 *NDVI* 实测值; $\hat{y}_i$ 为第 i 年 *NDVI* 回归值; $\bar{y}$ 为 10 a *NDVI* 平均值。

根据显著性检验将 *NDVI* 变化趋势分为 5 个等级:极显著减少($S < 0, P < 0.01$);显著减少($S < 0, 0.01 < P < 0.05$);变化不显著($P > 0.05$);显著增加($S > 0, 0.01 < P < 0.05$);极显著增加($S > 0, P < 0.01$)。依据积差方法计算相关系数,以两变量与各自平均值的离差为基础,通过两个离差相乘来反映两变量之间的相关程度。本文采用基于像元的空间分析法分析植被 *NDVI* 与温度和降水量的相关性,着重研究线性的单相关系数。计算公式如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

式中: r 表示 x, y 两个变量的相关系数; x_i 表示第 i 年的 *NDVI* 值; y_i 表示第 i 年的降水量或平均温度; $\bar{x}$ 表示 10 年间 *NDVI* 的平均值; $\bar{y}$ 表示 10 a 间降水量平均值或温度平均值。

相关系数 r 的取值范围为 $[-1, 1]$ 。 $|r|$ 值越大,变量之间的线性相关程度越高; $|r|$ 值越接近于 0,变量之间的线性相关程度越低。

相关系数的显著性检验,一般采用 t 检验法。其统计量计算公式为:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \quad (6)$$

式中: r 为相关系数; n 为样本数量。 t 统计量服从自由度为 $(n-2)$ 的 t 分布。为方便相关系数的显著性检验,一般是在给定的置信水平下,通过查相关系数检验的临界值表来完成的。本文中样本个数为 10,自变量个数为 2,则自由度为 8,查阅相关系数临界值表,将相关系数分为 5 个等级:相关性不显著($|r| < 0.6319$);显著正相关($0.6319 < |r| < 0.7646, r > 0$);显著负相关($0.6319 < |r| < 0.7646, r < 0$);极显著正相关($|r| > 0.7646, r > 0$);极显著负相关($|r| > 0.7646, r < 0$)。

根据 *NDVI*、降水及温度数据,在年际水平上,计算基于像元的 *NDVI* 与降水和温度的 Pearson 相关系数;在月际水平上,计算每年 4–10 月的 *NDVI* 与当月序列及前 12 个月序列的降水及温度的 Pearson 相关系数,研究 *NDVI* 对降水、温度的滞后性。

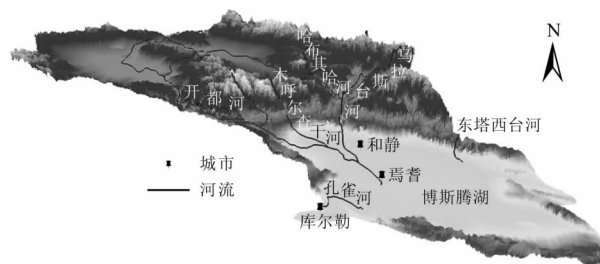


图 1 博斯腾湖流域概况图

4 结果与分析

4.1 博斯腾湖流域 *NDVI* 时间变化

2003–2012 年间博斯腾湖流域 *NDVI* 总体呈上升趋势(图 2)。研究区近 10 年的 *NDVI* 值在 0.34 ~ 0.39 之间波动,总体呈缓慢上升的趋势,*NDVI* 线性倾向率为 0.015/10a。表明该地区植被覆盖整体上得到了一定程度的改善。年平均 *NDVI* 最大值出现在 2010 年,最大值为 0.383;最小值出现在 2004 年,最小值为 0.341。2004 年的植被 *NDVI* 值明显低于其他年份,主要是由于该年份的降水和温度低于研究期内其他年份,水热的空间匹配度也低于其他年份。植物生长必须的热量和降水不足影响了其正常生

长,从而导致该年份植被覆被度较低。

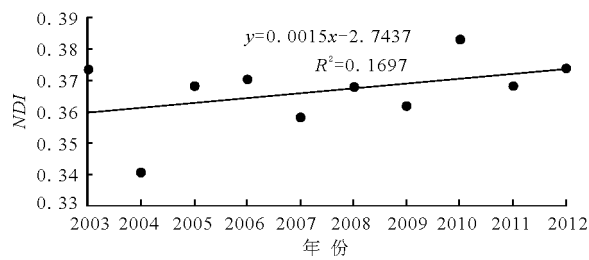


图2 2003-2012年博斯腾湖流域NDVI变化图

4.2 博斯腾湖流域NDVI空间变化

2003-2012年博斯腾湖流域NDVI趋势变化空间差异明显(见图3)。10年间NDVI变化不显著的区域贯穿整个研究区,占据了去除核心绿洲部分的大部分区域。无值区为博斯腾湖区,由于该区域长期没有植被覆盖,本研究将该区域定义为零值区。NDVI显著减少区和极显著减少区主要分布在研究区的东北部和西南部。说明该区域植被退化比较严重,生态质量较差,需要相关部门采取应对措施加以改善,并注重保护该区域现存的植被。NDVI显著增加区在整个研究区均有分布,但主要集中在研究区西北部的巴音布鲁克草原和博斯腾湖周边的核心绿洲区。NDVI极显著增加区零散分布在博斯腾湖周边的核心绿洲区,在西北部的巴音布鲁克草原地区也有少量分布。这主要是由于人类活动对植被变化的影响远大于自然环境因素。

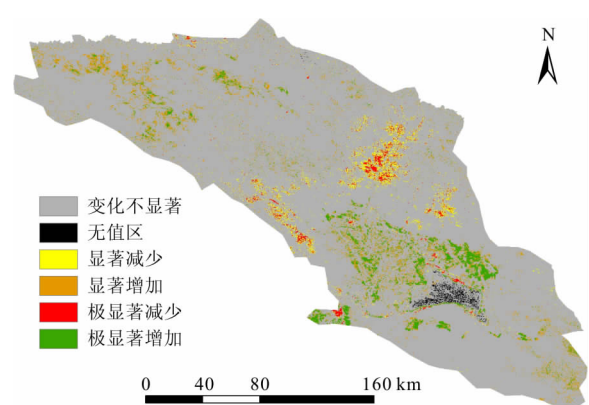
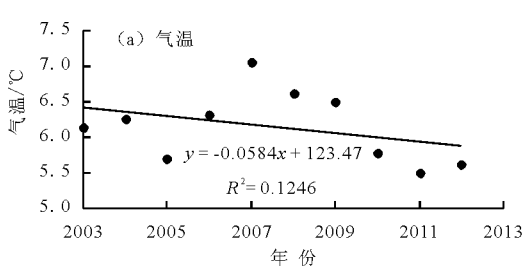


图3 2003-2012年NDVI趋势变化空间分布图



博斯腾湖流域的植被覆盖呈现较好的增加趋势(表1)。NDVI显著增加区和极显著增加区的面积分别占研究区总面积的5.34%和3.33%,二者之和为8.67%,大于NDVI显著减少和极显著减少区的比例之和(分别为2.50%和1.03%),说明博斯腾湖流域的植被覆盖呈现较好的增加趋势。NDVI变化不显著的区域占研究区总面积的比例为87.35%,说明研究区内大部分地表植被的演变过程基本维持在稳定状态。

表1 博斯腾湖流域2003-2012年NDVI

不同变化趋势面积比例					%
极显著减少	显著减少	变化不显著	显著增加	极显著增加	无值区
1.03	2.50	87.35	5.34	3.33	0.45

4.3 博斯腾湖流域气温和降水的时空变化特征

近10年博斯腾湖流域的气温和降水都呈现出下降趋势(图4)。其中,气温变化率为-0.584℃/10a,降水量的变化率为-3.805mm/10a。研究期内年平均气温最大值为7.064℃(2007年);年平均气温最小值为5.505℃(2011年);10年间平均气温为6.150℃。2003-2012年间年降水量最大值为187.765mm(2010年);年降水量最小值为140.424mm(2009年);10年间平均降水量为154.628mm。总体来说,近10年博斯腾湖流域的气温和降水都呈下降趋势,但下降趋势并不明显。

研究区气温增温率自西北向东南递增,随海拔的升高而降低(图5(a))。增温率大于0的区域主要分布在库尔勒和焉耆附近的核​​心绿洲区。其余地区的增温率都小于0,说明10年来这些区域的年平均气温呈下降趋势。其中,巴伦台和巴音布鲁克附近的区域气温下降最为明显。

由2003-2012年的年降水量倾向率可以看出(图5(b)),降水倾向率自西北向东南递减,随着海拔的升高而不断增加。研究区中部是一个过渡带,

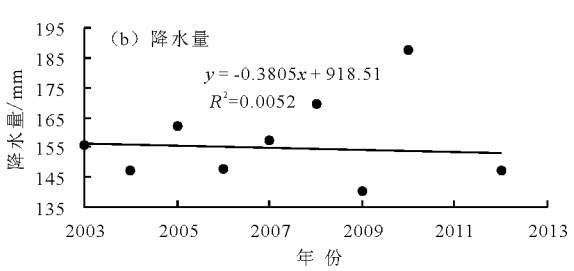


图4 2003-2012年间年平均气温和年降水量变化

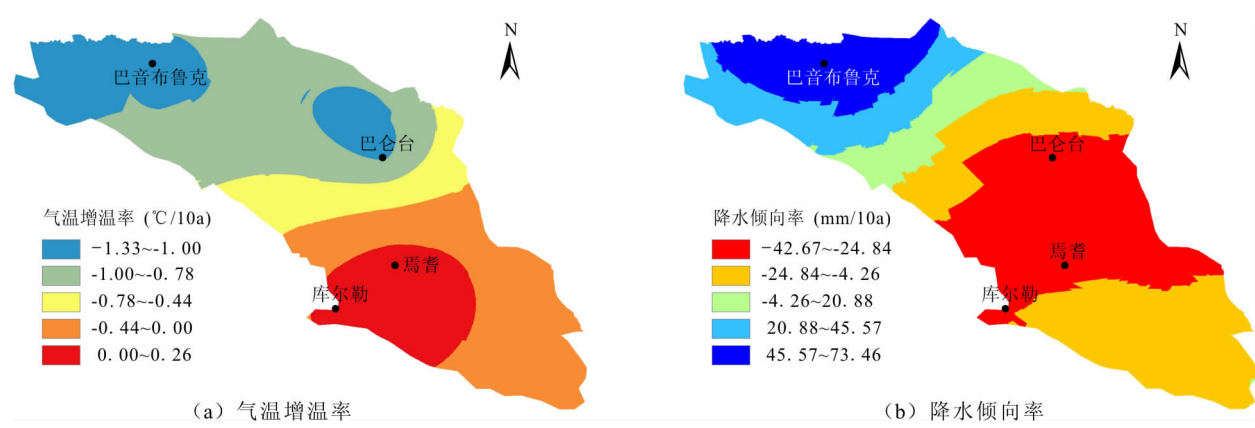


图5 博斯腾湖流域 2003 – 2012 年平均气温增温率和降水倾向率空间分布图

经过过渡带之后,降水倾向率有所回升。降水倾向率大于 0 的区域主要分布在巴音布鲁克草原及其附近的高海拔地区。余下区域的降水倾向率都小于 0,说明近 10 年这些区域的年降水量呈下降趋势。其中,研究区中部的年降水量减少最为明显,这与该区域的人类活动有一定的关系。

4.4 博斯腾湖流域 NDVI 与气温、降水的关系

在年际水平上,计算各像元 2003 – 2012 年间 NDVI 与年降雨量、年平均温度的 Pearson 相关系数,并查阅相关系数临界值表对相关系数进行显著性检验。对研究区每个像元 NDVI 与年平均气温的相关系数求平均值,发现 NDVI 与年平均气温的平均相关系数为 -0.162。说明在年际变化水平上,研究区

NDVI 总体与平均温度呈负相关。由 NDVI 与年平均气温、降水的相关系数显著性检验结果(图 6)可知,近 10 年 NDVI 与年平均气温的相关性总体不显著的区域贯穿整个博斯腾湖流域,并且占了很大比例。相关性不显著的区域占全区的面积比例达到了 93.74%(表 2)。显著正相关、显著负相关、极显著正相关和极显著负相关等区域在整个研究区零星分布。其中,显著负相关和极显著负相关区在博湖县、和硕县、尉犁县这 3 个县的边界处有较为明显的分布。显著正相关和极显著正相关区域的面积比例之和为 0.44%,显著负相关和极显著负相关区域的面积比例之和为 5.36%。这也进一步说明了 NDVI 与年平均温度呈负相关。

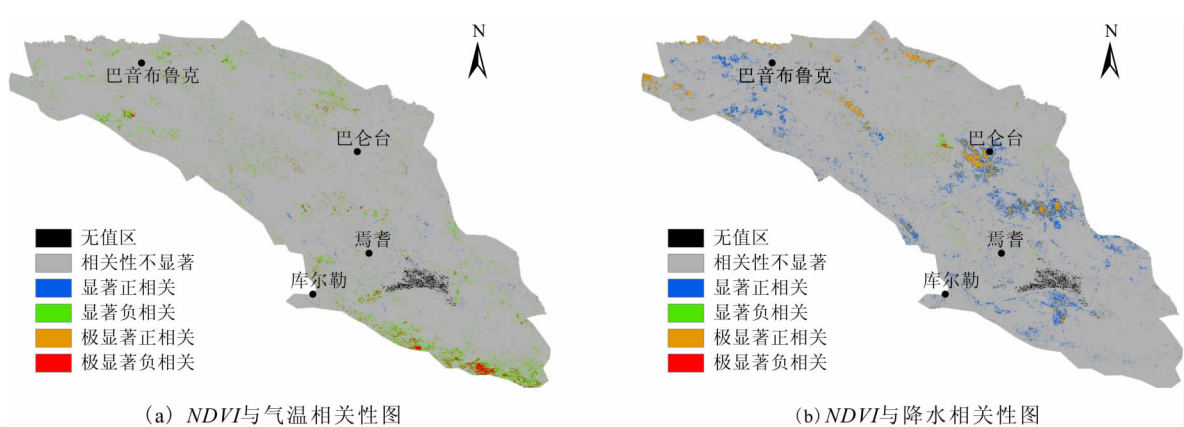


图6 2003 – 2012 年间 NDVI 与年平均气温、年平均降水的相关系数的显著性检验图

表 2 2003 – 2012 年间 NDVI 与年平均气温、年降水量相关系数不同显著性面积比例 %

相关因素	无值区	相关性不显著	显著正相关	显著负相关	极显著正相关	极显著负相关
年平均气温	0.46	93.74	0.38	4.12	0.06	1.24
年降水量	0.45	92.00	4.44	0.68	2.28	0.15

对研究区每个像元 NDVI 与年降水量的相关系数求平均值,发现 NDVI 与年降水量的平均偏相关

系数为 0.148。说明在年际变化水平上,研究区 NDVI 总体与降水量呈正相关。NDVI 与年降水量的

相关系数显著性检验结果(图 6)显示,相关性不显著的区域仍然占据了研究区的很大一部分。由表 2 可知,相关性不显著的区域占全区面积的 92%,小于 *NDVI* 与年平均气温相关性不显著区域的面积比例。显著正相关、显著负相关、极显著正相关、极显著负相关等区域在整个研究区也呈零星分布,但可以明显看出显著正相关和极显著正相关区域的分布情况,其中极显著正相关区主要分布在巴伦台和巴音布鲁克附近。显著正相关和极显著正相关区域的面积比例之和为 6.72%,显著负相关和极显著负相关区域的面积比例之和为 0.83%。这也进一步说明了 *NDVI* 与年降水量呈正相关。

在月际水平上,分别计算 4-10 月 *NDVI* 序列与 2-8 月、3-9 月、4-10 月平均温度及平均降水量的 Pearson 相关系数,并进行显著性检验(见表 3)。4-10 月 *NDVI* 与平均温度的相关系数多在 0.8~1.0 之间,最小值为 0.88(2012 年);最大值为 0.97(2010 年)。4-10 月 *NDVI* 序列与 3-9 月平均温度序列的相关系数多在 0.6~0.8 之间,最小值为 0.64(2006 年);最大值为 0.76(2007 年)。4-10 月 *NDVI* 序列与 2-8 月平均温度序列的相关系

数多在 0.3~0.5 之间,最小值为 0.35(2011 年),最大值为 0.49(2005 年)。综合气温序列和 *NDVI* 序列发现,4-10 月平均温度序列与同时期 *NDVI* 序列的相关性明显高于其他两个时段平均温度序列,说明总体上博斯腾湖流域植被的生长与平均温度基本上没有滞后效应或者滞后时间较短。4-10 月 *NDVI* 序列与平均降水序列的相关系数多在 0.7~1.0 之间,最小值为 0.73(2010 年);最大值为 0.99(2004 年)。4-10 月 *NDVI* 序列与 3-9 月平均降水序列的相关系数多在 0.2~0.9 之间,最小值为 0.30(2003 年);最大值为 0.82(2010 年)。4-10 月 *NDVI* 序列与 2-8 月平均降水序列的相关系数多在 -0.2~0.4 之间,最小值为 -0.19(2007 年);最大值为 0.39(2010 年)。

综合降水序列和 *NDVI* 序列发现,4-10 月平均降水序列与 *NDVI* 序列的相关性明显高于其他两个时段序列,说明总体上博斯腾湖流域植被的生长与平均降水量基本上没有滞后性或者滞后时间较短。总体说来,博斯腾湖流域植被的生长与降水和气温都没有滞后性,这主要是由于本文选取数据的时间尺度过大造成的。

表 3 博斯腾湖流域 2003-2012 年 4-10 月 *NDVI* 与不同时序气温降水的相关系数

月份	2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水	气温	降水
2-8	0.41	0.02	0.42	0.07	0.49	-0.18	0.37	0.09	0.46	-0.19	0.46	-0.17	0.41	0.31	0.40	0.39	0.35	-0.13	0.47	0.15
3-9	0.71	0.30	0.69	0.70	0.72	0.52	0.64	0.74	0.76*	0.48	0.74	0.40	0.64	0.81*	0.69	0.82*	0.65	0.57	0.70	0.67
4-10	0.94*	0.80*	0.92**	0.99**	0.95**	0.88	0.96**	0.91**	0.91**	0.87*	0.96**	0.82*	0.93**	0.89**	0.97**	0.73	0.97**	0.82*	0.88**	0.87*

注: * 表示通过了 0.05 水平下的显著性检验, ** 表示通过了 0.01 水平下的显著性检验

对比表 3 发现,月序列的平均温度与 *NDVI* 的相关系数明显高于月序列的平均降水与 *NDVI* 的相关系数,说明在月际水平上,温度对植被生长发育的作用比降水大。主要是由于研究区春季较短,升温迅速,冬天的冰雪消融,补充了大量地下水,地下水位抬升,土壤湿度相应增加,植被生长所需的水分条件已经具备,温度成为影响植被生长的最大制约因素。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文利用 2003-2012 年 4-10 月 MODIS-*NDVI* 遥感数据,结合博斯腾湖流域同期降水和温度数据,分析了博斯腾湖流域 *NDVI* 的变化趋势、流域降水和气温在年际水平上的时空变化,以及 *NDVI* 与气温和降水的响应关系。

(1)10 年间,博斯腾湖流域 *NDVI* 呈波浪上升

的趋势, *NDVI* 显著增加区和极显著增加区分布较为集中,主要分布在巴音布鲁克草原及其附近区域和博斯腾湖附近的核心绿洲区;变化不显著区面积最大,占全区总面积的 87.35%。

(2)年际水平上,近 10 年博斯腾湖流域的降水和气温都呈下降趋势;气温增温率自流域西北部向东南部递增,增温中心位于库尔勒和焉耆附近的核心绿洲区;降水倾向率自流域西北部向东南部递减,降水减少最明显的区域位于研究区中部,这与人类活动有一定关系。

(3)2003-2012 年博斯腾湖流域 *NDVI* 变化与气温呈负相关,与降水量呈正相关。与降水量极显著正相关的区域主要分布在巴伦台和巴音布鲁克附近。月际水平上,4-10 月博斯腾湖流域 *NDVI* 与降水、气温呈现很强的正相关,滞后现象不明显。月序列的平均温度与 *NDVI* 的相关系数明显高于降水与

NDVI 的相关系数,说明在月际水平上,温度对植被生长的影响比降水更大。

5.2 讨论

本文通过分析 *NDVI* 与气候要素间相关性发现,二者之间存在相关性,但未发现博斯腾湖流域 *NDVI* 对气温、降水的滞后性,这主要是由于数据尺度过大造成的。博斯腾湖流域的植被 *NDVI* 变化不仅受到气候因子的影响,还受到了人为因素的影响,但是在新疆地区气候要素是影响 *NDVI* 变化的最主要因素,下一步可以进一步分析气象要素与人为驱动因子对区域 *NDVI* 变化的驱动机制,定量分析植被 *NDVI* 变化和社会经济发展的关系。

参考文献:

- [1] 马明国,王 建,王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. 遥感学报,2006,10(3):421-431.
- [2] 张雪芹,孙 杨,毛炜峰,等. 中国干旱区气温变化对全球变暖的区域响应[J]. 干旱区研究,2010,27(4):592-599.
- [3] 包 刚,覃志豪,包玉海,等. 1982-2006 年蒙古高原植被覆盖时空变化分析[J]. 中国沙漠,2013,33(3):918-927.
- [4] 韦振锋,王德光,张 翀,等. 1999-2010 年中国西北地区植被覆盖对气候变化和人类活动的响应[J]. 中国沙漠,2014,34(6):1665-1670.
- [5] 张生军,王 涛,王天明,等. 新疆不同植被 *NDVI* 的变化及其与气候因子的关系[J]. 草业科学,2009,26(5):26-31.
- [6] 赵 霞,谭 琨,方精云. 1982-2006 年新疆植被活动的年际变化及其季节差异[J]. 干旱区研究,2011,28(1):10-16.
- [7] 张远彬,王开运,乔云周. 研究高寒区植物生长过程对气候变化响应的封顶式生长室系统[J]. 应用与环境生物学报,2007,13(5):601-608.
- [8] 张 凯,司建华,王润元,等. 气候变化对阿拉善荒漠植被的影响研究[J]. 中国沙漠,2008,28(5):879-885.
- [9] 王 漠,李 勇,黄润秋,等. 气候变暖对青藏高原腹地高寒植被的影响[J]. 生态学报,2005,25(6):1275-1281.
- [10] 刘登峰,黄 强,林 木. 基于遥感的塔里木河植被变化规律研究[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(4):32-36.
- [11] 信忠保,许炯心. 黄土高原地区植被覆盖时空演变对气候的响应[J]. 自然科学进展,2007,17(6):770-778.
- [12] NEZLIN N P, KOSTIANOV A G, LI B L. Inter-annual variability and interaction of remote-sensed vegetation index and atmospheric precipitation in the Aral Sea region. [J]. Journal of Arid Environments, 2005, 62(4):677-700.
- [13] 李 霞,李晓兵,陈云浩,等. 中国北方草原植被对气象因子的时滞效应[J]. 植物生态学报,2007,31(6):1054-1062.
- [14] 姜红涛,塔西普拉提·特依拜,阿尔达克·克里木,等. 艾比湖流域 *NDVI* 变化及其与降水、温度的关系[J]. 中国沙漠,2014,34(6):1678-1684.
- [15] 王宇琛,李松鸣,王 霄,等. 汾河流域 2001-2013 年植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应[J]. 山西农业科学,2016,44(5):640-645.
- [16] HE Yuhong, GUO Xulin, DIXON P, et al. *NDVI* variation and its relation to climate in Canadian ecozones[J]. Canadian Geographer, 2012, 56(4):492-507.
- [17] CHANG Chunte, WANG Sufen, VADEBONCOEUR M A, et al. Relating vegetation dynamics to temperature and precipitation at monthly and annual timescales in Taiwan using MODIS vegetation indices[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(2):598-620.
- [18] 李秀花,师庆东,常顺利,等. 中国西北干旱区 1981-2001 年 *NDVI* 对气候变化的响应分析[J]. 中国沙漠,2009,29(5):989-994.
- [19] 李军媛,徐维新,程志刚,等. 1982-2006 年中国半干旱、干旱区气候植被覆盖的时空变化[J]. 生态环境学报,2012,21(2):268-272.
- [20] 王 涛,陶 辉,雷 刚等. 博斯腾湖流域植被覆盖变化及驱动因素分析[J]. 中国农学通报,2015,31(4):228-236.
- [21] 张 辉,刘江华,张 超. 阿克苏河流域不同植被类型 *NDVI* 时空变化特征[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(4):88-92.