

1982—2014 年祁连山植被生长季 NDVI 变化及其对气候的响应

贾文雄, 陈京华

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要: 祁连山是西北地区重要的生态功能区和河西绿洲的水源涵养地, 全面了解植被的生长变化有助于制定合理的气候变化对策。利用 1982—1999 年的 GIMMS NDVI 数据和 2000—2014 年的 MODIS NDVI 数据, 采用最大值合成法、均值法、斜率法、相关分析法等, 对祁连山近 35 年生长季植被变化及其对气候变化的响应进行了深入研究。结果表明: 1982—2014 年, 祁连山植被 NDVI 整体呈增加趋势, 但变化趋势并不明显; 近 35 年, 祁连山植被 NDVI 呈增加趋势的面积比呈降低趋势的面积大, 表明植被覆盖状况有所改善, 植被 NDVI 增加的区域集中于中西部, 而植被 NDVI 降低的区域集中于东部; 气候的年际变化对祁连山植被 NDVI 有一定的影响, 植被 NDVI 对气温和降水存在一定的滞后性响应。气温升高和降水增加有助于祁连山植被覆盖增加, 生态环境得到改善。

关键词: NDVI; 生长季; 植被覆盖; 祁连山

中图分类号: P463.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)02-0264-05

Variations of NDVI and Its Response to Climate Change in the Growing Season of Vegetation in Qilianshan Mountains from 1982 to 2014

JIA Wenxiong, CHEN Jinghua

(College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Qilianshan Mountains is one of the most important ecological function areas in northwest China and the water conservation area of Hexi oasis. Understanding the growth and variation of vegetation is helpful to formulate reasonable strategies of climate change. Using the data of GIMMS NDVI from 1982 to 1999 and MODIS NDVI from 2000 to 2014, the variations of vegetation in growing season and its response to climate change were studied in Qilianshan Mountains nearly 35 years by the maximum synthesis method, average method, slope method, correlation analysis method. The results showed that vegetation NDVI appeared an increasing trend in Qilianshan Mountains from 1982 to 2014, but it was not obvious. The area of increasing rate of vegetation NDVI was larger than its decreasing rate, which indicates that the vegetation cover of Qilianshan Mountains had been improved in the past 35 years. The regions of vegetation NDVI increase concentrated in the Midwest, but the decreased regions was in the eastern Qilianshan Mountains. The inter-annual change of climate has some influences on the vegetation NDVI in Qilianshan Mountains, and the vegetation NDVI has a certain lag response to temperature and precipitation. The increases of temperature and precipitation are helpful to the increase of vegetation coverage, so as to improve the ecological environment in the Qilianshan Mountains.

Keywords: NDVI; growing season; vegetation cover; Qilianshan Mountains

陆地生态系统是全球变化研究的重要内容之一, 是目前科学研究的重点领域^[1]。气候因子是影响植被生长发育、地理分布、多样性和丰富度等的关键因

素^[2], 对陆地植被类型及其功能特性起着决定性作用, 全球地带性植被的分布都与气候要素密切相关^[3-4]。通过遥感提取植被覆盖指数的方法早已成为

常规手段,常用的表征植被活动的指标有土壤调整植被指数(SAVI)、归一化植被指数(NDVI)、季节/时间综合归一化差值植被指数(SINDVI/TINDVI)和增强植被指数(EVI)等^[5-6],其中归一化植被指数(NDVI)是公认的可以定量表征植被生长状态的有效指标^[7]。祁连山是西北地区重要的生态功能区和河西绿洲的水源涵养地,已有学者对该区的植被覆盖和变化做过大量研究。已有研究表明,祁连山草地植被NDVI呈缓慢增加趋势,气温、降水与草地植被NDVI的最大相关性滞后期都为2旬左右^[8];祁连山植被覆盖变化存在明显的空间差异,表现为中西部植被覆盖增加,东部植被覆盖减少^[9];气温和降水是影响祁连山植被NDVI变化的主要因子,局部地区密集的人类活动也是影响植被NDVI变化的重要因素^[10-11]。有关祁连山植被变化研究采用的数据源有SPOTVGT NDVI,MODIS NDVI和GIMMS NDVI数据,但受数据源的局限性,研究序列相对较短,主要集中于2000年以后的近十多年,而对长序列的研究尚未开展。本文利用1982—1999年的GIMMS NDVI数据和2000—2014年的MODIS NDVI数据,对祁连山近35 a生长季植被变化及其对气候变化的响应进行深入研究,旨在全面了解研究区植被的变化情况,进而为应对气候变化决策提供一定的科学依据。

1 研究区概况

祁连山位于青藏高原东北边缘,东起乌鞘岭,西至当金山口,东西延伸约800 km(图1);地势西北高东南低,由多条西北—东南走向的平行山脉及谷地组成,海拔为2 100~4 500 m,最高峰团结峰高达5 826.8 m;水热条件差异大,年均温0.6℃,年降水400~700 mm,具有典型的高原大陆性气候特征;河流以冰川融水和山区降水补给为主,主要有党河、疏勒河、北大河、黑河、石羊河、大通河和湟水等;植被分布具有垂直地带性,海拔由低到高依次为:荒漠草原、山地草原、山地森林草原、高山灌丛草甸、高寒草甸和高寒稀疏草甸;土壤也表现出明显的垂直地带性,海拔由低到高依次为:山地栗钙土、山地灰褐土、亚高山灌丛草甸土、高山寒漠土、岩石。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究所采用的遥感数据是GIMMS AVHRR NDVI和MODIS NDVI数据集。GIMMS AVHRR NDVI在中国西部环境与生态科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)免费下载,时间序列为

1982—1999年,空间分辨率为8 km,时间分辨率为15 d。MODIS NDVI数据集在网站(<https://wist.echo.nasa.gov/api/>)直接下载,时间序列为2000—2014年,空间分辨率为1 km,时间分辨率为16 d。气象数据为1982—2014年祁连山及其周边地区共37个气象站点(图1)的日平均气温和降水量数据,资料来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)。植被类型图为寒区旱区科学数据中心提供的1:1 000 000矢量图。

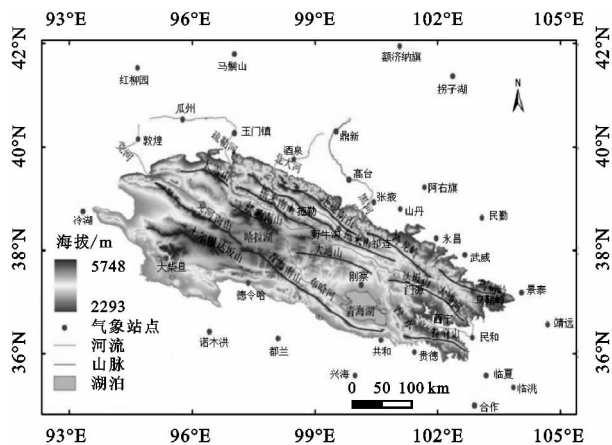


图1 祁连山区位及气象站分布

2.2 研究方法

2.2.1 最大值合成法 采用最大值合成法(MVC, maximum Value Composites)获取月NDVI的最大值,作为统计分析的基础数据。公式为^[12]:

$$M_{NDVI_i} = \max(NDVI_1, NDVI_2) \quad (1)$$

式中: i 为月序号,取值范围为5~9,代表生长季的5个月份; M_{NDVI_i} 为第*i*月的最大NDVI值; $NDVI_1$, $NDVI_2$ 为第*i*月上半月和下半月的NDVI值。

2.2.2 均值法 采用均值法来计算每年生长季平均的NDVI值,用于分析生长季植被NDVI的年际变化。公式为:

$$\overline{NDVI_j} = (\sum_{i=1}^9 NDVI_i) / K \quad (2)$$

式中: $\overline{NDVI_j}$ 为*j*年生长季平均的NDVI值; K 为求平均值月份之和,取值为5。

2.2.3 斜率分析法 采用斜率分析法来分析生长季植被NDVI的空间变化趋势。参照已有的研究^[13],根据Slope值的大小将研究区植被覆盖变化等间距划分为7个等级:显著减少、中度减少、轻度减少、基本不变、轻度增加、中度增加、显著增加,并统计各区间间的面积百分比。公式为^[14]:

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

$$M_{NDVI_i} = \max(NDVI_5, NDVI_6, NDVI_7, NDVI_8, NDVI_9) \quad (4)$$

式中： n 为监测时间段的累计年数； M_{NDVI_i} 为第 i 年生长季最大化 NDVI 值。 θ_{slope} 是趋势线的斜率，其中 $\theta_{slope} > 0$ ，说明 NDVI 在 n 年间呈增加趋势， $\theta_{slope} < 0$ ，则说明 NDVI 在 n 年间呈退化趋势， $\theta_{slope} = 0$ ，则说明 NDVI 在 n 年间没有变化。

2.2.4 相关分析法 采用相关分析法来研究生长季植被 NDVI 对气候变化的响应。公式为^[15]：

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

式中： n 为监测时间段的累计年数； x, y 分别为相关分析的 2 个变量； \bar{x}, \bar{y} 为变量样本值的平均值。 $r_{xy} >$

0，表示正相关， $r_{xy} < 0$ ，表示负相关， $r_{xy} = 0$ ，表示不相关。 $|r_{xy}| < 0.3$ 为弱相关， $0.3 < |r_{xy}| < 0.5$ 为低度相关， $0.5 < |r_{xy}| < 0.8$ 为显著相关， $0.8 < |r_{xy}| < 1$ 为极显著相关^[16]。

3 结果与分析

3.1 生长季植被 NDVI 的年际变化

图 2 为祁连山生长季植被 NDVI 的年际趋势。1982—1999 年，祁连山生长季 NDVI 最小值在 1982 年，值为 0.311 2，最大值在 1993 年，值为 0.349 7(图 2A)。1982—1993 年植被 NDVI 呈增加趋势，1993—1999 年呈下降趋势。1982—1999 年，祁连山生长季植被 NDVI 整体表现为增加趋势，但变化趋势没有通过 0.05 的置信度检验，表明增加趋势并不明显。

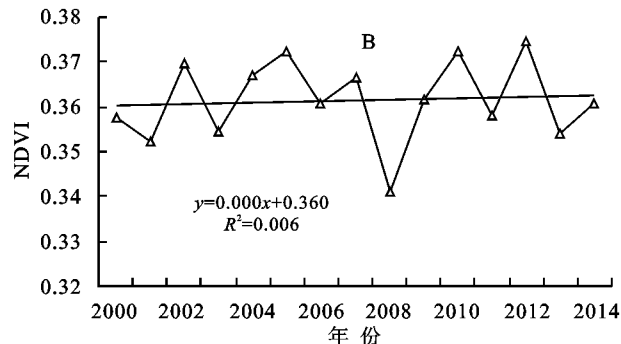
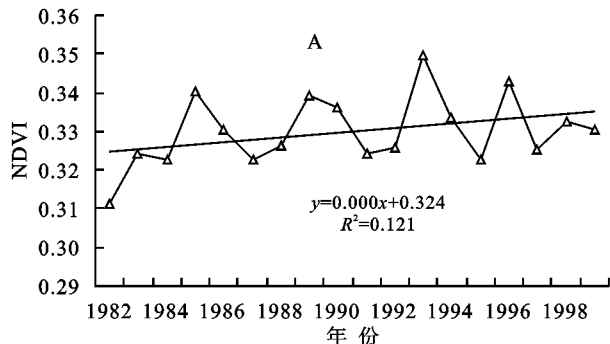


图 2 祁连山生长季植被 NDVI 的年际变化

2000—2014 年，祁连山生长季植被 NDVI 最大值为 0.372 5，出现在 2012 年，最小值为 0.341 2，出现在 2008 年(图 2B)。2000—2005 年植被 NDVI 呈增加趋势，2005—2008 年呈降低趋势，2008—2012 年又呈增加趋势，2012—2014 年又呈下降趋势。2000—2014 年，祁连山生长季植被 NDVI 整体也呈增加趋势，变化趋势也没有通过 0.05 的置信度检验，说明增加趋势也不明显。总体来看，1982—2014 年，祁连山生长季植被 NDVI 呈不明显的增加趋势。

3.2 生长季植被 NDVI 的空间变化

1982—1999 年，祁连山植被 NDVI 的变化不大，基本不变的比例高达 85.04%(表 1)。植被 NDVI 轻度减少的比例为 6.91%，主要分布在大雪山、走廊南山、冷龙岭、乌鞘岭以及大通河谷。植被 NDVI 轻度增加的比例为 8.05%，主要分布在疏勒南山、大通山、党河南山、青海南山以及青海湖周边。

2000—2014 年，植被 NDVI 显著增加的面积占总面积的 1.29%，主要分布于拉脊山和青海南山，在青海湖周边也零散分布。植被 NDVI 中度和轻度增加的面积分别占总面积的 1.44%，23.58%，主要分布在达坂山、疏勒南山、拉脊山、托勒南山、托来山、青

海南山、冷龙岭和走廊南山，党河南山及青海湖、哈拉湖、湟水谷地的周边地区也集中分布。植被 NDVI 轻度和中度减少面积分别占总面积的 3.73%，0.4%，主要分布在乌鞘岭及石羊河、黑河、北大河、大通河、疏勒河等河流河谷地区。植被 NDVI 显著减少的面积占总面积的 0.66%，主要集中分布在乌鞘岭和庄浪河、古浪河的河谷地带。

表 1 祁连山生长季植被 NDVI 年际变化趋势统计

斜率 范围	等级 变化	1982—1999 年 NDVI		2000—2014 年 NDVI	
		面积/ km ²	比例/ %	面积/ km ²	比例/ %
<-0.015	显著减少	—	—	123	0.66
-0.015~-0.009	中度减少	—	—	757	0.40
-0.009~-0.003	轻度减少	12996	6.91	7015	3.73
-0.003~0.003	基本不变	159943	85.04	129604	68.91
0.003~0.009	轻度增加	15140	8.05	44346	23.58
0.009~0.015	中度增加	—	—	2699	1.44
>0.015	显著增加	—	—	2426	1.29

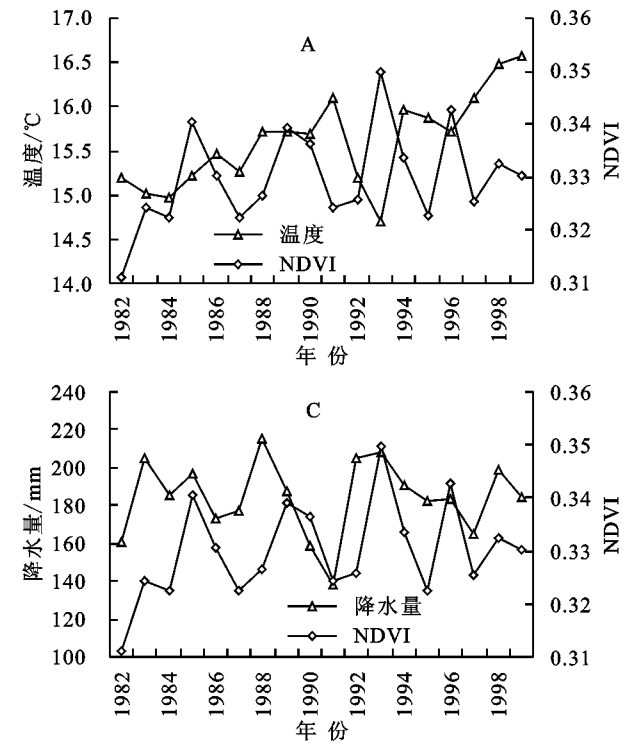
注：研究区总面积为 188 080.3 km²。

总体上，1982—2014 年祁连山植被 NDVI 增加的区域集中在中西部，这主要是由于祁连山中西段降

水的明显增加,同时祁连山设立了国家级自然保护区,退耕还林、封山育林等措施的有效实施,导致植被 NDVI 增加。此外,植被 NDVI 增加的区域主要分布在高海拔区,这些地区受人类活动影响较小,有利于植被的恢复和保护。祁连山植被 NDVI 降低的区域集中于东部,由于气温升高和降水减少,造成植被 NDVI 降低。植被 NDVI 降低的区域主要是河谷地区 and 前山地带,这里受人类活动影响较大,进一步导致 NDVI 降低。

3.3 生长季植被 NDVI 对气候变化的响应

图 3 为祁连山生长季植被 NDVI 与生长季气温



和降水量的关系。1982—1999 年,祁连山植被 NDVI 与气温的年际变化趋势在 1984—1985 年、1987—1988 年、1990 年、1995 年、1998 年表现出一致性,在其余大部分时段或年份呈相反的变化趋势。植被 NDVI 与降水的年际变化趋势总体上具有同步性,但在 1987 年、1989 年表现出相反的变化趋势。1982—1999 年,生长季植被 NDVI 与当月、前期 1 月、前期 2 月的降水和气温的相关性均较低(表 2),但 9 月份的植被 NDVI 与前期 2 月的降水和气温的相关性较高,并通过了 0.05 的置信度检验,可见 7 月份降水较多和气温略低有利于 9 月份植被 NDVI 的积累。

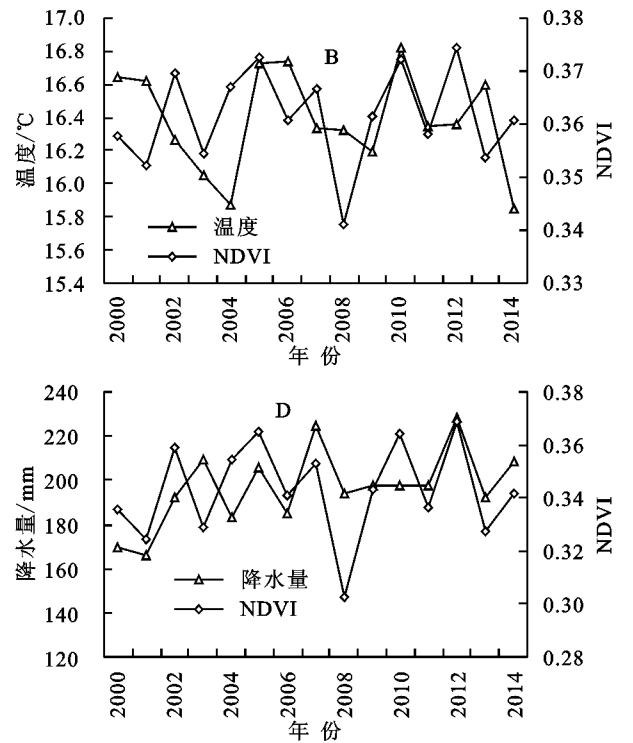


图 3 祁连山生长季植被 NDVI 与降水和温度的关系

表 2 祁连山生长季各月 NDVI 与气候因子的相关性

年份	月份	降水			温度		
		当月	前期 1 月	前期 2 月	当月	前期 1 月	前期 2 月
1982—1999 年	5 月	0.033	0.082	0.401	0.248	0.244	0.256
	6 月	-0.041	0.006	-0.094	0.261	-0.227	0.221
	7 月	-0.076	0.216	0.143	0.063	0.121	-0.037
	8 月	0.026	0.217	0.104	-0.087	-0.411	-0.413
	9 月	0.045	0.308	0.480*	-0.086	-0.099	-0.499*
2000—2014 年	5 月	0.513	-0.336	0.341	-0.252	0.533*	0.080
	6 月	0.440	0.604*	-0.048	0.179	-0.292	-0.075
	7 月	0.295	0.341	0.580*	0.120	0.272	-0.028
	8 月	0.153	0.589*	-0.191	0.259	-0.120	0.045
	9 月	0.095	0.378	0.107	0.033	0.073	0.031

注: * 表示通过 0.05 水平(双侧)上显著相关。

2000—2014 年,植被 NDVI 与气温的年际变化在 2001 年、2003 年、2005 年、2010—2012 年表现出

一致性,在其余时段或年份则呈相反的变化趋势。植被 NDVI 与降水变化趋势大体上较为相似,但在

2003—2004、2010—2011 年变化趋势相反。2000—2014 年,生长季植被 NDVI 与当月、前期 1 月、前期 2 月的降水和气温的相关性也均较低(表 2),但 5 月份植被 NDVI 与前期 1 月气温相关性较高,6 月、8 月份植被 NDVI 与前期 1 月降水相关性较高,7 月份植被 NDVI 与前期 2 月降水相关性较高,并通过了 0.05 的置信度检验,可见 4 月气温较高有利于 5 月植被 NDVI 的积累,5 月降水较多有利于 6 月、7 月植被 NDVI 较高,7 月降水较多有利于 8 月植被 NDVI 的积累。

气候的年际变化对祁连山植被 NDVI 有一定的影响,不同月份的气温和降水变化对后面月份的植被生长也有影响,造成植被 NDVI 对气温和降水存在一定的滞后性响应。生长季的植被在不同月份对气温和降水的需求有所不同,因而对气温和降水的敏感性也不同。5 月份,前期 1 月气温对植被生长有影响,若前期气温回升较快有利于植被 NDVI 积累。6 月、7 月、8 月份,前期 1 月或前期 2 月降水较多有利于植被生长。9 月份,前期 2 月降水较多和气温略低有利于植被 NDVI 增加。

4 结 论

(1) 近 35 a 来,祁连山植被 NDVI 整体呈增加趋势,但变化趋势并不明显。1982—1999 年与 2000—2014 年相比,植被 NDVI 增加幅度略高。

(2) 近 35 a 来,祁连山植被 NDVI 呈增加趋势的面积比呈降低趋势的面积大,表明植被覆盖状况有所改善。植被 NDVI 增加的区域集中在中西部和高海拔地区,植被 NDVI 降低的区域集中在东部的河谷和前山地带。

(3) 气候的年际变化对祁连山植被 NDVI 有一定的影响,植被 NDVI 对气温和降水存在一定的滞后性响应。4 月气温较高有利于 5 月植被 NDVI 的积累,7 月降水较多和气温略低有利于植被 NDVI 增加。

参考文献:

[1] 李晓兵,陈云浩,张云霞,等. 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J]. 地球科学进展,2002,17(2):254-261.

[2] 吴正方,斩英华,刘吉平,等. 东北地区植被分布全球气候变化区域响应[J]. 地理科学,2003,23(3):564-570.

[3] 娄安如. 植被—气候关系研究概述[J]. 生物学通报,1996,31(5):10-12.

[4] Mccarty J P. Ecological consequences of recent climate change[J]. Conservation Biology, 2001,15(2):320-331.

[5] 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.

[6] 宋怡,马明国. 基于 GIMMS AVHRR NDVI 数据的中国寒旱区植被动态及其与气候因子的关系[J]. 遥感学报,2008,12(3):499-505.

[7] Ding M, Zhang Y, Liu L, et al. The relationship between NDVI and precipitation on the Tibetan Plateau [J]. Journal of Geographical Sciences, 2007,17(3):259-268.

[8] 戴声佩,张勃,王强,等. 祁连山草地植被 NDVI 变化及其对气温降水的旬响应特征[J]. 资源科学,2010,32(9):1769-1776.

[9] 武正丽,贾文雄,刘亚荣,等. 近 10 a 来祁连山植被覆盖变化研究[J]. 干旱区研究,2014,31(1):80-87.

[10] 陈京华,贾文雄,赵珍,等. 1982—2006 年祁连山植被覆盖的时空变化特征研究[J]. 地球科学进展,2015,30(7):834-845.

[11] 徐浩杰,杨太保,曾彪. 2000—2010 年祁连山植 MODIS NDVI 的时空变化及影响因素[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(11):87-91.

[12] 张戈丽,徐兴良,周才平,等. 近 30 年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应[J]. 地理学报,2011,66(1):47-58.

[13] 宋怡,马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. 中国沙漠,2007,27(1):89-93.

[14] 邱海军,曹明明. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国植被覆盖时空变化分析[J]. 资源科学,2011,33(2):335-340.

[15] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002.

[16] 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.