

雅鲁藏布江流域生长季 NDVI 对湿季降水的响应

张嘉琪, 任志远

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710119)

摘要:运用经验正交函数和奇异值分解法对 2000—2010 年雅鲁藏布江流域生长季植被覆盖与降水量的时空分布及时空相关性进行研究。结果表明:研究期间,雅鲁藏布江流域湿季降水的主要空间分布型是东西差异分布型,每年 7、8、9 月份这一特征逐渐显著,且长期变化趋势的显著性逐渐增强。植被覆盖的主要模态贡献率达到 55.7%。东部米林宽谷地区植被覆盖度较高,时间系数震荡周期明显且呈微弱的上升趋势。研究区内的植被覆盖与湿季降水的耦合模态基本成正相关,最大耦合贡献率达到 61.8%。植被覆盖受季风气候的影响最为直接,其次受地形地貌因素以及土地利用类型特征的影响较大。

关键词:生长季 NDVI; 经验正交函数; 奇异值分解; 雅鲁藏布江流域

中图分类号: P463.22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)02-0209-04

Responses of Vegetation Changes in Growing Season to Precipitation in Yarlung Zangbo River Basin

ZHANG Jiaqi, REN Zhiyuan

(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: Using empirical orthogonal functions(EOF) and singular value decomposition(SVD), this paper analyzed the temporal and spatial distribution characteristics and the spatial-temporal correlation between vegetation cover in growing season and precipitation in Yarlung Zangbo River Basin in 2000—2010. The results are shown as follows. During the period of 11 years, the characteristics are becoming more significant in July, August and September each year, and the spatial distribution of the trends is becoming ever more obvious in recent years. The contribution rate of the main mode of vegetation reached up to 55.7%. The vegetation coverage in eastern millin wide area is higher than other regions, and time coefficient oscillation cycle is obvious and presents the rising trend. The coupling mode relationship between vegetation cover and wet season precipitation shows a positive correlation, and the highest contribution rate is 61.8%. Monsoon climate has the direct influence on vegetation cover, the landscape factors and the land use type characteristics were the secondary factors affecting the vegetation cover.

Keywords: NDVI in growing season; empirical orthogonal functions; singular value decomposition; Yarlung Zangbo River Basin

归一化植被指数(Normal Difference Vegetation Index, NDVI)常用于不同尺度植被覆盖的动态监测,它是对气候因子响应研究的重要指标,是目前最为常用的表示植被覆盖状况的有效手段,已被广泛应用在环境、生态、农业研究当中^[1]。近年来,国内外学者利用不同区域不同尺度的 NDVI 对相关气候因子的响应进行了研究,结果表明 NDVI 与降水因子基本呈现正相关^[2-4],但多数方法是通过计算相关系数得到二者的相关性。由于 NDVI 的变化具有很强的季节

性,所以将经验正交函数(Empirical Orthogonal Functions, EOF)和奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)应用在植被对降水量的响应上具有一定的可行性。该方法可直接运用于降水和植被两个气象场的交叉相关系数场的分解及计算,可最大限度地分离出两场的相互独立耦合模态的高相关区,进而揭示二者之间存在的时空相关性及成对变量场之间相关系数场的空间结构^[5]。雅鲁藏布江是世界上海拔最高的河流,流域内是独特的高寒气候,

属于气候变化的敏感地带,加之人类活动的加剧,使得土地沙化退化较为严重,生态环境十分脆弱。因此地表植被覆盖变化的研究对该地的生态环境建设具有十分重要的意义^[6-10]。本文基于经验正交函数和奇异值分解方法对雅鲁藏布江流域生长季 NDVI 对湿季降水的响应进行分析,进一步解释二者的变化机理,为该区域生态环境建设及修复提供参考依据及理论支撑。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

雅鲁藏布江流域位于 $28^{\circ}00' - 31^{\circ}16'N, 82^{\circ}00' - 97^{\circ}07'E$ 。流域内海拔差异较大,由上游的高原寒温带半干旱气候—中游的高原温带半干旱气候—下游山地亚热带、热带气候横跨 4 个气候带。流域内东西狭长,南北窄短,其南面为喜马拉雅山脉,北面为冈底斯山和念青唐古拉山脉,南北间为藏南谷地。按河谷宽窄特征和行政界线,将雅鲁藏布江流域自上而下划分为 4 个宽谷段,即马泉河宽谷、日喀则宽谷、山南宽谷和米林宽谷。流域内多年平均降水量 $300 \sim 500$ mm,且区域间差异大,年内分配不均。夏半年和冬半年的气候差异较大;夏半年日照充足、降水集中、多夜雨和冰雹;冬半年寒冷干燥、降水稀少、多大风。

1.2 数据来源及研究方法

本文所用数据包括雅鲁藏布江流域 2000—2010 年 SPOT VEGETATION 旬值 NDVI 数据及 15 个气象站点(贡嘎、当雄、拉孜、南木林、日喀则、尼木、拉萨、泽当、江孜、浪卡子、嘉黎、波密、加查、米林)2000 年至 2010 年的旬值降水资料。NDVI 数据来自于互联网(<http://free.vgt.vito.be/home.php>),降水数据来自于中国气象科学数据共享服务网。由于流域内降水量的变化与 NDVI 的变化在时间上基本上同步^[11],所以植被生长季与降雨湿季在时间上划分上大体一致,二者的时间序列均采用了每年的 5—10 月。

研究中采用的方法为经验正交函数(EOF)和奇异值分解法(SVD)。EOF 是一种分析矩阵数据结构特征,提取主要数据特征向量的方法。具体做法是将时空数据变量矩阵进行正交函数展开,将变量场的时空变异特征分解,实现给定模态的时空变化规律。该方法的优点是展开收敛速度快,比较容易集中大量资料信息,能在优先区域内对不规则分布的站点进行分解^[12-13]。它把原变量分解为很少的不相关典型模态,每个典型模态都含有尽量多的原始场的信息。同时,典型模态所对应的时间系数代表了由特征向量所表征的分布型式的时间变化特征。SVD 是对气候要素

耦合场进行统计分析的方法之一,用来分析要素场序列之间的相关关系。它能够最大限度地从 2 个要素场中分离出多个相互独立的耦合模态,进而揭示二者之间存在的时域相关性和空间联系。SVD 分析结果可以了解两变量场的空间相关程度^[14]。EOF 与 SVD 分解后的空间分布模态均基于 ArcGIS 10.1 平台采用径向基函数插值法处理。

2 结果与分析

2.1 湿季降水的时空分布特征

雅鲁藏布江流域湿季降水 4 个主要 EOF 模态的空间分布型如附图 11 所示。附图 11a 是雅鲁藏布江流域的主要空间分布型,方差贡献率达到 87.7%。表征东西差异的分布情况。从该模态的空间分布和时间系数(图 1a)来看,2000—2010 年雅鲁藏布江流域湿季降水呈西部偏少东部偏多的特点,尤其是在喜马拉雅山脉最东端米林宽谷地带降水最为丰富,每年 7 月,8 月,9 月份这一特征逐渐增强,以 2005 年、2010 年 9 月最为典型。而在 5 月,6 月,10 月份空间分布的典型性较弱,且空间分布型处于交替变化中。从长期变化趋势来看,该种分布型的显著性逐渐增强。湿季降水的第一模态主要反映了这一时期季风气候和印度洋孟加拉湾的暖湿气流对东部影响较大,西部由于海拔高,水汽难以到达,导致降水较少。

EOF 的第二模态如附图 11b 所示,正值中心分布在雅鲁藏布江中下游山南宽谷和米林宽谷的西部,从正值中心向东西扩展,数值逐渐减小,负值中心在东部的波密附近。时间系数(图 1b)在 2003—2006 年震荡非常明显,其中 2004 年出现了正值最典型分布,2005 年出现负值最典型分布。其他年份的湿季降水的时间系数负值震荡显著性减弱,空间分布典型性相比第一模态较弱。

EOF 的第三模态如附图 11c 所示,在东部的米林宽谷呈现出南北差异的分布态。米林宽谷南部为正值中心,北部为负值中心,中心吻合度较好。时间系数(图 1c)正负震荡较为明显,但正值波动性不大,最大值出现在 2007 年。2003 年出现了负值最典型分布,2008 年、2010 年次之,且负值的典型性比正值显著。

EOF 的第四模态如附图 11d 所示,第四模态的正负值区域与第二模态大致呈相反分布。负值中心吻合度较好。从时间系数来看(图 1d),除了 2003 年出现一次正值最典型分布以外,其他年份时间震荡不明显,相对于其他模态来讲典型性较小,2007 年的反向空间分布最为典型。

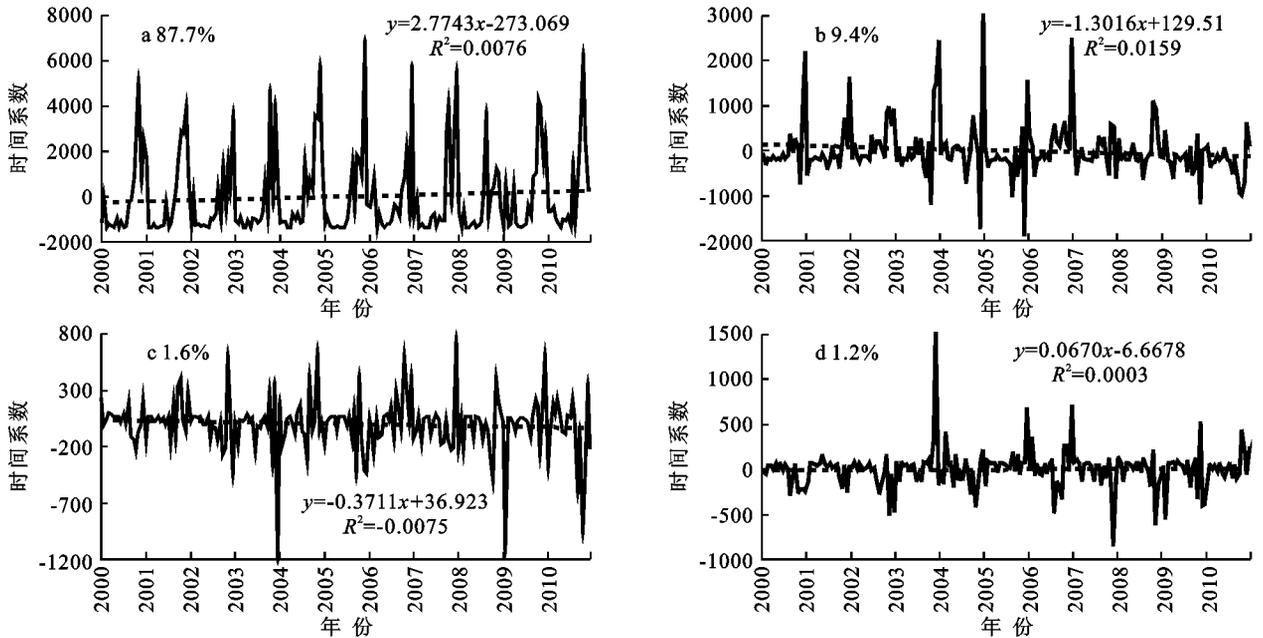


图 1 湿季降水主要 EOF 模态的时间系数

注:a、b、c、d 分别化表第一模态、第二模态、第三模态、第四模态的时间系数

2.2 生长季 NDVI 的时空分布特征

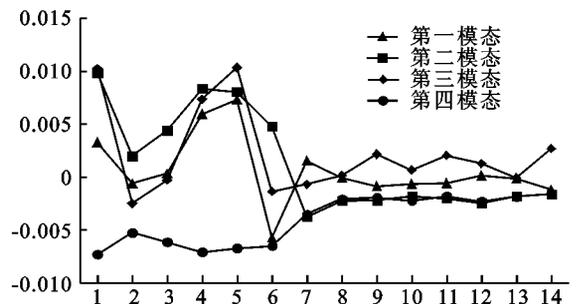
NDVI 的 4 个主要 EOF 模态空间分布型如附图 12 所示。第一模态(附图 12a)的方差贡献率为 55.7%。正值中心主要分布在东部米林宽谷地区,负值中心主要分布在雅鲁藏布江的中上游及源头地带。可以看出,雅鲁藏布江流域整个研究区植被覆盖与第一模态的湿季降水在空间分布上匹配程度很好。结合图 2 中第一模态的折线图可知,正值区分布的植被带主要有热带雨林性常绿阔叶林、热带常绿阔叶雨林及次生植被、热带亚热带常绿针叶林等,由于东部的水分条件较好,植被类型较为丰富;负值区域分布的植被带有温带、亚热带亚高山落叶灌丛、温带亚热带高山灌木、草本植被、温带亚热带高寒草原以及温带高寒草本沼泽,植被覆盖相对较低,主要是由于孟加拉湾的暖湿气流不能深入内陆的结果。时间系数震荡周期明显且呈微弱的上升趋势,基本在每年的 7—9 月份时间系数均为正向分布型特征,2003 年,2004 年,2005 年这种分布特征最为显著。

第二模态(附图 12b)的方差贡献率为 32.4%。正值范围相比第一模态要小,植被类型分布种类也少;负值分布范围集中在中游山南宽谷北部靠近念青唐古拉山脉的地区。该地由于海拔较高,高山深谷分布较为明显,植被的垂直地带分布较为明显。时间系数的下降趋势较为明显,虽然年内震荡不显著但呈正负交叉分布,2007 年的 6 月、7 月份出现最典型分布。

第三模态(附图 12c)的方差贡献率为 7.7%。与湿季降水的第三模态匹配较好。正值区分布在峡谷东南部,植被类型有热带亚热带常绿针叶林;热带雨

林性常绿阔叶林;热带常绿阔叶雨林及次生植被;负值的时间系数占主导地位且分布在峡谷东北部,植被类型有亚热带山地常绿针叶林;温带、亚热带亚高山落叶灌丛以及温带、亚热带高山垫矮半灌木草本植被等。时间系数的线性趋势呈下降趋势。

第四模态(附图 12d)的方差贡献率为 3.9%。这一分布模态的最大值分布在东部米林峡谷河流拐弯处的南部周边,比起前三个模态正值的分布范围更小。时间系数呈现出正负交替分布,但震荡幅度不明显,呈上升趋势,只有 2010 年 7 月、8 月份出现正值显著分布型。



1. 亚热带、热带常绿针叶林;2. 亚热带、热带山地常绿针叶林;3. 亚热带山地酸性黄壤常绿阔叶;4. 热带雨林性常绿阔叶林;5. 热带常绿阔叶雨林及次生植被;6. 亚热带高山,亚高山常绿革质叶灌丛矮林;7. 温带、亚热带亚高山落叶灌丛;8. 温带、亚热带高山垫矮半灌木、草本植被;9. 温带、亚热带高寒草原;10. 温带、亚热带高寒草甸;11. 温带高寒草本沼泽;12. 一年一熟粮食和耐寒经济作物;13. 无植被地段;14. 湖泊

图 2 NDVI 4 种模态不同植被类型特征向量

2.3 生长季 NDVI 与湿季降水的空间相关分析

附图 13 为 NDVI 与湿季降水的两个主要 SVD 模态的空间分布型。由第一模态空间分布图(附图

13a)可以看出:NDVI的正值区主要分布于雅鲁藏布江中下游的山南宽谷和米林宽谷。负值主要分布于上游及源头区的日喀则宽谷和马泉河宽谷。降水分布的正值的高值区主要分布在米林宽谷北部靠近唐古拉山脉的地区,并有两个正值中心。降水的正值中心从东北部向西南部逐渐递减,在日喀则和山南宽谷交界的附近向东北方向发生弯曲,在江孜附近形成一个负值中心。NDVI和湿季降水的此种分布格局表明:1)雅鲁藏布江流域中下游地区NDVI与降水之间呈现正相关趋势,即降水变化呈正值时,NDVI也呈上升趋势。该地的降水量在5月,6月,7月逐月上升,之后有所下降;NDVI的变化规律也是在5月份后增加较快,6—8月份达到峰值,此后逐月递减^[12]。生长季NDVI的正值区域正是由于受到西侧高原季风和印度洋孟加拉湾的暖湿气流影响,以及念青唐古拉山东段的阻碍,成为降雨的水汽通道,植被数量以及种类较为丰富。米林宽谷和山南宽谷的植被类型主要以高山森林及山地灌丛草原为主:包括热带雨林性常绿阔叶林,亚热带、热带山地常绿针叶林;亚热带山地酸性黄壤常绿阔叶;热带常绿阔叶雨林及次生植被;亚高山常绿革质叶灌丛矮林;温带、亚热带亚高山落叶灌丛等等。2)马泉河宽谷和日喀则宽谷的植被类型主要有高山草原、高山草甸、高山灌丛和高山沼泽草甸等类型,以高寒草原和草甸生态系统为主。上游及水源区的降水较少,NDVI以负值为主。3)第一模态的主要影响因素为受季风气候影响导致的降水量的不同。

NDVI与湿季降水的空间相关性的第二模态空间分布图如附图13b所示:NDVI的负值区域主要分布在东南部米林宽谷,雅鲁藏布江峡谷拐弯处以南的地区。正值区域主要分布于河源区及上中游地区的马泉河宽谷、日喀则宽谷以及山南宽谷的峡谷两侧,其高值中心分布在中游北岸靠近念青唐古拉山地区。靠近雅鲁藏布江边的地区零星分布着负值区。该场降水的空间分布状况较为不规律:在中游拉萨和日喀则附近的地区分布着两个高值中心区,在山南宽谷雅鲁藏布江的南部又分布着一个次高值中心。其余各地均为负值控制。从NDVI和湿季降水的空间相关型分布格局可见:1)米林宽谷拐弯处以南的地区植被覆盖与降水变化呈正相关,该地区结论与第一模态相同。2)中上游及源头地区的NDVI与降水量的变化基本呈负相关,该区域的植被带主要以高寒草原和草甸为主,这可能是由于靠近源头区域海拔较高,深山峡谷区太阳光照不足,水汽越多反而使这里的气温更低,更不适宜植被的生长。加之这里的植被受地貌的影响较为突出,垂直地带性分布特征表现明显,尤其是在深

切高山峡谷接近垂直的地区植被很难生长。在拉萨和日喀则附近相关性规律不明显,这一带人类活动较明显,对土地利用格局的影响较大^[15]。3)植被覆盖与降水的此种相关格局主要与地形地貌及其土地利用类型变化特征有关,从而变化规律较为复杂。

3 结论

1)雅鲁藏布江流域湿季降水的主要空间分布型是“东—西差异分布”,即西部偏少东部偏多的特点,尤其是在喜马拉雅山脉最东端米林宽谷地带降水最为丰富,7月,8月,9月份这一特征最为显著,且从长期变化趋势来看,该种分布型的显著性逐渐增强。

2)雅鲁藏布江流域植被覆盖与第一模态的湿季降水在空间分布上匹配程度很好。植被覆盖度较高的地区主要分布在东部米林宽谷地区,主要植被类型以热带亚热带常绿阔叶林及常绿针叶林为主;植被覆盖较低的地区主要分布在雅鲁藏布江的中上游及源头地带,植被带以温带高山灌木草本植被以及高寒草原为主。时间系数震荡周期明显且呈微弱的上升趋势,基本在每年的7,8,9月份时间系数均为正向分布型特征。

3)雅鲁藏布江流域的植被覆盖与湿季降水的耦合主要成正相关,受季风气候的影响最为直接。东南部受到孟加拉湾的暖湿气流影响使雅鲁藏布江成为降雨的水汽通道,植被数量以及种类较为丰富。其次植被覆盖变化也会随着地形地貌因素以及土地利用类型特征的不同而变化。

参考文献:

- [1] Tucker C J. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1979(8):127-150.
- [2] Xin Zhong Bao, Xu Jing Xin, Zhang Wei. Spatiotemporal variations of vegetation cover on the Chinese Loess Plateau(1981—2006): Impacts of climate changes and human activities[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 51(1):67-78.
- [3] 张翀,任志远.黄土高原地区植被覆盖变化的时空差异及未来趋势[J]. *资源科学*, 2011, 33(11):2143-2149.
- [4] Zhao Mao sheng, FU Cong bin, YAN Xiao dong, WEN Gang. Study on the Relationship Between Different Ecosystems and Climate in China Using NOAA/AVHRR data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3):287-296.
- [5] 张翀,任志远,李小燕.黄土高原植被对气温和降水的响应[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(20):4205-4215.

参考文献:

- [1] 胡宏昌,田富强,胡和平.新疆膜下滴灌土壤粒径分布及与水盐含量的关系[J].中国科学:技术科学,2011,41(8):1035-1042.
- [2] 张彩云,庞奖励,常美蓉,等.农业耕作土壤与人工经济林地土壤磁化率和质地特征对比[J].农业系统科学与综合研究,2009,25(1):91-94.
- [3] 胡克林,李保国,林启美,等.农田土壤养分的空间变异性特征[J].农业工程学报,1999,15(3):33-38.
- [4] 赵庚星,李秀娟,李涛,等.耕地不同利用方式下的土壤养分状况分析[J].农业工程学报,2006,21(10):55-58.
- [5] 连纲,郭旭东,傅伯杰,等.黄土高原县域土壤养分空间变异特征及预测—以陕西省横山县为例[J].土壤学报,2008,45(4):577-584.
- [6] 王齐瑞,谭晓风,高峻.太行山前坡地不同土地利用方式下土壤水分的时空变异特征[J].水土保持学报,2008,22(4):100-103.
- [7] 成都地质学院陕北队.沉积岩(物)粒度分析及其应用[M].北京:地质出版社,1978.
- [8] 于婧,聂艳,周勇,等.江汉平原典型区农田土壤全氮空间变异的多尺度套合[J].土壤学报,2009(5):938-944.
- [9] 苑小勇,黄元仿,高如泰,等.北京市平谷区农用地土壤有机质空间变异特征[J].农业工程学报,2008,24(2):70-76.
- [10] 许文强,罗格平,陈曦,等.干旱区绿洲不同土地利用方式和强度对土壤粒度分布的影响[J].干旱区地理,2005,28(6):800-804.
- [11] 吴美榕,李志忠,靳建辉,等.新疆伊犁河谷新垦荒地土壤粒度特征[J].河北师范大学学报:自然科学版,2011,35(2):211-216.
- [12] 桂东伟,雷加强,曾凡江,等.绿洲农田土壤粒径分布特征及其影响因素分析:以策勒绿洲为例[J].土壤,2011,43(3):411-417.
- [13] 胡广录,樊立娟,王德金,等.荒漠—绿洲过渡带斑块植被表层土壤颗粒的空间异质性[J].兰州交通大学学报,2013,32(6):159-164.
- [14] 林啸,刘敏,侯立军,等.上海城市土壤和地表灰尘重金属污染现状及评价[J].中国环境科学,2007,27(5):613-618.
- [15] 王根绪,程国栋.西北干旱区土壤资源特征与可持续发展[J].地球科学进展,1999,14(5):492-497.
- [16] 刘涛,高晓飞.激光粒度仪与沉降—吸管法测定褐土颗粒组成的比较[J].水土保持研究,2012,19(1):16-22.
- [17] 董树屏,刘涛.用扫描电镜技术识别广州市大气颗粒物主要种类[J].岩矿测试,2001,20(3):202-207.
- [18] 杨德刚,韩剑萍.新疆城市化过程及机制分析[J].干旱区地理,2003,26(1):50-56.
- [19] 张卫国,俞立中.长江口潮流沉积物的磁学性质及其与粒度的关系[J].中国科学:D辑,2002,32(9):783-792.
- [20] Folk R L, Ward W C. Brazos Riverbar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Research,1957,27(1):3-26.
- [21] 高亚军,王玉明,赫晓慧.黄河中游严重水土流失区土壤粒径分布规律研究[J].水土保持研究,2006,13(5):27-29.
- [22] 端木合顺.西安市降尘粒度空间分布特征及环境意义[J].西安科技大学学报,2005,25(2):160-163.
- [23] 王冠.兰州市街道尘埃磁学特征研究[D].兰州:兰州大学自然地理研究所,2008.
- [24] Stojanović Z, Marković S. Determination of particle size distributions by laser diffraction[J]. Technics-New Materials,2012,21(1):11-20.

~~~~~

(上接第212页)

- [6] 杜子涛,占玉林,王长耀.基于NDVI序列影像的植被覆盖变化研究[J].遥感技术与应用,2008,23(1):47-50.
- [7] 李杭燕,颜耀文,马明国.时序NDVI数据集重建方法评价与实例研究[J].遥感技术与应用,2009,24(5):596-602.
- [8] 王桂钢,周可法,孙莉,等.近10a新疆地区植被动态与R/S分析[J].遥感技术与应用,2010,25(1):84-90.
- [9] 王灿,任志远,张翀.陕北地区NDVI对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J].水土保持研究,2014,21(1):173-177.
- [10] 韦振锋,任志远,张翀.近12a广西植被覆盖与降水和气温的时空响应特征[J].水土保持研究,2013,20(5):33-38.
- [11] 付新峰,杨胜天,刘昌明.雅鲁藏布江流域NDVI变化与主要气候因子的关系[J].地理研究,2007,26(1):60-66.
- [12] Rencher A C. Methods of multivariate analysis[M]. New York: John Wiley&Sons, INC. Publication, 2002.
- [13] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007.
- [14] 付新峰,杨胜天,刘昌明.雅鲁藏布江流域NDVI时空分布及与降水量的关系[J].北京师范大学学报:自然科学版,2006,42(5):539-542.
- [15] 刘江伟.拉萨市土地利用结构变化及其生态服务功能价值响应[D].南京:南京农业大学,2010.