

# 基于遥感的甘肃省庆阳市植被物候信息提取

李党辉, 谢敏, 乔枫

(国家林业局西北林业调查规划设计院, 西安 710038)

**摘要:**以黄土高原退耕还林还草工程重点区域——甘肃省庆阳市为研究区域,利用1999—2012年的SPOT-VGT NDVI数据,采用Savitzky-Golay滤波和TIMESAT物候提取算法,得到了庆阳市近14 a返青期和枯黄期数据,详细描述了庆阳市物候期时空变化格局。结果表明:庆阳地区近14 a期间返青期日序位于90~188天,东南地区相对于西北地区返青期要早,表现出较强的空间差异性,枯黄期日序位于275~309天,南部地区相对北部地区枯黄期要晚;从时间上来讲,14 a间,庆阳市返青期日序呈降低趋势,在一定程度上呈现出返青期的提前和枯黄期的推迟;空间上来讲,55.46%的研究区返青期变化率基本不变( $-1\sim 1$  d/a),49.61%的区域出现了枯黄期的推迟( $1\sim 3$  d/a)。研究结果与已有的研究较为一致,并详细描述了庆阳市物候期时空变化格局,可为中国北方农牧交错带生态环境评估和保护提供一定的参考。

**关键词:**SPOT-VGT NDVI; 返青期; 枯黄期; 庆阳

**中图分类号:** TP79

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2017)03-0136-05

## Extraction of Vegetation Phenology Based on Remote Sensing Technique in Qingyang City, Gansu Province

LI Danghui, XIE Min, QIAO Feng

(Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, State Forest Administration, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** SPOT-VGT NDVI images were employed to extract the seasonal data between 1999 and 2012 in Qingyang City which was the typical zone for the 'Grain for Green Project'. Through selecting the Savitzky-Golay filter and extracting methods for start and end of season, we derived the spatiotemporal pattern of vegetation phenology. The results showed that the average start of season varied from 90th to 188th day, and it occurred earlier in southwest than northwest. The average end of the season varied from 275th to 309th day and it occurred later in the southern region; in the past fourteen years, there was a decreasing trend and induced the arising for start of the season. 55.46% of area varied with the rate of  $-1\sim 1$  day per year, presenting an advance in spatial. The region with a significant postponed trend was about 49.61% of the study area. These results were consistent with previous publications and showed a detail about the spatiotemporal pattern of vegetation phenology, which could provide reference for ecological environment evaluation and protection for ecotone of agriculture and grassland in north China.

**Keywords:** SPOT-VGT NDVI; season of start; season of end; Qingyang City

物候是指受环境影响而出现的以年为准周期的自然现象<sup>[1]</sup>,如植物发芽、长叶、开花、结果、叶的掉落和休眠等<sup>[2]</sup>。植物物候直接反映了植被与环境季节之间的关系,是表示植被生长环境和植被生长状态最直观的指示因子,同时也是全球变化生态学研究中的重要资料<sup>[3]</sup>。其中,返青期是植被越冬后生长季开始的时间,枯黄期则反映了植物准备越冬生长季结束的时间<sup>[4]</sup>,返青期和枯黄期的动态变化直接关系到植物

生长季的长度,不但反映了植被对全球变化碳氮水循环的响应,而且与全球陆地生态系统碳平衡息息相关,是全球变化研究的重要方向<sup>[5]</sup>。清楚地掌握植物物候动态变化及其机理对于农林业生产管理、对于制定和完善应对气候变化的适应政策具有重要意义。

传统的物候信息提取往往基于田间观测试验和统计预测来获得。近些年来,遥感技术的不断成熟和发展,已经可以为群落尺度和区域尺度的物候研究提供

有利条件,是揭示植被动态对全球气候变化响应的重要手段<sup>[6-7]</sup>。遥感技术作为一种新的快速的监测技术成熟地应用到植被对全球变化的响应研究<sup>[8-10]</sup>、生物量及碳储量估算研究<sup>[11-12]</sup>、农林业生产管理研究<sup>[13-15]</sup>、土地利用监测研究<sup>[16-18]</sup>和植被覆盖变化动态监测<sup>[19-21]</sup>等各领域研究中。由遥感数据的近红外波段和红外波段产生的 NDVI,已经广泛地应用到区域和全球尺度的植被物候研究中,进一步提高了人类对植被物候学的认识和理解<sup>[22]</sup>,这些都表明利用遥感来提取植被物候信息的方法和技术在物候学研究中十分重要。

庆阳市位于我国黄土高原的中心部分,是西部大开发和退耕还林还草工程实施的重点区域,在全球气候显著变化的大背景下,分析该区域植被物候的动态时空变化具有重大的意义。目前,对于庆阳市植被物候的信息提取和时空变化分析研究的结果还几乎没有,更没有结合长时间序列对庆阳地区植被物候信息的报道。本研究旨在利用 SPOT-VGT NDVI 长时间影像探究植被物候信息提取方法,对庆阳市的物候信息时空变化格局进行分析,旨在为庆阳市的生态建设规划提供一定的科学支撑。

## 1 研究区与数据来源

### 1.1 研究区概况

庆阳市(35°21′—37°16′N, 107°15′—109°36′E)位于甘肃省东北部,地处黄土高原丘陵沟壑区,沟壑区面积占全市面积的 40% 以上,是黄土高原水土保持重点区域。本地区的植被以草地和耕地为主,子午岭林区位于研究区的东部。全市总土地面积 27 119 km<sup>2</sup>,2013 年总人口 222.27 万人。庆阳属于大陆性气候,冬季干冷,夏季多雨,降水量南多北少,平均降水量为 380~600 mm,多集中在 7—9 月。由于此地区是农牧交错带的中西部地区,而且是黄土高原退耕还林还草工程重点区域,因此该区域是研究农牧交错带物候特征的理想区域。

### 1.2 数据来源及其预处理

本研究所使用的数据为 1999 年 1 月—2012 年 12 月共计 14 a 的 SPOT-VGT 逐旬 NDVI 数据,数据的空间分辨率为 1 km,原始数据由比利时佛兰芒科技研究所(Flemish Institute for Technological Research, <http://free.vgt.vito.be/index.php>),中国 NDVI 数据来源于基金委国家地球系统科学数据平台(<http://westdc.westgis.ac.cn>),共计 504 期影像,之后对其进行了几何校正,最大化合成,DN 值向 NDVI 转化等预处理操作<sup>[20]</sup>。本研究使用的气象数据来自于中国气象数据网(<http://data.cma.gov.cn/site/index.html>),土壤类型数据来自于地球系统

科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/Portal/>),植被覆盖数据来源于国家科技基础条件平台(<http://www.nsii.org.cn/mapvege>)。

## 2 研究方法

### 2.1 Savitzky-Golay 滤波

因为受到太阳角度、观测角度、传感器灵敏性、地物双向性反射以及气溶胶的影响,SPOT-VGT NDVI 数据包含很多的噪声,在使用之前往往需要进行噪声的去除。常用的滤波器有高斯滤波、Logistic 滤波和 Savitzky-Golay 滤波。其中 Savitzky-Golay 滤波作为一种在时域内基于局域多项式最小二乘法拟合的滤波方法,可以保持信号的形状和宽度不变,因此被广泛应用在长时间序列影像的信号平滑处理中。在本次试验中,为保证较好的滤波效果,经反复试验本区域采用  $m=5$ ,有理多项式次数为 3。滤波前后数据比较见图 1。

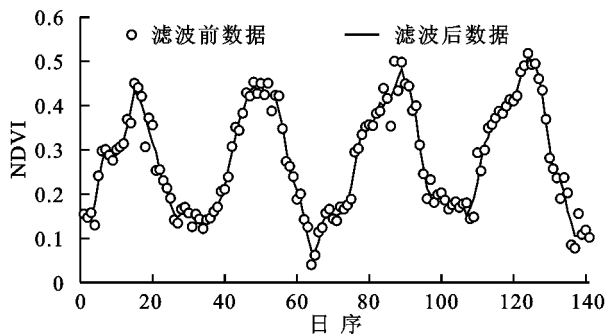


图1 Savitzky-Golay 滤波前后数据对照

### 2.2 植被物候信息提取方法

本研究的返青期信息提取基于 TIMESAT 软件<sup>[23]</sup>。该软件是由 Eklundh 和 Jönsson 开发的用于长时间序列影像数据重建和提取植被变化物候信息的程序包,该程序包融合了提取物候信息的一系列滤波函数和提取方法,经验证该程序包能够有效地提取和处理物候信息,精度较高<sup>[24]</sup>。本研究 TIMESAT 中的参数提取方法选择 Savitzky-Golay 滤波,定义滤波后 NDVI 年最大值的前 1/2 处作为返青期,后 1/2 处作为枯黄期,返青期与枯黄期之间为生长季长度。本研究中的物候信息均以日序为单位。

### 2.3 返青期、枯黄期时空变化分析方法

时间序列影像的变化趋势分析往往采用 Stow D 等<sup>[25]</sup>提出的绿度变化率的方法,该方法被定义为某一时间段季节合成归一化植被指数年际变化的一元线性回归方程的斜率。虽然这种方法揭示了该时间段植被指数的变化趋势,但是其研究的结果缺乏对其真实性的检验,因此本研究采用的是回归分析方法进行返青期和枯黄期变化分析。由于软件的设置,无法

对最后 1 年的物候信息进行提取,本研究只提取 1999—2011 年的 14 a 物候信息,直接根据每个栅格的 14 a 返青期日序进行线性回归分析,得到每个栅格的物候信息变化率,并对回归结果进行检验。

### 3 结果与分析

#### 3.1 庆阳市植被物候信息的空间分布

1999—2011 年期间,庆阳市返青期日序平均值

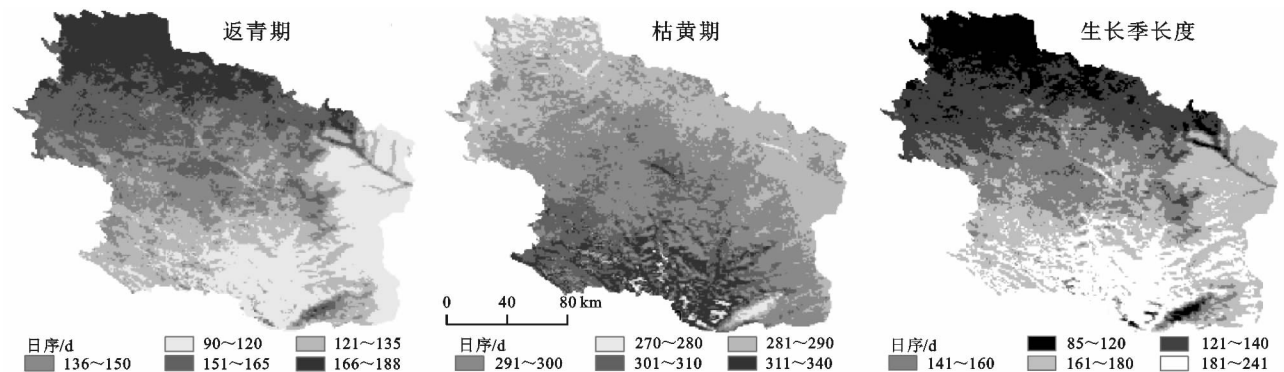


图2 庆阳市返青期、枯黄期和生长季长度的空间分布

1999—2011 年,庆阳市枯黄期的平均值由西北地区向东南区增加,其中东南部森林区的枯黄期出现较晚,出现在 10 月、11 月份左右(日序:301~340 天);北部草原地区枯黄期则较早,出现在 7 月份。庆阳植被的枯黄期也表现出了较大的空间差异性,在时间尺度上相差也达到了 3 个月。

总的来讲,庆阳北部草原区的生长季长度较短,一般为 2~3 个月;而东部的森林和南部作物区的生长季长度则达到了 6~8 个月(图 2)。生长季长度则直接影响了庆阳地区植被的生产力,从物候角度和不同类型植被的生产力角度来讲,庆阳市植被生产力呈现出南高北低的空间格局。

#### 3.2 庆阳市植被物候信息的时间变化

从时间上来讲,庆阳市 1999—2011 年期间,返青期的多年均值出现在 4 月中旬(日序:134),在 109~

由东南地区向西北地区增加,其中东部森林区和南部地区的返青期比较早,出现在 3 月份和 4 月份(日序:90~120)。中部草原和农耕地区的返青期出现在 5 月份(日序:120~150);北部草原地区返青期出现在 6 月份(日序:150~188)。庆阳市的植被返青期表现出一定的空间差异性,呈现出东南部地区返青期早,西北部地区返青期出现时间相对较晚,在时间上相差达到 3 个月(图 2)。

165 之间变化波动。2008 年 1 月,庆阳市出现了近 60 a 罕见阴雪天气<sup>[26]</sup>,为返青期的提前到来提供了水分,直接造成该地区返青期的提前。14 a 之间,庆阳市返青期日序呈降低趋势,呈现出返青期的提前。造成返青期提前可能的原因有:(1) 庆阳市近 14 a 的春季温度出现了一定程度的升高;(2) 退耕还林工程的实施在一定程度上改变了该地区原有的土地利用类型,直接影响了返青期出现的时间。

1999—2011 年,庆阳市枯黄期多年均值出现在 10 月份(日序:293),其值在 275~309 天波动。枯黄期也表现出了明显的推迟现象,2007 年枯黄期的推迟和 2008 年返青期的提前存在一定的关系。总的来讲,14 a 间,庆阳地区的返青期出现了提前,枯黄期则出现了推迟,生长季长度呈现出一定的延长(图 3)。

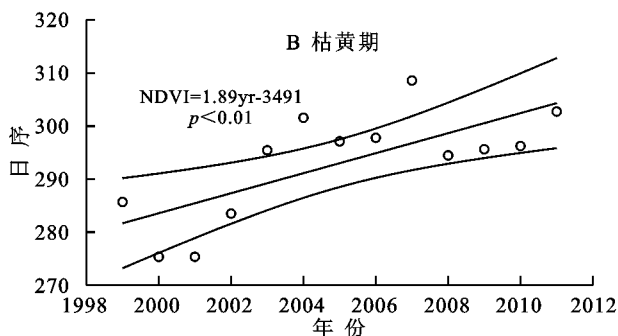
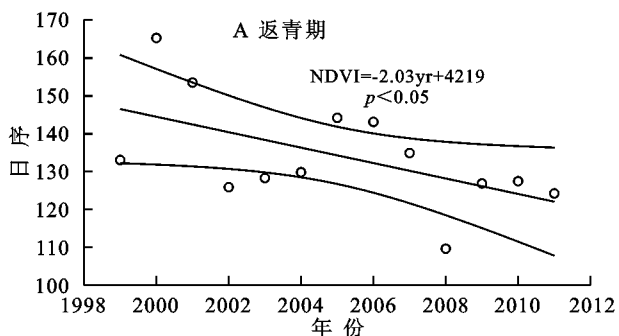


图3 庆阳市返青期和枯黄期均值的时间变化

#### 3.3 庆阳市植被物候信息的空间变化趋势

通过对于每个栅格 14 a 的数据进行回归分析,得到每个栅格的年变化率(图 4)。其中 55.46% 的地

区返青期变化率位于  $-1 \sim 1$  d/a,基本没有发生变化;27.21% 区域返青期的变化率为  $-3 \sim -1$  d/a,出现了提前的现象;13.24% 的区域返青期变化率为  $1 \sim 3$

d/a,出现了一定的推迟;推迟或者提前达到 3 d/a 的区域不足 4%。经过检验,该地区返青期变化信息的

$p<0.05$  的区域为 51.7%,表明大部分区域的返青期变化具有统计学意义。

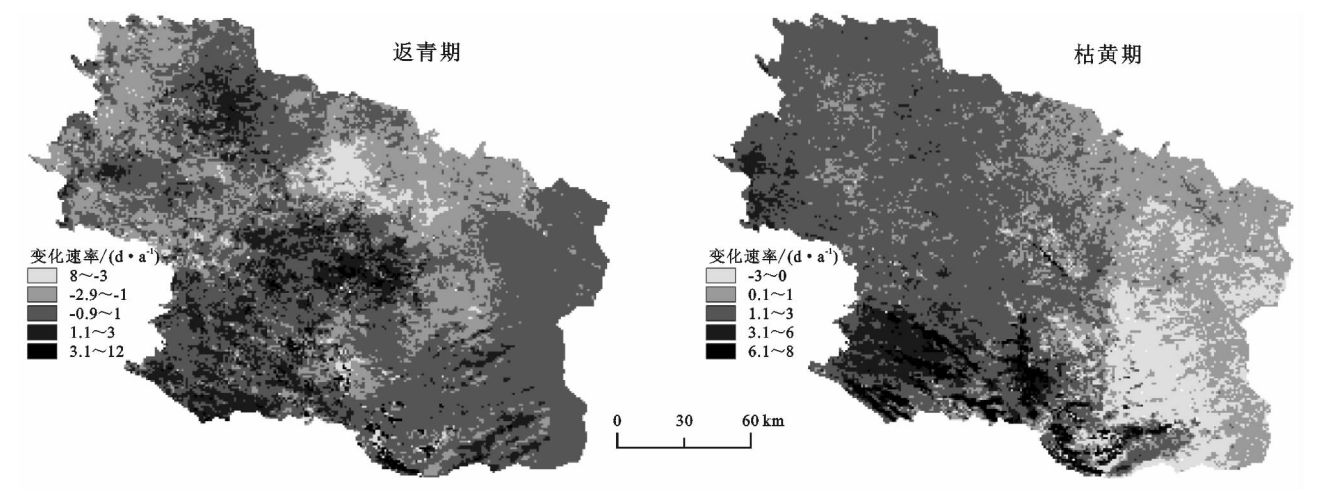


图 4 1999—2012 年庆阳市返青期和枯黄期变化速率

庆阳市的枯黄期整体上表现出一定的推迟现象,其中基本无变化的区域( $-3\sim1$  d/a)占到整个研究区的 40.36%;出现一定推迟的区域( $1\sim3$  d/a)占到 49.61%。研究区枯黄区的  $p<0.05$  的区域为 31.28%,表明部分地区的枯黄期具有一定的统计学意义。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本研究中,庆阳市的返青期日序在 110~160 天变化,枯黄期的日序位于 275~309 天,与国内同研究相比,结果处于合理的范围之内。尤其是与庆阳地区

气候和植被较为相似的锡林格勒草原的结果也处于相近的范围。从其他遥感提取数据来讲,SPOT-NDVI 数据返青期的研究结果位于 110~130 天,而 NOAA-AVHRR NDVI 数据的结果则返青期出现的时间较晚。SPOT-NDVI 数据枯黄期与 AVHRR 数据的结果比较接近。王宏等<sup>[28]</sup>研究得出,中国北方植被返青期和枯黄期的变化幅度较大。从其他地区物候观测资料来讲,庆阳市的返青期与锡林格勒草原的观测资料较为一致,枯黄期与甘肃合作的物候观测结果<sup>[29]</sup>较为一致。这些都表明本研究的结果处于正常范围之内(表 1)。

表 1 研究结果与其他文献结果的对照

区域	返青期/d	枯黄期/d	研究时间	数据	来源
庆阳市	110~160	275~309	2001—2010 年	SPOT NDVI	本研究
锡林格勒草原	110~130	240~280	2001—2010 年	SPOT NDVI	侯学会等 <sup>[5]</sup>
锡林格勒草原	140~160	260~310	1982—1999 年	AVHRR NDVI	王宏等 <sup>[27]</sup>
中国北方植被	80~160	230~305	1982—1999 年	AVHRR NDVI	王宏等 <sup>[28]</sup>
锡林格勒草原	110~130	—	1991—1999 年	物候观测资料	王宏等 <sup>[27]</sup>
甘肃合作	104~136	274~292	1988—2005 年	物候观测资料	王建兵 <sup>[29]</sup>

4.2 结论

本文基于 SPOT NDVI 时间序列影像,基于最为可靠的 TIMESAT 提取法,针对退耕还林重点区域的物候信息进行提取,从空间角度来讲,庆阳地区植被返青期呈现出东南早西北晚的格局,有很大的空间差异性。枯黄期则表现出南部晚北部早的格局。这样研究表明庆阳南部的生长季长度远长于北部地区。从时间角度上看,庆阳市返青期日序还是呈现出一定的降低趋势,表现出返青期的提前,带来了生长季的增加。可以得出结论,14 a 间,庆阳地区的植被生产力有所增加。这些成果可为西北农牧交错带生态保护和评估提供一定的物候信息。

在物候信息的提取上,有很多种方法,包括滤波方法的选择、返青期和枯黄期值的选择、遥感数据的选择上都会直接影响提取结果;针对不同方法和数据提取物候信息的结果对比还需要进一步的研究。遥感作为植物物候的一种新的研究手段,虽然能快速获取植物的物候参数,但是对于物候动态变化的机理还需要通过生理学上进一步的探究。近些年来,植被物候与白天温度的变化研究为植被物候学研究开辟了新的方向。对应不同土地利用类型物候信息提取参数的选择也存在一定的差异性,针对不同土地利用类型设定不同的提取参数,尤其针对具有双 NDVI 峰的耕地来说尤其重要,在今后的研究中需要进一步的研究和探讨。

## 参考文献:

- [1] 张峰,吴炳方,刘成林,等.利用时序植被指数监测作物物候的方法研究[J].农业工程学报,2004,20(1):155-159.
- [2] 宛敏渭,刘秀珍.中国物候观测方法[M].北京:科学出版社,1979.
- [3] White M A, Thornton P E, Running S W. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1997,11(2):217-234.
- [4] 宋春桥,游松财,柯灵红,等.藏北高原植被物候时空动态变化的遥感监测研究[J].植物生态学报,2011,35(8):853-863.
- [5] 侯学会,牛铮,高帅,等.基于 SPOT-VGTNDVI 时间序列的农牧交错带植被物候监测[J].农业工程学报,2013,29(1):142-150.
- [6] 马勇刚,陈曦,牛新民,等.基于 GIMMS 与 SPOTvegetation 的中亚物候变化趋势及对比[J].生态环境学报,2014,23(12):1889-1896.
- [7] Moulin S, Kergoat L, Viovy N, et al. Global-scale assessment of vegetation phenology using NOAA/AVHRR satellite measurements[J]. Journal of Climate,1997,10(6):1154-1170.
- [8] Tateishi R, Ebata M. Analysis of phenological change patterns using 1982—2000 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) data [J]. International Journal of Remote Sensing,2004,25(12):2287-2300.
- [9] 李红梅,马玉寿,王彦龙.气候变暖对青海高原地区植物物候期的影响[J].应用气象学报,2010,21(4):500-505.
- [10] 余振,孙鹏森,刘世荣.中国东部南北样带主要植被类型物候期的变化[J].植物生态学报,2010,34(3):316-329.
- [11] Kimball J S, Zhao M, McDonald K C, et al. Satellite remote sensing of terrestrial net primary production for the pan-Arctic basin and Alaska[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006,11(4):783-804.
- [12] Picard G, Quegan S, Delbart N, et al. Bud - burst modelling in Siberia and its impact on quantifying the carbon budget[J]. Global Change Biology, 2005, 11(12):2164-2176.
- [13] Wu W B, Peng Y, Tang H J, et al. Characterizing spatial patterns of phenology in cropland of China based on remotely sensed data[J]. Agricultural Sciences in China, 2010,9(1):101-112.
- [14] Peng D, Huete A R, Huang J, et al. Detection and estimation of mixed paddy rice cropping patterns with MODIS data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2011,13(1):13-23.
- [15] 邓睿,黄敬峰,王福民,等.基于中分辨率成像光谱仪(MODIS)数据的水稻遥感估产研究:以江苏省为例[J].中国水稻科学,2010,24(1):87-92.
- [16] 仙巍,邵怀勇,周万村.嘉陵江中下游地区土地利用格局变化的动态监测与预测[J].水土保持研究,2005,12(2):61-64.
- [17] 吴国玺,殷学永,申怀飞.基于 GIS 的许昌市土地利用/土地覆被变化研究[J].水土保持研究,2009,16(3):131-134.
- [18] 袁甲,沈非,王甜甜,等.2000—2010 年皖江城市带土地利用/覆被变化对区域净初级生产力的影响[J].水土保持研究,2016,23(5):245-250.
- [19] 杨延征,赵鹏祥,郝红科,等.基于 SPOT-VGTNDVI 的陕北植被覆盖时空变化[J].应用生态学报,2012,23(7):1897-1903.
- [20] 马延辉,林辉,孙华.湖南省主要森林类型植被指数动态变化分析[J].水土保持研究,2010,17(3):217-221.
- [21] 李玉霞,杨武年,郑泽忠.中巴资源卫星(CBERS-02)遥感图像在生态环境动态监测中的应用研究[J].水土保持研究,2006,13(6):198-200.
- [22] Delbart N, Kergoat L, Le Toan T, et al. Determination of phenological dates in boreal regions using normalized difference water index[J]. Remote Sensing of Environment,2005,97(1):26-38.
- [23] Jönsson P, Eklundh L. TIMESAT: a program for analyzing time-series of satellite sensor data[J]. Computers & Geosciences, 2004,30(8):833-845.
- [24] 宋春桥,柯灵红,游松财,等.基于 TIMESAT 的 3 种时序 NDVI 拟合方法比较研究[J].遥感技术与应用,2011,26(2):147-154.
- [25] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s [J]. International Journal of Remote Sensing,2003,24(5):1111-1117.
- [26] 吴爱敏.2008 年 1 月陇东黄土高原阴雪低温异常天气分析[J].干旱气象,2011,29(4):478-482.
- [27] 王宏,李晓兵,余弘婧.基于 NOAA/AVHRRNDVI 监测中国北方典型草原的生长季及变化[J].植物生态学报,2006,30(3):365-374.
- [28] 王宏,李晓兵,李霞,等.基于 NOAANDVI 和 MSAVI 研究中国北方植被生长季变化[J].生态学报,2007,27(2):504-515.
- [29] 王建兵.近 20 年青藏高原东北部边坡地带垂穗披碱草物候变化:以甘肃合作为例[J].草业科学,2011,28(10):1851-1854.