

# 延河流域 NDVI 时空变化及其对降水变化的响应研究

杨丽红, 张晓燕, 姚小萌 (陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西西安 710062)

**摘要** 利用 8 km 分辨率的 AVHRR/NDVI 数据分析了延河流域 1982~2006 年 NDVI 时空变化特征及其对降水变化的响应。结果表明, 近 25 年来, 延河流域年均 NDVI 增长趋势并不显著, 但存在明显的空间差异。延河流域西北部地区植被 NDVI 显著增加; 西南部地区 NDVI 显著下降。从植被类型看, 荒草地的年均 NDVI 显著提高, 林地的年均 NDVI 显著下降。延河地区 NDVI 变化与降水有密切的相关性, 并且不同类型植被对降水变化的敏感程度存在差异, 其中耕地和荒草地对降水变化最为敏感, 其次草地, 而林地受降水变化影响最小。

**关键词** NDVI; 植被; 降水; 延河流域

**中图分类号** S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)22-09381-04

## Changes of NDVI Spatio-temporal in Yanhe River Basin and Its Response to Precipitation

YANG Li-hong et al (College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062)

**Abstract** The spatio-temporal changes of NDVI and precipitation in Yanhe River Basin were analyzed based on 8 km resolution multi-temporal NOAA AVHRR-NDVI data and precipitation data from 1982 to 2006. Meanwhile, the response of growing season NDVI to precipitation was also studied. The results showed that in recent 25 years, the mean land cover (NDVI) and precipitation had no significant change in the Yanhe River Basin. However, the NDVI and precipitation distribution of spatial were changed significantly. The NDVI value in the northwest area of the Yanhe River Basin, which mainly covered with grassland, was raised with decreased of NDVI value in the southwest area of the Yanhe River Basin, which mainly covered with forest land. At the same time, the effects of precipitation on NDVI were difference for different vegetation types. The precipitation changes affected grassland NDVI significantly, and followed with the farm land and grass-shrub land. Compared with grassland or farmland, the precipitation effect on forest land was not significant.

**Key words** NDVI; Vegetation; Precipitation; Yanhe River Basin

植被是联结土壤、大气和水分等要素的自然纽带<sup>[1]</sup>, 它对地表的年际覆盖变化有很强的指示作用<sup>[2]</sup>。在植被覆盖变化研究中, 归一化植被指数 (NDVI) 能很好地反映植被覆盖、生物量及生态系统参数的变化<sup>[3]</sup>, 现已被广泛用于植被覆盖变化研究。气候变化是引发地表植被覆被变化的主要原因之一<sup>[4]</sup>。随着全球变暖, 北半球中高纬度地区植被活动显著增强, 有关植被与气候变化的研究已在全球和区域尺度广泛开展。研究表明, 植被 NDVI 与气候变量具有很好的相关性, 特别是降水对其影响最为显著<sup>[5-6]</sup>。但是降水对植被 NDVI 影响力的大小与分布地区有关, 如李春晖等通过对黄河流域不同区域的 NDVI 与降水和径流关系研究, 发现同一流域不同地区由于降水不同, NDVI 存在差异<sup>[7]</sup>。孙艳玲等对内蒙古地区 NDVI 与降水关系研究表明, NDVI 与降水正负相关并存<sup>[8]</sup>。由此可见, NDVI 对降水的敏感性在不同区域存在一定的差异, 对于具体区域还需作进一步研究。

延河流域位于黄土高原东南部, 处于我国半湿润气候向半干旱气候的过渡带, 水土流失是该区最主要的生态问题之一。近年来, 全球气候急剧变化, 由气候变化导致的区域降雨量和降雨强度变化以及由此引起的地表植被变化是当前影响流域土壤侵蚀变化的最主要因素之一。笔者对该流域近 25 年来植被覆盖时空变化进行分析, 并探讨降水变化对植被覆盖的影响, 以期对流域生态环境建设和土壤侵蚀研究提供科学参考。

## 1 数据来源与处理

笔者采用的 NDVI 数据是由 Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) 提供的 1982~2006 年共 600 个半月最大值合成数据, 空间分辨率是 8 km。该数据集由搭载在 NOAA 系列卫星 (NOAA 7、9、11、14、16 和 17) 上的高分辨率辐射计 (Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR) 数据计算得到<sup>[9]</sup>, 采用经验模态分解方法 (Empirical Mode Decomposition, EMD), 消除由于大气校正、视角几何以及其他一些会引起植被不真实变化的因素<sup>[10]</sup>, 并对其进行月最大值合成。由于半干旱区域存在明显的季节性, 生长季与非生长季植被覆盖存在很大差异<sup>[11]</sup>, 非生长季植被覆盖差 (<0.2), NDVI 数据容易受积雪及土壤反射等因素影响, 因此采用生长期 NDVI 值来表征延河流域植被的年际变化情况, 即年 NDVI 值是指 5~10 月的月 NDVI 值的平均值。

气候资料采用延河流域及其周边区域 7 个气象站逐日监测数据, 并根据流域内的 3 个站点 (即安塞、延安和甘谷驿) 的降水数据, 利用多元统计对部分站点缺失年份进行插值, 从而计算得到各站点 1982~2006 年逐月和逐年降水量, 并在 ArcGis (10.0) 的空间分析模块下, 采用 Spline 插值方法得到延河流域逐年降水量 Grid 图, 统计得到流域 1982~2006 年逐月和逐年降水量。

## 2 结果与分析

**2.1 流域植被 NDVI 时空变化** 对流域内多年平均 NDVI 分析表明, 多年平均 NDVI 从 3 月份开始逐渐升高, 7 月份急剧增长, 到 8 月份到达峰值, 9 月份值仍然相对较高, 随后开始下降 (图 1a)。生长季 (5~10 月) NDVI 值总和为 2.05, 占全年总量的 68%, 其中 8、9 月份平均 NDVI 是年均 NDVI 的 1.62 倍。从年际变化来看, 1982~2006 年延河流域 NDVI 呈

**基金项目** 陕西省自然科学基金项目 (2011JQ5005); 霍英东教育基金会高等院校青年教师基金项目 (131025); 陕西师范大学中央高校项目 (GK261001004)。

**作者简介** 杨丽红 (1989-), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 研究方向: 水土资源评价, E-mail: yanglihong\_2012@126.com。

**收稿日期** 2013-07-25

微弱上升趋势,植被覆盖略有增加(图1b)。20世纪80年代至21世纪初期,流域年NDVI表现为1990、1998和2006年为波峰,1995、1997和2000年为波谷的大振幅波动过程,总体未见明显增大趋势。

虽然整体上延河流域年NDVI变化趋势不明显,但却存在着显著的空间差异(图2)。图2a是通过将研究区内每个栅格的年NDVI序列与其对应的时间进行相关分析,得出用相关系数表达的延河植被覆盖被年际变化趋势的空间分布。

若相关系数 $r > 0$ ,则表明1982~2006年该栅格所在位置年NDVI有增加趋势,植被覆盖在逐步提高;相反,若 $r < 0$ ,则表明当地植被覆盖被相对降低。同时,对相关系数进行显著性检验,图2b显示了通过 $P < 0.05$ 显著性检验的植被覆盖年际变化趋势的空间分布。可见,以林地为主的南部地区植被覆盖显著减少,以荒草地和草地地区为主的西北部地区植被覆盖显著增加。

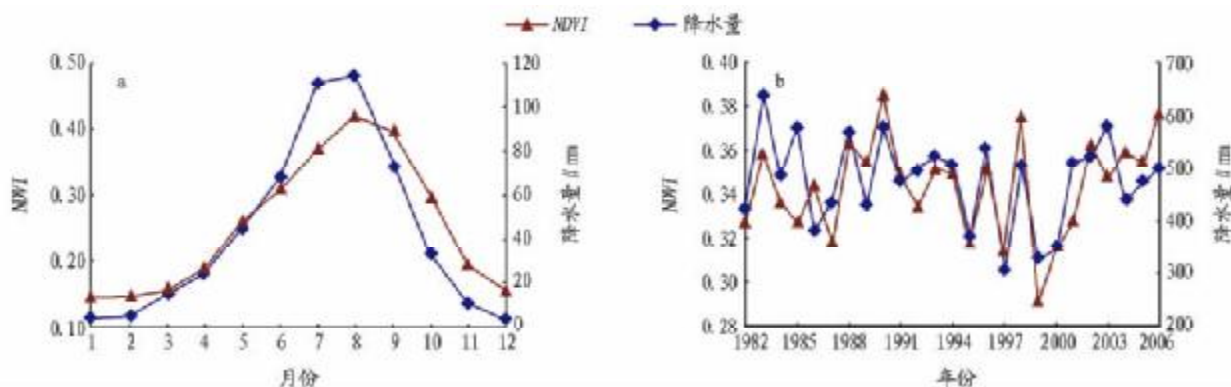
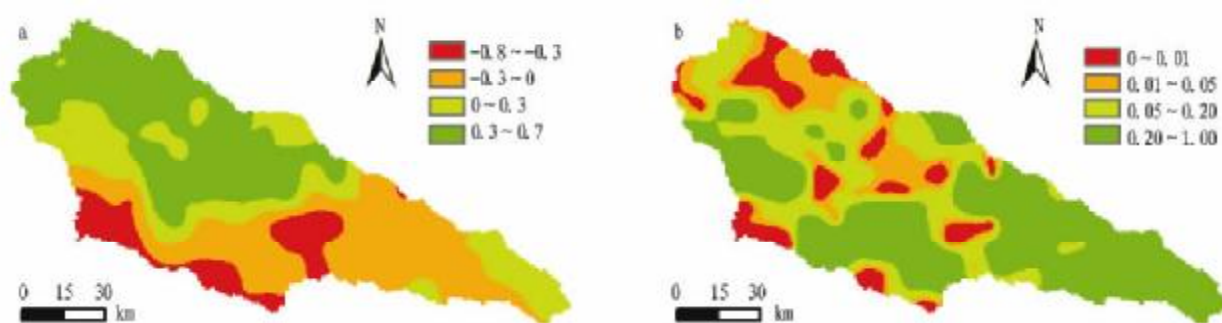


图1 1982~2006年延河流域NDVI和降水的年内(a)和年际(b)变化



注:a. 相关系数;b. 显著性检验。

图2 1982~2006年延河流域NDVI变化趋势的空间分布

**2.2 流域降水量时空变化** 对流域内多年平均降水量分析表明(图1a),流域降水从2月开始逐渐升高,6月急剧增长,8月达到峰值,随后开始迅速下降。通过对多年平均降水量进一步统计得到,生长季(5~10月)降水量总和为447.90 mm,占全年总降水量的88%,而7、8月的总降水量为224.95 mm,占全年总量的44%。从年际变化来看,1982~2006年延河流域年降水量在整体上变化并不明显,但年际间波动差异很大(图1b)。80年代初期、90年代初期、90年代后期和21世纪初期降水量较多,1986、1995、1997和1999年降水量则相对较低,处于波谷。

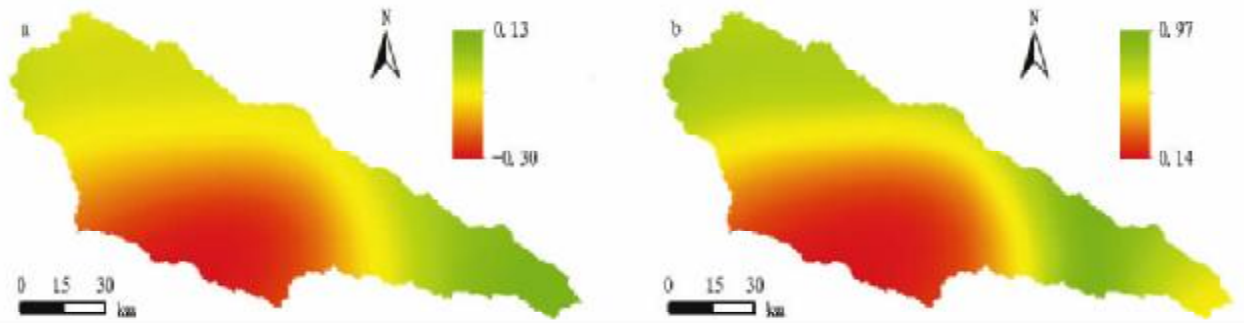
图3a通过将研究区内每个栅格的年降水序列与其对应的时间进行相关系数计算,得到用相关系数表达的延河降水量年际变化趋势的空间分布。若相关系数 $r > 0$ ,表示1982~2006年期间该栅格所在位置年降水量有增加趋势;相反,若 $r < 0$ ,则表示当年降水量降低;若 $r = 0$ ,则表示降水量没有变化。对相关系数进行了显著性检验,图3b显示了通过 $P < 0.05$ 显著性检验的降水量年际变化趋势的空间分布。可见,在流域西南,降水量呈降低趋势,而在西北和东南相对呈上

升趋势,但整个地区的降水量变化均未通过显著性检验,表明这种变化并不显著。

**2.3 流域NDVI与降水的相关分析** NDVI的年际与年内变化与降水量的变化存在一定的相关性,从年际变化来看(图1a),流域NDVI与降水量都存在着较大的年际波动,并且波动趋势相对一致;从年内变化来看(图1b),NDVI( $> 0.2$ )自4月开始呈较快趋势增长,最大值出现在8、9月,10月开始出现较快的下降趋势。同期4月降水量开始增长,降水量最大值出现在7、8月,9月开始出现较为显著的下降趋势,降水量和NDVI各月的分布一致性较高,由此说明NDVI与降水有着密切的关系,并且NDVI相对于降水量有明显的滞后趋势,时间约为1个月。

在年际上,流域年降水量与植被NDVI显著正相关( $n = 25, R^2 = 0.4349, P < 0.05$ )(图4)。同时,逐栅格计算1982~2006年年降水量与NDVI的相关系数并进行显著性检验(图5),发现在流域尺度范围内,植被NDVI与降水的相关性存在区域差异。在流域西北部,NDVI与降水主要呈显著正相关关系( $P < 0.05$ ),而在流域的东南部,NDVI与降水主要呈

微弱的负相关。



注:a. 相关系数;b. 显著性检验。

图3 1982~2006年延河流域降水量变化趋势的空间分布

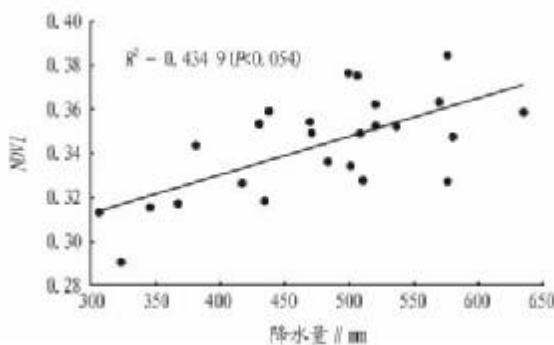
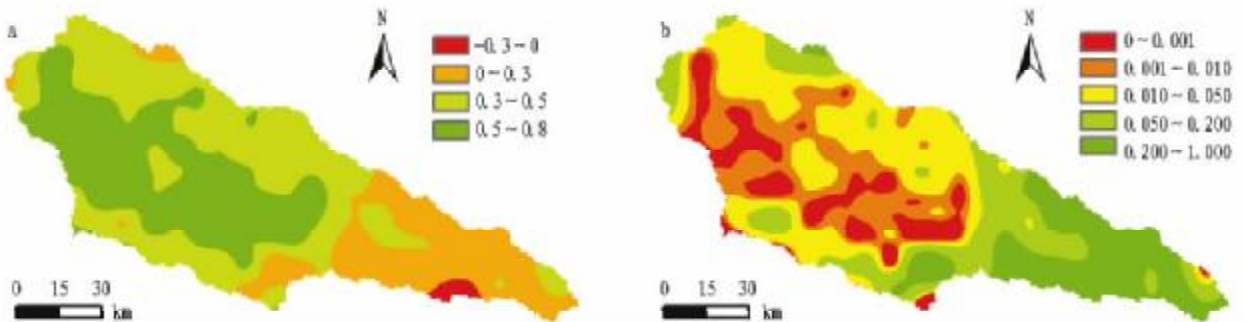


图4 1982~2006年延河流域NDVI与降水的相关分析

### 2.4 不同植被类型的NDVI变化及其与降水量的相关性分析

通过比较1990、1995、2000、2005年4期延河流域土地利用数据,对荒草地、耕地、草地、林地4种植被类型分布以及面积变化情况进行统计分析,最后选取接近于研究期(1982~2006)平均状况的1995年延河土地利用类型图(图6)作为研究基础,统计了不同植被NDVI和降水变化趋势及NDVI与降水的相关性(表1)。结果表明,NDVI对降水变化反应较为敏感性,且不同植被覆盖类型对降水变化的敏感程度存在一定差异。NDVI增长水平达到0.3以上的植被覆盖类型有荒草地、耕地、草地、林地,其中达到该增长水平的区域占各自总面积的比例依次为荒草地73.3%,耕地58.6%,草地



注:a. 相关系数;b. 显著性检验。

图5 1982~2006年延河流域NDVI与降水量相关性的空间分布

34.6%,林地2.6%,并且通过显著性( $P < 0.05$ )检验的部分分别为40.4%、33.1%、22.0%、24.5%。由此可以说明,25年间延河流域荒草地、耕地NDVI呈显著增长趋势。同时,通过降水量的增减趋势可知,4种植被类型所在区域的降水量均未发生显著变化,仅草地、林地有微弱的减少趋势。从NDVI与降水的相关关系来看,4种植被与降水均为正相关关系,其中有80.1%的荒草地NDVI与降水显著正相关,耕地、草地、林地依次为81.4%、44.9%、20.8%,由此说明,荒草地、耕地、草地对降水变化反应程度更为敏锐。综上所述,不同植被覆盖的变化对降水的响应存在一定的差异<sup>[12]</sup>,而不同降水量对不同植被的影响程度的差异需要进一步深入研究,这对于生态需水、退耕还林还草等生态工程起着决定性的意义<sup>[13-15]</sup>。

对NDVI时空趋势及其与降水相关性在不同植被覆盖

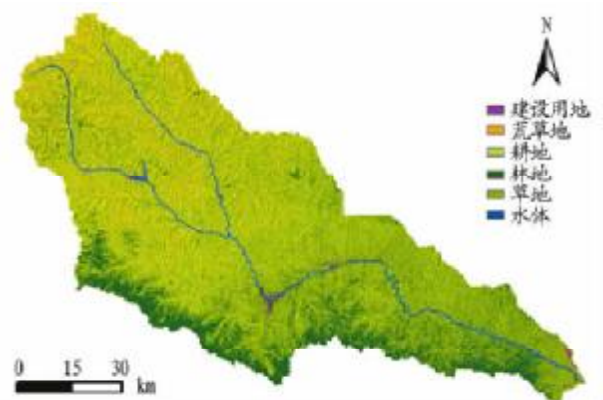


图6 1995年延河流域土地利用类型

下进行SNK(Student-Newman-Keuls多重范围检验)检验<sup>[16]</sup>(表2)。不同覆被类型的NDVI变化趋势存在显著( $P$

<0.05)差异,表明 NDVI 能够在流域的时空尺度上客观反映植物的覆被信息,是植被生长状态及植被空间分布密度的良好指示因子<sup>[17]</sup>。而在不同覆被类型下,NDVI 与降水相关性( $r > 0.3$  或  $P < 0.01$ )的方差分析结果表明,除了荒草地和耕地没有显著性差异,其他相互之间均存在显著性差异。

总体上,延河流域不同植被覆盖变化对降水的响应存在一定差异。对于延河流域,以荒草地、草地和耕地为主的大部分地区受年降水量的影响显著,而以林地为主的西南地区受降水影响较低。因此,降水对延河流域中西部的大部分植被空间分布具有决定性的意义<sup>[18]</sup>。

表1 植被 NDVI 年际变化、NDVI 与降水、降水量年际变化显著相关区占各自植被类型总面积的比例 %

项目		荒草地	耕地	草地	林地
NDVI 与降水量	$r > 0.3$	95.8	95.2	74.9	57.7
	$r < -0.3$				
	$P < 0.05$	84.3	85.5	60.0	36.1
	$P < 0.01$	41.2	45.7	32.0	11.4
NDVI 年际变化	$r > 0.3$	73.3	58.6	34.6	2.6
	$r < -0.3$	0.5	3.2	8.4	43.3
	$P < 0.05$	40.4	33.1	22.0	24.5
	$P < 0.01$	17.0	13.1	9.1	17.4
降水量年际变化	$r > 0.3$				
	$r < -0.3$	0	0.1	0.4	5.0

注: $r$  指相关系数, $P$  指显著性检验水平。

表2 不同植被 NDVI 年际变化及其与降水相关性的 SNK 检验

SNK 分组		荒草地	耕地	草地	林地
NDVI 年际变化	$r > 0.3$	0.444 26	0.437 10	0.433 75	0.423 68
	$r < 0.3$	-0.418 12	-0.403 93	-0.427 03	-0.420 75
	$P < 0.05$	0.015 12	0.014 95	0.007 71	0.000 93
NDVI 与降水量	$r > 0.3$	0.505 92	0.509 04	0.495 66	0.455 48
	$P < 0.01$	0.002 42	0.002 15	0.000 31	0.000 44
	$P < 0.05$	0.015 04	0.014 26	0.013 99	0.013 76

注: $P$  指显著性检验水平,-表示两者没有显著性差异。

### 3 结论

(1)从时间变化上看,研究期内(1982~2006年)延河流域 NDVI 和降水量年际变化都不明显,但存在着相似的年际波动;年内分布较为一致,NDVI 相对于降水有一个月的滞后期。

(上接第 9362 页)

误差小于基于单个传感器的均方误差,小于单纯只基于时间或空间的数据融合均方误差。将自适应加权两级融合方法应用在木材干燥窑温度检测系统中。自适应加权两级融合方法有效地提高了干燥窑内温度的检测精度,优于通常检测窑内温度时取算术平均值的方法,对研究数据融合技术和木材干燥工艺具有重要的意义。

### 参考文献

[1] 李坚. 木材科学[M]. 北京:高等教育出版社,2002:1-83.  
 [2] 张壁光. 实用木材干燥技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005:6-40.  
 [3] 杨万海. 多传感器数据融合及其应用[M]. 西安:西安电子科技大学出

(2)从空间分布上看,NDVI 变化趋势差异较大,以荒草地和耕地为主的西北部地区 NDVI 有显著的上升趋势,而以林地为主的西南地区 NDVI 呈有显著下降趋势。整个流域降水变化并不显著,仅西南部地区有微弱的减少趋势。

(3)不同植被 NDVI 与降水的相关性存在较大差异,以荒草地、草地、耕地为主的植被对降水变化较为敏感,而林地受降水的影响较弱。

### 参考文献

[1] 王晶晶,白雪,邓晓曲,等. 基于 NDVI 的三峡大坝岸边植被时空特征分析[J]. 地球信息科学,2008(6):6808-6815.  
 [2] TUCKER C J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation[J]. Remote Sensing of Environment, 1979, 8(2):127-150.  
 [3] LAMBIN E F, STRAHLER A H. Indicators of land-cover change for change-vector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15:2099-2119.  
 [4] ZHOU L M, COMPTON J, TUCKER ROBERT K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1982-1999. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(D17):20069-20083.  
 [5] MYNEL R B, KEELING C D, TUCKER C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991[J]. Nature, 1997, 386(6626):698-702.  
 [6] 孙睿,刘昌明,朱启疆. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系[J]. 地理学报,2001,56(6):667-672.  
 [7] 李春晖,杨志峰. 黄河流域 NDVI 时空变化及其与降水/径流关系[J]. 地理研究,2004,23(6):753-759.  
 [8] 孙艳玲,郭鹏,延晓冬,等. 内蒙古植被覆盖变化及其与气候、人类活动的关系[J]. 自然资源学报,2010,25(3):407-414.  
 [9] TUCKER C J, PINZON J E, BROWN M E. Global Inventory Modeling and Mapping Studies, NA94apr15b. n11-Vlg, 2.0, Global Land Cover Facility [M]. Maryland: University of Maryland, College Park, 1994.  
 [10] PINZON J, BROWN M E, TUCKER C J. Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition[M]//HUANG N E, SHEN S S P. EMD and its Applications. Singapore: World Scientific Publishers, 2005:167-186.  
 [11] 王宏,李晓兵,李霞,等. 基于 NOAA NDVI 和 MSAVI 研究中国北方植被生长季变化[J]. 生态学报,2007(2):504-515.  
 [12] 戴声佩,张勃,王海军. 中国西北地区植被 NDVI 的时空变化及其影响因素分析[J]. 地球信息科学学报,2010,12(3):315-321.  
 [13] 杨存建,刘纪远,张增祥,等. 遥感和 GIS 支持下的中国退耕还林还草决策分析[J]. 遥感学报,2002(3):205-211.  
 [14] 信忠保,许炳心,郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学(D辑:地球科学),2007(11):1504-1514.  
 [15] 孙艳萍,张晓萍,徐金鹏,等. 黄土高原水蚀风蚀交错带植被覆盖时空演变分析[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(2):143-150,156.  
 [16] KEULS M. The use of the "studentized range" in connection with an analysis of variance[J]. Euphytica, 1952, 1(2):112-122.  
 [17] 张翀,林志远,袁鑫. 西北地区 NDVI 对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J]. 资源科学,2011,33(12):2356-2361.  
 [18] 李秀花,师庆东,郭娟,等. 中国西北干旱区 1981~2001 年 NDVI 对气候变化的响应分析[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(2):12-16.

版社,2004:1-22.

[4] 张佳薇,姜滨,金光远. 多传感器支持度和自适应加权时空融合算法[J]. 机电产品开发与创新,2009,22(6):23-25.  
 [5] LUO R C, LIN M H. Robot Multi-sensor Fusion and Integration: Optimum Estimation of Fused Sensor Data[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation. San Francisco (USA): IEEE, 2000:1076-1081.  
 [6] 李莉,高冰. 自适应加权数据融合加权因子的动态调整[J]. 战术导弹技术,2011(3):109-111.  
 [7] LUO R C, YI C C, SU K L. Multi-sensor Fusion and Integration: Approaches, Applications, and Future Research Directions[J]. IEEE Sensors Journal, 2002, 2(2):107-119.  
 [8] 刘全,高俊,郭云玮,等. 基于线性加权数据融合的协作频谱感知优化[J]. 电子科技大学学报,2012,41(5):697-701.