资源科学 Resources Science
第33卷 第2期 2011年2月 2011,33(2):322-327 Vol.33,No.2 Feb.,2011

文章编号:1007-7588(2011)02-0322-06

近十年黄河三角洲NDVI时空动态及其对气温和降水的响应特征

李明杰[1,2],侯西勇[1],应兰兰[1,2],路 晓[1,2],朱明明[1,2]

(1.中国科学院烟台海岸带研究所,烟台 264003; 2.中国科学院研究生院,北京 100049)

摘 要:本文基于SPOT-VGT S10产品(1998年4月-2008年12月)以及相应时段东营站点的气温、降水数据,利用一元线性回归方法、Hurst指数方法分析近10年黄河三角洲NDVI时空动态,并探讨NDVI与气温、降水因子的年际、季节、月际响应特征。研究表明:①NDVI变化以良性发展为主,但NDVI长期无变化区及弱持续性中度改善区值得关注,且NDVI弱、中、强持续性退化区面积较广,理应尤为关注,并探讨和寻找原因;②NDVI变化与气温、降水均有较高的相关性,相关系数分别为0.81、0.63,若考虑1个月的时间延迟,则相关系数分别为0.89、0.75;③延迟1个月的NDVI与气温、降水的相关性研究更具科学性和准确性。.春季(2月-4月)、夏季(5月-7月)气温对植物生长起决定作用,秋季(8月-10月)气温无明显变化趋势,NDVI值变化受降水强度影响较大;不同月份气温、降水对NDVI的影响主导作用不同,延迟程度不同。

关键词:NDVI;时空格局;气候因子;相关性;黄河三角洲

1 引言

近年来,遥感技术作为对地观测的强有力工具,其数据源具有在空间与时间上的绝对优势,因而成为植被覆盖动态监测及全球变化研究的有效手段。植被覆盖与气候变化的相关性研究,已在全球和区域尺度受到重视[1]。区域气候对植被生长起着重要作用,归一化差值植被指数(NDVI)是指示植被生长状态及其空间分布的有效因子,NDVI与气候因子之间具有密切的相互关系[2]。目前对NDVI的研究除植被监测、生物量估算、区域蒸散量、土壤水分之外,探讨其与气候因子的时空相关性研究也属热点范畴[3-6],但把NDVI时空格局变化分析及其气候因子时间序列相关性分析统筹结合的研究并不多见。NOAA /AVHRR、SPOT、TERRA /MODIS等遥感平台为NDVI产品的获取提供了重要渠道。本文基于SPOT-VGT提供的NDVI产品,采用时空格局变化分析方法(一元线性回归方法、Hurst指数方法等)分析黄河三角洲NDVI的时空格局变化特征;并结合气温、降水数据,采用时间序列相关分析方法进一步探讨NDVI对气候因子的响应特征。

2 区域概况与数据组织

2.1 研究区概况

东营市位于山东省北部,濒临渤海,现辖东营、河口二区以及利津、垦利、广饶三县,是现代黄河三角洲、黄河口新生湿地以及黄河三角洲国家级湿地自然保护区的所在地。该区属暖温带半湿润大陆性季风气候,气候温和、四季分明,年均降水量592.2mm。区域人口200余万,面积约7923km^2。气候变化、黄河水沙变化、陆海相互作用以及人类活动构成区域自然环境演变的最主要驱动因素,各种因素相互交织与耦合,使得区域环境生态表现出极强的动态性、脆弱性和典型性等特征,因而该区域是国内外多学科、交叉学科研究的一个热点区。

2.2 数据准备与预处理

数据源包括东营市1998年4月至2008年12月的SPOT-VGT S10[7]产品(分辨率1km)以及相应时段东营站点的气温、降水数据。SPOT-VGT S10产品已做过大气校正、辐射校正、几何校正等预处理,

收稿日期:2010-03-25; **修订日期**:2010-12-08

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号:kzcx2-yw-224);国家自然科学基金项目(编号:40801016);中国科学院"十一五"e-Science应用示范项目(编号:INFO-115-D01-Z005)。

作者简介:李明杰,女,山东聊城人,博士生,从事资源环境遥感与地理信息系统及生态环境监测方面研究。**E-mail**:mjli@yic.ac.cn

通讯作者:侯西勇,**E-mail**:xyhou@yic.ac.cn

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

存储为0~250的DN值,为便于对植被指数数据进行年际、月际时空变化分析,依据NDVI = 0.004 × DN −0.1转换公式[8],将DN值转化为表述植被生长状况的NDVI值,并采用国际通用的最大值合成法(MVC, Maximum Value Composite)[9]对数据进行时间尺度扩展计算,得到月、年尺度的NDVI数据。为便于分析,气温、降水数据均进行归一化处理。

3 研究方法

基于MVC方法获取的NDVI数据,采用一元线性回归方法、Hurst指数方法分析近10年东营市NDVI时空格局变化状况,并通过相关分析方法探讨NDVI对气温、降水因子的年际、季节、月际响应特征。

3.1 一元线性回归分析

对以往时期植被覆盖的变化趋势和变化幅度,可利用一元线性回归分析在像元尺度拟合[9,10],其优点在于通过利用各个年份的数据值进行拟合,可消除研究时段内偶发性异常因素对植被长势的影响,更真实地反映长时间序列植被覆盖的演化趋势。公式如下:

$$Slope=\frac{n\times\sum_{i=1}^{n}i\times NDVI_i-\sum_{i=1}^{n}i\sum_{i=1}^{n}NDVI_i}{n\times\sum_{i=1}^{n}i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}i\right)^2} \quad (1)$$

式中$NDVI_i$为第i年的SPOT-VGT植被指数;n为研究时段的长度(1998年-2008年共11年);$Slope$是线性拟合得到的斜率,不同于研究时段端点年份连线的斜率;$Slope>0$表明11年植被覆盖为增加趋势,否则为减少趋势。

3.2 Hurst指数

Hurst指数是定量描述时间序列信息长程依赖性的有效方法,研究表明,对应不同的Hurst指数H ($0<H<1$),存在以下规律:$H = 0.5$,是相互独立、方差有限的随机序列;$0.5 < H < 1$,表明该序列具有长程依赖性,即表现为持续性,而且未来变化将与过去的变化趋势一致,H越接近1,持续性越强;$0 < H < 0.5$,表明将来总体趋势与过去相反,即过去增加的趋势预示将来总体上减少,反之则增加,这种现象称为反持续性,H值越接近于0,反持续性越强,而其中的随机性成分越少[11]。本文采用最常用的R/S分析法计算Hurst指数。

3.3 相关分析

相关分析主要是指采用相关系数分析法探讨归一化处理后的NDVI与气温、降水因子的年际、季节、月际变化规律与响应特征。

4 结果与分析

4.1 NDVI变化趋势分析

基于一元线性回归分析原理及东营市1998年-2008年间的NDVI数据,借助ArcGIS软件可视化东营市像元尺度上NDVI变化趋势空间格局,如图1。其中,Slope值域范围为-0.048~0.060且-0.048~-0.020之间的值多集中于-0.020附近,表明该区间有植被退化现象但情况不太严重,故设该区域为植被退化区;在此基础上参照2005年、2009年东营市土地利用类型图,结合Slope值域范围及其直方图,设置Slope分割的其它级别阈值。

图1表明,1998年-2008年,植被覆盖状况除北部、东部边缘区的退化区及基本不变区之外,总体体现为普遍改善状态,且以中、低度改善为主,并于垦利县中东部区域出现高度改善区。查证土地利用类型图资料表明,图1中北部、东部边缘区的退化区及基本不变区分别为近海边缘滩涂区、盐田、水域分布区以及建设用地扩展区。

4.2 NDVI变化持续性分析

基于研究区1998年-2008年间最大值合成法得到的年NDVI数据,采用Hurst指数计算出的NDVI变化持续性空间分布图,如图2。Hurst值域为0.43~1.00,均值为0.68;因0.43~0.50区间的像元数很少仅为163个,表明NDVI反持续性很弱,基本

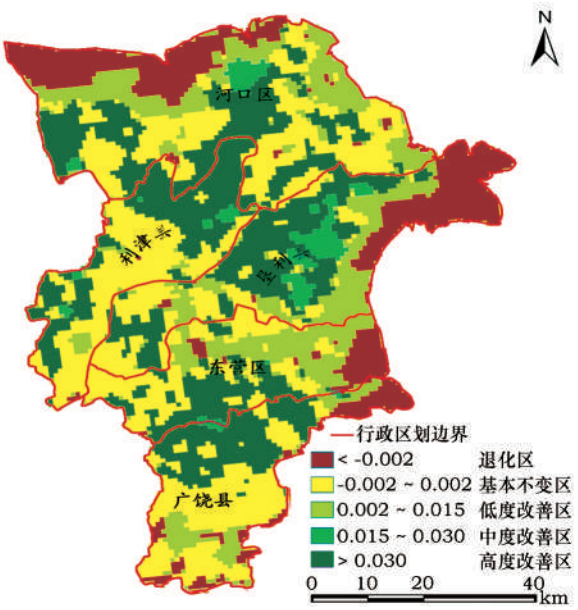


图1 1998年-2008年NDVI变化趋势空间分布

Fig.1 The tendency map of NDVI from 1998 to 2008

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net http://www.resci.cn

可以忽略，故设Hurst值小于0.60的区域为弱持续性区；参考2005年、2009年东营市土地利用类型图、Hurst值域范围设定中、高持续性区类型阈值。

图2表明，NDVI变化弱、中、强持续性空间格局特征明显。其中，广饶县东部、北部，东营市中部，垦利、利津县大部分区域以及河口区中南部区域呈现中持续性特征；研究区北部、东部边缘具有高持续性特征，这与该区域实为滩涂、盐田、水域等土地利用类型区密切相关。

4.3 NDVI变化特征综合分析

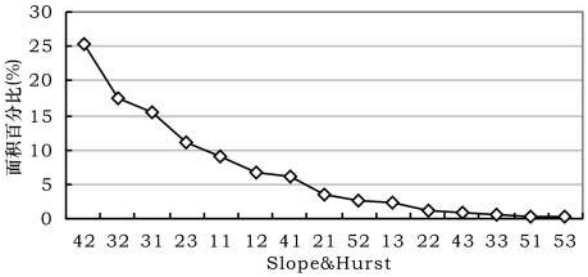
为深入研究区域NDVI的变化趋势及其可持续性，将一元线性回归分析与Hurst指数分析结果进行耦合，即，对图1、图2进行叠加分析，得到退化或改善趋势及其可持续性的耦合信息，其统计特征如图3。

图3表明，NDVI变化以良性发展为主，其中，42（中度改善&中持续性）、32（低度改善&中持续性）、31（低度改善&弱持续性）在研究区的面积百分比依次为24.83%、17.58%、15.66%；NDVI长期无变化区及弱持续性中度改善区值得关注，其中23（基本不变区&强持续性）、41（中度改善&弱持续性）面积百分比分别为10.89%、6.50%；NDVI弱、中、强持续性退化区，尤其中、强持续性退化区因其面积百分比之和高达15.53%，理应尤为关注，并探讨和寻找原因；NDVI变化发展的其余组合类型所占面积比例较小，仅占4.69%。

基于上述分析与NDVI变化趋势及可持续性分布图，编制研究区NDVI变化特征图，见图4。可据其对黄河三角洲NDVI变化趋势及其持续性状况进行直观便捷的查询与统计，有利于追根溯源，根据具体的组合类型，因地制宜地制定农业生产及生态保护的政策措施。

4.4 NDVI对气温、降水的响应特征

植被生长与气候因素有很大的相关性，探讨NDVI与气温、降水的关系亦具有很大必要性。对1998年4月–2008年12月东营站129组月平均气温、降水数据与相应月份NDVI数值的相关性分析表明：NDVI与气温、降水均有较高的相关性，但与气温相关性更大，相关系数分别为：0.81、0.63；若考



注：横轴的两位数字中十位数表示变化程度，1~5分别对应退化、基本不变、低度改善、中度改善、高度改善；个位数表示变化的未来可持续性，1~3分别对应弱持续性、中持续性、强持续性。

图3 NDVI变化趋势及其可持续性

Fig.3 The change tendency and sustainability map of NDVI

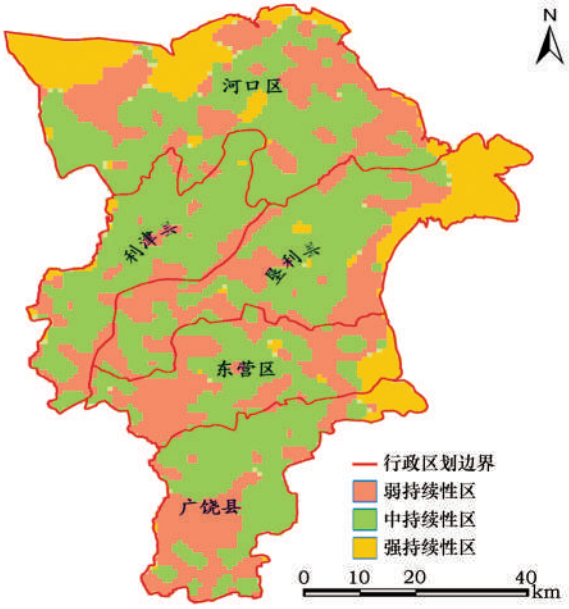


图2 基于Hurst指数的NDVI持续性分析

Fig.2 The sustainability analyst map of NDVI based on the Hurst index

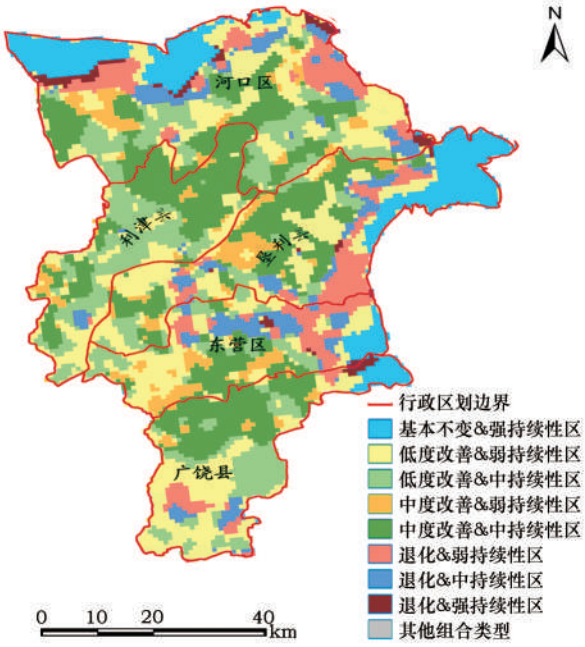


图4 NDVI变化特征图空间分布

Fig.4 The spatial–temporal change characteristic map of NDVI

http://www.resci.cn
© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

虑植被生长与温度、降水的延迟特性,半月延迟尤为可行,但因数据资料欠缺,本文以延迟1个月数据为参考,则得到了较高的相关系数,分别达0.89、0.75。由此,进一步探讨研究区近10年NDVI与气温、降水的年际、季节、月际响应特征。

4.4.1 NDVI对气温、降水因子的年际响应 对1998年–2008年气温、降水、NDVI数据资料分析可知:1998年–2001年间气温呈下降趋势,2002年略有升高,随后总体呈下降趋势且年际变化不大;1998年–2008年间年降水量年际差异较大,且2002年、2008年正值植被生长旺季的8月份降水量不足50mm,严重影响植被生长;1998年–2000年间NDVI均值呈下降趋势,2001年稍有恢复但2002年大幅下降至历年最低,2004年–2008年呈平稳增长趋势且年际变化不大。NDVI与气温、降水等因子及其延迟时间的年际相关系数见表1。

表1表明,研究区NDVI与气温、降水因子之间的相关性大且年际差异较小,且延迟1个月的相关性研究更具科学性和准确性。以2002年为例,考虑延迟的相关系数为0.819,不考虑延迟的相关系数仅为0.553。经资料可知,该年夏季气温偏高,年降雨量偏少仅为388.6mm,植物缺水、干旱,故NDVI值偏小。

4.4.2 NDVI与气温、降水因子的季节响应 研究区地处暖温带,春(3月–5月)、夏(6月–8月)、秋(9月–11月)、冬(12月–2月)四季物候特征明显。冬季过于严寒,植物凋零、落叶,探讨冬季NDVI与气温、降水的关系意义不大。基于植物生长对气温、降水的延迟特性,探讨春、夏、秋三季延迟1个月的NDVI与气温、降水的相关性,分析表明,气温与降水相比,春季(2月–4月)、夏季(5月–7月)气温对植物生长起决定作用,请见图5a,5b;秋季(8月–10月)气温无明显变化趋势,故NDVI值变化受降水强度影响较大,但植物生长处于水分充足条件下,降水量与NDVI并无明确关系(如:2001年,2004年,2006年,2008年份降水呈减少趋势但NDVI值仍处增加状态),见图5c。

4.4.3 NDVI与气温、降水因子的月际响应 对1998年–2008年间1月–12月份NDVI、气温、降水资料统计分析可知,1月–3月份,12月份,气温年际变化较大,4月–10月份气温年际变化较小且趋势稳定;降水以7月、8月份为主且月际变化大;NDVI值8月份达到最大,7月、8月、9月份年际变化大,其余月份变化较小。深入挖掘数据信息表明,2月–4月份,气温对植被开始生长起主要作用,且气温延迟作用不

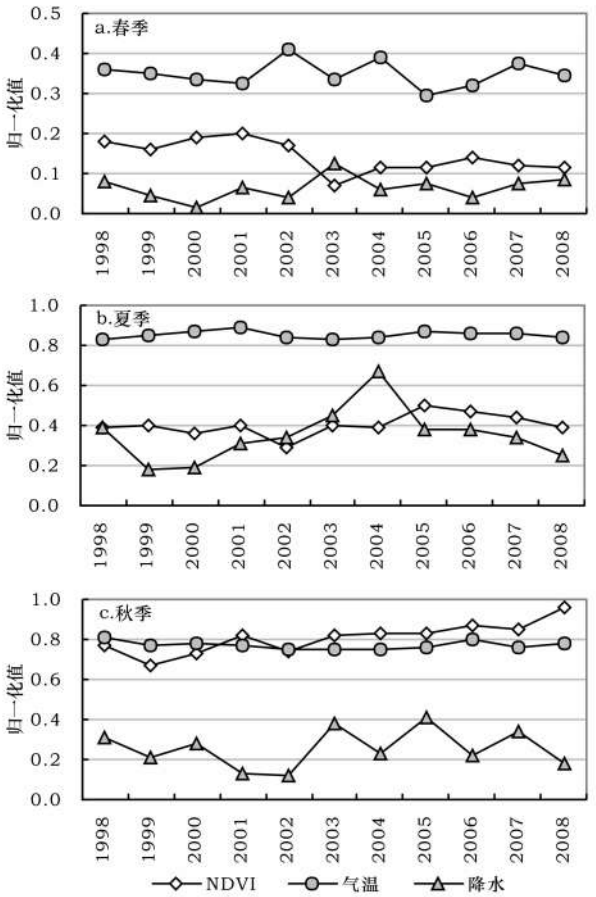


图5 NDVI对气温、降水因子季节响应特征

Fig.5 The seasonal response characteristic map between NDVI and the factors of temperature and precipitation

表1 1998年–2008年NDVI与气温、降水因子相关系数

Table 1 The correlation coefficients between NDVI and the factors of temperature and precipitation from 1998 to 2008

		1998 NDVI	1999 NDVI	2000 NDVI	2001 NDVI	2002 NDVI	2003 NDVI	2004 NDVI	2005 NDVI	2006 NDVI	2007 NDVI	2008 NDVI
不考虑延迟	气温	0.825	0.849	0.871	0.844	0.843	0.813	0.799	0.849	0.833	0.789	0.800
	降水	0.666	0.755	0.589	0.536	0.553	0.757	0.586	0.846	0.664	0.781	0.663
考虑延迟1个月	气温	0.836	0.864	0.876	0.898	0.896	0.909	0.928	0.942	0.940	0.911	0.907
	降水	0.815	0.596	0.606	0.855	0.819	0.744	0.885	0.912	0.860	0.851	0.706

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net http://www.resci.cn

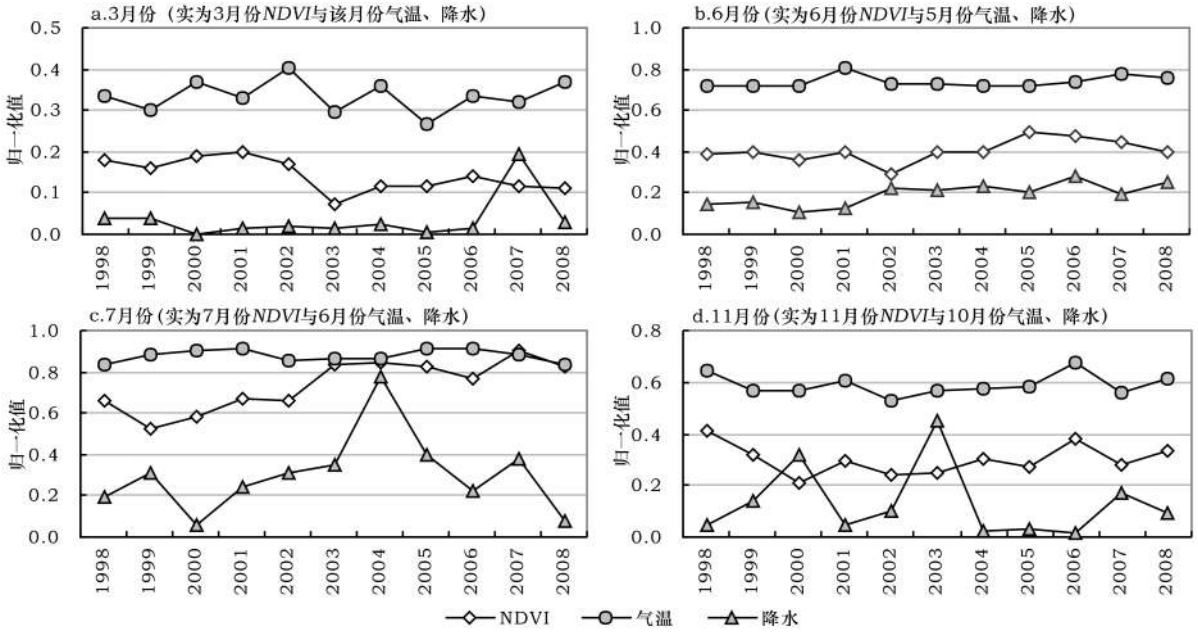


图6 NDVI对气温、降水因子月度响应特征

Fig.6 The monthly response characteristic map between NDVI and the factors of temperature and precipitation

明显（延迟是指用上月的气温、降水数据与本月NDVI数据关系对比，以下类同），参见图6a；5月–6月份，气温、降水共同作用促使植被继续生长，但仍以气温影响为主，且气温延迟作用显现，参见图6b；7月–9月份，普遍高温环境下，植被生长主要依赖丰富的降水，且降水延迟现象明显，见图6c；10月–12月份，降水量减少、气温降低，植被由生长转为落叶、凋零状态，气温变化起主要作用，且气温延迟现象明显，见图6d。

5 结论

（1）黄河三角洲NDVI变化以良性发展为主，但NDVI长期无变化区及弱持续性中度改善区值得关注，且NDVI弱、中、强持续性退化区广泛分布，尤其是中、强持续性退化区面积百分比合计达15.53%，理应尤为关注，并探讨和寻找原因。

（2）黄河三角洲NDVI与气温、降水因子均有较高的相关系数，且与气温相关性较大，相关系数分别为0.81、0.63，若考虑1个月的时间延迟，相关系数分别为0.89、0.75。

（3）对黄河三角洲考虑1个月延迟的NDVI与气温、降水的相关性研究更具科学性和准确性。研究表明：春季（2月–4月）、夏季（5月–7月）气温对植物生长起决定作用，秋季（8月–10月）气温无明显变化趋势，NDVI值变化受降水强度影响较大，但植物生长处于水分充足条件下，降水量与NDVI并无明确关系；不同月份气温、降水对NDVI的影响主导作用不同，延迟程度不同。

（4）通过分析NDVI时空动态及其与气温、降水之间的相关特征，揭示了植被覆盖变化与水热条件之间的耦合变化关系，相关研究有望对区域农业生产和生态保护产生指导作用。

参考文献 (References):

[1] 蒙吉军,王钧.20世纪80年代以来西南喀斯特地区植被变化对气候变化的响应[J].地理研究,2007,26(5): 857–865.

[2] 刘绿柳,肖风劲. 黄河流域植被NDVI与温度、降水关系的时空变化[J].生态学杂志, 2006, 25(5): 477–481.

[3] 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.

[4] 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): 753–758.

[5] 陈云浩,李晓兵,陈晋,等. 1983–1992年中国陆地植被NDVI演变特征的变化矢量分析[J].遥感学报, 2002,6(1): 12–18.

[6] 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.

[7] Maisongrande P, Duchemin B, Dedieu G. VEGETATION/SPOT: An operational mission for the Earth monitoring, presentation of new standard products [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(1): 9–14.

[8] 杜灵通, 李国旗. 利用SPOT数据进行干旱监测的应用研究[J]. 水土保持通报, 2008,28(2): 153–156.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[9] 张月丛, 赵志强, 李双成等. 基于SPOT NDVI的华北北部地表植被覆盖变化趋势[J].地理研究, 2008,27(4): 745-754.
[10] 董印, 焦黎, 杨光华等. 基于SPOT-VGT数据的新疆1998-2007年植被覆盖变化监测[J].水土保持通报, 2009, 29(2): 125-128.
[11] 江田汉,邓莲堂. Hurst指数估计中存在的若干问题—以在气候变化研究中的应用为例[J].地理科学, 2004, 24(2): 177-182.

Spatial-Temporal Dynamics of NDVI and Its Response to Temperature and Precipitation in the Yellow River Delta during the Period 1998-2008

LI Mingjie[1,2], HOU Xiyong[1], YING Lanlan[1,2], LU Xiao[1,2], ZHU Mingming[1,2]
(1.Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, *China;*
2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, *China)*

Abstract: Satellite remote sensing represents a significant breakthrough in the scientific community, providing critical surface and atmospheric information at a variety of spatial and temporal scales. It has been widely used in the Earth sciences and can also be an effective way to monitor the vegetation dynamics and global changes. Vegetation cover and growth are influenced by climatic changes. Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) can essentially reveal the status of vegetation and ecology; however, the relationship between NDVI and the major climatic factors remains still unclear, such as temperature and precipitation. There seems to be few published studies concerned with the use of time series NDVI data investigate the mechanisms of changes in vegetation in response to climatic factors. In this paper, we made use of time series NDVI data to examine the response of vegetation to major climatic factors based on geographic information system (GIS) and statistical methods. We described the evolution and spatial variability of NDVI in Dongying City during the period April 1998-December 2008, and its relationship with temperature and precipitation using satellite products of SPOT-VGT S10 and ground observations of temperature and precipitation. Using linear regression and the Hurst index we determined the spatial-temporal variability of NDVI. Based on the correlation coefficient method, we identified the annual, seasonal, and monthly response of the NDVI to temperature and precipitation to be the most important climatic factors. While most portions of the study area showed generally stable NDVI values over the 10-year period, the NDVI development of some areas might be indicative of loss of vegetation to certain extent, which requires further study to find out the fundamental reasons for the loss. Furthermore, it is found that there existed a marked relationship between temperature and NDVI and precipitation and NDVI with correlation coefficients of 0.81 and 0.63, respectively. These correlation coefficients increased to 0.89 and 0.75 when taking into account a lag of one month between these climatic factors and the vegetation development. There appeared to be different relationships between the temperature and the precipitation in different periods of vegetation growth. The temperature was found to be the dominant factor affecting vegetation growth in spring (February-April) and summer (May-July), whereas precipitation was the dominant factor influencing vegetation in the autumn period (August-October), with indicating less influence of temperature.

Key words: NDVI; Spatial-temporal patterns; Climatic factors; Correlation; Yellow River Delta

http://www.resci.cn
© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net