

2001 - 2010 年蒙古国 MODIS-NDVI 时空变化监测分析

王蕊^{1,2}, 李虎^{1*}

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 利用 2001 - 2010 年的空间分辨率为 1km 的 MODIS-NDVI 数据, 以蒙古国为研究区域, 利用最大值合成法、均值法与差值法、一元线性回归等方法, 分析了不同季节下植被覆盖的年内变化、年际变化与波动趋势、空间变化特征。结果表明: MODIS-NDVI 对植被的生长变化具有较高的敏感度, 可有效应用于植被生态的评估和监测; 蒙古国植被季相变化明显, 夏秋季植被生长旺盛; 近 10 年里, 春季的植被以波动退化为主要趋势, 夏季保持稳定, 秋、冬季则在波动中趋向改善; 前 5 年的植被变化幅度较小, 后 5 年的植被变化幅度显著, 总体上改善幅度略大于退化幅度; 蒙古国的植被覆盖在近 10 年里, 呈现出总体保持稳定、局部轻微改善的趋势; 从空间上分布看, 稳定区分布广泛, 改善区主要分布在东部, 退化区主要分布在中部。根据以上研究结论, 可以看出: 蒙古国近几年的植被覆盖变化趋于平缓, 并在东部地区呈现轻微的改善趋势, 说明该国东部地区加强防治措施初见成效。但与此同时, 蒙古国的中部地区出现植被略微退化的趋势, 也应引起我国生态环境防治方面的关注。

关键词: 蒙古国; MODIS-NDVI; 时空变化; 遥感

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00667

1 引言

地表植被是地方、区域和全球尺度生态系统状况、环境压力和景观变化的指示器^[1]。植被指数是卫星遥感中最具明确意义的指数之一, 为区域及全球植被及生态环境监测提供了丰富数据。目前, 已研究发展的 40 余种植被指数中, 在植被动态变化监测上常用的植被指数有近 10 种。根据其发展阶段可分为两类: (1) 地物波段的线性组合或原始波段的比值的植被指数; (2) 基于物理知识, 综合考虑各因子的相互作用, 并通过经验及模拟对原植被指数不断改进而发展的植被指数^[2]。第一类植被指数包括 RVI(比值植被指数)和 DVI(差值植被指数); RVI 对于浓密植物的植被覆盖度反应灵敏, 但 DVI 并未考虑大气影响及土壤、植被间的相互作用, 应用十分局限^[2]; 第二类植被指数包括 PVI(垂直距离型植被指数)、SAVI(土壤可调植被指数)、MSAVI(修正的土壤调节植被指数)、ARVI(抗大

气植被指数)、NDVI(归一化植被指数)等。PVI 能适用于混合像元的分解处理, 但对大气效应反应不够灵敏^[3]; SAVI 能够减少土壤和植被冠层背景的干扰, 但须预先获得下垫面植被的密度分布或覆盖百分比^[4]; MSAVI 适合于不同植被覆盖度、不同土壤背景的下垫面^[5]; ARVI 对大气的敏感性比 NDVI 约减小 4 倍, 且所需大气实况参数很难获取^[6]; NDVI 能够精确地反映植被绿度、光合作用强度, 植被代谢强度及其季节和年际变化, 有较好的时相和空间适应性, 应用最为广泛^[7-9]。

相对于其他植被指数, NDVI 具有以下几方面的优势: 植被检测灵敏度较高; 植被覆盖度的检测范围较宽; 能消除地形和群落结构的阴影和辐射干扰; 削弱太阳高度角和大气所带来的噪音。鉴于 NDVI 对植被的长势和生长量非常敏感, 可以很好地反映地表植被的繁茂程度, 因此, NDVI 的变化趋势在一定程度上能代表地表植被覆盖变化^[10-11]。

研究表明, MODIS-NDVI 数据相对于 NOAA-

收稿日期: 2011-02-16; **修回日期:** 2011-09-15.

基金项目: 资源与环境信息系统国家重点实验室开放基金项目(2010KF0004SA); 自治区科技攻关和重点科技项目(200733115)。

作者简介: 王蕊(1987-), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生。目前主要从事资源环境遥感等相关研究。E-mail: jli2l3l@yeah.net

* **通讯作者:** 李虎(1962-), 男, 教授, 博士, 博导, 从事遥感与 GIS 研究工作。E-mail: lihu2881@yahoo.com.cn.

AVHRR 数据,更有利于对植被退化状况进行动态监测,是研究植被演变特征的理想数据源 [12-15]。

本文利用 MODIS-NDVI 数据,分析了该区域植被演变的时空变化特征,得到植被覆盖的时间分异规律和变化发展趋势,为监测该地区生态环境的质量及变化状况提供了科学依据。

2 研究数据与方法

蒙古国地处亚洲中部的蒙古高原,国土面积 15 665 万 hm^2 。大部分地区属大陆性温带草原气候,季节变化明显。年均温度由南部的 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到北部的一 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$,冬季漫长而严寒,夏季短而干热。年降水量自北向南减少,植被覆被类型随之由森林过渡到草原、再过渡到荒漠。蒙古是中国的北方近邻,东、南、西与我国接壤,与我国边界线长达 4 670km。在自然环境、人文和社会经济上与中国有着密切联系。目前,该区域草原退化及三地沙化现象严重,是我国沙尘暴的主要沙尘源之一。蒙古国的生态环境及其变化情况直接影响着我国的生态环境质量。因此,监测该地区的植被退化状况、掌握其动态变化的规律,对于研究我国生态环境的发展趋势以及防治办法具有重要的学术价值和现实意义。

2.1 数据源与预处理

研究选用来自美国 NASA 的 MODIS/Terra 16 天合成的无云覆盖的植被指数产品 (<http://wist.echo.nasa.gov/apill>),时间序列为 2001 - 2010 年,分辨率为 1km,地图投影格式为 Sinusoidal (正弦曲线投影),数据质量可靠。使用 NASA 提供的 MRT (MODIS Reprojection Tools) 工具软件对下载的影像进行地图投影转换和重采样,把 HDF 格式转化为 Tiff 格式,将 Sinusoidal 地图投影转换为 WGS 84 地图投影。然后利用 ENVI、ArcGIS 等图像处理软件结合蒙古国矢量边界图进行拼接、裁切、格式转化,形成像元大小为 1km、能基本覆盖整个研究区的影像数据。对属于同一季度的 3 个月 NDVI 影像进行最大化合成及平均(春季:2 - 4 月,夏季:5 - 7 月,秋季:8 - 10 月,冬季:11 - 翌年 1 月),得到四季的 NDVI 时序图和 NDVI 值。

2.2 研究方法

(1)最大值合成法(MVC)

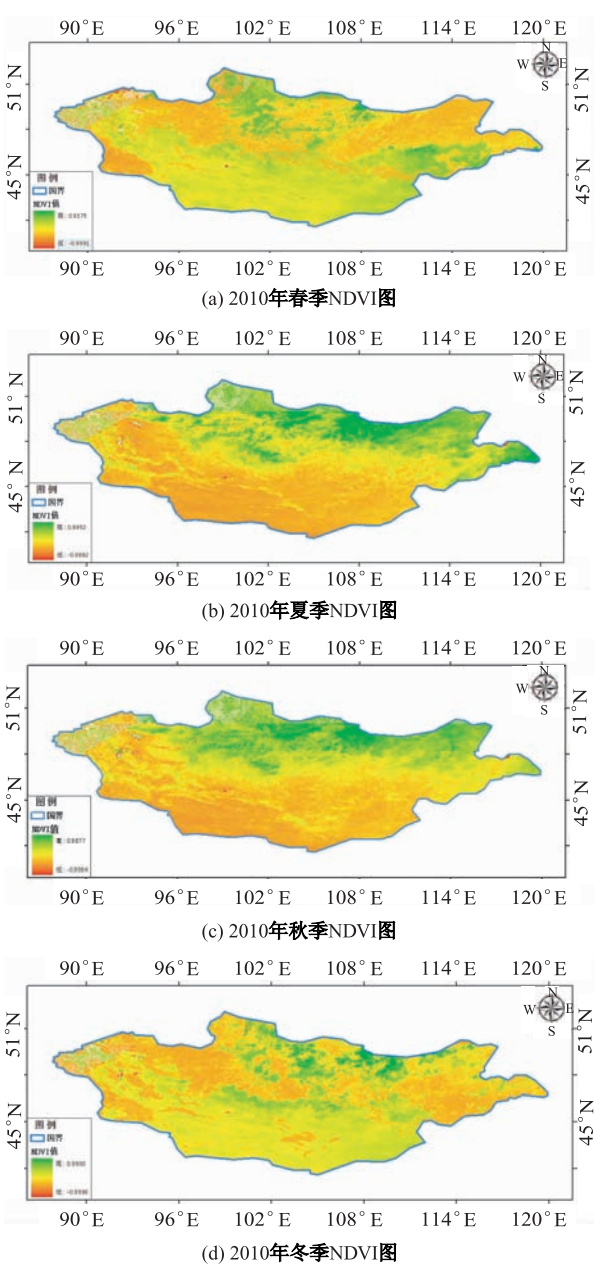


图 1 2010 年春、夏、秋、冬 4 季 NDVI 数据
Fig. 1 NDVI of four seasons in 2010

$$NDVI_i = Max(NDVI_{ij}) \tag{1}$$

为减小云、大气、太阳高度角的干扰,利用国际上通用的 MVC(最大值合成)法 [16] 获得该季度最大 NDVI 值(即通过逐像元比较 NDVI 图像在每个像元取该像元最大值),同时记录各通道的灰度值。式 (1)中,NDVI_i 是第 i 季度的 NDVI 值,NDVI_{ij} 是第 i 季度第 j 月的 NDVI 值。

(2)均值法与差值法

在统计某一区域(包括整个研究区和部分重点区域)的 NDVI 值时,我们采用均值法进行计算。

即统计区域内所有格网的NDVI值平均,差值法用于量化两个年份最大化NDVI值的变化,即用后一时期的所有格网的NDVI值减去前一时期的所有格网的NDVI值。

(3)一元线性回归法

研究区内每个单元格10年间的变化趋势用线性回归方程的回归系数(即斜率值)表示,本文运用最小二乘法计算回归系数 b :

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{2}$$

其中: X_i 为年份, Y_i 为第*i*年的NDVI值, n 为样本量,本文取10, b 是从2001-2010年年平均NDVI增长量,如果其为正值,说明此单元格的植被状况趋好,其值为负则说明该单元格的植被状况趋于恶化。分别对10年间各季节的增长量进行计算,并统计研究区内不同变化趋势的栅格所占的面积比例。

以上方法均利用IDL编写程序实现,并由ArcGIS制图得到如图1的数据。

3 MODIS-NDVI时空变化监测与结果分析

3.1 年内结果统计与变化分析

年内NDVI构成的时间序列曲线是表征植被生长规律的较为理想的方法^[17]。为了分析NDVI的季节变化规律,将2001-2010年NDVI按季度取平均值,得到每年NDVI值随季节变化的趋势,如图2。

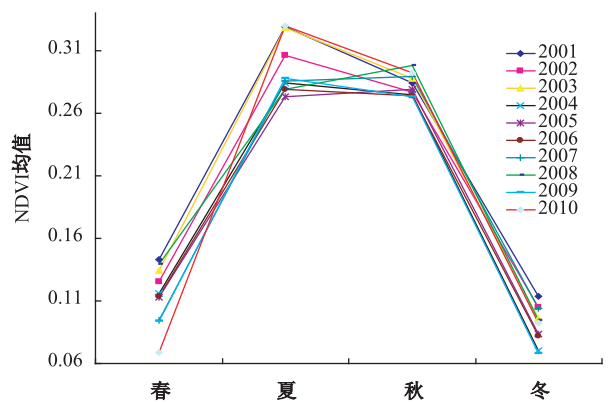


图2 2001-2010年蒙古国NDVI季节变化
Fig. 2 NDVI seasonal change of Mongolia from 2001 to 2010

图中横轴表示各年份的春、夏、秋、冬4个季节,纵轴表示NDVI均值(范围是[-1,1]),折线反

映NDVI的季节变化趋势,不同符号线代表不同年份。NDVI均值越大,表示植被覆盖越高,植被生长越旺盛;反之,则植被覆盖越低,植被生长越缓慢。从图2可以看出,蒙古国区域春季和冬季的植被覆盖较低,夏季和秋季的植被覆盖较高,表明了蒙古国植被在夏秋季节生长旺盛,冬春季节生长缓慢的规律。另外,从不同年份对比来看,蒙古国2001-2003年植被覆盖较其他年份稍高,但各年的植被覆盖相差不大,说明前3年的植被长势较旺盛,随后几年植被生长略缓,但基本保持稳定态势。

3.2 年际结果统计与变化分析

3.2.1 年际变化趋势统计分析

年际NDVI构成的时间序列能够直观展现较长一段时期内的植被生长状况、预测植被生长趋势。由于植被具有明显的季节变化的特征,因此,分季节分析NDVI年际变化更加科学合理。图3-6中,折线表征了不同季节NDVI的年际变化状况,直线为各季节NDVI的年际变化趋势线,能够反映NDVI年际变化的趋势:斜率为正表示上升趋势,斜率为负表示下降趋势。采用相关系数的统计检验方法进行显著性趋势检验($P<0.05$)。结果如图3-6。

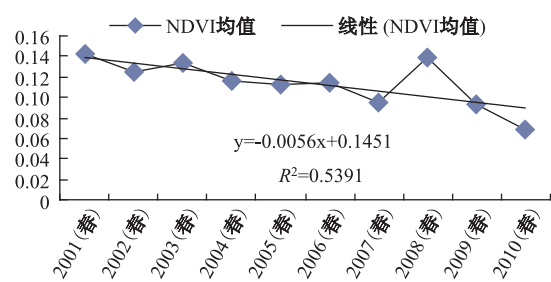


图3 蒙古国春季NDVI年际变化
Fig. 3 NDVI interannual change of Mongolia in spring

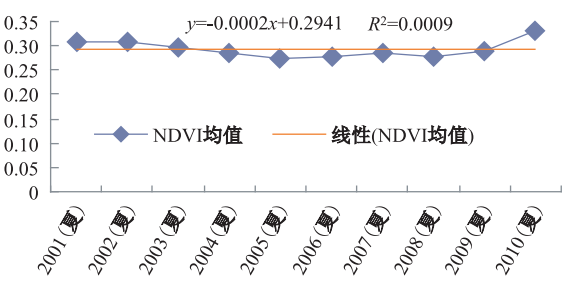


图4 蒙古国夏季NDVI年际变化
Fig. 4 NDVI interannual change of Mongolia in summer

从图中可以得出:近10年来,蒙古国春季植被

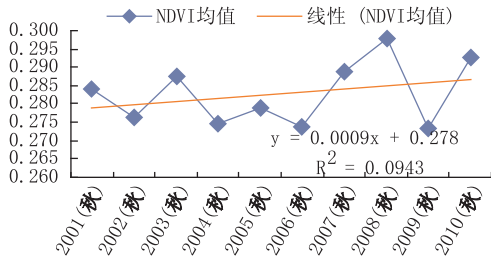


图 5 蒙古国秋季 NDVI 年际变化

Fig. 5 NDVI interannual change of Mongolia in autumn

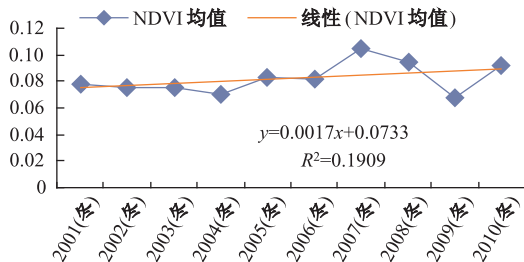


图 6 蒙古国冬季 NDVI 年际变化

Fig. 6 NDVI interannual change of Mongolia in winter

覆盖的峰值出现在 2001 年,谷值出现在 2010 年,2001 - 2007 年间植被覆盖持续退化,2008 年植被覆盖虽有所恢复,但总体呈波动下降趋势;夏季的植被覆盖变化不大,植被的总体长势趋于平稳;秋季植被覆盖年际波动显著,在 2006 - 2008 年植被覆盖呈不断增长趋势,并在 2008 年达到峰值,2009 年回落至最低点,次年再次回升,总体呈波动增加的趋势;冬季 2001 - 2006 年的植被覆盖处于平稳状态,随后出现显著变化,植被总体依然保持平稳生长的态势。

3.2.2 年际波动趋势统计分析

年际 NDVI 变化量构成的时间序列表征了 NDVI 差值的年际变化状况,反映 NDVI 的年际波动幅度(图 7 - 10)。

图中柱体表示相邻两年间的 NDVI 差值,正值表示植被覆盖趋好,负值表示植被覆盖退化。线性回归趋势线表示植被覆盖变化的幅度。由线性回归趋势线结合相关系数可以看出,春季 NDVI 增长的总幅度远小于退化的总幅度,说明从 2001 - 2010 年度 9 个时段植被有较为明显的持续退化趋势,2007 - 2009 年份植被覆盖度在改善-退化的波动中变化。夏季 NDVI 增长的总幅度比退化的总幅度大,表明从 2001 - 2010 年度 9 个时段植被有较为明显的持续改善趋势,且最近两年的改善幅度较大。

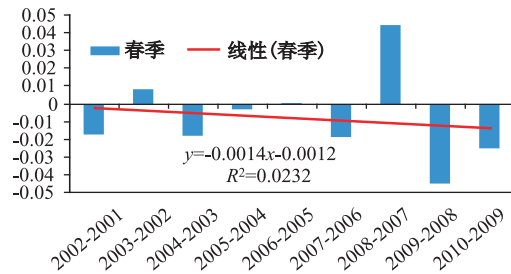


图 7 蒙古国春季 NDVI 差值的年际变化

Fig. 7 NDVI-Difference value interannual change of Mongolia in spring

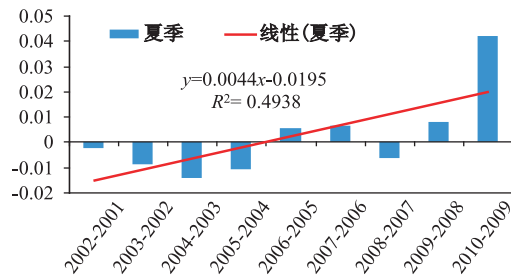


图 8 蒙古国夏季 NDVI 差值的年际变化

Fig. 8 NDVI-Difference value interannual change of Mongolia in summer

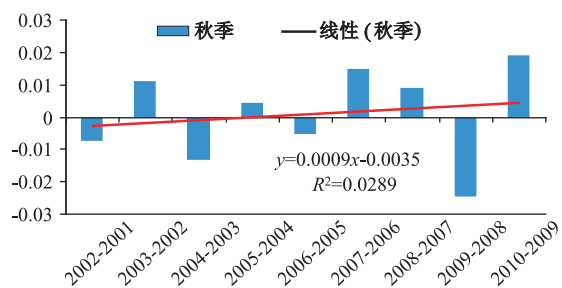


图 9 蒙古国秋季 NDVI 差值的年际变化

Fig. 9 NDVI-Difference value interannual change of Mongolia in autumn

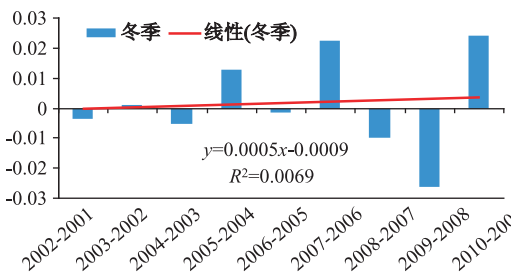


图 10 蒙古国冬季 NDVI 差值的年际变化

Fig. 10 NDVI-Difference value interannual change of Mongolia in winter

秋季和冬季的植被覆盖均有很大的波动幅度,尤其2008-2010年间波动最为显著,呈退化-改善趋势,2001-2010年秋冬两季总体的植被覆盖都持略微改善的趋势。

3.3 2001-2010年蒙古国NDVI的空间变化分析

为研究2001-2010年NDVI随时间变化趋势在空间上的差异,采用线性回归方程对各像元NDVI值10年变化趋势和特征值进行统计分析,见图11-14和表1。

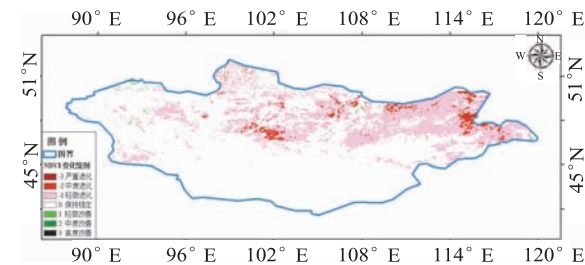


图 11 2001-2010 年春季 NDVI 变化趋势空间分布
Fig. 11 Spatial distribution of NDVI trend of Mongolia in spring during 2001-2010

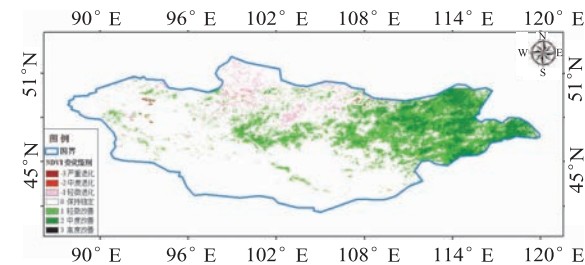


图 12 2001-2010 年夏季 NDVI 变化趋势空间分布
Fig. 12 Spatial distribution of NDVI trend of Mongolia in summer during 2001-2010

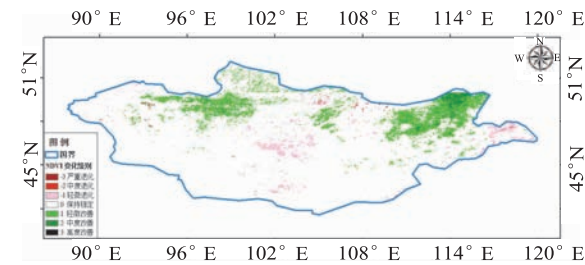


图 13 2001-2010 年秋季 NDVI 变化趋势空间分布
Fig. 13 Spatial distribution of NDVI trend of Mongolia in autumn during 2001-2010

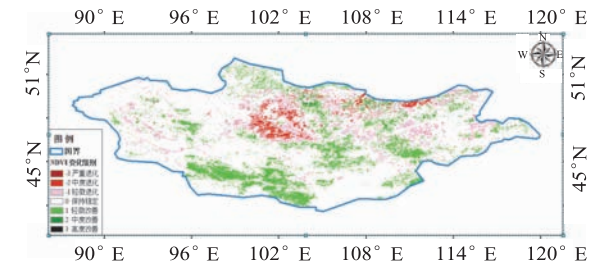


图 14 2001-2010 年冬季 NDVI 变化趋势空间分布
Fig. 14 Spatial distribution of NDVI trend of Mongolia in winter during 2001-2010

表 1 2001-2010 年蒙古国 NDVI 变化趋势结果统计表
Tab. 1 Statistics of NDVI trend of Mongolia during 2001-2010

级别代码	NDVI 变化级别	百分比(%)			
		春季	夏季	秋季	冬季
-3	严重退化	0.0112	0.0156	0.0059	0.0192
-2	中度退化	3.3291	0.1280	0.1183	2.3645
-1	轻度退化	23.6493	2.1216	3.4011	11.5838
0	保持稳定	72.4051	70.3015	84.0140	77.5264
1	轻度改善	0.5299	20.4256	11.3368	8.0335
2	中度改善	0.0754	6.9994	1.1172	0.4685
3	高度改善	0.0000	0.0084	0.0067	0.0040

蒙古国植被空间变化分析:

(1)春季,蒙古国植被普遍存在退化的趋势,少数局部有改善的现象。从分布区域来看,退化区分布较广,北部、中部、东部植被退化面积较大,但大多属于轻度退化,只有东部和中部的小片区域退化严重;南部区域植被保持稳定;改善区分布面积极小。

(2)夏季,蒙古国植被以改善为主要趋势。改善区主要集中在东部,中部部分区域也有轻度改善;北部少数地区存在轻微的退化现象;其余大部地区保持稳定。

(3)秋季,蒙古国植被仍以改善为主要趋势,但相比夏季面积有所减少。西北部和东北部为主要的改善区,其中东北小片区域为中度改善,改善状况较好;轻度退化区在全国均有分布,面积较小,其余大部分地区保持稳定态势。

(4)冬季,蒙古国植被在北方呈总体退化趋势,在南方呈总体改善趋势。严重退化区集中在中北部,面积较大;改善区分布较广,主要为轻度改善程度;保持稳定的区域各地都有分布。

4 结语

(1) MODIS-NDVI 对植被的生长变化具有较高的敏感度,可有效地应用于植被生态的评估和监测。

(2) 蒙古国的植被在夏季和秋季生长旺盛,植被覆盖达到最丰盛;冬季和春季生长缓慢,植被覆盖最贫瘠。2001-2003 年的植被长势较旺盛,随后几年植被生长略缓,但基本保持稳定的生长态势。

(3) 近 10 年里,蒙古国不同季节的植被变化趋势有不同的特点:春季的植被趋向退化,夏季的植被保持稳定,秋、冬季的植被趋向改善。2001-2010 年间前 5 年的植被无明显变化幅度,后 5 年的植被变化幅度显著,总体上改善幅度略大于退化幅度。这可能与全球气候变化有关:近 5 年来全球气候状态不稳定性增加、气温异常明显,影响植被的稳定生长,引发植被覆盖的显著变化。另外,降水量对植被覆盖的波动也有一定程度的影响。

(4) 对比 2001-2010 年不同等级的植被覆盖变化趋势面积及所占比例发现,蒙古国的植被覆盖在近 10 年里呈现出总体保持稳定、局部轻微改善的趋势:稳定区分布广泛,改善区主要分布在东部,退化区主要分布在中部。

从上可见,蒙古国近几年的植被覆盖变化趋于平缓,并在东部地区呈现轻微的改善趋势。这与近年来政府加强东部地区退耕还林还草、加大环保力度和生态建设等一系列人类干预措施是密不可分的。同时蒙古国的中部地区出现植被略微退化的趋势,需要引起我国生态环境防治方面的关注。

参考文献:

[1] 孙红雨,王常耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间系列数据集[J]. 遥感学报, 1998,2(3): 204-210.

[2] 田庆久,闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998,8(4): 327-333.

[3] 梅安新,彭望球. 遥感导论[M]. 北京:高等教育出版社, 2001,240-249.

[4] 杜刚. 基于 EOS/MODIS 的植被指数监测模型研究及应用[D],2005,5.

[5] Kaufman Y J, Tanre D. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS[J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 1992(30):261-270.

[6] 张仁华,饶农新,廖国男. 植被指数的抗大气影响探讨[J]. 植物学报,1996,38(1):53-62.

[7] Tateishi T, Ishiyama T, Honda Y. Relationships between Percent Vegetation Cover and Vegetation Indices[J]. Remote Sensing, 1998,19:3519-3535.

[8] Scanlon T M, Albertson J D, Caylor K K, *et al.* Determining Land Surface Fractional Cover from NDVI and Rainfall Time Series for a Savanna Ecosystem[J]. Remote Sensing of Environment, 2002,82:376-388.

[9] 王正兴,刘闯, HUETE A. 植被指数研究进展:从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI[J]. 生态学报,2003,23(5):979-987.

[10] Tuck C J, Fung I Y, Keeling C D, *et al.* Relationship between Atmospheric CO₂ Variations and a Satellite-derived Vegetation Index[J]. Nature, 1986, 319:195-199.

[11] 李震,阎福礼,范湘涛. 中国西北地区 NDVI 变化及其与温度和降水的关系[J]. 遥感学报,2005,9(3):308-313.

[12] 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.

[13] 李娜,颜长珍. 利用 MODIS 植被指数评估分水对黑河中游的影响[J]. 遥感技术与应用,2009,24(6):793-796.

[14] 吴云,曾源,吴炳方,等. 基于 MODIS 数据的三北防护林工程区植被覆盖度提取与分析[J]. 生态学杂志, 2009,28(9):1712-1718.

[15] 张宏斌,杨桂霞,吴文斌,等. 呼伦贝尔草原 MODIS NDVI 的时空变化特征[J]. 应用生态学报,2009,20(11):2743-2749.

[16] Holven B N. Characteristics of Maximum-value Composite Images for Temporal AVHRR Data[J]. Int. J. Remote Sense, 1986, 7: 1435-1445.

[17] 盛永伟,陈维英,肖乾广,等. 我国年植被 NDVI 变化特征[J]. 中国科学通报,1995,40(1):68-71.

Spatio-Temporal Changes of Vegetation in Mongolia Based on MODIS-NDVI During 2001 – 2010

WANG Rui^{1,2}, LI Hu¹

(1. *College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007;*

2. *Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101*)

Abstract: The change of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) can reveal the evolvement of environment. Long-term quantitative analysis of vegetal distribution and change can illustrate the reason of environment change, and has become a research focus in recent years. In this paper, we made Mongolia as the study area, analyzed the annual and interannual changes, fluctuation degree and the spatial trend of vegetation distribution by 1 km MODIS-NDVI from 2001 to 2010. The MVC method, average value method, difference value method and linear regression method were used to analyze the annual and interannual changes. The results were: 1) MODIS-NDVI was highly sensitive to growth and change of plants, so it could be effectively applied to evaluate and monitor vegetation ecology; 2) Seasonal change of NDVI was remarkable in Mongolia, NDVI was abundant during summer and autumn, while was poor during winter and spring; 3) In recent ten years, the peak values of vegetation coverage occurred at the year of 2008 in spring, got into valley values in 2010, presented a retrograde tendency on the whole. The summer vegetation coverage and winter vegetation coverage changed slightly, in general the growth of plants was a little better in summer during the past decade, but was gradually reducing in winter. In autumn, the fluctuation of vegetation growth was wider, but still kept a increasing trend in general; 4) As for interannual change, the fluctuating range of NDVI variation was relatively wider from 2006 to 2010, the NDVI degradation was popular in spring and the NDVI coverage was increased during other seasons, and the extent of improvement was slightly higher than the extent of degradation; 5) According to the NDVI trend of Mongolia during 2001–2010, the vegetation area which kept a relatively steady state was 72.40% in spring, 70.30% in summer, 84.01% in autumn and 77.53% in winter, indicating that the NDVI coverage of Mongolia showed a overall stable, locally lightly improved trend in the past ten years; And 6) from the spacial distribution, the stable region was widely distributed on a national scale, the improved region was mainly distributed in the eastern part of the country and the degraded NDVI coverage was mainly distributed in the central region.

Key words: Mongolia; MODIS-NDVI; spatio-temporal change; remote sensing