

中国西北地区 *NDVI* 变化及其与温度和降水的关系

李震, 阎福礼, 范湘涛

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 稀疏的植被覆盖是干旱和半干旱地区最主要的环境特征, 因此长期定量的植被分布和变化观测能够分析干旱和半干旱地区的环境变化。在以干旱和半干旱地区为主要的中国西北地区存在着森林减少、土地侵蚀、盐碱化和沙漠扩张等严重的环境问题, 生态环境十分脆弱。通过 NOAA/AVHRR 建立近 20 年来中国西北地区 *NDVI* 变化序列, 利用差分法、斜率变化和主成分分析 3 种方法分析植被变化。3 种方法显示出基本一致的结果, 即大部分地区植被状况恶化, 局部地区有所好转。通过分析植被变化与温度、降水变化的关系, 发现 *NDVI* 与降水存在明显的正相关关系, 而与温度变化的关系并不明显, 表明降水是影响西北地区植被变化最主要的自然因素。

关键词: *NDVI*; 植被覆盖变化; 温度; 降水

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

地表植被覆盖通过碳循环在全球变化中扮演着重要的角色, 气候变化也影响植被的生长和光合作用。植被作为环境的指示标志, 植被指数的变化能够揭示环境的演化、变迁。多时相的遥感数据记录了植被状况的变化历程, 因此, 植被指数遥感为大面积监测植被状况的演化过程提供了技术可能, 从而可以起到监测、预警作用, 为减缓退化过程甚至恢复原有自然环境提供决策服务。在干旱与半干旱地区, 稀疏植被覆盖是其主要的环境特征, 长期定量的植被分布和变化分析能够找出环境变化的原因。中国西北地区具有干旱大陆性气候特征, 主要为干旱与半干旱区, 研究地表植被覆盖变化对于该地区的能量、生物化学循环、水循环以及区域气候变化有重要意义。

卫星遥感技术显示出在植被监测方面强大的作用, NOAA/AVHRR 的 *NDVI* 是区域尺度上分析植被参数最重要的数据, 它可以有效地观测生物状态, 估算净初级生产力。由于植被树冠在红色波段

(0.58—0.68 μm) 存在强烈的吸收带, 在近红外波段 (0.72—1.1 μm) 存在强烈的散射和反射, 所以波段差异可以进行植被的检测和监测。其中, *NDVI* 是最为常用的一种植被指数, 该指数提供了强烈的植被信号和很好的光谱反差, 在监测区域和全球的光合作用扮演着重要的作用^[1]。*NDVI* 在高植被覆盖地区存在过饱和现象, 而对植被稀疏地区的植被变化尤其敏感, 故利用 *NDVI* 分析中国西北地区的植被变化十分有益。本文通过遥感图像处理建立了中国西北地区 1982—2001 年来的 *NDVI* 时间序列, 并采用差分、变化斜率和主成分分析 3 种方法分析西北地区的植被变化情况, 并与降水和温度变化情况进行了比较分析。

2 研究方法 with 数据

2.1 研究区与预处理

研究区位于中国西北地区, 东经 73°15′—111°17′ 和北纬 31°32′—49°10′ 之间, 面积约为 300 万 km^2 , 包括 6 个省 (陕西、甘肃、新疆、青海、宁夏和内蒙古西部) 大部分地区属于干旱少雨的干旱半干旱地区。

收稿日期: 2004-03-19; 修订日期: 2004-03-21

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX1-10-06), 国家 863 计划 (2003AA131053) 和 KGW 支持。

作者简介: 李震 (1966—), 男, 研究员。1988 年毕业于武汉测绘科技大学航测系, 1998 年获中国科学院兰州冰川冻土研究所理学博士学位。主要从事环境遥感和微波遥感研究, 已发表论文 40 余篇。

平坦地区 4 种主要的地貌类型包括沙漠、荒野、戈壁及绿洲地带;黄土高原的裸露与松散黄土;天山北部的草甸和草地;半干旱地区的耕作旱地。图 1 是西

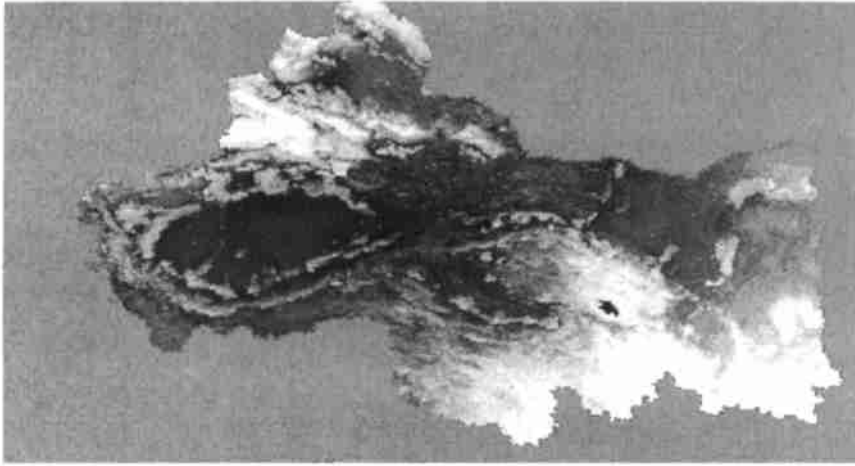


图 1 中国西北地区 1990 年 NDVI 分布示意图

Fig.1 The NDVI image of northwestern China in 1990

NDVI 的计算公式为:

$$NDVI = (MIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

这里 RED 和 NIR 分别为红色波段和近红外波段的上行地表反射率。在计算 NDVI 之前先要进行定标和数据校正,以减少云层、大气浮尘颗粒、视角、太阳高度角的影响^[2]。美国 NOAA 卫星提供了 1979 年以来高时间分辨率(1 天)的长时间序列,由 NOAA/AVHRR 遥感图像上生成了 10 天极大值 NDVI 合成数据,该数据处理还包括辐射定标、大气辐射、NDVI 计算、几何纠正和合成^[3]。常用的合成方法根据无云数据获取状况或地表特征的变化尺度采用 7 天、10 天或 14 天的合成数据,根据西北地区农业和生物物理特性,10 天一个周期能够较好的反映植被的变化状况同时兼顾无云数据获取的可能。本文将数据都投影到 Albers 等面积投影,以便于比较,然用采用 3 种方法来分析地表差异和变化,分别是简单差分分析方法、变化斜率分析方法和主成分分析方法。

2.2 简单差分分析方法

简单差分方法,就是利用配准时相图像之间差值的相对变化百分比来衡量变化的大小:

$$P_{ij} = (NDVI_{ij}^{t1} - NDVI_{ij}^{t2}) / NDVI_{ij}^{t2} \quad (2)$$

其中, P_{ij} 是第 i 行, j 列像素的百分比数值; $NDVI_{ij}^{t1}$ 是时相为 $t1$ 是第 i 行, j 列像素的 NDVI 值; $t1, t2$ 代表时相; i, j 代表第 i 行, j 列像素的位置。采用简

单差分方法,利用 NDVI 的年平均图像(1982 和 1991 年两幅图像),生成西北地区 10 年间 NDVI 的百分比变化图像(图 2(a)):

百分比变化图像

$$= (NDVI_{1991} - NDVI_{1982}) / NDVI_{1982} \quad (3)$$

每一个像素值代表了 1991 年年平均图像的 NDVI 值相对于 1982 年像素变化的百分比。同样,采用 2001 年和 1982 年数据建立 20 年间的变化百分比图像(图 2(b))。

2.3 拟合线性方程斜率变化分析方法

植被生长的季节变化会造成 NDVI 季节性的增大和减少,同样,时间序列年平均 NDVI 也表现了植被生长的年际变化。由于时间段端点年份的气候异常对监测植被的生长状态影响极大,不利于观测分析长时间序列中的演化、变化趋势。因此,我们对每个像素,以该年前后 12 个月的 NDVI 值取平均(如 1981 年 7 月至 1982 年 7 月),作为该年份(如 1982 年)的平均 NDVI 值,生成 1981 年 7 月至 2001 年 7 月 20 年间的平均 NDVI 数据。对于每个像素,将对应 20 年的时间序列数值。这些数值拟合线性直线的斜率揭示了在一定时间序列中,该像素所代表的植被指数的演化趋势。斜率大于零,说明该像素代表的植被状况在向好的方面发展,反之则是植被状况变差。本文分别计算了 10 年和 20 年(图 3)和 NDVI 斜率图像。

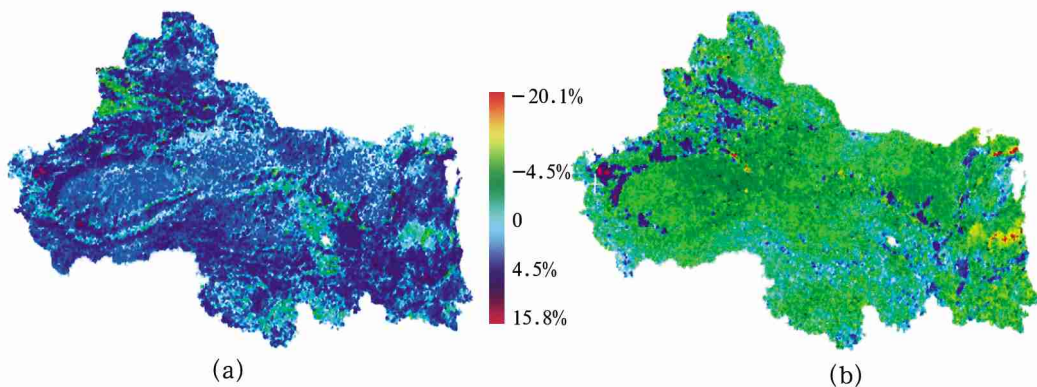


图2 西北地区10年间(a)、20年间(b) NDVI的百分比变化图像

Fig.2 The NDVI difference image between 1982 and 1991(a), and between 1982 and 2001(b)

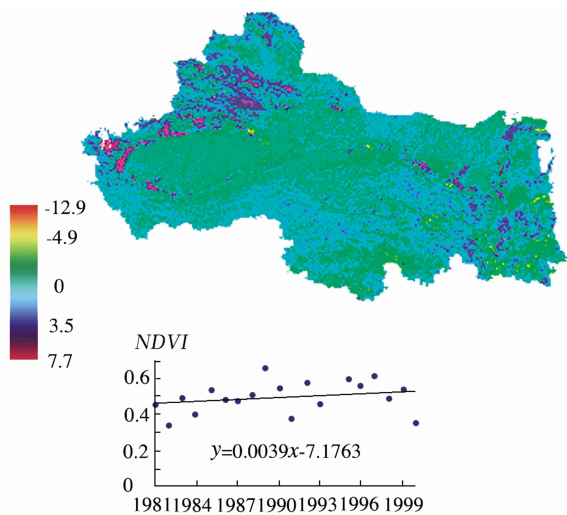


图3 西北地区20年(1982—2001)间 NDVI 线性拟合斜率图像

Fig.3 The images of the regression slope of the NDVI over 20 years(1982—2001)in Northwest, China

生物量斜率图像能更为明确地反映20年间植被生长的生物物理意义,比图像差分方法更为准确地满足变化监测的需要,更适用于监测植被的变化状况。由于NDVI与植被的生物量密切相关,我们根据Goward的积分方法,提取了不同植被覆盖类型的NDVI—生物量参数 ξ ,计算了植被的生物量^[4]:

$$NPP = \sum NDVI * \xi \quad (4)$$

利用计算的NPP结果,采用上述计算NDVI斜率图像的方法,计算了西北地区20年间生物量变化的拟合线性方程斜率变化图像(图4(d))。

2.4 主成分分析方法

主成分分析是根据协方差矩阵或相关矩阵对多波段图像数据进行线性变换,按照方差的大小分别提取一系列不相关的主成分的方法。

设 $X^T = [X_1, X_2, \dots, X_N]$ 是协方差矩阵为C的N维随机变量,则新的主成分 Y_1, Y_2, \dots, Y_N ,可以表达为:

$$Y_j = a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 + \dots + a_{Nj}X_N = a_j^T X \quad (5)$$

其中,T代表矩阵转置; $a_j^T = [a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{Nj}]$ 是协方差矩阵的归一化特征向量(即: $a_j^T a_j = 1$)。

对于长时间序列(20年)的植被变化的研究,简单差分技术得到的只是长时间序列中端点年份NDVI之间的差值变化;NDVI变化斜率分析反映的是植被的演化趋势,这两种方法都容易受极端现象的影响,造成结果的很大偏离。通过对1981年7月至2001年6月的平均NDVI图像的年际主成分分析,生成了主成分图像,并计算了主成分荷载(Loadings)(主成分图像与每一幅输入时相图像的相关)。每一主成分与各输入NDVI图像都具有很高的相关性,近似等于1.0,说明空间的变化特征远大于地面植被覆盖的年际变化,表明该地区植被分布差异较大。在每一个卫星运行期间,第二、三主成分荷载表现为单调增加或减少,在卫星切换年份则表现为荷载值的异常^[5]。第二主成分在1984—1985,1993—1994,1998—2000和第三主成分在1984—1985,1988—1989年份有较大的变化,这是由相应年份卫星更替以及传感器定标不准确引起的结果,表明第二、三主成分荷载揭示了NOAA系列卫星更新造成的辐射定标和图像配准影响的结果。第四主成分反映了植被

变化的信息,图像上正值区域是 *NDVI* 增加的地区,负值区域是植被退化、*NDVI* 降低的地区(图 4(c))。针对由于卫星切换和传感器定标导致的问题,主要

通过假定裸露地表 *NDVI* 值的变化基本恒定来归一化处理,所建立的变化分析是基于裸地区域 20 年间生物量不变进行。

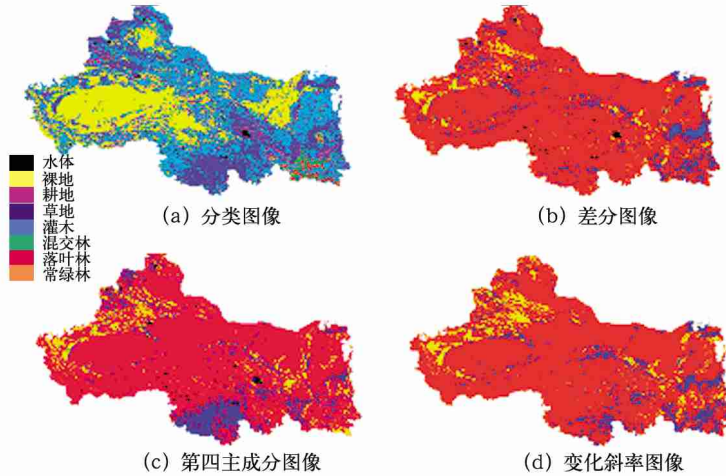


图 4 西北地区土地覆盖分类图及其 3 种分析方法建立的 20 年间植被变化图像

Fig. 4 The classifications of land-covers and vegetation change in northwestern China with three methods from 1982 to 2001

3 结果与讨论

研究表明生物量斜率图像比主成分变换更为明确地反映了 20 年间植被生长的生物物理意义。因此,生物量斜率方法比图像差分方法更为准确,相对于主成分变换计算简明、生物物理意义明确,并能满足变化监测的需要,更适合于监测植被的变化状况^[6]。因此,我们采用生物量的斜率作为衡量该地区植被变化指标,分析 20 年(1982—2001)间的 ON-*AA*/*AVHRR* 的 *NDVI* 数据,总结植被的 20 年间的变化趋势、演化分化状况。

基于 NASA 的 *AVHRR* 数据分类,将中国西北地区的地表覆盖类型分为:水体、常绿林、落叶林、混合体、灌木和灌木草地、草地(自然草地)、耕地、裸地,共 8 种地物(图 4(a))。将 20 年来各类别的生物量进行了线性拟合。为了尽可能地消除卫星更新等外来因素对斜率拟合的影响,我们以裸地覆盖类型像素的生物量斜率的变化范围为阈值(被分割在这一范围之间的像素视为没有变化,包括了 91% 以上的沙漠覆盖区域),将前后各 10 年的斜率图像分别进行了分割统计。根据生物量斜率图像,可以发现前 10 年(1982—1991 年)表现为增加的区域,在后 10 年(1992—2001 年)已经发生了大面积的退化。统计 1982—2001 年前 10 年间各类地物的生长状况,及其

在整个 20 年间的变化情况(表 1)。可以看到 1992—2001 之间的 20 年间,林地、灌木草地、草地区域都发生了大面积的植被退化。如:常绿林生物量表现为增加的像素数目降低了将近 16%,而表现为降低的区域由原来的 6.44% 达到了 23.94%;灌木草地和自然草地中,原来表现为增加和不变的面积都有不同程度的降低,表现为生物量减少的区域却有了很大面积的增加。综合统计表明 20 年间,西部生物量的生长状况表现出局部改善、全面恶化的演化、变迁趋势。

降水和温度变化是影响中国西北地区植被生长的主要自然因子,因此对比分析植被变化与温度、降水变化的关系可以发现该区域环境变化的主要原因。从降水和气温变化图上,可以看到近 40 年来,天山地区的降水增加。其中北疆地区年降水量平均增加了 36.0mm,偏多了 22%;南疆地区年平均降水量增加了 17.4mm,偏多了 33%;天山山区年平均降水量增加了近 40mm,偏多了 12%。西北东部地区降水减小,自 20 世纪 80 年代中期开始降水持续偏少,1987—2000 年降水量则比 1961—1986 年平均减少了 5%—15%。而整个区域的气温是呈增加趋势,从参加统计的站点来看,新疆北部是变暖最为明显的地区,其中富蕴的偏高幅度达到 1.7℃;西北东部以及青海高原的大部分地区气温偏高的幅度也在 0.8—13℃ 之间^[7]。

表 1 1982—2001 年不同地表覆盖类型变化状态统计(基于裸地区域 20 年间生物量不变)

Table 1 The change status of different land covers over 1982—2001(threshold=the range of biomass slope of the desert regions)

地 表 覆 盖	1982—2001 年不同地表覆盖类变化统计			
	时间段	增 加/%	不 变%	减 少/%
常 绿 林	前 10 年生长状态	73.00	20.56	6.4
	20 年总的生长状态	56.92	19.14	23.94
落 叶 林	前 10 年生长状态	64.30	26.78	8.92
	20 年总的生长状态	47.80	24.71	27.49
混 合 林	前 10 年生长状态	57.89	33.73	8.38
	20 年总的生长状态	41.54	30.04	28.42
灌 木 草 地	前 10 年生长状态	34.57	47.51	17.92
	20 年总的生长状态	26.33	42.09	31.58
自 然 草 地	前 10 年生长状态	31.31	51.04	17.65
	20 年总的生长状态	29.12	46.95	23.93
耕 地	前 10 年生长状态	35.10	55.34	9.56
	20 年总的生长状态	24.32	54.46	21.22

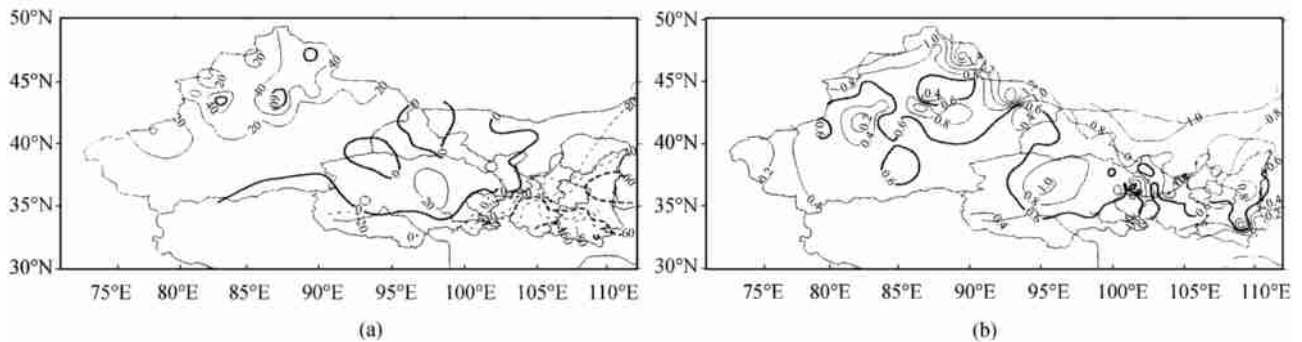


图 5 1987—2000 年与 1961—1986 年西北地区平均降水(a)、气温之差(b)

Fig.5 The difference of the average precipitation(a)and temperature(b)from 1987 to 2000 and from 1961 to 2000 and from 1961 to 1986 in northwest China^[7]

对比分析该区域降水和图 4 中 3 种方法计算的 NDVI 变化,我们可以看到西北地区 NDVI 增加的地区主要位于新疆的天山地区,减少的主要在西北东部地区,而甘肃和青海西部,以及新疆东部 NDVI 变化不大,这与降水的变化非常一致,表明 NDVI 变化与降水变化有很好的正相互关系。这一结果说明降水是决定干旱与半干旱地区植被生长的主要因素,多降水年份植被生长茂盛,少雨年份植然生长缓慢稀少。该地区的温度整体上升高,这与 NDVI 的变化地区差异并不一致,表明温度与 NDVI 变化没有直接的相关关系。这是由于温度增加一方面为植被生成提供热量促进植物生长发育;另一方面温度升高,地表蒸发量加大,水分流失增加,会导致植被生长缺水,这种现象在干旱半干旱地区尤其严重。总体上讲,降水增加的部分不足以抵消由温度升高而引起蒸发加强的部分,最终导致该区域植被呈总体恶化的局面,个别地区植被状况好转。

4 结 论

(1) 本文显示了 NOAA/AVHRR, NDVI 在区域尺度上监测植被覆盖变化方面的能力。大部分发生变化的像素在 3 幅图像(差分图像、变化斜率图像和第四主成分图像)中表现一致,基本位置相同,具有相同的变化方向和量级。生物量斜率图像比差分图像更接近于代表植被变化的第四主成分,并且比主成分变换更明确地反映了 20 年间植被生长的生物物理意义。研究结果表明了 AVHRR 在区域植被变化研究方面的可靠性。

(2) 综合统计结果显示前 10 年(1982—1991 年)植物生长状况要好于后 10 年(1992—2001 年);而且基于沙漠区域像素 20 年不变的原则,分割生物量斜率图像的统计结果揭示了中国西部在 1982—2001 年的 20 年间,林地、草地都发生了高比例、大面

积的退化,只有很小比例的植被得以改善,表现出局部改善、总体恶化的局面。

(3) 变化图像表明近 20 年中国西北植被总体变差,特别在黄土高原地区由于降水减少、温度增加、显示变化尤其强烈。新疆天山地区西北地区降水增加、温度增加,植被变化向好。显示植被变化与降水存在明显的正相关关系,而与温度变化的关系并不明显,表明降水是影响西北地区植被变化最主要的自然因素。

参考文献 (References):

[1] Tucker C J Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation[J]. *Remote Sensing of the Environment*, 1979, **8**:127-150.

[2] Che N, Price J C. Survey of Radiometric Calibration Results and Methods for Visible and Near Infrared Channels of NOAA-7, -9, and -11 AVHRR[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1992, **41**(1):

19-27.

[3] Eidenshink J C, Faundeen J L. The 1km AVHRR Global Land Data Set: First Stages in Implementation[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, **15**(17):3443-3462.

[4] Running S W. Estimating Terrestrial Primary Productivity by Combining Remote Sensing and Ecosystem Simulation[A]. *Remote Sensing of Biosphere Functioning*[C]. Springer-Verlag, New York, 1990.

[5] Young S S, Anyamba A. Comparison of NOAA/NASA PAL and NOAA GVI Data for Vegetation Change Studies over China[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1999, **65**:679-688.

[6] Yan F, Li Z, Shao Y, et al. Monitoring of Changes in Land Vegetation Covers Using NOAA/AVHRR NDVI Datasets[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2003, **39**(2):92-94 [阎福礼, 李震, 邵芸等. 基于 NOAA/AVHRR 数据的西部植被覆盖变化监测[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2003, **39**(2):90-94.]

[7] Zhang Z, Gao X. The Effect of Global Warming for the Precipitation in the Autumn in Northwest[J]. *Journal of Glaciers and permafrost*, 2003, **25**(2):157-164. [张存杰, 高学杰. 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(1):157-164]

The Variability of *NDVI* over Northwest China and Its Relation to Temperature and Precipitation

LI Zhen, YAN Fu-li, FAN Xiang-tao

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Land vegetation plays a major role in the global climate change through carbon cycle, and climate change in turn affects vegetation growth and its photosynthetic activity. In arid and semi-arid area, sparse vegetation cover characterizes environments. Thus quantitative temporal series analysis of vegetation distribution and its variations enables observing annual trends, helps to find out the reason for environment variability. There are serious environmental problems, such as deforestation, soil erosion, salinization, and desert encroachment in the northwestern China, its natural conditions is very delicate. In this paper, we built the time series of vegetation change by the *NDVI* (normalized difference vegetation index) covered northwest regions in recent 20 years, and analyzed the time serial *NDVI* variability using three methods, which are simple differencing, slope map of *NDVI* (and biomass), and principal component analysis (PCA). The change image demonstrated that the area of vegetation covers decrease in recent 20 years in northwestern China, especially in the Loess Plateau where precipitation decrease and temperature increase. Only little part, such as the Tianshan Mountain area, vegetation is increased. The character of vegetation change in northwest showed that the ecological environment in this area is becoming more fragile, such as shrinking of lakes, oasis and wetland, area extending of soil erosion, salinization land, and desert because human activities and global warming. The correlation analysis between *NDVI* with the temperature and precipitation in northwestern China was carried out. There was significant positive correlation between *NDVI* and precipitation, and temperature was not strong correlation relatively with *NDVI* in the northwest China. The results showed AVHRR is reliable for regional vegetation change research after comparing with the change of precipitation and temperature.

Key words: *NDVI*; vegetation cover changes; precipitation; temperature