

中国西北地区植被时空演变特征 及其对气候变化的响应

戴声佩,张 勃,王海军,郭玲霞,王亚敏

(西北师范大学地理与环境科学学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:利用 GIMMS/NDVI 数据分析了 1982~2006 年我国西北地区植被覆盖时空变化特征及其对气温和降水变化的响应。结果表明:近 25 a 来,中国西北地区年均植被 NDVI 增速为 0.5%/10a,7 月、8 月和 10 月份增加趋势最显著。天山、阿尔泰山、祁连山、青海的中东部等地区植被覆盖显著增加;青海的格尔木至玉树一线、陕西的南部地区、新疆的塔里木盆地、吐鲁番、塔河、托里等地区植被退化。植被覆盖与气温、降水的年际关系都呈弱的正相关。但年内关系则都呈显著的线性关系,植被覆盖随月均温升高而增加,当月均温超过 20℃ 时,植被 NDVI 呈下降趋势;月降水量在 0~100 mm 之间,植被 NDVI 随降水呈线性增长,当月降水量超过 100 mm 之后,不再有明显的增长趋势。

关 键 词:中国西北;植被;NDVI;时空变化;气候变化

中图分类号:TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2010)01-0069-08

1 引 言

植被覆盖变化研究是全球变化研究中土地利用/覆盖变化研究的一个重要内容。监测植被动态变化以及分析这种变化与气候的关系已经成为全球变化研究的一个重要领域^[1]。近 20a 来,随着遥感对地观测技术的发展,国内外学者在利用各种遥感数据研究植被覆盖变化趋势及其与气候的关系方面做了大量研究^[2-8]。研究表明,近 20 多年来,北半球中高纬度尤其是亚洲和北美 40°~70°N 地区植被变化呈明显的线性增加趋势^[4-7]。在该领域我国学者也做了很多研究工作,研究发现北半球春季 NDVI 年际波动与大尺度气候系统有关^[8]。中国近 20 a 来植被活动在增强,20 世纪 90 年代末与 80 年代初相比植被地区的面积增加 3.5%,全国平均年 NDVI 增加了 7.4 %^[9]。中国西部、西北部地区、黄河流域、新疆植被覆盖普遍有增加趋势^[10-15]。植被 NDVI 和气温关系密切^[10,16,17],其季节变化和降水相关性非常高^[18],限制北方荒漠草原植被生长的根本原因是降水,并表现出滞后效应^[19]。气候因子对植被 NDVI 影响表现出显著的空间差异^[20,21],黄河流域

NDVI 年际变化与降水具有一定的相关性,但与径流的相关性不明显^[17]。

目前,植被覆盖监测遥感资料主要有 NOAA/AVHRR、Landsat TM 和 SPOT 等。其中,TM 空间分辨率为 30 m,SPOT 空间分辨率为 10 m,虽然具有分辨率高的优点,但由于本研究区在土地覆盖动态监测中属于较大的范围,所以存在运行周期长、覆盖面积小和经费高的不足。AVHRR 数据由于具有高时间分辨率、低空间分辨率且价格低廉的特点,在全球及区域等大尺度植被覆盖遥感动态监测中得到了广泛的应用^[22,23]。稀疏植被覆盖是我国西北地区主要的环境特征,长期定量的植被分布和变化分析能够找出环境变化的一些原因。研究地表植被覆盖变化及其对气候变化的响应,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。本文以 GIMMS/NDVI 数据为基础,分析了我国西北地区植被 NDVI 的时空变化趋势,并在年、月时间尺度上分析了植被变化和气温、降水之间的关系,以进一步认识我国西北地区植被对气候变化的响应。

收稿日期:2009-05-10;修订日期:2009-10-06

基金项目:国家自然科学基金项目(40961038)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YWQ10-4)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806021-07)、生态经济学省级重点学科(5001-021)共同资助。

作者简介:戴声佩(1986—),男,硕士研究生,主要从事遥感与 GIS 应用研究。E-mail:daishengpei@yahoo.com.cn。

2 研究区概况

研究区为中国西北地区(图 1),介于 73°15′~111°50′E 和 31°32′~49°10′N 之间,面积约为 350×10⁴ km²,包括新疆、甘肃、青海、陕西、宁夏 5 省区以及内蒙古西部地区。西北地区除新疆的中南部和青海外,绝大部分属于中温带气候区干旱半干旱地区,主要特点为光热资源丰富、干燥少雨、蒸发强烈、昼夜温差大,是我国日照和太阳辐射最充足的地区^[24]。西北地区大部分地方植被覆盖率很低,植被保持水土、涵养水源和改善生态环境的能力极其微弱,导致了大面积土地荒漠化和越来越多的严重沙尘天气的产生^[25]。

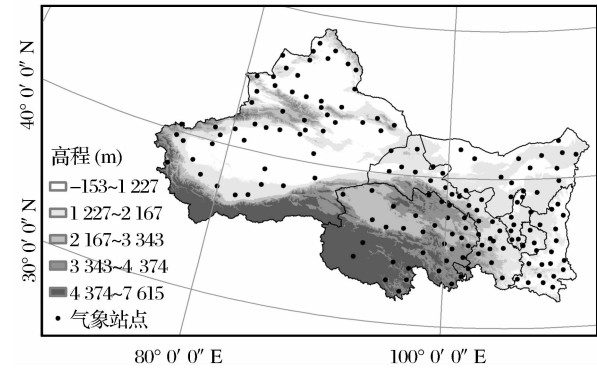


图 1 研究区概况
Fig.1 The study area

3 数据与研究方法

3.1 归一化植被指数

归一化植被指数(the Normalized Difference Vegetation Index,NDVI)是目前应用最广泛的一种植被指数,它能很好地反映植被生长状况、生物量及生态系统参数的变化^[26],在一定程度上反映了像元所对应区域的植被和土地覆盖类型的综合情况^[27],因此通过分析时序 NDVI 的动态变化特征,可以反映土地覆被的动态性。NDVI 是遥感影像的近红外波段(infrared)和红外波段(red)的比值参数^[28],计算公式是 $NDVI = (infrared - red) / (infrared + red)$,NDVI 取值范围为-1 到+1 之间,无植被的裸土地地区,NDVI 值很低,近于 0;而植被密度较高的区域,NDVI 值较高,大于 0.7;水为负值。NDVI 是植被生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子,与植物覆盖分布密度呈线性相关^[16],因此 NDVI 在使用遥感图像进行植被覆盖变化的研究中得到了广泛应用。

3.2 数据来源与预处理

本研究所利用的遥感数据为 NOAA/AVHRR 的 NDVI 数字影像,来自美国国家航天航空局(NASA)全球监测与模型研究组(Global Inventory Modelling and Mapping Studies,GIMMS)。源数据经过中国西部环境与生态科学数据中心对每日、每轨图像进行几何精校正、除坏线、除云等处理,进而进行 NDVI 计算及合成,再对结果影像两两比较,选出 NDVI 最大的值作为结果 NDVI,最后生成 1981 年 7 月到 2006 年 12 月的 GIMMS/NDVI 数据。其时间分辨率是 15 d,空间分辨率 8.0 km,数据投影为 Alers 投影,DN 值动态范围为 0~255,运用公式 $NDVI = 0.008 \times (DN - 128)$ 将其转换到标准归一化植被指数。利用 ArcGIS 9.2 软件和研究区矢量边界对标准 NDVI 数据进行剪裁,得到中国西北地区最大值半月合成标准 NDVI 数据。气象数据采用国家气象局气象信息中心气象资料室提供的中国西北地区 160 个气象站 1982~2006 年逐月平均气温、降水资料。

3.3 研究方法

3.3.1 NDVI 月值合成

采用国际上惯用的最大值合成法 MVC(Maximum Value Composites)对每月 15 d 合成 NDVI 值进行处理,即图像中每一个像元值用该月最大 NDVI 值代替,该处理可以减少大气的云、颗粒、阴影、视角以及太阳高度角的影响^[29]。在 ArcGIS 9.2 中,利用空间分析(Spatial Analyst)模块的 MAX 命令对数据进行最大化处理,得到中国西北地区 1982 年 1 月到 2006 年 12 月每月 NDVI 数据。

3.3.2 NDVI 年均值合成

由于年均 NDVI 可以较好地反映年度植被长势最好季节地表植被覆盖状况,因此将全年 12 月的 NDVI 数据按均值合成得到 1982~2006 年的中国西北地区年均 NDVI,以代表当年植被生长最旺盛时的 NDVI 值,合成之后的 NDVI 数据消除了不同地区季节变化对植被覆盖变化的影响。

3.3.3 影像差异法

影像差异分析^[30]是将 2 个不同时相的影像在完全配准情况下,从一个影像中将另一个影像的信息提取出来。它通常用于提取多时相图像中随时间而变化的信息,常用于动态监测。本文中将 2006 年与 1982 年的两期 NDVI 影像相减,将结果像元值大于 0 的记作增加,表示 1982~2006 年中国西北地区植被覆盖累积增加量,反之为减少。

3.3.4 相关分析

植被变化与气候因子之间的关系采用相关分析方法,根据本研究所采用的气象站点坐标数据,通过 ArcGIS 9.2 软件,提取气象站点 1982~2006 年的年均 NDVI 值和月 NDVI 值。对于植被变化对气温和降水的年际关系,通过计算年均 NDVI 值和年均温、年降水量之间的相关系数来进行整体研究,利用 DPS 统计软件计算出每个站点年平均 NDVI 与气温和降水之间的相关系数,并将该相关系数在 ArcGIS 9.2 中绘出年均 NDVI 序列与气温和降水的相关性空间分布图。同理,通过计算 NDVI 月值和月平均气温、月降水量的相关系数和二项式线性拟合来分析植被与气温和降水的年内关系。

4 结果分析

4.1 植被的年际变化趋势

从图 2(a)年均 NDVI 年际波动曲线可见,1982~2006 年中国西北地区的植被 NDVI 整体呈增加趋势,增加速率为 $0.5\%/10a$,植被覆盖缓慢增加,年均 NDVI 与年份的相关系数为 0.40,通过了 0.05

置信度水平检验。从年代变化来看,大致可以分为两个阶段:20 世纪 80 年代除 1983 年出现明显峰值以外,年均 NDVI 均呈缓慢减少趋势;90 年代年均 NDVI 表现为以 1993 年、1994 年为波峰,1995 年为波谷的大振幅波动过程,总体呈明显增加趋势。

为了进一步分析不同月份和季节对全年 NDVI 变化的贡献,可以计算 25 a 来各月份的月 NDVI 值与年份的相关系数,相关系数为正表明 1982~2006 年月 NDVI 有增加趋势,植被覆盖逐步提高,相反,植被覆盖降低。从图 2(b)各月 NDVI 变化趋势来看,趋势为正值的月份为:1 月、6 月~12 月,即 NDVI 呈增加趋势。其余月份为负值,即 NDVI 呈减小趋势。可见,中国西北地区植被活动增强主要发生在 7 月、8 月、10 月份,这 3 个月增加趋势最显著。由线性回归方程的斜率推算,7 月、8 月和 10 月 NDVI 增加速率分别为 $1.7\%/10a$ 、 $1.4\%/10a$ 和 $1.6\%/10a$ 。Houghton^[31]和 Piao^[32]等认为生长季的延长和生长季的生长加速是导致北半球陆地植被活动增强的两个重要方面,中国西北地区 7 月、8 月、10 月植被 NDVI 增大可能是对全球变暖的响应。

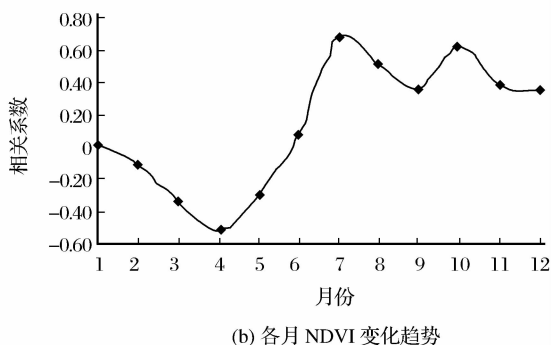
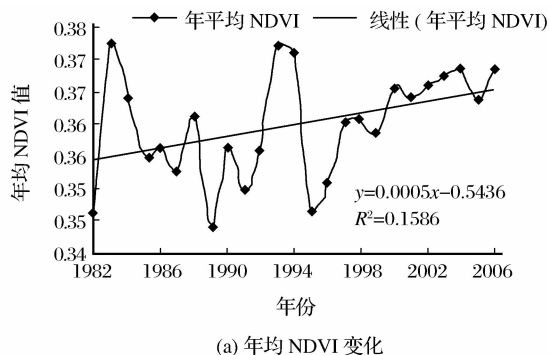


图 2 NDVI 变化的时间趋势

Fig. 2 Temporal trends of NDVI variation

4.2 植被变化的空间差异

4.2.1 年际变化趋势的空间差异

由于上述 NDVI 时间序列是研究区内所有像元的平均结果,因此,所体现的只是中国西北地区整体变化趋势,并没有反映出植被覆盖变化趋势的空间差异。将研究区内每个站点的年平均 NDVI 序列与其对应的时间进行相关系数计算,相关系数为正表明在 1982~2006 年期间该站点所在位置年平均 NDVI 序列有增加趋势,植被覆盖在逐步提高,相反,呈负相关则表明植被覆盖有减少趋势。

用该相关系数在 ArcGIS 9.2 中绘出年平均 NDVI 序列与其对应时间的相关性空间分布图(图

3(a)),可以看到中国西北地区植被覆盖在 1982~2006 年期间发生了较大变化。从整体来看,植被覆盖在提高,这和人前相关研究结论基本一致^[33-35]。中国西北地区植被覆盖变化存在明显的区域差异,植被覆盖显著增加的区域主要分布在新疆的天山、阿尔泰山、昆仑山西段以及塔里木河流域,甘肃的祁连山、河西地区以及兰州的北部,青海的中部和东南部地区,同时,在陕西、内蒙古、宁夏呈斑块分布,这些地区植被 NDVI 与其对应的时间的相关系数最大达到 0.86,通过了 0.01 置信度水平检验;植被覆盖下降的区域主要分布在青海的格尔木向东南至玉树一线、陕西的南部地区、内蒙古、甘肃的部分地区

以及新疆的塔里木盆地、吐鲁番、塔河、托里等地区，这些地区植被 NDVI 与其对应的的时间的相关系数最大达到-0.71,通过了 0.01 置信度水平检验。

新疆地区的植被覆盖变化是气候变化和人类活动综合作用的结果,其中年降水量的变化是导致新

疆植被覆盖变化的主导因素^[36]。鄂尔多斯高原植被覆盖的提高体现了近年来的大量退耕还林还草、禁牧圈养等生态建设工作所带来的生态自然恢复过程^[37,38],祁连山、青海地区南部植被覆盖的增加以及陕西地区的植被退化与气温和降水的变化有关。

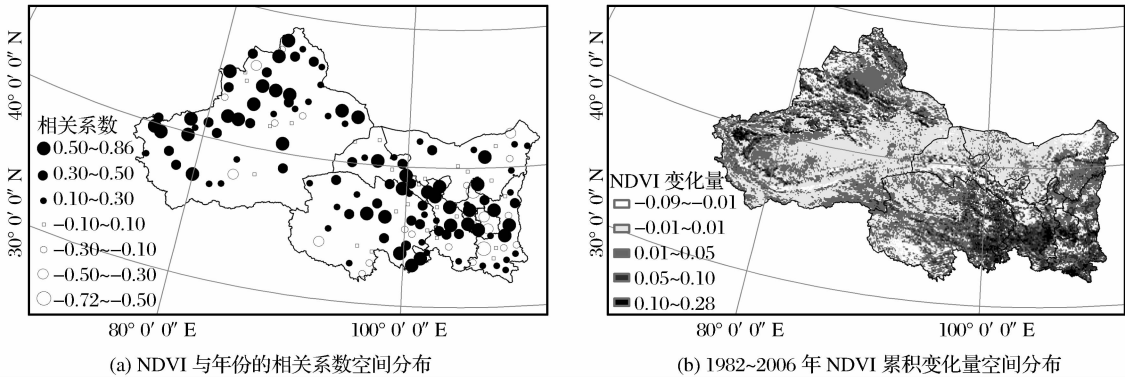


图 3 NDVI 变化的空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of NDVI variation

4.2.2 植被 NDVI 累积变化量的空间分布

从植被 NDVI 累积变化量的空间分布图(图 3 (b))可以看出,1982~2006 年植被 NDVI 变化量的变化幅度为 0.37,其中增加的幅度明显大于减少的幅度,最大增幅达到 0.28,而最大减幅仅为 0.09。植被 NDVI 累积变化量的空间分布基本与年际变化趋势相似,进一步说明了 1982~2006 年中国西北地区的植被 NDVI 整体呈增加趋势。

4.3 植被覆盖与温度、降水的年际关系

4.3.1 植被覆盖与温度的年际关系

对研究区 160 个站气象资料的分析表明,1982~2006 年中国西北地区年平均气温呈显著的上升趋势,160 个站点平均温度序列和时间的相关系数达到 0.81,通过了 0.001 置信度水平检验,线性回归增长速率为 0.67℃/10a,温度上升非常明显(图 4

(a))。图 4(b)是年平均 NDVI 值与年平均气温的相关性分布图,可见整体上植被覆盖与气温呈弱的正相关,尤其是处于寒区的区域。例如甘肃的祁连山、青海中部、新疆天山、陕西的秦岭及昆仑山等。而在新疆的准格尔盆地、黄土高原等地区则呈现负相关,由于这些地区都处于干旱或半干旱地区,年均气温较高,而降水量较少。当气温超过植株生长的最适温度时,便会使植株内 Rubisco 的加氧反应大于其羧化反应,最终使得植物的净光合作用下降。同时温度上升使蒸发量增大,促进了土壤的干化,这对于降水原本缺乏的中国西北地区的植被生长很不利。

4.3.2 植被覆盖与降水的年际关系

根据施雅风^[39]等研究表明中国西北地区的气候在 1986 年出现一个拐点,从暖干向暖湿转型。因此将研究时段分为两段,从图 5(a)可以看出,1986 年

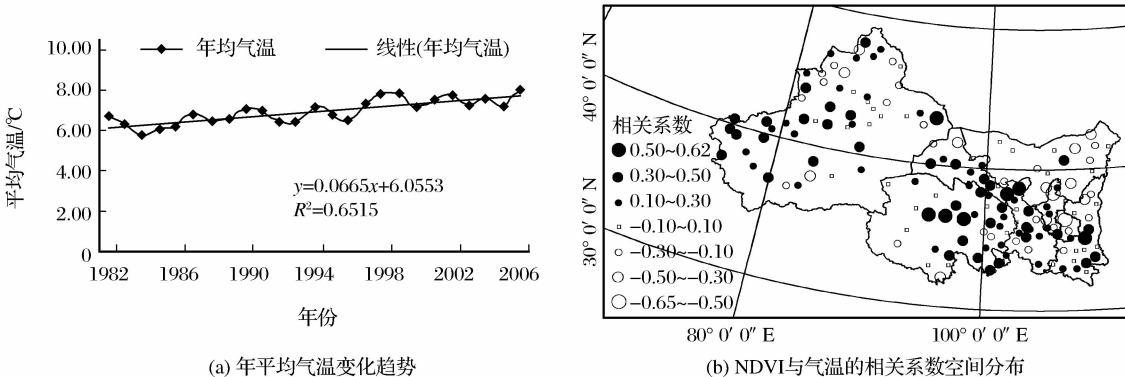
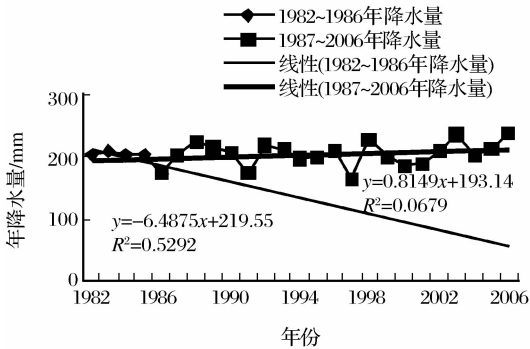


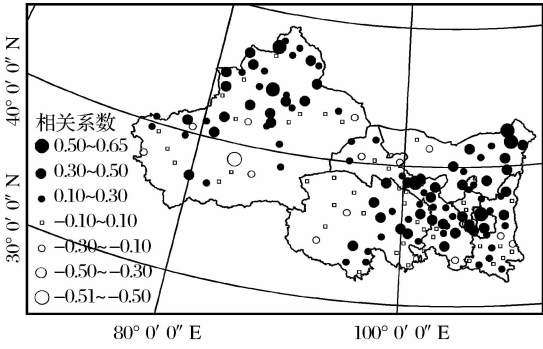
图 4 NDVI 与温度的年际关系
Fig. 4 Inter-annual relation between NDVI and temperature

以前降水呈减少趋势,1986 年以来降水呈现增加趋势,线性回归增加速率为 8.15 mm/10a。图 5(b)是年平均 NDVI 值与年降水量的相关性分布图,可见植被覆盖与降水整体上呈弱的正相关。水在植物生理过程中起着十分重要的作用,因此降水量的多少和植被覆盖之间存在正相关是很明显的。特别是在中国西北的干旱或半干旱地区,降水的减少对植被覆盖的增加极其不利,因为在这些地区降水是植被

生长的主要限制因子。但是在一些降水充足的地区,情况则相反。从图 5(b)中可以看出祁连山地区,甘肃武都和陕西南部的华山、铜川、宝鸡等地区对降水的响应不敏感,这可能是由于这些地区降水量比较高,对植被的生长而言,已经相对充足。而在新疆塔里木盆地、内蒙古西部、青海柴达木盆地,由于这些地区属于沙漠或者高寒地区,植被和降水都很稀少,所以植被与降水的相关性不能反映。



(a) 年降水量变化趋势



(b) NDVI 与降水的相关系数空间分布

图 5 NDVI 与降水的年际关系

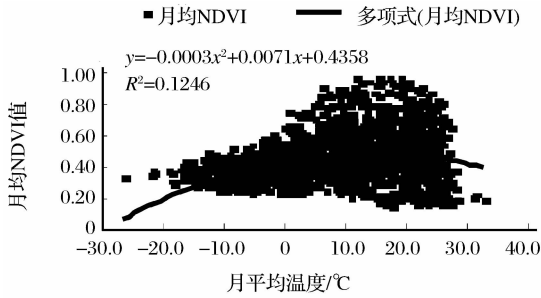
Fig. 5 Inter-annual relation between NDVI and precipitation

4.4 植被覆盖与温度、降水的年内关系

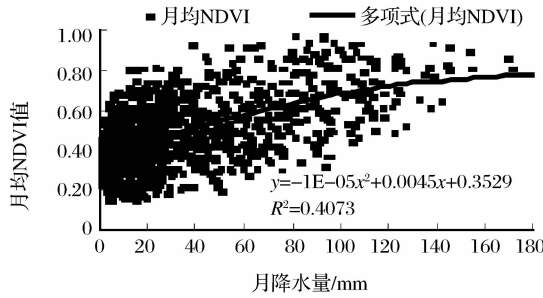
4.4.1 植被覆盖与温度的年内关系

由于太阳辐射等天文因素在一年周期的尺度上对温度和植被生长具有很强的控制作用^[37],植被 NDVI 时间序列与月平均温度之间存在非常高的年内正相关性。通过计算中国西北地区月平均 NDVI 与月平均温度之间的相关系数为 0.29,通过了 0.01

置信度水平检验。图 6(a)是以中国西北地区 160 个站点各月平均温度为横轴,以月平均 NDVI 为纵轴点绘而成。采用二项式拟合,可见中国西北地区月平均 NDVI 与月平均温度之间呈显著的线性关系,当月平均温度逐渐升高时,植被覆盖逐渐变好,当温度升高到 20℃ 时,植被生长受到影响,植被 NDVI 呈下降趋势。



(a) NDVI 和温度 年内关系



(b) NDVI 和降水的年内关系

图 6 NDVI 与温度、降水的年内关系

Fig. 6 Intra-annual relation between NDVI and temperature,precipitation

4.4.2 植被覆盖与降水的年内关系

通过计算中国西北地区 160 个站点各月植被 NDVI 和月降水量之间的相关系数为 0.63,通过了 0.01 置信度水平检验。图 6(b)是以中国西北地区 160 个站点各月降水量为横轴,以月平均 NDVI 为

纵轴点绘而成。采用二项式拟合,可见植被 NDVI 和月降水量之间呈现显著的线性关系。植被 NDVI 随着降水呈线性增长,月降水量在 0~100 mm 期间,月均 NDVI 增加迅速。但当月降水超过 100 mm 之后,平均 NDVI 维持在 0.60 上下,不再

有明显的增长。

5 结 语

本文利用 GIMMS/NDVI 数据分析了我国西北地区 1982~2006 年期间植被覆盖时空变化特征及其对气温和降水变化的响应,得出如下主要结论:

从时间变化趋势来看:近 25 a 来我国西北地区植被覆盖整体呈增加趋势,增加速率为 $0.5\%/10a$ 。20 世纪 80 年代年均 NDVI 均呈缓慢减少趋势,90 年代以来年均 NDVI 呈显著增加趋势。植被活动增强主要发生在 7 月、8 月、10 月份,这 3 个月增加趋势最显著。从植被变化空间差异来看:植被覆盖显著增加的区域主要分布在天山、阿尔泰山、祁连山、青海的中东部等地区;植被覆盖下降的区域主要分布在青海的格尔木至玉树一线、陕西的南部地区、塔里木盆地、吐鲁番、塔河、托里等地区。

近 25 a 来中国西北地区升温明显,上升速率为 $0.67^{\circ}\text{C}/10a$,而降水从 1986 年以来呈增加趋势,增加速率为 $8.15\text{ mm}/10a$,植被覆盖与气温、降水的年际变化整体上都呈弱的正相关。植被覆盖与气温、降水的年内变化则都呈显著的线性关系。植被覆盖与月平均气温呈较高的年内正相关,相关系数为 0.29,当月平均温度升高到 20°C 时,植被 NDVI 则呈下降趋势;月降水量在 $0\sim 100\text{ mm}$ 期间,植被 NDVI 随着降水呈线性增长,当月降水超过 100 mm 之后,不再有明显的增长趋势。

植被覆盖对气候变化的响应过程是一个非常复杂的多圈层交互作用过程。众多研究^[31-38]表明应用 NDVI 数据和相关分析方法可以较好地分析植被覆盖对气候变化的响应,本研究利用 NDVI 数据分析了我国西北地区植被时空变化及其对气候变化的响应,对植被稀疏的干旱地区的植被覆盖变化研究及其对气候变化的响应有一定的借鉴意义。

本文使用的 GIMMS/NDVI 数据的空间分辨率是 8.0 km ,时间分辨率是 15 d ,数据稍显不够精细,25 a 时间序列还不够长,这些不足随着遥感技术的发展会得到改善和提高。气候变化是影响植被覆盖时空变化的重要自然因素,但水土保持、土地利用等人类活动也是不可忽视的驱动因素之一^[38]。因此,不同土地利用类型上的植被覆盖对气候变化的响应规律和人类活动等因素对植被覆盖变化影响都有待进一步研究。

致谢:感谢国家自然科学基金委员会“中国西部环境

与生态科学数据中心”提供 GIMMS/NDVI 数据;中国气象局气象信息中心气象资料室提供气象数据!

参考文献:

- [1] Ma Mingguo, Wang Jian, Wang Xuemei. Progress of the Relationship between the Inter-annual Variation of Vegetation and Climate Based on Remote Sensing[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(3): 421-431. [马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. *遥感学报*, 2006, 10(3): 421-431.]
- [2] Nicholson S E, Farrar T J. The Influence of Soil Type on the Relationship between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Bot Swana[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 50(2): 107-120.
- [3] Eklundh L. Estimating Relations between AVHRR NDVI and Rainfall in East Africa at 10-day and Monthly Time Scales[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(3): 563-568.
- [4] Myneni 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: 698-702.
- [5] Tucker C J, Slayback D A, Pinzon J E, *et al.* Higher Northern Latitude Normalized Difference Vegetation Index and Growing Season Trends from 1982 to 1999[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45: 184-190.
- [6] Bogaert J, Zhou L, Tucker C J, *et al.* Evidence for a Persistent and Extensive Greening Trend in Eurasia Inferred from Satellite Vegetation Index Data[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107(D11): 4119-4135.
- [7] Zhou L, Tucker C J, Kaufmann R K, *et al.* Variations in Northern Vegetation Activity Inferred from Satellite Data of Vegetation Index during 1981 to 1999[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106(D17): 20 069-20 083.
- [8] Gong D Y, Shi P J. Northern Hemispheric NDVI Variations Associated with Large-scale Climate Indices in Spring[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(12): 2559-2566.
- [9] Fang Jingyun, Piao Shilong, He Jinsheng, *et al.* Increasing Terrestrial Vegetation Activity in China, 1982-1999[J]. *Science in China(Series C)*, 2003, 33(6): 554-565. [方精云, 朴世龙, 贺金生, 等. 近 20 年来中国植被活动在增强[J]. *中国科学(C 辑)*, 2003, 33(6): 554-565.]
- [10] Zhang J, Zhang Q, Yang L H, *et al.* Seasonal Characters of Regional Vegetation Activity in Response to Climate Change in West China in Recent 20 Years[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2006, 16(1): 78-86.
- [11] Sun Rui, Liu Changming, Zhu Qijiang. Relationship between the Fractional Vegetation Cover Chang and Rainfall in the Yellow River Basin[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2001, 56(6): 667-672. [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.]
- [12] Yang Shengtian, Liu Changming, Sun Rui. The Vegetation Cover Last 20 Years in Yellow River Basin[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2003, 57(1): 679-692. [杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 近20年来黄河流域植被覆盖变化分析[J]. *地理学报*, 2003, 57(1): 679-692.]
- [13] Li Chunhui, Yang Zhifeng. Spatio-temporal Changes of NDVI and Their Relations with Precipitation and Runoff in the Yellow River Basin[J]. *Geographical Research*, 2004, 23(6): 753-759. [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.]
- [14] Shi Qingdong, Xiao Jidong, Pan Xiaoling, *et al.* Study on the Change of Vegetation Cover in Xinjiang Since Recent 20 Years[J]. *Arid Zone Research*, 2004, 21(4): 389-394. [师庆东, 肖继东, 潘晓玲, 等. 近20年新疆植被覆盖变化特征研究[J]. *干旱区研究*, 2004, 21(4): 389-394.]
- [15] Li Xiuhua, Shi Qingdong, Chang Shunli, *et al.* Change of NDVI Based on NOAA Image in Northwest Aridarea of China in 1981-2001[J]. *Arid Land Geography*, 2008, 31(6): 940-945. [李秀花, 师庆东, 常顺利, 等. 1981-2001年中国西北干旱区 NDVI 变化分析[J]. *干旱区地理*, 2008, 31(6): 940-945.]
- [16] Sun Hongyu, Wang Changyao, Niu Zheng, *et al.* Analysis of the Vegetation Cover Change and the Relationship between NDVI and Environmental Factors by Using NOAA Time Series Data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 2(3): 204-210. [孙红雨, 王常耀, 牛铮, 等. 中国植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据[J]. *遥感学报*, 1998, 2(3): 204-210.]
- [17] Gong Daoyi, Shi Peijun, He Xuezhao. Spatial Features of the Coupling between Spring NDVI and Temperature over Northern Hemisphere[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2002, 57(5): 505-514. [龚道溢, 史培军, 何学兆. 北半球春季植被 NDVI 对温度变化响应的区域差异[J]. *地理学报*, 2002, 57(5): 505-514.]
- [18] Tang Haiping, Chen Yufu. Intra-annual Variability of NDVI and Its Relation to Climate in Northeast China Transect[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 318-325. [唐海萍, 陈玉福. 中国东北样条带 NDVI 的季节变化及其与气候因子的关系[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(3): 318-325.]
- [19] Li Xiaobing, Shi Peijun. Sensitivity Analysis of Variation in NDVI, Temperature and Precipitation Typical Vegetation Types across China[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2000, 24(3): 379-382. [李晓兵, 史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水敏感性分析[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 379-382.]
- [20] Chen Yunhao, Li Xiaobing, Shi Peijun. Variation in NDVI Driven by Climate Factors across China, 1983-1992[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2001, 25(6): 716-720. [陈云浩, 李晓兵, 史培军. 1983-1992年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 716-720.]
- [21] Li Xiaobing, Chen Yunhao, Zhang Yunxia, *et al.* Impact of Climate Change on Desert Steppe Northern China[J]. *Advances in Earth Science*, 2002, 17(2): 254-261. [李晓兵, 陈云浩, 张云霞, 等. 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 254-261.]
- [22] Xia Lu, Liu Yongmei, Ke Changqing. Study on the Dynamic Changes of Vegetation in the Loess Plateau Based on Data from SPOT-4[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2008, 23(1): 67-71. [夏露, 刘咏梅, 柯长青. 基于 SPOT-4 数据的黄土高原植被动态变化研究[J]. *遥感技术与应用*, 2008, 23(1): 67-71.]
- [23] Mo Yao, Zheng Youfei, Chen Huailiang, *et al.* Analysis on the Vegetation Cover Change in the HHH Zone of China in 1982-2000[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2007, 22(3): 398-402. [莫瑶, 郑有飞, 陈怀亮, 等. 1982~2000年黄淮海地区植被覆盖变化特征分析[J]. *遥感技术与应用*, 2007, 22(3): 398-402.]
- [24] Li Zhencun, Ma Mingguo, Zhang Feng, *et al.* The Dynamic Analysis of Vegetation Pattern in the Northwest of China[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2006, 21(4): 332-337. [李珍存, 马明国, 张峰, 等. 1982-2003年中国西北地区植被动态变化格局分析[J]. *遥感技术与应用*, 2006, 21(4): 332-337.]
- [25] Lv Shihua, Chen Yuchun. The Influence of Northwest China Afforestation on Regional Climate in China[J]. *Plateau Meteorology*, 1999, 18(3): 416-424. [吕世华, 陈玉春. 西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟[J]. *高原气象*, 1999, 18(3): 416-424.]
- [26] Du Zitao, Zhan Yulin, Wang Changyao. Study on Vegetation-cover Changes Based on NDVI Serial Images[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2008, 23(1): 47-50. [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.]
- [27] Tucker C J, Townshend J R G. African Land-cover Classification Using Satellite Data[J]. *Science*, 1985, 227(4685): 369-375.
- [28] Tucker C J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1979, 8(2): 127-150.
- [29] Gu Juan, Li Xin, Huang Chunlin. Research on the Reconstructing of Time-series NDVI Data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2006, 21(4): 391-395. [顾娟, 李新, 黄春林. NDVI 时间序列数据集重建方法述评[J]. *遥感技术与应用*, 2006, 21(4): 391-395.]
- [30] Zhang Ming, Zhang Peisong, Liu Hongbin, *et al.* Study of Annual Vegetation Variability in Hainan Island Based on Spot Vegetation Data[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2009, 31(3): 148-153. [章明, 张培松, 刘洪斌, 等. 基于 SPOT VEGETATION 数据的海南岛年际植被变化研究[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2009, 31(3): 148-153.]
- [31] Houghton R A. Temporal Patterns of Land-use Change and Carbon Storage in China and Tropical Asia[J]. *Science in China. Series C: Life Sciences*, 2002, 45(Supp): 10-17.
- [32] Piao S L, Fang J Y, Chen A P. Seasonal Dynamics of Terres-

- trial Net Primary Production in Response to Climate Change in China[J]. *Acta Bot Sin.*, 2003, 45(3): 269-275.
- [33] Li Zhen, Yan Fuli, Fan Xiangtao. The Variability of NDVI over Northwest China and Its Relation to Temperature and Precipitation[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(3): 308-313. [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.]
- [34] Li Yuechen, Gong Peng, Liu Chunxia, *et al.* Vegetation Cover Changes and Correlation with Climatic Factors in Northern China During 1982-1999[J]. *Resources Science*, 2006, 28(2): 109-117. [李月臣, 宫鹏, 刘春霞, 等. 北方 13 省 1982 年-1999 年植被变化及其与气候因子的关系[J]. *资源科学*, 2006, 28(2): 109-117.]
- [35] Song Yi, Ma Mingguo. Variation of AVHRR NDVI and Its Relationship with Climate in Chinese Arid and Cold Regions [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 3(12): 499-505. [宋怡, 马明国. 基于 GIMMS AVHRR NDVI 数据的中国寒旱区植被动态及其与气候因子的关系[J]. *遥感学报*, 2008, 3(12): 499-505.]
- [36] Yang Guanghua, Bao Anming, Chen Xi, *et al.* Study of the Vegetation Cover Change and Its Driving Factors over Xinjiang during 1998-2007[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(3): 436-445. [杨光华, 包安明, 陈曦, 等. 1998-2007 年新疆植被覆盖变化及驱动因素分析[J]. *冰川冻土*, 2009, 31(3): 436-445.]
- [37] Xin Zhongbao, Xu Jiongxin. Spatial and Temporal Evolution of Vegetation Cover in the Loess Plateau and Its Response to Climate Change[J]. *Progress in Natural Science*, 2007, 17(6): 770-778. [信忠保, 许炯心. 黄土高原地区植被覆盖时空演变对气候的响应[J]. *自然科学进展*, 2007, 17(6): 770-778]
- [38] Xin Zhongbao, Xu Jiongxin, Zheng Wei. Impact of Climate Change and Human Activities on the Loess Plateau in Vegetation Cover[J]. *Science in China (Series D) Earth Sciences*, 2007, 37(11): 1504-1514. [信忠保, 许炯心, 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, 37(11): 1504-1514.]
- [39] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary Study on Signal, Impact and Foreground of Climatic Shift from Warm-Dry to Warm-Humid in Northwest China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 3(24): 219-226. [施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. *冰川冻土*, 2002, 3(24): 219-226.]

Spatio-temporal Variation Characteristics of Vegetation Cover in Northwest China and Its Response to Climate Change

DAI Sheng-pei, ZHANG Bo, WANG Hai-jun, GUO Ling-xia, WANG Ya-min

(The College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In this paper GIMMS/NDVI data was utilized to analyze the vegetation cover characteristics of spatio-temporal variation and its response to temperature and precipitation change in Northwest China during 1982 to 2006. The results show that: the annual average NDVI has been increased with an rate of 0.5%/10a in Northwestern China, the vegetation cover was significant increased in July, August and October. The vegetation cover was significant increased in Xinjiang Tianshan, Artai Mountains, Gansu Qilian Mountains and the eastern part of Qinghai; and it was declined from Germu to Yushu in Qinghai, most parts of Shaanxi and Talimu Basin, Tulufan, Tahe, Tuoli in Xinjiang. It was positive correlation between vegetation cover and temperature and precipitation inter-annual changes. However, it was a significant linear relationship between the vegetation cover and the monthly average temperature and precipitation during the years. The relation with high positive correlation between the vegetation cover and the monthly average temperature, but when the average monthly temperature was exceed 20°C and the NDVI decreased; when the average monthly precipitation was in the 0~100 mm, the NDVI was increased with linear, however, when the average monthly precipitation was more than 100mm, a clear growth trend was no longer exist.

Key words: Northwest China; Vegetation; NDVI; Spatio-temporal variation; Climate change