

延安北部丘陵沟壑区植被指数变化及其与气候的关系

孙智辉, 刘志超, 雷延鹏, 曹雪梅

(延安市气象局, 陕西 延安 716000)

摘要: 利用 GIMMS 和 SPOT 两种归一化植被指数 (NDVI) 数据和气候资料, 分析延安北部丘陵沟壑区 1982—2007 年植被覆盖的历史演变及其与气候因子的关系。结果表明: (1) 延安北部丘陵沟壑区植被覆盖状况 26a 来尽管有波动起伏, 但是整体在持续转好, 年平均 NDVI 增加了 14.2%。夏季的 NDVI 值最高、波动起伏最大, 其次是秋季, 春、秋季的 NDVI 年际变化具有明显的上升趋势。各季 NDVI 与年 NDVI 均有相关关系, 春、秋季 NDVI 与年 NDVI 相关显著。NDVI 年内变化曲线为单峰型, 春季 NDVI 缓慢增加, 秋季 NDVI 降低速度比较快。(2) 年平均 NDVI 与年温度相关不明显, 夏、秋、冬三季 NDVI 与同期温度相关也不明显, 只有春季平均 NDVI 与该季温度相关显著。3—4 月份温度对植被的影响呈正相关, 温度越高, 返青生长越快; 初夏 6—7 月份, 温度对植被生长有滞后影响, 前期温度与后期 NDVI 为负相关。降水量是引起 NDVI 年际波动的影响因子之一, 年降水量与当年 7 月和 9 月份 NDVI 相关, 决定了一年植被最为旺盛时的好坏。月降水量对 NDVI 影响具有滞后性, 上年 9 月份降水影响翌年 4—6 月份的 NDVI, 6 月和 7 月份 NDVI 受当月和前期降水影响。(3) 1999 年以来, 延安北部丘陵沟壑区植被覆盖快速上升, 除与降水增多有关外, 非气候因素中生态保护和环境建设等人为措施, 如植树造林、封山禁牧等封育措施是导致植被显著增加的重要原因。

关键词: 植被; NDVI; 气候; 延安北部丘陵沟壑区

The variations of NDVI and the relation with climate in hilly and gully region of Northern Yan'an

SUN Zhihui, LIU Zhichao, LEI Yanpeng, CAO Xuemei

Meteorological Bureau of Yan'an, Yan'an, Shaanxi 716000, China

Abstract: The GIMMS and SPOT, which are the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), are utilized to analyze the historical evolution of the vegetation cover in Hilly and Gully Region of Northern Yan'an from 1982 to 2007 and relationship with climate factors. The results show that (1) The vegetation cover status is getting better continuously, although there were undulations in vegetation cover over past 26a in this region, and the averaged annual NDVI increased by 14.2%. The NDVI in summer is of maximum value and remarkable undulation, the NDVI value in autumn is next, while NDVI in spring and autumn has distinguished uptrend. NDVI values in each season are related with annual NDVI, and correlations of spring and autumn NDVI with annual NDVI are significant. The annual variation of NDVI is single peak type, while the spring NDVI increased slowly, the autumn NDVI decreased more rapidly. (2) There was no obvious correlation between annual average NDVI and annual temperature, and also poor correlation of NDVI in summer, autumn and winter with temperature in the same phase, only the NDVI in spring was correlated significantly with spring temperature. The impacts of temperature in March and April on vegetation are positive, the higher the temperature is, the faster the growth after returning-green stage of vegetation is. The temperature in June and July has negative lag influence on vegetation growth. The precipitation is one of the key factors influencing variation of NDVI, annual precipitation is related with NDVI values in July and September, which determines good or bad vegetation. The effect of monthly precipitation on the NDVI has hysteresis characteristic, the precipitation in preceding September affects the NDVI in April to June in next year, the monthly and previous precipitation affect the NDVI in June and July. (3) The vegetation cover has increased

收稿日期: 2008-10-21; 修订日期: 2009-03-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yasz@163.com

rapidly in Hilly Gully Region of Northern Yan'an since 1999, which maybe associated with increasing precipitation, and also with some non-climate factors by adaptive strategies in ecological conservation and environment protection, such as afforestation, mountain enclosure and fenced grassland.

Key Words: vegetation; normalized difference vegetation index (NDVI); climate; the hilly and gully region of northern Yan'an

延安位于陕北黄土高原丘陵沟壑区,地理位置为 $35^{\circ}21'—37^{\circ}31'N$, $107^{\circ}41'—110^{\circ}31'E$ 。地势西北高,东南低,地形以塬梁峁为主,海拔为 800—1800m,平均海拔为 1200m。延安以南地形以残塬为主,植被以天然次生林为主,森林覆盖率在 50% 以上,水土流失少,延安以北(图 1)地形以丘陵沟壑为主,梁峁起伏,沟壑纵横,为我国、甚至是世界上水土流失最为严重的地区^[1]。延安以北包括吴起、志丹、安塞、子长、延川、延长和宝塔 7 县(区),总面积 20837km²,总人口 134.96 万人。气候为温带半干旱向半湿润过渡气候。年平均降水量 450—500mm,降水多集中在 7—9 月份,日照时数达 2300—2480h,全年蒸发量 1450—1700mm,是降水量的 3—4 倍。无霜期 150—183d。1998 年以来,延安北部各县治理水土流失,改善生态环境,以封山禁牧为突破口,调整农业产业结构,确定了“封山退耕,植树种草,舍饲养畜,强农富民”的开发战略,积极实施退耕还林草和三北防护林工程,采用逐年将坡度大于 25° 山坡耕地退下来,封山禁牧,恢复植被。截止 2007 年底,延安北部丘陵沟壑区退耕还林面积为 $4.94 \times 10^5 \text{hm}^2$,占全市退耕还林总面积的 85%。李登科等利用 1997 年和 2007 年 TM 影像分析吴起县退耕还林以来植被变化,研究表明,与 1997 年相比,到 2007 年吴起县有 75.15% 的耕地不再耕种,退出的耕地变为草地、林地和果园;林草覆盖率由 37.06% 提高到 80.60%;植被覆盖度 30%—50% 的面积由 11.06% 增加到 44.07%,50%—70% 的面积由 1.08% 增加到 16.79%。吴起退耕还林(草)的成效是显著的,生态环境有了明显改善^[2]。

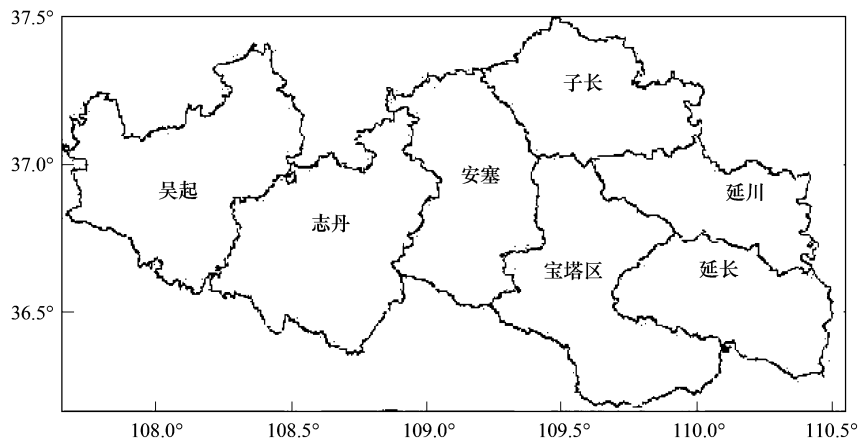


图 1 延安北部丘陵沟壑区示意图

Fig. 1 The schematic diagram of the hilly and gully region of northern Yan'an

植被和气候的关系一直是国内外全球变化研究的重要内容。植被生长和温度、降水等气候条件密切相关,NDVI 对气候因子的响应具有显著的空间差异,并且不同的植被类型对温度、降水的响应存在很大的差异,通常来看,草地、灌木较森林有着对温度、降水变化更为显著的响应^[3-10]。近几年,也有国内学者对与延安北部丘陵沟壑区相关区域植被与气候变化进行了研究。信忠保等^[11]利用 GIMMS 和 SPOT VGT 两种归一化植被指数(NDVI)数据对黄土高原地区 1981—2006 年期间植被覆盖的时空变化进行了研究,并从气候变化和人类活动的角度分析了植被覆盖变化的原因,认为植被覆盖变化是气候变化和人类活动共同作用的结果,同时退耕还林还草工程建设,其生态效应也正在呈现。李登科^[12]分析了延安市典型退耕县吴起植被动态及其

与气候变化的关系,得出该县的植被明显好转,降水量与 NDVI 有明显的年相关和隔季相关。延安北部各县全面实施了退耕还林草工程,全面分析植被动态及其与气候变化的关系十分必要,但上述研究存在因资料序列长度不同或研究范围太大,而不能具体涉及延安北部丘陵沟壑区的植被变化情况和与气候变化的关系。本文试图通过利用 GIMMS 和 SPOT VGT 两种归一化植被指数(NDVI)数据,采用相关系数、变化斜率分析 1981—2007 年延安北部丘陵沟壑区 NDVI 植被变化情况及其与降水、温度变化的关系,期望得到延安北部丘陵沟壑区近 26a 来的植被演变规律和主要驱动因子。

1 资料和方法

归一化植被指数 NDVI 能够敏感地反映出植被生长状况、生物物理化学性质及生态系统参数的变化,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,因此,NDVI 常被直接或间接用于研究植被或土地覆盖变化。

本研究使用 GIMMS 和 SPOT VEGETATION (SPOT VGT) 两种数据集的 NDVI 数据。GIMMS 资料是 1981-07 月到 2003-12 15d 的最大值合成 NOAA/AVHRR NDVI,取自美国马里兰大学 GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) 8km × 8km 分辨率的全球数据。SPOT VGT 数据来自比利时佛莱芒技术研究所 (Flemish Institute for Technological Research, Vito) 发布的 10 日最大值合成数据,空间分辨率约 1 km,时间是 1998-04—2007-12。这两个数据集中,对云、太阳高度角、仪器视场角、气溶胶的影响进行了校正。NDVI 的理论值为 -1—1,其中 -0.1 为水体,0 代表裸露地表,NDVI 值 > 0—1 代表了植被从疏到密的分布^[13-14]。气温和降水量取自陕西气象档案馆。

在 GIS 支持下,用 MVC 法对 NDVI 数据进行最大化处理,逐月提取延安北部丘陵沟壑区及其所属各县(区) NDVI 数据,统计月、春季(3—5 月份)、夏季(6—8 月份)、秋季(9—11 月份)、冬季(12—2 月份)、年平均值及不同级别 NDVI 的像元数。由于 GIMMS 和 SPOT VGT 两种数据采用了不同的传感器,其波段范围有些差异,因此需对二者的一致性进行检验,利用 SPOT VGT 数据插补 GIMMS 数据进行时间序列分析只适用大空间尺度,并不适用像元尺度^[11]。1998—2003 年 GIMMS 和 SPOT VGT 两种数据有 6a 重叠时间(图 2, $r^2 = 0.9164$, $n = 6$, $P < 0.001$),表明插补数据可以使用,采用线性回归分析方法对 2004—2007 年 GIMMS 数据进行插补。

对于植被变化趋势的分析采用回归分析方法,即把 NDVI 值看作是一个时间的函数,对 NDVI 与年份进行回归分析,得到一元线性回归方程,用来表示植被生长和覆盖状况的变化趋势。如果方程的斜率为负值则认为植被覆盖度呈减小趋势,为正值则认为植被覆盖度呈增加趋势。以相关系数通过的显著性检验水平 P 判断植被覆盖减小或增加趋势明显程度,即 $P \leq 0.1$ 趋势明显, $P \leq 0.05$ 趋势显著^[4, 8]。丘陵沟壑区的年、季温度、降水量,为该区域 7 县(区)年、季温度、降水量的平均值。植被变化与气候因子之间关系的研究采用相关分析方法,通过计算 NDVI 与降水、气温之间的相关系数来表征植被与气候因子的相关性,判断 NDVI 与气候因子的相关性也采用显著性检验方法。

2 结果分析

2.1 空间平均 NDVI 的变化特征

2.1.1 NDVI 的季节变化

图 3 给出了延安北部丘陵沟壑区 26a NDVI 的月平均曲线。可以看出,NDVI 从 4 月份开始增大,8 月份

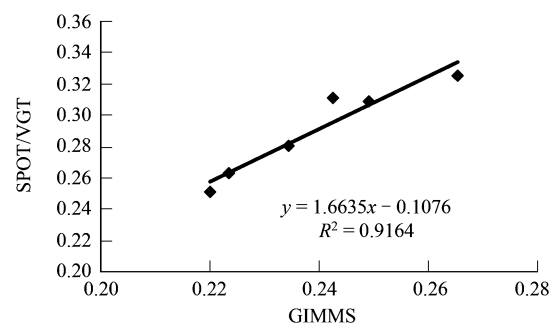


图 2 延安北部 GIMMS 和 SPOT/VGT 数据对比

Fig. 2 Comparison between GIMMS and SPOT/VGT in the hilly and gully region of northern Yan'an

达到极大值为 0.3975,9 月份开始下降,1 月份达到最低值为 0.1468,2—4 月份略有升高。春季 NDVI 缓慢增加,秋季 NDVI 降低速度比较快。计算季节 NDVI 与年 NDVI 相关结果表明,夏季、冬季的 NDVI 与年的 NDVI 相关明显,可通过 0.01 和 0.02 的可信度检验,而春季、秋季 NDVI 与年的 NDVI 相关系数分别达到了 0.8102 和 0.7518,显著性水平为 0.001,说明年植被指数与四季植被均有相关,夏秋两季的植被状况基本决定了延安北部丘陵沟壑区全年的植被分布状况。

2.1.2 年平均 NDVI 的变化趋势

图 4 给出了延安北部丘陵沟壑区 1982 年到 2007 年的年平均 NDVI 变化曲线和由线性回归得到的趋势线。从年际变化来看,丘陵沟壑区的年平均 NDVI 在波动起伏中增大,1999 年最差,为 0.2199;2006 年最好,为 0.2859;26a 平均 NDVI 为 0.2452。从线性趋势(图 4、表 1、表 2)来看,其线性回归方程的相关系数通过了 0.01 显著水平检验,方程斜率表明平均每年 NDVI 增加 1.3×10^{-3} ,26a 间年平均 NDVI 上升了 14.2%。趋势线滤去一些短期气候波动对 NDVI 的影响,代表了 NDVI 随生态环境、长期气候变化及其综合效应的影响,可以看出 1982—2007 年 NDVI 总体上处于上升趋势。1982—1998 年,NDVI 变化不明显,与年份的回归方程斜率为 0.0007,未能通过显著性检验;1999 年以后,NDVI 上升趋势非常明显,与年份的回归方程斜率为 0.0089,相关系数为 0.9377,通过 0.001 的可信度检验。两个时段的方程斜率相差 10 倍以上,NDVI 显著变化,与气候有关,但退耕还林草工程起到了更重要的作用。

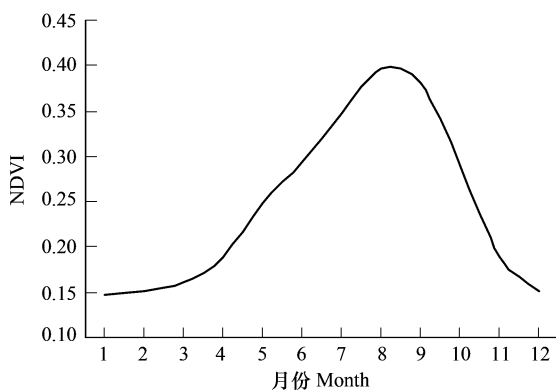


图 3 丘陵沟壑区月平均 NDVI 年变化曲线
Fig. 3 The variation curve of the monthly NDVI in the hilly and gully region

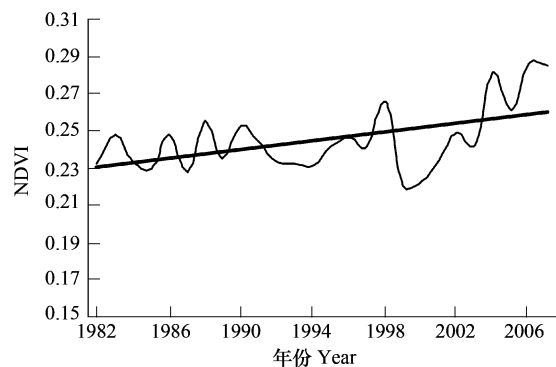


图 4 丘陵沟壑区年平均 NDVI 曲线和线性趋势
Fig. 4 The variation of average NDVI and the linear trend in the hilly and gully region

表 1 年季 NDVI 与年份的相关系数

Table 1 The correlation coefficients between NDVI in seasons and year

时间 Time	丘陵沟壑区	吴起	志丹	安塞	子长	延川	延长	宝塔区
春 Spring	0.5512 ***	0.6173 ****	0.3298	0.5969 ***	0.6513 ****	0.5465 ***	0.4795 **	0.485 **
夏 Summer	0.2025	0.4522 **	0.2612	0.334 *	0.497 **	0.1904	0.0707	0.1649
秋 Autumn	0.6094 ****	0.7090 ****	0.5168 ***	0.6241 ****	0.6515 ****	0.4898 **	0.4224 **	0.3503 *
冬 Winter	0.2211	0.1591	0.2042	0.1476	0.1729	0.246	0.3231	0.2315
年 Annual	0.5252 ***	0.7143 ****	0.3268	0.6017 ****	0.6075 ****	0.4321 **	0.3719 *	0.3615 *

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, $P < 0.1$

从各县(区)来看,年平均 NDVI 变化趋势回归方程的相关系数都为正值(表 1),方程的斜率也都为正值(表 2),说明各个县(区)年平均 NDVI 变化趋势都是增加。吴起、安塞、子长线性增大趋势尤其显著,它们的相关系数是 0.7143、0.6017 和 0.6075,均通过了 0.001 显著性水平检验。从各县(区)年回归方程的斜率可以看出,吴起、子长的年变化增量最为明显,为 1.8×10^{-3} ,26a 间年平均 NDVI 上升了 22.7% 和 24.6%;其余

依次为延川、延长和安塞;宝塔区和志丹增量较小,为 0.7×10^{-3} 和 0.6×10^{-3} , 两县 26a 间年平均 NDVI 均上升了 5.7%。志丹和宝塔区增量小主要是由于县境内有较大面积的天然次生林,而次生林 NDVI 有下降趋势^[11],影响了退耕还林效果的监测结果。

表 2 年季 NDVI 与年份的回归方程斜率
Table 2 The slope of regression equation between NDVI in seasons and year

时间	丘陵沟壑区	吴起	志丹	安塞	子长	延川	延长	宝塔区
春 Spring	0.0017	0.0017	0.001	0.0017	0.0018	0.0016	0.002	0.0019
夏 Summer	0.0008	0.0021	-0.001	0.0013	0.0026	0.001	0.0004	-0.0006
秋 Autumn	0.002	0.003	0.0016	0.0021	0.0027	0.0019	0.0018	0.0008
冬 Winter	0.0004	0.0003	0.0004	0.0003	0.0004	0.0005	0.0007	0.0005
年 Annual	0.0013	0.0018	0.0006	0.0013	0.0018	0.0013	0.0013	0.0007

2.1.3 季平均 NDVI 的变化趋势

图 5 给出了延安北部丘陵沟壑区 1982—2007 年的各季平均 NDVI 变化曲线。从各季节平均 NDVI 的年际变化来看,延安北部丘陵沟壑区夏季的 NDVI 平均值最高、波动起伏最大,其次是秋季,冬季的 NDVI 年际波动最小。

表 1 中给出了延安北部丘陵沟壑区不同县(区)季平均 NDVI 与年份相关系数。从整个延安北部丘陵沟壑区来看,秋季的相关系数最高为 0.6094,通过了 0.001 显著水平检验;春季的相关系数次之,通过了 0.01 显著水平检验;冬季和夏季相关系数最低,未能通过检验。说明延安北部丘陵沟壑区秋季 NDVI 显著增加,春季明显增加;冬季和夏季略有增加。

分析各月 NDVI 与年份变化趋势,相关系数均为正值。10 月份年变化增量最为明显,为 3.0×10^{-3} ,相关系数为 0.6869,通过 0.001 显著水平检验;5 月份次之,年变化增量为 2.5×10^{-3} ,相关系数为 0.4927,通过 0.01 显著水平检验;4 月份增量为 1.7×10^{-3} ,相关系数为 0.4739,通过 0.05 显著水平检验。

2.2 NDVI 的变化与气候变化的关系

2.2.1 NDVI 的变化与温度变化的关系

在全球变暖的气候背景下,1982 年以来,延安北部气温变暖趋势显著,由线性回归方程推算,温度上升速率达 $0.633^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($r=0.7, n=26, P<0.001$)。温度升高,造成植被生长在春季提前和秋季推迟,NDVI 在春季和秋季增高趋势明显,尤其是 5 和 10 月份。计算年平均气温与各月 NDVI 的相关系数,与 3 月份 ($r=0.4316, n=26, P<0.05$)、5 月份 ($r=0.3933, n=26, P<0.05$)、10 月份 ($r=0.3775, n=26, P<0.1$)、11 月份 ($r=0.606, n=26, P<0.001$) 明显相关,春秋季植被覆盖对气温升高有所响应。但对延安北部来说,春秋季植被覆盖增加明显的主要原因是退耕还林草引起的,延安北部以秋粮生产为主,退耕还林前 5 月份处于播种期或幼苗期,土地裸露严重,作物对地表的覆盖度极低,秋季 10 月份粮食作物已经收获,耕地已无植被覆盖,裸露土地的植被指数与年温度无关。退耕后,在春秋季裸露的土壤被林或草覆盖,植被覆盖增加明显;延安北部仍处于退耕初期,耕地多变为草地,退耕前夏季耕地为茂盛的农作物覆盖,植被指数与退耕后草地相差不大;冬季植被枯黄,植被指数很小,退耕前后变化也很小。计算退耕还林草前 1982—2000 年 19a 的温度与 5、10 月份 NDVI 的相关系数,均无法通过检验,进一步说明退耕还林草改变了延安北部春秋季植被覆盖度。

计算延安北部丘陵沟壑区年、季平均 NDVI 与温度的相关系数,可以得出年平均 NDVI 与年平均温度相关

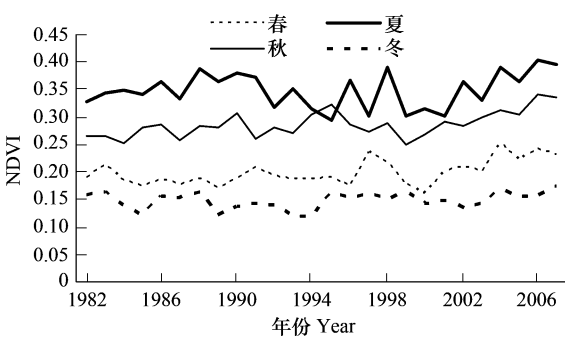


图 5 丘陵沟壑区季平均 NDVI 年际变化曲线
Fig.5 The variation curves of averaged NDVI for four seasons in the hilly and gully region

不明显,冬、夏、秋季的平均 NDVI 与相应季节的温度相关也不明显。春季平均 NDVI 与该季温度的相关系数为 0.5189,通过 0.01 可信度检验。计算延安北部丘陵沟壑区月平均 NDVI 与温度的相关系数,发现 4 月份 NDVI 不仅与当月温度成明显正相关($r=0.4134, n=26, P<0.05$),并与上月温度成正相关($r=0.37, n=26, P<0.1$);5 月份 NDVI 与当月温度无相关,但与上两个月温度呈正相关关系,与 3 月份温度相关系数为 0.4604,4 月份温度相关系数为 0.378,分别通过 0.05 和 0.1 的可信度检验。春季植被处于返青期,温度高植被返青早生长快,温度低植被返青迟生长慢,对后期的植被指数造成影响。夏季 6 月份 NDVI 与上月温度为负相关($r=-0.4411, n=26, P<0.05$),7 月份 NDVI 与 5 月、6 月、7 月份温度相关系数为 -0.4556 、 -0.3403 、 -0.364 ,说明前期温度偏高,有可能出现干旱现象影响植被正常生长。

2.2.2 NDVI 的变化与降水量变化的关系

20 世纪 80 年代,延安北部丘陵沟壑区降水处于一个相对多雨期,同期 NDVI 处于上升阶段;90 年代以后降水出现趋势性偏少,相应 NDVI 出现波动,特别是 90 年代后期,出现持续干旱,NDVI 下降,并在 1999 年出现最小值。由此可见,降水引起 NDVI 波动变化。2001 年以来,降水量与 20 世纪 80 年代基本相当,植被处于一个快速上升期,7a 平均值比 80 年代高出 0.0234,除与降水有关外,与退耕还林工程建设密不可分,这与有关文献研究结论相一致^[13-15]。

延安北部丘陵沟壑区年降水量与年平均 NDVI 无相关关系,但年降水量与 7 月和 9 月份 NDVI 相关,系数分别为 0.3366 和 0.3314,通过 0.1 的可信度检验,年降水量决定植被旺盛时的状况。分析月降水与月平均 NDVI 关系,4 月份 NDVI 与降水量反相关($r=-0.5078, n=26, P<0.01$);6 月 NDVI 与上月和当月降水量有关,系数分别为 0.5244、0.4418,通过 0.01 和 0.05 可信度检验;7 月份 NDVI 与 5 月份、6 月份、7 月份降水相关系数分别为 0.4912、0.3621、0.353,5 月份相关系数通过 0.05 可信度检验,6 月和 7 月份相关系数通过 0.1 可信度检验,说明降水对 NDVI 的影响有延后性。5—7 月份延安北部植被正处于快速生长期,需水量大,而降水量相对不足,制约植被生长,造成前期降水对以后植被指数有影响。

分析春季各月 NDVI 与上年秋季降水量的相关性,4、5、6 月份 NDVI 与上年 9 月份降水量相关性最为密切,相关系数分别为 0.3352、0.4512、0.5703,分别通过 0.1、0.05、0.01 可信度检验,说明春季植被返青期间 NDVI 受上年 9 月份降水影响(图 6)。延安北部冬季降水少,春季植被返青生长主要靠上年秋季降水,因此秋季降水多来年春季植被生长就好,反之秋季降水少,则来年春季植被生长差。

3 结论

通过对延安北部丘陵沟壑区 1982 年到 2007 年植被指数和气象数据的分析,可以得出如下主要结论:

(1) 延安北部丘陵沟壑区的植被状况 26a 来尽管有波动起伏,但是整体在持续转好。1982—2007 年 NDVI 总体处于上升趋势,平均每年 NDVI 增加 1.3×10^{-3} ,26a 间年平均 NDVI 上升了 14.2%;吴起、子长、安塞的 NDVI 线性增大趋势尤其显著,植被状况明显转好。

延安北部丘陵沟壑区夏季的 NDVI 平均值最高、波动起伏最大,其次是秋季。春、秋季 NDVI 年际变化具有明显的上升趋势,秋季最大,春季次之。四季 NDVI 与年 NDVI 均具有相关性,春、秋季节 NDVI 与年 NDVI 达到极显著水平。10 月份、5 月份、4 月份 NDVI 年际变化上升趋势明显。NDVI 年内变化曲线为单峰型,春季 NDVI 缓慢增加,秋季 NDVI 降低速度比较快。

与 1997 年相比,到 2007 年,吴起县有 75% 的耕地不再耕种,林草覆盖率提高到 80.60%,低覆盖度面积

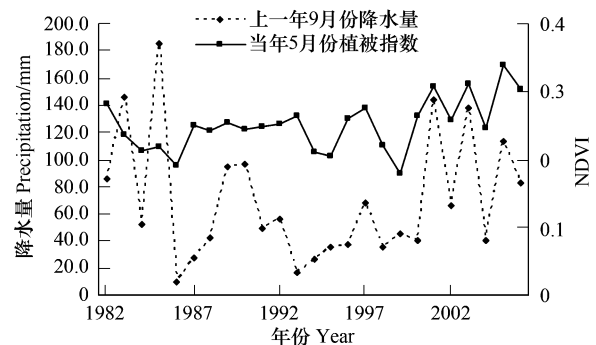


图 6 年 9 月降水与当年 5 月 NDVI 变化曲线

Fig. 6 The variation curves of the precipitation in previous September and the NDVI in May of present year

明显减少,中高覆盖度面积占国土总面积 60% 以上,显著增加。

(2)年平均 NDVI 与同期年平均温度相关不明显,冬、夏、秋季节 NDVI 与相应季节的温度相关也不明显,只有春季平均 NDVI 与该季温度相关显著。在植被返青期间的 3—4 月份温度对植被的影响呈正相关,温度越高,返青生长越快;初夏 6—7 月份,温度对植被生长有滞后影响,前期温度与后期 NDVI 为负相关。

降水量是引起 NDVI 年际波动的影响因子之一,年降水量与当年 7 月份和 9 月份 NDVI 相关,决定了一年植被最为旺盛时的好坏。月降水量对 NDVI 影响具有滞后性,上年 9 月份降水影响翌年 4—6 月份的 NDVI,6 月份和 7 月份 NDVI 受当月和前期降水影响。

(3)1999 年以来,延安北部丘陵沟壑区 NDVI 快速上升,与降水增多有关外,非气候因素中生态保护和环境建设等人为措施,如植树造林、封山禁牧等封育措施是导致植被显著增加的重要原因。

References:

- [1] Zhu S G. The evolvement feature and protective and development tactic of ecological environment for Shaanxi Province. In: Xi G Q and Zhang J Z eds. Western ecological. Beijing: CPC Central Committee School Press, 2001: 1-27.
- [2] Li D K, Zhou J, Sun Z H. Monitoring the effects of ecosystem restructuring project after returning farmland to forest based on RS and GIS. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 120-126.
- [3] Ma M G, Dong L X, Wang X M. Study on the dynamically monitoring and simulating the vegetation cover in Northwest China in the past 21 years. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 232-236.
- [4] Piao S L, Fang J Y. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China. Quaternary Sciences, 2001, 21(4): 294-302.
- [5] Li Z, Yan F L, Fan X T. The Variability of NDVI over Northwest China and its relation to temperature and precipitation. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(3): 308-313.
- [6] Fang J Y, Piao S L, He J S, Ma W H. Enhancement of vegetation activity in China in recent 20 years. Science in China, Series C: life sciences, 2003, 33(6): 554-565.
- [7] Li Z C, Ma M G, Zhang F, Jiang Z R. The dynamic analysis of vegetation pattern in the Northwest of China. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(4): 332-337.
- [8] Li Y C, Gong P, Liu C X, Chen J, Yu D Y. Vegetation cover changes and correlation with climatic Factors in Northern China during 1982-1999. Resources Science, 2006, 28(2): 109-117.
- [9] Zhang L, Wang F Y, Yue L P, Li Z P, Wang M, Nie H G. A dynamic study of land desertification in desert-loess transitional zones based on RS and GIS: a case study of Yulin Area. Acta Geoscientia Sinica, 2004, 25(1): 63-66.
- [10] Xu J X. Thresholds in vegetation-precipitation relationship and the implications in restoration of vegetation on the Loess Plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(6): 1233-1239.
- [11] Xin Z B, Xu J X, Zhen W. Impact of climate change and human being activity over loess plateau vegetation coverage change. Science in China, ser. D, earth science: 2007, 37(11): 1504-1514.
- [12] Li D K. Vegetation change and its relations with climate variables in Wuqi of Shaanxi. Chinese Journal of Ecology, 2007, 27(11): 1811-1816.
- [13] Chen X G, Li J P, Li Z J, Ch B D, Hai Y J. Vegetation change in Yanchi of Ningxia and its relationship with climate change in recent years. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1516-1522.
- [14] Li D K, Guo N, He H J. Vegetation change and its relationship with climate in the region along the Great Wall in northern Shaanxi. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 4620-4629.
- [15] Sun Z H, Luo L, Su F, Li X Y. Remote sensing of vegetation cover variation over Northern Shaanxi Province. Meteorological Science and Technology, 2007, 35(2): 282-285.

参考文献:

- [1] 朱士光. 陕西省生态环境演变特征及保护治理方略. 见: 奚国全, 张家楨主编, 西部生态. 北京: 中共中央党校出版社, 2001: 1-27.
- [2] 李登科, 卓静, 孙智辉. 基于 RS 和 GIS 的退耕还林生态建设工程成效监测. 农业工程学报, 2008, 24(12): 120-126.
- [3] 马明国, 董立新, 王雪梅. 过去 21 a 中国西北植被覆盖动态监测与模拟. 冰川冻土, 2003, 25(2): 232-236.
- [4] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. 第四纪研究, 2001, 21(4): 294-302.

- [5] 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. 遥感学报, 2005, 9(3): 308-313.
- [6] 方精云, 朴世龙, 贺金生, 马文红. 近 20 年来中国植被活动在增强. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2003, 33(6): 554-565.
- [7] 李珍存, 马明国, 张峰, 蒋志荣. 1982-2003 年中国西北地区植被动态变化格局分析. 遥感技术与应用, 2006, 21(4): 332-337.
- [8] 李月臣, 宫鹏, 刘春霞, 陈晋, 于德永. 北方 13 省 1982 年-1999 年植被变化及其与气候因子的关系. 资源科学, 2006, 28(2): 109-117.
- [9] 张莉, 王飞跃, 岳乐平, 李智佩, 王岷, 聂浩刚. 基于 RS 和 GIS 的沙漠-黄土过渡带土地沙漠化分布与变化研究——以陕北榆林地区为例. 地球学报, 2004, 25(1): 63-66.
- [10] 许炯心. 黄土高原植被降水关系的临界现象及其在植被建设中的意义. 生态学报, 2005, 25(6): 1233-1239.
- [11] 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. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(11): 1504-1514.
- [12] 李登科. 陕西吴起植被覆盖动态及其与气候变化的关系. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1811-1816.
- [13] 陈晓光, 李剑萍, 李志军, 陈葆德, 韩颖娟. 宁夏盐池近年来植被与气候变化分析. 生态学报, 2006, 26(5): 1516-1522.
- [14] 李登科, 郭妮, 何慧娟. 陕北长城沿线风沙区植被指数变化及其与气候的关系. 生态学报, 2007, 27(11): 4620-4629.
- [15] 孙智辉, 罗琳, 苏锋, 李新亚. 陕北北部植被生态环境变化遥感监测及对径流的影响分析. 气象科技, 2007, 35(2): 282-285.