

退耕还林(草)背景下渭河流域植被覆盖时空变化分析

蒋冲¹, 王飞^{1,2}, 穆兴民^{1,2}, 李锐^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院 陕西 杨凌 712100 2. 中国科学院水利部水土保持研究所 陕西 杨凌 712100)

摘要 :以 SPOT VGTETATION 的归一化植被指数为基础,借助 GIS 软件的空间分析功能和线性回归分析法对渭河流域植被覆盖空间分布特征以及退耕还林(草)工程实施以来植被覆盖时空变化趋势进行了分析。结果表明,渭河流域六盘山、子午岭、秦岭北麓和关中盆地一带各有一条 NDVI 高值区。渭河源区植被覆盖较好,黄土塬区次之,丘陵沟壑区最差。退耕以来 NDVI 年最大化值增加显著,植被覆盖在空间上呈现出整体改善,局部退化趋势。轻微改善、中度改善、明显改善的区域所占面积分别为 29.35%、26.49% 和 8.21%,另有 6.59% 的土地轻微退化。其中,黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖增加趋势显著,变化斜率出现负值的区域主要位于渭河中下游和泾河中游地区。研究区不同坡度等级的坡地植被覆盖状况得到明显改善,变化速率由大到小依次排序为 0°-6°、6°-15°、15°-25° 和 >25° 的坡地。位于丘陵沟壑区的吴旗等县坡地植被恢复趋势最为明显,泾河中游、北洛河中游以及渭河上游等地区也有明显好转趋势。

关键词 渭河流域 植被覆盖 NDVI 退耕还林(草) 时空变化

中图分类号 Q948.15*6 S157

文献标识码 B

文章编号 :1000-0275(2012)04-0470-05

Analysis of Spatial and Temporal Variation of Vegetation Cover in Wei River Basin under Background of Converting Farmland into Forest or Grassland

JIANG Chong¹, WANG Fei^{1,2}, MU Xing-min^{1,2}, LI Rui^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract :Time-series SPOT VGT NDVI datasets, which served as an evaluation index of the vegetation cover, were used in this paper to analyze the distribution characteristics and change trend of year maximum NDVI in Wei River Basin since converting farmland into forest or grassland project implementation with the help of Arc GIS 10.0 and ENVI 4.7 software. The results indicated that: there were high value in Liupan Mountain, Ziwu Mountain, northern slope of Qin Mountain and Guanzhong area. The vegetation cover condition in source area of Wei River was best, loess tableland area was worse, hilly and gully region was worst. The overall vegetation coverage was improving while local vegetation coverage presented a bad trend. The slight improvement, moderate improvement and significant improvement area accounted for 29.35%, 26.49% and 8.21% respectively. Nevertheless, 6.59% area of the whole basin presented a degrading trend, so it is necessary to further strengthen the ecological environment construction in the future. Most regions in the Wei River Basin showed significant positive correlation between NDVI and time over the past decade, especially in the Loess Hilly-gully Region where the achievements of vegetation construction were quite noticeable. Counties or cities with negative slope mainly located in the middle and lower part of Wei River. Moreover, the vegetation cover in four different slope areas experienced great improvement from 1998 to 2010, which were arranged by the order of 0°-6°, 6°-15°, 15°-25° and above 25°. Wuqi County which is located in hilly and gully region presented the most obvious recover trend, midstream of Jing River, upstream and midstream Beiluo River as well as upstream of Wei River also had significant recover trend.

Key words :Wei River Basin; vegetation cover; NDVI; converting farmland into forest or grassland; temporal and spatial variation

植被是连接土壤、大气和水分的“纽带”,具有截留降雨、减少雨滴击溅、减缓地表径流、增加土壤入渗、保土固土等功能,对减少水土流失起着重要作用^[1]。渭河流域地处半干旱半湿润气候带,生态环境脆弱,土质疏松,暴雨冲刷强烈,该区长期以来缺乏植被保护,水土流失严重。加之人类对土地的不合理利用,特别是陡坡地开垦^[2],使原有地表覆盖和土壤水

分入渗向不良方向发展,导致水土流失进一步加剧。自 1999 年开始实施的退耕还林(草)等大规模植被建设已取得明显成效,对全国或区域尺度植被覆盖时空演变分析已有一些阶段性成果^[3-10]。但大多都存在范围过大、尺度过粗和监测不及时(多数研究截止于 2007 年以前)等问题,缺乏对某个流域或生态脆弱区大规模植被建设之后植被覆盖时空演变特征

基金项目:国家自然科学基金资助项目“基于相同气候条件的人类活动对河流泥沙影响定量评价—以黄土高原延河流域为例”(编号:41171420);中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目“北方旱区表层土壤水分遥感监测试验研究”(编号:10502-Z12-9);中荷联合主题研究项目“渭河流域水环境问题综合治理对策研究”(中国科学院对外合作重点项目 GJHZ1018, Netherlands Organization for Scientific Research OND1339291)

作者简介:蒋冲(1987-),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,主要研究方向:GIS 和遥感技术在区域水土保持中的应用;通信作者:王飞(1971-),男,陕西户县人,副研究员,硕士生导师,博士。主要研究方向:水土保持环境效应评价。

收稿日期:2012-03-31,修回日期:2012-05-09

的研究,对植被覆盖年际变化以及空间分布的研究仍相对薄弱^[6-10]。因此,本研究选择面积广阔、地理位置特殊、气候干旱、地形地貌多样、生态系统脆弱以及人类活动(退耕还林还草等)效果显著,而且目前面临着西部大开发和环境保护双重矛盾的渭河流域作为研究区域。该流域及其周边区域1999年前后国家推行退耕还林(草)政策,泾河、北洛河上游部分以及周边区域陆续开展了退耕还林还草、封山育林、天然次生林保护、水源涵养和生态修复等工程。在如此复杂的人类活动和气候变化效应的综合作用下,该地区植被覆盖情况到底发生了怎样的变化,变化程度有多大,空间和时间上有哪些差异,这些问题都很有必要回答。本文利用1998-2010年SPOT VGT NDVI数据集,对渭河流域退耕前后植被覆盖的时空演变特征进行分析,以期为国家正在开展的渭河重点整理工程和未来生态环境建设提供一定的科学依据。

1 研究区概况

渭河流域位于东经103.5°-110.5°和北纬33.5°-37.5°之间,自西向东流经甘肃、宁夏、陕西三省(自治区)13个地区的84个县,干流全长818 km,流域面积13.48×10⁵ km²,由北洛河、泾河2大支流和渭河干流组成^[11](如图1)。渭河流域地处干旱地区与湿润地区的过渡地带,属大陆季风性气候,流域多年平均降水量572 mm,水面蒸发量660 mm-1600 mm,平均天然径流量100.40亿 m³^[11-12]。该地区地貌特征空间差异较大,北部为黄土高原,南部为秦岭山区,地貌主要有黄土丘陵区、黄土塬区、土石山区、黄土阶地区、河谷冲积平原区等^[11]。流域内土地利用类型主要有耕地、草地和林地,所占比例分别为28.3%、30.2%和29.4%。近年来,由于降雨量偏少、国民经济耗水量明显增加、水土保持用水量增加、气温升高导致蒸发能力的增加、集雨工程蓄水等因素造成该地区实测径流量大幅减少,干旱灾害频发,使得原本紧张的水资源愈显不足。



图1 研究区概况

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

本文采用的SPOT VGT NDVI数据由比利时弗莱芒技术研究所(<http://free.vgt.vito.be/>) VEGETATION影像处理中心提供。该数据集的时间跨度为1998年4月-2010年12月,空间分辨率为1 km,时间分辨率为逐旬,包含每10 d合成的四个波段的光谱反射率及最大化的NDVI^[13]。数据经过预处理,包括大气校正、辐射校正、几何校正、真值恢复等,DEM(Digital Elevation Model,数字高程模型)数据来源于中国科学

院计算机网络信息中心科学数据中心,空间分辨率为30 m×30 m^[14]。土地利用数据来源于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”(<http://westdc.westgis.ac.cn/>)的“中国西部1:10万土地利用信息系统专题数据集”。该数据集基于Landsat MSS、TM和ETM遥感数据建立了1:10万土地利用影像和矢量数据库,数据集将全国分为6个一级类和31个二级类,是目前我国精度最高的土地利用数据产品,已经在国家土地资源调查、水文生态研究中发挥重要作用^[15]。

2.2 研究方法

利用VGT Extract软件将下载的SPOT NDVI数据进行格式转化和范围提取。在ENVI 4.7软件中,利用MVC(Maximum Value Composite)算法将每旬和月NDVI值合成为年和月的最大化NDVI,该方法可以消除云、大气、太阳高度角的部分干扰^[4-10],得到1998-2010年间NDVI年最大化值,表征当年植被覆盖状况。利用Arc GIS 10.0的栅格计算器结合最小二乘法,对各像元年最大化NDVI与时间做线性回归分析,以线性拟合斜率反映该像元的变化趋势(公式1)。

$$K_{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times M_{NDVI,i} - \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n M_{NDVI,i}}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中变量*i*为NDVI数据的年序号, $M_{NDVI,i}$ 表示第*i*年的最大化合成NDVI值,变化斜率图则反映了某一时间段内该地区的NDVI的变化趋势。某像元的趋势线是这个像元一段时间的NDVI值用一元线性回归模拟出来的一个总的变化趋势, K_{slope} 即这条趋势线的斜率。如果斜率大于零则说明植被状况趋于好转,斜率小于零则说明植被状况趋于恶化,斜率的大小反映上升或下降的速率。利用Arc GIS软件的空间分析功能提取不同坡度范围和不同土地利用方式下的植被覆盖变化状况。

3 结果与分析

3.1 NDVI时空分布特征

NDVI的取值范围为-1.0-1.0,在植被生长季内,定义NDVI像元数值大于0.55为高植被覆盖,大于0.35而小于0.55为中等植被覆盖,小于0.35为低植被覆盖,比较流域不同时期NDVI的空间分布和变化情况^[16]。根据已经定义的高、中、低覆盖区的划分标准,流域内部六盘山、子午岭、秦岭北麓和关中盆地一带各有一条NDVI高值区,流域西南角靠近渭河源区部分植被盖度较高,数值在0.55以上,中东部子午岭山系的山川区林地各县(如合水、宁县、正宁等)覆盖率也较高。中部的黄土塬区次之,数值在0.35-0.55之间,包含镇原、西峰、庆阳一线以下至彬县、长武、灵台、旬邑等广大区域。渭北黄土高原丘陵区(环县以及华池部分地区)最低,在0.35以下。年内NDVI高值区一般位于夏季的7-8月份,此时植被生长茂盛,覆盖度较高,NDVI最低值在冬季,此时植被凋谢,覆盖度最低。

3.2 不同土地利用条件下植被的变化趋势

3.2.1 NDVI的时间变化 通过区域统计分析(Zonal statistical)得到不同土地利用类型NDVI的变化情况(表1)。变化趋势

基本相似 整体呈现增加趋势。林地、耕地和草地 3 种土地利用类型中植被覆盖增加最为迅速的二级地类分别为其他林地、中覆盖度草地和旱地,旱地中 NDVI 增速排序分别为 > 25° 的坡地、旱地(平原)和旱地(丘陵)。究其原因,主要是由于该区退耕还林(草)工程的实施,使得原本由稀疏农作物或草地覆盖的坡耕地、旱地丘陵区和中低覆盖度草地被林地或草地所代替。林地和草地较为茂密,植被覆盖度大,体现在植被指数上便是 NDVI 值的增加。另外,近年来部分地区农作物增产显著也是造成 NDVI 值有所增加的重要原因。如图 2 所示,部分地区 1998 年开始示范性地开展退耕还林(草)工程,但未形成规模,主要以陕北地区吴旗、安塞等县为重点区域。1999 年开始大范围推广示范区退耕还林(草)经验模式,范围遍及陕、甘、宁大部分县(市),但因林木生长周期较短尚未成林,NDVI 值继续下降,直至 2000 年达到谷底。2000 年后退耕措施初见成效,整体情况有所好转,NDVI 由 2000 年的 0.245 左右跃升至 2001 年的 0.260,并于 2002 年一度达到 0.290 左右,2002 至 2010 年间小幅震荡上升。

表 1 1998-2010 年不同土地利用类型区域年最大化 NDVI 变化斜率

一级地类	二级地类	地类代码	面积比例 (%)	最小变率 (10 ⁻² /a)	最大变率 (10 ⁻² /a)	变化范围 (10 ⁻² /a)	平均变率 (10 ⁻² /a)	标准差
林地	有林地	21	5.42	-1.48	3.41	4.89	0.14	0.40
	灌木林	22	6.63	-1.57	3.64	5.22	0.33	0.57
	疏林地	23	3.57	-3.15	2.80	5.95	0.30	0.69
	其他林地	24	0.35	-3.47	3.68	7.15	0.84	1.09
草地	高覆盖度草地	31	4.89	-1.23	2.46	3.69	0.21	0.48
	中覆盖度草地	32	25.44	-3.58	3.98	7.56	0.75	0.84
	低覆盖度草地	33	6.53	-2.12	4.48	6.60	0.60	0.79
耕地	水田(山地)	111	0.08	-0.60	0.28	0.88	-0.09	0.20
	水田(丘陵)	112	0.00	1.40	1.40	0.00	1.40	0.00
	水田(平原)	113	0.16	-2.22	3.57	5.79	0.95	1.14
	旱田(山地)	121	4.54	-1.66	3.22	4.88	0.65	0.67
	旱地(丘陵)	122	23.63	-2.63	4.37	7.00	0.90	0.88
	旱地(平原)	123	15.23	-6.44	4.35	10.79	1.07	0.99
	旱地(>25°坡地)	124	0.08	-0.13	2.77	2.91	1.15	0.75

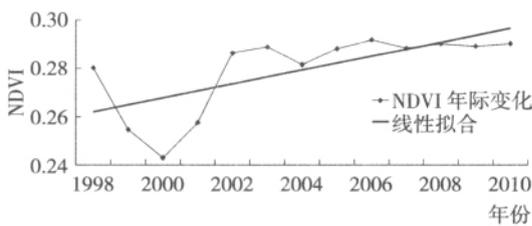


图 2 近 13 a 渭河流域 NDVI 变化趋势

3.2.2 NDVI 的空间变化 利用变化斜率法以年为基本单位分析流域植被变化趋势,根据各像元 NDVI 变化斜率将变化趋势分为 5 级:轻微退化(-0.07 ≤ k_{slope} ≤ -0.004)、基本不变(-0.004 ≤ k_{slope} ≤ 0.003)、轻微改善(0.003 ≤ k_{slope} ≤ 0.01)、中度改善(0.01 ≤ k_{slope} ≤ 0.02)和明显改善(0.02 ≤ k_{slope} ≤ 0.05)。分析表明,植被覆盖呈整体改善,局部恶化趋势。轻微改善、中度改善、明显改善的区域所占面积分别为 29.35%、26.49%和 8.21%,另有 6.59%的土地轻微退化。各像元的变化斜率如图 3,流域内大部分县(市)年 NDVI 变化介于 -0.067/a-0.046/a,

84 个县(市)中只有西峰、庆阳、镇原、合水、西吉、张家川、泾源、西安以及渭源县 9 个县(市)变化率出现负值。斜率变化相对较大的区域(吴旗、合水、宁县、正宁、秦安、甘谷、天水等)主要分布在渭河干流及泾河上游、马莲河上游、北洛河中游一带。NDVI 变化斜率出现负值的区域大多位于渭河中下游、泾河中上游地区,它们的共同特点是区位优势好,资源丰富,经济发展快。

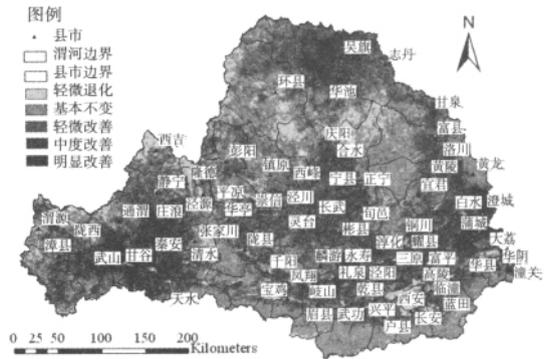


图 3 年最大化 NDVI 变化斜率图

如前文所述,渭河流域土地利用以耕地和草地为主,两者中所占比重较大的二级地类分别为中覆盖度草地(占 25.44%)、旱地丘陵(23.63%)和平原区(15.23%),三者相加约占流域总面积的 50%,在植被覆盖变化分析中具有举足轻重的位置,故将上述 3 种二级地类单独加以分析。

如图 4 所示,流域西北地区特别是环县、华池一带中等覆盖度草地有退化趋势。该地区农地和草地结构比重很高,由于地处半干旱区,农业生产和自然植被生长都严重依赖自然降雨,降水量的年际波动该地区植被发生了不稳定变化。



图 4 中等覆盖度草地年最大化 NDVI 变化斜率图

如图 5 所示,泾河流域中部的西峰、庆阳、镇原及其周边县(市)植被也呈现出轻微退化。该地区特别是西峰、正宁一带为庆阳市辖区,前者探明为石油储量丰富的石油城,后者以煤炭资源和小手工艺品制作而著名,属于当地经济强县。由于城市化发展和人口增加对植被地区的占用,使得植被覆盖出现退化是可以预料的结果。

如图 6 所示,渭河中下游西安等旱地平原区的 NDVI 值有下降趋势。西安位于渭河下游,邻近关中平原宝鸡城市群,该地区工业在经济结构中比例较高,城市的发展扩张侵占农田从而导致植被覆盖下降是可以预料的结果。另外,年 NDVI 变化斜率为正,但斜率相对较小的地区位于泾河中游,如崇信、泾川等县的广大区域,这一地区俗称陇东粮仓,是我国农

业起源最早的地区之一,从 20 世纪 60 年代开始就形成了以农业为本的粮食生产格局,因此认为稳定的粮食生产使得这一地区 NDVI 变化幅度小,农业增产是导致 NDVI 变化斜率为正值的主要因素。

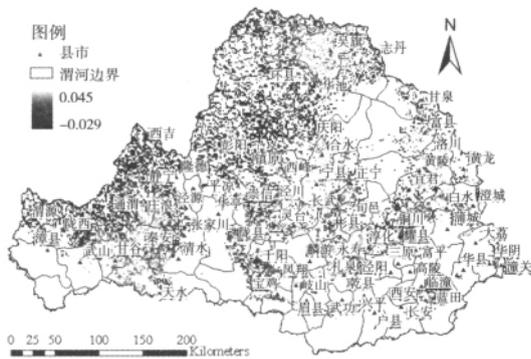


图 5 旱地(丘陵)年最大化 NDVI 变化斜率图

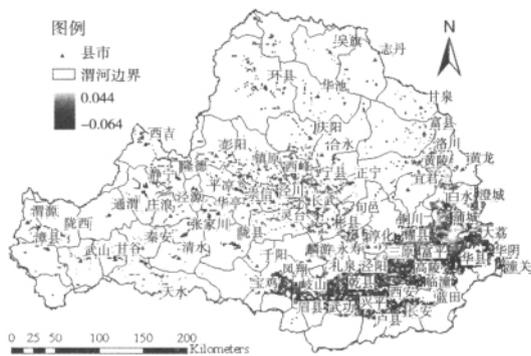


图 6 旱地(平原)年最大化 NDVI 变化斜率图

3.3 坡地植被的时空变化

根据前人研究结果,将研究区坡度划分为 0°-6°、6°-15°、15°-25°和 >25° 共 4 个等级。坡度为 0°-6°的平缓地水土流失微弱,最适合农业生产,坡度为 6°-15°的缓坡地,水土流失加重,但仍可作为农业用地,可修筑梯田防止水土流失,坡度为 15°-25°的土地,不适宜于耕作,需要改善其植被覆盖状况,以减少水土流失,坡度 >25°的土地土壤侵蚀极强烈,水土流失严重,土壤贫瘠,为亟需实施退耕还林(草)的区域^[3,8-9]。利用 Arc GIS 的区域统计分析功能提取各坡度范围年 NDVI 最大化值,并进行全区平均,以代表不同坡度范围植被覆盖总体变化趋势(表 2)。结果显示,各坡度等级植被覆盖总体状况均有较明显的好转趋势,其中以 0°-6°和 6°-15°坡地植被恢复态势最为明显,其线性斜率分别为 0.0077 和 0.0064 (P<0.05),其次为 15°-25°坡地和 >25°的陡坡地,斜率均为 0.0056(P<0.05)。

表 2 不同坡度区域平均年最大 NDVI 变化斜率

坡度范围 (°)	所占面积 (%)	最小变率 (10 ⁻² /a)	最大变率 (10 ⁻² /a)	变化范围 (10 ⁻² /a)	平均变率 (10 ⁻² /a)	标准差
0-6	63.15	-6.72	-6.72	11.35	0.77	0.91
6-15	32.44	-2.65	4.48	7.13	0.64	0.81
15-25	4.08	-2.18	3.59	5.77	0.56	0.78
>25	0.33	-0.98	3.36	4.35	0.56	0.76

坡度大于 15°的坡地主要分布在丘陵沟壑区、秦岭北麓、泾河中上游、北洛河中上游地区(图略),由于 NDVI 数据

的空间分辨率较粗加之流域内陡坡地具有空间分布较为破碎分散的特点,并没有体现出较为明显的恢复或退化趋势;小于 15°的坡地中,绝大部分 NDVI 与时间呈显著的正相关关系(P<0.05)。位于丘陵沟壑区的吴旗等县坡地植被恢复趋势最为明显,泾河中游、北洛河中上游以及渭河上游(靠近葫芦河)等地区也有明显好转趋势。流域整体与小于 15°的坡地植被覆盖呈现出的变化规律基本类似,退耕后坡地植被恢复态势明显,尤其是水土流失剧烈的丘陵沟壑区。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1)渭河流域六盘山、子午岭、秦岭北麓和关中盆地一带各有一条 NDVI 高值区。西南部渭河源区通渭、漳县、武山三县部分地区的植被覆盖较好,中东部子午岭山系的山川区林地各县覆盖率也较高,流域中部的黄土塬区次之,黄土高原丘陵区最低。

(2)1999 年大范围退耕以来,NDVI 值先降后升,于 2000 年达到谷底,于 2002 年一度达到 0.290 左右,2002 至 2010 年间小幅震荡上升。空间分布上,植被覆盖呈整体改善,局部恶化趋势。轻微改善、中度改善、明显改善的区域所占面积分别为 29.35%、26.49%和 8.21%,另有 6.59%的土地轻微退化。84 个县(市)中只有 9 个县(市)变化率出现负值,斜率变化相对较大的区域主要分布在渭河干流及泾河上游、马莲河上游、北洛河中游一带。NDVI 变化斜率出现负值的区域大多位于渭河中下游、泾河中上游地区。

(3)各坡度范围植被覆盖状况均有较明显的好转趋势,其中以 0°-6°和 6°-15°坡地植被恢复态势最为明显,其线性斜率分别为 0.0077 和 0.0064(P<0.05),其次为 15°-25°坡地和 >25°的陡坡地,斜率均为 0.0056(P<0.05)。空间分布上,坡度大于 15°的坡地主要分布在丘陵沟壑区、秦岭北麓、泾河中上游、北洛河中上游地区。大于 15°的坡地植被覆盖并没有体现出较为明显的恢复或退化的趋势;小于 15°的坡地中,绝大部分 NDVI 与时间呈显著的正相关关系(P<0.05)。位于丘陵沟壑区的吴旗等县坡地植被恢复趋势最为明显,泾河中游、北洛河中上游以及渭河上游(靠近葫芦河)等地区也有明显好转趋势。

4.2 讨论

本文研究了近 13 年渭河流域植被覆盖状况的时空演变特征,发现泾河流域中部的西峰、庆阳、镇原及其周边县(市)植被轻微退化,渭河中下游西安等平原区的 NDVI 值有下降趋势,上述分析与刘志红^[5]、孙艳萍^[6]、刘咏梅^[7]、李登科^[8]和张宝庆^[10]等人在相近区域的研究结果非常一致。造成该区植被覆盖变化的原因包括两方面,分别为气候变化和人类活动。首先,全球气候变化早已成为不争的事实,但气候变化对于生态环境的影响是一个相当漫长的过程,在近 13 年时间里,该地区降水和气温等气候要素变化并不明显^[17],如此之小的变化不应该也不可能造成 NDVI 如此显著的变化;另一方面,近 13 年来该区退耕还林(草)、水源涵养工程等生态环境建设成效显著^[5-10,16],城市化进程也不断加快^[17],上述两点原因的共同作用使得该区植被覆盖发生了明显变化,这一结论与其

他学者的研究结论^{[5-10],[6]}非常一致,也由此可以得出,大规模的植被建设和城市化建设才是造成地区植被覆盖产生较大变化的主导因素。尽管本研究取得了一些有意义的结论,但还存在以下几点不足。其一,本研究在数据处理过程中为了做到不同数据在相同分辨率条件下进行分析,对 DEM 重采样至 1km 分辨率,其结果可能低估了地面起伏状况和坡度变化范围,从而对分析结果造成影响;其二,研究仅仅分析了不同土地利用类型和坡度对 NDVI 的影响,而并未就坡向、地表起伏等其他要素进行分析,考虑的因素还不够全面。因此,有关该区在退耕还林(草)背景下植被覆盖时空变化的研究还有必要进一步深入。

参考文献:

- [1] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国植被覆盖变化及其与气候因子的关系——基于 NOAA 时间序列数据[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204- 210.
- [2] 唐克丽,张科利. 渭河流域人为加速侵蚀与全球变化[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 88- 96.
- [3] Xin Zhongbao, Xu Jiongxin, Zheng Wei. Spatiotemporal variations of vegetation cover on the Chinese Loess Plateau (1981- 2006): Impacts of climate changes and human activities[J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2008, 51(1): 67- 78.
- [4] 张翀,任志远. 黄土高原地区植被覆盖变化的时空差异及未来趋势[J]. 资源科学, 2011, 33(11): 2143- 2150.
- [5] 刘志红,郭伟玲,杨勤科,等. 近 20 年黄土高原不同地貌类型区植被覆盖变化及原因分析[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(1): 16- 23.
- [6] 孙艳萍,张晓萍,徐金鹏,等. 黄土高原水蚀风蚀交错带植被覆盖时空演变分析[J]. 西北农林科技大学学报, 2012, 40(2): 143- 150, 156.
- [7] 刘咏梅,李京忠,夏露. 黄土高原植被覆盖变化动态分析[J]. 西北大学学报, 2011, 41(6): 1054- 1058.
- [8] 周洪建,王静爱,岳耀杰,等. 人类活动对植被退化/恢复影响的空间格局——以陕西省为例[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4848- 4856.
- [9] 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[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 120- 127.
- [10] 张宝庆,吴普特,赵西宁. 近 30 a 黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 287- 293.
- [11] 渭河流域近期重点治理规划编制组. 渭河流域近期重点治理规划[R]. 北京:中华人民共和国水利部, 2003.
- [12] 张钰娴,王飞,穆兴民. 地理环境要素与渭河流域水沙关系的定量研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2009, 37(01): 61- 65.
- [13] 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.
- [14] Jarvis A, Rubiano J, Nelson A, et al. Practical use of SRTM data in the tropics- Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data [R]. Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2004.
- [15] 冉有华,李新,卢玲. 四种常用的全球 1 km 土地覆盖数据中国区域的精度评价[J]. 冰川冻土, 2010, 31(3): 490- 500.
- [16] 陈操操,谢高地,甄霖,等. 泾河流域植被覆盖动态变化特征及其与降雨的关系[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 925- 937.
- [17] 焦彩强,王飞,穆兴民,等. 渭河流域气候变化与区域分异特征[J]. 水土保持通报, 2010, 30(5): 27- 32.