

基于 NDVI 的延河流域时空演变分析

宋敏敏¹, 张青峰¹, 吴发启¹, 吴秉校¹, 吴 驳²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:利用 8 年的 MODIS NDVI 构建时序数据集, 分析了延河流域 2003—2010 年植被覆盖度的时空格局和演变规律。借鉴时空数据分析模型, 以栅格像元为分析单元, 对该流域研究时段的绿度变换率进行计算分析, 并利用像元二分模型对 2003 年和 2010 年地表植被覆盖度进行反演。结果表明: (1) 延河流域植被生长状况总体呈改善趋势, 延安南部林区、宝塔区东南部以及延长县中部植被覆盖度较好且较稳定; (2) 安塞县中南部、延长县大部以及杏子河中游的王瑶水库周边区域植被恢复效果显著; (3) 在宝塔城区和城市重点开发区域植被出现退化趋势。经分析, 引起该流域局部植被退化主要是由于不合理的土地利用方式以及城市开发建设造成的植被破坏。基于像元的变化趋势分析更易于体现区域 NDVI 时空演变的细节信息。

关键词:MODISNDVI; 时空演变; 栅格像元分析; 趋势分析; 植被覆盖度

中图分类号:TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)04-0006-06

Spatiotemporal Variation of NDVI in Yanhe Basin

SONG Minmin¹, ZHANG Qingfeng¹, WU Faqi¹, WU Bingxiao¹, WU Bo²

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,

China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Using MODIS NDVI of 8 years to build time series data sets and analyze the vegetation coverage temporal pattern and evolution of Yanhe Basin from 2003 to 2010. Using spatio-temporal data model and the grid pixel as units, and calculating GRC from 2003 to 2010, the vegetation coverage about 2003 and 2010 was inverted. The results showed that: (1) the vegetation growth tended to be improved in Yanhe watershed, vegetation coverage of southern Yan'an region and southeast of Baota District and county in the central extension of was better and more stable; (2) vegetation was significantly restored in South Ansai County, Yanchang County and the major part of Wangyao reservoir in middle area of Xingzihe; (3) vegetation presented the degradation trend in urban and urban key development areas. The local vegetation degradation was mainly caused by the unreasonable land use and the vegetation destruction caused by the urban development. Pixel-based analysis is more easy to reflect the spatial and temporal evolution of regional NDVI details.

Keywords: MODIS NDVI; spatiotemporal variation; grid pixel analysis; trend analysis; vegetation coverage

林草植被是土地覆盖的最主要部分, 具有明显的年际和季节变化特点, 在保持水土、涵养水源、改善流域生态环境方面起很大作用^[1-2]。一地区植被的生长状况可以通过计算植被覆盖度得到, 两者之间具有正相关性。植被覆盖度是判断土壤侵蚀模数、区域水土流失状况, 特征及成因的重要指标。植被覆盖信息的变化对全球能量循环及物质生物化学循环具有重要的影响, 与区域生态系统环境的变化以及景观格局等均具有密切联系^[3-5]。黄土丘陵沟壑区大多属于半干

旱区, 半干旱地区植被是陆地生态系统的重要组成部分, 它的变化对改善半干旱区的水土流失和荒漠化状况有不可忽视的作用^[6]。延河流域作为黄土丘陵沟壑区严重水土流失区之一, 以像元尺度分析其植被时空演变特征的研究, 尚不多见。因此, 本文以延河流域为研究对象, 探讨半干旱区植被覆盖度年际间的变化规律, 为评价半干旱区生境质量, 以及调节生态系统提供参考^[7]同时为进一步研究该流域土地资源的可持续利用和生态环境建设提供基础^[8]。

收稿日期: 2016-10-28

修回日期: 2016-11-17

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD29B09-1); 国家“973”重点基础研究项目(2007CB407201-5); 国家自然科学基金(41271288)

第一作者: 宋敏敏(1992—), 女, 河南平舆人, 硕士, 研究方向为水土保持与“3S”应用研究。E-mail: Songminen@163.com

通信作者: 张青峰(1974—), 男, 山西孝义人, 副教授, 博士生导师, 研究方向为土地资源与空间信息技术研究。Email: zhqf@nwsuaf.edu.cn

吴发启(1957—), 男, 陕西黄陵人, 教授, 博士生导师, 研究方向为水土保持与 GIS 应用。E-mail: wufaqi@263.net

植被覆盖度的遥感量测是基于一定的植被指数反演得到的,植被指数类型选择对于区域植被覆盖度的反演结果有较大影响。研究证明,归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)是监测地区和全球植被和生态环境的有效指标,是反演植被覆盖状况的最佳指示因子^[9]。由于 NDVI 对高植被区较低的敏感性,NDVI 更适用于植被发育中期或中等覆盖度的植被监测^[10]。本文通过 GIS 与 RS 技术的结合,参考前人在时空序列分析方面的研究,综合考虑该流域植被生长和季节变化特征,同时选用中等空间分辨率的 Landsat-TM 数据和时间分辨率较高的 MODIS 数据,利用二者各自的优势,选择适宜的月份,构建 NDVI 时序数据集,以栅格像元为分析单元构建植被长势变化趋势分析模型,通过对延河流域 2003—2010 年长时间序列 NDVI 植被指数的研究,采用最大值合成、时序栅格像元趋势分析法,对延河流域的植被覆盖时空变化做出分析,探讨研究时段延河流域植被覆盖变化的趋势,为研究该流域植被演变规律和黄土高原流域的综合治理提供参考。

1 研究区概况

研究区延河流域位于陕西省延安市中部,位于 108°45′—110°28′E 和 36°23′—37°17′N。延河是黄河右岸、中游区上段河口镇至龙门段的一级支流,发源于陕西省靖边县东南天赐湾乡周山,由西北向东南流经志丹、安塞、宝塔、延长等县(市),在延长县南河沟乡凉水岸附近汇入黄河。延河干流总长 286.9 km,流域面积约 7 729 km²,平均坡度为 4.3‰,河网密度约为 4.7 km/km²,主要支流有杏子河、西川、蟠龙川和南川等。海拔 495~1 795 m,延安城区海拔 957.6 m。该流域属暖温带大陆性半干旱季风气候,年平均气温 8.8~10.2℃,年均降雨量为 520 mm,其中 6—9 月降雨量较大,约占全年降雨量的 75%。流域植被区划属于森林草原地带,多为人工种植而形成的次生植被和干旱草本植物。土壤类型多为黄土母质上发育的黄绵土,土壤质地均一,土质疏松,抗侵蚀能力差。流域从北向南可分为草原带、森林草原带、森林带 3 个植被带^[11-12],不同植被带之间植被状况差异明显,地形地貌特征亦有所差异,土地利用状况表现出不同的特征。该流域的作物主要为玉米、果园、蔬菜等,作物受季节影响较大,6—9 月植被覆盖度较高。

2 数据与方法

2.1 数据来源及预处理

本研究主要利用区域 NDVI 借助于时空数据分析模型展开植被长势的动态监测。目前对于较大区

域利用遥感影像估算 NDVI 的数据源一般选用 Landsat-TM 影像和 MODIS 卫星影像,利用 MODIS 卫星影像生成的 NDVI 合成产品的分辨率为 250 m,时序性强且可以免费获取,因此选用该数据进行演变分析。本文使用数据源是中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://www.gscloud.cn>)提供的,MODIS 数据是中国区域 NDVI 植被指数月合成产品,该产品是由 MOD(MYD)09 GA 中国区域影像经预处理与 MVC 法合成后得到,范围为中国陆地区域,坐标系为 WGS-84,空间分辨率 250 m。综合考虑该流域气候条件、林草生长状况和耕地农作物生长季相,NDVI 自身的时滞效应等影响因素,选择了 2003—2010 年这 8 a 期中各年度 6—9 月的月合成产品进行分析。在 ArcGIS 10.3 平台上,将利用 30 m 分辨率的 DEM 提取的延河流域矢量边界与各年 NDVI 数据进行投影变换,然后利用 Spatial Analyst Tools 进行掩膜提取分析,并利用最大值合成法,获得该流域的 NDVI 数据。

为了更精确反演植被覆盖度,本研究利用 Landsat 5 卫星多光谱数据和 MODIS 数据做栅格像元间的相关分析,Landsat 数据虽然时序性较差,但空间分辨率为 30 m,可以作为对 MODIS 数据计算结果的补充和验证。选取 3 期云量较少和植被覆盖较好的数据作为 MODIS 数据植被覆盖度验证的样本数据,获取时间分别是 2003 年 6 月、2006 年 9 月、2010 年 7 月。Landsat 数据的预处理主要是利用 ENVI 5.3 进行辐射校正、大气校正、几何校正和掩膜提取等,并投影转换为与 MODIS 一致的投影坐标。几何校正的误差都控制在 0.5 个像元以内。最后利用大气校正后的红波段和近红外波段光谱反射率数据计算 NDVI,同样采用像元二分模型计算植被覆盖度。

2.2 研究方法

2.2.1 NDVI 时序分析原理 本文基于遥感影像时序分析方法中的序列快照时序模型原理,该模型是基于每个时间单位的属性叠加记录,无需显式表达对象局部变化^[13]。首先保证各 NDVI 的分辨率与参与分析的栅格数据的分辨率相同,在数据按时序叠加排列基础上,分析同一栅格像元位置多年期的 NDVI 变化趋势,通过栅格计算得出分析结果。时空数据分析模型是在传统空间数据分析模型中增加时间维,着重表达时空过程中的时序和时空因果关系,辅助对于对象属性发展趋势和规律的分析^[14]。本文将每年最大值合成方法得到的 NDVI 数据作为一个分析单元,保证每一栅格像元在进行趋势分析时,其属性排列是有序的。

2.2.2 时序栅格像元趋势分析 每一栅格像元位置的多年 NDVI 值随时间变化,均会呈现出上升或下降趋势,主要的评价指标是进行基于像元的 NDVI

趋势分析,利用最小二乘法,构建像元时序 NDVI 值的线性回归方程,分析各像元位置变化趋势。前人的相关研究中将其定义为绿度变换率(Greenness Rate of Change, GRC)^[15]。

$$GRC = \frac{\sum_{i=1}^n (i - \bar{i}) (NDVI - \bar{d})}{\sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2} = \frac{n \sum_{i=1}^n i NDVI - (\sum_{i=1}^n i) \cdot (\sum_{i=1}^n NDVI)}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中: n 表示参与分析的时间单位量,本文中以年为单位计数; i 为依时间序列的单位累积量,即为从起始年后的第 i 年, $i \in (0, n]$; NDVI 即为第 i 年经最大值合成法合成后的年 NDVI 值。 $GRC > 0$, 则说明 NDVI 值在 n 年间有增加的趋势; 若 $GRC < 0$, 则呈减少趋势; GRC 绝对值越大, 则说明植被覆盖状况变化越明显。

在实际的趋势分析中,常规的统计软件往往基于一时间点的单值属性数据进行趋势分析。而区域的 MODIS NDVI 数据是固定分辨率的栅格数据,每一栅格像元的灰度值代表该栅格域的属性值,多年属性值的变化趋势分析便是对每一时间单位属性栅格以一定时空分析模型组织起来的数据集的分析。依据连续快照模型原理,对于同一栅格像元位置,对时间维 t 上的 t_0, t_1, t_2 时间点处的栅格进行趋势分析,便是对该位置的栅格属性值构建趋势分析函数,即:

$$Y = f(ND_0, ND_1, ND_2) \quad (2)$$

以栅格像元作为分析单元,能够减少人为数据处理对趋势分析的影响,提高分析精度。本文利用 Python 语言调用 Arcpy 站点包,执行栅格计算函数。经分析得出 NDVI 变化趋势后,使用 R^2 对结果的拟合优度进行检验,为简化栅格分析,判断系数 R^2 由公式(3)进行计算:

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d}_1)^2}{GRC^2 \sum_{i=1}^n (i - 1)^2} + 1 \right]^{-1} \quad (3)$$

其中 \bar{d}_1 是第 i 年由方程拟合后获得的 NDVI 值, $\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d}_1)^2$ 反映了多年合成 NDVI 与回归方程拟合值的偏离,即为两者的残差平方和^[16]。同样调用 Arcpy 进行栅格分析,结果可得到像元尺度的多年 NDVI 变化趋势拟合优度栅格数据集。

2.2.3 植被覆盖度估算及分析 植被覆盖度(Vegetation Coverage, VC)是指植被冠层在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比。利用像元二分模型对 NDVI 进行植被覆盖度的反演,在研究区地表情况未知或无法获取植被覆盖度实际量测样点值时,通常对研究区的 NDVI 作置信度检验,取累计频率在 5% 和 95% 的 NDVI 值分别作为区域的 NDVI

极小值(NDVI_{min})和 NDVI 极大值(NDVI_{max}),对区域 NDVI 栅格数据依据如下公式估算植被覆盖度^[17]。目前对于低分辨率影像反演的植被覆盖度的精度验证,一般是借用同区域较高分辨率的影像,结合地表实测数据进行评价^[18]。因此同样用像元二分法,计算 2006 年 Landsat 和 MODIS 的 VC,计算之前保证两种数据源的时相一致。

$$VC = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \quad (4)$$

3 结果与分析

3.1 NDVI 年际变化及空间格局

根据研究区 NDVI 统计结果(表 1),从年际变化上看,2003—2010 年 NDVI 均值表现出上升的趋势,表明植被覆盖区域总体在不断增加。NDVI 均值变化情况为:从 2003—2004 年增加 0.084,增加率为 14.28%;2004—2005 年减少 0.198,减少率为 29.46%;2005—2006 年显著增加 0.203,增加率为 42.83%;2006—2007 年增加 0.008,增加率为 1.18%;2007—2008 年显著减少 0.007,减少率为 1.02%;2008—2009 年增加 0.013,增加率为 1.92%;2009—2010 年增加 0.003,增加率为 0.43%。可以看出从 2006 年以后,变化率均较小,说明之后植被变化较稳定。从空间格局上看,高植被覆盖区由 2003 年集中分布在流域中下游,靠安塞县南部边缘地区逐渐向流域西北部增加,其中靠近安塞县城和杏子河中游的王瑶水库这一区域 NDVI 值明显增加,到 2010 年,NDVI 高值区继续往下游河口处扩展,流域中游南部边界区域 NDVI 表现的最稳定且一直保持高植被覆盖的特征。NDVI 时空数据共同表明,2003—2010 年期间,研究区 NDVI 整体呈现出上升的趋势,流域内植被覆盖明显改善。各年的标准差均较小,说明 NDVI 变化均较为平缓,幅度比较小。

表 1 研究区 2003—2010 年 NDVI 计算值统计

年份	最大值	最小值	均值	标准差
2003	0.976	0.345	0.661	0.083
2004	0.997	0.347	0.672	0.097
2005	0.938	0.309	0.623	0.096
2006	0.998	0.355	0.677	0.099
2007	0.997	0.377	0.685	0.089
2008	0.999	0.336	0.678	0.092
2009	0.997	0.385	0.691	0.076
2010	0.998	0.389	0.694	0.098

3.2 时序栅格像元趋势分析结果

通过对该流域多年 NDVI 数据进行变化趋势分析,得出基于像元的 GRC 分析结果,经统计相关系数显著性检验,对 GRC 采用重采样中的自然间断点

分级法^[19]进行分级,划分为严重退化、轻度退化、基本不变、轻微改善和明显改善 5 级。其中各级的 GRC 取值范围,与相应分级结果在该流域的分布面积及百分比见表 2。统计结果可以定量看出,延河流域整体的多年 NDVI 变化相对平缓,约有 1/3 的区域基本保持不变,NDVI 改善趋势区所占面积多于退化区。

表 2 2003—2010 年延河流域 GRC 分级结果统计

GRC 取值范围	植被变化 程度	面积/ km ²	占总面积 百分比/%
[−0.036,0.045)	严重退化	715.73	9.27
[0.045,0.142)	轻度退化	1855.06	24.03
[0.142,0.231)	基本不变	2445.86	31.68
[0.231,0.333)	轻微改善	1958.36	25.37
[0.333,0.762]	明显改善	745.25	9.65

参考前人对该流域进行分区分析的经验,把整个流域分为上(河源—化子坪)、中(化子坪—甘谷驿)、下游(甘谷驿—河口)三河区。由图 1 可以看出,上游明显退化区集中在靖边县和志丹县,这是由于该区域为崂梁丘陵沟壑区,地貌梁多而峁小,河床比降较大,受气候等多种因素影响,植被生长环境差,侵蚀强烈,水土流失严重,生态环境脆弱;安塞县中部植被覆盖明显改善,可能是市区绿地建设,生态、工程措施修建以及公园等休闲设施的建设等原因;另外,位于王瑶乡的王瑶水库及其周围区域,NDVI 值明显增加,这是由于政策和资金的支持,采取了有效的工程护库措施,退耕还林还草、覆被护坡、库区移民等人为措施能较好地改善水库周边小气候。

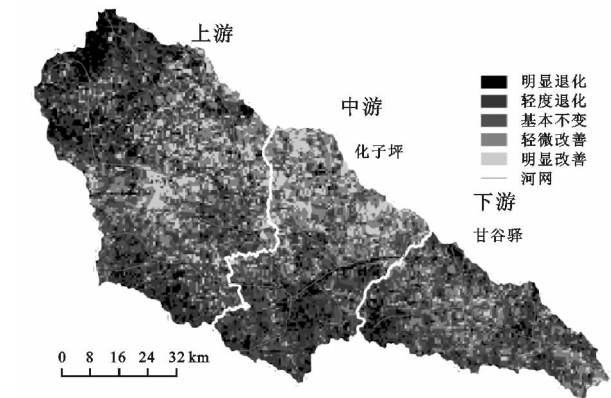


图 1 延河流域 2003—2010 年 GRC 示意图

真武洞至甘谷驿的中游,为崂状丘陵沟壑区,梁窄峁小,河谷宽阔,阶地发育,侵蚀不像上游那样严重,所以植被覆盖范围不断扩展,宝塔区北部旅游资源相对集中,特别是延安以南地区森林广布,NDVI 值明显改善,但是中部、南部城区,由于城市改造建设,使原有的植被遭到破坏,退化趋势显著。甘谷驿至河口下游,为破碎

塬区,塬面窄小,冲沟发育,水土流失也比较严重,由于耕作粗放,方式简单,导致农作物产量比较低,且大面积的耕种使地表植被遭到破坏,另外该县有石油煤炭等矿产资源,开矿、生产加工等各个环节都会对植被有极大影响,这就导致该区域 NDVI 有退化趋势,中部林草区 NDVI 值相对稳定。总体上看该流域植被是朝改善的方向发展,植被恢复状况趋势良好。

通过栅格数据线性拟合优度分析可知,区域 GRC 拟合优度在多数区域表现较好,这与属性变量自身性质相关。结合区域植被的自然生长和社会环境分析,该研究范围属于植被长势变化相对较大区,多年 NDVI 合成值表现出明显改善的趋势,所以在植被明显改善或是明显退化区,GRC 绝对值出现极值,而占有 31.68%的稳定不变区,GRC 值接近于 0,分析结果显示,各栅格像元位置的多年 NDVI—GRC 有 80%都低于 0.5。在上游较陡的沟壑区、王瑶水库以及宝塔区部分区域 R^2 值大于 0.5,拟合效果较好,反映这些区域的 NDVI 存在较大变化。

3.3 植被覆盖度分析结果

利用像元二分模型,对 2003 年和 2010 年延河流域 MODIS 数据植被覆盖度进行遥感估算,根据公式(4),逐像元计算出植被覆盖度,得出该流域植被覆盖度图,结果如图 2 所示,并将计算后的结果分级统计,同样采用自然间断点分级法,分级标准参考前人经验,分为低覆盖[0%~30%)、中低覆盖[30%~45%)、中覆盖[45%~60%)、中高覆盖[60%~75%)、高覆盖[75%~100%]五级。

根据图 2 可以得出该流域植被覆盖度的统计结果(图 3)。研究区总面积是 7 729 km²,水域及水利设施用地占地面积是 820 km²,占总面积的 10.61%,其他土地利用类型全部计入植被覆盖度统计范围。经统计,2003 年低覆盖的面积是 2 772.87 km²,占总面积的 37.08%;中低覆盖的面积是 1 647.58 km²,占总面积的 22.38%;中覆盖的面积是 1 354.26 km²,占总面积的 18.11%;中高覆盖的面积是 869.65 km²,占总面积的 11.63%;高覆盖的面积是 1 030.01 km²,占总面积的 13.78%。2010 年低覆盖的面积是 1 899.31 km²,占总面积的 25.40%;中低覆盖的面积是 1 280.66 km²,占总面积的 17.13%;中覆盖的面积是 1 321.91 km²,占总面积的 17.68%;中高覆盖的面积是 1 304.84 km²,占总面积的 17.43%;高覆盖的面积是 1 867.66 km²,占总面积的 24.98%。在 2003 年,宝塔区北部以及延长县的大部分区域的植被覆盖度较低,而到 2010 年,这些区域的植被覆盖有明显的提升,说明生态环境和区域退耕还林,荒山绿化成效明显。在安塞县以及水库周围,植被覆盖度也有小幅回

升。位于流域上游的靖边县、志丹以及安塞县的西北部植被覆盖度比较稳定且整体为中低覆盖。通过植被覆盖度对比分析,各县区在研究起始年和终止年的植

被覆盖度变化趋势与多年 GRC 分析结果一致,由于 NDVI 与植被覆盖度呈正相关,通过植被覆盖度分析,验证了 GRC 分析结果的合理性。

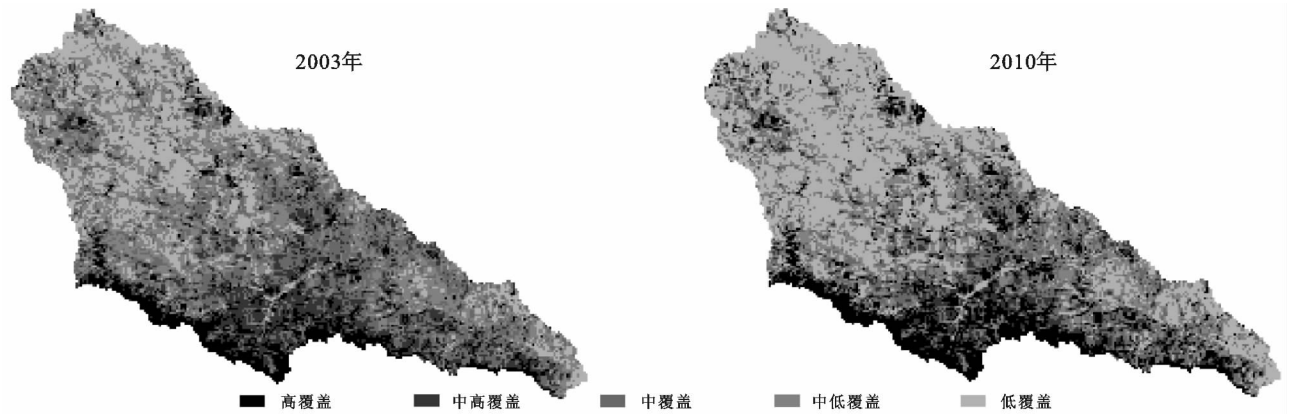


图 2 延河流域 2003 年与 2010 年 MODIS 数据的植被覆盖度示意图

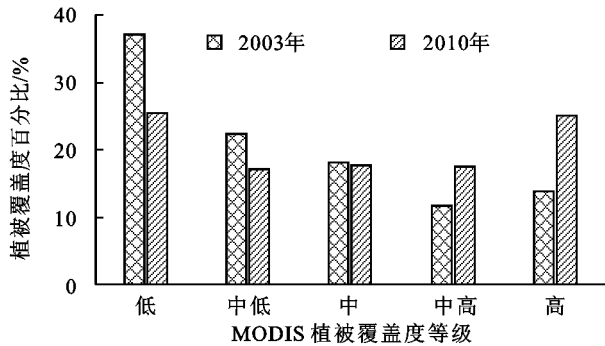


图 3 2003 年和 2010 年植被覆盖度不同等级比例

为保证栅格像元之间的运算,同时选用时相一致^[20]的两种数据源 NDVI 数据进行植被覆盖度估算,采用同种色带和同种属性的数据框显示,结果见图 4,由于分辨率差异以及对 Landsat 数据栅格像元取均值会产生平滑效应等原因,会导致两种数据源估算出的植被覆盖度在视觉上有差异,但是可以达到为低分辨率影像反演植被盖度的精度验证提供参考的目的。具体操作方法是按照 Landsat 数据中心点所在经纬度坐标,对 MODIS 数据选取一个 9×9 的栅格像元,选取样本的时候尽量选取灰度值差异较大且地物属性相对明显的区域,以便于拟合分析更有意义。然后计算 MODIS 样区对应的 Landsat 数据栅格像元的均值,在 ArcGIS 中导出 ASCII 文本文件,然后把 MODIS 数据 9×9 像元对应的植被覆盖度信息与 Landsat 数据植被覆盖度的均值进行回归分析(图 5),可以得出 MODIS 数据估算的植被覆盖度与对应的 Landsat 数据植被覆盖度的线性回归系数为 0.5462,常数项为 0.23, R^2 为 0.596,显著性较为明显;残差平方和为 0.153,中误差为 0.069,可以看出中误差相对较小,可以看出 MODIS 数据估算植被覆盖度和 Landsat 数据植被覆盖度相差不大,估算精度还是相对较高的。

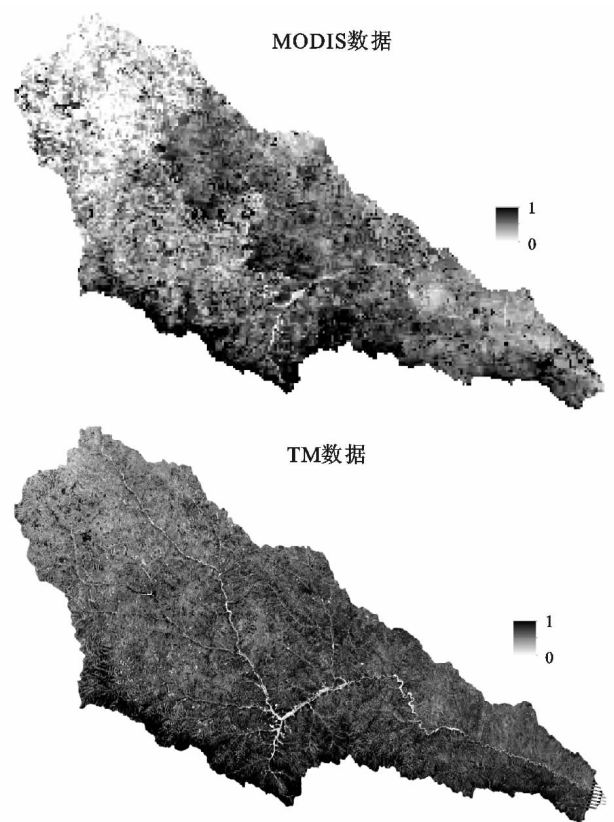


图 4 2006 年 MODIS 和 TM 植被覆盖度结果

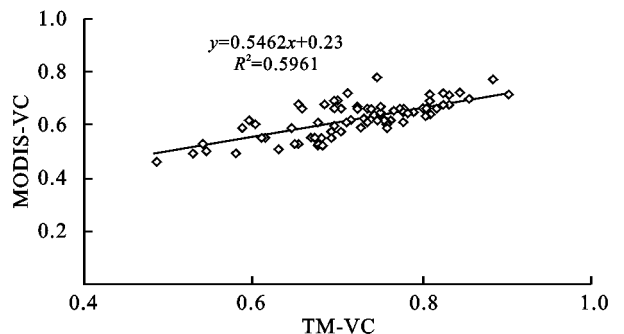


图 5 MODIS 数据植被覆盖度和其对应的 TM 数据植被覆盖度散点图

4 结论与讨论

本文在研究中,以区域年 NDVI 作为分析对象,以栅格像元作为研究的基础单元,有别于对研究区范围取时间单位上 NDVI 均值或最大值进行演变趋势研究的传统方式,保证了数据的完整性,提升了分析精确性,减少人为数据处理带来的误差,使分析结果更加全面可靠,并能够更加直观地反映延河流域 NDVI 时空演变趋势。从总体上看,延河流域 2003—2010 年的 NDVI 值明显增加,特别是宝塔区北部和延长县南部,植被恢复良好,在新建城区和开发区 NDVI 有减少趋势。上游沟壑区和延安以南林区变化趋势较小,这是最近几十年对上游重点治理的结果,下游水土条件较适宜植被生长,加上人为的防护,使下游植被显著改善,退化区主要集中在中游农耕区和新城区附近,据此可以推断,该流域植被退化的主要原因是不合理的农耕方式以及人为的城区建设,温度、降水量^[21]等气候条件也是影响该流域植被的重要因素,下一步将继续探讨。王正杲^[22]在进行延河流域水土保持生态建设规划方案研究时,根据延河流域植被覆盖分布、水土流失现状等将延河流域从上游到下游依次划分为重点治理区、重点监督区、重点预防保护区。与本研究分区讨论和结果基本保持一致。

MODIS 数据估算结果可以用来分析延河流域八年来的植被覆盖度的演变规律。但是,由于 NDVI 数据自身存在误差,主要来自于数据获取环境和数据合成方法带来的误差,尽管用 30 m 空间分辨率的 Landsat 数据进行了分析验证,但是样区有限,一些误差仍然是不能完全消除的,目前还很难找到两种在时间上精确匹配的数据,因此,NDVI 数据在做变化趋势分析和反演植被覆盖度时,与真实情况也存在偏差,如果需要较精确地计算区域的植被覆盖度,仍需后期进行实地采样验证。

参考文献:

- [1] 孙红雨,李兵. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J]. 遥感学报,1998,2(3):204-210.
- [2] 范娜,谢高地,张昌顺,等. 2001 年至 2010 年澜沧江流域植被覆盖动态变化分析[J]. 资源科学,2012,34(7):1222-1231.
- [3] 甘春英,王兮之,李保生,等. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J]. 地理科学,2011,31(8):1019-1024.
- [4] 孙恺,杨延征,赵鹏祥,等. 基于遥感技术的西安城市景观格局时空演变及分析[J]. 西北林学院学报,2015,30(2):180-185.

- [5] 孟京辉,陆元昌,Christoph K,等. 基于遥感的景观格局时空动态研究[J]. 西北林学院学报,2010,25(1):207-211.
- [6] 潘耀忠,李晓兵,何春阳. 中国土地覆盖综合分类研究:基于 NOAA/AVHRR 和 Holdridge PE[J]. 第四纪研究,2000,20(3):270-281.
- [7] 古丽扎提·哈布肯,赵景波. 新疆阿勒泰地区近 50 年来极端气温与降水变化[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(7):112-116.
- [8] 朱恒峰,赵文武,康慕谊,等. 延河流域土地利用格局时空变化与驱动因子分析[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(8):17-22.
- [9] 国志兴,王宗明,宋开山,等. 1982—2003 年东北林区森林植被 NDVI 与水热条件的相关分析[J]. 生态学杂志,2007,26(12):1930-1936.
- [10] Tucker C J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation [J]. Remote Sensing of Environment, 1979,8(2):127-150.
- [11] 陈淑娟,温仲明. 延河流域地带性物种分布对未来气候变化的响应[J]. 水土保持学报,2011,25(1):157-161.
- [12] 侯庆春,韩蕊莲,李宏平,等. 关于黄土丘陵典型地区植被建设中有关问题的研究引用[J]. 水土保持研究 2000,7(2):102-110.
- [13] Holm A M R, Cridland S W, Roderick M L. The use of time-integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia[J]. Remote Sensing of Environment, 2003,85(2):145-158.
- [14] 陈新保, Li S N,朱建军,等. 时空数据模型综述[J]. 地理科学进展,2009,28(1):9-17.
- [15] 陈学兄,张小军,陈永贵,等. 陕西省 1998—2008 年植被覆盖度的时空变化研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2013,38(6):674-715.
- [16] 刘爱利,王培法,丁圆圆. 地统计学概论[M]. 北京:科学出版社,2012.
- [17] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学,2004,26(4):153-159.
- [18] 许旭,李晓兵,梁涵玮,等. 内蒙古温带草原区植被盖度变化及其与气象因子的关系[J]. 生态学报,2010,30(14):3733-3743.
- [19] 于伯华,吕昌河. 青藏高原高寒区生态脆弱性评价[J]. 地理研究,2011,30(12):2289-2295.
- [20] 李钰澈,贾坤,魏香琴,等. 中国北方地区植被覆盖度遥感估算及其变化分析[J]. 国土资源遥感,2015,27(2):112-117.
- [21] 靖娟利,王永锋. 西南岩溶区 NDVI 时空变化及其与气候因子的关系[J]. 水土保持研究,2016,23(5):169-174.
- [22] 王正杲. 延河流域水土保持生态建设规划方案研究[D]. 南京:河海大学,2005.