

文章编号: 1006-4710(2011)02-0145-06

# 文安驿流域植被覆盖度时空分异 及其与地貌因子关系研究

程圣东<sup>1</sup>, 李占斌<sup>1,2</sup>, 鲁克新<sup>1</sup>, 李鹏<sup>1</sup>, 张林红<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 从流域尺度对黄土高原地区植被覆盖度状况进行动态监测, 定量分析其与地貌间因子的关系。以文安驿流域为研究区, 利用多时相遥感数据测算植被覆盖度, 综合运用 GIS 空间分析和数字地形分析方法, 对研究区植被覆盖度时空分异规律及其与地貌因子的关系进行分析。结果表明: 近十年来文安驿流域植被覆盖度总体呈上升趋势, 2007 年比 2002 年恢复的幅度更大; 流域植被覆盖度随海拔高度的增加均呈下降趋势; 植被覆盖度随着坡度的增大而减少, 相对 1999 年, 2007 年在大于 25° 坡度范围的植被覆盖度比 2002 年的增幅大; 流域植被覆盖度北坡相对较高, 南坡相对较低, 各个坡向的植被覆盖度大小呈现一致性规律。

**关键词:** 黄土高原; 流域植被覆盖度; 地貌因子; 时空分异; 遥感和地理信息系统技术

中图分类号: S157.2 文献标志码: A

## Spatio-Temporal Variations in Vegetation Coverage and Correlation with Geomorphologic Factors in Wenanyi Watershed

CHENG Shengdong<sup>1</sup>, LI Zhanbin<sup>1,2</sup>, LU Kexin<sup>1</sup>, LI Peng<sup>1</sup>, ZHANG Linhong<sup>1</sup>

(1. Key laboratory of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE,

Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. State Key laboratory of Soil Erosion and Dry Land Farming on Loess Plateau, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The factor relationship of the vegetation coverage on the Loess Plateau is monitored dynamicaly, whose coupling relationship between the variation of vegetation coverage and watershed geomorphological factors is also analyzed in a quantitative way in watershed scale. With Wenanyi watershed as the research area, the calculated watershed vegetation coverage from multi-temporal remote sensing data and the spacial analysis and GIS digital to pographical analysis method are used to analyse the coupling relationship between the spacial-temporal variation of vegetation coverage and the geomorphological factors in the research area. The research findings indicated that the vegetation coverage in Wenanyi watershed has in resent decade, appeared to have the rising tendency with the vegetation recovearge margin larger in 2007 than in 2002, but the watershed vegetation coverage appears to have the dropping tendency with an increase in the altitude above sea level, and the vegetation coverage decreases with an increase in the slope degree. The vegetation coverage in the range with the slope gradient over 25° has an increasing margin relatively larger in the year of 1999 and 2007 than the year of 2002. Watershed vegetation coverage on the north slope is relatively higher than that on the south slope. Accordingly, vegetation coverage magnitude on each slope direction as a whole appears to have a uniform law.

**Key words:** Loess Plateau; watershed vegetation coverage; geomorphologic indicators; spatio-temporal differences; GIS and RS

收稿日期: 2010-12-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40971161, 41071182)。

作者简介: 程圣东(1983-), 男, 安徽霍山人, 博士生, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: xautcsd@163.com。

李占斌(1962-), 男, 河南镇平人, 教授, 博导, 博士, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: zbli@xaut.edu.cn。

黄土高原地区沟壑纵横,地表破碎,黄土质地松散,抗蚀性能差,加之历史上长期乱垦滥伐,植被破坏殆尽,土壤侵蚀剧烈,水土流失极为严重<sup>[1]</sup>。植被覆盖度(Vegetation Coverage)是影响土壤侵蚀与水土流失的主要因子,在土地沙漠化评价、土壤流失预报模型、水土流失监测和分布式水文模型中是重要的输入参数,是评估土地退化、盐渍化和沙漠化的有效指数<sup>[2]</sup>。流域具有相对独立和完整的地貌特征,是黄土高原长期以来植被恢复和水土流失治理的基本单元,因此从流域尺度着手研究植被覆盖度的时空变化特征及其与地貌因子关系,有利于对这一区域植被恢复的效果进行动态监测、评价以及分析整治<sup>[3-4]</sup>。

利用遥感信息(波段或植被指数)分解建立的植被覆盖度的模型,为快速、大范围、周期性地监测区域植被覆盖度变化情况提供了可能<sup>[5-8]</sup>。同时,地理信息系统技术也为分区过程中有效地辨别区内相似性和区间差异性提供了技术支持<sup>[9]</sup>。植被的形成与变化与所处的地理环境及人类干扰密切相关,而地貌又是决定植被生境要素(如小气候、水文、土壤等)的主导因子<sup>[10]</sup>,通过地貌差异来研究植被空间分布规律,已成为揭示植被与地貌因子之间关系的重要途径<sup>[11]</sup>,目前还没有针对黄土高原植被覆盖度的时空变化与地貌因子关系的研究,特别是从1999年起,该地区实施了大规模退耕还林(草)工程,流域内工程效果如何也是亟待说明的问题。鉴于黄土高原在区域生态环境变化、全球气候演化等方面扮演的重要角色,以及与生态安全和区域安全的紧密联系,有必要加强黄土高原流域植被覆盖度的时空分异特征的研究,以充分认知植被变化的地貌特征和发展规律,为区域资源的可持续利用和环境保护提供决策支持。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

文安驿流域位于陕西省延川县西南1.1 km处(东经109°46'25"~110°11'4",北纬36°31'15"~36°44'25"),年平均降水量为499.5 mm,属温带半干旱区;流域面积约300 km<sup>2</sup>,其干流文安驿川全长41.50 km,属黄河二级支流;整体地势西高东低,海拔高度在767~1 304 m;具有大陆性季风气候特点,降水集中,暴雨多,历时短,强度大;植被稀疏,水土流失极其严重,长期形成了以破碎的塬、梁、峁等构成的黄土高原丘陵沟壑地貌,是黄河中游水土流失治理重点县的重点流域。

### 1.2 数据来源

选取研究区1999年、2002年、2007年三期Landsat TM(ETM)遥感影像,分辨率为30 m×30 m,且成像时间均为夏秋之交(9~10月),晴空无云,质量良好,对遥感数据进行了辐射定标、几何纠正、数据镶嵌以及投影变化,精度在0.5个像元内<sup>[12]</sup>。流域DEM数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站,像元尺度也是30 m×30 m。

### 1.3 研究方法

在ArcGIS 9.3平台下,利用研究区DEM数据完成文安驿流域矢量边界的生成,然后进行统一的坐标和投影转换后,将该流域矢量边界转化成流域的掩膜文件Mask,利用掩膜运算实现不规则流域遥感影像的裁剪,这样就初步得到了研究区文安驿流域的遥感影像。

利用遥感影像,在ERDAS软件下编写程序模块,提取研究区归一化植被指数 $NDVI$ <sup>[13]</sup>,其计算式为近红外波段( $IR$ )与可见光红波段( $R$ )的亮度值之差与之和的比值,即 $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$ 。

植被覆盖度计算采用改进的基于 $NDVI$ 的像元二分模型,该模型适用于不同分辨率遥感数据对宏观区域植被覆盖度的估算<sup>[14]</sup>,在ERDAS软件支持下,通过Modeler模块实现植被覆盖度定量转换,从而得到流域三幅不同时相的植被覆盖度灰度图。

## 2 流域植被覆盖度时空分异的地貌特征

以研究区文安驿流域DEM为基础,分别提取其高程、坡度、坡向等地形地貌因子,生成该流域的高程、坡度、坡向专题图。将流域三期植被覆盖图和各种地貌专题图进行叠加统计或栅格计算,得到文安驿流域植被覆盖度的时空分异与地貌因子关系。

### 2.1 流域植被覆盖度年际变化特征

根据水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-96),将不同强度水土流失等级对应于不同等级的植被覆盖度,结合当地植被类型特征,将研究区植被覆盖度使用五级分级法表示(见表1)。利用ERDAS软件专家分类器生成输出分类,按五级表示法做出研究区分级显示图像,并统计了流域总体以及各分级区间的平均植被覆盖度。

平均植被覆盖度的计算方法:植被覆盖度是指植被(包括叶、茎、枝)在地面垂直投影的面积占整个统计区总面积的百分比。利用得到的流域三期植被覆盖度图计算某研究区的平均植被覆盖度,即将研究区内各像元的植被覆盖度的数值累加,用所得到的和除以研究区内总像元数,得到研究区平均植

被覆盖度,也就是研究区内各像元植被覆盖度值的算术平均数,计算公式为:

$$VC = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \quad (1)$$

式中,  $VC$  为平均植被覆盖度,  $n$  为图像中的总像元个数,  $a_i$  为第  $i$  个像元的植被覆盖度值。

表1 植被覆盖度分级区间的面积统计表

Tab.1 Areas of different vegetation coverage grade for three years

年份	植被覆盖度分级区间的面积/km <sup>2</sup>				
	[0, 20%]	(20%, 40%]	(40%, 60%]	(60%, 80%]	(80%, 100%]
1999	18.33	108.16	83.64	81.45	8.36
2002	12.25	74.73	100.87	100.76	11.33
2007	9.04	25.63	127.28	124.11	13.88

根据表1结果,计算得到1999年、2002年、

表2 植被覆盖度变化分级标准及各区间的面积统计表

Tab.2 Areas of each classification standard for vegetation coverage degradation grade

平均植被覆盖度	植被覆盖度变化分级区间面积/km <sup>2</sup>						
	严重退化 [-100%, -30%]	退化 (-30%, -15%]	轻微退化 (-15%, -5%]	稳定 (-5%, 5%]	轻微恢复 (5%, 15%]	恢复 (15%, 30%]	完全恢复 (30%, 100%]
$VC_{2002} - VC_{1999}$	7.65	9.69	28.38	135.73	79.64	28.65	10.23
$VC_{2007} - VC_{1999}$	4.62	8.31	24.75	59.84	79.55	91.33	31.55

植被覆盖是地表生态系统状况的“指示器”,文安驿流域从1999—2007年的近十年间地表植被状况不断提高,从流域覆盖度变化幅度上看,2007年比2002年提高的幅度更大,1999年实施退耕还林工程以来,延川县在文安驿流域内的一些未进行人工种植林草的小流域(高家沟、老庄河等小流域)内开展以封育为主的生态修复,植被通过自然演替得以更新和恢复,速度缓慢,长期累计下才能显现出覆盖度的大幅增加。2002年以后,该地区水土流失生态建设才确立采取以小流域为单元的治理思路,依托村庄,山水田林路草和沟坡梁峁涧滩进行统一规划和全面综合治理,工程、林草、耕作三大措施有机结合,流域内植树造林迅速发展,使得该地区植被覆盖率逐年增加,林草质量不断提高,地表植被和生态环境状况明显改善。经调查,1999—2002年,延川县累计完成水土流失治理面积71.2 km<sup>2</sup>,修建淤地坝、谷坊等401座;1999—2007年,延川县累计完成水土流失治理面积243.0 km<sup>2</sup>,修建淤地坝、谷坊等

2007年流域平均植被覆盖度分别为43.58%、48.49%和57.10%,说明近十年来文安驿流域植被覆盖不断增加。为了定量分析该流域1999—2007年植被变化情况,编写计算程序,得到2002年、2007年相对于1999年植被覆盖度变化图,再根据表2所列植被覆盖度变化分级标准,统计分析了各变化分级的面积。

表2结果显示,相对于1999年,文安驿流域2002年植被覆盖度变化以稳定和轻微恢复为主,稳定和轻微恢复的面积之和为215.37 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的71.8%;严重退化和退化面积之和为17.34 km<sup>2</sup>,占总面积5.78%;恢复和完全恢复面积之和为38.88 km<sup>2</sup>,占总面积12.96%。相对于1999年,2007年流域植被覆盖度变化以恢复趋势为主,轻微恢复及以上的面积合计202.43 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的67.49%;稳定面积为59.84 km<sup>2</sup>,占总面积的19.95%;轻微退化及以下面积共计37.68 km<sup>2</sup>,占总面积的12.56%。

1 195座。

## 2.2 流域植被覆盖度变化的高程特征

利用DEM将文安驿流域海拔高程进行分级(分五级),并计算相应高程等级内的植被平均覆盖度的年际变化直方图(见图1)。

从图1可以看出:各个年份内,植被覆盖度随着海拔高度的增加而逐渐减小;在各海拔高度等级内,植被覆盖度呈逐年提高趋势。不同海拔区间内植被覆盖分布差异的主要是由于当地不同海拔区间内的地形差异造成的。该流域整体地形破碎,土质疏松,梁峁起伏,在下游的低海拔区域,地势相对平缓,地表平整,水热条件优越,自然植被和人工林草措施成活保存率较高。在中低海拔区域,土地利用多以荒坡和缓坡耕地为主,地势略陡,水热条件也相对较差,因此地表植被覆盖不如低海拔区域。中高海拔和高海拔地区大多为陡坡地或是沟缘地,水热条件较低海拔区更差,地表植被稀疏难以生长。

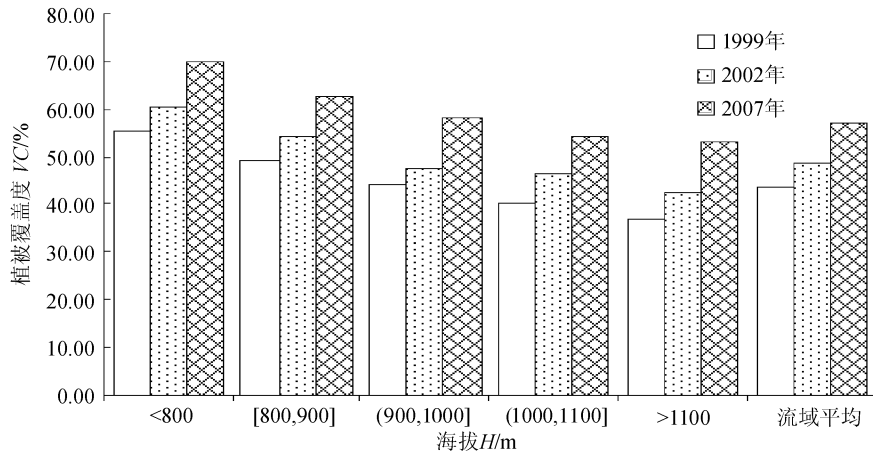


图1 各海拔范围区间平均植被覆盖度变化直方图

Fig.1 Histogram of vegetation coverage variation of each DEM grade

### 2.3 流域植被覆盖度变化的坡度特征

鉴于文安驿流域地处黄土高原丘陵沟壑区,地貌多以山地居多,且退耕还林(草)的农田均为坡度较大的山地;此外,坡度直接影响到土壤水分的聚集程度和分布特征,而地表径流的形成极易导致富含有机质的表土流失,使土壤的肥力下降,从而影响植被的

生长与恢复。因此,山地坡度很可能是影响研究区植被恢复的一个重要因子,特别是在植被演替的初期。

利用研究区 DEM 计算流域坡度,本研究将文安驿流域地表坡度进行分级(分为十级,见下图),并计算了各坡度植被覆盖度的年际变化直方图,如图2所示。

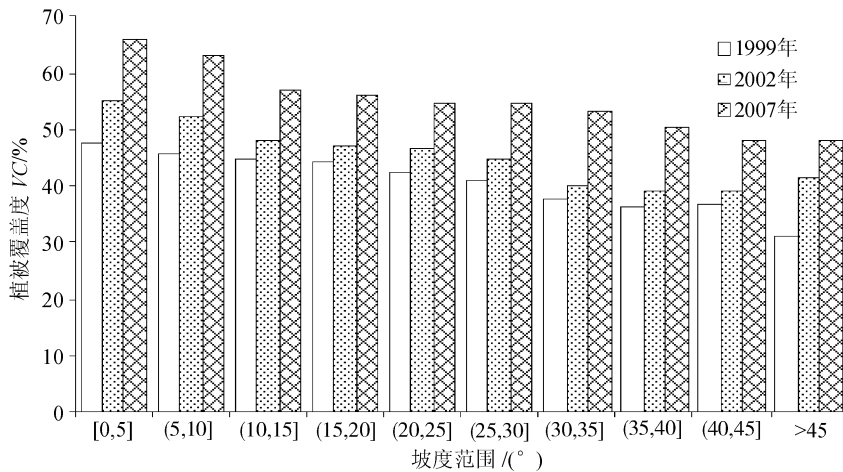


图2 流域各坡度范围平均植被覆盖度年际变化直方图

Fig.2 The histogram of inter-annual variation of vegetation coverage in different range of slope grades in Wenanyi watershed

从图2可以看出:①植被覆盖度随坡度的增大而减少,坡度越小的地区其植被覆盖度越高;②在25°以上的坡度范围内,2007年相对于2002年的植被覆盖度的绝对增量大幅增加,说明延川县退耕还林(草)措施卓有成效,水土保持工作成果显著;③由于掌握资料有限,2002年大于45°的植被覆盖度比30°~45°的植被覆盖度还高,还有待进一步分析研究。

植被覆盖度随坡度的升高而减少,究其原因,可

能与山地坡度对水、热因子的分配产生影响有关<sup>[15]</sup>:首先,在大尺度上虽然一个区域内温度差异并不大,但在小生境条件下却会引起相对差异,使得坡度大的地区所得到的积温较少;其次,在同一区域投影面积相同的条件下,其总降水量基本相同,但坡度越大则实际土壤面积越大,单位面积上的平均降水量越小,并且不同坡度的山地持水性能差别也很大:坡度越小,水分越容易被土壤吸收,因此依靠自然恢复便能形成较高的植被覆盖度;坡度越高,则

自然降水越容易流失。

## 2.4 流域植被覆盖度变化的坡向特征

由于不同坡向决定着光照等的自然条件,破相对温度、湿度有较大影响。因此,分析坡向与植被覆盖度之间的关系也十分有意义。

我国通常将北坡作为标准阴坡,它与西北坡、东北坡统称为阴坡(即 $0 \sim 67.5^\circ$ , $292.5^\circ \sim 360^\circ$ ,以正北方为 $0$ ),将南坡作为标准阳坡,它与西南坡、东南坡统称为阳坡(即 $157.5^\circ \sim 247.5^\circ$ ,以正北方为 $0$ )。因此,本研究将坡向从 $0 \sim 360^\circ$ 均分为8个等级:

$0 \sim 22.5^\circ$ 和 $337.5^\circ \sim 360^\circ$ 为北坡(标准阴坡)、 $157.5^\circ \sim 202.5^\circ$ 为南坡(标准阳坡)、 $292.5^\circ \sim 337.5^\circ$ 为西坡、 $67.5^\circ \sim 112.5^\circ$ 为东坡, $361^\circ$ 的区域为平地。

坡向定义为:过格网单元所拟合的曲面上某点的切平面的法线的正方向在平面上与正北方夹角,即法方向水平投影向量的方位角<sup>[16]</sup>,利用DEM计算生成流域的坡向图,同时计算分析了文安驿流域各坡向范围的植被覆盖度的年际变化直方图(图3)。

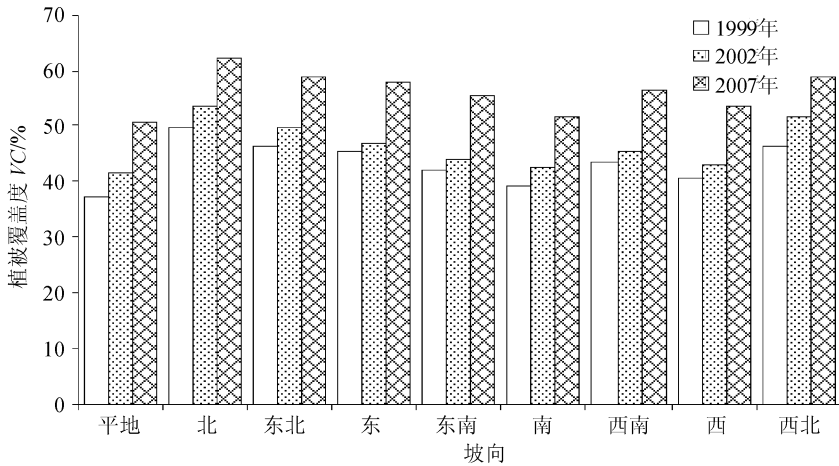


图3 流域各坡向范围平均植被覆盖度年际变化直方图

Fig. 3 The histogram of inter-annual variation of vegetation coverage in different range of slope aspects in Wen'anyi watershed

从图3可看出:①在时间尺度上,流域各坡向范围内植被覆盖度呈不断增大的趋势;②南坡(阳坡)植被覆盖度相对较低,北坡(阴坡)较高,平地植被覆盖度最低;③在1999—2007年近10年间,文安驿流域各个坡向的植被覆盖度大小呈现一致性规律,即:北>西北>东北>东>西南>东南>西>南>平地。

可以看出,该流域的植被覆盖度的大小与坡向有很强的相关性<sup>[17]</sup>。总体上,阴坡的植被覆盖度大于阳坡。分析原因,首先,阴坡阳坡所接收的太阳辐射量的不同,导致了不同坡向的温度差异。在黄土丘陵沟壑区,相对于平地,太阳光线与坡面的交角随地表坡度的增大而增大,因而,北坡所获得的太阳辐射总量要比同纬度的南坡少。北坡由于不利于地表受热,日照的强度低、时间短,因而获得的太阳辐射总量低于南坡;其次,人类活动的影响。人类首先是在阳坡进行耕垦坡地,随着人口的不断增加,阴坡才随之被开垦。因此,南坡相对于北坡植被分布较差。

## 3 结论

本文综合应用GIS和RS技术,利用模型计算分析了黄土高原文安驿流域退耕还林(草)工程实施前后流域植被覆盖度时空分布及其海拔、坡度、坡向等地貌特征,从宏观上揭示了流域近十年来植被覆盖度变化及其与地貌因子之间的关系,得到如下结论:

1) 近十年来文安驿流域植被覆盖度总体呈上升趋势,1999年、2002年、2007年的流域平均植被覆盖度分别为43.58%,48.49%,57.10%,表明流域植被覆盖不断提高;从流域植被覆盖度变化的幅度上看,2007年比2002年提高的幅度更大;

2) 流域各年份的植被覆盖度均随海拔高度的增加而呈下降趋势;

3) 植被覆盖度随坡度的升高而减少,坡度越小的地区植被覆盖度越高;在大于 $25^\circ$ 的坡度范围内,2007年相对2002年植被覆盖度的绝对增量更大,说明延川县退耕还林(草)措施卓有成效,水土保持工作成果显著;

4) 南坡(阳坡)的植被覆盖度相对较低,北坡(阴坡)相对较高,平地植被覆盖度最低;流域各个年份坡向的植被覆盖度大小呈一致性规律,即:北>西北>东北>东>西南>东南>西>南>平地。

### 参考文献:

- [1] 王正秋. 陕甘三县“长治”工程区小流域经济的发展与思考[J]. 中国水土保持, 2010, (4): 1-4.  
Wang Zhengqiu. Preliminary discussion on ecological environment construction in the gullied rolling loess region in Northern Shaanxi[J]. Soil and Water Conservation in China, 2010, (4): 1-4.
- [2] 王占礼, 邵明安. 黄土高原典型地区土壤侵蚀共性与特点[J]. 山地学报, 2001, 19(1): 87-91.  
Wang Zhanli, Shao Mingan. On commonness and specialty of soil erosion in typical regions of the Loess Plateau[J]. Journal of Mountain Science, 2001, 19(1): 87-91.
- [3] 冷疏影, 冯仁国, 李锐, 等. 土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 1-6.  
Leng Shuying, Feng Renguo, Li Rui, et al. Key research issues of soil erosion and conservation in China[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2004, 18(2): 1-6.
- [4] 许炯心. 无定河流域侵蚀产沙过程对水土保持措施的影响[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 972-981.  
Xu Jiongxin. Response of erosion and sediment producing processes to soil and water conservation measures in the Wudinghe river basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(6): 972-981.
- [5] Purevdor J T S, Tateishi R, Ishiyama T. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(18): 3519-3535.
- [6] 陈利军, 刘高焕, 励惠国. 中国植被净第一性生产力遥感动态监测[J]. 遥感学报, 2002, (1): 129-135.  
Chen Lijun, Liu Gaohuan, Li Huiguo. Estimating net primary productivity of terrestrial vegetation in China using remote sensing[J]. Journal of Remote Sensing, 2002, (1): 129-135.
- [7] Chiara G. Remote sensing of vegetation in the calabrian region[J]. Acta Astronautica, 2007, 60: 119-131.
- [8] Gutman G, Qignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1533-1543.
- [9] Jabbar M T, Shi Zhihua, Wang Tianwei. Vegetation change prediction with geo-information techniques in the Three Gorges Area of China[J]. Pedosphere, 2006, 16(4): 457-467.
- [10] 胡良军, 邵明安. 论水土流失研究中的植被覆盖度量指标[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(1): 40-43.  
Hu Liangjun, Shao Mingan. Vegetation coverage index in soil and water loss studies[J]. Journal of Northwest Forestry College, 2001, 16(1): 40-43.
- [11] 朱显谟. 黄土区植被因素对水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1960, 8(2): 2-8.  
Zhu Xianmo. Effects of vegetation factors on Loess Plateau soil and water loss[J]. Acta Pedologica Sinica, 1960, 8(2): 2-8.
- [12] 刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 186-198.
- [13] Peter R J. North estimation of FAPAR, LAI, and vegetation fractional cover from ATSR-2 imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1): 114-121.
- [14] 程圣东. 黄土高原文安驿流域植被覆盖与土壤侵蚀分布特征研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.  
Cheng Shengdong. Distribution Characters of Vegetation Coverage and Soil Erosion in Wenanyi Watershed on Loess Plateau [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2010.
- [15] 金樑, 杜晓光, 侯扶江, 等. 黄土高原山地坡度对退耕农田生态系统[J]. 草业科学, 2007, 24(7): 66-71.  
Jin Liang, Du Xiaoguang, Hou Fujiang, et al. Effects of hillside slopes on plant community succession of re-natural farmland in the Loess Plateau[J]. Pratacultural Science, 2007, 24(7): 66-71.
- [16] 马志勇, 沈涛, 张海军, 等. 基于植被覆盖度的植被变化分析[J]. 测绘通报, 2003, (3): 45-48.  
Ma Zhiyong, Shen Tao, Zhang Junhai, et al. Vegetation changes analysis based on vegetation coverage[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2003, (3): 45-48.
- [17] 朱冰冰, 李占斌, 李鹏, 等. 黄丘区植被恢复过程中土壤团粒分形特征及抗蚀性演变[J]. 西安理工大学学报, 2009, 25(4): 377-382.  
Zhu Bingbing, Li Zhanbin, Li Peng, et al. Research on the fractal features of soil aggregate, and dynamic changes in anti-erodibility during the process of vegetation recovery on the loess hilly areas[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2009, 25(4): 377-382.

(责任编辑 杨小丽)