

基于RS和GIS的退耕还林生态建设工程成效监测

李登科¹, 卓 静¹, 孙智辉²

(1. 陕西省农业遥感信息中心, 西安 710014; 2. 陕西省延安市气象局, 延安 716000)

摘 要: 在GIS技术的支持下, 利用SPOT VEGETATION数据从宏观上反映近年来植被覆盖所发生的变化; 利用TM遥感影像解译土地利用状况、植被覆盖度, 与DEM数据叠加分析计算坡耕地面积、土壤侵蚀强度, 研究退耕还林前后的土地利用、植被覆盖度、坡耕地面积和土壤侵蚀强度的变化, 较细致地揭示陕西省吴起县退耕还林生态建设工程的所取得的实效。结果表明, 随着退耕还林工程的实施, 吴起县域版图在遥感影像逐渐显现、越来越清晰, 植被覆盖增加极为显著, 高覆盖植被面积在逐年增加, 低覆盖植被面积在逐年减少, 植被恢复情况明显好于周围区域。与1997年相比, 到2007年该县有75.15%耕地不再耕种, 退出的耕地主要变为草地、林地和果园; 林草覆盖率增加显著, 由1997年的37.06%提高到2007年的80.60%; 大于25°的坡耕地80%~90%实现了退耕; 土壤侵蚀强度总体上降低, 极强度、剧烈的高等级土壤侵蚀面积由1997年占国土总面积的42.52%下降到2007年的17.35%, 但形势仍然严峻, 需继续改善。

关键词: 退耕还林, 生态建设, 遥感监测, 地理信息系统, 植被, 土地利用, 土壤侵蚀, 吴起县

中图分类号: X171.4, TP753

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0120-07

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—126.

Li Dengke, Zhuo Jing, Sun Zhihui. Monitoring the effects of ecosystem restructuring project after returning farmland to forest based on RS and GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 120—126.(in Chinese with English abstract)

0 引 言

黄土高原严重恶化的生态环境已经成为当地社会经济可持续发展的极大障碍, 日趋严重的沙漠化、水土流失以及水资源短缺等问题, 使土地生产力不断降低, 甚至使土地资源遭到彻底破坏。造成这种结果的主要原因除了自然因素外, 人类活动是主要因素, 其影响方式主要是不合理的土地利用, 特别是陡坡地开垦^[1]。坡地一经开垦, 原有的自然平衡被破坏, 坡面能量及物质循环发生变化, 使地表水和土壤迁移转化向灾害的方向发展, 导致水土流失^[2]。因此, 如果治理了水土流失, 就能阻止生态环境进一步恶化的势头。当前实施的退耕还林工程正是实现这一目标的强有力措施^[3]。

退耕还林工程是中国政策性最强、实施范围最广、投资量最大的生态建设工程, 为全面掌握退耕还林实施情况, 保证工程建设的质量和成效, 并为兑现政策及工程管理提供决策依据, 国家和各地都需要投入大量的人力、物力和财力进行退耕还林检查验收工作。遥感(Remote Sensing, RS)技术具有客观、高效、经济等特点, 特别是对地表植被的形状和面积信息具有准确的反映。结合地理信息系统(GIS)技术, 可准确、高效的获取区域土地的高程、坡度、坡向、坡耕地面积及其分布数据。综合利用RS和GIS技术开展退耕还林工程验收和监测, 可望节省大量人力、物力和时间, 并能够全面、及时、准确地掌握退耕还林工程的任务落实和完成情况, 掌握退耕还林

工程的工程质量, 为退耕还林工程的管理和决策提供科学数据。因此, 应用RS和GIS技术评价退耕还林工程效果受到广泛重视。石云等^[4]、胡华科等^[5]从理论上探讨了3S技术在退耕还林还草和生态环境监测管理中应用的可行性。刘勇等^[6]研究了基于SPOT-5遥感影像监测退耕还林工程的技术方法和技术流程。一些学者利用卫星遥感获取的植被指数反映退耕还林前后植被覆盖的变化^[7-9]。史良树等^[10]采用SPOT-5影像数据对退耕还林地进行分类监测, 对退耕还林工程任务完成情况(主要是面积)进行监测和评估。张晓萍等^[11]和王灵等^[12]应用RS和GIS相结合的办法, 提取土地利用数字图进行动态监测, 并与坡度图复合分析退耕还林还草的面积和空间分布。

以上研究有的是理论上的探讨, 还缺乏实践; 多数研究仅从某个侧面来反映退耕还林前后所发生的变化。本文以全国退耕还林典型吴起县为例, 利用SPOT VEGETATION数据, 从宏观上反映近年来植被覆盖所发生的变化; 利用TM遥感影像解译土地利用状况、植被覆盖度, 在ARC/INFO地理信息系统的支持下, 与DEM数据叠加分析计算坡耕地面积、土壤侵蚀强度, 研究退耕还林前后的土地利用、植被覆盖度、坡耕地面积和土壤侵蚀强度的变化, 较细致地揭示吴起县退耕还林生态建设工程的所取得的实效。

1 研究区域概况

吴起县位于延安市西北部(107°38'57"~108°32'49"E, 36°33'33"~37°24'27"N), 北与榆林市的定边、靖边县毗邻, 东南与志丹县相连(图1), 海拔高度1233~1809 m, 总面积3791.5 km²。境内地势为山川梁多, 川源涧地少, 黄土梁状丘陵面积占全县总土地面积的85%, 属于典型的黄土高原梁状丘陵沟壑区。气候属半干旱温带大陆性季

收稿日期: 2006-12-28 修订日期: 2008-11-11

基金项目: 陕西省生态环境遥感动态监测项目资助

作者简介: 李登科(1963—), 男, 陕西人, 高级工程师, 主要从事卫星遥感应用业务和研究。西安 陕西省农业遥感信息中心, 710014。

Email: ldk81711@sina.com

风气候,年平均气温7.8℃,平均日照时数为2400 h,平均降雨量483.4 mm,无霜期83~136 d,干旱、冰雹、大风、暴雨以及霜冻等自然灾害频繁。境内以白于山为界,东北部地处内蒙古毛乌素沙漠南缘,属无定河流域,约占全县总面积的15%;白于山以南属洛河流域,约占全县总面积的85%^[13,14]。土壤以黄土性土壤黄绵土为主。植被间于森林草原和蒙古草原之间,为典型草原。地带性植被以灌木和草本为主^[15]。过去这里曾是林茂草丰之地,随着人口与社会经济发展状况的变化,林草植被出现了“破坏—恢复—破坏—恢复(重建)”的过程,水土流失最严重时其水土流失面积为3677.7 km²,占97%^[16]。生态环境日趋恶化,严重制约了该县域社会经济的发展。

从1998年,吴起县就把治理水土流失、改善生态环境、振兴农业和农村经济、实现可持续发展作为农村经济发展的总目标,以封山禁牧为突破口,解决林牧矛盾,调整农业产业结构,确立了“封山退耕、植树种草、舍饲养畜、林牧主导、强农富民”的逆向开发战略,率先启动了退耕还林工程,一次性退耕103666.7 hm²。截至2004年底,吴起县完成国家退耕还林计划任务154193.4 hm²,经国家确认退耕还林计划任务110046.7 hm²,其中退耕地还林面积59 853.3 hm²,荒山造林面积50193.4 hm²,未确认退耕地面积为44 146.7 hm²^[17-19]。经过退耕还林、封山禁牧,植被得到了有效恢复,植被覆盖率得到了普遍提高,植物群落达到了稳定阶段,能够有效地遏制水土流失的发生^[20-22]。

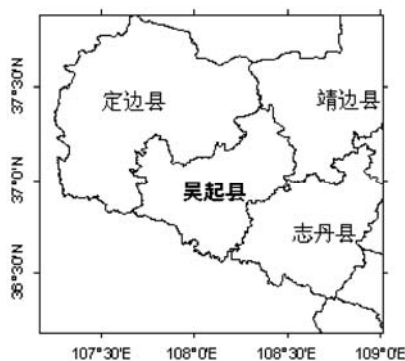


图1 陕北吴起县的地理位置

Fig.1 Geographical location of Wuqi County in northern Shaanxi Province

2 资料和方法

2.1 资料

本研究使用的NDVI数据是SPOT VEGETATION数据集,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,空间分辨率为1 km×1 km^[23],时间是1999年1月~2007年12月。该数据集已经过几何精纠正、辐射校正、大气校正等预处理,且都已采用最大值合成法以减少云、大气、太阳高度角等的影响^[24,25]。在ERDAS IMAGINE 9.0建模工具中,根据公式 $NDVI = DN \times 0.004 - 0.1$ 将每个像元的SPOT VEGETATION的DN值(Digital Number, 像元的

初始数值)转化为对应的NDVI值^[26]。再利用Max命令实现对10日数据进行最大化处理,进而获得最大化的月NDVI数据和年平均NDVI数据。

TM影像为LANDSAT全波段遥感数据,共4景影像,其空间分辨率为30 m,2景影像(12834、12835)时相为1997年8月23日,另2景影像12834、12835时相分别为2007年8月3日和9月20日。基础地理信息数据包括1:25万吴起县全要素数字地图、1:5万数字高程模型,这些辅助数据主要用于图像精校正、辅助分类、综合制图和地学分析。地面调查资料用于监督分类训练样本和精度验证。

2.2 方法

2.2.1 植被覆盖变化分析方法

利用线性倾向估计进行NDVI时间趋势分析,采用相关系数的统计检验方法进行显著性趋势检验。随时间变化,植被要素常常表现为序列整体的上升或下降趋势、空间分布格局变化以及在某时刻出现的转折或突变。这些变量可以看作是时间的一元线性回归,线性倾向值用最小二乘法估计为:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2}$$

当 $B > 0$ 时,随时间 t 的增加, x 呈上升趋势;当 $B < 0$ 时,随时间 t 的增加, x 呈下降趋势。 B 的大小反映了上升或下降的速率,即表示上升或下降的倾向程度。如果回归方程的相关系数通过信度为0.05或0.001的显著性水平($P < 0.05$, $P < 0.001$),则分别认为植被覆盖度减小或增加趋势显著或极显著。

NDVI百分比变化幅度由下式计算:

$$NDVI \text{变化率}(\%) = B / \text{均值} \times 9 \times 100$$

式中均值为9年的平均NDVI值。

2.2.2 TM影像的解译和分析方法

地表植被空间演变规律及土地利用动态变化研究所采用的技术流程是:遥感图像预处理和几何精校正、野外调查、训练样区建立及分类模板评价筛选、计算机监督分类、精度验证、三维分析、土壤侵蚀分析、制图及数据统计等,这些过程是ERDAS IMAGINE遥感图像处理和ARCMAP地理信息系统软件的支持下实现的。

1) 土地利用类型解译 在国家或有关部门分类标准的规范下,根据解译对象的特点和要求,最大限度的使用遥感信息。综合考虑国家土地利用分类标准并结合实际使用情况,先将图像解译出13个二级类,然后将13个二级类合并成7个一级类,即水体、林地(有林地、灌木、针叶林)、草地、未利用地(沙地、盐碱地、裸岩)、耕地(旱地、水田、菜地)、居民地和工矿用地、果园。

2) 坡耕地分析方法 首先将1:5万DEM数据预处理,进行镶嵌、投影转换等。1:5万DEM为栅格数据,像素尺寸为25 m×25 m。为了便于与TM分类结果复合分析,要使DEM的像元大小转换为30 m×30 m。在转换

DEM像元大小的时候,分别分析了最邻近法、双线性内插法和立方卷积等三种重采样方法的原理及优缺点,最终决定使用立方卷积的方法将DEM像元大小转换到30 m×30 m。这是因为立方卷积法的优点是采样结果的统计信息(均值和方差)与原数据的相似程度比其他采样方法高。这种方法特别适宜于显著改变了网格尺寸,但要保持原数据统计特性的数据内插。再使用内插好的DEM计算每个像素点的坡度值,生成相应的坡度图,将坡度按照坡耕地的分析和土壤侵蚀分析的要求划分成不同的坡度等级。采用用ERDAS IMAGINE的Spatial Modeler(空间模型)编制了坡耕地图^[27]。

3) 植被覆盖度计算方法 植被覆盖度指植被冠层的垂直投影面积与土壤总面积之比,即植土比。可以用下式计算^[28]:

$$f = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})$$

计算得到的植被覆盖度图像存在许多并不是由于植被所引起的伪信息,因此,必须进一步剔除这些伪变化信息。为了有效地剔除掉图像中存在的非植被覆盖引起的伪信息,根据 $NDVI < 0$ 的地区无植被覆盖, $NDVI > 0$ 地区有植被覆盖,将这一信息和植被覆盖度图像复合分析,得到了1997年、2007年吴起的植被覆盖度图。

4) 土壤侵蚀分级方法 土壤侵蚀包括水力侵蚀、重力侵蚀、风沙侵蚀等几种类型。土壤侵蚀严重的地方,水土流失也相应严重。在陕北地区水力侵蚀是区域内主要的侵蚀类型,按照《生态环境建设工程3S技术监测规程》(陕西省地方标准DB61/T 336-2003)中的水力侵蚀分级要求(表4)对吴起县1997年、2007年土壤侵蚀数据进行了提取。通过土地利用分类图和植被覆盖度图叠加分析获得非耕地植被覆盖度。分析中将土地利用分类图中像素为耕地的赋予“0”值,土地利用分类图中是林地和草地赋予植被覆盖度值,得到非耕地植被覆盖度图像。坡耕地的计算依据坡度等级和分类专题图复合分析来确

定。分别得到非耕地植被覆盖度、坡度图和坡耕地图后,按照表1所示规则,得到土壤侵蚀分布图。

表1 陕北地区土壤侵蚀强度划分
Table 1 Classification standard of soil erosion intensity in northern Shaanxi Province

地面坡度		5°-8°	8°-15°	15°-25°	25°-35°	>35°
非耕地	60-75	轻度	轻度	轻度	中度	中度
林草	45-60	轻度	轻度	中度	中度	强度
覆盖率	30-45	轻度	中度	中度	强度	极强度
/%	<30	中度	中度	强度	极强度	剧烈
坡耕地		轻度	中度	强度	极强度	剧烈

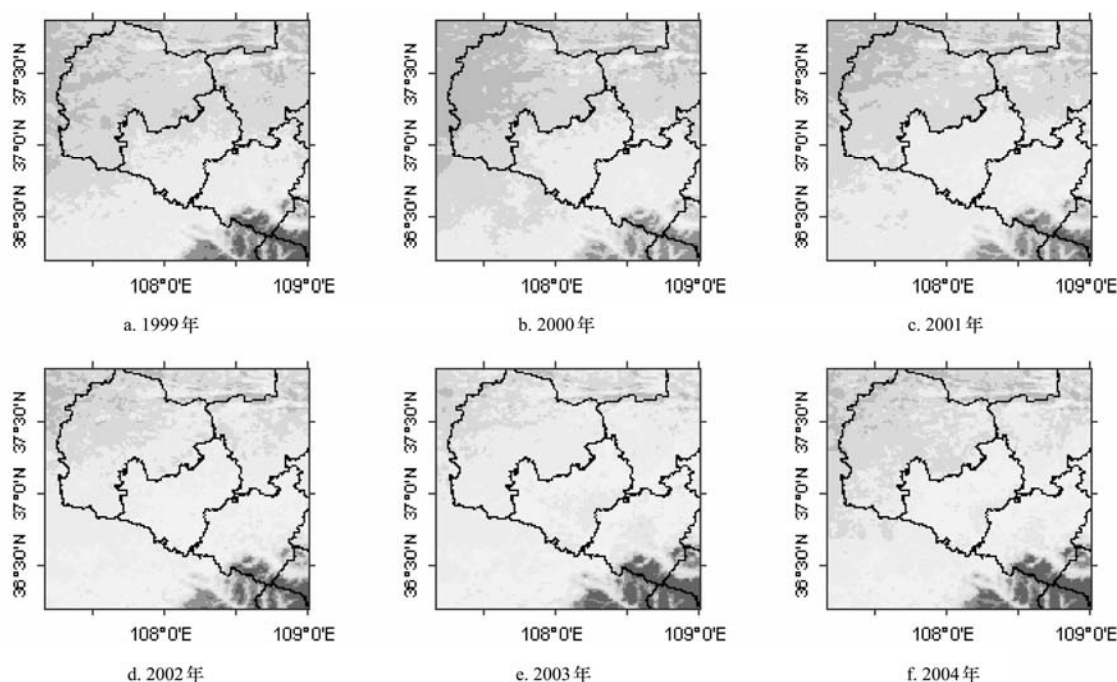
注:表1引自《陕西省地方标准 DB61/T336-2003 生态环境建设工程 3S 技术监测规程》。

3 结果与分析

3.1 吴起县植被覆盖的变化

由于黄土高原地区自身的地理位置和气候特点,天然草地植被起着重要的生态和水土保持的功能。植被作为生态环境中重要的生态因子,是控制水土流失、改善生态环境的有效措施和保障。大量研究表明,卫星观测的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)与绿色叶片生物量、叶面积指数、植物光合能力、总的干物质积累及年净初级生产力等均有很好的相关性,可用于在宏观上表征植被盖度的好坏^[29,30]。

图2是1999~2007年吴起县及其周边地区 SPOT VEGETATION NDVI 图像。从图像上可以看出,1999年吴起县与周边地区植被覆盖没有明显的差别,从2000年起吴起县植被覆盖逐年改善,与周边地区的差异越来越大,出现吴起县版图形状,到2001年吴起县的版图显现,以后各年在 NDVI 图像上吴起县的版图一直清晰可见。说明近9年来吴起县与周围区域差异变得越来越大,植被覆盖和长势明显变得好于周围区域。



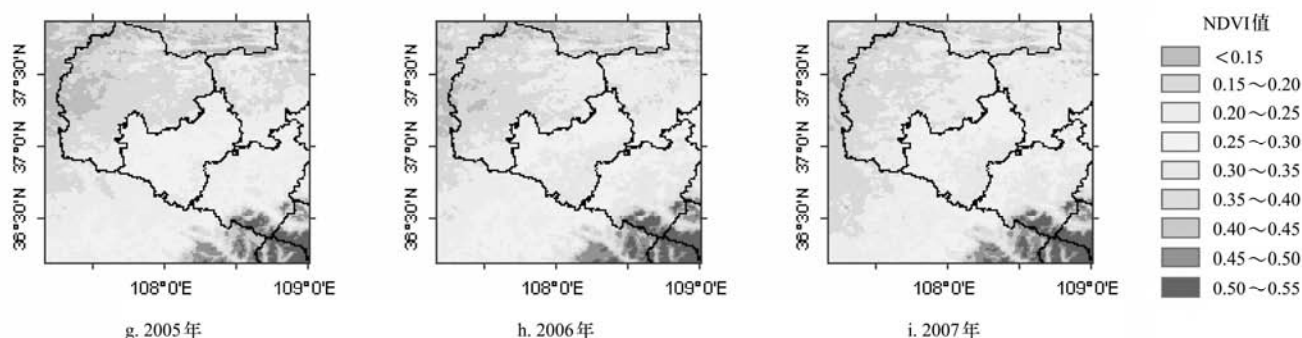


图 2 陕北吴起县 1999 - 2007 年 NDVI 变化

Fig.2 NDVI changes of Wuqi County in northern Shaanxi Province on the NDVI images from 1997 to 2007

图 3 是吴起县 1999~2007 年 NDVI 的年平均变化曲线及其变化趋势图。从图 3 可以看出,近 9 年来吴起县植被覆盖在起伏波动中逐年增加,其线性增加趋势极其显著 ($r=0.8923$, $n=9$, $P<0.001$), NDVI 的年平均增加 0.0105, 近 9 年来 NDVI 的增长率为 37.9%。

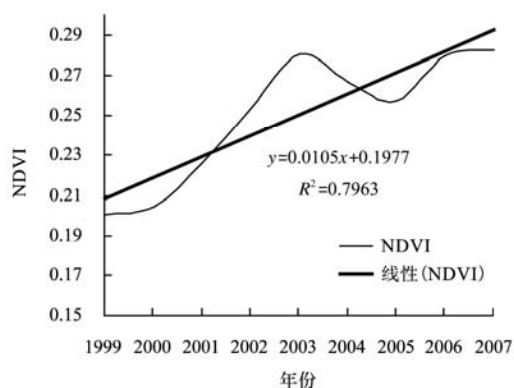


图 3 陕北吴起县 NDVI 年平均值变化

Fig.3 Yearly changes of the NDVI of land cover in Wuqi County in northern Shaanxi Province

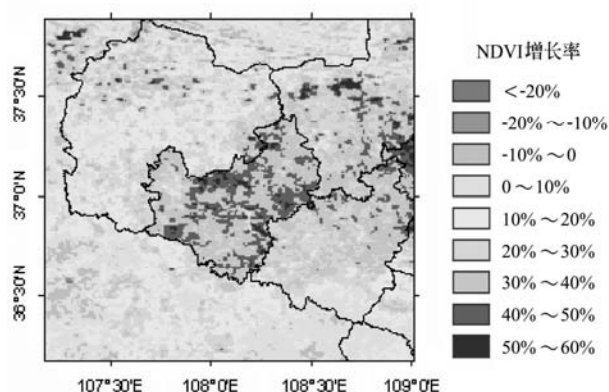


图 4 陕北吴起县 NDVI 增长率分布

Fig.4 Distribution of NDVI increase ratio in Wuqi County in northern Shaanxi Province

对吴起县 1999~2007 年 NDVI 图像的每个像元进行线性回归,用所得的线性回归方程的系数计算 9 年来 NDVI 的增长率,得到 NDVI 增长率分布图(图 4)。由图 4 可以看出,吴起县 NDVI 增长率明显高于临近地区。统计不同增长率像元所占的比例,可以推算不同增长率

所占的面积(表 2)。由表 2 可以得出,吴起县 9 年来大多数像元 NDVI 的增长率在 30%~50%之间,所占面积为 3102.1 km^2 ,为总面积的 4/5。其中增长率在 30%~40%的像元占总像元数的 48.3%,面积 1829.5 km^2 ;增长率在 40%~50%的像元占总像元数的 33.6%,面积 1272.7 km^2 。

表 2 陕北吴起县 NDVI 不同增长率所占比例和面积

Table 2 Proportion and area of different NDVI increase ratios in Wuqi County in northern Shaanxi Province

增长率 B/%	像元数	占总像元数百分率/%	面积/ km^2
$0 \leq B < 10$	5	0.1	3.8
$10 \leq B < 20$	63	1.3	47.7
$20 \leq B < 30$	623	12.4	471.9
$30 \leq B < 40$	2415	48.3	1829.5
$40 \leq B < 50$	1680	33.6	1272.7
$50 \leq B < 60$	218	4.4	165.1
$B \geq 60$	1	0.0	0.8
合 计	5005	100.0	3791.5

对吴起县 1999~2007 年 NDVI 图像的每个像元的线性回归方程进行显著性检验,得到 NDVI 线性增长的显著性分布图(图 5)。由图 5 可看出,吴起县 NDVI 线性增长的显著性明显高于临近地区。统计不同显著性像元所占的比例,可以推算不同增长显著性所占的面积(表 3)。由表 3 可得出,吴起县 9 年来绝大多数像元 NDVI 的线性增长极为显著。极显著像元占总像元的比例为 65.6%,所占面积为 2488.5 km^2 ;显著像元占 32.8%,面积为 1243.1 km^2 。

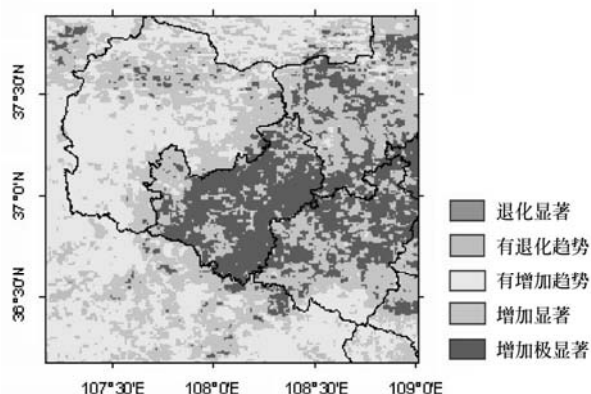


图 5 陕北吴起县 NDVI 增加趋势显著性分布

Fig.5 Significance distribution of NDVI increasing trend in Wuqi County in northern Shaanxi Province

表3 陕北吴起县 NDVI 不同线性增长显著性所占比例和面积

Table 3 Proportion and area of different linear increasing significances of NDVI in Wuqi County in northern Shaanxi Province

显著性	像元数	占总像元数百分率/%	面积/km ²
有退化趋势	0	0.0	0.0
有增加趋势	79	1.6	59.8
增加趋势显著	1641	32.8	1243.1
增加趋势极显著	3285	65.6	2488.5
合 计	5005	100.0	3791.5

图6给出了从1999年到2007年吴起县不同级别的NDVI像元占整个区域总像元的百分比。可以看出,前3年NDVI在0.16~0.26级别上像元所占总像元的百分比最高几乎是100%,2002年有降低至65.4%,2003~2007年在32.2%上下波动;相反,前3年NDVI在0.26~0.38级别上的像数几乎为0,从2002年的上升到34.6%,2003年上升到最高为80.5%,2003~2007年5年平均67.8%。说明吴起县低覆盖率植被面积在减少,高覆盖率植被面积在增加,植被状况明显转好。曾光等的研究^[31]也证明,随着退耕地植被自然恢复的不断进行,植被群落总盖度随着退耕年限的延长而不断增大。

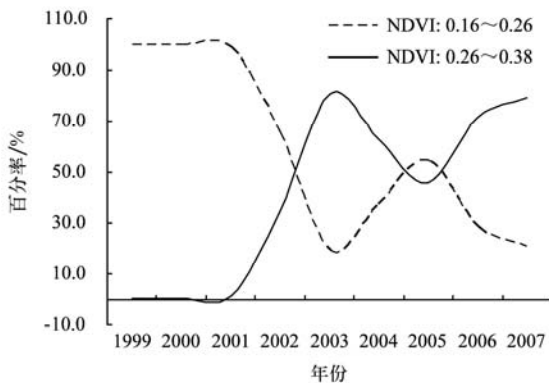


图6 陕北吴起县不同等级 NDVI 像元占总像元的百分比

Fig.6 Percentage of pixels with different NDVI levels to the total pixels in Wuqi County in northern Shaanxi Province

3.2 土地利用类型变化

20世纪70年代到90年代前期,为了增加粮食生产,吴起县开发扩大耕地面积。近年来,通过实施退耕还林还草的生态环境建设工程,减少作物播种面积,大力种植人工苜蓿,营造沙棘林和山杏,发展设施养殖和林果产业,使土地利用发生了很大的变化。表4是吴起县退耕前后不同土地利用类型面积占国土面积百分比的变化情况。从表4可以看出,吴起县1997年耕地面积占国土面积的61.42%,到2007年减少到15.26%,原有耕地的75.15%不再进行耕种。退出的耕地主要变为草地、林地和果园,这3种地类所占比例2007年分别比1997年增长了300.49%、35.71和4017.04%。退耕还林(草)后,耕地面积减少,农民改变了以前的种植结构,不再大面积种植单一的粮食作物,而选择单产高、优势明显的农作物或经济作物,再加上对种植业的投入(包括化肥、农家肥、燃料、种子)增大,使得退耕后农作物的单位面积产量

比退耕前有所提高^[32]。

表4 陕北吴起县不同土地利用类型面积占国土面积百分率

Table 4 Percentage of the area of different land use patterns to the total area of Wuqi County in northern Shaanxi Province

	水体	林地	草地	未利用地	耕地	居民地	果园
2007 年	0.70	34.76	45.84	0.03	15.26	0.25	3.15
1997 年	0.25	25.62	11.45	1.06	61.42	0.13	0.08
2007~1997 变化	0.45	9.15	34.39	-1.03	-46.16	0.12	3.08
变化百分率	180.98	35.71	300.49	-97.10	-75.15	89.01	4017.04

表5是吴起县退耕前后不同类型植被覆盖率的变化情况。表中森林覆盖率为有林地面积占国土面积的百分比,林木覆盖率为有林地和灌木林面积占国土面积的百分比,林草覆盖率为有林地、灌木林和草地面积占国土面积的百分比。由表5可以看出,吴起县森林覆盖率由1997年的0.95%提高到2007年的34.76,增长了33.81个百分点;林木覆盖率由1997年的25.62%提高到2007年的34.76%,增长了9.15个百分点;林草覆盖率增加最为显著,由1997年的37.06%提高到2007年的80.60%,增长了43.54个百分点。这主要是由于吴起县的自然环境适宜草类生长,该县大力推广牧草种植,使牧草种植面积得到大幅度的扩展。

表5 陕北吴起县不同类型覆盖率变化

Table 5 Coverage rate changes of different vegetation types in Wuqi County in northern Shaanxi Province

覆盖率类型	森林覆盖率	林木覆盖率	林草覆盖率
2007 年	34.76	34.76	80.60
1997 年	0.95	25.62	37.06
2007~1997 变化	33.81	9.15	43.54

3.3 坡耕地面积变化

研究区的土壤侵蚀以沟蚀为主,土壤侵蚀量的大小受地面坡度大小制约。根据多年实验结果,在山区6°、15°、25°是较为明显的土壤侵蚀临界坡度值。在土地利用中,坡度<6°为平缓地,水流运动较平缓,水土流失微弱,这是农业生产最理想的坡度条件,在耕作时采用水保耕作法可以防止面蚀的发生;6~15°是缓坡地,动力和重力作用加大,水流运动加快,水土流失随之加重,但不太强烈,仍是条件较好的农业区,是可修筑梯田的范围,也是主要的耕地;>25°的坡地侵蚀强烈,水土流失严重,土壤贫瘠,不宜耕作,宜作为林牧用地,也是需退耕还林(草)的区域^[33]。表6是吴起县退耕前后不同等级坡度耕地面积的变化情况。由表6可以看出,与退耕前的1997年相比,2007年高坡度耕地绝大部分实现退耕,>35°的坡耕地退耕幅度为89.26%,25°~35°的坡耕地退耕幅度为82.65%,低坡度的坡耕地也有较大幅度的退耕。吴起县实施退耕还林前绝大部分耕地属坡耕地,粮食生产基本处于广种薄收的落后局面,大量的坡耕地被退耕后,保留耕地基本是川、涧、平地。同时为了保证粮食产,巩固退耕还林成果,吴起县大力兴修基本农田,改善农耕地的生产条件,减少水土流失,提高粮食生产的综合能力^[34]。

表 6 陕北吴起县各等级坡度坡耕地面积变化

Table 6 Area changes of the farmland with different gradients in Wuqi County in northern Shaanxi Province hm²

坡度	<2°	2°~6°	6°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
2007 年	1933.65	4344.48	13506.84	21000.13	14432.94	2642.31
1997 年	4681.88	9279.08	34494.40	76572.76	83209.40	24612.68
2007~1997 变化	-2748.23	-4934.60	-20987.56	-55572.63	-68776.46	-21970.37
变化百分率/%	-58.70	-53.18	-60.84	-72.57	-82.65	-89.26

3.4 植被覆盖度变化

表 7 是吴起县退耕前后不同等级植被覆盖度面积占国土面积百分点的变化情况。由表 7 可以看出,与退耕前的 1997 年相比,低植被覆盖度的土地面积在大幅度减少,相反高植被覆盖度的土地面积在大幅度增加;植被覆盖度 10%~30%的面积所占比例由 1997 年的 66.67 减少到 2007 年的 32.25%,减少幅度达 84.96%;植被覆盖度 30%~50%的面积所占比例由 1997 年的 11.06%增加到 2007 年的 44.07%,增加幅度达 298.28%

表 7 陕北吴起县各等级植被覆盖度面积占国土面积百分比变化
Table 7 Percentage of the area of different vegetation coverages to the total area in Wuqi County in northern Shaanxi Province %

植被覆盖度	<10%	10%~30%	30%~50%	50%~70%	>70%
2007 年	3.18	32.25	44.07	16.79	3.71
1997 年	21.17	66.67	11.06	1.08	0.02
2007~1997 变化	-17.98	-34.42	33.00	15.71	3.69
变化百分率/%	-84.96	-51.62	298.28	1458.31	19162.56

3.5 土壤侵蚀强度变化

表 8 是吴起县退耕前后不同等级土壤侵蚀面积占国土面积百分比的变化情况。由表 8 可以看出,与退耕前的 1997 年相比,土壤侵蚀强度总体上降低,较高强度土壤侵蚀的土地面积在大幅度减少。极强度、剧烈的高等级土壤侵蚀面积 2007 年比 1997 年分别减少了 57.41%和 67.61%,使得极强度、剧烈的高等级土壤侵蚀面积由 1997 年占国土总面积的 42.52%下降到 2007 年的 17.35%。孙智辉等研究也发现^[35]吴起县的生态环境变化对径流量影响明显,多雨年径流量减小一半以上。

表 8 陕北吴起县各等级土壤侵蚀面积占国土面积百分比变化
Table 8 Percentage of the area of different soil erosion intensity areas to the total area in Wuqi County in northern Shaanxi Province %

侵蚀强度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
2007 年	10.25	43.77	28.63	14.93	2.42
1997 年	2.90	17.28	37.30	35.05	7.47
2007~1997 变化	7.35	26.49	-8.67	-20.12	-5.05
变化百分率	253.98	153.28	-23.24	-57.41	-67.61

4 结论与讨论

本文利用 RS 和 GIS 技术,宏观和微观相结合,客观地反映了吴起县退耕还林生态建设工程实施以来植被覆盖、土地利用、坡耕地的变化,综合分析了这些因素所

导致的土壤侵蚀强度的变化,揭示了该县近 9 年来,植被恢复明显,水土流失得到了有效遏制,生态建设成果突出。

1) 在 SPOT VEGETATION NDVI 图像上,吴起县版图轮廓从 2001 年开始显现,以后变得越来越清晰,该县的植被覆盖与周围区域差异变得越来越大,植被覆盖和长势明显好于周围区域。近 9 年来该县植被覆盖在起伏波动中逐年增加,其线性增加趋势极其显著 ($P<0.001$),NDVI 的增长率高达为 37.9%。低覆盖率植被面积在减少,高覆盖率植被面积在增加,植被覆盖状况明显转好。

2) 从 1997 年和 2007 年 TM 影像解译得到土地利用类型、坡耕地面积、植被覆盖率和土壤侵蚀强度等四方面的数据变化来看,吴起县近年来退耕还林(草)的成绩是显著的,生态环境有了明显的改善。与 1997 年相比,到 2007 年吴起县有 75.15%耕地不再耕种,退出的耕地主要变为草地、林地和果园;林草覆盖率增加显著,由 1997 年的 37.06%提高到 2007 年的 80.60%;高坡度耕地绝大部分实现退耕,>25°的坡耕地 80%~90%实现了退耕;低植被覆盖度的土地面积在大幅度减少,相反高植被覆盖度的土地面积在大幅度增加;土壤侵蚀强度总体上降低,极强度、剧烈的高等级土壤侵蚀面积由 1997 年占国土总面积的 42.52%下降到 2007 年的 17.35%,但土壤侵蚀状况仍然严重,需要继续加强治理。

3) 应用先进的 RS、GIS 技术可以快速确定退耕还林的面积和空间分布,评估退耕还林工程的成效,能节约大量人力、财力和物力,具有较强的客观性。但也要看到监测数据还存在一定误差,需要进一步提高影像的分辨能力和解译水平。

[参 考 文 献]

- [1] 唐克丽,张科利.黄土高原人为加速侵蚀与全球变化[J].水土保持学报,1992,6(2): 88-96.
- [2] 李 通.黄土高原现代侵蚀[M].北京:科学出版社,1998: 152-155.
- [3] 梁一民,陈云明.论黄土高原造林的适地适树与适地造林[J].水土保持通报,2004,24(3): 69-72.
- [4] 石 云,米文宝,刘万青.3S技术在宁夏南部山区退耕还林还草中的应用[J].水土保持研究,2006,13(1): 224-226.
- [5] 胡华科,郑春燕.“3S”技术及其在退耕还林中的应用[J].水土保持研究,2006,13(4): 54-56.
- [6] 刘 勇,刘悦翠,王得军.3S技术在退耕还林工程项目监测中的应用[J].西北林学院学报,2008,23(2): 177-180.
- [7] 陈 芳,魏怀东,丁 峰.基于NDVI的黄土丘陵沟壑区退耕还林还草监测及效果评价[J].西北林学院学报,2008,23(1): 50-53.
- [8] 周洪建,王静爱,李 睿.基于SPOT VEG NDVI和降水序列的退耕还林(草)效果分析[J].水土保持学报,2008,22(4): 70-74.
- [9] 甄计国,陈亚伟.植被指数与退耕还林(草)初期的遥感监测应用[J].遥感技术与应用.2006,21(1): 41-48.
- [10] 史良树,杜纪山,谭炳香.SPOT-5数据在退耕还林监测中的应用研究.林业资源管理[J],2006,(6): 84-87.
- [11] 张晓萍,李 锐,杨勤科,等.基于RS/GIS的中尺度地区

- 退耕变化及其坡度分异研究[J]. 农业资源与环境科学, 2005, 21(8): 388—392.
- [12] 王 灵, 钱 翌, 赵前程, 等. 基于GIS的四川省青川县退耕还林还草决策分析[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2007, 12(1): 121—124.
- [13] 薛占海. 退耕还林与毁林复耕问题研究——以陕西吴起为例[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版), 2006, 36(4): 56—60.
- [14] 贾海娟, 马俊杰, 王 俊, 等. 农业生态环境恢复重建的模式与对策——以陕北吴旗县为例[J]. 水土保持通报, 2005, 25(4): 38—41.
- [15] 任洪玉, 温仲明, 杨勤科. 黄土沟壑区植被恢复及其物种多样性的变化[J]. 干旱区农业研究, 2003, 21(2): 154—158.
- [16] 王继军. 退耕还林还草下生态农业发展模式初探[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 135—136.
- [17] 周万亩, 李佩成, 李 莉, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕还林工程现状研究[J]. 地下水, 2007, 29(3): 117—121.
- [18] 华凤燕, 杨尚勤. 退耕还林对吴起县粮食产量影响初析[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(10): 2742—2745.
- [19] 秦 伟, 朱清科, 赖亚飞. 退耕还林工程生态价值评估与补偿[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(5): 159—164.
- [20] 杨 光, 孙保平, 赵廷宁, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕还林工程植被恢复效益初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 165—170.
- [21] 赖亚飞, 朱清科, 张宇清, 等. 吴旗县退耕还林生态效益价值评估[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 83—87.
- [22] 罗国占, 赵廷宁, 王 贤, 等. 吴旗县覆沙黄土区退耕还林结合封禁的植被恢复效果研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 80—82.
- [23] Maisongrande P, Duchemin B, Dedieu G. VEGETATION/SPOT: an operational mission for the Earth monitoring; presentation of new standard products[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(1): 9—14.
- [24] Stow D, Hope A, McGuire D, et al. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89: 281—308.
- [25] Hope A, Boynton W, Stow D, et al. Inter-annual growth dynamics of vegetation in the Kuparuk River watershed based on the normalized difference vegetation index[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(17): 3413—3425.
- [26] 杨建平, 丁永建, 陈仁升. 长江黄河源区高寒植被变化的NDVI记录[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 467—478.
- [27] 李登科, 刘安麟, 邓凤东, 等. 陕北黄土高原丘陵沟壑区坡耕地三维分析[J]. 干旱地区农业研究, 2004, (1): 176—178.
- [28] 牛宝茹, 刘俊蓉, 王政伟. 干旱区植被覆盖度提取模型的建立[J]. 地理信息科学, 2005, 7(1): 84—86.
- [29] Tucker C J, Vanpraet C I, Sharman M J, et al. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980 ~ 1984[J]. Remote Sensing of Environment, 1985, 17: 233—249.
- [30] Gramer W, et al. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Overview and key results[J]. Global Change Biology, 1999, 5: 1—15.
- [31] 曾 光, 杨勤科, 张信宝. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被自然恢复过程[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 48—52.
- [32] 李卫忠, 吴付英, 吴宗凯, 等. 退耕还林对农户经济影响的分析[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(6): 161—164.
- [33] 梁仁君, 林振山, 许汝贞. 基于 GIS 的沂蒙山区退耕还林(草) 规划方案分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 136—141.
- [34] 华凤燕, 杨尚勤. 退耕还林对吴起县粮食产量影响初析[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(10): 2742—2745.
- [35] 孙智辉, 罗琳, 苏 锋, 等. 陕北植被变化遥感监测及对径流的影响[J]. 气象科技, 2007, 35(2): 282—285.

Monitoring the effects of ecosystem restructuring project after returning farmland to forest based on RS and GIS

Li Dengke¹, Zhuo Jing¹, Sun Zhihui²

(1. Shaanxi Remote Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710014, China;

2. Yan'an Meteorological Bureau, Yan'an 716000, China)

Abstract: Based on GIS technique, vegetation coverage change was described in recent years by using SPOT VEGETATION, land use and vegetation coverage ratio were interpreted by using TM, furthermore, slope farmland and soil erosion intensity were analyzed by overlay method for understanding the effect of the project of returning farmland to forest or grassland (grain for green). The territory profile of Wuqi County in northern Shaanxi Province was gradually clear-cut on SPOT VEGETATION images from 1999 to 2007. It is the green mark that the project makes. Vegetation was not only getting better and better in Wuqi county, but also getting better than the surroundings. Comparing with the status in 1997, 75.15% of farmland was no longer cultivated, which was mainly returned to pasture, woodland or garden in 2007. The coverage ratio of woods and grass was greatly increased from 37.06% in 1997 to 80.60% in 2007. 80%-90% of slope farmland with the gradient more than 25° was not cultivated. Soil erosion intensity was decreased as a whole, the areas of high and violent intensity soil erosion decreased from 42.52% in 1997 to 17.35% in 2007. However, its situation is still severe and it needs to be improved further.

Key words: returning farmland to woodland or grassland (grain for green), ecosystem restructuring, remote sensing monitoring, GIS, vegetation, land use, soil erosion, Wuqi County