

陕西省重点生态建设工程区植被恢复状况遥感监测

范建忠, 李登科*, 董金芳

(陕西省农业遥感信息中心, 西安 710014)

摘要: 该文应用像元分解模型, 利用 250 m 分辨率 MODIS NDVI 定量估算了 2000~2010 年陕西省的植被覆盖度, 分析了该省重点生态建设工程区(防沙治沙工程区、退耕还林工程区、天然林保护工程区)植被覆盖度的时空变化特征。结果表明: 1) 陕西省重点生态建设工程区 2010 年的植被覆盖度比 2000 年增加了 8.3%~23.2%。2) 2000~2010 年各个生态建设工程区的植被覆盖度变化都呈现在波动中缓慢上升的趋势 ($P<0.01$), 线性倾向变化百分率以防沙治沙工程区最高 (83.8%), 其次是陕北退耕还林工程区 (61.1%)。3) 各个生态建设工程区植被覆盖度以增加为主, 植被覆盖度线性倾向变化增加的面积占相应工程区面积的 82.8%~98.2%。4) 各个生态建设工程区高覆盖度植被所占的面积比例具有极显著的上升趋势 ($P<0.01$), 低覆盖度植被所占的面积比例具有极显著的下降趋势 ($P<0.01$)。通过重点生态建设工程的实施, 工程区内植被覆盖状况显著改善, 防沙治沙工程区和陕北退耕还林工程区植被覆盖度增加尤为显著。该研究可为客观评价陕西省防沙治沙工程、退耕还林工程、天然林保护工程的生态效益提供科学依据。

关键词: 遥感, 生态系统, 建设工程, 植被覆盖度, 陕西省

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.07.038

中图分类号: Q948

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-07-0228-07

范建忠, 李登科, 董金芳. 陕西省重点生态建设工程区植被恢复状况遥感监测[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 228-234.

Fan Jianzhong, Li Dengke, Dong Jinfang. Remote sensing analysis of vegetation restoration in key ecological construction areas of Shaanxi province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(7): 228-234. (in Chinese with English abstract)

0 引言

黄土高原生态环境治理和植被恢复是一项长期而艰巨的任务。目前, 以植被恢复为核心的生态建设及其效益的研究已成为当前生态学研究的前沿和热点问题。评估植被的恢复情况, 是生态恢复有效性评估的重要环节, 能够揭示生态建设工程所取得的实效, 可为工程的顺利实施提供理论参考和科学支撑^[1]。

植被覆盖度 (fractional vegetation cover, FVC) 指植被 (包括叶、茎、枝) 在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比, 是植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标, 是描述植被群落及生态系统的重要基础数据。植被覆盖度测量方法通常有地表实测法和遥感测量法 2 种。遥感监测方法基于空间连续数据, 在大中尺度区域估算植被覆盖度具有一定优势^[2]。利用遥感数据提取植被覆盖度的方法主要有经验模型法、混合像元分解法^[3]。经验模型法在局部区域具有较高的精度, 但在空间应用上具有局限性, 即只适用于特定的区域与特定的植被类型,

不具有普遍意义^[4-5]。基于混合像元分解模型的遥感植被覆盖调查一方面不需要进行大范围的野外考察, 经济方便; 另一方面可以利用不同时相的遥感影像估算植被覆盖度, 适于植被覆盖度的动态监测研究^[6]。

以往在研究生态建设工程植被恢复时, 研究的区域为行政区域^[7-13], 与生态建设工程实施的范围不相符; 反映生态建设工程植被恢复程度所采用的指标^[9-12] (如归一化植被指数等) 比较抽象, 直接影响了政府部门的使用。本文以实际生态建设工程实施的区域为研究区域, 应用简单实用的像元二分法, 利用 250 m 分辨率的 MODIS NDVI 构建了定量估算植被覆盖度模型, 研究 2000~2010 年植被覆盖度的时空变化特征, 以期对陕西省各个生态建设工程植被的定量、动态监测提供技术与理论支持, 为客观评价陕西省防沙治沙工程、退耕还林工程、天然林保护工程的生态效益提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

陕西省 (31°42'~39°35' N, 105°29'~111°15' E) 地处中国西北地区, 北部跨黄土高原中部, 总面积为 2.1×10^5 km²。研究区南北狭长, 有山地、高原、盆地、沙漠, 大小河流交错, 从北至南依次为温带、暖温带、北亚热带气候, 自然环境复杂, 生态条件多样, 植物资源种类繁多, 植被分布具有明显的地带性。从北到南依次分布温带草原地带、森林草原地带、暖温带落叶阔叶林地带和

收稿日期: 2011-10-06 修订日期: 2011-10-27

基金项目: 陕西省科学技术研究发展计划项目 (2011K17-02-04)

作者简介: 范建忠 (1961—), 男, 陕西宜川人, 高级工程师, 主要从事遥感业务和研究工作。西安 陕西省农业遥感信息中心, 710014。

Email: Fanjzh@yahoo.com.cn

*通信作者: 李登科 (1963—), 男, 陕西眉县人, 正研级高级工程师, 主要从事农业遥感业务和研究工作。西安 陕西省农业遥感信息中心, 710014。

Email: ldk81711@sina.com

北亚热带常绿阔叶林地带。陕西省是中国水土流失、沙化等环境问题最严峻的地区之一，水土流失面积占全省土地总面积的 66.9%，成为制约区域经济发展的重要因素。1999 年起，陕西省启动并实施了退耕还林工程。截至 2009 年 10 月底，全省累计造林 $4.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，其中退耕还林 $2.30 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，位居全国第一；自 1998 年 11 月，陕西省全面停止了森林的商品性采伐，10 年累计减少森林资源消耗 $5\,500 \text{ m}^3$ ，累计完成了公益林建设 $1.49 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，建立了市、县、乡、村及点、线、面结合的森林管护网络，使 $7.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 森林资源得到有效保护；陕西省现有荒漠化土地面积 $2.99 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。近十年来，治沙造林力度不断加大，累计保存造林面积 $1.25 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，固定流沙 $4.67 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ，林草覆盖率达到 33.5%，实现了由“沙进人退”到“人进沙退”的历史性转变。全省森林覆盖率生态建设工程前的 30.92% 提高到 37.26%，居全国第 12 位。全省累计治理水土流失面积 $9.42 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，输入黄河的年泥沙量减少 $1.3 \times 10^8 \text{ t}$ 。

陕西省防沙治沙工程区 (I) 位于陕西省最北部, 处于毛乌素沙漠的南缘地带; 退耕还林工程区包括陕北退耕还林工程区 (II) 和陕南退耕还林工程区 (III), 分别位于陕北黄土高原丘陵沟壑区、渭北塬区和陕南低山丘陵区; 天然林保护工程包括陕北天然林保护工程区 (IV) 和陕南天然林保护工程区 (V), 分别位于黄龙山、桥山林区和关山、秦岭、巴山林区 (图 1)。

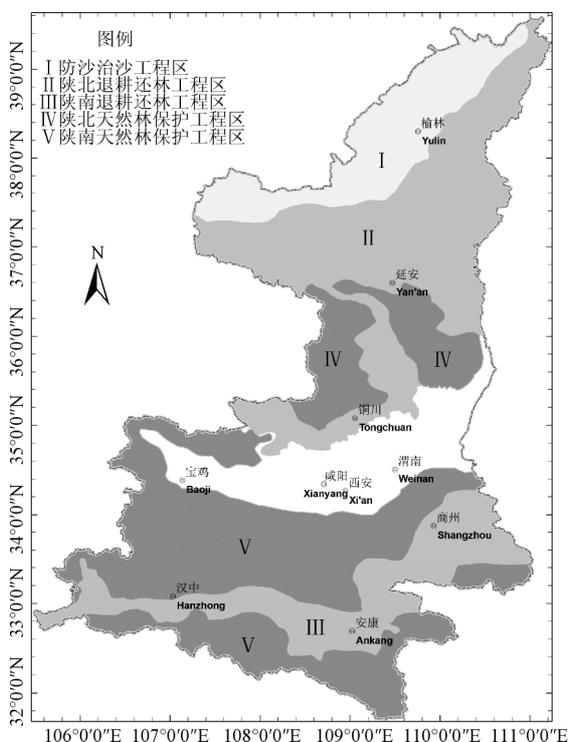


Fig.1 Location of Shaanxi key ecological construction areas

1.2 数据来源及预处理

卫星遥感资料选取美国 NASA LP DAAC (land processes distributed active archive center) 提供的 2000 年 2 月~2010 年 12 月 16 d 合成的 MODIS 植被指数产品

MOD13Q1 (分辨率 250 m)。根据产品说明, NASA 将全球横向分为 36 个区域(分别标示 h0~h35)、纵向分为 14 个区域(分别标示为 v0~v13), 每一区域覆盖范围为 $1\,200 \text{ km} \times 1\,200 \text{ km}$, 本研究区域位于 h26v5 和 h27v5 区。该数据集统一采用 SIN GRID 投影并已进行去云、辐射校正、大气校正等处理。产品包括归一化植被指数 (NDVI) 和增强型植被指数 (EVI) 2 个植被指数数据集。

利用 MODLAND 提供的 MRT (modis reprojection tool) 投影转换工具, 对 h26v5 和 h27v5 两区的 NDVI 进行拼接和投影转换, 转换为等经纬度坐标投影, 基准面为 WGS-84 坐标系。为了年际间对比分析, 进一步消除太阳高度角等因素的影响, 在 ERDAS IMAGINE 中利用最大值合成法 (MVC) 对各年 NDVI 进行最大值 (最大 NDVI 反映一年中植被生长最好的状况) 合成。

1.3 混合像元分解模型

混合像元分解模型中最常用的线性模型是像元二分模型。像元二分模型的原理: 假设一个像元由土壤和植被两部分组成, 像元信息可表达为由绿色植被成分所贡献的信息和由土壤成分所贡献的信息之和, 表达式为

$$NDVI = f_{veg} \cdot NDVI_{veg} + (1 - f_{veg}) \cdot NDVI_{soil} \quad (1)$$

式中, $NDVI$ 为混合像元的植被指数值, $NDVI_{veg}$ 为纯植被像元的植被指数值, $NDVI_{soil}$ 为纯土壤像元的植被指数值, f_{veg} 为植被覆盖度。

混合像元法求算植被覆盖度的基本公式如下

$$f_{veg} = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (2)$$

$NDVI_{soil}$ 代表纯土壤覆盖像元的最小值, $NDVI_{veg}$ 代表纯植被覆盖像元的最大值。由于植被类型的不同等因素, $NDVI_{soil}$ 、 $NDVI_{veg}$ 值会随着时间和空间而改变^[14]。为了便于比较, 本文提取 2000~2010 年 $NDVI$ 最大值图像, 在 $NDVI$ 频率累积表上取频率为 5% 的 $NDVI$ 为 $NDVI_{soil}$, 取频率为 95% 的 $NDVI$ 值为 $NDVI_{veg}$ ^[15-17]。在 ERDAS IMAGE9.0 软件下通过 Modeler 实现植被覆盖度定量转换模型, 得到不同时相的植被覆盖度灰度图。

1.4 植被覆盖度变化趋势分析方法

利用线性倾向估计进行植被覆盖度时间趋势分析, 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, 植被覆盖度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

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (3)$$

式中, B 为线性倾向值; x 为植被覆盖度; t 为时间, a ; $n=11$ 。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 值大小反映了 FVC 上升或下降的速率, 即表示上升或下降的倾向程度。

线性倾向变化百分率 (%) = $B / \text{均值} \times 11 \times 100\%$ 。式中:

均值为 11 a 的平均植被覆盖度值。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖度的变化特征和空间分布

对比 2000 年和 2010 年陕西省重点生态建设工程区植被覆盖度图像(图 2)可以看出,各个重点生态建设工程区的植被覆盖度都有不同程度的增加,陕北退耕还林工程区和防沙治沙工程区植被覆盖度增加较大。防沙治

沙工程区 2000 年植被覆盖度主要分布在 0~20%, 2010 年为 0~40%; 陕北退耕还林工程区 2000 年植被覆盖度主要分布在 0~40%, 2010 年为 30%~70%; 陕南退耕还林工程区 2000 年植被覆盖度主要分布在 60%~90%, 2010 年为 70%~100%; 陕北天然林保护工程区 2000 年植被覆盖度主要分布在 60%~90%, 2010 年为 70%~100%; 陕南天然林保护工程区 2000 年植被覆盖度主要分布在 70%~100%, 2010 年为 80%~100%。

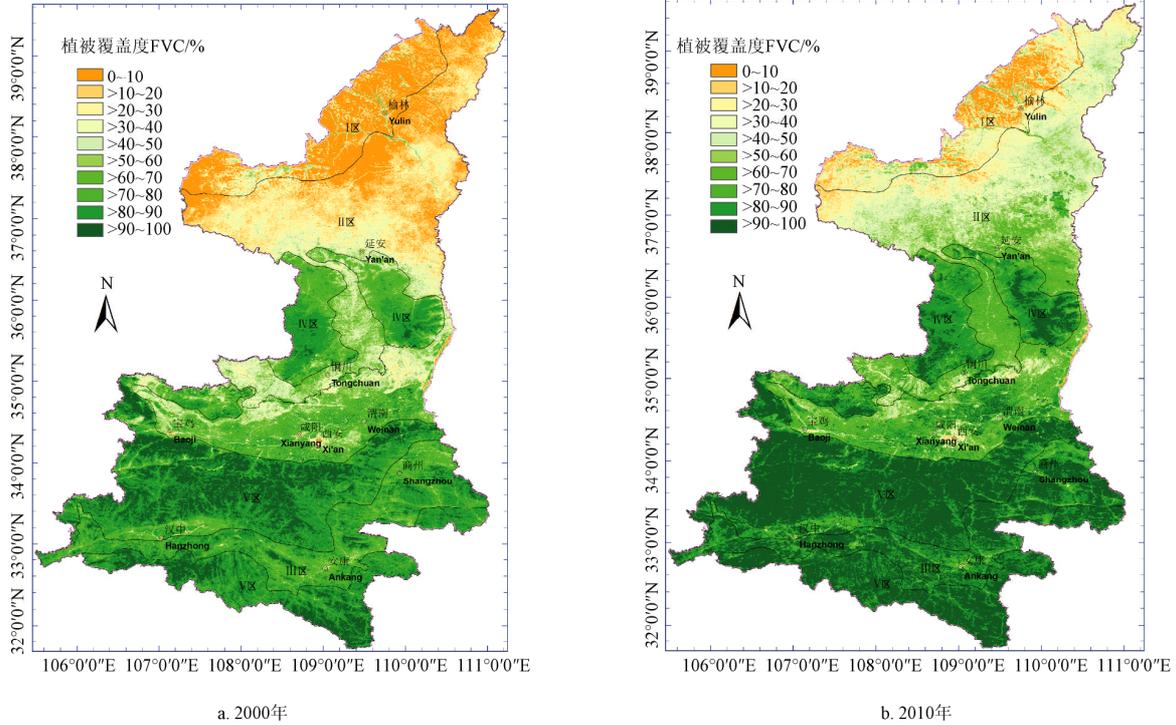


图 2 陕西省重点生态建设工程区植被覆盖度图像

Fig.2 Map of fractional vegetation cover in key ecological construction areas of Shaanxi province

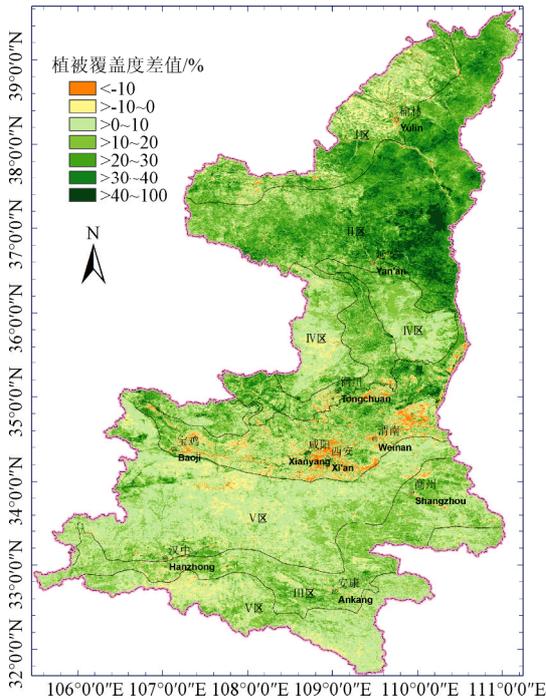


图 3 2010 年与 2000 年植被覆盖度差值图像
Fig.3 Map of fractional vegetation cover difference between 2010 and 2000

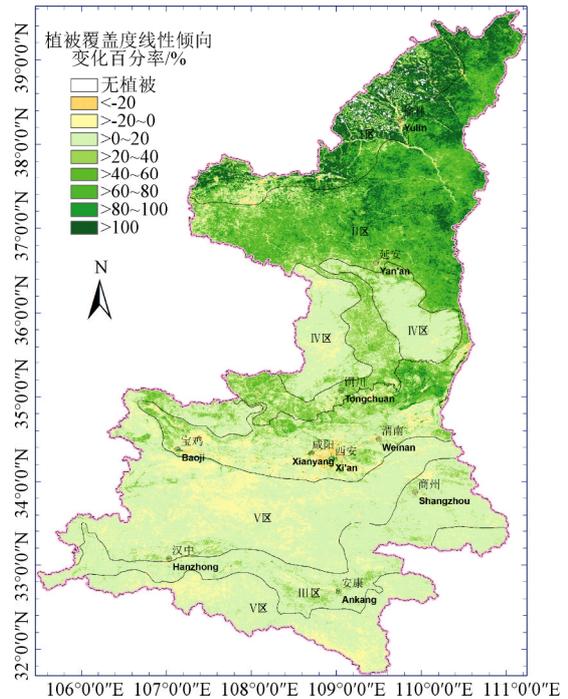


图 4 植被覆盖度线性倾向变化百分率图像
Fig.4 Map of trend change percentages of fractional vegetation cover

对 2010 年和 2000 年陕西省重点生态建设工程区植被覆盖度图像进行差值运算，得到差值图像（图 3）。从图 3 可以看出，2010 年和 2000 年相比陕西省重点生态建设工程区植被覆盖度以增加为主，也存在局部降低现象。2010 年和 2000 年植被覆盖度差值分布，防沙治沙工程区主要在 -10%~40%；陕北退耕还林工程区主要在 0~40%，陕南退耕还林工程区主要在 0~30%；陕北天然林保护工程区主要在 0~30%，陕南天然林保护工程区主要在 -10%~20%。图 4 是利用一元线性回归分析方法计算的植被覆盖度的线性倾向变化百分率分布图。由图 4 可以看出，植被覆盖度的变化百分率以增加为主，也存在局部降低现象。

各个重点生态建设工程区 2010 年和 2000 年植被覆盖度平均值（表 1）比较，陕北退耕还林工程区增加最大，为 23.2%；其次为防沙治沙工程区，为 15.0%；增加最小的是陕南天然林保护工程区，为 8.3%。

表 1 陕西省重点生态建设工程区植被覆盖度变化值
Table 1 Changes of fractional vegetation cover in different project areas %

工程区	年份										2010 与 2000 差值	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009		2010
I	9.4	11.5	18.2	19.1	19.3	18.3	18.5	20.9	20.4	24.1	24.4	15.0
II	25.1	29.3	36.9	38.0	42.5	39.2	43.0	46.4	44.8	50.4	48.4	23.2
III	78.4	80.1	79.2	82.6	81.5	83.6	81.4	86.1	83.9	85.1	89.2	10.8
IV	73.3	75.8	79.1	81.1	81.2	81.0	81.5	83.5	83.0	83.4	83.7	10.3
V	83.0	84.6	84.6	86.5	85.5	87.0	85.3	88.7	87.0	88.0	91.3	8.3

2.2 植被覆盖度年际变化

简单差值法能够直接反映 11 a 间不同重点生态建设工程区植被覆盖度的变化趋势，但是由于其计算研究时段端点时间图像之间的差异，得到的结果往往很容易受到端点年份极端气候的影响。一元线性回归分析方法，在一定程度上可以消除特定年份极端气候的影响，更能真实地反映植被覆盖度在 11 a 内演变过程。因此，利用一元线性回归分析方法具体分析不同重点生态建设工程区植被覆盖度在 11 a 的变化趋势。

图 5 是重点生态建设工程区各个年度植被覆盖度变化曲线。由图 5 可以看出，2000~2010 年各个生态建设工程区的植被覆盖度变化都呈现在波动中缓慢上升的趋势，线性回归方程均通过显著水平为 0.01 的统计检验，

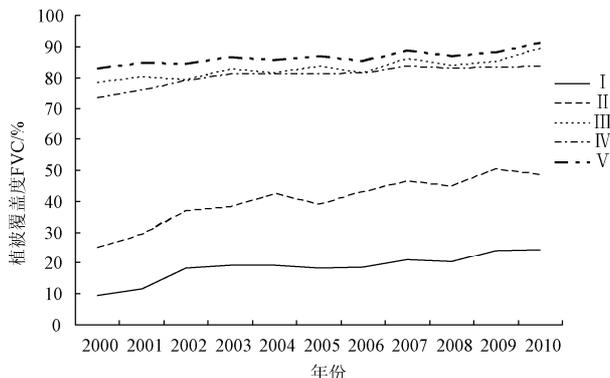


图 5 陕西省重点生态建设工程区植被覆盖度变化

Fig.5 Changes of fractional vegetation cover in different project areas of key ecological construction areas of Shaanxi province

线性倾向变化百分率以防沙治沙工程区最高，为 83.8%，其次是陕北退耕还林工程区为 61.1%，其余区域在 10% 左右（表 2）。

表 2 陕西省重点生态建设工程区植被覆盖度线性回归方程和线性倾向变化百分率

Table 2 Equations of linear regression and trend change percentages (n=11) of fractional vegetation cover in different areas

工程区	线性回归方程	相关系数	线性倾向变化百分率/%
I	$y=1.2246x+11.198$	0.8900	83.8
II	$y=2.1942x+27.186$	0.9356	61.1
III	$y=0.8625x+77.643$	0.8991	10.3
IV	$y=0.8965x+75.23$	0.8938	7.1
V	$y=0.603x+82.891$	0.8757	11.7

按植被覆盖度线性倾向变化百分率的变化范围，统计各区间的面积所占比例，结果列于表 3。从表 3 可以看出，各个生态建设工程区植被覆盖度以增加为主，植被覆盖度线性倾向变化百分率大于 0 的面积占相应工程区面积的 82.8%以上，陕北退耕还林工程区高达 98.2%；植被覆盖度线性倾向变化百分率小于 0 所占的面积比例以陕南天然林保护区最高，为 17.2%，其余区域均小于 10%。从不同等级植被线性倾向变化百分率所占的面积比例来看，防沙治沙工程区植被线性倾向变化百分率主要分布在 40%~100%的区间里，面积比例占 73.7%。陕北退耕还林工程区主要在 20%~100%，占 79.5%；陕南退耕还林工程区主要在 0~20%，占 84.1%。陕北天然林保护工程区主要在 0~40%，占 89.8%；陕南天然林保护工程区主要在 -20%~20%，占 90.4%。

表 3 植被覆盖度不同线性倾向变化百分率所占的面积比例
Table 3 Ratios of occupied area to total area of different fractional vegetation cover trend change percentage %

工程区	线性倾向变化百分率									
	<-20%	-20%~0	>0~20%	>20%~40%	>40%~60%	>60%~80%	>80%~100%	>100%	≤0	>0
I	5.8	4.1	7.5	8.9	10.0	11.3	10.6	41.8	9.8	90.2
II	0.4	1.5	8.7	18.4	22.5	22.9	14.7	11.0	1.8	98.2
III	0.1	7.1	84.1	8.3	0.3	0.1	0.0	0.0	7.2	92.8
IV	0.0	6.9	76.4	13.4	2.7	0.5	0.1	0.0	7.0	93.0
V	0.1	17.1	77.3	4.9	0.5	0.1	0.0	0.0	17.2	82.8

2.3 不同等级植被覆盖度的变化

为了便于分析不同等级植被覆盖度的变化，把植被覆盖度定义为 3 个等级，即低覆盖度 0~30%，中覆盖度 30%~60%，高覆盖度 60%~100%。统计各生态建设工程区各年不同等级植被覆盖度像元所占的比例，结果绘制成图 6。

从图 6 可以看出，防沙治沙工程区以低覆盖度植被为主，低、中、高覆盖度植被面积所占比例的平均值分别为 77.6%、20.7%和 2.0%。中、高覆盖度植被所占的面积比例具有极显著的上升趋势 (P<0.01)；中覆盖度植被

所占的面积比例由 2000 年 8.6% 的上升到 2010 年的 33.9%，升幅为 25.3%；高覆盖度植被所占的面积比例由 2000 年 0.7% 的上升到 2010 年的 3.0%，升幅为 1.3%；低

覆盖植被所占的面积比例具有极显著的下降趋势 ($P < 0.01$)，低覆盖度植被所占的面积比例由 2000 年 90.8% 的下降到 2010 年的 64.1%，降幅为 26.7%。

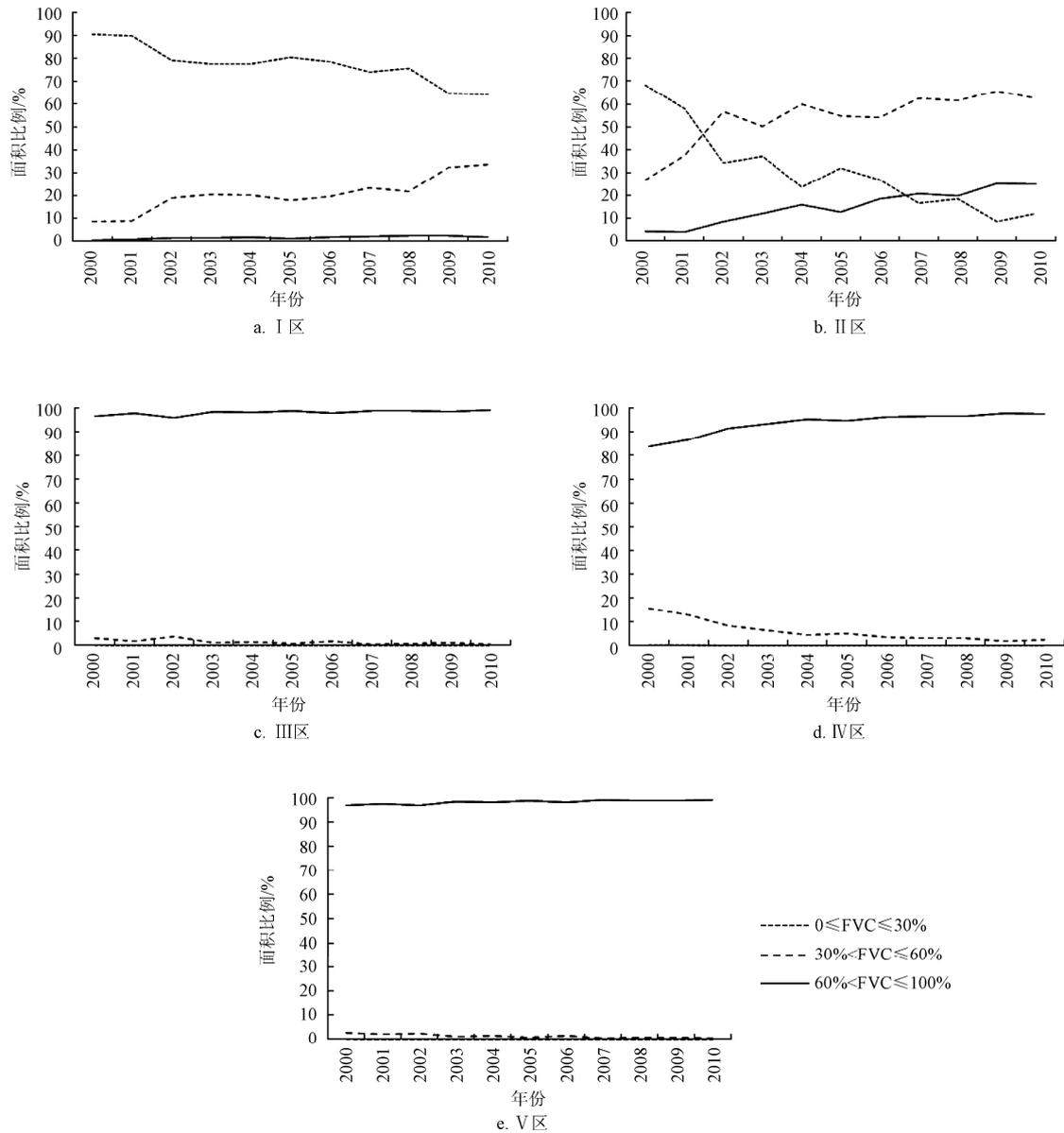


图 6 不同等级植被覆盖度的变化

Fig.6 Changes of fractional vegetation cover at different levels

陕北退耕还林工程区以中覆盖度植被为主，低、中、高覆盖度植被面积所占比例的平均值分别为 30.7%、54.0% 和 15.3%。中、高覆盖度植被所占的面积比例具有极显著的上升趋势 ($P < 0.01$)；中覆盖度植被所占的面积比例由 2000 年 27.2% 的上升到 2010 年的 62.7%，升幅为 35.5%；高覆盖度植被所占的面积比例由 2000 年 4.4% 的上升到 2010 年的 25.0%，升幅为 20.6%；低覆盖植被所占的面积比例具有极显著的下降趋势 ($P < 0.01$)，低覆盖度植被所占的面积比例由 2000 年 68.3% 的下降到 2010 年的 12.3%，降幅为 56.0%。

陕南退耕还林工程区、陕北天然林保护工程区和陕北天然林保护工程区基本上都是高覆盖度植被，高覆盖度植被面积所占比例的平均值在 93.0% 以上。高覆盖度植

被所占的面积比例都具有极显著的上升趋势 ($P < 0.01$)。

3 讨论

植被覆盖度的波动上升趋势反映了气候因素和人为因素交互作用的结果。研究表明，陕西省气候呈现一种暖干化发展趋势，气候暖干化导致土壤含水率下降，风沙加大，植物存活率降低，植被覆盖率下降，地表土质更趋疏松，导致区域生态环境趋于恶化。而陕北长城沿线风沙区和黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖状况在波动起伏中持续转好。降水量是引起植被覆盖年际波动的主要因子，非气候因素是植被覆盖增加的主要原因。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、草原围栏封育等是导致植被显著增加的重要原因^[18-20]。这

些研究结果也说明了生态保护和重建对陕北地区植被覆盖度的增长有重要贡献, 陕西省的一系列生态恢复措施收到了良好效果。但到目前为止, MODIS 资料的时间尺度还较短, 因此, 对于植被生产力影响因素(如气候变化、人类活动等)的分析还需要更长时间的资料积累才能说明问题。

4 结论

利用 MODIS NDVI 构建定量估算植被覆盖度模型, 对陕西省防沙治沙工程区、退耕还林工程区、天然林保护工程区 2000~2010 年植被覆盖度的时空变化特征进行了分析, 得到以下结论。

1) 与 2000 年相比, 2010 年陕西省重点生态建设工程区的植被覆盖度都有不同程度的增加。陕北退耕还林工程区植被覆盖度增加最大(23.2%), 其次为防沙治沙工程区(15.0%), 增加最小的是陕南天然林保护工程区(8.3%)。

2) 2000~2010 年各个生态建设工程区的植被覆盖度变化都呈现在波动中缓慢上升的趋势($P<0.01$)。线性倾向变化百分率以防沙治沙工程区最高, 为 83.8%, 其次是陕北退耕还林工程区为 61.1%, 其余区域在 10% 左右。

3) 植被覆盖度的线性倾向变化百分率以增加为主, 也存在局部降低现象。各个生态建设工程区植被覆盖度以增加为主, 植被覆盖度线性倾向变化百分率 >0 的面积占相应工程区面积的 82.8% 以上, 其中陕北退耕还林工程区高达 98.2%; 植被覆盖度线性倾向变化百分率 <0 所占的面积比例以陕南天然林保护区最高, 为 17.2%, 其余区域均小于 10%。

4) 防沙治沙工程区分别以低覆盖度植被为主, 陕北退耕还林工程区以中覆盖度植被为主。两工程区中、高覆盖度植被所占的面积比例都具有极显著的上升趋势($P<0.01$); 低覆盖植被所占的面积比例都具有极显著的下降趋势($P<0.01$)。

陕南退耕还林工程区、陕北天然林保护工程区和陕北天然林保护工程区基本上都是高覆盖度植被, 高覆盖度植被面积所占比例的平均值在 93.0% 以上。高覆盖度植被所占的面积比例都具有极显著的上升趋势($P<0.01$)。

【参 考 文 献】

- [1] 王朗, 傅伯杰, 吕一河, 等. 生态恢复背景下陕北地区植被覆盖的时空变化[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2109—2116.
Wang Lang, Fu Bojie, Lü Yihe. Spatio-temporal variations of vegetation cover in northern Shaanxi Province under the background of ecological restoration[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(8): 2109—2116. (in Chinese with English abstract)
- [2] 秦伟, 朱清科, 张学霞, 等. 植被覆盖度及其测算方法研究进展[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(9): 163—170.
Qin Wei, Zhu Qingke, Zhang Xuexia, et al. Review of vegetation covering and its measuring and calculating method[J]. Journal of Northwest Science-Technology

- University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2006, 34(9): 163—170. (in Chinese with English abstract)
- [3] 江洪, 王钦敏, 汪小钦. 福建省长汀县植被覆盖度遥感动态监测研究[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 126—132.
Jiang Hong, Wang Qinmin, Wang Xiaoqin. Dynamic monitoring of vegetation fraction by remote sensing in Changting County of Fujian Province[J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(1): 126—132. (in Chinese with English abstract)
- [4] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(4): 327—333.
Tian Qingjiu, Min Xiangjun. Advance in study on vegetation indices[J]. Advance in Earth Science, 1998, 13(4): 327—333. (in Chinese with English abstract)
- [5] 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 University, 2001, 16(1): 40—43. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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]. 地球信息科学, 2005, 7(1): 84—97.
Niu Baoru, Liu Junrong, Wang Zhengwei. Remote sensing information extraction based vegetation fraction in Semiarid Area[J]. Earth Information Science, 2005, 7(1): 84—97. (in Chinese with English abstract)
- [7] 高莉, 全锋, 申磊, 等. 基于 ALOS 和 PPS 的退耕还林工程监测——以涪源县九连城镇为例[J]. 水土保持通报, 2010, 30(6): 22—25.
Gao Li, Quan Feng, Shen Lei, et al. Monitoring method in returning cropland to forestland project based on ALOS and PPS: taking jiuliancheng town in guyuan county as an example[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(6): 22—25. (in Chinese with English abstract)
- [8] 黄建文, 陈永富, 陈巧. 利用 3S 技术进行退耕还林工程信息提取的研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(4): 500—504.
Huang Jianwen, Chen Yongfu, Chen Qiao. Application methods of 3S technology in extracting forest information in the project of returning farmland to forest[J]. Forest Research, 2010, 23(4): 500—504. (in Chinese with English abstract)
- [9] 赵子忠, 芦维忠. 基于遥感技术的退耕还林监测研究——以甘肃省清水县为例[J]. 林业资源管理, 2010(4): 63—67.
Zhao Zizhong, Lu Weizhong. Study on monitoring the project of converting farm land into forest based on remote sensing technique: taking qingshui county of gansu province as an example[J]. Forest Resources Management, 2010(4): 63—67. (in Chinese with English abstract)
- [10] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(12): 120—126. (in Chinese with English abstract)
- [11] 周文渊, 郭建英, 孙保平, 等. 吴起县退耕还林工程实施前后土地利用/覆盖变化[J]. 中国水土保持, 2010(7): 45—48.

- Zhou Wenyuan, Guo Jianying, Sun Baoping, et al. Variations of land use and land cover before and after project of conversion of cropland to forest in Wuqi County[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2010(7): 45–48. (in Chinese with English abstract)
- [12] 许智超, 张岩, 刘宪春, 等. 半干旱黄土区退耕还林十年植被恢复变化分析——以陕西吴起县为例[J]. *生态环境学报*, 2011, 20(1): 91–96.
- Xu Zhichao, Zhang Yan, Liu Xianchun, et al. Vegetation restoration since the project of returning cropland to forest in the semiarid Loess Plateau: A case study of Wuqi county, Shaanxi province[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(1): 91–96. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等. 基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例[J]. *生态学报*, 2011, 31(12): 3255–3264.
- Li Hao, Cai Yunlong, Chen Ruishan, et al. Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12): 3255–3264. (in Chinese with English abstract)
- [14] 温庆可, 张增祥, 刘斌, 等. 草地覆盖度测算方法研究进展[J]. *草业科学*, 2009, 26(12): 30–36.
- Wen Qingke, Zhang Zengxiang, Liu Bin, et al. Research progress in grassland fractional coverage estimation methods[J]. *Practical Science*, 2009, 26(12): 30–36. (in Chinese with English abstract)
- [15] 成军锋, 贾宝全, 赵秀海, 等. 干旱半干旱地区植被覆盖度的动态变化分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(12): 172–176.
- Cheng Junfeng, Jia Baoquan, Zhao Xiuhai, et al. Dynamic change of desertification in semi-arid and arid environment[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2009, 23(12): 172–176. (in Chinese with English abstract)
- [16] 兰明娟, 魏虹, 熊春妮, 等. 基于 TM 影像的重庆市北碚区地表植被覆盖变化[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2009, 31(4): 100–104.
- Lan Mingjuan, Wei Hong, Xiong Chunni, et al. Study of changes in vegetation coverage in beibei district of chongqing based on TM IMAGES[J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2009, 31(4): 100–104. (in Chinese with English abstract)
- [17] 丁美青, 陈松岭, 郭云开. 基于遥感的土地复垦植被覆盖度评价[J]. *中国土地科学*, 2009, 23(11): 72–75.
- Ding Meiqing, Chen Songling, Guo Yunkai. Assessment on the vegetation coverage after land reclamation based on RS[J]. *China Land Science*, 2009, 23(11): 72–75. (in Chinese with English abstract)
- [18] 李登科, 郭锐, 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[J]. *生态学报*, 2007, 27(11): 4620–4629.
- Li Dengke, Guo Ni, He Huijuan. Vegetation change and its relationship with climate change in the region along the Great Wall in north Shaanxi[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4620–4629 (in Chinese with English abstract)
- [19] 李登科. 陕北黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖变化及其对气候的响应[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(5): 867–873.
- Li Dengke. Vegetation change and its response to climate in the Hill and Ravine Region of the Loess Plateau in northern Shaanxi[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2009, 29(5): 867–873. (in Chinese with English abstract)
- [20] 孙智辉, 雷延鹏, 卓静, 等. 延安北部丘陵沟壑区退耕还林(草)成效的遥感监测[J]. *生态学报*, 2010, 30(23): 6555–6562.
- Sun Zhihui, Lei Yanpeng, Zhuo Jing, et al. Remote sensing analysis of the effectiveness of converting farmland into forest or grass in the hilly gully region of Northern Yanan[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6555–6562. (in Chinese with English abstract)

Remote sensing analysis of vegetation restoration in key ecological construction areas of Shaanxi province

Fan Jianzhong, Li Dengke*, Dong Jinfang

(Shaanxi Remote Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710014, China)

Abstract: Based on pixel decomposition model, this paper managed to get the fractional vegetation cover (FVC) of Shaanxi province from 2000 to 2010 with MODIS NDVI at a resolution of 250 m, and analyzed the temporal and spatial variation characteristics of FVC in key ecological construction areas (grain for green Program, desertification prevention and control project, natural forest protection project) of Shaanxi province. The research results indicated that: 1) The FVC in key ecological construction areas of Shaanxi province in 2010 increased 8.3% to 23.2% compared with 2000. 2) The FVC in key ecological construction areas showed an upward trend with fluctuation ($P < 0.01$). The percentage change in linear trend of the desertification prevention and control project areas (83.8%) was the highest, and grain for green program in north Shaanxi (61.1%) was the next. 3) The FVC in each ecological construction areas mainly increased, and the areas with an upward vegetation coverage linear trend accounted for 82.8% to 98.2%. 4) The percentage of high FVC areas had a notable increase trend, and the percentage of the low FVC areas had a notable decrease trend. The FVC in the ecological construction areas were improved noticeably though the construction of key ecological construction, especially in desertification prevention and control project areas and grain for green program in north Shaanxi.

Key words: remote sensing, ecosystems, construction, fractional vegetation cover, Shaanxi province