

1995—2014 年北洛河流域植被恢复 的地形分布特征

闫 瑞¹, 张晓萍^{1,2}, 闫胜军³, 赵文慧¹

(1. 西北农林科技大学 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 水利部, 陕西 杨凌 712100; 3. 北京师范大学 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘 要: 以 1995, 2007 和 2014 年 Landsat TM 影像为数据源, 计算归一化植被指数(NDVI), 分析退耕还林政策下北洛河流域植被的恢复程度. 结果表明, 流域三年平均植被覆盖度分别为: 46.4%, 63.4% 和 73.4%. 上游吴起、志丹等县所在丘陵沟壑区增加态势最明显, 三年平均植被覆盖度分别为 20.2%, 41.64%, 51.2%. 系统分析流域上游丘陵沟壑区植被恢复在地形上的趋势变化. 结果表明: 不同高程、坡度和坡向分布带上均表现出植被覆盖度随着时间进展呈现明显好转态势.

关 键 词: 植被恢复; 覆盖度; 地形因子; 北洛河; 丘陵沟壑区

中图分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2016)11-1598-06

Topographical Distribution Characteristics of Vegetation Restoration in the Beiluo River Basin from 1995 to 2014

YAN Rui¹, ZHANG Xiao-ping^{1,2}, YAN Sheng-jun³, ZHAO Wen-hui¹

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry land Farming in Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China; 3. Key Laboratory for Water and Sediment Sciences of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China. Corresponding author: ZHANG Xiao-ping, professor, E-mail: zhangxp@ms.iswc.ac.cn)

Abstract: Taking the Beiluo river basin as an example, the Landsat TM image data in 1995, 2007 and 2014 were employed and the vegetation coverage was derived to analyze how the vegetation restored. The results showed that the average vegetation coverage in the three years of the whole basin are 46.43%, 63.42%, and 73.4%, respectively. The trends of vegetation distribution on landform were analyzed in the upper reaches of the basin. It is showed that whatever the elevation belts, slope gradient spans, and slope aspect zones were, the vegetation coverage improved distinctively in 1995, 2007 and 2014. Meanwhile, the extent or the area of low vegetation coverage transforming to high vegetation coverage tends to be greater with the elevation lower, slope gradient larger, and slope aspect inclining to be shady.

Key words: vegetation restoration; vegetation coverage; landform factors; Beiluo river; loess hilly gully region

植被是防止水土流失的积极因素, 它的有无及其差异对水文循环和侵蚀过程有着深刻影响^[1]. 流域和区域尺度, 其侵蚀产沙量和径流量与植被覆盖度间呈现显著的指数负相关关系. 它

还受到高程、坡度、坡向等地形因素的影响. 探讨植被恢复程度及其地形分布特征, 是理解生态格局—水文过程系统响应的重要内容. 遥感和地理信息系统技术的发展和成熟, 为区域生态环境要

收稿日期: 2015-11-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41440012, 41230852, 41101265); 中科院重点部署项目(KZZD-EW-04-03-03); 中科院知识创新项目(KZCX2-XB3-13).

作者简介: 闫 瑞(1988-), 女, 山西临汾人, 西北农林科技大学博士研究生; 张晓萍(1971-), 女, 河南焦作人, 中国科学院研究员, 博士生导师.

素监测和评价提供了可能^[2]. 基于 GIMMS 和 SPOT - VGT 等遥感信息的研究表明,1999 年实施退耕还林(草)工程措施以来,黄土高原植被覆盖度明显增加,水土流失最为严重的丘陵沟壑区植被恢复态势显著^[3-4].

北洛河流域位于黄土高原中南部,在退耕还林政策影响下,流域土地利用属性发生巨大变化,植被恢复效果显著^[5],流域径流和输沙量表现出显著减少趋势^[6]. Chen 等^[5]利用 Landsat TM 影像数据分析了北洛河的植被变化,研究发现该区域植被呈缓慢增长—迅速增长趋势;许智超等^[7]利用 Landsat ETM 影像数据分析发现,2000—2009 年,北洛河上游吴旗县所在区域植被覆盖度大于 30% 的面积在全县总面积中的比例由不足 1% 上升至 91.96%. 本文采用遥感信息 TM 影像和 GIS 手段,研究北洛河流域植被覆盖的最新变化趋势,为黄土高原生态恢复和生态—水文过程模拟研究提供理论基础.

1 研究区域

北洛河流域位于东经 107°33'33" ~ 110°10'30",北纬 34°39'55" ~ 37°18'22",发源陕西省定边县草梁山,流经陕、甘两省 5 地(市)18 县(区),于陕西省大荔县三河口汇入渭河,是黄河的二级支流. 流域总面积 2.69 万 km²,干流长 680 km. 地处暖温带半干旱气候区,多年平均降雨量 514.2 mm. 汛期 5 ~ 9 月降雨量为 391.9 mm,占年降雨量的 76.2%. 根据流域地形地貌、植被和水土流失的差异,流域大致分为上游丘陵沟壑区、中游土石山林区、高原沟壑区、下游阶地平原区. 在退耕还林措施影响下,植被覆盖程度增加,将对区域生态功能变化产生深刻影响.

2 研究数据和方法

2.1 数据来源与处理

1995,2007 年的 Landsat 5 影像数据来自国际科学数据服务平台,2014 年 Landsat 8 影像数据来自地理空间数据云. 三期遥感影像数据的空间分辨率均为 30 m.

数字高程模型(DEM)来源于国际科学数据服务平台,空间分辨率 30 m,该精度能满足区域尺度上的研究需要. 采用 ENVI 5.0 软件对三期影像数据进行辐射定标、大气校正、影像拼接等预处理.

2.2 研究方法

归一化植被指数(NDVI),是植被生长状况和地表植被覆盖度的最佳指示因子^[8]:

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$
 (1)
式中, TM3, TM4 分别为可见光红光波段、近红外波段地表反射率. NDVI 取值为[-1, 1]之间,在陆地表面有云、水、雪覆盖的区域, NDVI 值小于 0. 对于岩石或裸土地表, NDVI 值接近 0. 地表植被覆盖较高时, NDVI 为大于 0 的正值,并且植被生物量越大, NDVI 值越大^[9].

采用像元二分模型估算植被覆盖度. 计算公式为

$$F_{vc} = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)$$
 (2)

式中: F_{vc} 是植被覆盖度; $NDVI_s$ 为裸土时的归一化植被指数; $NDVI_v$ 为纯植被覆盖下的归一化植被指数. 在缺少实测数据条件下,取给定置信区间的最大值与最小值分别作为纯植被和裸土 NDVI 值. 取研究区内 NDVI 累计频率 0.5% 时作为理想无植被地表,取频率为 99.5% 时为理想植被全覆盖地表,相应的 NDVI 值为全裸土和全植被覆盖下像元的 NDVI 值. 然后根据式(2)估算像元植被覆盖度^[10].

以流域上游丘陵沟壑区为例,对植被覆盖度、高程、坡度和坡向 4 个因子进行了分级表达,植被覆盖度以及地形因子的分级参考文献[5].

3 结果与分析

3.1 1995—2014 年北洛河流域植被覆盖变化趋势及分区特征

对 1995,2007 和 2014 年流域植被覆盖度进行统计分析发现,3 个年份的平均值分别为 46.43%,63.42% 和 73.4%,总体呈显著上升趋势,如图 1 所示.

图 1 可以看出,土石山林区植被覆盖度最高,丘陵区最低. 阶地平原区植被以农田作物为主,不作重点分析. 丘陵区植被覆盖度均值在 3 个年份分别为 20.21%,41.64% 和 51.22%,时期内变化速率比较大. 土石山林区最高,3 个年份的均值分别为 70.32%,78.43% 和 81.03%,其变化幅度也较稳定. 高原沟壑区均值在 3 个年份分别为 38.79%,72.76% 和 79.82%,动态变化幅度表现为前阶段显著,后阶段平缓.

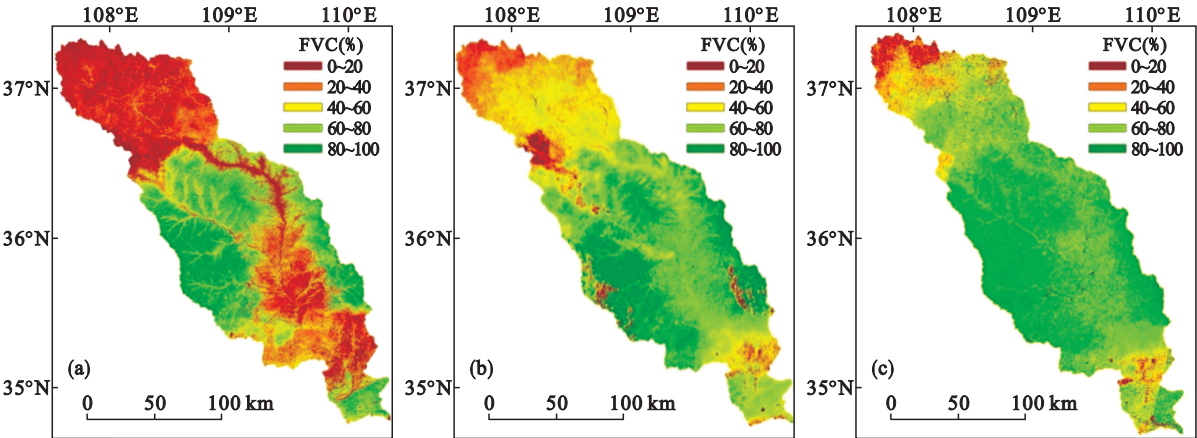


图 1 各时期北洛河流域植被覆盖度(FVC)分布
Fig. 1 FVC distribution in the Beiluo river basin in different years
(a)—1995 年; (b)—2007 年; (c)—2014 年.

3.2 1995—2014 年北洛河上游植被不同覆盖度级别间的转化

丘陵沟壑区土壤侵蚀剧烈,为入黄粗泥沙的主要来源地之一,本文作为重点进行分析.区域内不同级别植被覆盖度随时间的变化如表 1 所示.1995 年,≤60% 和 >60% 覆盖度植被面积比例为

9.9:0.1.2007 年,>60% 覆盖度的植被较 1995 年增加 10 倍.2007 年,≤60% 覆盖度植被仍占主体,≤20% 低覆盖度植被由 54.04% 缩小到 6.58%.而 40%~60% 的中覆盖度植被则迅速增到 45.97%.2014 年,≤60% 和 >60% 覆盖度植被面积比例进一步转变为 6.3:3.7.

表 1 1995—2014 年北洛河流域上游植被覆盖度变化
Table 1 Variation of the vegetation coverage from 1995 to 2014 in study area

植被覆盖度等级	1995		2007		2014	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
I	1 841.68	54.04	224.25	6.58	408.96	12.00
II	1 384.33	40.62	1 283.79	37.67	787.93	23.12
III	157.79	4.63	1 566.66	45.97	941.29	27.62
IV	22.15	0.65	323.42	9.49	750.44	22.02
V	2.04	0.06	9.88	0.29	519.38	15.24

3.3 丘陵沟壑区植被覆盖度随不同高程带谱的分布趋势

本文将高程以 30 m 为间距,求每一间距内所有植被覆盖度的平均值,得到植被覆盖度随高程的变化趋势,如图 2 所示.海拔 <1 250 m 区域,80% 面积位于河道和沟谷,农村居民建筑、农耕地或蔬菜大棚等类型为主,狭窄沟谷则主要为河流水体和河滩地,因而植被覆盖度较低.1995,2007 和 2014 年均在 1 250~1 400 m 处呈现峰值.这主要与流域水系为西北—东南流向,与黄土高原降水梯度带方向吻合,且东南方向与子午岭森林植被区接壤,气候较湿润,植物越茂盛等因素有密切关系.海拔高度 >1 650 m 区域,主要位于上游定边县境内,海拔高,温度降低,降雨量减少,濒临毛乌素沙区,荒漠草原植被区,因而植被恢复缓慢,且覆盖度低.

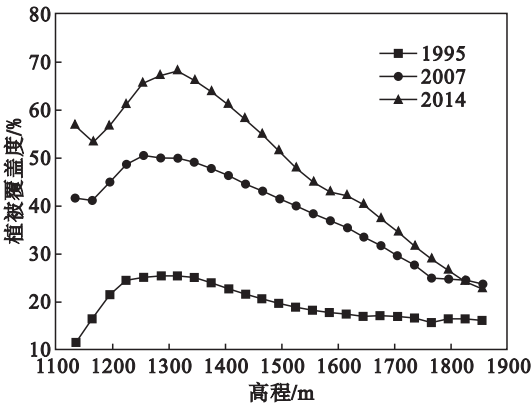


图 2 1995,2007 和 2014 年北洛河上游植被覆盖度随高程的变化
Fig. 2 VC distribution in elevation zones for the catchment in 1995, 2007 and 2014

从表 2 可以看出,植被覆盖度随着时间进展呈现明显增加态势.1995 年不同高程带上植被覆

盖度在 20% 左右小幅波动,2007 年提高了 2 倍, 征. 高覆盖度植被面积比例从 2007 年的 2.6% 增至 40% 左右. 2014 年间,各高程带均表现出 $\leq 8.9\%$,仍以 $\leq 40\%$ 覆盖度植被为主. 60% 覆盖度植被向 $> 60\%$ 覆盖度植被转化的特

表 2 北洛河上游丘陵沟壑区不同海拔高程带植被覆盖度级别面积分布比例
Table 2 Percentage of different levels of vegetation coverage accounting for the study area and different elevation zones

高程带/m	时期	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	合计/%
1135 ~ 1350	1995	3.65	4.22	0.92	0.23	0.01	9.03
	2007	0.4	1.44	5.36	1.77	0.06	
	2014	0.58	0.86	1.76	2.9	2.95	
1350 ~ 1450	1995	8.9	10.97	1.39	0.25	0.04	21.55
	2007	0.75	5.03	12.64	2.99	0.14	
	2014	0.94	2.83	5.94	6.61	5.24	
1450 ~ 1550	1995	20	14.95	1.42	0.13	0.01	36.51
	2007	1.99	13.76	17.52	3.16	0.07	
	2014	2.91	8.62	11.76	8.2	5.03	
1550 ~ 1650	1995	17.17	8.84	0.75	0.03	0	26.79
	2007	2.38	13.69	9.29	1.41	0.01	
	2014	5.16	8.65	7.18	3.91	1.89	
1650 ~ 1886	1995	4.32	1.64	0.15	0.01	0.00	6.12
	2007	1.06	3.75	1.15	0.16	0.00	
	2014	2.41	2.16	0.99	0.4	0.14	

3.4 丘陵沟壑区植被覆盖度在不同坡度带谱的变化

将坡度以 2°为间距估算植被覆盖度平均值, 并分析它随坡度的变化趋势,如图 3 所示.

从图 3 可以看出,随着时间进展,各坡度段上植被覆盖度均呈现先显著增加后持续增加的态度. 1995 年 $\leq 40^\circ$ 各坡度带植被覆盖度均偏低, $> 40^\circ$ 陡坡处则稍高,达 30%. 2007 年,各坡度带植被覆盖度显著增加到 40% 及其以上水平,随坡度变陡,则增至 50%. 2014 年,基本稳定在 50% 以上,陡坡处达到 70% ~ 80% .

如表 3 所示,1995 年,各坡度带上均以低和中低覆盖度的植被占主体.

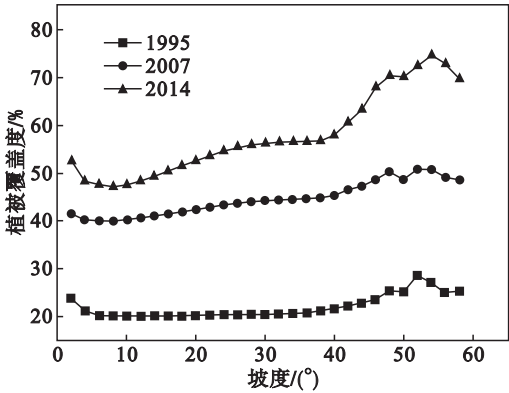


图 3 1995,2007 和 2014 年北洛河上游植被覆盖度随坡度的变化
Fig. 3 VC distribution in different slope zones for the catchment in 1995, 2007 and 2014

表 3 北洛河上游丘陵沟壑区不同坡度带植被覆盖度级别面积分布比例
Table 3 Percentage of different levels of vegetation coverage accounting for the study area and different slope zones

等级	时期	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	合计
0° ~ 5°	1995	4.99	4.46	0.73	0.14	0.01	10.32
	2007	0.99	4.02	4.27	1.00	0.04	
	2014	1.62	2.51	2.47	2.09	1.62	
5° ~ 8°	1995	4.77	3.42	0.4	0.05	0.00	8.64
	2007	0.78	3.61	3.46	0.76	0.03	
	2014	1.57	2.19	2.04	1.63	1.21	

续表							
等级	时期	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	V 级	合计
8° ~ 15°	1995	16.34	11.90	1.33	0.16	0.02	29.75
	2007	2.34	12.07	12.51	2.74	0.09	
	2014	4.62	7.36	7.43	5.98	4.36	
15° ~ 25°	1995	21.26	15.71	1.67	0.22	0.03	38.88
	2007	2.14	14.10	18.63	3.86	0.11	
	2014	3.73	8.65	11.30	9.06	6.15	
25° ~ 35°	1995	6.31	4.82	0.47	0.06	0.01	11.67
	2007	0.41	3.66	6.52	1.05	0.03	
	2014	0.49	2.27	4.07	3.07	1.77	
> 35°	1995	0.38	0.32	0.03	0.01	0.00	0.74
	2007	0.02	0.19	0.46	0.06	0.00	
	2014	0.02	0.13	0.28	0.21	0.11	

2007 年,各坡度带上以中低和中覆盖度植被面积占主体,<35°坡度上,其面积比例从 44.9% 逐渐增加到 82.85%。0°~5°缓坡上的低和中低覆盖度植被面积比例最大,而>35°陡坡上仅有 2.7%,26.0%。2014 年,各坡度带植被均表现出 ≤60% 覆盖度植被持续向>60% 的高覆盖度植被转化的特征。植被覆盖度的分布特征充分展现了退耕还林政策实施后植被恢复的成果。

总体上,随着时间进展,坡度越缓,植被由低覆盖度向高覆盖度转化越慢,面积越小,坡度越陡,植被转化的级别越高,面积越大。从正北方开始,顺时针将坡向每 6°为间距,求每间距内所有植被覆盖度的平均值,如图 4 所示。

3.5 丘陵沟壑区植被覆盖度在不同坡向带谱的变化

从图 4 可以看出,1995 年平均植被覆盖度保

持在 20% 上下,坡向上几乎没有差异。2007 年各坡向平均值显著增加,约为 1995 年的 2 倍,均值达到 41.7%,阴阳坡差异性加大。

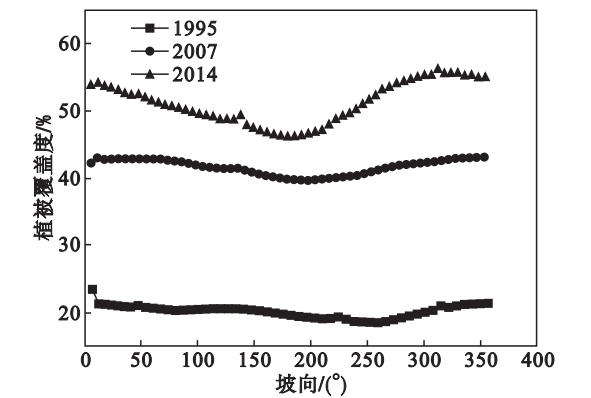


图 4 1995,2007 和 2014 年北洛河流域上游植被覆盖度随坡向变化

Fig. 4 VC distribution in different aspect zones for the catchment in 1995, 2007 and 2014

表 4 北洛河上游丘陵沟壑区不同坡向带植被覆盖度级别面积分布比例							
Table 4 Percentage of different levels of vegetation coverage accounting for the study area and different aspect zones							
等级	时期	I 级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	V 级	合计
阳坡	1995	13.84	8.46	0.67	0.07	0.01	23.05
	2007	1.58	9.93	10.17	1.35	0.02	
	2014	3.16	6.43	6.84	4.6	2.02	
半阳坡	1995	14.94	10.19	0.98	0.14	0.02	26.27
	2007	1.64	10.32	12.18	2.08	0.05	
	2014	3.04	6.17	7.69	5.87	3.5	
半阴坡	1995	13.75	11.17	1.33	0.19	0.02	26.46
	2007	1.68	9.47	12.42	2.8	0.09	
	2014	2.97	5.77	7.1	5.96	4.66	
阴坡	1995	11.91	10.59	1.5	0.2	0.02	24.22
	2007	1.71	8.06	11.16	3.18	0.11	
	2014	2.88	4.71	6.06	5.6	4.97	

2014 年则持续增加,均值达 51% ,约为 2007 年的 1.3 倍,阴阳坡差异性增加,均值分别为 55% 和 48% .

表 4 分析表明,1995 年,各坡向上以低、中低覆盖度植被占优势,其面积比例各坡向上差异小. 1995 年时期的植被覆盖程度,无论坡向如何都非常低的数量分布特征,与该时期土壤侵蚀剧烈,水土流失严重的生态问题相吻合.

2007 年,中高和高覆盖度植被面积大幅度增加,阳坡上 40% ~ 60% ,60% ~ 80% 盖度植被面积的增加速率较大,而阴坡上 > 80% 覆盖度植被面积增加速度最快. 2014 年,覆盖度持续增大. 各坡向 ≤ 60% 覆盖度植被面积比例持续缩减, > 60% 覆盖度植被面积持续增加. 中低、中和高覆盖度植被面积在各坡向上数量差异缩小.

4 结 论

1) 1995,2007,2014 年北洛河流域植被平均覆盖度分别为 46. 43% ,63. 42% , 73. 4% ,呈显著上升趋势. 其中丘陵沟壑区植被恢复增速最快.

2) ≤ 40% 的盖度级别植被的面积先迅速转化为 40% ~ 60% 的中覆盖度植被,到 2014 年,又迅速向覆盖度 60% ~ 80% 和 > 80% 的植被转化.

3) 北洛河流域上游丘陵沟壑区,海拔越低,坡度越陡,越向阴坡,低覆盖度植被向高覆盖度植被转化程度越大,面积越广,三时期植被覆盖差异越大;反之,植被覆盖度级别面积间转化速率越慢.

参考文献:

[1] Lai Y F,Zhu Q K,Zhang Y Q. Valuingecological effects of land conversion project in Wuqi county[J]. *Soil and Water Conservation Journal*,2006,20(3) :83 – 87.

[2] Luo J H, Li X C, Ma R H. Applying remote sensing techniques to monitoring seasonal and interannual changes of aquatic vegetation in Taihu lake, China [J]. *Ecological Indicators*,2016 ,60:503 – 513.

[3] Xin Z B,Xu W X,Zheng W. 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] Sun Z H,Liu Z C,Lei Y P, et al. The variations of NDVI and the relation with climate in hilly and gully region of northern Yan’ an [J]. *Acta Ecologica Sinica*,2010,30 (2) : 533 – 540.

[5] Chen N, Ma T Y, Zhang X P. Responses of soil erosion processes to land cover changes in the Loess Plateau of China; a case study on the Beiluo river basin [DB/OL]. [2015 – 02 – 22] : <http://dx. doi. org/10. 1016/ j. catena. 2015. 02. 022>.

[6] 谢名礼,张晓萍,刘二佳,等. 黄土高原森林/非森林流域径流稳定性及其演变趋势对比[J]. 水土保持通报,2013,33 (3) :149 – 153.
(Xie Ming-li, Zhang Xiao-ping, Liu Er-jia, et al. Stationarity and change trend of stream flows in forest and less forested watersheds on Loess Plateau [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*,2013,33(3) :149 – 153.)

[7] 许智超,张岩,刘宪春. 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 Zhi-chao, Zhang Yan, Liu Xian-chun. 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.)

[8] Pettorelli N,Vik J O, Mysterud A, et al. Using the satellite derived NDVI to assess ecological response to environment change [J]. *Trends in Ecology and Evolution*,2005,20(9) : 503 – 510.

[9] Paruelo J M, Epstein H E, Lauenroth W K, et al. A NPP estimates from NDVI for the central grassland region of the United States [J]. *Ecology*,1997,78(3) :953 – 958.

[10] Lunetta R S, Knight J F, Ediriwickrema J, et al. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 105 (2) : 142 – 154.