

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 2 期
Vol.31 No.2
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 2 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

长白山山杨种群的性比格局及其空间分布	潘春芳,赵秀海,夏富才,等 (297)
冬季融冻过程中白三叶叶片抗氧化酶活力和渗透调节物含量变化与抗冻性的关系	赵 梅,周瑞莲,刘建芳,等 (306)
黄土高原主要森林类型自然性的灰色关联度分析	王乃江,刘增文,徐 钊,等 (316)
两种抗生素对龙须菜的光合生理效应	简建波,邹定辉,刘文华,等 (326)
典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征	潘复静,张 伟,王克林,等 (335)
塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响	陈亚鹏,陈亚宁,徐长春,等 (344)
基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价	宋富强,邢开雄,刘 阳,等 (354)
火因子对荒漠化草原草本层片植物群落组成的影响	贺郝钰,苏洁琼,黄 磊,等 (364)
4 种阔叶幼苗对 PEG 模拟干旱的生理响应	冯慧芳,薛 立,任向荣,等 (371)
城市带状绿地宽度与温湿效益的关系	朱春阳,李树华,纪 鹏,等 (383)
西藏斧错水鸟多样性及斑头雁繁殖活动区的变化	张国钢,刘冬平,钱法文,等 (395)
王朗自然保护区大熊猫生境选择	康东伟,康 文,谭留夷,等 (401)
东方田鼠警觉对其功能反应的作用格局	陶双伦,杨锡福,邓凯东,等 (410)
台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响	白 义,施时迪,齐 鑫,等 (421)
青岛湾小型底栖生物周年数量分布与沉积环境	杜永芬,徐奎栋,类彦立,等 (431)
叉尾斗鱼种群遗传变异与亲缘地理	王培欣,白俊杰,胡隐昌,等 (441)
C ₃ 和 C ₄ 植物寄主对华北地区棉铃虫越冬代和第一代的影响	叶乐夫,付 雪,戈 峰 (449)
3 种海拔高度茶园中 2 种害虫与其天敌间的数量和空间关系	毕守东,柯胜兵,徐劲峰,等 (455)
坝上地区农田和恢复生境地地表甲虫多样性	刘云慧,宇振荣,王长柳,等 (465)
若尔盖高寒湿地干湿土壤条件下微生物群落结构特征	牛 佳,周小奇,蒋 娜,等 (474)
红枣贮藏期果面微生物多样性	沙月霞 (483)
CO ₂ 和温度升高情况下白粉菌侵染对西葫芦生长特性的影响	刘俊稚,葛亚明,Pugliese Massimo,等 (491)
丛枝菌根真菌对中性紫色土土壤团聚体特征的影响	彭思利,申 鸿,袁俊吉,等 (498)
新疆断裂带泉水中细菌群落结构的 PCR-DGGE 分析	吴江超,高小其,曾 军,等 (506)
石油污染对海洋浮游植物群落生长的影响	黄逸君,陈全震,曾江宁,等 (513)
不同耐性水稻幼苗根系对镉胁迫的形态及生理响应	何俊瑜,任艳芳,王阳阳,等 (522)
基于 CLUE-S 模型的密云县面源污染控制景观安全格局分析	潘 影,刘云慧,王 静,等 (529)
基于生态足迹的生态地租分析	龙开胜,陈利根,赵亚莉 (538)
深圳市植被受损分级评价及其与景观可达性的关系	刘语凡,陈 雪,李贵才,等 (547)
专论与综述	
美国、加拿大环境和健康风险管理方法	贺桂珍,吕永龙 (556)
植物蜡质及其与环境的关系	李婧婧,黄俊华,谢树成 (565)
油田硫酸盐还原菌酸化腐蚀机制及防治研究进展	庄 文,初立业,邵宏波 (575)
叶际微生物研究进展	潘建刚,呼 庆,齐鸿雁,等 (583)

基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价

宋富强^{1,2,3}, 邢开雄^{1,2,3}, 刘 阳^{1,2,3}, 刘志超⁴, 康慕谊^{1,2,3,*}

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学中国生态资产评估研究中心, 北京 100875;
3. 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 4. 延安市气象局, 陕西 延安 716000)

摘要: 陕北地区从 1999 年退耕还林试点工程实施以来, 区域植被发生很大变化, 退耕前后植被动态变化监测成为退耕还林工程评价任务之一, 而当前植被恢复监测评价的难点在于如何确定哪些是由于退耕而引起的植被变化。针对此问题, 选取适合陕北地区植被变化监测的 MODIS/NDVI 数据, 利用均值变化及趋势分析方法, 从不同土地利用/覆被类型和不同坡度植被指数动态变化两方面分析退耕还林对植被动态变化的影响。结论如下: (1) 陕北地区平均 NDVI 从 2000—2008 年呈现较明显的增长趋势, 坡耕地和草地 NDVI 增长速度相对较快; (2) 趋势分析结果显示, 陕北绝大部分地区植被恢复良好, 植被指数呈明显改善的面积占整个地区面积的 64.96%, 中度改善占 18.58%, 其中又以坡耕地、草地植被明显改善面积分别占陕北地区明显改善面积的 45.43% 和 17.10%, 坡耕地对陕北地区植被明显改善面积贡献最大; (3) 7—15°、15—25° 及 25—35° 坡度植被明显改善面积分别占总改善面积的 39.91%、25.81%、2.28%, 其中 7—25° 坡度植被明显改善面积占总面积的 65.72%; (4) 基于陕北地区近年气候呈暖干化发展趋势, 同期降雨并未呈现显著变化, 说明非气候因子中退耕还林等人为因素是引起 NDVI 增长的主要因素, 退耕还林对于陕北地区植被恢复有明显促进作用。

关键词: MODIS/NDVI; 陕北地区; 退耕还林; 植被; 趋势分析

Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI

SONG Fuqiang^{1,2,3}, XING Kaixiong^{1,2,3}, LIU Yang^{1,2,3}, LIU Zhichao⁴, KANG MUYI^{1,2,3,*}

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 China Ecological Capital Assessment Research Center, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

4 Meteorological Bureau of Yan'an, Shaanxi, 716000, China

Abstract: The Conversion of Farmland to Forest (so called Grain for Green) means stopping cultivation in sloping cultivated land which has caused soil erosion and/or land desertification, and restoring vegetation in artificial or natural way. From 1999 to 2008, 2686.67×10^4 hm² land area has been involved in the Conversion of Farmland to Forest Project (CFP) in China, with about 191.8 billion RMB Yuan (roughly equal to 28 billion US \$) as investment and compensation fund from the Chinese Central Government. As one of the seven largest forest restoration projects in the world, there is a high need to assess the CFP's benefits ecologically, to show its real and potential impacts on improving the regional environment and curbing the local land desertification.

As one of the most serious regions suffering from worsening soil erosion and water loss for years in China or even in the whole world, the Northern Shaanxi, where the Loess Plateau hinterland located, was chosen as one of the pilot zones to carry out the Conversion of Farmland to Forest Project in 1999. More than 10 years after the Project's implementation, the vegetation has changed significantly in Northern Shaanxi, reported and observed by different data sources. Was this change caused by anthropogenic factors such as CFP project? Or how large a proportion of CFP's effect was involved in the

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB106807); 国家自然科学基金项目(No. 40671065)

收稿日期: 2009-11-30; **修订日期:** 2010-09-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kangmy@bnu.edu.cn

influence on the ecologically vegetation change? Monitoring and assessing the vegetation variation could be one of the direct measurements to indicate and depict the ecological benefits brought by the CFP project.

However, it is a common sense that there is no easy way to distinguish the vegetation variation caused by the CFP project from among many anthropogenic and natural factors that could influence the vegetation changes. We chose different land cover types and slope gradients in Northern Shaanxi as two main aspects, as the Conversion of Farmland to Forest Project was carried out mainly in sloping farmlands where the slopes were steeper than 15°, and compared those areas carrying CFP out with other farmlands without CFP implementation, regardless of the climate factors. Using MODIS/NDVI data which was assumed to be suitable for monitoring large scale vegetation variation, we recognized the vegetation changes resulted from the CFP project through methods of the averaged NDVI variation and the trend analysis.

The preliminary results were as follows: (1) a noticeable increase of average NDVI was found in the whole Northern Shaanxi from 2000 to 2008, and particularly the NDVI of sloping farmland and sloping grassland increased most rapidly. (2) Based on the trends analysis, it can be seen that the vegetation was recovering well in most parts of Northern Shaanxi, and the proportion of the study area with significant increase in NDVI was 64.96%, while the proportion with medium increase was 18.58%. (3) The proportions with significant increase in NDVI in sloping farmland and sloping grassland were 45.43% and 17.10% respectively. The proportion of significant increase in sloping farmland took up a major part of the area with significant increase in NDVI. The proportions of areas with significantly increased NDVI for different slope gradients (7°–15°, 15°–25° and 25°–35°) were 39.91%, 25.81% and 2.28% respectively. Among these, the area with 7°–25° slope gradient occupied 65.72% of the total area. (4) The mean temperature, drought and annual precipitation did not increase significantly in Northern Shaanxi, which meant that anthropogenic factors such as the CFP project were among the main causes leading to the trend of NDVI increase. The implementation of the CFP project was therefore advantageous in restoring the degraded vegetation in Northern Shaanxi and the CFP project had a favorable benefit in vegetation restoration.

Key Words: MODIS/NDVI; Northern Shaanxi; Conversion of Farmland to Forest Project (CFP); trend analysis

运用遥感图像反映地表植被覆盖信息时常用的植被指数包括:归一化植被指数 (NDVI, Normalized Different Vegetation Index)、改进植被指数 (AVI, Advanced Vegetation Index)、高级归一化植被指数 (ANVI, Advanced Normalized Vegetation Index) 等^[1-3]。其中由于归一化植被指数 (NDVI) 能够相当精确地反映植被绿度、光合作用强度、植被代谢强度及其季节和年际变化,因此,在全球或各大陆等大尺度的植被动态监测、植被分类、全球和区域土地覆被分类及其变化、作物长势检测和物候监测、自然灾害监测等方面得到广泛应用^[4-7]。目前在植被动态变化监测上常用的遥感数据有 NOAA-AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)、SPOT-VEGETATION (VGT)、EOS-MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 和 Landsat TM 等。其中 TM 遥感数据由于其地物分辨率高 (30m) 而被广泛应用^[8-9],但其时间分辨率低,反映的往往是某一时刻植被状况,在反映区域植被动态变化时存在明显不足。AVHRR 数据从 1982 年开始获取,时间序列最长,但由于其较完整序列数据的空间分辨率为 8km,常被用于大尺度植被的动态监测^[10-11]。SPOT-VGT 数据从 1998 年 4 月开始获取,空间分辨率为 1km,在生态环境动态监测和植被动态监测方面得到广泛的应用^[12-13]。MODIS 数据从 2000 年开始获取,其空间分辨率比 AVHRR、SPOT-VGT 遥感数据要高 (250m),时间序列也相对完整,且除 MODIS/NDVI 外的其他配套数据也日趋丰富,在植被动态监测方面具有良好的应用前景。

陕北黄土高原地处黄土高原腹地,面积约 10 万 km²,水土流失现象十分严重,植被状况对该流域内水土保持起着至关重要的作用,尤其是 1999 年退耕还林生态建设工程实施以来,区域植被发生较大的变化,对退耕前后植被动态变化监测就成了退耕还林工程评价任务之一。目前利用遥感影像对植被动态监测研究也很

区土地利用/覆盖情况,因此适用于分析退耕前后不同土地利用/覆被类型 NDVI 变化。

DEM 数据来自美国太空总署和国防部国家测绘局联合测量的 SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission) 数据,空间分辨率 90m,利用 ArcGIS 软件对其进行图像镶嵌、投影转换及研究区提取等处理,并计算陕北地区空间曲面的坡度(slope)。辅助数据包括陕北地区 27 个气象站点 1981—2007 年的气象资料。

2.2 数据分析

(1) NDVI 年均值的年际变化

由于 MODIS/NDVI 年均值能够反映植被的年际变化,研究利用 MVC 法获取陕北地区全年最大 NDVI 作为反映当年植被最好情况,然后将各象元全年最大化 NDVI 进行加和平均来作为整个地区当年的 NDVI,从而反映区域植被年际变化。另外通过统计陕北地区主要的几种植被类型,依据植被类型的不同来逐象元加和平均作为该类植被类型当年的 NDVI,利用区域平均 NDVI 和不同植被类型 NDVI 与年际之间的线性回归分析反映陕北地区不同植被类型 NDVI 年际变化幅度。

(2) 一元回归趋势分析

Stow 等用采用一元线性回归来分析每个栅格点的变化趋势,从而来计算植被的绿度变化率 (greenness rate of change, GRC),GRC 被定义为某时间段内的季节合成归一化植被指数年际变化的一元线性回归方程的斜率^[19-20]。本文采用此方法来模拟每个栅格 NDVI 的年际变化趋势,计算公式为:

$$\text{slope} = \frac{9 \times \sum_{i=1}^9 \times \text{NDVI}_i - \left(\sum_{i=1}^9 i \right) \left(\sum_{i=1}^9 \text{NDVI}_i \right)}{9 \times \sum_{i=1}^9 i^2 - \left(\sum_{i=1}^9 i \right)^2}$$

式中,变量 i 为 1—9 的年序号,NDVI 表示第 i 年的最大化 NDVI 值。变化趋势图则反映了在 9 a 的时间序列中陕北地区植被 NDVI 的变化趋势。某像点的趋势线是这个像点 9 a 的最大化 NDVI 值用一元线性回归模拟出来的一个总的变化趋势。slope 即这条趋势线的斜率。这个趋势线并不是简单的最后一年与第 1 年的连线。其中 slope > 0 则说明此象元 NDVI 在 9 a 间的变化趋势是增加的,反之则是减少。

3 结果与分析

3.1 NDVI 的年际变化

通过逐象元计算陕北地区不同土地利用/覆被类型 NDVI,分析 2000—2008 年陕北地区不同主要土地利用/覆被类型 NDVI 变化。由于本研究主要分析植被的年际变化,因此沙地和水体的 NDVI 未进行分析。从图 2 可以看出,陕北地区 NDVI 从 2000 年到 2008 年都呈现较明显的增长趋势,说明陕北黄土高原整体植被恢复效果明显,同时陕北地区主要的土地利用/覆被类型 NDVI 也都呈上升趋势,不同土地利用/覆被类型 NDVI 变化也不尽相同,因此利用不同土地利用/覆被类型 NDVI 与年际变化之间进行回归分析,确定不同土地利用/覆被类型 NDVI 变化程度(表 1)。

从表 1 可以看出,不同土地利用/覆被类型与年际变化之间的相关系数都很高,均通过了置信度 99% 的显著性检验,说明随着时间的变化各土地利用/覆被类型 NDVI 都有较显著的上升。通过不同土地利用/覆被类型 NDVI 与时间序列的一元回归分析,可以看出坡耕地和草地的回归直线斜率最大,分别为 0.0154 和 0.0156,说明这两种土地利用/覆被类型 NDVI 上升幅度最快,这是由于将原先的坡耕地和草地经过退耕还林转变成为林地(灌木),土地利用/覆被类型发生了明显的变化,NDVI 增幅最快,从而反映了退耕还林在植被

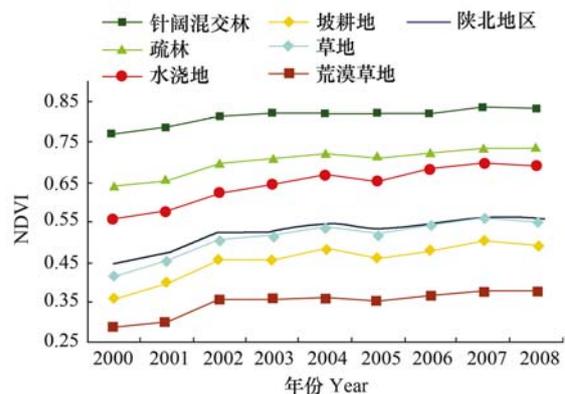


图 2 2000—2008 年陕北地区不同土地利用/覆被类型年平均 NDVI 变化

Fig. 2 NDVI variation of different land use/cover types in Northern Shaanxi from 2000 to 2008

表 2 2000—2008 年陕北地区不同土地利用/覆被类型 NDVI 趋势变化结果统计

Table 2 NDVI variation trends from different land use/cover types in Northern Shaanxi from 2000 to 2008

土地利用/覆盖类型 Land use/cover types	明显改善 Significantly improved		中度改善 Moderately improved		轻微改善 Improved		基本不变 Unchanged		轻微退化 Degraded		中度退化 Moderately degraded		严重退化 Severely degraded	
	面积 /km ²	%	面积 /km ²	%	面积 /km ²	%	面积 /km ²	%	面积 /km ²	%	面积 /km ²	%	面积 /km ²	%
	Area		Area		Area		Area		Area		Area		Area	
针阔混交林 Forest	2810.4	26.28	3021.1	28.26	3231.9	30.23	1184.4	11.08	384.1	3.59	48.8	0.46	11.6	0.11
疏林 Open forest	4206.2	50.60	2100.9	25.27	1409.1	16.95	409.3	4.92	159.1	1.91	23.9	0.29	3.9	0.05
水浇地 Irrigable land	10500.0	76.08	1891.7	13.71	861.8	6.24	335.5	2.43	93.9	0.68	73.7	0.53	43.8	0.32
坡耕地 Sloping farmland	31340.1	74.71	5321.8	12.69	2442.6	5.82	1165.8	2.78	935.8	2.23	468.1	1.12	273.5	0.65
草地 Sloping grassland	11797.2	71.56	2458.0	14.91	1306.6	7.93	484.3	2.94	292.7	1.78	107.2	0.65	40.6	0.25
荒漠草地 Desert grassland	2136.1	45.07	1231.0	25.97	850.0	17.93	215.9	4.56	176.6	3.73	83.1	1.75	46.8	0.99
整体 Total	68982.9	64.96	19730.9	18.58	11513.4	10.84	2792.3	2.63	1994.4	1.88	759.4	0.72	423.8	0.40

(2) 不同坡度趋势分析

坡耕地是指具有不同倾斜程度的农耕地,跑水跑肥,产量很低,是水土流失的主要来源地^[21]。根据退耕还林政策规定,大于 25° 的陡坡耕地必须无条件地退耕,15°—25° 的陡坡耕地有选择的退耕。同时李锐等^[22]年建议黄土高原生态建设要在 5—10a 退耕 15° 以上的坡耕地,再用 10a 的时间 7° 以上的坡耕地全部退耕。根据上述观点,本文依据陕北地区 90m 分辨率的 DEM,将陕北地区按坡度分级,结果见图 4。

通过统计不同坡度范围内 2000—2008 年 NDVI 变化的斜率(图 5),坡度为 0—3° 主要包括北部的荒漠大部及陕北地区南部部分的粮食生产区域,约占整个陕北地区面积的 20.29%,其中沙地和荒漠草地占陕北地区面积的 14.48%,由于沙地和荒漠 NDVI 大部分呈现基本不变甚至退化的趋势,虽然陕北南部水浇地 NDVI 呈显著上升趋势,但由于其面积占的比例较小,因此坡度在 0—3° 时 NDVI 变化的斜率最低。随着坡度的升高,平均斜率值也越来越大,7—35° 坡度之间斜率平均值都保持在一个较高的水平,其中 25—35° 坡度时斜率平均值最大,为 0.0152,原因在于退耕还林主要集中在有坡度及坡度比较大的区域,而 25—35° 正是陕北地区退耕还林的重点区域。通过逐栅格统计各个坡度植被变化的斜率,依据植被指数退化划分标准,分析不同坡度植被改善比例(图 6)。7—35° 坡度之间植被明显改善的比例最高,都超过了各自整体的 65%,充分说明了坡耕地退耕还林取得了明显的植被恢复效果。3—7° 明显改善比例也很高,原因在于地形图原始等高线误差及 DEM 地形的描述误差,地面平均坡度随着分辨率的降低而降低,尤其是在黄土丘陵沟壑区,误差会更大^[23-24],因此在黄土丘陵沟壑区许多坡度大于 15° 的地形却表现为 3—7°。

4 讨论和结论

4.1 讨论

影响植被变化的因素有自然因素及人为因素两种,其中自然因素中降雨和气温是对植被年际变化影响较大的两个因素。通过陕北地区 27 个气象站点 2000—2007 年降雨量及年平均气温与年份之间的回归分析(表 3),陕北地区 27 个气象站年降水和气温均未通过置信度 95% 的显著性检验,说明 2000—2007 年降水和年气温均没有显著变化,而陕北地区不同土地/覆被类型年均 NDVI 都有显著增加,可以初步认为非气候因素

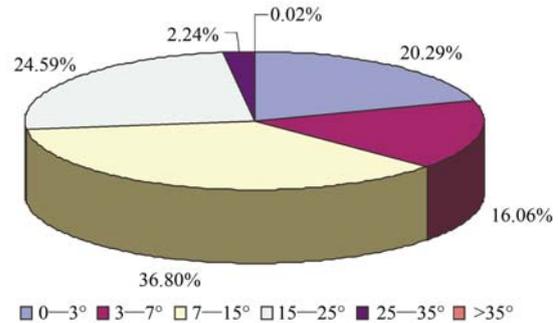


图 4 陕北地区不同坡度等级分布比例

Fig. 4 Distribution of different slope gradient in Northern Shaanxi

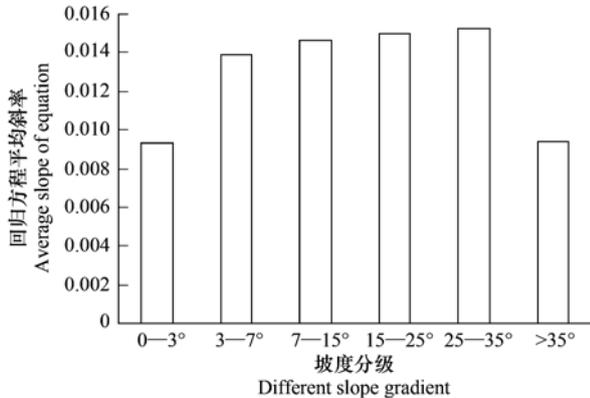


图5 陕北地区不同坡度 NDVI 的回归方程平均斜率

Fig. 5 Average slope of equation from different slope gradient NDVI in Northern Shaanxi

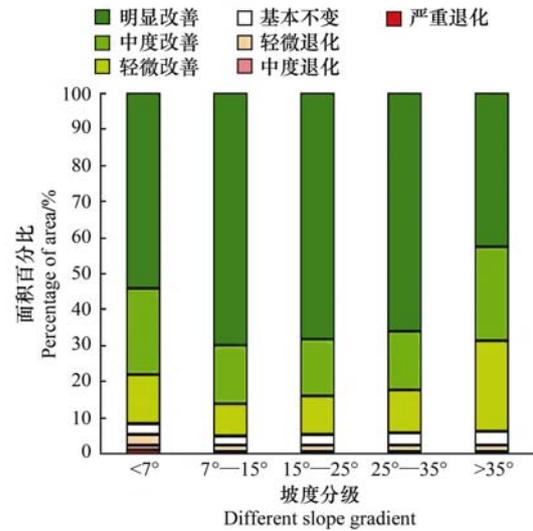


图6 陕北地区不同坡度 NDVI 变化面积比例

Fig. 6 Percentage of NDVI variation area from different slope gradient in Northern Shaanxi

是引起 NDVI 增加的主要原因,这与李登科^[25]等研究结论相同。但由于 2000—2007 年时间序列较短,气候变化往往需要几十乃至上百年的时间,因此又分析了 1981—2007 年间降水和气温的变化,发现在近 30a,陕北地区年降雨没有显著变化,而年平均气温却有显著的小幅上升(表 3),说明陕北黄土高原气候呈现一种暖干化发展趋势,气候暖干化导致土壤含水量下降,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^[26]。而陕北地区 NDVI 从 2000—2008 年期间却有明显改善的趋势,因此可以确定人为因素是导致 NDVI 增加的主要原因。尤其通过分析退耕还林实施的重点区域,坡耕地和草地以及坡度在 7—35° 的区域均比其他类型有明显的增加,表明人为因素中的退耕还林生态建设工程是导致陕北地区 NDVI 增加的主要原因,退耕还林实施的重点区域取得了良好的植被恢复效果。

为了将退耕还林植被恢复效果进一步量化,一方面通过统计草地、坡耕地面积及其植被明显改善面积,确定其在整个陕北黄土高原地区植被恢复方面的贡献比例。陕北地区草地、坡耕地占总土地面积的 15.52% 和 39.50%,其植被明显改善面积分别占陕北地区明显改善面积的 17.10% 和 45.43%,超过其所占土地面积的比例,其中坡耕地对陕北地区植被明显改善贡献最大,说明退耕还林生态建设工程在陕北地区植被恢复中起到了十分重要的作用。另外,7—15°、15—25° 及 25—35° 坡地面积分别占陕北地区面积的 36.80%、24.59% 和 2.24%,其明显改善面积分别占总改善面积的 39.91%、25.81%、2.28%,7—25° 明显改善面积占总改善面积的 65.72%,进一步说明了坡耕地退耕还林对于陕北地区植被恢复影响巨大。

4.2 结论

(1) 通过逐象元计算陕北地区及不同土地利用/覆被类型 NDVI,分析 2000—2008 年陕北地区主要土地利用/覆被类型 NDVI 变化。陕北地区 NDVI 从 2000—2008 年都呈现较明显的增长趋势,说明陕北黄土高原整体植被恢复效果明显,同时陕北地区主要的土地利用/覆被类型 NDVI 也都呈上升趋势,坡耕地和草地 NDVI 上升幅度最快,针阔混交林 NDVI 增长幅度最低。

(2) 通过 2000—2008 年陕北地区 NDVI 的一元回归趋势分析,得出陕北地区经过近 10a 的退耕还林生态建设工程,植被状况得到了很大的改善。其中植被指数呈明显改善的面积占整个陕北地区面积的 64.96%,中度改善占 18.58%,陕北绝大部分地区植被恢复良好;不同土地利用/覆被类型 NDVI 变化也不尽相同,草地、坡耕地面积分别占总土地面积的 15.52% 和 39.50%,其植被明显改善面积分别占陕北地区明显改善面积

的 17.10% 和 45.43%, 超过其所占土地面积的比例, 其中坡耕地对陕北地区植被明显改善贡献最大。

表 3 陕北地区年均温及降雨与年份的回归方程斜率及相关系数

Table 3 Correlation coefficients and slope of linear regression equations of annual temperature and rainfall trend

站名 Meteorological station	2000—2007 ($n=8$)				1981—2007 ($n=27$)			
	年均温 Annual temperature		年降雨 Annual rainfall		年均温 Annual temperature		年降雨 Annual rainfall	
	方程斜率 Slope	R^2	方程斜率 Slope	R^2	方程斜率 Slope	R^2	方程斜率 Slope	R^2
耀县	0.0642	0.1820	19.483	0.1149	0.0572	0.5110 **	-3.2654	0.0341
铜川	0.0743	0.2611	5.3893	0.0100	0.0507	0.4571 **	-3.1221	0.0331
宜君	0.0931	0.2932	4.2286	0.0058	0.0641	0.5330 **	0.1852	0.0001
黄龙	0.0357	0.0830	-3.2905	0.0037	0.0525	0.5427 **	-0.2061	0.0002
洛川	0.0171	0.0127	-4.0083	0.0052	0.0697	0.5979 **	0.5680	0.0014
富县	0.0354	0.1442	17.981	0.1705	0.0671	0.6453 **	-1.5706	0.0129
宜川	0.0025	0.0003	19.489	0.2355	0.0612	0.5550 **	-0.7518	0.0038
甘泉	-0.0336	0.1407	23.999	0.2341	0.0709	0.6444 **	-1.7134	0.0144
延长	-0.0261	0.0173	15.245	0.1052	0.0524	0.3690 **	-2.4274	0.0289
延安	-0.0956	0.209	11.087	0.0602	0.0725	0.5279 **	-4.0728	0.0773
志丹	0.0632	0.2784	6.3988	0.0291	0.0657	0.6215 **	-0.8435	0.0057
安塞	0.0170	0.0289	21.535	0.4366	0.0557	0.4915 **	-1.5388	0.0159
延川	-0.0559	0.2370	25.579	0.3079	0.0479	0.3836 **	-0.8260	0.0054
吴起	-0.0001	9E-07	-1.681	0.0016	0.0514	0.4471 **	1.4911	0.0158
清涧	0.3661	0.3025	9.2667	0.1036	0.0822	0.3270 **	-0.9746	0.0085
子长	0.0511	0.1486	11.261	0.0343	0.0647	0.5186 **	1.0051	0.0049
绥德	0.0014	0.0001	11.171	0.1131	0.0523	0.3546 **	-3.2568	0.1036
定边	0.0440	0.0799	1.8369	0.0019	0.0779	0.5714 **	0.9374	0.0073
子洲	0.0789	0.2430	9.4488	0.0617	0.0607	0.4594 **	0.1468	0.0002
靖边	0.1007	0.3214	-5.8869	0.0117	0.0953	0.6740 **	-1.7353	0.0171
吴堡	-0.0256	0.0293	14.1610	0.1247	0.0361	0.1881 *	0.0483	0.00002
米脂	0.1062	0.4148	6.0345	0.0218	0.0727	0.5833 **	-0.5860	0.0033
横山	0.4540	0.3844	0.5345	0.0002	0.0951	0.3654 **	-1.7212	0.0341
佳县	0.0045	0.0009	11.283	0.0764	0.0438	0.2785 **	0.4565	0.0025
榆林	0.2437	0.3591	4.2488	0.0055	0.1011	0.5759 **	1.4034	0.0136
神木	0.0408	0.0690	9.1310	0.0641	0.0986	0.6588 **	-2.2629	0.0354
府谷	0.0297	0.0241	17.125	0.0736	0.0485	0.3062 **	0.5402	0.0015

* 表示显著相关 ($P < 0.05$), ** 表示极显著相关 ($P < 0.01$)

(3) 通过统计不同坡度范围内 2000—2008 年 NDVI 变化斜率, 可以看出坡度在 $0-3^\circ$ 时 NDVI 变化的斜率最低, 随着坡度的升高, 平均斜率值也越来越大。其中 $25-35^\circ$ 坡度时斜率平均值最大, 为 0.0152, 原因在于 $25-35^\circ$ 正是陕北地区退耕还林的重点区域。通过逐栅格统计各个坡度植被变化的斜率, 依据植被指数退化划分标准, 分析不同坡度植被改善比例, $7-35^\circ$ 坡度之间植被明显改善的比例最高, 都超过了各自整体的 65%, 在陕北地区在 2000—2007 年降水并没有显著增加趋势下, 充分说明了坡耕地退耕还林取得了明显的植被恢复效果, 退耕还林取得良好的植被恢复效益。

致谢: DEM 和 MODIS 遥感数据由美国 NASA 提供, 日本国立环境研究所沈妙根博士对写作给予帮助, 特此致谢。

References:

[1] Chen S P. Dictionary of Remote Sensing. Beijing: Science Press, 1990: 382-383.

- [2] Tian Q J, Min X J. Advances in study on vegetation indices. *Advances in Earth Science*, 1998, 13(4):328-332.
- [3] Wang Z X, Liu C, Huete A. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: Advances in vegetation index research. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 980-987.
- [4] Xiao X M, Boles S, Liu J Y, Zhuang D F, Liu M L. Characterization of forest types in Northeastern China, using multi-temporal SPOT-4 VEGETATION sensor data. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 82:335-348.
- [5] Nemani R, Keeling C, Hashimoto H. Climate-driven increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999. *Science*, 2003, 300: 1560-1563.
- [6] Ratana P, Huete A R, Yuan Y, Jacobson A. Interrelation among MODIS vegetation products across an Amazon Eco-climatic Gradient. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings. IGARSS, Korea*, 2005: 3009-3012.
- [7] Defries R S, Townshend J G R. NDVI derived land cover classification at a globe scale. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 5: 3567-3586.
- [8] Liu J Y, Xu X L, Shao Q Q. The spatial and temporal characteristics of grassland degradation in the Three-River Headwaters Region in Qinghai Province. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(4):364-376.
- [9] Zhang X J, Feng Z K. LUCC in farming pasture ecotonal areas based on RS and GIS—a case study of Yanchi County in Ningxia. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(1):32-38.
- [10] Tucker C J, Newcomb W W, Dregne H E. AVHRR data sets for determination of desert spatial extent. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 17:3547-3556.
- [11] Parinaz R B, Ali A. D, Ali K, Majid F M Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72:1086-1096.
- [12] Zhuo L, Cao X, Chen J, Chen Z X, Shi P J. Assessment of Grassland Ecological Restoration Project in Xilin Gol grassland. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(5):471-480.
- [13] Du L T, Li G Q. Dynamic monitoring of eco-environment change over 1999—2006 in Yanchi county, Ningxia Hui Autonomous Region based on SPOT-VGT data. *Journal of Beijing Forest University*, 2008, 30(5):46-51.
- [14] Song Y, Ma M G. Study on vegetation cover change in Northwest China based on SPOT VEGETATION data. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1):89-93.
- [15] Xia L, Liu Y M, Ke C Q. Study on the dynamic changes of vegetation in the Loess Plateau based on data from SPOT4. *Remote Sensing Technology and Application*, 2008, 23(1):67-72.
- [16] Li X W, Zhang J, Hu T X. *Theory of the Conversion of Farmland to Forests and application Forest-Grass mode*. Beijing: Science Press, 2009. 13-15.
- [17] Huete A, Justice C, VAN L W. MODIS Vegetation Index (MODIS13) Algorithm theoretical basis document. New York: NASA Press, 1996: 35-39.
- [18] Editorial Board of the Vegetation Map of China, CAS. *The Vegetation Atlas of China 1:1000000*. Beijing: Science Press, 2001:101-104.
- [19] Stow D A, Hope A, McGuire D. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89: 281-308.
- [20] Hope A, Boynton W, Stow D, Douglas D C. Inter-annual growth dynamics of vegetation in the Kuparuk River watershed based on the Normalized Difference Vegetation Index. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(17): 3413-3425.
- [21] Zhu C H, Zhang Y S. Economic Benefit value and analysis of biologic rescue in the North Shaanxi sloping plantation of the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(2): 41-43.
- [22] Li R. Thinking about soil and water conservation of China in 21st century. *Soil and Water Conservation in China*, 2000, 7:3-5.
- [23] Tang G A, Zhao M D, Li T W, Zhao Y L. Modeling slope uncertainty derived from DEMs in Loess Plateau. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6):824-830.
- [24] Zhao M D, Chen Z J, Jin R. A math-simulation on accuracy of gradient extracted from DEMs. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002, 22(3):55-69.
- [25] Li D K, Guo N, He H J. Vegetation change and its relationship with climate in the region along the Great Wall in northern Shaanxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4620-4629.
- [26] Yao Y B, Wang Y R, Li Y H, Zhang X Y. Climate warming and drying and its environmental effects in the Loess Plateau. *Resources Science*, 2005, 27(5):146-152.

参考文献:

- [1] 陈述彭. 遥感大辞典. 北京:科学出版社,1990:382-383.

- [2] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展. 地球科学进展, 1998, 13(4): 328-332.
- [3] 王正兴, 刘闯, HUETE Alfredo. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI. 生态学报, 2003, 23(5): 980-987.
- [8] 刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 近 30 年来青海三江源地区草地退化的时空特征. 地理学报, 2008, 63(4): 364-376.
- [9] 张学俭, 冯仲科. RS 和 GIS 支持下的我国农牧交错生态脆弱区 LUCC 研究——以宁夏盐池县为例. 北京林业大学学报, 2006, 28(1): 32-38.
- [12] 卓莉, 曹鑫, 陈晋, 陈仲新, 史培军. 锡林郭勒草原生态恢复工程效果的评价. 地理学报, 2007, 62(5): 471-480.
- [13] 杜灵通, 李国旗. 基于 SPOT-VGT 的宁夏盐池县近 8 年生态环境动态监测. 北京林业大学学报, 2008, 30(5): 46-51.
- [14] 宋怡, 马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析. 中国沙漠, 2007, 27(1): 89-93.
- [15] 夏露, 刘咏梅, 柯长青. 基于 SPOT4 数据的黄土高原植被动态变化研究. 遥感技术及应用, 2008, 23(1): 67-72.
- [16] 李贤伟, 张键, 胡庭兴. 退耕还林理论基础及林草模式的实践应用. 北京: 科学出版社, 2009: 13-15.
- [19] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 中国植被图集. 北京: 科学出版社, 2001: 101-104.
- [21] 朱春红, 张友顺. 陕北黄土高原坡耕地生态退耕经济效益评价与分析. 水土保持研究, 2003, 10(2): 41-43.
- [22] 李锐. 中国 21 世纪水土保持工作的思考. 中国水土保持, 2000, 7: 3-5.
- [23] 汤国安, 赵牡丹, 李天文, 刘咏梅, 谢元礼. DEM 提取黄土高原地面坡度的不确定性. 地理学报, 2003, 58(6): 824-830.
- [24] 赵牡丹, 陈正江, 晋锐. DEM 提取地面平均坡度误差的量化模拟. 水土保持通报, 2002, 22(3): 55-69.
- [25] 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. 生态学报, 2007, 27(11): 4620-4629.
- [26] 姚玉璧, 王毅荣, 李耀辉, 张秀云. 中国黄土高原气候暖干化及其对生态环境的影响. 资源科学, 2005, 27(5): 146-152.

CONTENTS

Sex ratio and spatial pattern in *Populus davidiana* in Changbai Mountain PAN Chunfang, ZHAO Xiuhai, XIA Fucui, et al (297)

The relationship between freeze-tolerance and changes in activities of antioxidant enzymes and osmolyte content in the leaves of white clover during early winter freeze-thaw cycles ZHAO Mei, ZHOU Ruilian, LIU Jianfang, et al (306)

Gray correlation analysis on naturalness of the primary forest types on the Losses Plateau WANG Naijiang, LIU Zengwen, XU Zhao, et al (316)

Photosynthetic responses of *Gracilaria lemaneiformis* to two antibiotics JIAN Jianbo, ZOU Dinghui, LIU Wenhua, et al (326)

Litter C:N:P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression PAN Fujing, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (335)

Effects of groundwater depth on the gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Populus euphratica* in the lower reaches of Tarim River CHEN Yapeng, CHEN Yaning, XU Changchun, et al (344)

Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI SONG Fuqiang, XING Kaixiong, LIU Yang, et al (354)

Effects of fire on the structure of herbage synusia vegetation in desertified steppe, North China HE Haoyu, SU Jieqiong, HUANG Lei, et al (364)

Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG FENG Huifang, XUE Li, REN Xiangrong, et al (371)

Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity ZHU Chunyang, LI Shuhua, JI Peng, et al (383)

Diversity of waterbirds and change in home range of bar-headed geese *Anser indicus* during breeding period at Hangcuo Lake of Tibet, China ZHANG Guogang, LIU Dongping, QIAN Fawen, et al (395)

The habitat selection of Giant panda in Wanglang Nature Reserve, Sichuan Province, China KANG Dongwei, KANG Wen, TAN Liuyi, et al (401)

Effects of vigilance on the patterns of functional responses of foraging in voles (*Microtus fortis*) TAO Shuanglun, YANG Xifu, DENG Kaidong, et al (410)

Influence of heavy metal pollution on soil animal community in Luqiao, Taizhou City BAI Yi, SHI Shidi, QI Xin, et al (421)

Annual quantitative distribution of meiofauna in relation to sediment environment in Qingdao Bay DU Yongfen, XU Kuidong, LEI Yanli, et al (431)

Population genetic variations and phylogeography of *Macropodus opercularis* WANG Peixin, BAI Junjie, HU Yinchang, et al (441)

Contribution of C₃ and C₄ host plants for the overwintering and 1st generation of *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Northern China YE Lefu, FU Xue, GE Feng (449)

Relationships between two species of insect pests and their natural enemies in tea gardens of three different altitudes BI Shoudong, KE Shengbing, XU Jinfeng, et al (455)

The diversity of ground-dwelling beetles at cultivated land and restored habitats on the Bashang plateau LIU Yunhui, YU Zhenrong, WANG Changliu, et al (465)

Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland NIU Jia, ZHOU Xiaoqi, JIANG Na, et al (474)

Microbial diversity of the jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruits surface during harvesting and storage stages SHA Yuexia (483)

Effects of powdery mildew infection on zucchini growth under elevated CO₂ and temperature LIU Junzhi, GE Yaming, Pugliese Massimo, et al (491)

Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation dynamics of neutral purple soil PENG Sili, SHEN Hong, YUAN Junji, et al (498)

The bacterial community structures in Xinjiang fault belt spring analyzed by PCR-DGGE WU Jiangchao, GAO Xiaoqi, ZENG Jun, et al (506)

The impact of oil pollution on marine phytoplankton community growth change HUANG Yijun, CHEN Quanzhen, ZENG Jiangning, et al (513)

Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress HE Junyu, REN Yanfang, WANG Yangyang, et al (522)

Non-point pollution control for landscape conservation analysis based on CLUE-S simulations in Miyun County PAN Ying, LIU Yunhui, WANG Jing, et al (529)

Analysis on ecological land rent based on ecological footprint LONG Kaisheng, CHEN Ligen, ZHAO Yali (538)

Relationship of vegetation degradation classification and landscape accessibility classification in Shenzhen LIU Yufan, CHEN Xue, LI Guicai, et al (547)

Review and Monograph

Risk management approaches for environmental and human health risks in the United States and Canada HE Guizhen, LÜ Yonglong (556)

Plant wax and its response to environmental conditions: an overview LI Jingjing, HUANG Junhua, XIE Shucheng (565)

Acid corrosion mechanism of the sulfate-reducing bacteria and protecting studies in oilfield ZHUANG Wen, CHU Liye, SHAO Hongbo (575)

Advance in the research of phyllospheric microorganism PAN Jiangang, HU Qing, QI Hongyan, et al (583)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 2 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 2 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元