

榆林地区 2000—2014 年 NDVI 时空变化

石玉琼^{1,2} 郑亚云² 李团胜^{2*}

(¹ 山西农业大学林学院, 山西太谷 030801; ² 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054)

摘要 为了评价退耕还林的实施效果以及榆林地区生态环境变化, 利用 MODIS NDVI 数据, 采用最大值合成法, 基于 GIS 平台, 研究榆林地区 2000—2014 年植被覆盖的时空变化。结果表明: 2000—2014 年, 榆林黄土丘陵沟壑地区 NDVI 高于风沙滩地区, 前者植被覆盖好于后者; 15 年来, 榆林植被覆盖状况总体得到改善, 改善面积占 90.7%, 退化面积仅占 1.0%, 未变化面积占 8.3%。黄土丘陵沟壑区植被改善面积达 94.2%, 以中度改善为主; 坡地植被改善面积达 80% 以上, 7°~35° 坡度上植被明显改善的面积达 51% 以上, 退耕还林还草取得了明显的效果。

关键词 MODIS NDVI; 植被变化; 退耕还林还草工程; 最大值合成法; GIS

The spatiotemporal change of NDVI in Yulin, Shaanxi Province, China from 2000 to 2014. SHI Yu-qiong^{1,2}, ZHENG Ya-yun², LI Tuan-sheng^{2*} (¹ College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China; ² College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, 710054, China).

Abstract: In order to evaluate the implementation effect of the Grain for Green Project (conversion of degraded farmland into forest or grass Land) and the eco-environment variation of Yulin, MODIS NDVI data was used to examine the spatial and temporal change of vegetation cover by applying maximum value composite (MVC) method based on the GIS. NDVI was higher in hilly loess region than that in blown sand region from 2000 to 2014. In general, the vegetation had improved during the past 15 years. In whole Yulin, the area of the improved vegetation accounted for 90.7%, the area of degradation constituted only 1.0%, and the area of no variation was 8.3%. In hilly loess region, the area of improved vegetation accounted for 94.2%, mainly with moderate improvement. The area of vegetation improvement on slopes accounted for more than 80%. The obvious improvement at 7°–35° slopes constituted more than 51%. Therefore, the effect of the Grain for Green Project was obvious.

Key words: MODIS NDVI; vegetation variation; the Grain for Green Project; maximum value composite; GIS.

植被是干旱半干旱地区陆地生态系统的关键性要素 (Sun *et al.*, 2011), 是一个地区生态环境的一面镜子。植被变化是全球变化研究的一个重要主题, 对深刻理解植被和全球变化或人类活动之间的关系具有重要意义 (Zhang *et al.*, 2014)。归一化差分植被指数 (NDVI) 某种程度上能够代表植被覆盖情况 (Mao *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2014), 它提供的植被

数量信息比土壤水分信息多, 被认为是代表植物生长和植被覆盖度的最好指标 (Fensholt *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2014), 因而, 常常用来作为植被绿度指数使用 (Jackson *et al.*, 2004), 也用来辨别植被覆盖区域及其立地条件 (Omute *et al.*, 2012; Shen *et al.*, 2013), 监测植被覆盖情况 (Mao *et al.*, 2012)。因而, NDVI 应用广泛, 如宋富强等 (2011) 对陕北地区植被动态监测与评价、焦伟等 (2017) 对西北干旱区净初级生产力的估算、王伟军等 (2016) 对高原植被覆盖变化的研究、周丹等 (2015) 对西北干旱区荒漠植被生态需水量的估算等都采用 NDVI 这个指数。

国家自然科学基金 (31140042)、陕西省软科学计划项目 (2007RK21)、陕西省自然科学基金基础研究计划项目 (2009JM5004) 和山西农业大学科技创新基金 (2014008) 资助。

收稿日期: 2017-04-10 接受日期: 2017-08-29

* 通讯作者 E-mail: tuanshen@chd.edu.cn

对榆林地区 NDVI 的专门研究不多,往往是包含在陕西省(李登科等,2010)或陕北(宋富强等,2011) NDVI 的研究中。同一课题组的郑亚云对榆林地区 NDVI 进行了研究(郑亚云,2015),本文是在此基础上的进一步完善。NDVI 对于半干旱地区的中度到低度覆盖的植被比较敏感(Sun *et al.*, 2011),因此,本文选取 NDVI 来研究榆林地区植被变化。

榆林地区属半干旱气候,生态脆弱,是三北防护林、水土保持工程以及退耕还林还草工程的重点地区之一。这些工程的实施,尤其是 1999 年开始的退耕还林工程的实施,必将会增加该地区植被覆盖,然而,过去对退耕还林还草工程实施效果往往从退耕面积来进行评价,本文研究 2000—2014 年 NDVI 的时空变化,以评价退耕还林工程的实施效果及榆林地区生态环境的变化。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

榆林地处陕西省北部,位于 36°57' N—39°35' N, 107°15' E—111°15' E,面积 43578 km²。由两大地貌单元组成:风沙滩地区和黄土丘陵沟壑区(图 1),气候属温带半干旱大陆性季风气候,四季分明,年平均气温 10 ℃,年平均降水量 400 mm 左右,降水量多集中于 6—9 月。土壤主要有风沙土、黄绵土、新

积土、灰钙土、栗钙土、黑垆土、盐土等。地带性植被为干草原和森林草原,主要植被有森林、干草原、灌丛、草甸、沙生植被、盐生植被等。榆林矿产资源极其丰富,有煤、天然气、石油、盐等,目前为陕北能源化工基地的核心区域。行政上辖 1 区 11 县(图 1)。

1.2 数据来源及处理

MODIS NDVI 数据比 AVHRR NDVI 和 Landsat NDVI 数据质量好(Beck *et al.*, 2011),MODIS NDVI 数据有 3 个空间分辨率:250 m、500 m 和 1000 m,因此本文选用 250 m 的 MODIS NDVI 数据。从 NASA 网站(<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>)下载 2000—2014 年榆林地区 MOD13Q1 产品的 MODIS NDVI 时间序列数据共 345 幅。利用最大值合成法把全年 23 期的 NDVI 数据进行最大值合成,获取年内最大 NDVI 来代表当年植被生长最好的状况。

DEM 数据来源于中国科学数据云地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),空间分辨率为 30 m。在 ArcGIS 10.3 下进行坡度提取。

1.3 分析方法

1.3.1 NDVI 季节变化 由于相邻年份 NDVI 变化不大,因此,选取 2000—2014 年中的偶数年,即 2000、2002、2004、…、2014 年的 NDVI 来分析。NDVI 季节变化采用最大值合成法计算偶数年各季

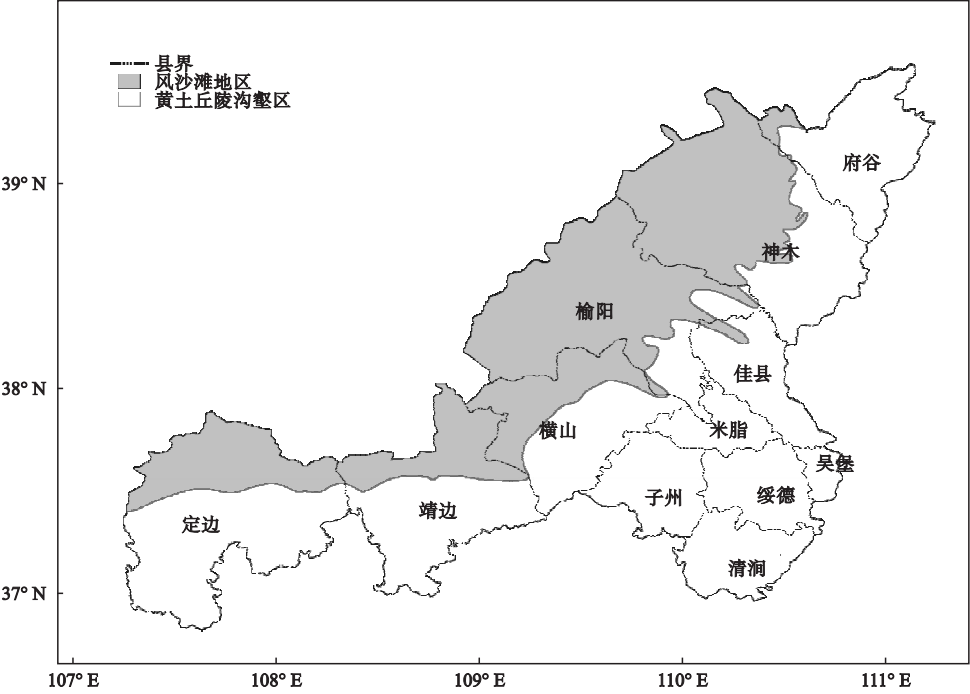


图 1 榆林地区行政区划图
Fig.1 The administrative map of Yulin

表 1 植被变化分级
Table 1 Vegetation variation classes

植被变化	NDVI 变化(ΔNDVI)
严重退化	$\Delta NDVI \leq -0.35$
中度退化	$-0.35 < \Delta NDVI \leq -0.2$
轻度退化	$-0.2 < \Delta NDVI \leq -0.05$
无变化	$-0.05 < \Delta NDVI \leq 0.05$
轻度改善	$0.05 < \Delta NDVI \leq 0.2$
中度改善	$0.2 < \Delta NDVI \leq 0.35$
明显改善	$\Delta NDVI > 0.35$

节的 NDVI,再通过均值法计算 2000—2014 年的季节平均值。春季为 3 月到 5 月,夏季为 6 月到 8 月,秋季为 9 月到 11 月,冬季为 12 月到次年的 2 月。

1.3.2 NDVI 年际变化 NDVI 年际变化是在采用最大值合成法获得 2000—2014 年各偶数年 NDVI 的基础上,把各像元所有偶数年最大化 NDVI 进行加和平均作为整个地区当年的 NDVI,从而反映区域植被年际变化。

1.3.3 NDVI 空间变化 计算 2000—2014 年各偶数年的最大 NDVI 的平均值,利用 ENVI 软件的密度分割方法得到榆林及 12 个县区的平均 NDVI 分布图,统计不同年份各级别的面积比例。

1.3.4 植被变化 为了评估退耕还林工程效果,用 2014 年和 2000 年 NDVI 之差计算 2000—2014 年植

被变化情况,并按照差值根据榆林地区实际分为 7 个等级(表 1)。

2 结果与分析

2.1 NDVI 时间变化

2.1.1 季节变化 从 NDVI 各季节分布图来看(图 2),榆林地区植被状况各季节差异明显,总体表现为夏季 NDVI>秋季 NDVI>春季 NDVI>冬季 NDVI,冬季最小,夏季最大。2000—2014 年,冬季 NDVI 平均值为 0.399,夏季为 0.824,春季和秋季分别为 0.561 和 0.699。春季和冬季,榆林地区多数地区 NDVI 小于 0.25,夏秋季多数地区 NDVI 为 0.25~0.50(图 2,表 2)。这与当地气候条件相一致,榆林地区夏季温度高,降水多,是植物生长的最好季节,冬季温度最低,降水少,对植物生长不利。

2.1.2 NDVI 年际变化 2000—2014 年,尽管 NDVI 均值有波动,但总体上来看,NDVI 均值都是增加的(图 3),NDVI 值由 2000 年的 0.318 增加到 2014 年的 0.491。NDVI 值小于 0.50 的区域面积在减少,而大于 0.50 的区域面积在增大(图 4,表 3),表明在此期间,NDVI 指数在增大,植被生长状况在改善。作为退耕还林还草工程实施的重点区域,黄土丘陵沟壑区也表现出同样的趋势,NDVI 大于 0.5 的区域面

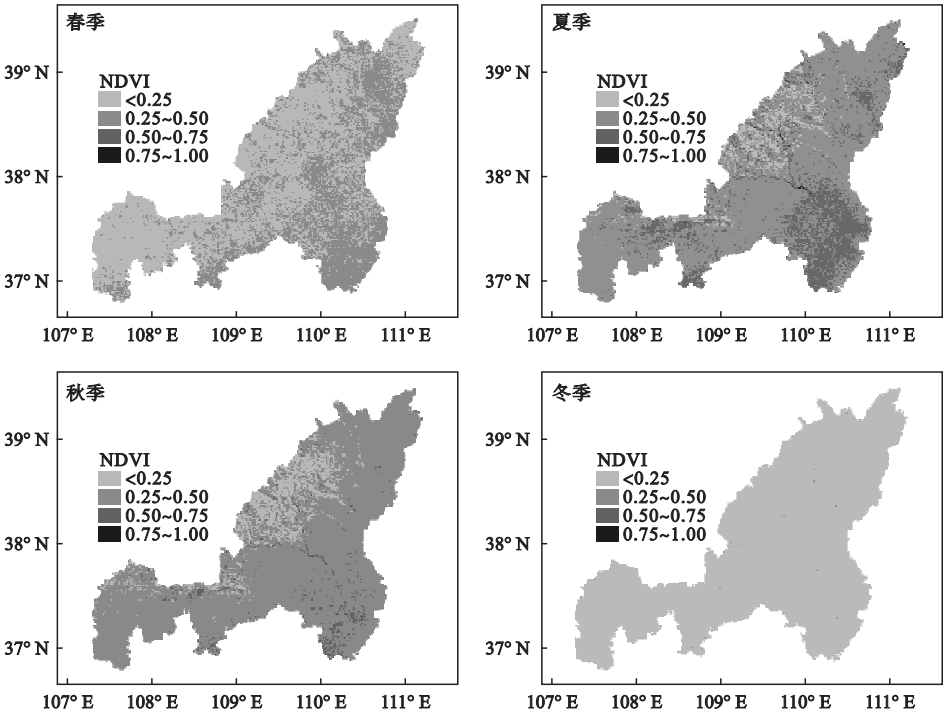


图 2 榆林地区 NDVI 四季分布图
Fig.2 NDVI distribution of Yulin in four seasons

表 2 榆林地区四季 NDVI 各等级面积比例
Table 2 The area ratio of NDVI in four seasons

NDVI	面积比例(%)			
	春季	夏季	秋季	冬季
<0.25	61.588	6.456	12.009	99.904
0.25~0.50	38.410	73.540	84.628	0.096
0.50~0.75	0.002	19.902	3.363	0
0.75~1.00	0	0.102	0	0
总计	100	100	100	100

积在增大,小于 0.5 的区域面积在减小(表 4)。榆林是陕西省退耕还林还草工程实施重点地区之一,1999 年开始试点,2002 年逐步开始在全地区开展退耕还林还草,截止 2013 年底,退耕还林 54.22×10^4 hm^2 ,退耕还林前林木覆盖率为 25%,而退耕还林后林木覆盖率为 33%。位于黄土丘陵沟壑区的米脂、绥德、佳县、吴堡、清涧和子洲 2008 年植被覆盖率分别较 1998 年提高了 25.29%、17.4%、15.88%、17.75%、14.93%和 12.21%。1999 年到 2009 年榆林地区退耕还林还草 31.33×10^4 hm^2 ,其中南六县(米脂、绥德、佳县、吴堡、清涧和子洲)退耕还林还草 13.0×10^4 hm^2 。从 2000 年到 2013 年底,榆林地区林草地面积增加了 240.99×10^4 hm^2 ,其中南六县林草地面积增加 44.82×10^4 hm^2 。

2.1.3 2000—2014 年的植被变化 为了评价 1999 年以来榆林地区实施退耕还林还草工程的实效性以及榆林植被的变化,用 2014 年和 2000 年的 NDVI

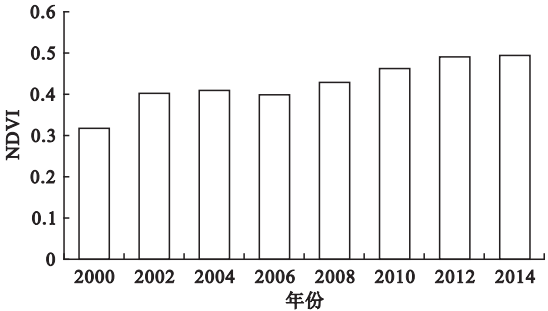


图 3 2000 年到 2014 年各偶数年的 NDVI
Fig.3 NDVI of even-numbered years from 2000 to 2014

之差来计算其变化,并把植被变化分为 7 个等级(表 1)。

15 年来榆林地区植被改善明显,植被改善面积占 90.723%(表 5),退化面积只占 0.985%,未发生变化的面积占 8.292%。因此,榆林地区总体上植被改善,而局部退化。其中风沙滩地区退化面积占 1.621%,未发生变化的面积占 12.944%,改善的面积占 85.435%;黄土丘陵沟壑区退化面积占 0.562%,未变化的面积占 5.202%,改善面积占 94.236%。可见,退耕还林还草工程效果明显(图 5)。

2.2 NDVI 空间差异

2.2.1 15 年来平均空间差异 在计算每年每个像元的最大 NDVI 的基础上,计算每个像元 15 年的 NDVI 均值并作密度分割,获得 15 年间 NDVI 的空间差异图(图 6)。可以看出,黄土丘陵沟壑区 NDVI 大于风沙滩地区,东南部 NDVI 值较高,尤其是子

表 3 榆林地区各偶数年份 NDVI 面积比例
Table 3 Area ratio of NDVI of each even-numbered year in Yulin

NDVI	面积比例(%)							
	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014
<0.25	24.685	10.039	9.931	9.857	7.356	3.962	3.712	2.809
0.25~0.50	71.257	75.455	71.237	73.628	66.594	56.545	44.187	46.727
0.50~0.75	3.955	14.275	18.516	16.406	25.741	39.335	51.775	49.909
0.75~1.00	0.103	0.231	0.316	0.109	0.309	0.158	0.326	0.555
总计	100	100	100	100	100	100	100	100

表 4 榆林黄土丘陵沟壑区各偶数年份 NDVI 面积比例
Table 4 Area ratio of NDVI of every even-numbered year in hilly loess region of Yulin

NDVI	面积比例(%)							
	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014
<0.25	11.527	0.489	0.498	0.622	1.026	0.311	0.314	0.256
0.25~0.50	86.183	83.022	75.567	78.506	66.484	47.209	29.353	31.557
0.50~0.75	2.241	16.406	23.672	20.822	32.384	52.423	70.205	67.845
0.75~1.00	0.049	0.083	0.263	0.050	0.106	0.058	0.128	0.342
总计	100	100	100	100	100	100	100	100

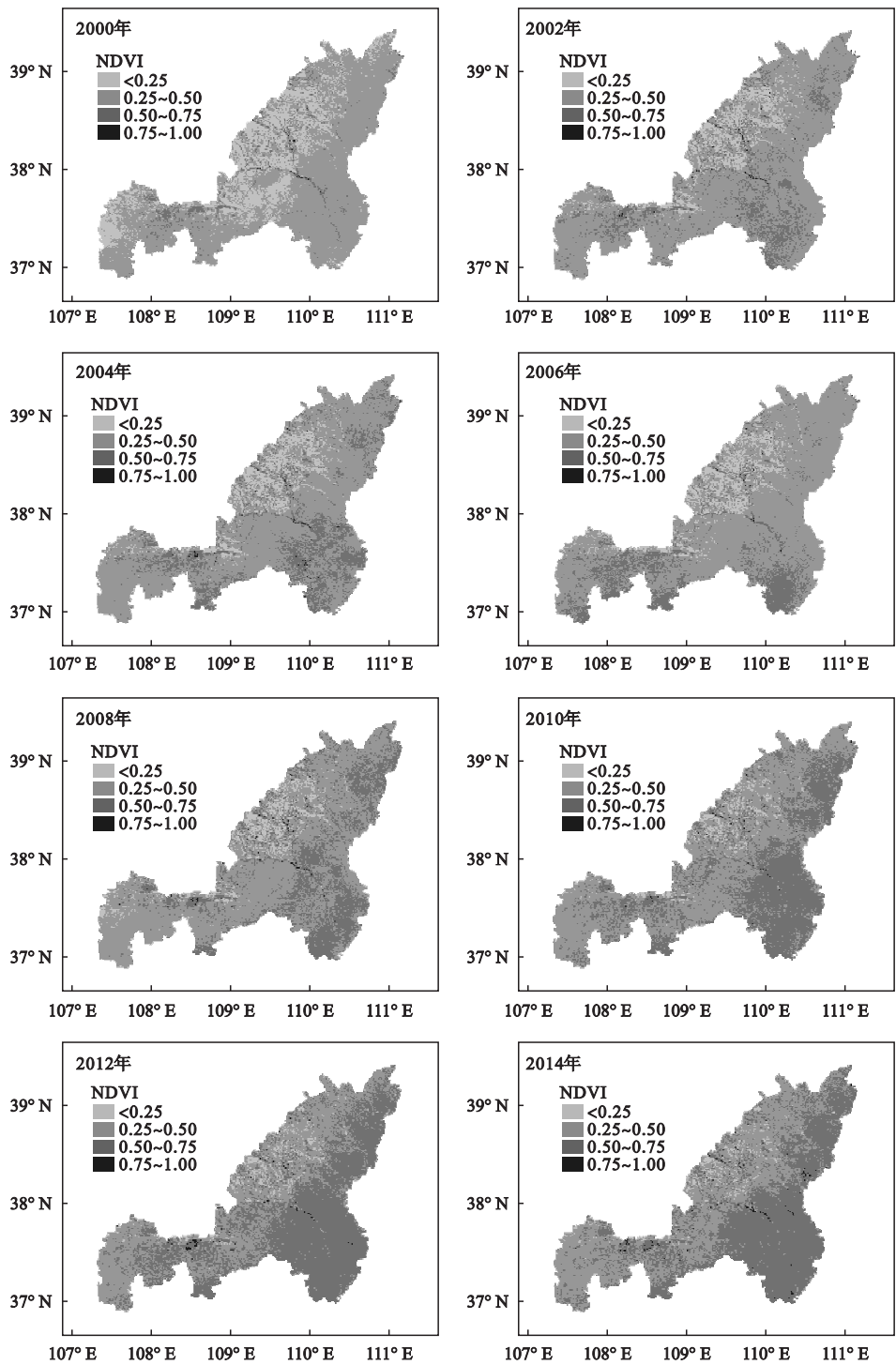


图 4 从 2000 年到 2014 年各偶数年份 NDVI 分布图
Fig.4 NDVI maps of even-numbered years from 2000 to 2014

洲、清涧、绥德、米脂、吴堡和佳县。NDVI 大于 0.50 的面积占到整个黄土丘陵沟壑区面积的 28.146%，而风沙滩地区 NDVI 大于 0.50 的区域仅占其面积的 11.606% (表 6)。

2.2.2 2014 年 NDVI 的空间差异 2014 年，整个榆林地区 NDVI 主要集中在 0.25~0.50 和 0.50~

0.75 两个等级上 (表 3)。
NDVI 在 0.50~0.75 的面积占到近 50%，0.25~0.50 的区域占到 46.727% (表 3、表 7)。
风沙滩地区 NDVI 主要集中在 0.25~0.50，而黄土丘陵沟壑区主要在 0.50~0.70。NDVI 大于 0.50 的区域在风沙滩地区和黄土丘陵区分别占到其面积

表 5 2000 年到 2014 年榆林地区植被变化面积比例
Table 5 Area ratio of vegetation variation of Yulin during 2000–2014

植被变化	面积比例 (%)		
	整个榆林地区	风沙滩地区	黄土丘陵沟壑区
严重退化	0.023	0.048	0.006
中度退化	0.082	0.174	0.020
轻度退化	0.880	1.399	0.536
没有变化	8.292	12.944	5.202
轻度改善	51.600	65.860	42.131
中度改善	35.984	18.725	47.446
明显改善	3.139	0.850	4.659
总计	100	100	100

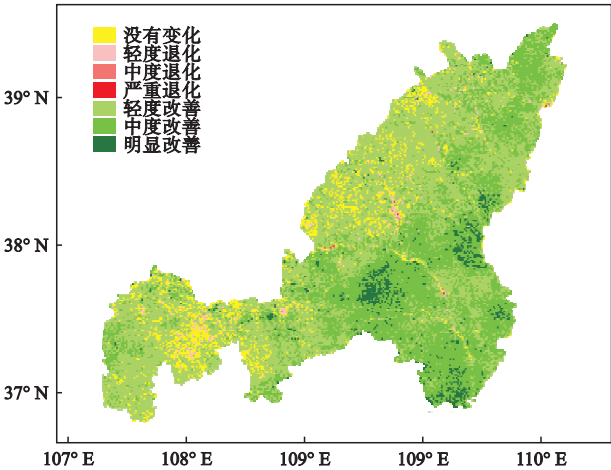


图 5 2000 年到 2014 年间榆林植被变化分布图
Fig.5 The vegetation variation of Yulin from 2000 to 2014

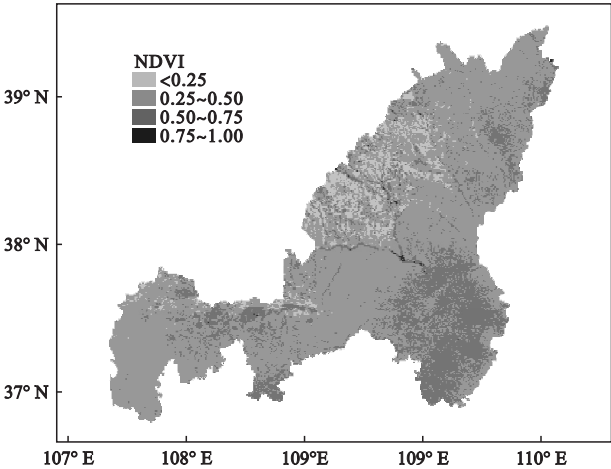


图 6 2000 年到 2014 年间 NDVI 均值分布图
Fig.6 Mean NDIVI spatial distribution from 2000 to 2014

的 23.776% 和 68.187%。因此,2014 年黄土丘陵区的植被状况总体好于风沙滩地区。

就 12 个县区来讲,NDVI 在 0.25~0.50 的主要在定边、靖边、榆阳和神木,尤其是定边,0.25~0.50

表 6 2000 年到 2014 年间 NDVI 均值的面积比例
Table 6 Area ratio of mean NDVI during 2000 to 2014

NDVI 等级	面积比例 (%)		
	整个榆林地区	风沙滩地区	黄土丘陵沟壑区
<0.25	6.306	15.348	0.301
0.25~0.50	72.149	73.046	71.553
0.50~0.75	21.443	11.420	28.099
0.75~1.00	0.102	0.186	0.047
总计	100	100	100

表 7 2014 年各县区 NDVI 面积比例

县 (区)	NDVI 面积比例 (%)				
	<0.25	0.25~0.50	0.50~0.75	0.75~1.00	总计
定边	1.727	77.480	20.338	0.455	100
府谷	0.806	35.948	63.216	0.030	100
横山	1.042	46.373	51.842	0.743	100
佳县	0.352	17.278	81.600	0.770	100
靖边	1.775	53.704	43.471	1.050	100
米脂	0.018	1.314	98.492	0.176	100
清涧	0.218	2.688	96.703	0.391	100
神木	2.687	53.616	43.152	0.545	100
绥德	0.056	2.107	97.591	0.246	100
吴堡	0.616	4.991	94.38	0.013	100
榆阳	10.292	64.300	24.662	0.746	100
子洲	7.031	0.349	92.616	0.004	100
整个榆林	2.809	46.727	49.909	0.555	100
风沙滩地区	6.653	69.571	22.901	0.875	100
黄土丘陵区	0.256	31.557	67.845	0.342	100

的面积占到定边县面积的 77.480%。NDVI 在 0.50~0.75 的主要在另外 8 个县,尤其是米脂、清涧、绥德、吴堡和子洲,这些县 0.50~0.75 的面积都占到其面积的 90% 以上(表 7)。这 5 个县位于榆林的东南部,属黄土丘陵沟壑区。这里有较厚的土壤层,另外,东南部降水条件较好,加之,黄土丘陵区是退耕还林还草的重点区域,因此,植被生长比其他县(区)好。

2.2.3 植被变化的空间差异 各县区植被都有所改善,均以轻度和中度改善为主(表 8)。所有县(区)植被改善的面积都达 79% 以上,其中绥德、清涧和佳县植被改善面积达 90% 以上。

2.2.4 不同坡度上 NDVI 的变化 根据退耕还林还草工程要求,25° 以上的坡度必须退耕,15°~25° 可以选择性退耕(李贤伟等,2009),同时,有学者建议黄土高原地区坡度在 15° 以上的坡耕地 5~10 a 内退耕,再用 10 a 时间把 7° 以上坡耕地全部退耕(李锐,2000),鉴于此,本文根据 30 m 分辨率 DEM 将研究区按坡度分为六级:小于 3°、3°~7°、7°~15°、

表 8 各县区植被变化
Table 8 Vegetation variation in each county

县 (区)	植被变化(%)							总计
	严重退化	中度退化	轻度退化	没有变化	轻度改善	中度改善	明显改善	
定边	0.004	0.035	2.109	18.717	67.080	11.492	0.563	100
府谷	0.030	0.099	0.808	3.126	45.151	50.471	0.315	100
横山	0.016	0.048	0.366	2.544	30.252	57.667	9.107	100
佳县	0	0	0.010	0.749	29.937	55.941	13.363	100
靖边	0.002	0.086	0.639	9.841	63.437	24.638	1.357	100
米脂	0.060	0.115	0.575	1.628	41.092	55.555	0.975	100
清涧	0	0	0.032	0.379	11.906	73.122	14.561	100
神木	0.012	0.065	0.823	6.734	64.933	26.149	1.284	100
绥德	0	0.047	0.395	1.420	32.444	64.490	1.204	100
吴堡	0	0	0.021	0.961	12.351	74.489	12.178	100
榆阳	0.091	0.232	1.192	14.475	64.934	18.567	0.509	100
子洲	0	0	0.107	0.633	20.416	74.736	4.108	100

表 9 榆林地区各级坡地上 NDVI 变化的面积百分比
Table 9 Percentage of NDVI variation area from different slope classes in Yulin

植被改善 程度	面积比例(%)					
	<3°	3°~7°	7°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
严重退化	0.195	0.156	0.035	0.018	0.039	0.084
中度退化	0.480	0.364	0.130	0.081	0.064	0.052
轻度退化	4.427	3.015	1.395	1.118	0.903	0.446
没有变化	11.930	5.868	2.997	3.027	2.957	1.370
轻度改善	28.068	13.002	6.856	7.159	7.558	4.352
中度改善	38.407	40.436	36.752	34.869	35.593	28.261
明显改善	16.493	37.159	51.835	53.728	52.886	65.435
总计	100	100	100	100	100	100

15°~25°、25°~35°和大于 35°。其中小于 3°的坡地面积占全榆林地区面积的 26.924%,3°~7°坡地面积占 23.79%,7°~15°、15°~25°、25°~35°和大于 35°的坡地面积分别占 31.253%、15.134%、2.513%和 0.385%。7°~15°坡地上植被改善面积占到榆林的 29.820%;15°~25°和大于 25°坡地上植被改善面积分别占到榆林的 14.485%和 2.790%。每一级坡度上植被改善的面积都达 80%以上(表 9)。7°~35°各级坡地上植被明显改善的面积都达 51%以上,7°~25°坡地上明显改善的面积占到其改善面积的 54.898%,表明退耕还林还草工程取得了明显的效果。

3 讨 论

影响植被变化的因素主要有自然因素和人为因素,其中自然因素中降水和气温对植被年际变化影响较大(宋富强等,2011)。本文虽然没有研究榆林地区降水和气温的变化,没有探讨 NDVI 与降水和气温的关系,但有研究表明,2000—2014 年,该地区

降水和温度没有发生明显变化,榆林的气候甚至在此期间还有暖干化趋势(宋富强等,2011;Li *et al.*, 2013;郑金凤等,2015),但是同期的 NDVI 却增加了,尤其是作为退耕还林还草的主要区域,黄土丘陵沟壑区 NDVI 增加,表明在此期间人类活动是影响植被的主要因子,自 1999 年以来,榆林地区实施了退耕还林还草工程,表明该工程效果较为明显,这与宋富强等(2011)、李登科等(2010)的研究结果一致。

坡耕地是退耕还林还草工程实施的主要对象,榆林地区 7°~15°、15°~25°与 25°~35°坡地植被明显改善面积分别占总改善面积的 17.859%、8.963%和 1.465%。7°~25°坡地明显改善面积占其改善面积的 54.898%,占整个榆林地区总改善面积的 26.822%,进一步说明了坡耕地退耕还林还草对榆林地区植被改善影响较大。

生态环境的变化比较复杂,退耕还林还草工程本身也是一项艰巨的生态工程,如何评价一个区域生态环境的变化以及退耕还林还草的实施效果,目前没有统一的方法。本文应用 NDVI 的变化来反映

榆林地区生态环境的变化以及退耕还林还草工程的实施效果,比单纯用退耕还林还草面积作为指标更能说明问题,但也有一定的局限性,比如如何区分退耕区域与非退耕区域就成为问题的关键。另外,目前关于退耕还林还草工程的统计数据不统一,不同途径统计的数据不同,如林业部门和国土部门数据就不一致,有的把封山育林、防护林建设、水土保持工程建设等也作为退耕还林还草工程的一部分,这就为分析评价带来不便。

参考文献

- 焦伟,陈亚宁,李稚. 2017. 西北干旱区植被净初级生产力的遥感估算及时空差异原因. *生态学杂志*, **36**(1): 181–189.
- 李锐. 2000. 中国21世纪水土保持工作的思考. *中国水土保持*, (7): 3–5.
- 李登科,范建忠,王娟. 2010. 陕西省植被覆盖度变化特征及其成因. *应用生态学报*, **21**(11): 2896–2903.
- 李贤伟,张健,胡庭兴. 2009. 退耕还林理论基础及林草模式的时间应用. 北京: 科学出版社: 13–15.
- 宋富强,刑开雄,刘阳,等. 2011. 基于MODIS/NDVI的陕北地区植被动态监测与评价. *生态学报*, **31**(2): 354–363.
- 王伟军,赵雪雁,万文玉,等. 2016. 2000—2014年甘南高原植被覆盖度变化及其对气候变化的响应. *生态学杂志*, **35**(9): 2494–2504.
- 郑金凤,孙虎. 2015. 陕西榆林地区降水特征分析. *江西农业学报*, **27**(4): 94–98.
- 郑亚云. 2015. 榆林NDVI时空变化及驱动因子研究(硕士学位论文). 西安: 长安大学
- 周丹,沈彦俊,陈亚宁,等. 2015. 西北干旱区荒漠植被生态需水量估算. *生态学杂志*, **34**(3): 670–680.
- Beck HE, Mcvicar TR, Dijk AIJMV, *et al.* 2011. Global evaluation of four AVHRR-NDVI data sets: Intercomparison and assessment against Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, **115**: 2547–2563.
- Fensholt R, Proud SR. 2012. Evaluation of Earth Observation based global long term vegetation trends: Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, **119**: 131–147.
- Jackson TJ, Chen D, Cosh M, *et al.* 2004. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sensing of Environment*, **92**: 475–482.
- Li Q, Li Z, Li X, *et al.* 2013. Change characteristics and cause analysis of summer precipitation anomaly in Loess Plateau of Northern Shaanxi Province. *Meteorological and Environmental Research*, **57**: 5–7.
- Mao D, Wang Z, Luo L, *et al.* 2012. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **18**: 528–536.
- Omute P, Corner R, Awange JL. 2012. The use of NDVI and its Derivatives for Monitoring Lake Victoria's Water Level and Drought Conditions. *Water Resources Management*, **26**: 1591–1613.
- Shen D, Deng M, Di L, *et al.* 2013. Study on generation and sharing of on-demand global seamless data: Taking MODIS NDVI as an example. *Computers & Geosciences*, **54**: 66–74.
- Sun Z, Chang NB, Opp C, *et al.* 2011. Evaluation of ecological restoration through vegetation patterns in the lower Tarim River, China with MODIS NDVI data. *Ecological Informatics*, **6**: 156–163.
- Zhang J, Zhang L, Xu C, *et al.* 2014. Vegetation variation of mid-subtropical forest based on MODIS NDVI data: A case study of Jinggangshan City, Jiangxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, **34**: 7–12.

作者简介 石玉琼,女,1985年生,硕士,讲师,主要从事自然地理和土地资源研究。E-mail: yuqiongsh@chd.edu.cn
责任编辑 李凤芹