陕西省榆林市植被生态演变及其驱动机制

马 锋[1,3], 卓 静[2], 何慧娟[2], 韩姗姗[1]

(1.榆林市气象局, 陕西 榆林 719099; 2.陕西省农业遥感与经济作物气象服务中心, 陕西 西安 710016; 3 榆林市能源化工气象服务重点实验室, 陕西 榆林 719099)

摘 要: [目的] 研究陕西省榆林市植被生态演变规律以及驱动机制,为该区域生态恢复工程成效评价提供科学数据。[方法] 基于 2000—2018 年美国 MODIS 卫星植被指数产品 $MOD_{13}Q_1$ 和像元二分方法对陕西省榆林市的植被生态系统进行反演,同时利用趋势分析法和相关性分析等方法研究气候条件和人为因素对植被生态变化的驱动机制。[结果] ①2000—2018 年榆林市植被生态明显改善,主要表现为植被覆盖度在波动中呈现极显著增加趋势,年均增速 1.47%/a;所辖各区县中吴堡县增加最大。南部黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖度增速 1.66%,高于北部风沙草滩区的 1.17%。②2000—2018 年,整体气候条件呈现暖湿化,表现为年降水量呈现很显著增加趋势,增加 232.2 mm,增幅 78.8%,年均增速 10.7 mm/a;年均气温增加趋势不显著,增加 0.3 ℃,增幅 2.8%,年均增速 0.11 ℃/a。年降水量与植被覆盖度呈现极显著正相关,年均气温与植被覆盖度相关性不显著,气候条件对于植被生态恢复起到了促进作用。[结论] 退耕还林工程和防沙治沙示范建设工程调整了产业结构,黄土高原丘陵沟壑区减少了水土流失,毛乌素沙地风沙草滩区流沙得到有效治理,生态建设效益显著。生态恢复工程是研究区植被生态恢复的主要驱动力。

关键词: 陕西省榆林市; 生态脆弱区; 植被变化; 驱动机制

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2020)05-0257-05 **中图分类号**: X171.4, Q948.112

文献参数: 马锋, 卓静, 何慧娟, 等.陕西省榆林市植被生态演变及其驱动机制[J].水土保持通报,2020,40(5):257-261. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.05.037; Ma Feng, Zhuo Jing, He Huijuan, et al. Ecological evolution and driving mechanism of vegetation in Yulin City, Shaanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020,40(5):257-261.

Ecological Evolution and Driving Mechanism of Vegetation in Yulin City, Shaanxi Province

Ma Feng[1,3], Zhuo Jing[2], He Huijuan[2], Han Shanshan[1]

(1. *Yulin Meteorological Bureau, Yulin, Shaanxi*,719099, *China*; 2. *Shaanxi Agricultural Remote Sensing and Economic Crop Meteorological Service Center, Xi'an, Shaanxi* 710016, *China*; 3. *Yulin Energy and Chemical Meteorological Service Key Laboratory, Yulin, Shaanxi*,719099, *China*)

Abstract: [Objective] The ecological evolution and driving mechanism of vegetation in Yulin City, Shaanxi Province, were studied to provide scientific data for the effect of ecological restoration projects in Yulin City. [Methods] Based on the MODIS satellite vegetation index product $mod_{13}Q_1$ and a pixel bisection method from 2000 to 2018, the vegetation ecosystem of Yulin City in Shaanxi Province, China, was retrieved, and the driving mechanism of the influence of climate conditions and human factors on vegetation ecological change was studied by trend analysis and correlation analysis. [Results] ① From 2000 to 2018, the vegetation ecology of Yulin City improved significantly, which was mainly manifested in the extremely significant increase trend of vegetation coverage in fluctuation, with an average annual growth rate of 1.47%. Wubu County had the largest increase among the districts and counties under its jurisdiction. ② From 2000 to 2018, the overall climate conditions became warmer and humider, and the annual precipitation showed a significant increase

收稿日期:2020-05-15 **修回日期**:2020-06-02

资助项目:陕西省科技厅重点研发项目"陕西省环境与农业信息多源遥感动态监测示范系统建设"(2018ZDXM-GY-023); 陕西省科技厅重点研发计划社发类项目"GIS 和 RS 支持下的陕北地区生态脆弱性评价"(2018SF-386)

第一作者:马锋(1975—),男(汉族),陕西省榆林市人,高级工程师,主要从事气象服务工作。Email:279134113@qq.com。

通讯作者:卓静(1978—).女(汉族),陕西省西安市人,正高级工程师,主要从事生态环境动态监测和评估。Email:79506610@qq.com。

trend. The annual average temperature increase trend was not significant. The correlation between annual precipitation and vegetation coverage was significant, but the correlation between annual temperature and vegetation coverage was insignificant. [Conclusion] The project of returning farmland to forest and the project of the demonstration and construction of sand prevention and control have adjusted the industrial structure and reduced soil erosion. The quicksand in the sandy grassland of the Maowusu Desert has been effectively controlled, and the ecological construction benefits are significant. The ecological restoration project is the main driving force of vegetation ecological restoration in the study area.

Keywords: Yulin City of Shaanxi Province; ecologically fragile area; vegetation change; driving force

植被覆盖度是植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标。植被覆盖度不仅对区域生态系统环境变化有着重要指示作用[1],也是生态、水文和气候模型中的关键参数[2]。区域生态环境状况一般通过植被覆盖度来评价,植被覆盖度变化能够反映植被的生长态势及其进行光合作用的强度[3]。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)作为植被覆盖度和生长状况的最佳指示因子[4],在没有大的人为干扰和自然灾害的情况下,能较好的代表一个区域随温度和水分变化的植被生长发育状况。

榆林市位于陕西省最北部,南部是黄土高原丘陵沟壑区,北部是毛乌素沙地,生态环境复杂脆弱,土地可利用性和承载力较差;同时榆林还是陕西省乃至全国的能源化工基地,随着榆林经济的快速发展和能源化工基地建设,能源开发利用与生态环境承载力约束的矛盾日益突出。1999 年开始,陕西省实施退耕还林等一系列生态环境恢复工程,恢复工程如何影响研究区植被覆盖已经成为学者们研究的重点领域。涉及到研究区的已有研究结果表明,西北五省[5]、黄土高原地区[6-7]、陕西省[8]和陕北地区退耕还林区等[9-11]区域的植被覆盖均有明显改善的趋势,显著增加的区域主要分布在榆林至延安周边;植被覆盖度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,其中降水和温度对植被恢复起到了促进作用,以退耕和植树造林为主的生态建设才是导致 NDVI 变化的主导因素。现有研究结果同时还表明:毛乌素沙地植被覆盖度偏低,南部植被覆盖度明显高于北部区域;植被覆盖度好转趋势明显;沙地南部和东部地区植被覆盖度变化速率大于中部和北部地区。毛乌素沙地增强植被指数(EVI)年最大值与降水呈正相关,与气温呈弱负相关;EVI 年最小值与降水呈强正相关,与气温呈弱正相关。农作物种植面积的增加、大规模人工造林以及大牲畜规模的控制等人类活动有助于植被覆盖度的提高[12-13]。2000—2013 年榆林市植被的变化特征表现为 NDVI 年平均值呈上升趋势,整体上植被覆盖情况在逐渐变好。这是由于多年来开展生态环境保护的积极效果[14]。

综合分析现有研究结果可以发现,现有的研究工作大多数集中在黄土高原和全省这些大范围区域,缺少最新的专门针对陕西北部榆林市的专项植被生态恢复的专题研究,现有研究成果不能满足该区域生态恢复工程成效评估,不能为相关政府决定提供详细的支撑数据。因此,本文利用 MODIS 卫星植被指数产品,采用像元二分模型从 NDVI 反演植被覆盖度,分析 2000—2018 年陕西北部生态脆弱区榆林市的植被生态变化情况,同时详细分析了榆林市所辖区县和南北不同区域的植被覆盖度演化规律,并从自然和人类活动两方面研究植被生态的驱动机制,对退耕还林和防沙治沙等生态建设工程的作用进行客观评价,为政府后续资源开发利用、生态环境建设提供科学依据和支撑。

1 研究区概况

研究区榆林市位于陕西省最北部,西邻甘肃、宁夏,北连内蒙古,东隔黄河与山西相望,南与陕西省延安市接壤,下辖 2 区(榆阳、横山)、1 市(神木)和 9 县(见图 1)。地理位置北纬 36°57′—39°35′,东经 107°28′—111°15′,总面积约为 4.40×10^4 km^2,约占陕西省 21%。地貌大体以长城为分界线,北部风沙草滩区,占总面积的 42%,南部黄土丘陵沟壑区,占总面积的 58%,风蚀沙化和水土流失严重,是全国土地荒漠化和沙化危害严重地区之一。研究区属暖温带和温带半干旱大陆性季风气候,气温四季明显,年降水量 400 mm 左右,气象灾害较多,每年都有不同程度的干旱、暴雨、冰雹、大风、沙尘和高温等灾害发生,立地条件较差,水土流失严重。

2 数据源与研究方法

2.1 数据源

数据来源主要有 3 大类:观测资料、遥感图像和统计数据。观测数据主要来源于气象部门各气象站观测数据,包括榆林市 12 个国家气象站 2000—2018 年年降水量和年均气温数据,主要用于气候背景分析

及其与植被变化的相关性研究。遥感数据采用美国 NASA LP DAAC 2000—2018 年 MODIS 卫星 250 m 分辨率晴空资料 16 d 合成植被指数产品 $MOD_{13}Q_1$，主要用于植被生态演化规律分析。统计数据采用的是榆林市退耕还林等生态恢复工程实施数据，来源于榆林市林草局，用于植被生态变化驱动机制分析研究。

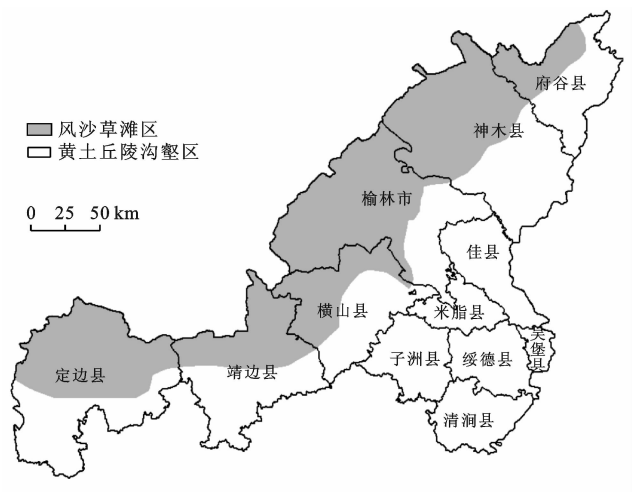


图 1　研究区地理位置

2.2　研究方法

本文采用归一化植被指数(NDVI)进行植被覆盖度遥感估算，结合混合像元分解模型的像元二分法，构建定量估算植被覆盖度模型，分析榆林市植被覆盖度时空变化特征。

利用最大值合成法对各年 NDVI 进行最大值合成，来客观反映一年中植被生长的最好状况。混合像元的 NDVI 是两部分植被指数值的加权平均和，权重为各部分在像元中的面积比例，表达式[8]为：

$$C=(NDVI-NDVI_{soil})/(NDVI_{veg}-NDVI_{soil}) \quad (1)$$

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；C 为植被覆盖度。变换可得 $NDVI_{soil}$ 变化范围一般在 $-0.1\sim0.2$ 之间，代表着纯土壤像元的最小值，它应该是不随时间改变。$NDVI_{veg}$ 代表着纯植被像元的最大值，理论值为 1。在应用中，多数研究采用研究区域 NDVI 最大值和最小值，即 $NDVI_{veg}=NDVI_{max}$，$NDVI_{soil}=NDVI_{min}$。

按照李登科等人的研究成果，将研究区的植被覆盖度分为 11 级，$f_{veg}=0\%$ 定义为无植被，其余每间隔 10%分一级。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%。

3　结果与分析

3.1　植被覆盖度时空变化分析

研究区 2000—2018 年植被覆盖度在波动中呈现极显著增加趋势($p<0.001$。见表 1，图 2)，平均每年增加速率 1.47%/a。2018 年全市植被覆盖度 46.1%，创 21 世纪以来最高值，较 2000 年增加 34%，较 2017 年增加 5.5%。近 19 a 全市植被覆盖度平均值 29.7%，有 8 a 高于平均值，主要集中在 2009—2013，2016—2018 年两个时段。2014 年和 2015 年植被覆盖度出现低值区，主要原因为这两个年份年降雨量的大幅减少。

表 1　研究区及各区县植被覆盖度及其与时间相关性分析

地区	植被覆盖度				相关系数	显著性
	2000 年	2018 年	增量	增幅		
绥德县	21.981	58.455	36.474	165.939	0.880	* * * *
府谷县	11.536	47.889	36.354	315.144	0.879	* * * *
子洲县	13.355	53.989	40.634	304.259	0.843	* * * *
靖边县	14.762	47.289	32.527	220.344	0.872	* * * *
佳 县	12.423	57.442	45.019	362.390	0.941	* * * *
清涧县	13.605	53.794	40.190	295.415	0.834	* * * *
定边县	13.240	45.873	32.633	246.470	0.747	* * * *
榆阳区	8.584	34.312	25.727	299.705	0.964	* * * *
吴堡县	11.384	57.647	46.263	406.383	0.868	* * * *
横山区	5.458	46.632	41.174	754.422	0.857	* * * *
米脂县	21.538	60.389	38.850	180.376	0.902	* * * *
神木市	11.550	42.414	30.864	267.210	0.978	* * * *
榆林市	12.035	46.066	34.031	282.753	0.930	* * * *

注：* * * 表示在 $p\leqslant0.01$ 水平相关性很显著；* * * *，$p\leqslant0.001$极显著。下同。

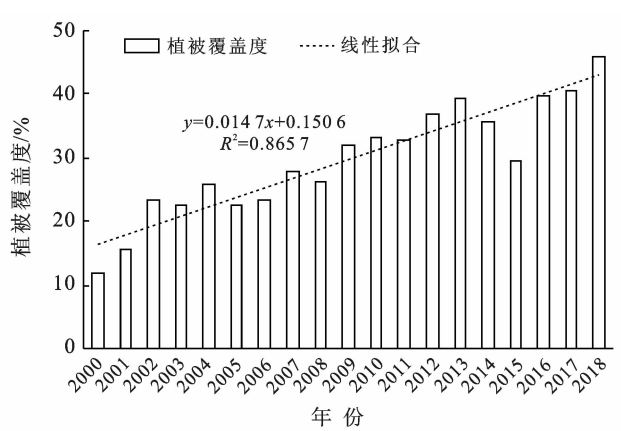


图 2　2000—2018 年研究区植被覆盖度变化

附图 13—14(见封 3)是研究区 2000 年与 2018 年植被覆盖度的空间分布图，从图中可以看出，2000 年榆林市植被覆盖度整体较低，绝大多数地区数值集中在 0%～20%这一区间；2018 年植被覆盖度整体大

幅提高，全市范围内黄色区域显著减小，绿色区域明显增大，植被覆盖度基本集中在 50%～60%这一区间；南部黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖度增加较北部风沙草滩区明显。

详细分析研究区内不同区域的植被覆盖度变化数据，可以看出（见表 1）：2000—2018 年研究区所辖两区一市九县的植被覆盖度均呈持续极显著增加趋势。2000 年除绥德和米脂两县植被覆盖度大于 20%，其余各区县均小于 20%，其中横山区及榆阳区甚至小于 10%。2018 年植被覆盖度除榆阳区小于 40%以外，其余各区县均大于 40%，米脂县更是超过了 60%。19 a 间所辖各区县中，吴堡县增加最大，由 11.4%增加至 57.6%，增加了 46.3%；佳县次之，从 12.4%增加至 57.4%，增加了 45%。就增加幅度而言，横山区增加幅度最大，增幅高达 754.4%，吴堡县次之，增幅为 406.4%。

北部风沙草滩区是中国 4 大沙地——毛乌素沙地南缘地带，该区域位于中国北方半干旱区的农牧交错带，处于森林—草原—荒漠的生态应力带上，是中国重要的生态屏障区，其生态环境具有较强的敏感性和脆弱性[14]。研究结果表明（见图 3），2000—2018 年该区域植被覆盖度呈现极显著增加趋势（$p<0.001$），2018 年植被覆盖度达 38.03%，较 2000 年增加 28.04%，年平均增加 1.17%/a，增长较快的区域集中在定边、靖边、横山及神木等市县。

南部黄土丘陵沟壑区，风蚀沙化和水土流失严重，是全国土地荒漠化和沙化危害严重地区之一，也是退耕还林等生态恢复工程实施的重点区域。研究结果表明（见图 4）：2000—2018 年该区域植被覆盖度呈现极显著增加趋势（$p<0.001$），2018 年植被覆盖度 51.55%，较 2000 年增加 38.10%，年平均增加 1.66%/a，高于北部风沙草滩区的增速，增加区域主要集中在黄河沿岸吴堡、佳县、绥德和米脂等县。

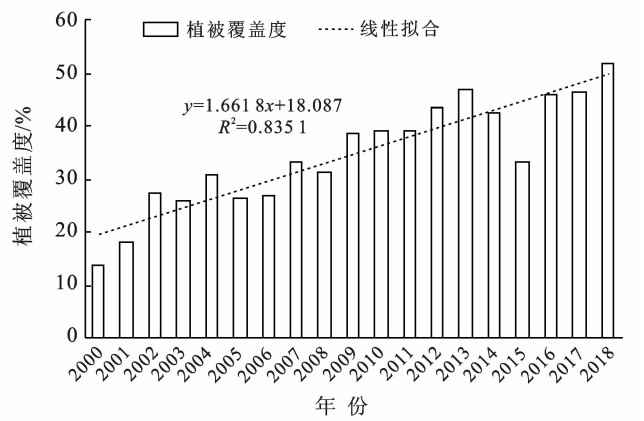


图 3 风沙草滩区植被覆盖度数据

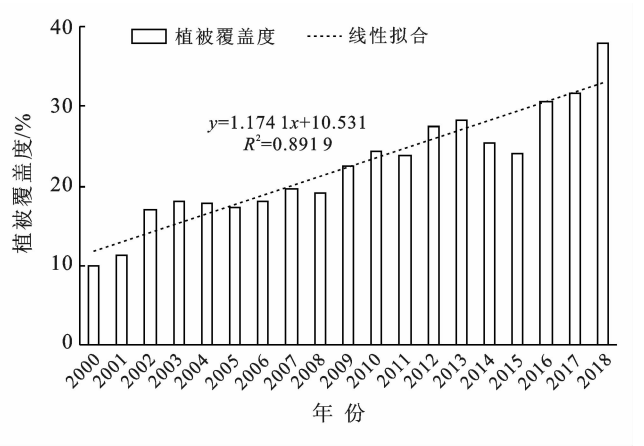


图 4 黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖度数据

3.2 驱动机制分析

3.2.1 自然因素的影响分析 气候要素是影响植被在地表分布的重要因素，分析气候要素对植被覆盖度时空分布格局变化的驱动作用，对预测未来情景下的植被覆盖度具有重要意义[15]。本文将年降水量和年均气温作为主要气候要素，分析其对植被覆盖度时空格局变化的驱动作用。

根据气象监测数据结果显示（见图 5—6，表 2）：2000—2018 年研究区年降水量呈现很显著上升趋势，年降水量从 294.7 mm 增加至 526.9 mm，增加 232.2 mm，增幅 78.8%，年均增速 10.70 mm/a；研究时段内多年年均降水量为 456.1 mm，高于 30 a 平均值（404.4 mm）；2017 年降水量最多，为 637.1 mm。年降水量和植被覆盖度呈现极显著正相关性，相关系数高达 0.725。研究区年均气温呈现不显著增加趋势，年均温度增加 0.3 ℃，增幅 2.8%，年均增速 0.11 ℃/a。研究时段内多年平均气温为 10.1 ℃，其中 2001，2002，2006，2007，2013，2015—2018 年 9 a 的年均气温高于平均值；2006 年和 2015 年最高，为 10.7 ℃，2012 年最低，仅为 9.2 ℃。年均气温与植被覆盖度也呈现正相关性，但相关系数仅为 0.027，未通过显著性检验。

综合分析以上结果，可以看出：在研究时段内，研究区的整体气候条件表现为暖湿化，对于植被生长和植被恢复呈现利好趋势，这一分析结论与现有研究结果[16]一致。

表 2 气象条件与时间和植被覆盖度的相关性分析

项 目	年降水量和时间相关性	年均气温和时间相关性	年降水量和植被覆盖度相关性	年均气温和植被覆盖度相关性
相关系数	0.658	0.140	0.725	0.027
显著性检验	* * *	—	* * *	—

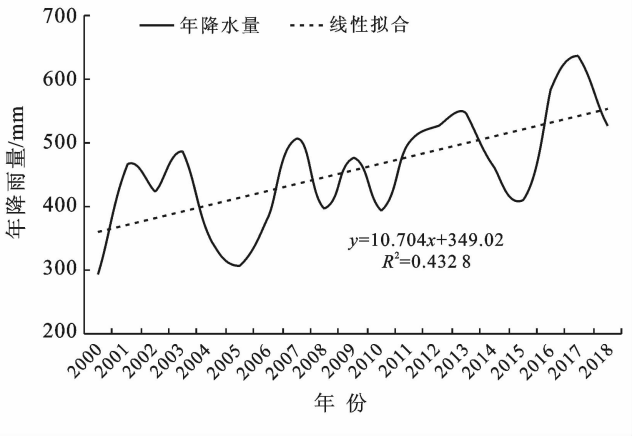


图 5　2000－2018 年研究区年平均降水量变化

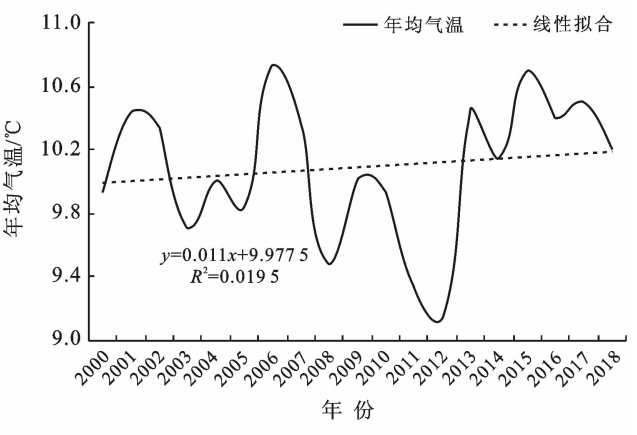


图 6　2000－2018 年研究区年均气温变化

3.2.2　*人类活动的影响分析*　退耕还林主要是把山高坡陡、水土流失严重、土地贫瘠、产量低的坡耕地实施退耕,而把土地平缓、土质肥沃的留作耕地。根据榆林市林草局统计数据显示:1999 年陕西榆林市开始实施退耕还林工程试点,2002 年开始大面积实施退耕还林,截止 2018 年各级政府共完成全市退耕地还林 223 966.7 hm^2,宜林荒山荒地造林 348 013.3 hm^2,封山育林 8 446.7 hm^2。工程实施范围涉及 12 个市区(县),166 个乡镇(办事处),2 925 个行政村,3.9 万户,130 万人,退耕还林工程实施区生态环境得到了有效治理。

2003 年,榆林市被列为毛乌素沙地防沙治沙综合示范区,各级政府启动实施了防沙治沙综合示范区建设工程。16 a 的时间里,研究区以加快区域生态环境改善为目标,在所辖两区、一市和 9 县范围内开展防风治沙建设[17],截至 2018 年营造防风固沙林、水土保持林、经济林 7 426.6 hm^2,造林成活率、保存率均超过 85%。通过防沙治沙示范区工程建设,使境内沙区 573 333 hm^2 流沙全部得到治理。第五次荒漠化和沙化监测结果显示:研究区沙化土地治理率93.24%,荒漠化土地面积比 1999 年减少 314 666.6 hm^2。沙区流沙全部得到固定和半固定,实现了区域性的荒漠化逆转。因此,退耕还林和防沙治沙等生态工程的实施是 2000 年以来研究区植被覆盖度显著增加的主导因素。

4　结 论

(1) 2000—2018 年研究区整体植被覆盖度波动中呈现极显著增加趋势,平均每年增加速率 1.47%;南部黄土高原丘陵沟壑区和北部风沙草滩区植被覆盖度均呈现极显著增加趋势,南部年均增速高于北部地区。各区县植被覆盖度吴堡县增加最大,增加了 46.3%;佳县次之,增加了 45%。

(2) 2000—2018 年榆林市年降水量呈现很显著增加趋势,而气温增加不明显,整体气候表现为暖湿化,有利于植被的恢复和生长。年降水量与植被覆盖度呈现极显著正相关,年均气温与植被覆盖度显著性不明显。

(3) 生态恢复工程是榆林市植被生态改善的主要驱动机制,气候条件起到了促进作用。实施退耕还林和防沙治沙示范工程以来,榆林市林木保存面积达到 1 498 666 hm^2,林木覆盖率提升到 34.8%,沙化土地治理率达 93.24%,土地沙化和水土流失明显减轻。

[参 考 文 献]

[1] 陈效逑,王恒. 1982—2003 年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化[J]. 地理学报,2009,64(1):84-94.

[2] 满多清,吴春荣,徐先英,等. 腾格里沙漠东南缘荒漠植被盖度月变化特征及生态恢复[J]. 中国沙漠,2005,25(1):142-146.

[3] 甘春英,王兮之,李保生,等. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J]. 地理科学,2011,31(8):1019-1024.

[4] 罗玲,王宗明,宋开山,等. 1982—2003 年中国东北地区不同类型植被 NDVI 与气候因子的关系研究[J]. 西北植物学报,2009,29(4):800-808.

[5] 李旭谱,张福平,胡猛,等. 基于 SPOT NDVI 的植被覆盖时空演变规律分析:以西北五省为例[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(5):180-184,199.

[6] 张含玉,方怒放,史志华. 黄土高原植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应[J]. 生态学报,2016,36(13):3960-3968.

[7] 孟晗,黄远程,史晓亮. 黄土高原地区 2001—2015 年植被覆盖变化及气候影响因子[J]. 西北林学院学报,2019,34(1):211-217.

[8] 李登科,王钊. 退耕还林后陕西省植被覆盖度变化及其对气候的响应[J]. 生态学杂志,2020,39(1):1-10.

[9] 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.

(下转第 267 页)

[参 考 文 献]

[1] 余新晓,吴岚,饶良懿,等. 水土保持生态服务功能评价方法[J]. 中国水土保持科学,2007,5(2):110-113.

[2] 冯磊,王治国,孙保平,等. 黄土高原水土保持功能的重要性评价与分区[J]. 中国水土保持科学,2012,10(4):16-21.

[3] 王振平,汪小钦,曾舒娇,等. 福建省水土流失现状分析[J]. 水土保持通报,2017,37(5):169-175.

[4] 阮伏水,韩永刚. 新中国成立以来福建省水土保持工作情况[J]. 中国水土保持,2019(10):8-12.

[5] 曾舒娇,汪小钦,陈贤干,等. 福建省水土流失的时空变化[J]. 水土保持通报,2017,37(6):305-312.

[6] 王春菊,汤小华,郑达贤,等. GIS 支持下的土壤侵蚀敏感性评价研究[J]. 水土保持通报,2005,25(1):68-70.

[7] 陈思旭,杨小唤,肖林林,等. 基于 RUSLE 模型的南方丘陵山区土壤侵蚀研究[J]. 资源科学,2014,36(6):1288-1297.

[8] 生态环境部,国家发展改革委. 生态保护红线划定指南[Z]. 北京:生态环境部,2017.

[9] 李该霞,宋蒙亚,谢丽芳,等. 江苏省水土保持功能的重要性评价[J]. 水土保持通报,2016,36(1):236-241.

[10] 柏松,景连东,冯文兰,等. 四川省水土保持生态保护红线划定方法研究[J]. 生态环境学报,2018,27(4):699-705.

[11] 刘海,黄跃飞,林苗,等. 基于 GIS 的汉江流域水土保持时空变化特征分析(2001—2017 年)[J]. 地域研究与开发,2019,38(3):154-159.

[12] 蔡崇法,丁树文,史志华. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报,2000,14(2):19-24.

[13] 周伏建,陈明华,林福兴,等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报,1995,9(1):13-18.

[14] 刘宝元,毕小刚,符素华,等. 北京土壤流失方程[M]. 北京:科学出版社,2010:7-13.

[15] 陆建忠,陈晓玲,李辉,等. 基于 GIS/RS 和 USLE 鄱阳湖流域土壤侵蚀变化[J]. 农业工程学报,2011,27(2):337-344.

(上接第 249 页)

[16] 赵水霞,李畅游,李超,等. 基于 3S 技术的黄河内蒙古段河道演变特性分析[J]. 水利水电科技进展,2016,36(4):70-74.

[17] Yao Zhengyi, Ta Wanquan, Jia Xiaopeng, et al. Bank erosion and accretion along the Ningxia-Inner Mongolia reaches of the Yellow River from 1958 to 2008 [J]. Geomorphology, 2010,127(1) 99-106.

[18] 李健锋,叶虎平,张宗科,等. 基于 Landsat 影像的斯里兰卡内陆湖库水体时空变化分析[J]. 地球信息科学学报,2019,21(5):781-788.

[19] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报,2005,9(5):589-595.

[20] 杨修国. 图像阈值分割方法研究与分析[D]. 上海:华东师范大学,2009.

[21] Tiegs S D, Pohl M. Planform channel dynamics of the lower Colorado River: 1976—2000[J]. Geomorphology, 2005,69(1/2/3/4):14-27.

[22] 李子文,秦毅,陈星星,等. 2012 年洪水对黄河内蒙古段冲淤影响[J]. 水科学进展,2016,27(5):687-695.

[23] 冉立山,王随继. 黄河内蒙古河段河道演变及水力几何形态研究[J]. 泥沙研究,2010(4):61-67.

[24] 吴中海,吴珍汉. 大青山晚白垩世以来的隆升历史[J]. 地球学报,2003,24(3):205-210.

[25] 刘建辉,张培震,郑德文,等. 贺兰山晚新生代隆升的剥露特征及其隆升模式[J]. 中国科学:地球科学,2010,40(1):50-60.

[26] 李炳元,葛全胜,郑景云. 近 2000 年来内蒙后套平原黄河河道演变[J]. 地理学报,2003,58(2):239-246.

[27] 汪一鸣. 历史时期黄河银川平原段河道变迁初探[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),1984(2):52-60.

[28] 王富强,韩宇平. 黄河宁蒙河段冰凌成因及预报方法研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2014.

(上接第 261 页)

[10] 范建忠,李登科,周辉. 陕西省退耕还林工程区植被覆盖度的变化分析[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(4):207-213,223.

[11] 李旺君,吕昌河. 生态建设对陕北植被变化的影响分析[J]. 干旱区地理,2014,37(2):318-324.

[12] 曹艳萍,庞营军,贾晓红. 2001—2016 年毛乌素沙地植被的生长状况[J]. 水土保持通报,2019,39(2):29-37.

[13] 闫峰,吴波,王艳姣. 2000—2011 年毛乌素沙地植被生长状况时空变化特征[J]. 地理科学,2013,33(5):602-608.

[14] 刘登峰,王心睿,黄强,等. 毛乌素沙漠南部植被指数的变化规律研究[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(3):5-9.

[15] 张翀,任志远. 黄土高原地区植被覆盖变化的时空差异及未来趋势[J]. 资源科学,2011,33(11):2143-2149.

[16] 刘旻霞,赵瑞东,邵鹏,等. 近 15 a 黄土高原植被覆盖时空变化及驱动力分析[J]. 干旱区地理,2018,41(1):99-108.

[17] 陈振宏. 浅谈榆林地区退耕还林的现状成效问题及对策[J]. 农业与技术,2015,35(13):82-83.