

DOI: 10.5846/stxb201403050374

宋乃平, 杜灵通, 王磊. 盐池县 2000—2012 年植被变化及其驱动力. 生态学报, 2015, 35(22): - .

Song N P, Du L T, Wang L. Vegetation dynamics over 2000-2012 and its driving factors in Yanchi County, Ningxia Province. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(22): - .

盐池县 2000—2012 年植被变化及其驱动力

宋乃平*, 杜灵通, 王 磊

宁夏大学 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021

摘要: 荒漠草原区的植被对防治荒漠化、维护生态屏障具有决定性作用, 宁夏盐池县作为其典型代表, 近 13 年的植被变化深受气候变化和人类活动的综合影响。本文基于 MODIS NDVI 等数据, 运用趋势分析、经验模态分解和空间叠置分析等方法, 对盐池县 2000—2012 年的植被动态变化进行研究, 结果表明: (1) 2000—2012 年盐池县 NDVI 在 0.2—0.4 之间呈波动上升趋势, 上升幅度为 0.078/10 a, 上升趋势显著; 总体来说, 植被稳定性低, 年际间波动或转换频繁、幅度大; (2) NDVI 的波动分量与残余分量方差贡献率各占 50%, 且 NDVI 波动呈减弱趋势。促使 NDVI 波动的主控因子是年降水量, 但其影响在减弱; (3) 推动 NDVI 趋势性上升的主要因素是土地利用方式改善和类型变化, 但土地利用方式改善对 NDVI 的贡献远远大于土地利用类型变化对 NDVI 的贡献。因此, 荒漠草原区的生态改善应以保护为主, 辅之以必要的生态重建, 走以适度开发带动整体保护的途径。

关键词: 植被变化; 驱动力; MODIS NDVI; 气候; 土地利用; 盐池县

Vegetation dynamics over 2000-2012 and its driving factors in Yanchi County, Ningxia Province

SONG Naiping*, DU Lingtong, WANG Lei

Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in North-western China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Abstract: The vegetation of the desert steppe plays an important role in preventing desertification, maintaining ecosystem stability, and constructing “Ecological Barrier” in Northwest China. However, most desert steppe ecosystems are very fragile and constantly face the risk of degradation. Yanchi County, located in eastern Ningxia province, is a typical desert steppe, and its vegetation dynamics in the past 13 years have been affected by both climate change and human activities. In order to explore the process and driving factors based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) derived from the Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), we studied the vegetation dynamics in Yanchi County from 2000 to 2012. We used 296 scenes of MODIS NDVI data, all of these were converted to an Albers conical projection system and GeoTIF format by using the MODIS Reprojection Tool, and smoothed using the Savitzky-Golay filter to reconstruct a high-quality NDVI time-series data set. Annual and quarterly NDVI were synthesized using the Maximum Value Composite (MVC) method. In addition to MODIS NDVI data, the land use data of Yanchi in 2000 and 2011, meteorological data, and social statistical data were also used in this study. Multiple methods were used to analyze the vegetation dynamics in Yanchi County. A linear regression with an *F* test was used to analyze the trend of NDVI and its significance. The non-parametric Mann-Kendall test was used to detect the abrupt change in the long-term NDVI from 2000 to 2012. A non-linear and non-stationary signal analysis method, Empirical Mode Decomposition (EMD), was used to isolate the amplitude-

基金项目: 国家重点基础研究计划(973)前期专项(2012CB723206); 国家自然科学基金项目(41201438); 宁夏大学 211 建设项目

收稿日期: 2014-03-05; 网络出版日期: 2015-04-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: songnp@163.com

frequency determining the temporally varying trend of NDVI, and spatial overlay analysis was used to analyze the influence of land use and land cover change on vegetation dynamics. The results showed: (1) the average NDVI values of all pixels in Yanchi County, which were composited annually by the MVC method, ranged from 0.2 to 0.4 in the period 2000—2012. The vegetation index in this area was very low because there is a typical desert steppe, but significantly ($p < 0.05$) increased by 0.078 per 10 a, which was faster than that in the Three-North Shelter Forest Program region. Overall, the vegetation in Yanchi County lacks stability and has frequent, large-amplitude inter-annual fluctuations. (2) The Empirical Mode Decomposition found that the NDVI time-series data included two Intrinsic Mode Function (IMF) components with 4 and 9 year quasi-periodic fluctuations. The variance contribution of the first IMF component was about 50%, almost the same as that of the NDVI residue component, which increased significantly over the 13 years. However, the intensity of NDVI fluctuation decreased because the fluctuation in precipitation, one of its main driving factors, declined. (3) Improvements in land use and land cover change were the main drivers for NDVI increase. The former made a larger contribution than the latter. Therefore, protection is the first option for improving the ecological environment, and proper reconstruction can be used as a supplement in desert steppe. A proper strategy for vegetation restoration and maintenance should be adopted, and overall protection can be implemented through scientific and harmonized development.

Key Words: vegetation dynamics; driving factors; MODIS NDVI; climate; land-use; Yanchi County

荒漠草原区既是生态十分脆弱的地区,又是我国西北生态屏障的重要组成部分,也属于全球变化格局中受温度升高对植被变化影响明显的地区^[1-4]。由于荒漠草原区植被主要受水分因素限制^[1]和人类活动等影响,其变化过程快,幅度较大,驱动力和贡献程度尚不明确,使该区植被恢复实践存在较大盲目性。宁夏盐池县以荒漠草原为主体,近十多年受气候变化和人类活动交互作用最为剧烈,且存在着荒漠化逆转过程,是研究自然和人类对植被变化驱动机制的理想之地。建立针对于此的“计量生态调控模式”,既是一个科学问题,又是迫切需要解决的实践问题。对盐池县植被变化的研究主要分为两类:一是利用 GIMMS (Global Inventory Monitoring and Modelling Study) 或 SPOT-VGT (Système Probatoire d'Observation de la Terre Vegetation) 等高时间分辨率数据,得出植被变好,气候为主要驱动因素^[5-9];二是利用 Landsat-TM (Landsat Thematic Mapper) 数据得出植被覆盖度呈先增加后减少的趋势,主要驱动力是人为因素和气候^[10-11]。然而这些研究仍有不足,一是研究时限均在 2006 年之前,未能充分反映灌区开发、退耕还林、退牧还草等工程的植被恢复效果;二是所用数据或因空间分辨率低,很难客观表达植被的空间异质性,或因时间分辨率较低,很难反映植被年际波动的动态规律;三是对气候变化和人类活动对植被的作用,缺乏系统、精确研究,未能确切回答荒漠草原区植被恢复究竟走以自然力为主的封育保护道路,还是走以适度开发带动整体保护的道路上。

归一化差值植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 对植被的生物物理特征十分敏感,且在时效、尺度等方面都具有明显的优势,成为区域尺度植被分类和覆盖研究的有效手段^[12-13],特别是对于低植被覆盖的荒漠区域,NDVI 与植被覆盖率之间呈单调线性相关关系^[14-15],且对生态系统的变化响应明显^[16],因此被众多学者用来研究植被变化与气候因子^[17-18]和人类活动^[19]的关系。中分辨率成像光谱仪 (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 的 NDVI 产品虽然生产时间较短,但因具有更高的空间分辨率,成为植被动态研究的一种重要数据源^[5,20]。本文使用 MODIS 的植被指数产品 MOD13Q1,应用趋势分析、相关分析和空间叠置分析等方法,对地处荒漠草原带的盐池县 2000—2012 年的植被变化及其驱动因素进行研究,为回答荒漠草原区的植被恢复道路提供科学依据和决策参考。

1 研究区域概况、数据与方法

1.1 研究区域概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部,地理坐标 37°04'—38°10'N, 106°30'—107°47'E, 面积 6769 km²。以麻

黄山为界,北部大部分属鄂尔多斯高原,南部为黄土丘陵区。典型中温带大陆性气候,年均气温为 8.4 ℃,年均无霜期为 160 d;年平均降水量 350—250 mm,县城为 292 mm。土壤以灰钙土、风沙土、黑垆土为主。植物区系以亚洲中部草原成分为主^[21],主要植被类型有干草原、荒漠草原、沙生和隐域性 4 种,荒漠草原和沙生植被约占草原面积的 73.5%。近些年,盐池县在退耕地和草原上发展人工灌草地 322666.7 hm²,约占研究区总面积的 48.52%,使得区域植被类型和结构发生了重大变化。

1.2 数据来源与预处理

研究数据来自于美国国家航空航天局提供的 MODIS 植被指数产品 MOD13Q1,为空间分辨率 250 m 的 16 天合成产品 (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>)。本次共获取 2000—2012 年覆盖盐池县的 296 景数据。利用 MODIS Reprojection Tool 工具,把 HDF 格式的原始数据转换为 GeoTIF 格式,统一将投影转换为 Albers 等面积圆锥投影系统,在 ArcGIS 环境下裁剪出研究区,在 ENVI/IDL 软件中编写数据质量控制算法对原始数据进行 Savitzky-Golay 滤波处理^[22],并使用最大值合成算法(Maximum Value Composite, MVC)合成年、季 NDVI。还获得了盐池县 2000 和 2011 年的 1:50000 土地利用矢量数据。

1.3 趋势分析

利用像元 2000—2012 年 NDVI 的一元线性回归斜率及其分布,分析变化趋势和植被空间变化,趋势显著性采用 F 检验。据此将 NDVI 变化趋势按照上升和下降的显著性分为 6 级(表 1)。用 Mann-Kendall 非参数检验法分析近 13 年 NDVI 的变化趋势和突变点。

1.4 经验模态分解

利用经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)对 NDVI 时间序列数据逐级进行平稳化处理,把不同周期的波动从原信号中分离出来,最后得到残余分量。EMD 分解出的每一个模态函数(Intrinsic Mode Function, IMF)包含并突出了原信号的局部特征信息,即各 IMF 分量分别包含了原信号的不同时间尺度的局部特征信息^[23]。

1.5 空间叠置分析

将 2000 年与 2011 年的土地利用数据进行制图综合后,在 ArcGIS 软件中进行空间叠置(overlay),提取水浇地、旱耕地、草地、林地、沙地与裸露地未变化部分和地类转换部分的图斑矢量文件,将其与各年 NDVI 图叠置分析,求各类地中像元 NDVI 变化趋势,检验其显著性,由此评价人类活动对 NDVI 的影响。研究构建了不同地类对 NDVI 的影响度指标 I ,计算公式如下:

$$I = N_{\text{pixel}} * (NDVI_{2011} - NDVI_{2000}) \quad (1)$$

式中, I 表示某个地类的 NDVI 影响, N_{pixel} 表示该类地像元数, $NDVI_{2000}$ 和 $NDVI_{2011}$ 分别表示该类地所有像元 2000 年和 2011 年的 NDVI 平均值。

2 结果分析

2.1 盐池县 NDVI 的时空变化特征

2.1.1 NDVI 的年际变化

2000—2012 年盐池县全年 NDVI 在 0.2—0.4 之间变动(图 1),变异系数为 0.1571。呈波动上升趋势,上升幅度为 0.078/10 a,远快于“三北”防护林工程区 1982—2006 年植被 0.007/10 a 的平均增速^[24]。Mann-Kendall 分析表明,NDVI 在 2000—2003 年呈增加趋势,2003—2008 年呈减缓趋势,2008—2012 年再呈增加趋势,并在 2002—2003 年、2010 年发生 2 次突变,总体呈显著增加趋势(2012 年 $UF_k = 2.56$)。

近 13 年 NDVI 的内部结构变化较大(图 1)。NDVI 在 0.2—0.3 的中低覆盖度像元平均数最多,变异系数最小;NDVI 在 0.3—0.4 的中覆盖度像元平均数也较多,变异系数较小;这类像元数在 2000、2001、2005、2006、2008 年等干旱年份大幅减少,而在 2002—2004、2007、2009—2012 年较多(达到或接近 50000 个像元);说明盐池县 1/2 面积的 NDVI 达到 0.3—0.4 既是植被良好的保障,也可能是一种临界值。以上 2 类覆盖度的像元

数平均每年占像元总数的 77.79%, 是荒漠草原区植被覆盖度波动的主要等级。特低覆盖度像元和特高覆盖度像元的比例虽然较低, 但意义重大。前者主要是沙地和裸地, 面积比由 2000 年的 4.00% 下降到 2011 年的 1.43%; 后者是水浇地和林地, 水浇地由 2000 年的 0.96% 增加到了 2.24%, 林地由 2000 年的 5.54% 增加到了 14.18%。总体来说, 盐池县近 80% 面积的 NDVI 在 0.2—0.3 和 0.3—0.4 等级范围内, 并且随气候变化在年际间频繁、大幅波动或转换; 有 20% 以上面积的 NDVI 在 0—0.2 和 0.4 以上, 前者面积大幅下降, 后者面积稳定上升, 都推动了全年 NDVI 的总体上升。

2.1.2 NDVI 的空间格局

将计算的单个像元 2000—2012 年 NDVI 的变化斜率 θ_{slope} , 参照已有成果^[25] 分为 7 个等级。结果显示: NDVI 上升的像元数占 81.98%, 下降的像元数仅占 18.02%, 22.65% 的面积为显著上升和极显著上升(表 1)。

表 1 2000—2012 年盐池县 NDVI 变化幅度和显著性

Table 1 Variability and significance level of NDVI in Yanchi County from 2000 to 2012

变化幅度分级		面积比例/%	变化显著性		面积比例/%
Classification of variability amplitude		Area ratio	Significance level		Area ratio
严重退化 Severe degradation	$\theta_{\text{slope}} \leq -0.0090$	0.03	极显著下降 Excellent decrease	$\theta_{\text{slope}} < 0, P < 0.01$	0.10
中度退化 Moderate degradation	$-0.0090 < \theta_{\text{slope}} \leq -0.0045$	0.17	显著下降 Significant decrease	$\theta_{\text{slope}} < 0, 0.01 < P < 0.05$	0.24
轻微退化 Slight degradation	$-0.0045 < \theta_{\text{slope}} \leq -0.0010$	0.99	下降不显著 Decrease	$\theta_{\text{slope}} < 0, P > 0.05$	17.68
基本不变 No change	$-0.0010 < \theta_{\text{slope}} \leq 0.0010$	2.72	上升不显著 Increase	$\theta_{\text{slope}} > 0, P > 0.05$	59.33
轻微改善 Slight improved	$0.0010 < \theta_{\text{slope}} \leq 0.0045$	16.94	显著上升 Significant increase	$\theta_{\text{slope}} > 0, 0.01 < P < 0.05$	10.70
中度改善 Moderate improved	$0.0045 < \theta_{\text{slope}} \leq 0.0090$	44.95	极显著上升 Excellent increase	$\theta_{\text{slope}} > 0, P < 0.01$	11.95
明显改善 Obviously improved	$\theta_{\text{slope}} > 0.0090$	34.21			

盐池县受气候驱动的草原、旱地、林地等植被面积远远大于受水文驱动的水浇地、低湿滩地等植被面积, 因而 NDVI 随气候变化呈明显的空间整体性变化(图 2)。2000—2012 年间, 植被显著和极显著改善的像元数达到 66.31%, 但在干旱的 2000、2001、2005、2006、2008 年, NDVI 却有大面积的下降。在整体性之下, 形成几个明显的 NDVI 高值区和低值区。前者如惠安堡—冯记沟—王乐井—城西滩的 20 多个块状扬黄灌区, 王乐井乡耕地集中分布区, 麻黄山, 县境东北角, 307 国道沿线; 后者如哈巴湖东西向流沙带, 红井子南北向沙地带, 麻黄山西北坡麓沙地带, 县境西北角。盐池县植被改善幅度最大且效果显著的区域在东部和中部, 即老行政区划的柳杨堡、城郊乡、王乐井乡中南部、青山、冯记沟乡和惠安堡镇, 以及青银高速公路和 307 国道两侧。改善幅度较小和不显著的是前述 NDVI 低值区(图 3)。总体来说, 盐池县 NDVI 的时间规律比空间规律明显。干旱年份 NDVI 大面积降低, 雨水较多年份又大面积上升。空间上表现为西部弱于东部, 但却受植被类型和土壤类型等影响的多变特征。

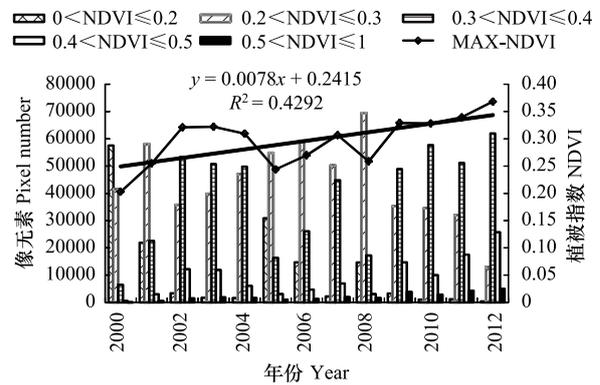


图 1 盐池县 2000—2012 年 NDVI 动态及内部结构

Fig. 1 Dynamics and structure of NDVI in Yanchi County from 2000 to 2012

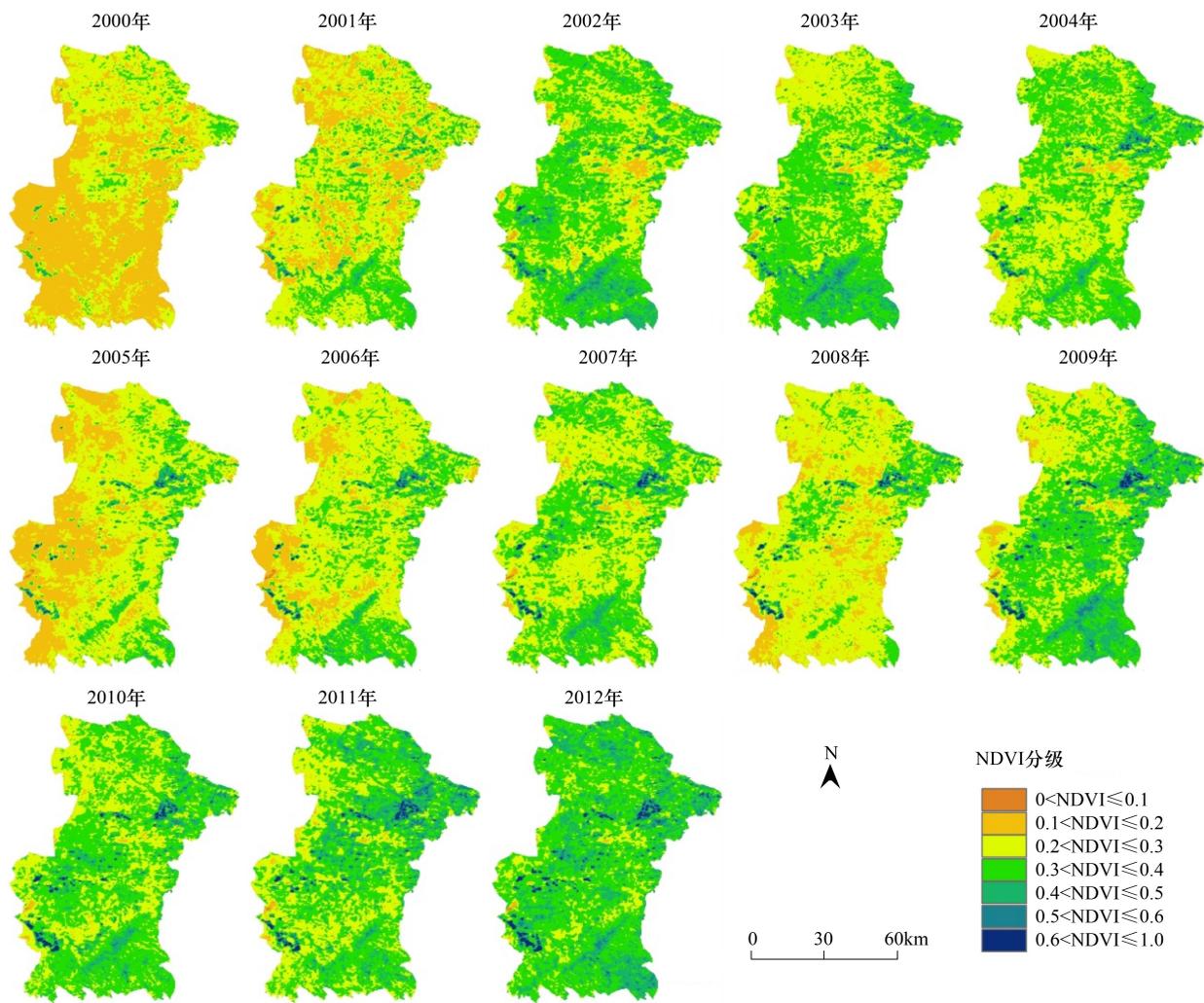


图 2 盐池县 2000—2012 年 NDVI 空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of NDVI in Yanchi County from 2000 to 2012

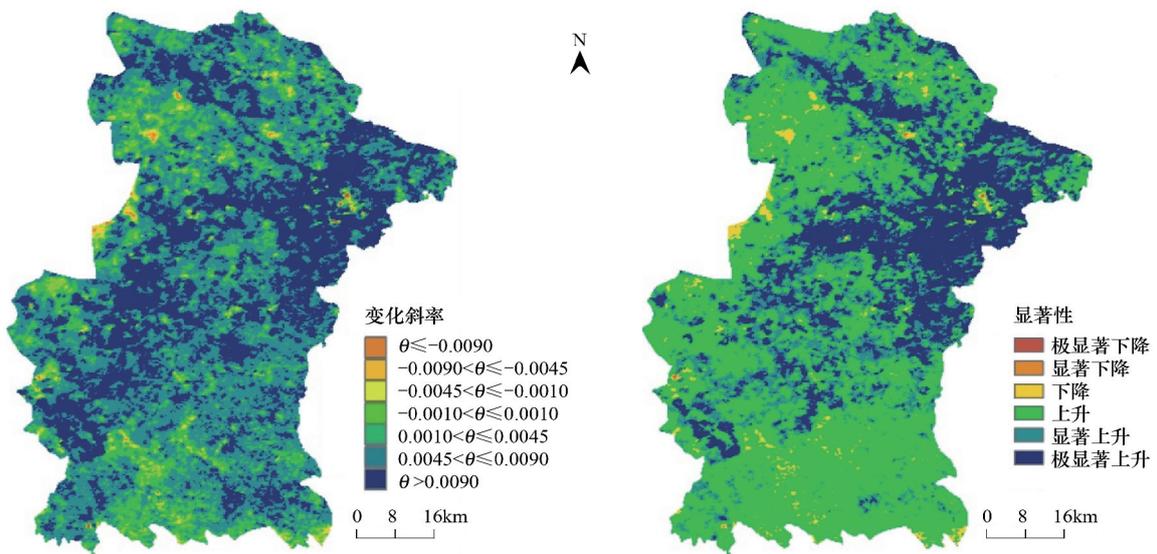


图 3 2000—2012 年 NDVI 变化斜率(左)及其显著性(右)空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of NDVI slope and significance from 2000 to 2012

2.2 影响盐池县 NDVI 变化的主要因素

2.2.1 自然因素和人类活动对 NDVI 的影响程度

为了研究自然因素和人类活动对 NDVI 的影响程度,采用经验模态分解法(EMD)将全年 NDVI 在近 13 年的变化序列分解为 IMF1 分量(准 4 年周期)、IMF2 分量(准 9 年周期)和残余分量 3 个简单模态分量(图 4)。准 4 年周期在 0.1 范围内波动,振幅逐渐减小;准 9 年周期在 0.05 范围内波动。残余分量在 0.24—0.35 范围内逐步上升,与近 80% 的像元的 NDVI 在 0.2—0.4 之间是一致的,说明这是盐池县 NDVI 的主体和基准。从各个分量的方差贡献率来看,IMF1 分量(准 4 年周期)的方差贡献率为 50.00%,IMF2 分量(准 9 年周期)的方差贡献率为 0.00%,残余分量的方差贡献率为 50.00%,即 NDVI 的波动程度与上升程度相当,且波动对 NDVI 的影响呈逐渐减弱趋势。

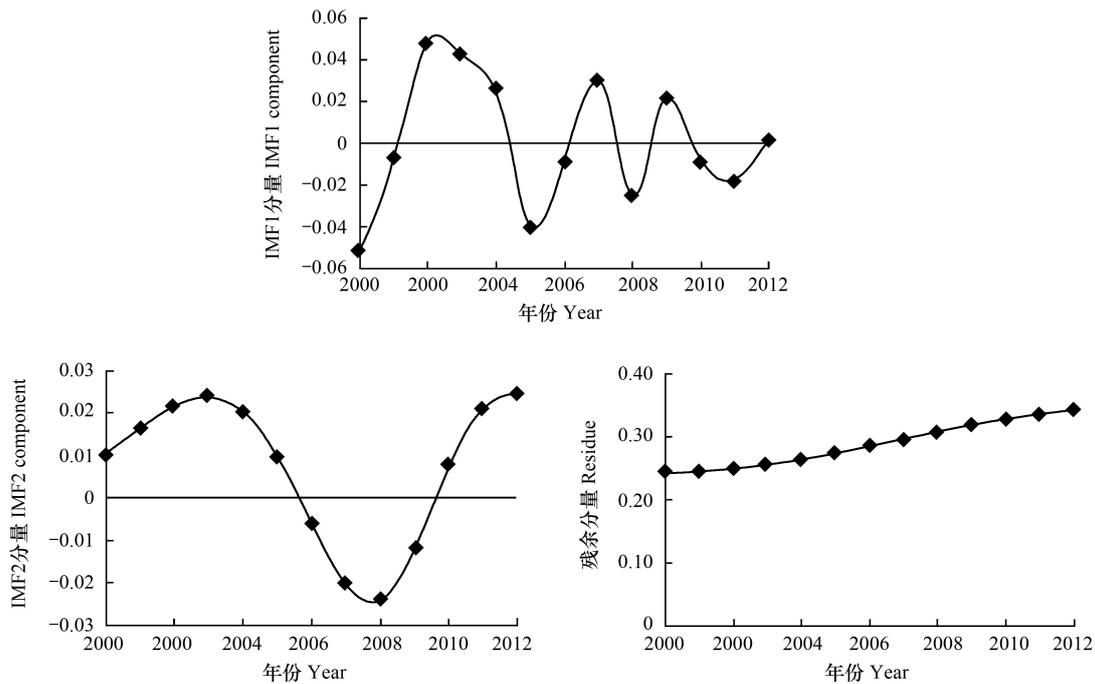


图 4 NDVI 变化的各 IMF 分量及其残余分量

Fig. 4 IMF and residues of NDVI changing in Yanchi County from 2000 to 2012 注:IMF(Intrinsic Mode Function)为本征模态函数。

为了确定影响 NDVI 的驱动力,选取影响 NDVI 的 12 个影响因子并对它们 2000—2012 年序列进行 EMD 分解,将结果与 NDVI 的分解结果进行比较(表 2)。结果表明,促使 NDVI 波动的主控因子有年降水量、年平均气温、作物总产量和禁牧政策执行力,但由于 NDVI 的波动全部体现在 IMF1(准 4 年周期)分量上,结合这 4 个主控因子的 IMF1 分量方差贡献率大小和相互关系,可以得出真正影响 NDVI 波动的主要因子是年降水量,年平均气温也有一定影响,也就是说,自然因素推动 NDVI 波动。而其他 8 个因子为反向调节因子,它们有抑制 NDVI 波动、促进趋势性变化的作用。推动 NDVI 趋势性上升的主要是残余分量,根据各反向调节因子的残余分量大小及与 NDVI 残余分量分布的一致性,可以发现,推动 NDVI 趋势性上升的主要因子是作物总产量、羊只存栏数、引黄灌溉面积。虽然无法对当年造林面积进行 EMD 分解,但通过逐步线性回归分析发现它对 NDVI 的趋势性上升具有显著方差贡献率。由此推论,推动 NDVI 趋势性上升的主要因素是土地利用方式和类型变化。

2.2.2 NDVI 与降水和气温的相关性分析

盐池县春季降水量与春季、夏季和全年 NDVI 的相关系数都通过了 0.01 水平的显著性检验,与秋季 NDVI 的相关系数通过了 0.05 水平的显著性检验;夏秋季降水量与对应季节 NDVI 和全年 NDVI 的相关系数都未通过 0.05 水平的显著性检验。上年秋季降水量与春季、夏季 NDVI 的相关程度通过 0.01 水平的显著性检验,

与秋季和全年 NDVI 的相关系数通过 0.05 水平的显著性检验,不存在其他年季降水量与 NDVI 的隔季或隔年明显相关性的情况。这与该县 1981—2004 年^[5]和背景类似的长城沿线风沙区^[26]的情况不同,可能是由于禁牧之后植被生物量和年内积累量增加的缘故,与农作物产量增加促进 NDVI 增加机理相同^[27](表 3)。

盐池县气温与 NDVI 大多为负相关(表 3)。只有春季气温与冬季 NDVI、夏季气温与秋季 NDVI 的负相关关系通过 0.05 水平的显著性检验。说明干旱区的气温升高对植被恢复不利。这也印证了降水对 NDVI 的影响比气温显著,上年秋季降水和当年春季降水对 NDVI 至关重要,降水对 NDVI 的影响比过去要及时。

表 2 NDVI 影响因子的 IMF 分量方差贡献率

Table 2 Variance contribution rate of IMF of NDVI's influence factors

影响因子 Influence factors	方差贡献率% variance contribution rate			作用性质 Effect	
	IMF1	IMF2	残余分量 Residue		
自然因素 Natural factors	年降水量 Annual precipitation	79.01	4.62	16.37	主控因子
	年平均气温 Annual mean temperature	34.6	40.18	25.22	主控因子
	年蒸发量 Annual evaporation	43.46		56.53	反向调节
	无霜天数 Frost free period	82.8	8.9	8.3	反向调节
	引黄灌溉水量 Volume of irrigation water	3.94		96.06	反向调节
社会因素 Social factors	有效灌溉面积 Effective irrigation area	7.25	92.75	0.00	反向调节
	总播种面积 Total crop sown area	70.73	17.31	11.96	反向调节
	作物总产量 Total crop yield	11.71	5.85	82.44	主控因子
	羊只存栏数 Number of sheep	6.94	9.88	83.25	反向调节
	羊只出栏数 Number of slaughtered sheep	3.31		96.69	反向调节
禁牧政策执行力 Execution of grazing policy	10.11	29.46	60.43	主控因子	

IMF(Intrinsic Mode Function)为模态函数

表 3 盐池县降水量和气温与各季 NDVI 相关系数矩阵

Table 3 Correlation coefficient between NDVI and precipitation, temperature in Yanchi County

气候因子 Climate factors	NDVI					
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	全年 Annual	
降水 Precipitation	春季 Spring	0.6631 **	0.7295 **	0.6102 *	0.5267	0.7653 **
	夏季 Summer		0.3352	0.2905	-0.1758	0.3018
	秋季 Autumn			0.3661	0.1714	0.302
	冬季 Winter				-0.3788	-0.4495
	全年 Annual cumulative	0.1895	0.4985	0.5178	0.0987	0.5438 *
	上年秋季 Last autumn	0.6945 **	0.6425 **	0.5978 *	0.4512	0.5690 *
气温 Temperature	春季 Spring	-0.4484	-0.3087	-0.3445	-0.5554 *	-0.4055
	夏季 Summer		-0.4614	-0.5794 *	-0.4007	-0.4587
	秋季 Autumn			-0.2012	-0.1083	-0.0964
	冬季 Winter				-0.2437	0.2376
	年平均 Annual average	-0.4446	-0.1758	-0.32	-0.4968	-0.1575

** 表示显著性水平通过 0.01 检验,* 表示显著性水平通过 0.05 检验

2.2.3 土地利用变化与 NDVI 的空间叠置分析

人类活动对植被的影响主要是通过土地利用变化来体现,一是土地利用类型变化影响植被类型的面积,二是土地利用方式变化影响植被的质量。将盐池县 2000 年和 2011 年两期土地利用图叠置,识别主要不变地类和转换地类,再将其矢量图与各年度 NDVI 图叠置,并对各地类像元 13 年 NDVI 统计分析。结果表明:在不变地类中,NDVI 改善幅度由大到小依次为水浇地、林地、草地、沙地和旱地,前两类地的改善幅度大于总体幅度;各地类 NDVI 的截距由大到小低依次为水浇地、林地、旱地、草地和沙地,而且差异明显。由于不同地类的像元数相差较大,对总体 NDVI 贡献最大的是草地,其它依次为旱地、沙地、水浇地和林地(表 4)。

表 4 盐池县 2000 年至 2011 年地类变化及其对 NDVI 的影响

Table 4 Impacts of different land-use types' on NDVI in Yanchi county

土地利用类型 Land use types		NDVI 拟合公式 Fitting formula of NDVI	决定系数 R ² Coefficient of determination	像元数 Pixel number	影响度 指标 I Influence degree index	整体贡献 Total contribution
不变地类 No change types	水浇地 Irrigated land	$y = 0.0156x + 0.3974$	0.7704 ***	582	99.87	1.10%
	旱地 Dry land	$y = 0.0068x + 0.2758$	0.2561	16127	1206.30	13.2%
	草地 Grassland	$y = 0.0076x + 0.2282$	0.4024 *	36655	3064.36	33.66%
	林地 Forest	$y = 0.0100x + 0.3016$	0.7469 ***	106	11.66	0.13%
	沙地 Sandy land	$y = 0.0075x + 0.1917$	0.6533 ***	1868	154.11	1.69%
转换地类 Change types	旱地转林地 Grassland to forest	$y = 0.0100x + 0.2405$	0.6033 **	789	86.79	0.95%
	旱地转草地 Dry land to grassland	$y = 0.0074x + 0.2510$	0.3262 *	8412	684.74	7.52%
	草地转林地 Grassland to forest	$y = 0.0096x + 0.2280$	0.6550 ***	3581	378.15	4.15%
	沙地转草地 Sandy land to grassland	$y = 0.0087x + 0.2087$	0.7258 ***	5196	497.26	5.46%
所有像元全年趋势 Annual trend of all pixel	$y = 0.0078x + 0.2415$	0.4292 *	106110	9104.24	100%	
所有像元春季趋势 Spring trend of all pixel	$y = 0.0046x + 0.1119$	0.4691	106110			
所有像元夏季趋势 Summer trend of all pixel	$y = 0.0071x + 0.2170$	0.3876	106110			
所有像元秋季趋势 Autumn trend of all pixel	$y = 0.0073x + 0.1911$	0.5608	106110			
所有像元冬季趋势 Winter trend of all pixel	$y = 0.0026x + 0.1036$	0.4451	106110			

*** 表示显著性水平通过 0.001 检验, ** 表示显著性水平通过 0.01 检验, * 表示显著性水平通过 0.05 检验

在转换地类中, 植被改善幅度由大到小依次为旱地转林地、草地转林地、沙地转草地、旱地转草地, NDVI 的截距由大到小低依次为旱地转草地、旱地转林地、草地转林地、沙地转草地, 但差别不大; 转换地类的 NDVI 变化趋势都在 0.05 水平上显著。对总体 NDVI 贡献的大小依次为旱地转草地、沙地转草地、草地转林地、旱地转林地(表 3)。

如果将其他地类转入林地对 NDVI 的贡献作为退耕还林的植被恢复效果, 将不变的草地、林地、沙地 NDVI 的增加看成禁牧的效果, 则不变地类和转换地类 NDVI 增加值占 NDVI 总增加值的 67.92%, 退耕还林占 12.62%, 封育禁牧占 46.04%。除了旱地转草地, 各类地 NDVI 拟合公式中的决定系数远远高于各季和全年 NDVI 的决定系数(表 3), 说明土地利用引起的 NDVI 趋势性变化比自然节律引起的 NDVI 的趋势更为显著。与旱地相比, 沙地、草地和林地的变化趋势显著, 是封育的结果; 水浇地的变化趋势极为显著, 是人为灌溉的结果。由此可见, 土地利用方式改善对 NDVI 的贡献远远大于土地利用类型变化对 NDVI 的贡献。

3 讨论

(1) 陈晓光等人^[5]利用 GIMMS 数据研究盐池县 1981—2004 年植被指数, 发现它与年降水量的相关系数为 0.620, 在 0.01 水平上显著相关。本研究的结果表明, 盐池县 2000—2012 年 NDVI 对年降水量依然敏感, 但是他们的相关系数为 0.544, 只在 0.05 水平上显著相关。尽管 NDVI 数据来源不同可能造成结果的差异, 但研究时段的不同可能是造成相关系数差别较大的主要原因。穆少杰等^[28]在内蒙古 2000—2010 年植被覆盖度时也发现了同样的情况。表明 NDVI 的主要驱动力由过去以气候为主转变为近十年以人类活动为主。支持这一结论的还有陈辉等^[29]对冀北地区 1987—2000 年植被覆被变化的研究结果, 李登科等^[26]对 1981—2003 年陕北长城沿线的研究得到类似的结果, 孙晓鹏等^[27]对泾河流域 1982—2005 年的研究结果, 以及王娟等^[30]对内蒙古自治区 1983—2009 年植被变化趋势的研究结果。本研究区域以草地为主, 自然因素和人类活动对 NDVI 的影响大体相当。

孙晓鹏等^[27]的研究表明, NDVI 显著增加区以耕地为主, 显著减小区以草地为主。粮食单位面积产量的提高使耕地 NDVI 增加。对黄土高原的研究也得到了类似的推论^[19]。王娟等^[30]发现内蒙古耕作区的植被变化主要与农作物产量的变化有关, 农牧交错等草原区 NDVI 的显著增加与区域草原开垦、持续植树种草、禁牧

轮牧等防沙治沙等活动有关。戴声佩等^[31]发现,农业生产水平提高和植被生态建设等人类活动对西北地区植被 NDVI 增加有重要影响。文星等^[32]对石羊河流域 1999—2010 年期间植被覆盖的时空变化进行了研究表明,相对于自然因素,人为因素在较短时间内,对荒漠化变化起的作用更为关键,防沙治沙和生态工程等生态管理起主要作用。这与本研究得出的推动 NDVI 趋势性上升的主要因子是作物总产量、引黄灌溉面积的结论一致。羊只存栏数、对当年造林面积表现了畜牧业管理和造林对 NDVI 的积极作用。

4 结论

(1)近 13 年盐池县 NDVI 在 0.2—0.4 之间呈波动上升趋势,上升幅度为 0.078/10 a,上升趋势显著。NDVI 的时间规律比空间规律明显。近 80%像元的 NDVI 在 0.2—0.3 和 0.3—0.4 等级范围内,随气候变化在年际间频繁、大幅波动或转换;干旱年份 NDVI 大面积降低,雨水较多年份又大面积上升,西部的波动强于东部。

(2)NDVI 的波动分量与上升分量各占 50%,且 NDVI 的波动呈逐渐减弱趋势。促使 NDVI 波动的主控因子是年降水量,年平均气温也有一定作用,也就是说,自然因素推动 NDVI 波动。降水对 NDVI 的影响比气温显著,上年秋季降水和当年春季降水对 NDVI 至关重要,降水对 NDVI 的影响比过去要及时,但对 NDVI 的影响在减弱。

(3)推动 NDVI 趋势性上升的主要因素是土地利用方式和类型变化。从单项土地利用类型来说,水浇地、林地的 NDVI 增长趋势最为显著;从土地利用变化来说,旱地转林地、草地转林地的 NDVI 增加趋势最显著。土地利用方式改善对 NDVI 的贡献远远大于土地利用类型变化对 NDVI 的贡献。

综上所述,虽然气候引起的 NDVI 波动在盐池县 NDVI 中仍占有 50%的分量,但封育禁牧、灌区开发、农业生产力提高、退耕还林等人类活动推动 NDVI 显著增加。土地利用方式改善对 NDVI 的作用远远大于土地利用类型变化。说明荒漠草原区的生态改善应以保护为主,辅之以必要的生态重建,走以适度开发带动整体保护的道路。

参考文献 (References):

- [1] Nemani R R, Keeling C D, Hashimoto H, Jolly W M, Piper S C, Tucker C J, Myneni R B, Running S W. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 2003, 300(5625): 1560-1563.
- [2] Wang X H, Piao S L, Ciais P, Li J S, Friedlingstein P, Koven C, Chen A P. Spring temperature change and its implication in the change of vegetation growth in North America from 1982 to 2006. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(4): 1240-1245.
- [3] De Jong R, de Bruin S, de Wit A, Schaepman M E, Dent D L. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(2): 692-702.
- [4] 李凌浩,王堃,斯琴毕力格.新时期我国草地环境科学发展战略的思考. *草地学报*, 2012, 20(2): 199-206.
- [5] 陈晓光,李剑萍,李志军,陈葆德,韩颖娟.宁夏盐池近年来植被与气候变化分析. *生态学报*, 2006, 26(5): 1516-1522.
- [6] 乔锋,张生英,张克斌,杨俊杰,李瑞,刘刚.宁夏盐池植被覆盖动态变化遥感监测. *水土保持研究*, 2006, 13(3): 181-184.
- [7] 金晓媚,余秋生,薛忠歧,于艳青.宁夏回族自治区生态植被变化规律研究. *科技导报*, 2007, 25(10): 19-22.
- [8] 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.
- [9] 李菁,王连喜,李琪,李剑萍.宁夏中南部近 25 年植被变化特征及其与气候因子的关系. *中国农学通报*, 2011, 27(29): 284-289.
- [10] 孟力猛.基于 NDVI 和 LUCC 的盐池县荒漠化动态研究 [D].北京:北京林业大学, 2012.
- [11] 庞吉林,张克斌,乔娜,孟力猛,王海星.基于 RS 的盐池县近 10 年植被覆盖度动态变化研究. *水土保持研究*, 2012, 19(4): 112-115.
- [12] 陈效速,王恒.1982—2003 年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化. *地理学报*, 2009, 64(1): 84-94.
- [13] Franklin S E, He Y H, Pape A, Guo X L, McDermid G J. Landsat-comparable land cover maps using ASTER and SPOT images: A case study for large-area mapping programmes. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 32(8): 2185-2205.
- [14] Tucker C J, Nicholson S E. Large-scale Saharan-Saharan vegetation variations from 1980; to 1996 derived from ground precipitation and NOAA satellite data. *Science*, 1998, 7: 1395-1416.

- [15] 高志海, 李增元, 魏怀东, 丁锋, 丁国栋. 干旱地区植被指数(VI)的适宜性研究. 中国沙漠, 2006, 26(2): 243-248.
- [16] Herrmann S M, Anyamba A, Tucker C J. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 2005, 15(4): 394-404.
- [17] Wang T M, Kou X J, Xiong Y C, Mao P, Wu J G, Ge J P. Temporal and spatial patterns of NDVI and their relationship to precipitation in the Loess Plateau of China. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, 31(7): 1943-1958.
- [18] 马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展. 遥感学报, 2006, 10(3): 421-431.
- [19] 信忠保, 许炯心, 郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响. 中国科学(D辑: 地球科学), 2007, 37(11): 1504-1514.
- [20] le Maire G, Marsden C, Nouvellon Y, Grinand C, Hakamada R, Stape J L, Laclau J P. MODIS NDVI time-series allow the monitoring of Eucalyptus plantation biomass. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(10): 2613-2625.
- [21] 陈一鹏. 论草原区和荒漠草原区在宁夏东部的界限. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982, 6(3): 227-235.
- [22] Chen J, Jönsson P, Tamura M, Gu Z H, Matsushita B, Eklundh L. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91(3-4): 332-344.
- [23] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 林振山. 基于EMD的洪涝灾害成灾面积波动的多时间尺度分析. 中国农业气象, 2005, 26(4): 220-224.
- [24] 王强, 张勃, 戴声佩, 邹悦, 马中华, 张亚宁. 基于GIMMS AVHRR NDVI数据的三北防护林工程区植被覆盖动态变化. 资源科学, 2011, 33(8): 1613-1620.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 孙晓鹏, 王天明, 寇晓军, 葛剑平. 黄土高原泾河流域长时间序列的归一化植被指数动态变化及其驱动因素分析. 植物生态学报, 2012, 36(6): 511-521.
- [28] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 刚成诚, 周伟, 居为民. 2001—2010年内蒙古植被覆盖度时空变化特征. 地理学报, 2012, 67(9): 1255-1268.
- [29] 陈辉, 刘劲松, 王卫. 冀北地区植被指数变化特征及影响因素分析. 地理科学, 2008, 28(6): 793-798.
- [30] 王娟, 李宝林, 余万里. 近30年内蒙古自治区植被变化趋势及影响因素分析. 干旱区资源与环境, 2012, 26(2): 132-138.
- [31] 戴声佩, 张勃, 王海军. 中国西北地区植被NDVI的时空变化及其影响因子分析. 地球信息科学学报, 2010, 12(3): 315-321.
- [32] 文星, 段翰晨, 廖杰, 薛娴. 石羊河流域植被指数时空变化及荒漠化遥感监测. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(S1): 416-422.