

2000—2018年陕北地区NDVI时空变化及其对水热条件的响应

程杰^{1,2,3,4}, 杨亮彦^{2,3,4*}, 黎雅楠^{2,3,4}

(1.西安理工大学, 西安 710048; 2.陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 西安 710075;

3.陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 西安 710021;

4.自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 西安 710021)

摘要:【目的】分析陕北地区NDVI时空变化, 探究NDVI对水热条件的响应关系。【方法】基于MODIS遥感数据, 利用差值法和线性回归斜率法对2000—2018年陕北地区的NDVI进行像元尺度的植被变化分析。【结果】在2000—2009年和2009—2018年, 陕北地区的植被指数变化速度具有较大差异, 前者平均斜率为0.013 0/10 a, 后者为0.007 6/10 a。在空间分布上, 2000—2009年退化的区域主要分布在西部山区和毛乌素沙地边缘地带, 2009—2018年退化的区域主要分布在延安市区周边和其他城镇边缘地带; NDVI的年变化趋势与降雨量和气温基本一致, 但NDVI与二者的相关性差距较大, NDVI与年降雨量存在显著正相关($R=0.63$, $P<0.01$), 与气温相关性较弱($R=0.23$)。【结论】线性回归斜率法更适合长时间序列植被动态变化研究, 陕北地区植被生长受降雨量和气温共同影响, 降雨量较气温更能决定研究区植被生长状况, 且植被指数与温度、降水之间存在一定的滞后关系。

关键词: NDVI; MODIS; 时空变化; 陕北地区; 水热条件

中图分类号: X171

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2019268

程杰, 杨亮彦, 黎雅楠. 2000—2018年陕北地区NDVI时空变化及其对水热条件的响应[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(5): 111-119.

CHENG Jie, YANG Liangyan, LI Yanan. Spatiotemporal Variation in NDVI and Its Response to Hydrothermal Change from 2000 to 2018 in Northern Shaanxi Province [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(5): 111-119.

0 引言

【研究意义】植被作为联系土壤和大气之间能量交换、水分循环和生物循环过程的纽带, 在水循环和能量转换过程中起着重要作用^[1-3]。植被空间分布可以反映出土壤水分、浅层地下水埋深及空气温度的区域性时空分布^[4]。同时, 植被的时空变化也会引起地表温度、地表反照率等参数的变化^[5], 从而影响地表能量和水量的收支平衡^[6]。且干旱区植被生态系统对气候变化极为敏感, 探究植被变化过程可为气候变化研究提供重要的依据, 因此研究不同区域的植被时空分布特征及其影响因素, 是目前研究全球气候变化的重复内容^[7-8]。

陕北地区位于黄土高原中心, 属于黄土高原沟壑区, 其气候干旱, 降雨季节性变化较大, 是森林向草原的过渡带。且早期由于经济结构不合理与长期以来的过度开发, 加剧了陕北地区的水土流失, 形成了生

态破坏与经济贫困的恶性循环, 导致陕北地区生态环境极为脆弱。20世纪末期以来, 国家实施退耕还林工程和保护天然林工程, 陕北地区生态环境得到有效的缓解和恢复, 气候改良较为明显。因此探究陕北地区植被覆盖的动态变化特征及其与水热条件的响应关系, 对指导该地区生态环境恢复和经济的可持续发展具有重要的意义。

【研究进展】随着遥感技术的快速发展, 为宏观、长时间序列监测植被的动态变化提供了丰富的数据源和新技术。其中MODIS数据具有时间分辨率高、数据产品丰富、免费获取等特点, 对于探究区域尺度长时间序列的植被与水热变化规律具有明显的优势。而基于遥感数据的归一化植被指数(NDVI)能够较好地反映地表土地覆盖类型、植被生长状况、植被生物量等, 被广泛应用于监测区域及全球尺度的土地利用和植被覆盖度的动态变化^[9]。近年来, 国外学者基于NDVI值对区域植被时空分布进行了一系列研究^[10-12]。国内针对西北干旱区植被时空分布和生态环境修复的研究也较多^[8,13-14], 针对不同研究区, 利用不同的卫星数据对区域植被生态环境进行了定量分析, 但目前国内外学者利用长时间序列数据, 进行陕北地

收稿日期: 2019-09-18

基金项目: 自然资源部公益性行业科研专项项目(201411008)

作者简介: 程杰(1986-), 女, 博士研究生, 主要从事水文学及水资源、土地工程等相关研究工作。E-mail: 568761241@qq.com

通信作者: 杨亮彦(1990-), 男, 河南周口人。硕士研究生, 主要从事遥感定量反演、应用研究。E-mail: 1025972293@qq.com.

区植被时空动态变化的研究及探究植被与水热条件的响应关系较少,难以为陕北生态环境可持续发展提供可靠的支撑。

【切入点】本研究以 2000—2018 年的 MODIS 植被指数数据为基础,结合同期的降水和气温数据,利用最大值合成法、差值法、线性回归斜率法等方法,分析了陕北地区植被指数的时空分布格局及季节性动态变化特征,研究了植被变化与水热条件的响应关系。【拟解决的关键问题】探明了 2000—2018 年影响陕北植被指数的关键因素,为生态环境建设的健康发展提供了依据。

1 研究区域概况

陕北地区位于陕西省北部(107°58'E—109°15'E, 37°31'N—38°49'N),涵盖了榆林市和延安市,总面积达 92 521.4 km²,面积约占陕西省的 45%。研究区地处半干旱地区,区内干旱缺水,生态环境脆弱。其北部属于黄土高原和毛乌素沙地南缘交界处,多为剥蚀沙丘和丘间草地;南部位于黄土高原中心地带,丘陵沟壑地貌,水土流失严重。研究区内平均海拔在 1 200 m,年均温度在 10.1 ℃左右,年均降水量在 350~550 mm,多年降水不均,且季节性变化较大,其中 7—9 月为雨季,具有典型的半干旱气候特征。

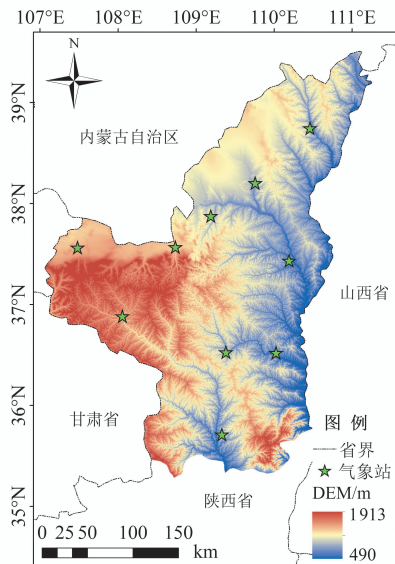


图 1 陕北地区位置及 DEM 图

Fig.1 Location and DEM map of Northern Shaanxi

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

2.1.1 MODIS 数据产品

本文选取 2000—2018 年 3—11 月的 NDVI 数据,数据来源于美国航空局合成的 MODIS 16 d 合成数据(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>),共

计 342 幅影像,行列号为 h26v05,其空间分辨率为 500 m,时间分辨率为 16 d,每月可获取 2 期影像,取二者平均值作为当月植被指数。利用 ENVI5.3 软件将 HDF 格式转换为 TIFF 格式数据,并进行投影转换和区域裁剪、拼接。

2.1.2 气象数据

气象数据来源于中国气象数据网(<https://data.cma.cn/>),研究区内共有 10 个国家气象站点,分别为神木站(53651)、榆林站(53646)、靖边站(53735)、横山站(53740)、绥德站(53754)、定边站(53725)、洛川站(53942)、延安站(54845)、延长站(53854)和吴旗站(53738),选取各气象站点 2000—2018 年每日降水和气温数据,通过整理和计算获取研究区降水、气温的月均值和年均值。

2.2 研究方法

2.2.1 最大值合成法

最大值合成法^[2](Maximum Value Composites, MVC)是国际通用的 NDVI 数据统计方法。通过最大值合成法可以消除大气污染、云、太阳高度角等因素的干扰^[15-16]。本研究选取了陕北地区 2000—2018 年每年 3—11 月 NDVI 值,取每月 2 期数据的平均值,为该月植被指数数据,再通过最大值合成法,提取每个像元的最大值为该年 NDVI 值,其公式为:

$$NDVI_i = \text{Max}(NDVI_{ij}), \quad (1)$$

式中: $NDVI_i$ 表示第 i 年的 NDVI 值, i 取值 1~19, 分别代表 2000—2018 年, $NDVI_{ij}$ 表示第 i 年第 j 月的 NDVI 值, j 取值 1~9, 分别代表 3—11 月。

2.2.2 差值法

差值法是用来衡量研究区不同年份之间的 NDVI 的动态变化。本研究为了直观显现 2000—2009 年、2009—2018 年陕北地区 NDVI 值的动态变化特征,分析 2 个时间段研究区的植被生长状况,采用差值法研究近 19 a 陕北地区植被指数的变化趋势。

$$NDVI_{i-j} = NDVI_i - NDVI_j, \quad (2)$$

式中: $NDVI_i$ 、 $NDVI_j$ 表示第 i 年和第 j 年的 NDVI 值; $NDVI_{i-j}$ 表示第 i 年与第 j 年的差值。

2.2.3 线性回归斜率法

为了研究 2000—2018 年间陕北地区植被覆盖变化趋势及其与水热条件的响应关系,文中采用线性回归斜率方法,模拟每个像元年 NDVI 值的变化趋势,分析植被在研究时段的时空变化规律。计算归一化植被指数序列与时间序列的像元回归斜率 $Slope^{[17]}$,若斜率为正则表示植被覆盖状况随时间变化呈上升趋势,为负则表示植被覆盖随时间呈下降趋势,且斜率的绝对值越大,说明植被覆盖状况变化越明显。其计算式为:

$$Slope = \frac{n \sum_{i=1}^n i * NDVI_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n NDVI_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2}, \quad (3)$$

式中： $Slope$ 为 NDVI 变化趋势斜率； n 为监测时间段的年数，本研究将近 19 a 分成 2000—2009 年和 2009—2018 年 2 个时间段， n 取值为 10； $NDVI_i$ 表示第 i 年的植被指数。当 $Slope > 0$ 表示植被生长趋于改善， $Slope < 0$ 表示植被生长趋于退化状态。

3 结果与分析

3.1 陕北地区 NDVI 时空分布特征

3.1.1 NDVI 时间分布特征

利用最大值合成法对陕北地区 2000—2018 年的 NDVI 进行最大值合成，获取的最大值 NDVI 可较好地反映陕北地区植被生长最好的状况。通过一元线性回归模拟陕北地区 NDVI 的年际变化趋势（图 2）。图 2 可知，2000—2018 年，陕北地区的年 NDVI 值在 0.40~0.65 之间，整体呈现上升趋势，个别年际变化波动性较大。其中，NDVI 年均值在 2000—2002 年呈显著增长趋势；在 2003—2014 年间，研究区 NDVI 值保持整体缓慢上升趋势，局部有波动；2015 年，该地区 NDVI 出现显著下降趋势，经分析发现，2015 年研究区降水量是近几年的最小值，水量不足影响了植被的生长状况；2015 年之后，研究区 NDVI 又呈上升趋势。整体分析，研究区 NDVI 值在 2000—2018 年呈持续上升趋势，局部有波动起伏，其原因是研究区水热变化的不确定性导致了 NDVI 值的波动变化，加上人类对研究区生态环境的保护，使陕北地区植被覆盖保持整体上升趋势。

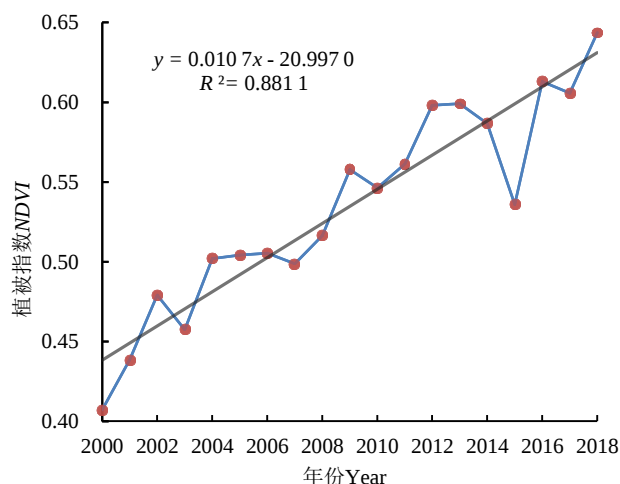


图 2 2000—2018 年陕北地区 NDVI 年际变化

Fig.2 Interannual Change of NDVI in Northern Shaanxi between 2000 to 2018

3.1.2 NDVI 空间分布特征

本研究将 2000—2018 年 NDVI 累加后的平均值作

为研究区 19 a 的 NDVI 值，同时根据不同植被指数的变化情况，将研究区植被覆盖划分为无植被区 ($NDVI \leq 0.2$)、极低植被区 ($0.2 < NDVI \leq 0.3$)、低植被区 ($0.3 < NDVI \leq 0.4$)、中植被区 ($0.4 < NDVI \leq 0.5$)、高植被区 ($0.5 < NDVI \leq 0.6$) 和密集植被覆盖区 ($0.6 < NDVI$)^[18-19]。结果如图 3 所示，陕北地区植被指数空间分布具有明显的差异性，总体呈南高北低的分布特征，和陕北地区地形地貌分布基本一致。高植被和密集植被区主要分布在陕北地区的南部，占研究区面积的 52.1%，该区域地形多是低山丘陵和平原，水热条件适宜植被生长，植被类型以林地、耕地居多；中植被区分布于研究区的中部和榆林市的东部，该区域位于黄土高原的中心地带，水土流失严重，植被覆盖不高；低植被区和无植被区位于陕北地区的西北部，占研究区面积的 6.6%，分布于毛乌素沙地风沙滩区，地形多为剥蚀沙丘和丘间草地，植被覆盖较低，生态环境脆弱，容易受到自然环境和人类活动的影响。

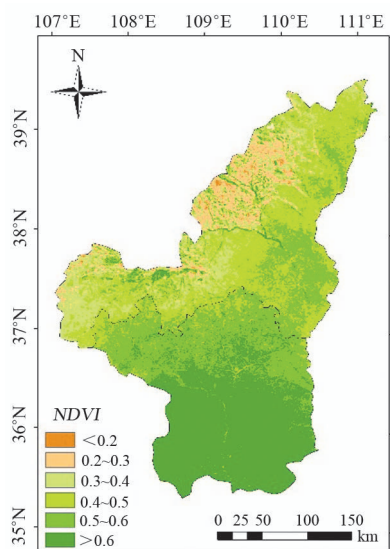


图 3 2000—2018 陕北地区 NDVI 年均值空间分布

Fig.3 Distribution of NDVI Annual Mean in Northern Shaanxi between 2000 to 2018

3.2 陕北地区 NDVI 动态变化特征

3.2.1 差值法

利用差值法分析 2000 年、2009 年和 2018 年陕北地区 8 月的 NDVI 动态变化特征（图 4）。统计出植被不同变化范围的面积，并根据 $NDVI_{差值}$ 的大小将研究区植被变化分为 7 个等级， $NDVI_{差值} \leq -0.25$ 为严重退化区， $-0.25 < NDVI_{差值} \leq -0.15$ 为中度退化区， $-0.15 < NDVI_{差值} \leq -0.05$ 为轻度退化区， $-0.05 < NDVI_{差值} \leq 0.05$ 为基本不变区， $0.05 < NDVI_{差值} \leq 0.15$ 为轻度改善区， $0.15 < NDVI_{差值} \leq 0.25$ 为中度改善区， $NDVI_{差值} > 0.25$ 为高度改善区^[20-22]。

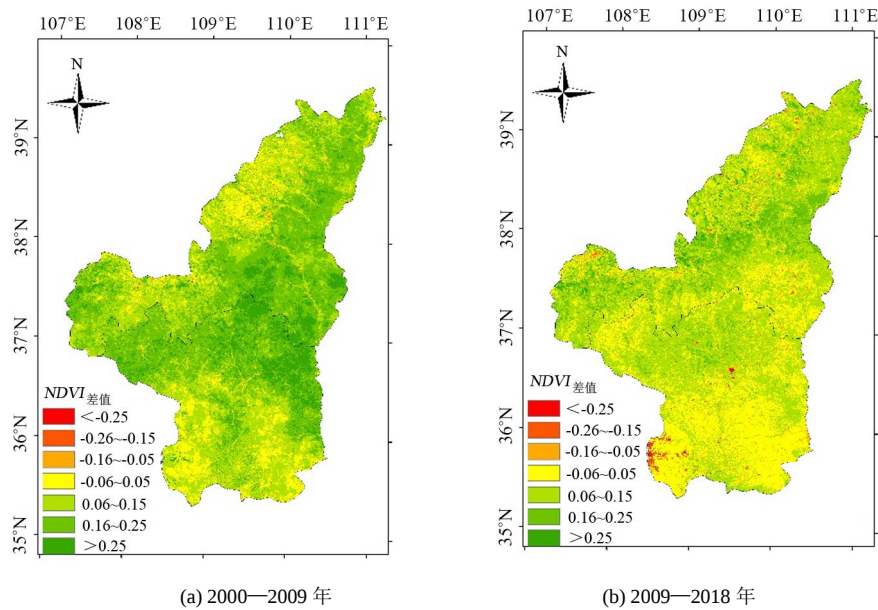


图 4 2000—2018 年 NDVI 差值空间分布

Fig.4 Spatial distribution of NDVI Difference between 2000 to 2018

表 1 为 2000—2018 年陕北地区各 NDVI 差值比例及面积。与 2000 年相比, 2009 年的植被覆盖退化的区域为 739.3 km², 仅占研究区总面积的 0.80%, 散落分布在毛乌素沙地风沙滩区, 其中严重退化的区域不足 0.02%。研究区植被覆盖改善的区域达到了 78 751.4 km², 占研究区总面积的 85.12%, 其中轻度改善区域有 31 853.4 km², 占总面积的 34.43%, 分布在延安市周边的丘陵低山区域和榆林西北部的风沙滩区; 中度改善区域有 36 132.8 km², 占总面积的 39.05%; 高度改善区域占总面积的 11.64%, 达到 10 765.2 km², 分布在陕北地区的中部。植被覆盖基本不变的区域占研究区的 14.08%, 主要分布在延安南部丘陵区。以上数据说明在 2000—2009 年之间, 陕北地区植被覆盖

度得到显著提高, 生态环境得到有效的保护, 反映了国家政策指导的正确性, 突出了榆林与延安政府对国家退耕还林还草政策的积极响应以及贡献。

对比 2009 年, 2018 年植被覆盖退化的区域有 3 011.3 km², 占研究区总面积的 3.26%, 主要分布在城市周边和南部的低山丘陵区, 其原因在于 2009 年到 2018 年城市化建设发展较快, 占用了城市周边的耕地和草地。研究区植被覆盖改善的区域占研究区总面积的 62.82%, 其中绝大部分区域为轻度改善, 面积为 46 346.7 km², 占研究区总面积的 50.09%, 高度改善的区域仅占总面积的 1.15%。植被指数基本不变的区域有 31 385.3 km²。

表 1 2000—2018 年陕北地区各 NDVI 差值比例及面积

Table 1 Proportion and Area of NDVI Differences in Northern Shaanxi from 2000 to 2018

NDVI 变化趋势 NDVI variance tread	NDVI 差值范围 NDVI difference range	2000—2009 年		2009—2018 年	
		面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%
严重退化	<-0.25	16.0	0.02	248.9	0.27
中度退化	-0.25~-0.15	82.7	0.09	411.8	0.45
轻度退化	-0.15~-0.05	640.6	0.69	2 350.6	2.54
基本不变	-0.05~0.05	13 030.7	14.08	31 385.3	33.92
轻度改善	0.05~0.15	31 853.4	34.43	46 346.7	50.09
中度改善	0.15~0.25	36 132.8	39.05	10 715.0	11.58
高度改善	>0.25	10 765.2	11.64	10 63.2	1.15

3.2.2 线性回归斜率法

图 5 表示 2000—2009 年和 2009—2018 年陕北地区 NDVI 的线性回归斜率分布图, 表 2 为 2 个时间段 NDVI 斜率比例及面积。从图 5 和表 2 中可知, 陕北地区植被指数各时间段变化趋势存在着明显的差异

性。在 2000—2009 年间, 陕北地区的植被覆盖变化的平均斜率为 0.013 0/10 a。在此 10 a 内, 陕北地区植被总体呈现明显上升趋势, 其中植被覆盖得到改善的区域占研究区的 87.41%, 大部分为高度改善区域; 10.33% 的区域基本不变, 仅有 2.26% 的区域植被有所

退化,退化的区域主要分布在西部山区和毛乌素沙地边缘地带,说明沙地生态系统脆弱,存在较大的不确定性;在 2009—2018 年间,陕北地区的植被覆盖变化的平均斜率为 0.007 6/10 a,研究区植被覆盖继续保持上升趋势,其中植被覆盖得到改善的区域占研究区

的 68.52%, 24.89% 的区域基本不变,有 6.59% 的区域植被有所退化,退化的区域主要分布在延安市区周边和其他城镇边缘地带,其主要原因是近 10 a 城镇扩张较快,周边植被遭到一定程度的破坏,导致植被指数下降。

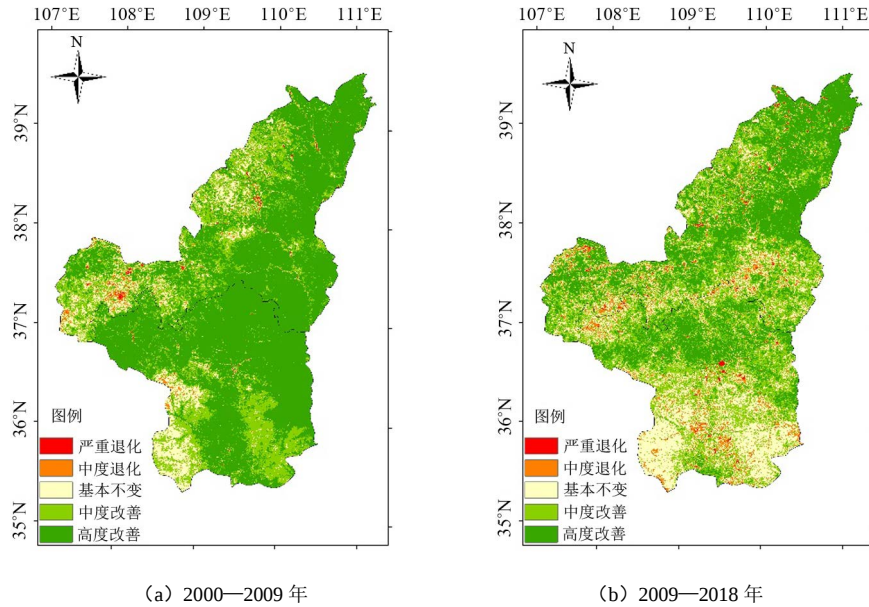


图 5 2000—2018 年陕北地区 NDVI 线性回归斜率空间分布

Fig.5 Spatial distribution of NDVI linear regression slope in Northern Shaanxi from 2000 to 2018

对比 2000—2009 年和 2009—2018 年可以发现,陕北地区植被指数增长的速度有所放缓,植被覆盖变化的平均斜率从 0.013 0/10 a 降到 0.007 6/10 a。分析认为,20 世纪末期,榆林和延安政府积极响应国家政策,实施退耕还林还草、引洪淤地、兴建防风防沙林、陡坡地治理等沙地治理的浩大工程,这些工程的实施保护了自然地表的稳定性,促进了陕北地区植被

的生长恢复,使其生态环境得到有效的保护。因此在 2000—2009 年间,陕北地区植被指数得到显著的增加。随着城市的不断发展,城市周边的生态环境遭到一定的破坏,加上早期治沙工程的成果需要政府和人民不断的维护,因此后 10 a,陕北地区植被指数增速放缓,但仅有 6.59% 的区域植被有所退化,充分反映了陕北人民对陕北地区生态环境健康发展的贡献。

表 2 2000—2018 年陕北地区不同 NDVI 斜率比例及面积

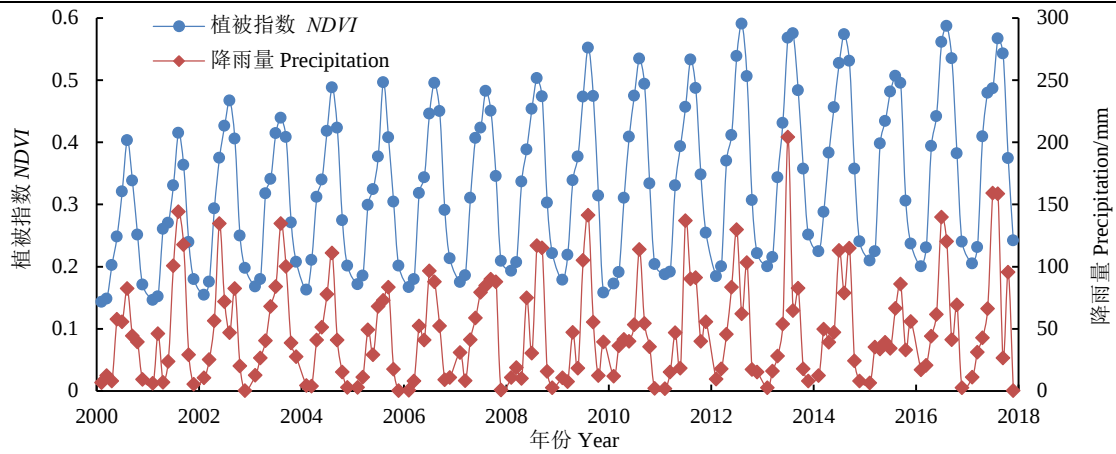
Table. 2 Proportion and area of different NDVI slope in Northern Shaanxi from 2000 to 2018

NDVI 变化趋势 NDVI variance tread	斜率范围 Slope range	2000—2009 年		2009—2018 年	
		面积	比例	面积	比例
		Area/km ²	Proportion%	Area/km ²	Proportion%
严重退化	<-0.007 79	251.4	0.27	671.9	0.73
中度退化	-0.007 79~-0.000 98	1 838.8	1.99	5 417.3	5.86
基本不变	-0.000 98~0.00 394	9 561.0	10.33	23 030.3	24.89
中度改善	0.003 94~0.009 25	22 471.1	24.29	31 535.1	34.08
高度改善	>0.009 25	58 399.1	63.12	31 866.8	34.44

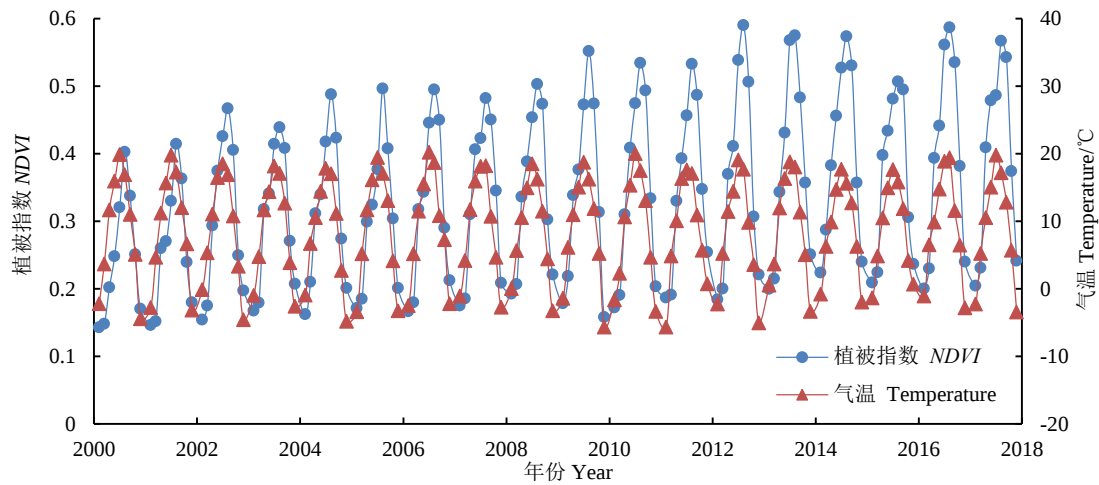
3.3 植被指数与水热条件响应关系

图 6 (a)、图 6 (b) 分别为每月 NDVI 值与降雨量、气温的变化曲线,从图 6 中曲线可知,每一年的 NDVI、降雨量、气温均有明显的季节性变化,均出现先上升后下降的变化趋势,其中最大值在夏季,春秋次之,冬季最小。三者的变化过程具有高度一致性,说明植被指数的年内变化特点和水热条件是吻合的。

仔细对比 NDVI 与温度、降水的变化曲线可以发现,虽然 NDVI 与二者之间的变化具有一致性,但每年最高值出现的月份上存在差异,每年 NDVI 最高值出现在 8 月,而降水和温度的最高值一般出现在 7 月,说明植被指数与温度、降水之间存在一定的滞后关系,与毛德华等^[1]、殷刚等^[8]的研究结果相符。



(a) 月降雨量变化 (a) Monthly precipitation variation



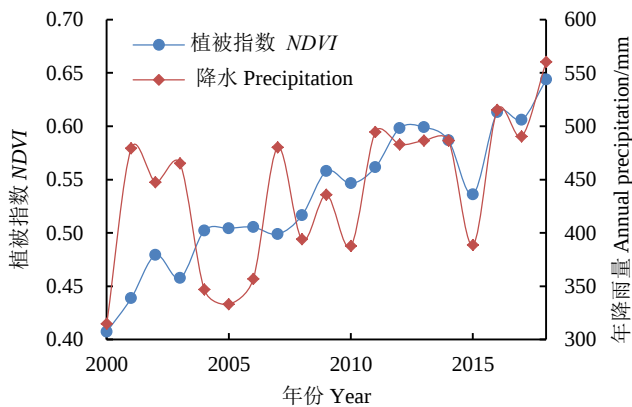
(b) 月气温变化 (b) Monthly temperature variation

图 6 2000—2018 年陕北地区每月 NDVI 值与降雨量和气温的变化曲线

Fig.6 Changes of Monthly NDVI Value and Rainfall and Temperature in Northern Shaanxi from 2000 to 2018

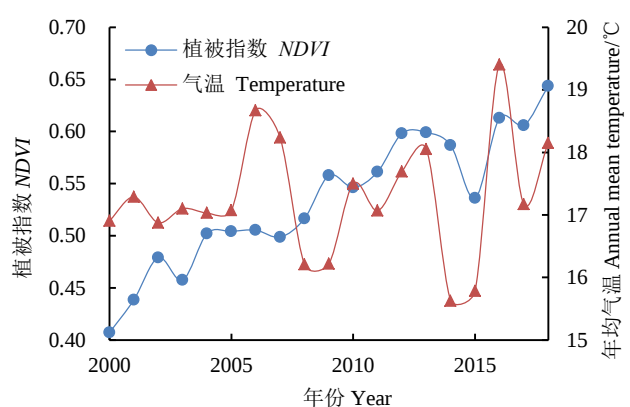
图 7 (a)、图 7 (b) 分别表示 2000—2018 年陕北地区 NDVI 与年降雨量、NDVI 与年均气温的变化曲线图。从图中可知, 研究时段内 NDVI 的变化趋势与降雨量和气温基本一致, 但 NDVI 与二者的相关性

差距较大, NDVI 与年降雨量存在显著正相关 ($R=0.63$, $P<0.01$), 与气温相关性较弱 ($R=0.23$)。以上数据说明陕北地区植被生长受降雨量和气温共同影响, 降雨量较气温更能决定研究区植被生长状况。



(a) 年降水变化

(a) Annual precipitation variation



(b) 年气温变化

(b) Annual temperature variation

图 7 2000—2018 年陕北地区 NDVI 与年降雨量和年均气温的变化曲线

Fig.7 Changes of NDVI and Annual Rainfall and Average Temperature in Northern Shaanxi from 2000 to 2018

4 讨论

植被指数的时空动态变化是国内外学者研究的热点, 植被变化的监测是长时间序列的动态过程^[23]。本研究在前人的研究基础上, 基于 MODIS 数据产品, 利用差值法和线性回归斜率法, 对 2000—2018 年陕北地区的植被指数进行像元尺度的变化研究。研究发现, 在 2000—2018 年间, 陕北地区植被指数变化受水热条件和国家生态政策的共同影响, 呈现持续上涨趋势, 表明了退耕还林还草、引洪淤地、兴建防风防沙林、陡坡地治理等国家生态政策的有效性, 与已有相关研究结果^[19]一致。研究证明了植被指数与温度、降水之间存在一定的滞后关系, 与相关的研究结果^[1,8]相符。植被指数的时空动态变化是气候变化、土地利用类型变化等自然和社会因素综合作用的结果^[23], 但本研究仅从国家生态政策和水热条件方面分析了植被指数变化, 仍然存在较多不足和需要改进的地方, 其中未将其他自然和社会因素引入研究体系, 且缺乏自然和社会因素对植被指数变化的定量化分析^[19]; 同时, 由于影像数据空间分辨率的局限性, 本研究未详细分析陕北地区不同土地利用类型的植被变化^[2], 因此在后续的研究中, 需综合自然和社会因素, 对植被指数变化的影响因素进行定量化研究。

5 结论

1) 差值法和线性回归斜率法均能较好地反映出研究区的植被变化趋势。但线性回归斜率法效果更优, 其综合考虑了植被变化的结果和过程, 具有更好的适用性。

2) 陕北地区植被指数年际变化趋势存在明显的差异性。2000—2009 年间, 陕北地区 *NDVI* 变化的平均斜率为 0.013 0/10a, 呈明显上升趋势; 2009—2018 年间, 陕北地区 *NDVI* 的平均斜率为 0.007 6/10a, 植被覆盖继续保持上升趋势, 但改善速度有所减缓, 退化的区域增加到 6.59%, 主要分布在延安市区周边和其他城镇边缘地带。

3) 陕北地区植被指数年际变化特点与水热条件变化特征相符。表明陕北地区植被生长受降雨量和气温共同影响, 且降雨量较气温更能决定研究区植被生长状况。但每年三者最高值出现的月份上存在差异, 表明植被指数与温度、降水之间存在一定的滞后关系。

参考文献:

[1] 毛德华, 王宗明, 罗玲, 等. 基于 MODIS 和 AVHRR 数据源的东北地区植被 *NDVI* 变化及其与气温和降水间的相关分析[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(1): 77-85.

MAO Dehua, WANG Zongming, LUO Ling, et al. Correlation analysis between *NDVI* and climate in northeast China based on AVHRR and GIMMS data sources[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(1): 77-85.

[2] 李建飞, 李小兵, 周义. 2000—2015 年乌兰察布市生长季 *NDVI* 时空变化及其影响因素[J]. 干旱区研究, 2019, 36(5): 1 238-1 249.

LI Jianfei, LI Xiaobing, ZHOU Yi. Spatiotemporal variation of *NDVI* and its affecting factors in Ulanqab City in growing season from 2000 to 2015[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(5): 1 238-1 249.

[3] 刘少华, 严登华, 史晓亮, 等. 中国植被 *NDVI* 与气候因子的年际变化及相关性研究[J]. 干旱区地理, 2014, 37(3): 480-489.

LIU Shaohua, YAN Denghua, SHI Xiaoliang, et al. Inter-annual variability of vegetation *NDVI*, accumulated temperature and precipitation and their correlations in China[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(3): 480-489.

[4] 尹涛, 王瑞燕, 杜文鹏, 等. 黄河三角洲地区植被生长旺盛期地下水埋深遥感反演[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(2): 95-100.

YIN Tao, WANG Ruiyan, DU Wenpeng, et al. Remote sensing inversion of groundwater level in the Yellow River Delta during plants thrive[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(2): 95-100.

[5] 郭瑞宁, 郭青霞, 冯雨豪, 等. 基于 *TVDI* 的土壤湿度时空分布及影响因子分析[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(4): 52-58.

GUO Ruining, GUO Qingxia, FENG Yuhao, et al. Analysis of the factors affecting the spatiotemporal soil moisture distribution based on the temperature-vegetation drought index[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(4): 52-58.

[6] 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): 1 019-1 024.

GAN Chunying, WANG Xizhi, LI Baosheng, et al. Changes of vegetation coverage during Recent 18 years in Lianjiang river watershed[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(8): 1 019-1 024.

[7] ZHAO M S, RUNNING S W. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009[J]. Science, 2010, 329(5994): 940-943.

[8] 殷刚, 孟现勇, 王浩, 等. 1982—2012 年中亚地区植被时空变化特征及其与气候变化的相关分析[J]. 生态学报, 2017, 37(9): 3 149-3 163.

YIN Gang, MENG Xianyong, WANG Hao, et al. Spatial-temporal variation of vegetation and its correlation with climate change in Central Asia during the period of 1982-2012[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(9): 3 149-3 163.

[9] 丁少文, 陈亦妍, 谭丽荣, 等. 基于 MODIS 数据的蒙山 2001—2016 年植被动态变化研究[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2018, 39(4): 81-87.

DING Shaowen, CHEN Yiyan, TAN Lirong, et al. Vegetation changes in the Meng mountain region from 2001 to 2016 based on MODIS data[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2018, 39(4): 81-87.

[10] CAI D L, FRAEDRICH K, SIELMANN F, et al. Climate and vegetation: An ERA-interim and GIMMS *NDVI* analysis[J]. Journal of

- Climate, 2014, 27(13): 5 111-5 118.
- [11] EASTMAN J, SANGERMANO F, MACHADO E, et al. Global trends in seasonality of normalized difference vegetation index (NDVI), 1982–2011[J]. Remote Sensing, 2013, 5(10): 4 799-4 818.
- [12] TUCKER C J, PINZON J E, BROWN M E, et al. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(20): 4 485-4 498.
- [13] 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.
- LIU Minxia, ZHAO Ruidong, SHAO Peng, et al. Temporal and spatial variation of vegetation coverage and its driving forces in the Loess Plateau from 2001 to 2015[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(1): 99-108.
- [14] 张绪财, 金晓媚, 朱晓倩, 等. 格尔木河流域植被指数时空分布及其影响因素研究[J]. 现代地质, 2019, 33(2): 461-468.
- ZHANG Xucai, JIN Xiaomei, ZHU Xiaoqian, et al. Spatial-temporal characteristics of vegetation index and its impact factors in the Golmud river basin[J]. Geoscience, 2019, 33(2): 461-468.
- [15] 张月丛, 赵志强, 李双成, 等. 基于 SPOT NDVI 的华北北部地表植被覆盖变化趋势[J]. 地理研究, 2008, 27(4): 745-754, 973.
- ZHANG Yuecong, ZHAO Zhiqiang, LI Shuangcheng, et al. Indicating variation of surface vegetation cover using SPOT NDVI in the northern part of North China[J]. Geographical Research, 2008, 27(4): 745-754, 973.
- [16] 郭妮, 朱燕君, 王介民, 等. 近 22 年来西北不同类型植被 NDVI 变化与气候因子的关系[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 319-327.
- GUO Ni, ZHU Yanjun, WANG Jiemin, et al. The relationship between ndvi and climate elements for 22 years in different vegetation areas of northwest China[J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(2): 319-327.
- [17] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- XU Jianhua. Mathematical methods in contemporary geography[M]. Beijing: Higher Education Press, 2017.
- [18] 周淑琴. 基于 RS 和 GIS 的毛乌素沙地东南缘沙地治理监测与评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- ZHOU Shuqin. The sand control monitoring and evaluation based on RS and GIS in mu us sandland southeastern margin[D]. Yangling: China: Northwest A & F University, 2015.
- [19] 栾金凯, 刘登峰, 黄强, 等. 近 17 年陕西榆林植被指数的时空变化及影响因素[J]. 生态学报, 2018, 38(8): 2 780-2 790.
- LUAN Jinkai, LIU Dengfeng, HUANG Qiang, et al. Analysis of the spatial-temporal change and impact factors of the vegetation index in Yulin, Shaanxi Province, in the last 17 years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(8): 2 780-2 790.
- [20] 周梦甜, 李军, 朱康文. 近 15a 新疆不同类型植被 NDVI 时空动态变化及对气候变化的响应[J]. 干旱区地理, 2015, 38(4): 779-787.
- ZHOU Mengtian, LI Jun, ZHU Kangwen. Spatial-temporal dynamics of different types of vegetation NDVI and its response to climate change in Xinjiang during 1998-2012[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(4): 779-787.
- [21] 高培霞, 张吴平, 梁爽, 等. 基于温度植被干旱指数(TVDI)的土壤干湿反演[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(10): 123-128.
- GAO Peixia, ZHANG Wuping, LIANG Shuang, et al. Retrievably calculating soil moisture based on temperature vegetation drought index of vegetative land[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(10): 123-128.
- [22] 李丹利, 苟思, 赵娜娜, 等. 基于 MODIS-NDVI 与 EVI 数据的若尔盖区域植被生育期分析[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(S1): 162-166, 174.
- LI Danli, GOU Si, ZHAO Nana, et al. Analysis of vegetation growth period in zoigê based on MODIS-NDVI and EVI[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(S1): 162-166, 174.
- [23] 武正丽, 贾文雄, 赵珍, 等. 2000—2012 年祁连山植被覆盖变化及其与气候因子的相关性[J]. 干旱区地理, 2015, 38(6): 1 241-1 252.
- WU Zhengli, JIA Wenxiong, ZHAO Zhen, et al. Spatial-temporal variations of vegetation and its correlation with climatic factors in Qilian Mountains from 2000 to 2012[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(6): 1 241-1 252.

Spatiotemporal Variation in NDVI and Its Response to Hydrothermal Change from 2000 to 2018 in Northern Shaanxi Province

CHENG Jie^{1,2,3,4}, YANG Liangyan^{2,3,4*}, LI Ya'nan^{2,3,4}

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd, Xi'an 710075, China; 3. Shaanxi land Engineering Technology Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710021, China;

4. Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Natural Resources, Xi'an 710021, China)

Abstract: 【Background】 Northern Shaanxi province is located at the center of the gully region in the Loess Plateau, characterized by dry climate with seasonally variable rainfall. It is in the transition zone from forest to grassland. Unsustainable economic structure and over-exploitation in early stage of development in this region had resulted in soil and water loss, which has made its ecosystem extremely fragile. As a key component in hydrological cycle, vegetation plays an important role in moving water from soil to atmosphere and balancing thermal energy of the

planet. Spatial variation in vegetation is a result of the interplay of soil moisture, shallow groundwater and air temperature, and it is especially sensitive to climate change in arid and semi-arid region. 【Objective】 The objective of this paper is to analyze the spatiotemporal variation in *NDVI* in northern Shaanxi province in attempts to provide baseline data for restoring functions of its ecosystems and sustaining economic development. 【Method】 The data were derived from the MODIS remote sensing from 2000 to 2018. Finite difference method and linear regression slope method were used to analyze the *NDVI* of each pixel in the remote sensing imageries. 【Result】 Vegetation change in 2000—2009 differed from that in 2009—2018, with the average vegetation changing rate in the former being 0.013/10a compared to the 0.0076/10a in the latter. In terms of spatial distribution, the degraded soils from 2000 to 2009 were mainly in the western mountainous area and at the edge of the Maowusu sandy land, while the degraded soils from 2009 to 2018 were mainly in the periphery of Yanan and at the edge of other cities and towns. The annual *NDVI* change was consistent with rainfall and temperature, but their correlations were different. *NDVI* was positively related to annual rainfall at significant level with $R=0.63$ ($P<0.01$), while there was only a weak correlation between *NDVI* and temperature with $R=0.23$. 【Conclusion】 Linear regression slope method is more suitable for studying temporal change in vegetation dynamics. Vegetation growth in northern Shaanxi province is affected by rainfall more than by temperature. There was a lag between the time when a change in temperature and precipitation happened and the associated shift in vegetation.

Key words: *NDVI*; MODIS; temporal-spatial variation; northern Shaanxi; hydrothermal condition

责任编辑：赵宇龙

关于评选优秀论文的公告

本刊已开启优秀论文评选活动，每年评选优秀论文 10 篇，每篇奖励 800 元，并颁发获奖证书，届时将在期刊网站首页展示，同时微信公众号推送。欢迎广大读者、作者积极向我刊投稿。

《灌溉排水学报》编辑部