

2001—2013年西鄂尔多斯国家级自然保护区 植被覆盖变化

额尔敦格日乐¹, 包刚^{2,3}, 包玉龙^{2,3}, 杭玉玲^{2,3}, 布仁吉日嘎拉⁴

(1. 呼和浩特民族学院 管理系, 呼和浩特 010051;

2. 内蒙古师范大学 内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 呼和浩特 010022;

3. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010022; 4. 内蒙古大学 蒙古学学院 周边国家研究所, 呼和浩特 010021)

摘要: 利用2001—2013年生长季(4—10月)MODIS NDVI数据和气象观测数据, 结合线性趋势分析法、变率分析法和相关分析法等方法, 开展西鄂尔多斯自然保护区植被覆盖年际、月际变化趋势及其与区域气候变化的关系研究。研究表明: 西鄂尔多斯自然保护区植被NDVI, 无论是在生长季平均值(0.001 5 NDVI/a), 还是各月份值都呈增加趋势。尽管通过建立自然保护区能够促使生态环境良性发展, 但其植被覆盖年际变化趋势主要受降水量的控制, 年总降水量与NDVI的相关系数达到0.66, 是植被覆盖年际波动的最直接因素。在空间分布上, 研究区南部、东部和北部边缘区域的植被覆盖增加趋势较明显, 而中部和北部部分区域未发生明显的趋势性变化。变率分析表明, 植被覆盖变化年际波动明显, 说明研究区植被变化受外界抗干扰能力较弱, 特别是南部区域。从自然保护区各核心区植被覆盖年际变化趋势看, 伊克布拉克草原化荒漠生态系统核心区和棋盘井半日花核心区的植被覆盖度呈增加态势, 而蒙古西珍稀植物群落核心区与阿尔巴斯生态系统过渡带核心区呈下降趋势。

关键词: 西鄂尔多斯; 自然保护区; 植被覆盖变化; NDVI; 区域气候

中图分类号: X87; Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)01-0110-07

Vegetation Coverage Changes in West Ordos National Natural Reserves During the Period from 2001 to 2013

Erdengerel¹, BAO Gang^{2,3}, BAO Yulong^{2,3}, HANG Yuling^{2,3}, Burenjirigala⁴

(1. Management Department, Hohhot Minzu College, Hohhot 010051, China; 2. Inner Mongolian

Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information System, Inner Mongolia Normal University,

Hohhot 010022, China; 3. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;

4. Institute of Neighboring Countries, School of Mongolian Studies, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China)

Abstract: The annual and monthly change trends of vegetation coverage and their relationship to regional climate change in National Natural Reserves of West Ordos during the period from 2001 to 2013 were analyzed by employing MODIS NDVI datasets in growing season (from April to October) and corresponding climatic variables including monthly temperature and precipitation. The linear trend analysis, coefficient of variation (CV) analysis and correlation analysis were employed in the present study. The results revealed that regardless of the temporal resolution (monthly scale or annual scale), the NDVI in the study area experienced increasing trend over the 13-year observation period. Although the establishment of national natural reserve can improve the ecosystem of the study area, the annual vegetation variation is primarily dominated by the precipitation fluctuation. The correlation coefficient between NDVI and precipitation is 0.66, indicating that precipitation is the direct factor on vegetation dynamics. In spatial pattern, the NDVI in southern, eastern and northern fringe regions of the study area showed the increasing trend, and no obvious trends were observed in central and some of the northern parts. CV analysis further indicated that the annual variability of NDVI was strongly significant, particularly in the

southern parts, indicating the low strength to anti-disturbance. The results from the analysis of core area of the study area indicated that the vegetation dynamics experienced increasing trend in core area of Yikebulaga and Qipanjing and showed the decreasing trend in core area of Mengxi and Aerbasi.

Keywords: West Ordos; natural reserves; vegetation cover changes; NDVI; regional climate

自1872年美国建立了世界第一个自然保护区——黄石国家公园(Yellowstone National Park)以来,自然保护区经历了140多年的发展历程^[1],成为全球生态保育的基石,对珍稀濒危野生动植物、自然生态环境和生物多样性保护等起到极为重要和关键的作用^[2-4]。在我国,截止2011年,已建立各类自然保护区2588个,其中国家级自然保护区335个^[2],无论是在自然保护区的种类及其对我国特有物种的保护,还是在自然保护区管理条例与法规的完善等方面得到全面的发展,取得了巨大的成效^[5]。植被及其格局作为基本生境和生态系统功能赖以实现的基本结构,不仅本身就是自然保护区主要的保护对象,也为各类动植物的生存和保护提供重要场所^[3,6]。对自然保护区植被覆盖进行跟踪监测,特别是保护措施实施以来的变化监测是评价自然保护区保护效果和生态安全评价的重要内容^[3,7-9]。另外,因自然保护区从保护措施实施以来受人类活动的影响极小,对其植被覆盖变化及其与气候变化的关系研究,能为开展气候变化对生态系统的影响评估提供最理想的场所,也为全球变化研究提供重要参考依据^[10]。

内蒙古自治区西部桌子山、岗德格尔山和鄂尔多斯市鄂托克旗西部为中心的荒漠、草原化荒漠区域集中分布着四合木(*Tetranena mongolica*)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、绵刺(*Potania mongolica*)和半日花(*Helianthemum songaricum*)等国家级重点保护植物,学术界称之为“西鄂尔多斯珍稀植物”,并于1994年被列为国家级自然保护区^[11-12],为西北干旱地区古地理环境、植物群系、生物进化、生态系统演变等研究和保护起到了重要作用^[13]。然而,由于该区域毗邻内蒙古西部重要的工业城市乌海市,且自然保护区本身正处于开采煤炭资源而举世闻名的鄂尔多斯市境内,其自然保护区生态环境问题不容乐观,加之受黄河西岸乌兰布和沙漠和全球范围内气候的暖干化发展等的影响^[14],近几十年来,本区域地表风蚀、覆沙等已呈明显加重之势^[15]。对其植被覆盖变化趋势及其与区域气候变化关系的研究是自然保护区生态环境变化调查的一项重要研究内容。通过掌握植被覆盖变化的总体发展趋势和空间格局,不仅可以直接明确从自然保护区建立以来的环境变化趋势,也为进一步采取相关措施提

供重要依据。本研究以2001—2013年MODIS NDVI数据作为植被覆盖变化的主要指标,结合研究区气温和降水量数据,开展西鄂尔多斯自然保护区植被覆盖年际、月际变化时空格局及其与区域气候变化的关系研究,为掌握从自然保护区建立以来植被演化趋势和自然保护区环境改善效益评估等方面提供重要科学依据和信息支持。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

西鄂尔多斯国家级自然保护区地跨鄂尔多斯市鄂托克前旗和乌海市两个行政区,是鄂尔多斯高原向黄河谷地过渡的区域(106°42′—107°44′E, 39°13′—40°11′N)。保护区属典型的暖温带大陆性气候,自然条件恶劣,年平均气温7.8~8.1℃,年平均降水量162~272 mm,年蒸发量2470~3480 mm,约为降水量的20倍。保护区占地面积约为5558.9 km²,东北为鄂尔多斯高原的西部边缘,南部、西部为桌子山山地,北部与乌兰布和沙漠的东北边缘隔河相望,南北长约105 km,东西宽约86 km^[11,13,15]。自然地理景观以草原化荒漠和荒漠化草原为主,由于边缘效应及古地理等原因,在保护区集中分布着国家二级保护植物四合木、沙冬青、绵刺和半日花等多种古老的第三纪孑遗植物^[11]。据统计,共有高等植物335种、分属188属65科,其中单种属128属,占总属64.3%,特有种、残遗种和其他珍稀濒危植物72种,占总种数21.7%^[13]。根据保护区内生态环境状况、野生生物资源的丰富度和原始性、珍稀濒危物种分布集中程度等条件,在保护区内目前设有4个核心区,分别为伊克布拉格草原化荒漠生态系统核心区(核心区1)、蒙西珍稀植物群落核心区(核心区2)、阿尔巴斯生态系统过渡带核心区(核心区3)和棋盘井半日花核心区(核心区4),面积分别为189.1,125.3,361.7和78.7 km²。

1.2 数据来源及预处理

本研究使用的植被遥感数据为2001—2013年MODIS NDVI产品MOD13Q1,是NASA MODIS陆地产品组开发的16 d最大合成Terra/MODIS NDVI数据集,空间分辨率为250 m。考虑到研究区植被在冬季停止光合作用和受积雪覆盖等的影响,在此每年选取4—10月份的NDVI开展生长季植被覆盖

变化特征及其与气候变化的关系研究。通过对每月两景 NDVI 数据进行最大值合成 (Maximum Value Composites, MVC)^[16] 和研究区界线来裁剪等, 获得覆盖 2001—2013 年的月 NDVI 时间序列数据集。根据前人研究方法, 将每年生长季内 7 期 (4—10 月) NDVI 数据进行平均计算, 用来表征该年植被生长平均状况, 分别生成 2001—2013 年的年平均 NDVI 数据集^[17-18], 用于分析植被覆盖变化趋势。

气候资料来自于由内蒙古 48 个气象站插值获得的栅格化气温和降水量数据, 时间跨度、时间分辨率、空间分辨率和投影方式都与 NDVI 数据完全一致, 由中国气象科学数据共享服务网获取。气象数据主要用于观测时间段内气候对研究区植被覆盖变化趋势的影响研究。

自然保护区界线及自然保护区核心区范围数据来自于额尔敦格日乐研究结果^[19], 主要由当地自然保护区管理局提供。

1.3 研究方法

为反映研究区植被覆盖的整体变化趋势, 首先对每年年平均 NDVI、气温和降水数据在自然保护区范围内进行空间平均, 获得逐年 NDVI、气温和降水序列。采用线性趋势分析方法, 即 NDVI、气温和降水序列与年份之间分别进行线性回归分析, 见公式 (1), 以斜率来表达变化速率, 以相关系数的 p 值来表达其变化的显著与否 ($p < 0.05$ 表示显著增加或下降)^[18, 20]。同样的方法将应用于 4 个核心区范围内, 分别分析各核心区植被覆盖变化趋势。

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: b ——斜率, 代表植被覆盖变化趋势及其大小; x_i ——第 i 年的年平均 NDVI 值; \bar{x} ——研究时间段 NDVI 平均值; y_i ——第 i 年, 这里在 2001—2013 年间取值; \bar{y} ——年份的平均值。

为了分析整个研究区范围和 4 个核心区 NDVI 在 2001—2013 年稳定程度, 在此利用公式 (2)—(3) 分别计算过去 13 年间年平均 NDVI 的标准差和变异系数, 分别分析各区域植被覆盖绝对变异量和相对波动程度^[20-21]。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}{n}} \quad (2)$$

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: S ——标准差; n ——研究时间长度, 这里取 13;

C_v ——变异系数。

将上述研究方法拓展到像元尺度上, 获得逐像元的年平均 NDVI 的变化速率 (斜率) 及其显著性 p 值图像、标准差和变异系数图像, 以表达植被覆盖变化的空间分布趋势及其显著与否^[22] 和波动程度的空间格局^[20]。

为反映温度和降水的年际波动对研究区植被覆盖变化的影响, 年平均 NDVI 与对应温度和降水之间分别进行线性回归分析, 在区域尺度和像素尺度上分别获得 NDVI 与气候因子之间的相关系数及其显著性 p 值, 以表达植被变化与气候因子的总体相关性和空间相关模式^[23]。同时分析生长季各月份 NDVI、温度和降水的变化趋势及 NDVI 与气候因子的逐月相关系数, 深入探讨高时间分辨率植被覆盖变化特征。

2 结果与分析

2.1 西鄂尔多斯自然保护区植被覆盖空间格局

如附图 4 所示, 研究区多年平均植被 NDVI 由东南向西北逐渐减小, 低值区主要分布在鄂托克旗阿尔巴斯苏木北部, 即与乌兰布和沙漠东北边缘相连的荒漠区域, 值一般低于 0.14。而高值区主要分布在鄂托克旗新召苏木境内, NDVI 值高于 0.2。整个自然保护区范围内植被覆盖度较低, 其中值介于 0~0.12 的像元数所占比例为 16.2%, 0.12~0.16 像元比例为 35.6%, 0.16~0.2 像元比例为 32.3%, 大于 0.2 像元比例为 15.9%。

2.2 西鄂尔多斯自然保护区植被覆盖总体变化趋势

如表 1 所示, 在整个研究区范围内, 13 年间西鄂尔多斯自然保护区植被 NDVI 呈增加趋势 (0.001 5 NDVI/a), 表明研究区植被覆盖度趋于好转态势, 但增加趋势并不显著 ($p > 0.05$)。NDVI 值 2001 年最差, 为 0.127; 2002 年最好, 为 0.187; 13 a 平均值为 0.161。从 NDVI 平均值的变异系数和标准差来看, 13 年来研究区植被覆盖年际波动较大。这与张宏斌等^[20] 研究结果一致, 表明荒漠草原和草原化荒漠植被年际波动较强, 抗干扰能力较差。由于保护区内不同核心区植物资源和濒危植物群落的丰富度和集中程度的不同, 其植被覆盖度及其变化趋势具有一定的差异。总体上, 阿尔巴斯生态系统过渡带核心区 (核心区 3) 的植被覆盖度为最高, 其 13 a 平均 NDVI 为 0.191, 其次为棋盘井半日花核心区 (核心区 4), NDVI 值为 0.144。而伊克布拉格草原化荒漠生态系统核心区 (核心区 1) 和蒙古西稀植物群落核心区 (核心区 2) 的植被覆盖度较低, NDVI 分别为 0.119, 0.109。

在年际变化上, 过去 13 年间核心区 1 和核心区 4 的植被覆盖度呈增加趋势 (0.001 4, 0.003 8 NDVI/a),

而核心区 2 和核心区 3 保持较平稳或略有下降的态势 ($-0.000\ 2, 0.000\ 4$ NDVI/a)。这表明自然保护区实施以来,各核心区植被覆盖变化趋势不均匀,还有必要做好整体规划,加强自然植被的保护管理和开发工作,为各类动植物生存和繁衍提供必要条件。NDVI 年际

波动以核心区 4>核心区 3>核心区 1>核心区 2 的顺序依次降低,变异系数分别为 16.6%,12.6%,11.4%和 8.4%,表明核心区 4 植被覆盖度抗干扰能力最差,而核心区 2 为最强。这可能与各核心区不同优势植物群落对气候和人为活动的响应强度不同有密切关系。

表 1 西鄂尔多斯自然保护区植被 NDVI 年际变化趋势

| 项目 | 核心区 1 | 核心区 2 | 核心区 3 | 核心区 4 | 4 个核心区平均值 | 整个研究区 |
|--------|--------|---------|--------|---------|-----------|--------|
| 2001 年 | 0.098 | 0.099 | 0.152 | 0.101 | 0.113 | 0.127 |
| 2002 年 | 0.127 | 0.099 | 0.240 | 0.159 | 0.156 | 0.187 |
| 2003 年 | 0.111 | 0.106 | 0.192 | 0.136 | 0.136 | 0.153 |
| 2004 年 | 0.112 | 0.128 | 0.189 | 0.135 | 0.141 | 0.159 |
| 2005 年 | 0.104 | 0.127 | 0.151 | 0.112 | 0.124 | 0.131 |
| 2006 年 | 0.103 | 0.108 | 0.189 | 0.116 | 0.129 | 0.152 |
| 2007 年 | 0.140 | 0.112 | 0.211 | 0.158 | 0.155 | 0.184 |
| 2008 年 | 0.143 | 0.105 | 0.201 | 0.164 | 0.153 | 0.178 |
| 2009 年 | 0.127 | 0.113 | 0.197 | 0.156 | 0.148 | 0.165 |
| 2010 年 | 0.120 | 0.115 | 0.201 | 0.169 | 0.151 | 0.167 |
| 2011 年 | 0.113 | 0.106 | 0.173 | 0.135 | 0.132 | 0.144 |
| 2012 年 | 0.134 | 0.104 | 0.218 | 0.190 | 0.161 | 0.186 |
| 2013 年 | 0.117 | 0.101 | 0.173 | 0.152 | 0.136 | 0.158 |
| 平均值 | 0.119 | 0.109 | 0.191 | 0.144 | 0.141 | 0.161 |
| 标准差 | 0.014 | 0.009 | 0.024 | 0.024 | 0.014 | 0.019 |
| 变异系数/% | 11.4 | 8.4 | 12.6 | 16.6 | 9.9 | 11.8 |
| 线性拟合率 | 0.0014 | -0.0002 | 0.0004 | 0.0038* | 0.0014 | 0.0015 |

注:* 代表变化趋势通过 0.05 的显著性水平。

2.3 西鄂尔多斯自然保护区植被覆盖空间变化趋势

逐像元的年平均 NDVI 线性拟合分析结果显示,2001—2013 年,研究区 59.8%的面积植被呈增加趋势(图 1A),平均约为 0.002 4 NDVI/a。这表明通过实施自然保护区管理措施研究区大多地区的植被得到了改善,特别是占 9.6%地区的植被 NDVI 呈显著增加趋势($p<0.05$)(图 1B),主要集中在研究区西南角和零星

分布在东南和北部边缘地区(附图 5A);而仅有 4%的地区植被呈下降趋势,平均约为 $-0.002\ 0$ NDVI/a,主要分布在研究区中部(阿尔巴斯生态系统过渡带核心区的部分区域),但下降趋势并不显著。除此以外的研究区中部和北部较大部分地区(36.2%)的 NDVI 没有出现较明显的变化趋势,其线性拟合率主要处于 $-0.001\sim 0.001$ 。

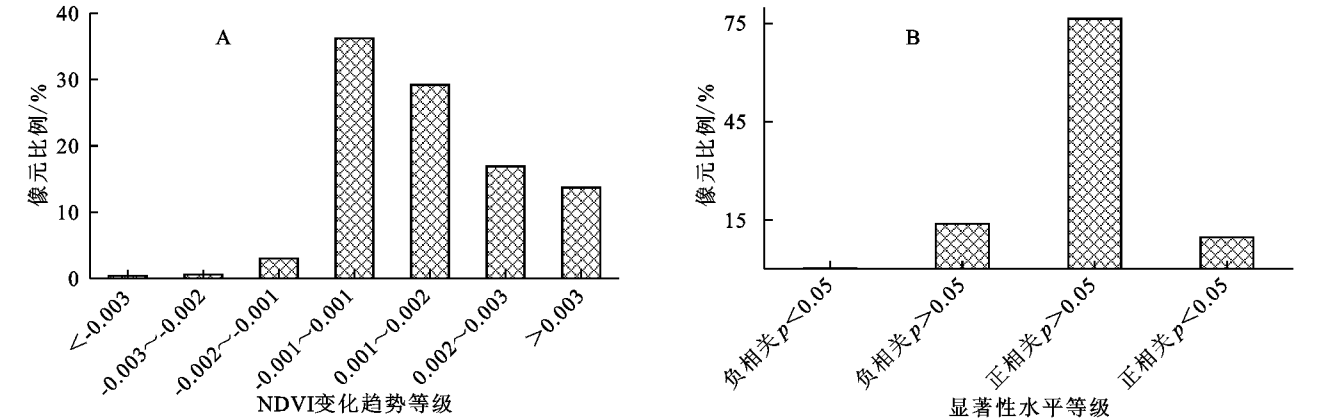


图 1 2001—2013 年西鄂尔多斯自然保护区年平均 NDVI 变化趋势及其显著性水平的面积百分比

从研究区域 2001—2013 年的年平均 NDVI 标准差(附图 6A)和变异系数(附图 6B)来看,研究区南部植被 NDVI 标准差和变异系数较大,表明此区域植被过去 13 年间受到的外界干扰(如气候或人为因素)最大,植被状况(覆盖度、生物量等)波动最为明显。与此相反,北部地区的标准差和变异系数较小,表明

植被状况 13 年来相对稳定,植被覆盖对外界因素的响应强度较弱。这可能与研究区北部植被覆盖度极为稀疏有关(NDVI 在 0.1 附近波动)(附图 4),外界因素的平常变化不会对较低植被覆盖度产生剧烈影响,而在南部相对高植被覆盖区则产生较大影响。这说明,尽管研究区均属于荒漠草原或荒漠化草原,但

其植被覆盖度的变化对环境因素的响应特征具有较大差异,荒漠草原植被覆盖度的变化对环境因素的响应可能存在着临界值。

2.4 西鄂尔多斯自然保护区气候波动及其对植被覆盖变化的影响

近 13 年来,研究区生长季总降水量一般在 114.1~267.4mm 范围内波动,没有发生较明显的趋势性变化,但其波动与 NDVI 的波动保持高度的一致性,如降水量较高的年份 2002 年、2004 年、2008 年、2010 年、2012 年与 NDVI 相对高值年份相对应,而较低的年份 2001 年、2009 年、2011 年、2013 年与同年 NDVI 低值相对应,表明尽管建立西鄂尔多斯自然保护区能够保护珍稀濒危野生植物物种和整个草原化荒漠生态系统^[13,19],但降水量的增减是其区域植被覆盖改变的另一个主要原因(图 2)。NDVI 与降水量之间的相关分析也进一步说明了这一点,两者相关系数为 0.66($p=0.01$)。而 13 年来生长季平均温度变化较平稳,基本在 16.4~17.7℃ 波动。与降水量的作用相反,温度对研究区植被生长产生了显著的限制作用,两者相关系数达到 -0.54,通过了 0.05 的显著性水平。可能是生长季平均温度的升高加快蒸散发而导致干旱加剧和植被可利用水量减少,从而影响植被覆盖度的增加^[19]。特别是在降水量相对匮乏的草原化荒漠或荒漠草原地区,当降水量比常年稀少时,较高的温度对植被生长的抑制作用更加明显^[24]。NDVI 与温度和降水量的相关关系说明了在全球气候变暖大背景下,西鄂尔多斯自然保护区降水量的增加和温度在一定程度的下降都将对研究区植被生长具有明显的促进作用,也对濒危野生植物的保护和丰富产生深远影响。

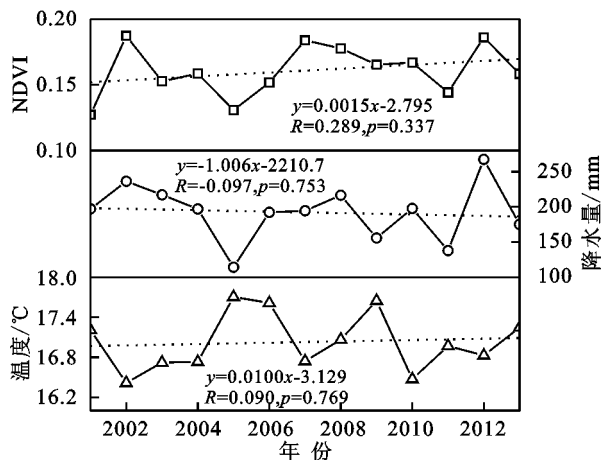


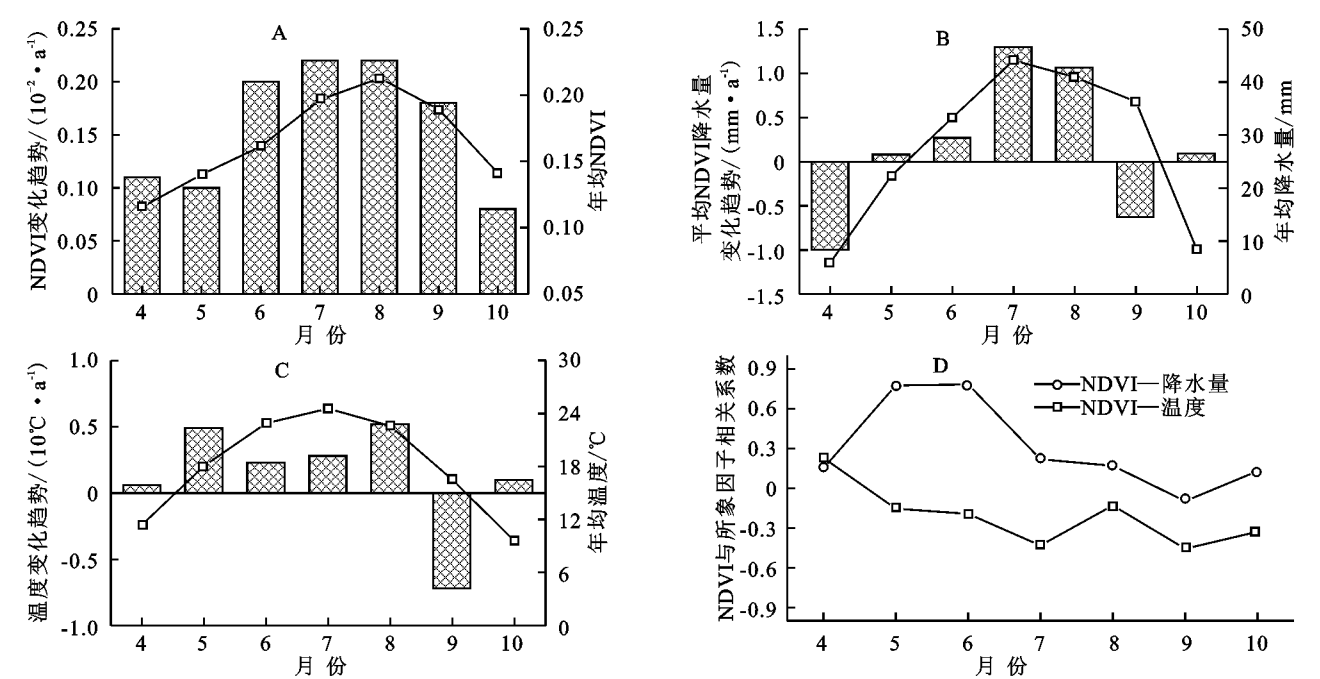
图 2 2001—2013 年西鄂尔多斯自然保护区 NDVI、降水量和温度的变化趋势

生长季平均 NDVI 与降水量(附图 7)和温度(附图 9A)之间逐像元相关分析进一步证实了在整个研究区范围内降水量是决定植被覆盖变化的最主要气候因

子。但降水量对植被覆盖变化的作用(相关系数的大小)因区域而异,总体上在研究区南部、中部和东北区域相关系数达到 0.5 以上(附图 7),并通过了 0.05,甚至 0.01 的显著性水平(附图 8),表明降水量对草原化荒漠地区植被的影响强度在一定程度上超过人类活动的局部影响。而在北部 NDVI 与降水量的相关性相对弱($p<0.3$),也不显著。相关关系的统计分析表明,几乎所有像元(99.3%)的 NDVI 与降水量之间的相关系数都为正值,其中相关系数值 0.3~0.7 的面积最大,达到 81.6%。与此相反,约 99.2%的像元 NDVI 与温度之间呈负相关,同样相关系数 -0.7~-0.3 的面积最大,达到 81.2%。高负相关($p<-0.5$)区域主要分布在研究区中部(附图 9A),通过 0.05 的显著性水平(附图 9B)。但与降水相比,通过 0.01 显著性水平的像元较少(附图 8B)。

2.5 西鄂尔多斯自然保护区植被覆盖月变化特征

研究各月份植被覆盖变化趋势,对明确各月份植被变化对生长季平均植被覆盖变化的贡献程度^[23-24]、科学评估全球气候变化背景下植被对气候的响应方式和强度、如春季生长季提前与否、夏季植被活动强度加强与否、秋季生长季延长与否^[17]等具有重要意义。由图 3A 可以看出,西鄂尔多斯自然保护区生长季所有月份的 NDVI 在过去 13 年间都呈增加趋势,最大值出现在 7 月、8 月(0.002 2 NDVI/a),最小值出现在 10 月(0.000 8 NDVI/a),表明研究区植被生长季春季提前、夏季增强和秋季推迟趋势都较明显^[17,25],特别是夏季植被活动强度增加趋势最为显著^[23]。从生长期各月份温度和降水的变化趋势看(图 3B—C),2001—2013 年除 4 月、9 月外,其他月份的降水量均呈增加趋势,特别是 7 月、8 月更加明显。而温度除 9 月份外也都呈增加趋势。这表明研究区气候春秋季节暖干化和夏季暖湿化趋势明显。从 NDVI 与气候因子的相关关系(图 3D)看,除 9 月份的降水量与 NDVI 呈负相关外,其他所有月份都与 NDVI 呈正相关,表明大多月份降水量的增加对研究区植被的生长具有明显的促进作用,5—6 月份的降水量尤为重要。9 月份出现的负相关可能与伴随降水量而增加的云量及其导致的辐射能量和温度的减少,从而限制植被的生长有关^[26]。而温度除 4 月份外,其他各月份都与 NDVI 呈负相关,表明在研究区只有生长季开始月份的温度的增高对植被有一定的促进作用,而其他月份都有明显的限制作用。这可能与温度的增高而导致的干旱有关,特别是在降水量较少时(即干旱趋势明显时)温度的负作用最为明显。



注:直方图为变化趋势,曲线为平均值。

图 3 生长季各月份 NDVI、降水量、温度的变化趋势及 NDVI 与气象因子的相关关系

3 结论

(1) 在整个自然保护区范围内,尽管 13 年来研究区植被覆盖变化的年际波动较大,但其植被 NDVI 总体上呈增加趋势($0.001\ 5\ NDVI/a$),表明建立自然保护区后的最近 13 年间其植被覆盖度趋于明显好转的态势。从各核心区角度看,多年平均植被覆盖以阿尔巴斯生态系统过渡带核心区>棋盘井半日花核心区>伊克布拉格草原化荒漠生态系统核心区>蒙古珍稀植物群落核心区。在年际变化趋势上,伊克布拉格草原化荒漠生态系统核心区和棋盘井半日花核心区的植被覆盖度呈增加态势,而其他两个核心区呈下降趋势。

(2) 从植被覆盖变化的空间格局看,占研究区 59.8%的地区植被覆盖度呈增加趋势,主要分布在研究区南部、东部和北部边缘区域。而研究区中部和北部的较大部分地区(36.2%)的 NDVI 没有出现明显的趋势性变化。从植被覆盖变化的波动性分析看,研究区南部植被 NDVI 标准差和变异系数较大,受外界干扰显著,而北部植被覆盖受外界因素的响应较弱。

(3) 由于西鄂尔多斯自然保护区处于典型的干旱半干旱气候带,无论是在年际尺度,还是在月际尺度上,其植被覆盖受降水量的影响极为明显,NDVI 与降水量的相关系数达到 0.66($p=0.01$),是导致植被覆盖改变的最直接和主要原因。相反,温度对研究区植被生长产生了显著的限制作用,两者相关系数达到-0.54。基于像元尺度的空间分析进一步更详细证实了这一趋势。

参考文献:

[1] 郑姚闽,张海英,牛振国,等.中国国家级湿地自然保护区保护成效初步评估[J].科学通报,2012,57(4):207-230.

[2] 陈伟烈.中国的自然保护区[J].生物学通报,2012,47(6):1-4.

[3] 周睿,王辉,葛剑平,等.松山自然保护区各功能区植被动态及变化格局[J].生物多样性,2006,14(6):470-478.

[4] Fuentes-Quezada E R, Sekhran N, Kunte-Pant A. Nesting biodiversity conservation into landscape management[J]. Natural Resources Forum, 2000,24(2):83-95.

[5] 张晓妮.中国自然保护区及其社区管理模式研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2012.

[6] Nagendra H, Pareeth S, Ghate R. People within parks-forest villages, land-cover change and landscape fragmentation in the Tadoba Andhari Tiger Reserve, India[J]. Applied Geography,2006,26(2):96-112.

[7] 徐少君,曾波,苏晓磊,等.基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究[J].生态学报,2012,32(7):2174-2184.

[8] 张玮,张懿铨,王兆锋,等.珠穆朗玛峰自然保护区植被变化分析[J].地理科学进展,2006,25(3):12-21.

[9] Southworth J, Nagendra H, Carlson L A, et al. Assessing the impact of Celaque National Park on forest fragmentation in western Honduras[J]. Applied Geography,2004,24(4):303-322.

[10] 杜鑫,赵鹏祥,陈海波,等.六盘山自然保护区 38 年来植被覆盖与气候变化关系分析[J].安徽农业科学,2011,39(11):6558-6561.

[11] 额尔敦格日乐.论西鄂尔多斯自然保护区生态旅游开

- 发[J]. 内蒙古科技与经济, 2008, 17(171): 4-5.
- [12] 韩秀珍, 马建文, 布和敖斯尔, 等. 利用卫星 ETM 与样方统计数据研究西鄂尔多斯珍稀濒危植物种群分布规律[J]. 遥感学报, 2002, 6(2): 136-141.
- [13] 郝润梅. 西鄂尔多斯自然保护区生态环境保护问题研究[J]. 科学管理研究, 2000, 18(5): 73-74.
- [14] Zhao M, Running S W. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009[J]. *Science*, 2010, 329(5994): 940-943.
- [15] 郝润梅. 内蒙古西部自然保护区生态环境保护可持续发展: 以西鄂尔多斯保护区为例[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 5-7.
- [16] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1417-1434.
- [17] 朴世龙, 方精云. 1982—1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 119-125.
- [18] 包刚, 包玉海, 覃志豪, 等. 近 10 年蒙古高原植被覆盖变化及其对气候的季节响应[J]. 地理科学, 2013, 33(5): 613-621.
- [19] 额尔敦格日乐. 3S 技术在西鄂尔多斯国家级自然保护区研究的应用[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2007.
- [20] 张宏斌, 唐华俊, 杨桂霞, 等. 2000—2008 年内蒙古草原 MODIS NDVI 时空特征变化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 168-175.
- [21] 毛飞, 孙涵, 张艳红, 等. 近 20 年藏北草地地表参数动态变化研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 166-171.
- [22] 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[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(11): 1504-1514.
- [23] Piao S, Fang J, Zhou L, et al. Interannual variations of monthly and seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999 [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984—2012), 2003, 108(D14): ACL1-1.
- [24] Guo L, Wu S, Zhao D, et al. NDVI-based vegetation change in Inner Mongolia from 1982 to 2006 and its relationship to climate at the biome scale[J]. *Advances in Meteorology*, 2014, 66(1): 79-92.
- [25] Tucker C J, Slayback D A, Pinzon J E, et al. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45(4): 184-190.
- [26] Mao D, Wang Z, Luo L, et al. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2012, 18: 528-536.

~~~~~

(上接第 109 页)

- [3] Shi H, Shao M. Soil and water loss from the Loess Plateau in China [J]. *Journal of Arid Environments*, 2000, 45(1): 9-20.
- [4] 邱扬, 傅伯杰, 王勇. 土壤侵蚀时空变异及其与环境因子的时空关系[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 108-111.
- [5] 冉圣宏, 吕昌河, 王茜. 生态退耕对安塞县土地利用及其生态服务功能的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(3): 111-116.
- [6] 傅伯杰, 邱扬, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 717-722.
- [7] Chen L, Wei W, Fu B, et al. Soil and water conservation on the Loess Plateau in China: review and perspective[J]. *Progress in Physical Geography*, 2007, 31(4): 389-403.
- [8] 杨开宝, 刘国彬, 吴发启, 等. 黄土高原典型小流域综合治理的水文生态效应[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2042-2051.
- [9] 朱战强, 刘黎明, 张军连. 退耕还林对宁南黄土丘陵区景观格局的影响: 以中庄村典型小流域为例[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 146-154.
- [10] Fu B J, Wang Y F, Lu Y H, et al. The effects of land-use combinations on soil erosion: A case study in the Loess Plateau of China [J]. *Progress in Physical Geography*, 2009, 33(6): 793-804.
- [11] 黄淑玲, 周洪建, 王静爱, 等. 中国退耕还林(草)驱动力的多尺度分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(4): 112-116.
- [12] 何方, 吴楠, 李玲, 等. 淮河流域上游山丘区景观格局动态变化研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 32-38.
- [13] 郭程轩, 徐颂军, 巫细波. 佛山市景观格局变化及其动力梯度分析[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 238-243.
- [14] 谷长磊, 刘琳, 邱扬, 等. 黄土丘陵区生态退耕对草本层植物多样性的影响[J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 99-103.
- [15] 邱扬, 杨磊, 王军, 等. 黄土丘陵小流域景观格局指数的粒度效应[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1159-1166.
- [16] 侯志华, 马义娟. 黄土高原汾河流域地表景观演变特征研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 92-98.