

锡林郭勒盟草地物候期的时空演变及其对气候的响应

孙秀云, 刘海新, 赵玉玲, 杨楠楠, 王 炜

(河北工程大学 矿业与测绘工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 为揭示锡林郭勒盟草地的物候期变化趋势及其对气候因素的响应规律, 基于2002-2014年的MODIS NDVI数据, 采用双Logistics函数拟合和动态阈值相结合的方法提取了锡林郭勒盟草地的物候期, 并对其时空演变特征及气候影响因素进行了分析和探讨。结果表明: (1) 研究期内锡林郭勒盟草地返青期整体呈现提前趋势, 枯黄期呈推迟趋势, 生长期呈延长趋势。(2) 研究区草地返青期与降水成显著负相关的面积占25.93%, 与气温成显著负相关的面积占57.24%, 与日照时数相关性不显著; 草地枯黄期与气温呈显著负相关的面积占21.65%, 与日照时数呈显著负相关的面积占22.24%, 与降水的相关性不显著。

关键词: 锡林郭勒盟; NDVI; 物候期; 草地; 气候因素

中图分类号: P237

文献标识码: A

Spatio-temporal Evolution of Grassland Phenology and Its Response to Meteorological Factors in Xilin Gol League

SUN Xiuyun, LIU Haixin, ZHAO Yuling, YANG Nannan, WANG Wei

(School of Mining and Geomatics, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: In order to reveal the trend of phenological period and the law of response to climatic factors in the grassland of Xilin Gol League, this paper extracted the phenological period of Xilin Gol League grassland by using the method of double logistic function fitting and dynamic threshold based on the MODIS-NDVI dataset from 2002 to 2014. This study investigated patterns of the spatiotemporal variations in phenology and its possible influence factors. The results show that: (1) During the research period, the grassland greenup of Xilin Gol League showed an early trend, the withering period showed a delayed trend, and the growth period showed an extended trend. (2) In the study area, 25.93% area of the Grassland greenup was negatively correlated with precipitation, 57.24% was negatively correlated with air temperature. Sunshine hours had no significant effect on the grassland greenup. 21.65% area of the Grassland withering period was negatively correlated with air temperature, 22.24% was negatively correlated with sunshine hours. Precipitation had no significant effect on the grassland withering period.

Key words: Xilin Gol League; NDVI; phenological phase; grassland; climatic factor

植被的物候被认为是最能直接、有效的反映环境条件、季节和年际变化的指示器^[1], 草地, 对气候变化十分敏锐^[2]。传统的物候学虽具有客观和准确的优点, 难以进行大尺度、长时间的物候时空分析^[3]。但随着遥感技术的发展, 类型多样、分辨率高、时间序列长、覆盖范围大的遥感数据逐渐被应用于

不同尺度的植被物候监测和研究中, 这也使遥感监测成为揭示自然环境变化对植被动态影响的重要手段^[4]。锡林郭勒盟位于内蒙古中部, 草地资源丰富、类型多样, 具有典型特征草地特征, 但该区域生态环境脆弱, 因此本文基于2002-2014 MODIS NDVI数据产品, 采用双Logistics函数拟合+动态阈值的

收稿日期: 2019-2-22

基金项目: 河北省社会科学基金资助项目(HB18GL024)

作者简介: 孙秀云(1994-), 女, 汉族, 河北沧州人, 硕士研究生, 从事生态遥感方面的研究。

以为草地长势监测和畜牧业生产提供借鉴依据。

1 研究区概况

锡林郭勒盟处于内蒙古自治区的中部,地处 $115^{\circ} 13' - 117^{\circ} 06' E$, $43^{\circ} 02' - 44^{\circ} 2' N$ 之间,总占地面积约 $20.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ [5]。锡林郭勒盟是一个以高原地貌为主,多种地貌并存的地区,为高原草场,属中北温带半干旱大陆气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热,境内降水主要集中在 7、8、9 月,降水量在 150 ~ 400 mm 之间,各地降水不均。温性荒漠草原、温性草原、温性草甸草原为研究区主要的 3 种草地类型,其面积占研究区草地总面积的 80% 以上,其空间分布大致为自西向东分布,如图 1。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文所采用的 TERRA 卫星 MODIS 传感器中国 500M NDVI 十天合成产品数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站 (<http://www.gscloud.cn>),该数据是由 MODND1D 计算月内每十天最大值得到,为更好地提取物候期,本文在每年度数据选取时向前向后分别多选取 6 期数据,即每年度共选用 48 期数据。

气象数据来源于中国气象数据网的地面气象数据资料 (<http://data.cma.cn>)。采用统计的方法获取锡林郭勒盟内 9 个气象站点的月累积降水、月平均气温和月平均日照时数数据,如图 1。

2.2 研究方法

2.2.1 物候期参数图像提取

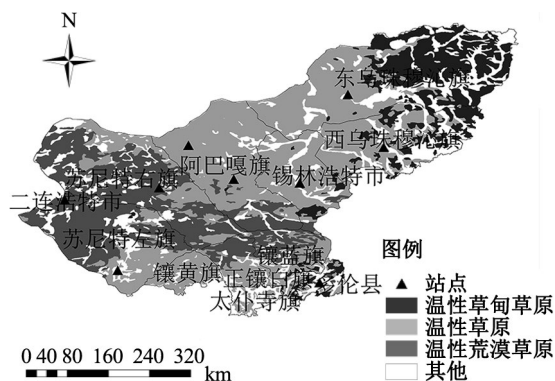


图 1 锡林郭勒盟草地类型分布图

Fig.1 The diagram of Xilin Gol League grassland type distribution

为去除云和大气等因素的影响,在进行物候期提取之前,需对 NDVI 进行时间序列重建,得到更为平滑的拟合曲线。经综合比较和分析各种提取方法的优劣 [6],最终本文选用双 Logistics 函数拟合对 NDVI 时序数据进行滤波,其主要原因是双 Logistics 函数拟合可以合理估计生长季内 NDVI 值并可以有效地处理离群值 [7],公式如下:

$$g(t, x_1, \dots, x_4) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{x_1 - t}{x_2}\right)} - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{x_3 - t}{x_4}\right)} \quad (1)$$

式中: t 为植被生长季的不同时期, $x_1 \sim x_4$ 为位置与形状参数, x_1 、 x_3 决定左、右拐点的位置, x_2 、 x_4 决定左、右拐点变化率 [8]。

本文采用动态阈值法对滤波后的 NDVI 曲线进行物候期提取,根据 Jonsson 等人的研究成果 [9],动态阈值选用 20%,动态阈值 NDVI_{lim} 的计算公式为:

$$\text{NDVI}_{\text{lim}} = (\text{NDVI}_{\text{max}} - \text{NDVI}_{\text{min}}) \times C \quad (2)$$

式中:整个生长季中 NDVI 上升至最大值时定义为 NDVI_{max} ; NDVI 上升或下降至最小值时定义为 NDVI_{min} [10]; C 为系数。

2.2.2 线性趋势法

采用一元线性趋势法对返青期、枯黄期、生长期进行特征提取,该方法可以模拟每个栅格 NDVI 的变化,并通过 θ_{slope} 反映 NDVI 随时间变化的趋势 [11],公式如下:

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2} \quad (3)$$

式中, θ_{slope} 为变化趋势斜率, n 为年数, NDVI_i 为第 i 年的 NDVI,若 Slope 值为正,则表示该地的物候期延迟, Slope 值为负,则表示物候期提前。

为进一步区分物候期的变化的显著性,通过查阅相关系数显著性检验表,变化趋势分为 4 类:显著提前 ($p < 0.1$ 且 $\text{Slope} < 0$); 提前不显著 ($p > 0.1$ 且 $\text{Slope} < 0$); 显著延迟 ($p < 0.1$ 且 $\text{Slope} > 0$); 延迟不显著 ($p > 0.1$ 且 $\text{Slope} > 0$)。

2.2.3 相关性分析法

采用基于像元的相关性分析法分别计算提取的返青期、枯黄期、生长期与降水、气温和日照时数的相关系数,公式如下:

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

式中 R_{xy} 为变量 x 和 y 的相关系数; n 为样本数 X ; $\bar{X}$ 为 x 的均值, $\bar{Y}$ 为 y 的均值^[12]。

同样通过查阅相关系数显著性检验表将其分为4类: 显著负相关 ($R_{xy} < 0$ 且 $p < 0.1$); 负相关不显著 ($R_{xy} < 0$ 且 $p > 0.1$); 显著正相关 ($R_{xy} > 0$ 且 $p < 0.1$); 不显著正相关 ($R_{xy} > 0$ 且 $p > 0.1$)。

3 结果与分析

3.1 物候期趋势分析

由图2(返青期)统计可知, 研究区草地返青期呈提前和延迟区域的面积占比分别为75.92%和24.08%, 其中返青期呈显著提前趋势的区域占13.47%, 主要分布在研究区西部的锡林浩特市和阿巴嘎旗、苏尼特左旗和苏尼特右旗地区, 而返青期显著延迟面积仅占0.48%。

由图2(枯黄期)统计可知, 研究区枯黄期呈提前和延迟趋势的面积占比分别为35.86%和64.14%, 其中枯黄期呈显著提前趋势的区域仅占1.15%。研究区草地的枯黄期呈显著延迟趋势的区域占7.67%, 主要分布在研究区东部的东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、阿巴嘎旗和锡林浩特市境内。

受返青期和枯黄期的共同影响, 研究区生长期总体呈延长趋势, 但大部分区域不显著。由图2(生长期)统计可知, 研究区生长期呈缩短趋势和延长趋势的区域分别占24.43%和75.57%, 其中生长期呈显著缩短的区域仅占0.51%; 生长期显著延长趋势的区域占11.91%, 主要分布在研究区东乌珠穆沁旗中部、锡林浩特市中北部、阿巴嘎旗和苏尼特右旗中部地区。

3.2 气候因素对草地物候期的影响

3.2.1 返青期与气候因素相关性

生长期的长度受返青期和枯黄期的影响, 因此本文采用春季和秋季的累积降水、平均气温、累积日照时数, 基于像元的相关性分析法计算了研究区草地返青期和枯黄期与三个主要气候因素的相关系数并对其进行显著性分析。由图3统计可知, 研究区93.25%草地返青期与降水为负相关, 其中显著负相关面积占25.93%, 主要分布在阿巴嘎旗北部、锡林浩特市的温性草原区及东乌珠穆沁旗中部的温性草甸草原区如图3(a); 研究区97.14%的草地返青期与气温为负相关, 其中显著负相关占57.24%, 主要分布于东部、中部的温性草原地区和西部的温性荒漠草原地区, 如图3(b)。日照时数对草地返青期的影响并不明显, 其中57.48%研究区的返青期与日照时数呈负相关, 仅有6.2%的区域草地返青期与其呈显著负相关, 主要分布于苏尼特右旗南部的温性荒漠草原地区, 如图3(c), 而42.52%区域的返青期与日照时数呈正相关, 仅0.65%的区域与其呈显著正相关。综上分析可知, 气温是影响草地返青期的主要因子, 其次为降水。

3.2.2 枯黄期与气候因素相关性

由图4可知, 研究区枯黄期与降水主要呈正相关, 但不显著; 枯黄期对气温、日照时数的响应具有较好的一致性, 大部分地区枯黄期与气温、日照时数呈负相关, 且从空间分布上看, 由负相关到正相关呈现为自西向东过渡的趋势。经统计, 研究区草地枯黄期与降水呈负相关的面积占23.57%, 其中显著负相关仅占0.33%; 枯黄期与降水呈正相关区域占76.43%, 其中显著正相关占9.04%, 主要存在于研究区东南部地区, 如图4(a)。研究区69.08%和56.74%草地枯黄期与气温和日照时数呈负相关, 其中显著负相关的面积分别占21.65%和22.24%, 主要分布在研究区西部的温性荒漠草原和温性草原

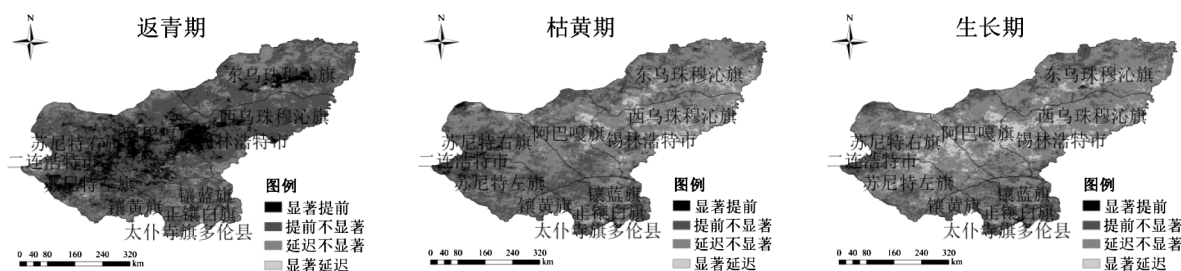


图2 2002-2014年研究区物候期变化趋势图

Fig.2 Trend Map of Phenological Period Change in the Study Area from 2002 to 2014

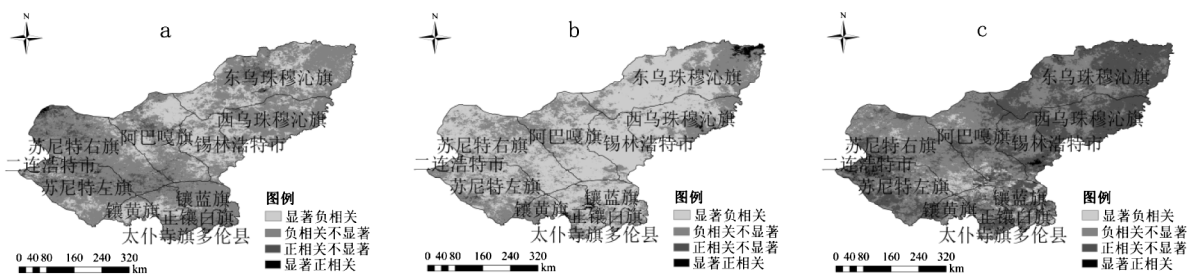


图 3 返青期与降水 (a)、气温 (b)、日照时数 (c) 相关性的显著性检验结果

Fig.3 Significance test of correlation between greenup and precipitation (a)、temperature (b) and sunshine duration (c)

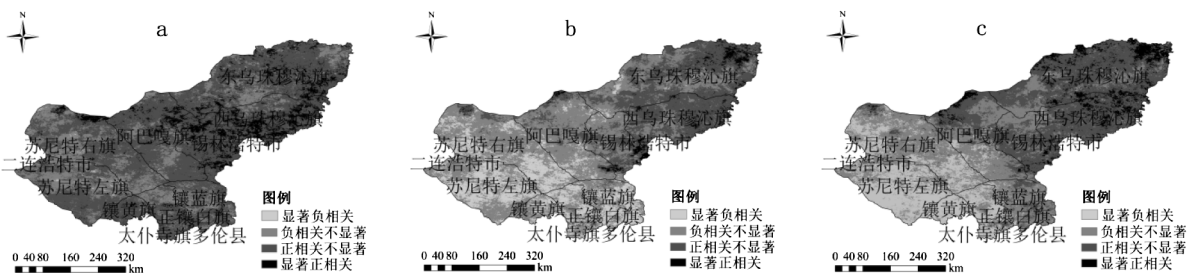


图 4 枯黄期与降水 (a)、气温 (b)、日照时数 (c) 相关性的显著性检验结果

Fig.4 Significance test of correlation between the withering period and precipitation (a)temperature (b) and sunshine duration (c)

地区，而 24.92% 和 43.26% 区域的枯黄期与气温和日照呈正相关，其中呈显著正相关的面积分别占 2.24% 和 5.89%，主要存在于东乌珠穆沁旗东部地区，如图 4(b)(c)。综上分析可知，研究区枯黄期主要受气温、日照时数的影响，降水对其影响较小。

4 结论

1) 研究区草地返青期呈现提前趋势，枯黄期呈推迟趋势，生长期长度呈延长趋势，但 2013 年间研究区整体物候期变化趋势并不显著。

2) 研究区草地返青期的主要影响因子是气温，其次为降水；枯黄期主要受气温、日照时数的影响，降水对其影响较小。

参考文献：

[1] 陈效述, 李 惊. 内蒙古草原羊草物候与气象因子的关系 [J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5280-5290.
[2] 赵雪雁, 万文玉, 王伟军. 近 50 年气候变化对青藏高原牧草生产潜力及物候期的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(4): 532-543.
[3] 陈效述, 王林海. 遥感物候学研究进展 [J]. 地理科学进展, 2009, 28(1): 33-40.
[4] 刘红海, 王 宏, 李晓兵, 等. 内蒙古温带典型草原物候期的变化研究 [J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2016, 52(4): 512-517.

[5] 巴图娜存, 胡云锋, 艳 燕, 等. 1970 年代以来锡林郭勒盟草地资源空间分布格局的变化 [J]. 资源科学, 2012, 34(6): 1017-1023.
[6] 郭 剑. 草原植被返青期的遥感监测及其与气象因子的关系研究 [D]. 北京: 中国农业科学院. 2016.
[7] BECK P S A, ATZBERGER C, HØGDA K A, et al. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 99(3): 321-334.
[8] 杨 琳, 高 苹, 居为民. 基于 MODIS NDVI 数据的江苏省冬小麦物候期提取 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 315-320.
[9] JONSSON P, EKLUNDH L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(8): 1824-1832.
[10] 郭 剑, 陈 实, 徐 斌, 等. 基于 SPOT-VGT 数据的锡林郭勒盟草原返青期遥感监测 [J]. 地理研究, 2017, 36(1): 37-48.
[11] STOW D, DAESCHNER S, Hope A, et al. Variability of the Seasonally Integrated Normalized Difference Vegetation Index Across the North Slope of Alaska in the 1990s[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(5): 1111-1117.
[12] 陈雪华. 北疆区域植被覆盖变化及其与气象因子的关系 [D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2012.

(责任编辑 李新)