

基于时序指数西北植被物候时空变化特征

杨光¹, 宋戈^{1,2}, 韦振锋³, 刘晗⁴

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 东北大学 文法学院, 哈尔滨 110819; 3. 广西财经大学, 南宁 530003; 4. 哈尔滨市水务局, 哈尔滨 150030)

摘要: 基于 1999—2010 年 SPOT VEGETATION 旬数据, 采用 HANTS 方法对原数据进行平滑处理, 并利用傅里叶插值方法将旬数据插值成天数据, 再通过 NDVI 天变化量确定植被物候期, 研究了中国西北植被物候时空特征。结果表明: (1) 海拔 2 km 以下, 植被类型以农业植被为主, 受人类因素影响较大, 物候生长季始期(SOG)相对提前, 生长季末期(EOG)推迟, 生长季长度(LOG)变大且由东南向西北递减; 在海拔较高地区, 物候 SOG 推迟, EOG 提前, LOG 缩短。 (2) 1999—2010 年西北植被物候, 东部 SOG 提前, EOG 推迟, LOG 变延长; 而向西部物候变化特征与东部相反。一方面, 从陕西到青海海拔不断上升, 温度逐渐下降, 植被物候也随之变化; 另一方面, 陕西一带是集中农业区, 青海地区主要以草地植被为主, 农业(小麦)植被物候期相对较长。

关键词: 西北; 植被; 物候; 物候生长季始期(SOG); 生长季末期(EOG); 生长季长度(LOG)

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)06-0213-06

Characteristics of Vegetation Phenology in Northwest China Based on Sequential Vegetation Index

YANG Guang¹, SONG Ge^{1,2}, WEI Zhenfeng³, LIU Han⁴

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;
2. School of Humanities and Law, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 3. Guangxi University
of Finance and Economics, Naning 530003, China; 4. Harbin Water Administration, Harbin 150030, China)

Abstract: Based on 10-day data of the SPOT VEGETATION from 1999 to 2010, using HANTS method to smooth the original data and convert them into daily data throughout Fourier interpolation method, we investigated the space-time characteristics of vegetation phenology in the northwest region of China. The results are shown as follows. (1) Below the altitude of 2 000 meters, vegetation type was given priority to agricultural vegetation and was greatly influenced by human factors. The start of growth (SOG) was relatively early. The end of growth (EOG) appeared delay. The length of growth (LOG) extended, and descended from southeast to the northwest areas. In the high altitude areas, the SOG appeared delay. EOG appeared in advance and the trend of LOG was shortened. (2) From 1999 to 2010, the SOG appeared in advance, EOG delayed and the LOG extended in the eastern area. The change of phenology in western area was contrary to that of the eastern area for many years. On the one hand, the altitude rose from Shaanxi to Qinghai. The temperature gradually decreased and the vegetation phenology changed. On the other hand, agricultural areas focused on Shaanxi and the grass grew in most regions of Qinghai. The main vegetation in Qinghai is grass, and the agricultural crop (wheat) phenology period was relatively long in that area.

Keywords: northwest China; vegetation phenology; start of growth(SOG); end of growth (EOG); length of growth (LOG);

植被物候是指植被在生长过程中出现的一种周期现象^[1], 是植被生长发育随着季节变化而形成的节律^[2]。物候是植被模型的重要参数^[3-6], 可以解释植被

对气候变化响应程度、提高植被与其影响因子之间能量交换的模拟精度, 对农作物的选种和种植有着重要意义^[7]。在生态系统研究中, 植被在监测气候变化中

起到指示器的作用,而植被物候已成为重点研究领域^[8]。近几十年来,北半球植被生长季呈延长趋势^[9-12],与地面观测数据相一致。欧洲和北美大部分植被春季物候提前^[8,13-14]。20 世纪 80 年代以后中国华北地区植被春季物候也呈提前趋势^[15-16]。随着全球变暖,温度升高,20 世纪 90 年代北半球多植被春季物候出现转折,春季物候出现推迟现象^[17-18]。Yu 等^[17]认为随着温度升高,温带、寒带及高海拔地区春季植被物候开始时间与冬、春季气温变化相关,尤其冬季气温偏高会使春季物候推迟。鉴于此,本文以中国西北植被为研究对象,分析是否也有相应的变化趋势,以为西北农业选种、播种和生产等提供理论依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

本文以西北五省为研究区域,主要包括新疆、青海、甘肃、宁夏和陕西。地形以盆地和高原为主,包括青藏高原、渭河平原、柴达木盆地、塔里木盆地、秦巴山地等。植被覆盖稀疏,从东到西大致划分为森林—草原—荒漠。干燥少雨、蒸发强烈、昼夜温差大,属于温带大陆性气候,降水自东向西依次递减。沙漠地区植被变化不明显,因此只研究沙漠以外区域植被物候变化特征,本文对其进行掩膜处理。

1.2 数据来源

文中使用的数据是 1999—2010 年 SPOT VEG-

ETATION 采用最大合成法合成的旬数据集,空间分辨率为 1 km,经过校正处理,误差较小、精度较高,已被广泛应用于大尺度植被变化的研究中,是目前分析植被时间变化的数据源^[19-20],数据来源互联网(<http://free.vgt.vito.be/home.php>)。

2 研究方法

2.1 NDVI 时间序列数据的预处理

虽然 SPOT VEGETATION 使用最大合成法,但数据处理过程受各种因素干扰,数据的亚像元内残余云、长时间云霾或其他负面影响,而且这些因素在时间上出现随机性,造成数据节律趋势不明显,因此需要对其进行进一步平滑处理。常用的数据平滑方法^[21-23]只是简单地描述曲线的一般特征,忽略曲线内部蕴涵的周期性。时间序列谐波分析法(HANTS)是一种新的植物物候分析手段,该方法重新构建时间序列数据,能够真实反映数据的周期性变化规律^[24]。本研究应用该平滑方法,具体步骤如下:首先通过 HANTS 对原始的时间序列数据进行平滑处理,然后通过傅里叶插值法进行插值生成 1 d 分辨率的 NDVI 数据(图 1)。由于中国西北地区地形复杂,植被种类繁多,本研究根据植被类型掩膜消除沙漠戈壁、稀疏植被和常绿林的影响,剔除异常值象元,只研究 NDVI 最大值出现在 3—10 月的有效像元,对城市、河流、湖泊和冰川等像元不作研究。

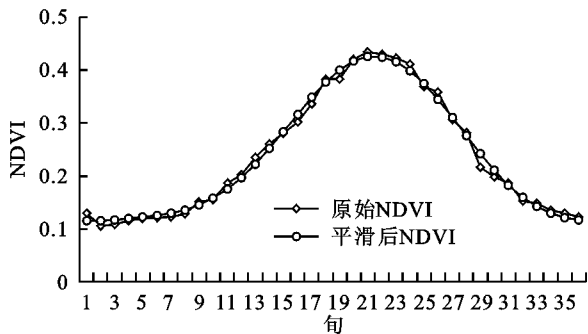
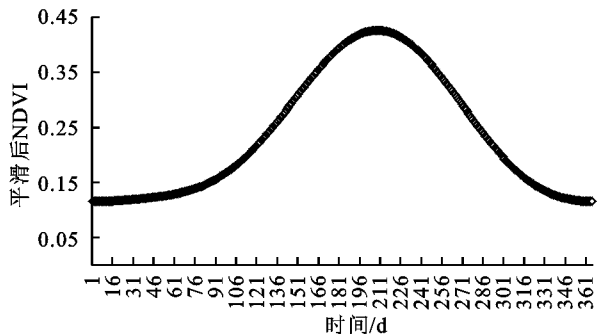


图 1 HANTS 处理后的 NDVI 时间序列数据



2.2 物候时间确定

目前物候提取方法主要有以下几种:①最大比率法^[18,25];②阈值法^[26-27];③是方法①和②的整合,根据比率最大值来确定某一物候阈值,再根据阈值确定每年该物候出现的日期^[28-29];④利用 Logistic 函数或谐波分解函数来确定 NDVI 时间序列的拐点,根据拐点估计某一物候特征^[30-31]。

但目前没有一种方法被普遍接受。本文采用最大比率法和阈值法提取物候的生长季始期(SOG)、生长季末期(EOG)和生长季长度(LOG)。步骤如下:首先,利用时间序列谐波分析法平滑 1999—2010 年

每个像元 NDVI 旬值,然后通过傅里叶插值法把平滑后的旬数据插值成天数据,计算每个像元两相邻时间点上的 NDVI 差值,差值的最大值和最小值用来分别确定 SOG 和 EOG 的 NDVI 阈值(图 2)。SOG 的 NDVI 阈值对应的天数为 SOG 出现的天数,EOG 的 NDVI 阈值对应的天数为 EOG 出现的天数。EOG 和 SOG 的差值即为 LOG,对应天数的差即 LOG 物候天数。

2.3 物候期变化趋势

采用普通最小二乘法分析 SOG,EOG 和 LOG 的年际变化趋势,进行显著性检验。

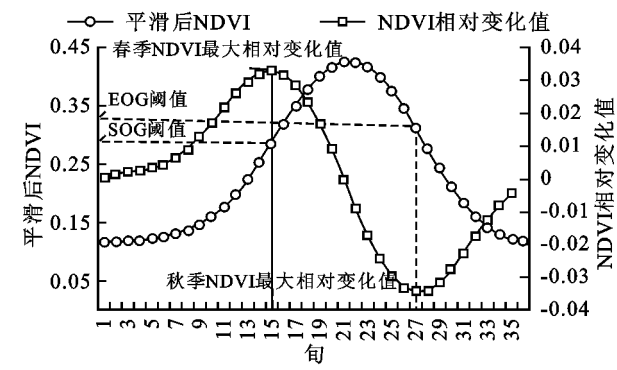


图 2 根据平滑后的旬 NDVI 数据多年均值的最大相对变化值来确定 SOG 和 EOG 的 NDVI 阈值

3 结果与分析

3.1 西北植被 NDVI 物候多年平均值的空间分布特征

如图 3 所示,由东南向西北,西北植被 NDVI 物候多年平均 SOG 逐渐推迟,EOG 逐渐提前,LOG 缩短。SOG 早于第 80 天主要分布在陕西关中和陕南以及陕西和甘肃交界地区,这些地区的植被主要以农业植被和灌丛为主,说明到 2—3 月耕作开始,农业植被逐步返青。而在三江源、宁夏和陕北地区的 SOG 出现于第 120~160 d,有的甚至晚于第 160 天,这些

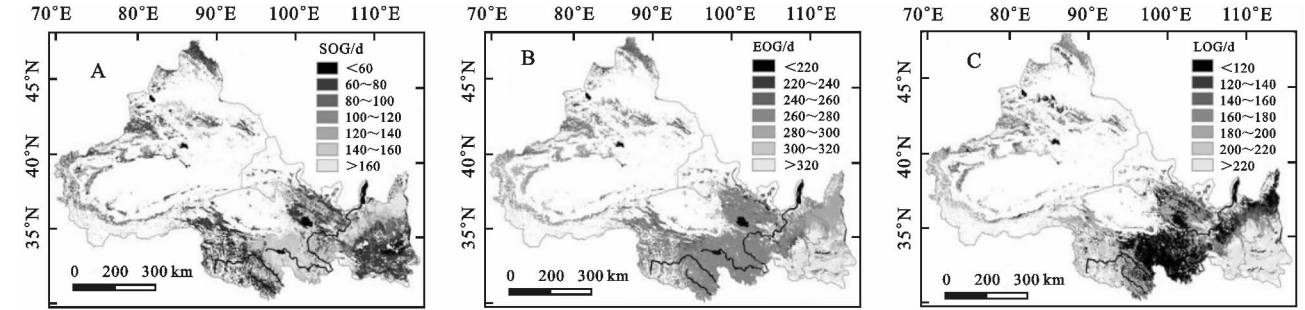


图 3 西北植被物候多年平均值的空间分布特征

海拔每升高 1 km,SOG 推迟 2 d,但推迟不显著(图 4A)。海拔 2 km 以下为人类活动区域,农业植被 SOG 提前,主要分布在陕南地区。在 2~5 km,SOG 随温度降低而推迟。海拔大于 5 km 地区,植被物候 SOG 出现提前趋势,主要是在低纬度高寒地区,温度升高,高山冰雪融水补给降水,使得高寒植被逐步返青。

海拔每升高 1 km,EOG 推迟 7 d($R^2=0.7459, p<0.01$,图 4B)。在 2 km 以下,主要是一年两熟的农业植被,因此 EOG 变化相对平缓,植被生长周期相对较长。在 2 km 以上,海拔越高,EOG 越提前。

海拔每升高 1 km,SOG 缩短 5 d($R^2=0.2333, p<0.01$,图 4C)。海拔 2 km 以下为人类活动以种植农业为主,由于种植农作物不同,收割季节也不同,因此在这个海拔范围内植被物候 LOG 波动较大。在海拔 2~5 km,植被 LOG 逐渐缩短,而海拔 5 km 以上,主要分布在低纬度高寒地带植被的 SOG 提前。

地区海拔相对较高,植被以草地为主,说明高海拔地区草地返青时间主要在 4—5 月;图 3B 为西北植被 EOG 多年平均值空间分布,可以看出,55.24%的区域植被 EOG 出现在第 260~280 天,主要分布在海拔较高的地区,尤其在青海地区比较明显。而 29.46%地区植被 EOG 出现晚于第 280 天,主要分布在陕西省,且呈南北递增规律。陕南地区 EOG 推迟延长,甚至大于第 320 天。关中以南地区植被物候 EOG 出现推迟主要在 10 月左右,主要原因是该地区植被大部分属于一年两熟的农业植被,延长了植被物候 EOG。而秦岭以灌丛为主,植被物候周期较长,因此 EOG 出现推迟现象;海拔高,EOG 提前,农业植被和灌丛 EOG 出现要晚于草地;在高海拔地区(如青海省三江源地区),草地 LOG 较短,为 3~4 个月,而青海西南地区物候 LOG 较长,生长周期大概为 5 个月,说明在高寒植被周期相对较长。而在海拔较低的陕西和宁夏地区,植被物候 LOG 变化呈南北递减规律,主要原因:一方面是南北纬度温度呈下降趋势,另一方面是植被类型不同,一年两熟农作物生长周期要比草地植被长。

综合分析西北地区植被物候多年平均值特征,在海拔较高、山地地区主要以自然植被为主;在海拔较低、地势平坦、水资源丰富地区,主要以农业植被为主(小麦),有些地区以冬小麦为主,有些地区以春小麦为主,不同区域熟制也不同,有的一年一熟,有的一年两熟,有的两年三熟。因此,相对自然植被物候而言,农业植被物候 SOG 比较提前(如春小麦)、EOG 推迟(如冬小麦),LOG 延长(如一年两熟)。

3.2 西北植被物候年际变化特征

3.2.1 物候年际变化空间分布特征 SOG 提前 1~4 d 的占区域的 39%,主要分布在陕西以及甘肃南部地区(图 5A)。由于这些地区以种植农作物为主,加上全球温度升高,人们开始种植作物的时间提前。海拔较高的地区,温度相对较低,植被物候 SOG 推迟 1~2 d 的占区域面积的 28%,主要分布在青海等地。大部分地区 SOG 年际变化空间差异不显著(图 5D),只有少数地区植被物候提前和推迟,其中显著提前($p<$

0.05)的区域占整个研究区域的 4.31%,提前($0.05 < p < 0.2$)的区域占整个研究区域的 10.36%,无显著变化区域占整个研究区域的 78.31%;显著推迟($p < 0.05$)的区域占整个研究区域的 5.71%,推迟($0.05 < p < 0.2$)的区域占整个研究区域的 1.30%。整体来看,SOG 年际变化幅度较小,海拔较高地区略有推迟。

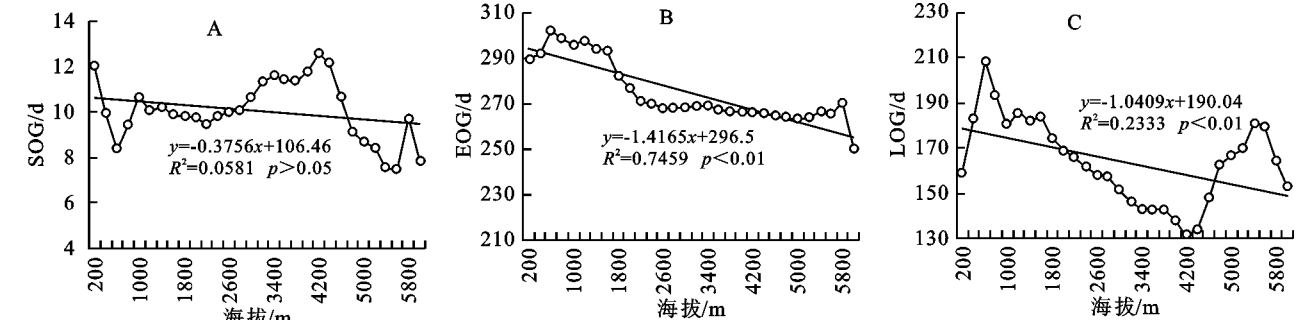


图 4 1999—2010 年西北植被物候多年平均值与海拔之间的关系

EOG 年际变化率呈东南向西北递减,EOG 年际变化率推迟区域明显大于提前区域(图 5B)。提前 1~2 d,占整个研究区域的 38.15%,分布在青海西南地区。EOG 推迟区占整个区域的 54.81%,主要分布在研究区的东部,尤其在陕南地区 EOG 出现推迟比较明显,主要是农作物一年两熟所致。EOG 显著推迟区域明显大于变化显著提前区域,推迟($p < 0.2$)区占整个研究区域的 15.48%,分布在黄河青海河段以及青海湖周边区域,提前($p < 0.2$)区只有 6.29%。EOG 年际无显著变化的区域占整个区域的 78.23%,主要分布在青海三江源地区。

41.03%的地区植被物候 LOG 缩短,其中缩短 1~4 d 的占整个研究区域的 34.18%,主要分布在青海

高原地区(图 5C)。LOG 增长 1~4 d 的占整个研究区域的 39.31%,主要分布在地表水资源丰富地区以及农业区。LOG 显著缩短区域相对较少,只有整个研究区域的 6.12%(图 5F)。LOG 显著增长占整个研究区域的 14.17%,主要分布在水资源丰富地区。大部分地区是无显著变化,占整个区域的 79.72%。整体来看,西北地区植被物候年际变化东部明显高于西部。

随着全球变暖,冰川融化加速,草原内陆湖泊面积增加,草地植被物候 SOG 提前,EOG 提前,LOG 变化不大,但草场植被增加的面积相对整个西北来讲较小,变化不明显,而整个研究区域的植被物候 SOG,EOG,LOG 变化不显著,面积要远远大于显著区域,整体来看,整个研究区域植被物候变化不显著。

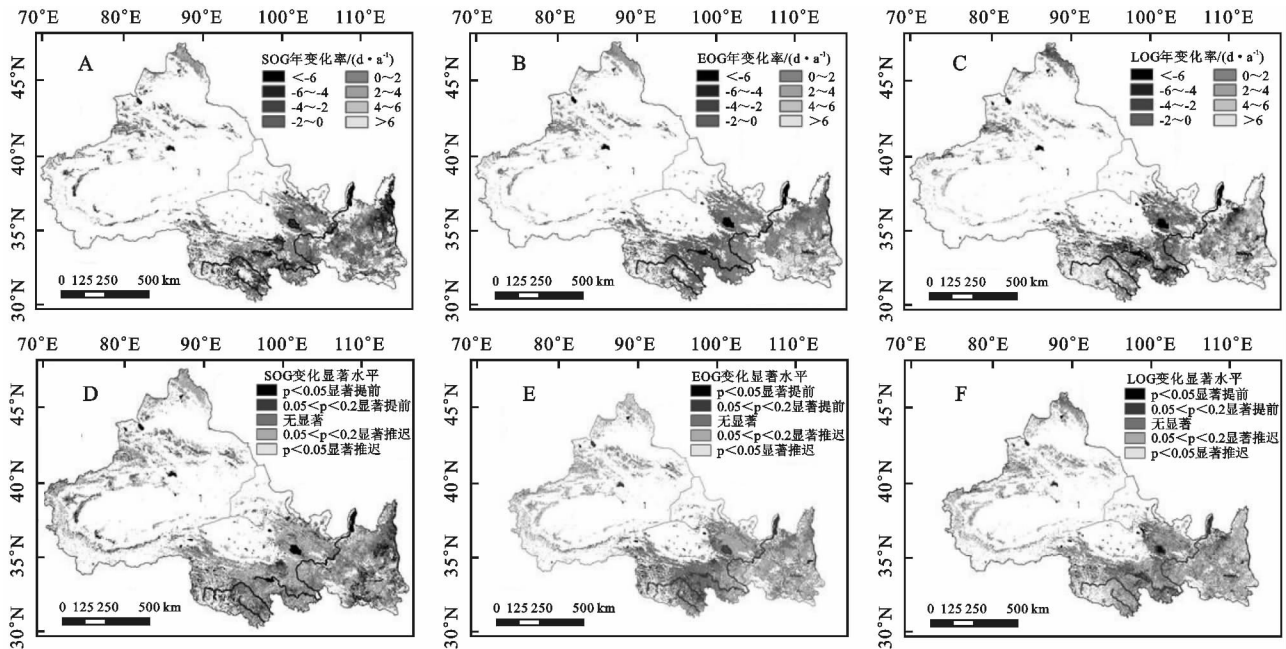


图 5 西北植被物候变化趋势的空间分布特征

3.2.2 西北植被物候年际变化随海拔的变化特征 如图 6A 所示,海拔 2 km 以下,SOG 变化波动较大,是人类活动区域,不确定因素较多;海拔 2~4 km,SOG 相对较平稳;全球变暖,在 4~6 km,SOG 出现提

前趋势,海拔高于 6 km 的高寒植被 SOG 出现推迟。

如图 6B 所示,海拔 2 km 以下,植被物候 EOG 推迟,主要是人类活动较频繁,植被类型以农作物为主,一年两熟;在 2~6 km,EOG 年际变化率随海拔增高而

减少,其中在 2~4 km,植被 EOG 变化率属于正值呈推迟趋势,只是推迟的趋势逐渐变小,而全球变暖,在 4~6 km,植被 EOG 变化率是负值,呈提前趋势,提前趋势逐渐增大。海拔超过 6 km,属于高寒植被,EOG

呈推迟趋势。如图 6C 所示,研究区植被 LOG 整体随海拔升高年际变化率逐步降低。海拔在 2 km,LOG 年际变化率波动较大,主要与人类种植农作物有关,在 2~6 km,LOG 年际变化率随海拔升高而降低。

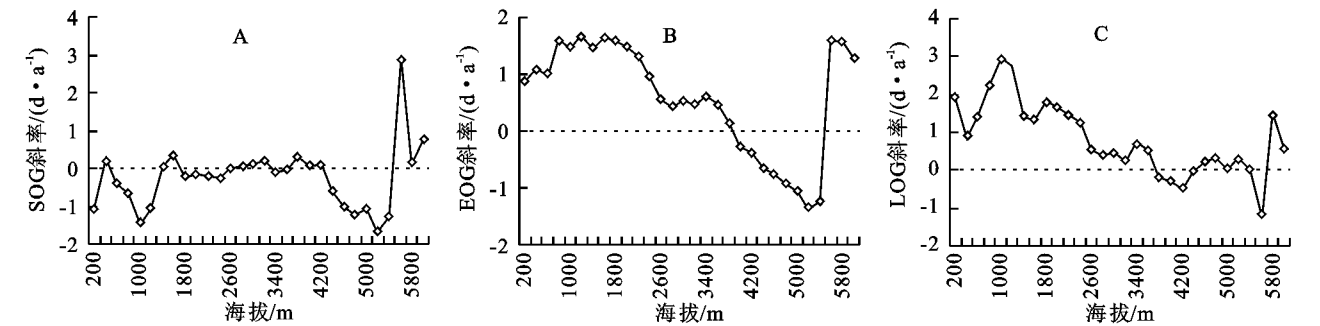


图 6 物候年际变化率在海拔上的分异特征

4 结论与讨论

海拔在 2 km 以下,陕西、宁夏以及甘肃南部地区人类活动频繁,植被类型以农业植被为主,物候 SOG 相对提前,EOG 推迟,LOG 延长。在海拔较高的青海地区,青海西南地区属于高寒,全球变暖、冰雪融化补给降水会使得植被物候 SOG 相对三江源有所提前。1999—2010 年西北植被物候东部 SOG 提前、EOG 推迟、LOG 延长,西部物候 SOG 逐步推迟、EOG 提前、LOG 缩短。一方面是从陕西到青海海拔不断上升,另一方面陕西一带农业区集中,青海地区主要以草地植被为主。

由于西北地区地形复杂,经纬跨度大,植被种类多,西北植被物候期变化波动较大。本文研究粗略得出研究区植被物候和经纬度、海拔以及人类种植作物有关。农业区植被物候变化波动较大,SOG 提前,EOG 推迟,LOG 延长;随海拔升高,植被物候 SOG 推迟,LOG 提前,LOG 缩短;从东南往西北,植被物候 SOG 逐渐推迟,EOG 提前,LOG 呈缩短趋势。

西北农业(小麦)种植,应结合当地气候和地形条件选种种植。甘肃和宁夏小麦生长主要靠黄河及祁连山雪水灌溉,种植制度应为一年一熟,3 月上旬播种,8 月上旬左右成熟。增产关键措施为修筑梯田,平整地面,防止水土流失,增施肥料,培肥地力。灌区渠系配套、防渗节约用水。陕北种植制度旱地可以为一年一熟,水浇地为一年两熟或者两年三熟。播期旱地为 9 月上、中旬,水浇地 9 月下旬。成熟期通常为 6 月中、下旬。应加强农田基本建设。搞好水土保持,兴修水利,增施肥料,选用耐旱耐瘠品种。精耕细种,划畦灌溉,增施肥料,均为有效的增产措施。

参考文献:

[1] 张学霞,葛全胜,郑景云.北京地区气候变化和植被的关

系:基于遥感数据和物候资料的分析[J].植物生态学报,2004,28(4):499-506.

[2] 陆佩玲,于强,贺庆棠.植物物候对气候变化的响应[J].生态学报,2006,26(3):923-929.

[3] Van Vliet A J H, de Groot R S, Bellens Y, et al. The European Phenology network[J]. Int. J. Biometeorol, 2003,47(4):202-212.

[4] White M A, Thornton P E, Running S W. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to inter-annual climatic variability[J]. Glob. Biogeochem. Cycles,1997,11:217-234.

[5] Chuine I. A unified model for budburst of trees[J]. Journal of Theoretical Biology,2000,207(3):337-347.

[6] 王连喜,陈怀亮,李琪,等.植物物候与气候研究进展[J].生态学报,2010,30(2):447-454.

[7] Menzel A. Phenology: It's importance to the global change community[J]. Clim Change,2002,54:379-385.

[8] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from1981—1991[J]. Nature,1997,386:698D701.

[9] 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.

[10] 陈效述,喻蓉.1982—1999 年我国东部暖温带植被生长季节的时空变化[J].地理学报,2007,62(1):41-51.

[11] 国志兴,张晓宁,王宗明,等.东北地区植物物候对气候变化的响应[J].生态学杂志,2010,29(3):578-585.

[12] Menzel A, Sparks T H, Estrella N, et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern[J]. Global Change Biology,2006,12(10):1969-1976.

[13] 韦振锋,任志远,张翀,等.西北地区植被覆盖变化及其与降水和气温的相关性[J].水土保持通报,2014,34(3):283-289.

[14] 郑景云,葛全胜,郝志新.气候增暖对我国近 40 年植物物候变化的影响[J].科学通报,2002,47(20):1582-1587.

- [15] 李荣平,周广胜. 1980—2005 年中国东北木本植物物候特征及其对气候的响应[J]. 生态学杂志, 2010, 29(12):2317-2326.
- [16] Piao S L, Cui M D, Chen A P, et al. Altitude and temperature dependence of change in the spring vegetation green-up date from 1982 to 2006 in the Qinghai-Xizang Plateau[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(12):1599-1608.
- [17] Yu H Y, Luedeling E, Xu J C. Winter and spring warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau[J]. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2010, 107(51):22151-22156.
- [18] Beck H E, McVicar T R, van Dijk A I J M, et al. Global evaluation of four AVHRR-NDVI data sets: Intercomparison and assessment against Landsat imagery [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(10): 2547-2563.
- [19] Goetz S J, Fiske G J, Bunn A G. Using satellite time-series data sets to analyze fire disturbance and forest recovery across Canada[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 101(3):352-365.
- [20] Malingreau J R. Global vegetation dynamics: Satellite observations over Asia[J]. Int J Remote Sens, 1986, 7: 1121-1146.
- [21] 侯英雨,王石立. 基于作物植被指数和温度的产量估算模型研究[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(3):105-107.
- [22] 辛景峰,宇振荣, Driessen P M. 利用 NOAA-NDVI 数据集监测冬小麦生育期的研究[J]. 遥感学报, 2001, 6(6):442-447.
- [23] Roerink G J, Menenti M, Verhoef W. Reconstructing cloud free NDVI composites using Fourier analysis of time series[J]. Int J Remote Sens, 2000, 21(9):1911-1917.
- [24] Shen M G, Tang Y H, Chen J, et al. Influences of temperature and precipitation before the growing season spring phenology in grasslands of the central and eastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Agri Forest Meteorol, 2011, 151(12):1711-1722.
- [25] Lloyd D A. Phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery[J]. Int. J. Remote Sens., 1990, 11:2269-2279.
- [26] Zhou L M, Tucker C J, Kaufmann R K, et al. Variation in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999[J]. J. Geophys Res., 2001, 106(D17):20069-20083.
- [27] Zhang X Y, Friedl M A, Schaaf C B, et al. Monitoring vegetation phenology using MODIS[J]. Remote Sens. Environ., 2003, 84:471-475.
- [28] 韦振锋,任志远,张翀,等. 1999—2010 年陕甘宁黄土高原区荒漠化空间特征[J]. 中国沙漠, 2014, 34(5):1230-1236.
- [29] Piao S L, Fang J Y, Zhou L M, et al. Variations in satellite-derived phenology in China's temperate vegetation[J]. Glob. Change Biol., 2006, 12:672-685.
- [30] Stckli R, Vidale P L. European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset[J]. Int. J. Remote Sens., 2004, 25:3303-3330.
- [31] Kaduk J, Heimann M A. Prognostic phenology scheme for global terrestrial carbon cycle models[J]. Clim. Res., 1996, 6:1-19.



(上接第 212 页)

- [20] 刘宇硕,秦翔,高思如,等. Landsat-5TM 影像在冰川面积信息提取中的精度评价[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2013, 41(12):209-219.
- [21] 王娟,姜卉芳,穆振侠. 高寒山区气温垂直分布的估测方法研究:以玛纳斯河为例[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(3):44-47.
- [22] 沈永平,苏宏超,王国亚,等. 新疆冰川、积雪对气候变化的响应(辑)[J]. 伊犁河, 2013, 2373(2022. 66):142. 1791.
- [23] 曾磊,杨太保,田洪阵. 近 40 年东帕米尔高原冰川变化及其对气候的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(5):144-150.
- [24] 刘燕,李小龙,胡安焱. 河川径流对降水变化的响应研究:以渭河为例[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1):49-52.
- [25] 王鹏祥,杨金虎. 中国西北近 45a 来极端高温事件及其对区域性增暖的响应[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4):649-656.
- [26] 李忠勤,沈永平,王飞腾,等. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川消融对气候变化的响应[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3):132-137.
- [27] Narama C, Kääb A, Duishonakunov M, et al. Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data[J]. Global and Planetary Change, 2010, 71(1):42-54.
- [28] 刘海隆,王玲,包安明,等. 基于 MODIS 的玛纳斯河流域冰川积雪覆盖变化特征的分析[J]. 石河子大学学报, 2009, 27(6):770-774.