

气象因子与地表植被生长相关性分析

徐兴奎, 林朝晖, 薛 峰, 曾庆存

(中国科学院大气物理研究所 国际气候和环境科学中心, 北京 100029)

摘要:降水和气温是影响地表植被覆盖状况的两个重要的气象要素, 地表植被的生长对它们的响应又存在一定的滞后效应。利用我国 334 个气象台站和 1982~1994 年 NOAA-AVHRR 卫星数据, 通过相关分析研究了我国 4~7 月份各气候区域降水和活动积温对地表植被的影响。结果显示, 不同的气候区域和月份, 降水和积温对地表植被的作用程度明显不同; 前期降水和活动积温对植被作用的有效时间尺度也分布不均, 并与土壤质地类型分布有关, 因此, 通过某一固定时间尺度的降水或活动积温不能准确的预测大区域地表植被的生长状况。

关键词:归一化的植被指数; 降水; 活动积温; 土壤质地

Correlation analysis between meteorological factors and the ratio of vegetation cover

XU Xing-Kui, LIN Zhao-Hui, XUE-Feng, ZENG Qing-Cun (ICCES, Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 221~230.

Abstract: Rainfall and temperature are two important factors that influence vegetation coverage over the land surface. The up-growth of vegetation lags behind rainfall and temperature in general. Due to their inhomogeneous distribution, the effect of rainfall and temperature on land surface vegetation cover differs distinctly. Some research results show that the time lag is 14 days, and suggested that the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) could be used as an index for the reconstruction of rainfall in some regions.

There are different climatic regions in China such as temperate zone, subtropical zone and tropical zone. The interactions between meteorological factors and vegetation in each climatic region are significantly different. Many factors such as the inhomogeneous distribution of rainfall and temperature, difference of vegetation types and soil textures play important roles in interactions. To develop advanced

基金项目:国家重点基础发展规划研究资助项目(G1998040900);国家自然科学基金资助项目(40105011, 49905004)

收稿日期:2001-08-23; **修订日期:**2002-04-20

作者简介:徐兴奎(1966~),男,黑龙江人,博士。主要从事遥感反演和陆面过程模式研究。E-mail:xkxu@lasp.iap.ac.cn

Foundation item: The National Key Fundamental Study Project (Grant No. G1998040900) and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 40105011, 49905004)

Received date: 2001-08-23; **Accepted date:** 2002-04-20

Biography: Xu Xing-Kui, Doctor. Mainly engaged in the remote sensing applications and land surface models. E-mail:xkxu@lasp.iap.ac.cn

Acknowledgements: The authors wish to thank the Distributed Active Archive Center (Code 902.2) at the Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, 20771, for producing the data in their present form and distributing them. The original data products were produced under the NOAA/NASA Pathfinder program, by a processing team headed by Ms. Mary James of the Goddard Global Change Data Center; and the science algorithms were established by the AVHRR Land Science Working Group, chaired by Dr. John Townshend of the University of Maryland. Goddard's contributions to these activities were sponsored by NASA's Mission to Planet Earth program

land surface feature models, these factors must be considered.

Based on the daily mean rainfall and total active temperature from 334 weather stations and NOAA-AVHRR data from NASA during the period from 1982 to 1994, the influence of rainfall and total active temperature on vegetation in China is analyzed from April to July through correlation analysis. The Atmospheric correction scheme of channel one and channel two follows the algorithm of Gordon. NDVI is composited by taking the maximum NDVI value from the daily data within 10 days, with spatial resolution of 8km×8km.

The maximum NDVI within a 10 day period is assumed to equal the NDVI of the tenth day. This assumption also corresponds to the character of vegetation growth. First, rainfall or temperature is added retrospectively day by day, and then the correlation coefficients are calculated. The final outputs are maximum correlation coefficients and accumulative number of days while maximum correlation coefficient occurs.

The result shows regional characters in each month. Vegetation does not grow in the north of China in April because of lower temperature. Correlation coefficient is low between NDVI and rainfall. Because winter wheat is growing then and rainfall is relatively lower. The regions with higher correlation are located basically in humid parts of the South Temperate Zone. In contrast, there is no evidence of higher correlation in the subtropics and tropics due to excessive rainfall and soil humidity although it is also being in the vegetation period. As temperature increases, the distribution of maximum correlation coefficients expends in May in northern China except for some regions with snow cover, where melting snow made soil much more humid; correlation in all other regions increases. At this time, the ripe winter wheat caused the correlation to decrease in the South Temperate Zone. Vegetation also does not depend on rainfall south of the Yangtze River because of overmuch rainfall. In June and July, vegetation demands much more rainfall in the middle part of the moist temperate zone, owing to up-growth. Cultivation of late autumn crops made vegetation more reliant on rainfall. In the middle and lower reaches of the Yangtze River, the advent of Meiyu results in no correlation between NDVI and rainfall.

The temporal plot shows that NDVI lags behind rainfall with quite apparent differences in climatic regions where correlation coefficients are higher than 0.3. In drought regions, since a little rainfall could change vegetation cover significantly, the time lags are less than that in other regions. In rainy regions, precipitation supplies continuously water for vegetation growth and results in relatively long time lags. In April in the southern humid temperate zone with higher correlation, total rainfall during 45~65 days is best relative to NDVI. That means vegetation will be further affected if the total precipitation over 45~65 days changes. In May, in the mid-variable zones and semi-drought regions, vegetation is very sensitive to rainfall. As a consequence, rainfall within 15~45 days is most important for vegetation. In June and July, soil moisture in northern China tends to be stable. So the days of rainfall are basically limited to 25~45.

The relation between NDVI and temperature is opposite to rainfall due to inverse-correlation between temperature and rainfall. In rainy seasons, rainfall becomes a main reason against the growth of plants, so correlation between NDVI and temperature is higher in general. Meanwhile, vegetation also demands much more accumulated temperature. In dry seasons, this kind of correlation is not evident.

The different soil textures and vegetation types cause uneven distribution of correlations between NDVI and rainfall or temperature. For rainfall, there are higher correlations between NDVI and rainfall in sandy texture regions, and lower correlations in the clayey texture regions. For temperature, there are lower correlations in sandy texture regions and lower correlations in clayey texture regions.

The above correlation analysis suggests that it is not appropriate to apply only rainfall or temperature

to predict the distribution of NDVI. Rather, a NDVI-predicting model with both temperature and the upper or lower limit of rainfall incorporated is more acceptable and more physically meaningful.

Key words: Normalized Difference Vegetation Index; rainfall; total active temperature; soil texture

文章编号:1000-0933(2003)02-0221-10 中图分类号:Q142,Q948.1 文献标识码:A

地表植被类型的空间分布是长期气候适应的结果,同时植被对气候又有一定的反馈作用。不同的植被群体,其地表能量的分配和转换机制不同,造成地气间水分和热量循环的强度分布不均。随着人类影响的日益加剧,农业用地取代自然植被,地表植被覆盖类型变化更加剧烈,引起区域气候环境的形成和变化^[1]。由于植被与气候之间的相互作用和相互适应,植被覆盖状况随时空变化极大,对气候的影响也较其它陆地覆盖类型显著^[2,3]。

我国各地区气候、植被类型和土壤质地等的分布差异,使NDVI与降水和积温的这种相关性强弱分布不均。尤其是植被的生长发育对降水量具有滞后性,前期降水对地表植被的影响非常重要^[4],这种滞后性又使各区域植被NDVI对降水的敏感程度差异很大,由此也造成积温出现与降水类似的情况。研究不同气候区域NDVI与降水和积温的这种关系,可以揭示前期降水和积温对地表植被的有效作用尺度,认识我国不同气候区域气象因子对地表植被的影响程度,这不但对研究区域干旱预测模型和建立NDVI与降水和积温的统计模型提供参考,同时,也可以更加深入的了解地气相互的作用的区域分布特征,为研究地表植被覆盖特征物理模式参数化方案提供理论依据。

1 NDVI与气象因子的关系

遥感观测为研究地表植被覆盖状况提供了大量的实时数据源,尤其是NOAA-AVHRR数据,其多年数据积累可以用来研究地表植被的时间变化状况^[5]。归一化的植被指数NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)是研究植被覆盖信息常用的一个参数,它是根据植被在第一(0.58~0.68um)和第二(0.725~1.10um)通道反射特性差异来反映下垫面覆盖和植被的动态变化信息,其不仅包含了气候因素对地表覆盖类型的影响,而且也包含了人类活动信息。NDVI与地表植被的覆盖率成正比关系,对于同一种植被,NDVI越大,说明地表植被的覆盖率越高,植被的长势越好。降水和气温是影响地表植被覆盖特征变化的两个主要的自然因素,降水量可以增加土壤湿度,为植被的生长提供水分,因此植被的NDVI与降水量呈正相关特征^[6~8],在一些干旱区域,可以通过植被的NDVI预测区域降水状况^[9]。与降水类似,气温代表了到达地表植被体的太阳辐射能强度,而太阳辐射能为植被的生长提供了必要的能量,因此气温与NDVI也应该呈现正相关特征,特别是对于那些降水非常充足的地区,降水量对植被的生长状况影响就会减弱,而这时气温会成为影响植被生长的主要因子。

2 数据资料及计算方法

2.1 数据资料

本文使用的NOAA-AVHRR数据采用NASA提供的8km×8km分辨率NDVI资料,时间从1982~1994年,每月以旬为单位,提供旬最大NDVI。在计算NDVI之前,NASA已经对计算NDVI所需的NOAA-AVHRR第一、第二通道数据进行了大气订正,NDVI也进行了角度订正,这样可以消除大气等因素的影响,使NDVI在空间尺度上具有可对比性,同时采用地面定标系统对1982~1994间的NOAA卫星系列产品进行了重新处理,以保证数据在时间尺度可以对比。

气象数据是我国地表气象台站的常规观测资料,时间从1982~1994年,共334个观测站,气温为日平均气温,降水量为日降水总量。

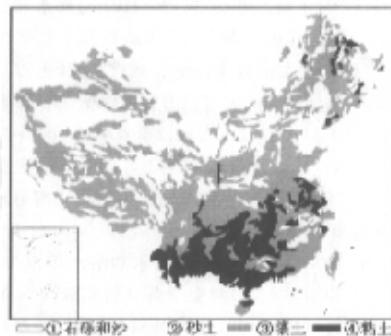


图1 土壤质地分布

Fig. 1 Distribution of the texturesoil

① Gravel; ② Sand; ③ Loam; ④ Clay

为了结果分析,本文使用了我国土壤质地和气候区划数据库,土壤质地分为石砾、沙、粗沙土、细沙土、面沙土、沙粉土、粉土、沙壤土、粘壤土、粉粘土、壤粘土、粘土等12种类型^[10],本文将其近似的归并为4种(图1),气候区划采用中国气象局的气候区划标准^[11](表1、图2)。

表1 中国气候区划

Table 1 Climatic region on the land-surface of China

I 北温带 North Temperate Zone	I ₁ 北温带湿润大区 Humid North Temperate Zone	I ₂ 中温带亚湿润大区 Sub-humid Mid Temperate Zone	I ₃ 中温带亚干旱大区 Sub-dry Mid Temperate Zone	I ₄ 中温带干旱大区 Dry Mid Temperate Zone
II 中温带 Mid Temperate Zone	II ₁ 中温带湿润大区 Humid Mid Temperate Zone	II ₂ 中温带亚湿润大区 Sub-humid South Temperate Zone	II ₃ 南温带亚湿润大区 Sub-humid South Temperate Zone	II ₄ 南温带亚干旱大区 Sub-dry South Temperate Zone
III 南温带 South Temperate Zone	III ₁ 南温带湿润大区 Humid South Temperate Zone	III ₂ 南温带亚湿润大区 Sub-humid South Temperate Zone	III ₃ 南温带亚干旱大区 Sub-dry South Temperate Zone	III ₄ 南温带干旱大区 Dry South Temperate Zone
IV 北亚热带 North Subtropic	IV ₁ 北亚热带湿润大区 Humid North Subtropic			
V 中亚热带 Mid Subtropic	V ₁ 中亚热带湿润大区 Humid Mid Subtropic	V ₂ 中亚热带亚湿润大区 Sub-humid Mid Subtropic		
VI 南亚热带 South Subtropic	VI ₁ 南亚热带湿润大区 Humid South Subtropic			
VII 北热带 North Tropic	VII ₁ 北热带湿润大区 Humid North Tropic	VII ₂ 北热带亚湿润大区 Sub-humid North Tropic	VII ₃ 北热带亚干旱大区 Sub-dry North Tropic	
VIII 中热带 Mid Tropic	VIII ₁ 中热带湿润大区 Sub-humid Mid Tropic			
IX 南热带 South Tropic	IX ₁ 南热带湿润大区 Humid South Tropic			
X 高原气候区 Plateau	X ₁ 高原南缘湿润大区 Humid South Plateau	X ₂ 高原亚湿润大区 Sub-humid South Plateau	X ₃ 高原亚干旱大区 Sub-dry South Plateau	X ₄ 高原干旱大区 Dry South Plateau

2.2 计算方法

应用统计相关方法,求取NDVI与降水和活动积温($>10^{\circ}\text{C}$)的相关系数,采用活动积温主要考虑在气温低于 10°C 时大多数植被生长减缓,这样可以更加有效地反映出气温对地表植被的影响程度。NDVI为某旬最大NDVI,这里假设地表植被覆盖率在10d中变化很小可以忽略,所以旬最大NDVI可以近似代表某旬末的NDVI,这种假设也与本文所研究月份大部分地区的植被生长规律符合。对于每一个点($13\text{年} \times 12\text{月} \times 3\text{旬} = 468$ 个样本,共334个点),降水和活动积温(即旬末的日降水和活动积温)对应于各自的旬最大NDVI,以天为单位将日降水和活动积温向前累加,每累加一天分别与旬末NDVI求相关,这样对每一个点可以得到一组相关系数,最终输出结果为本旬中最大相关系数和出现最大相关系数时日降水或活动积温累加的天数。结果中的最小负相关系数不作为研究的内容,因为

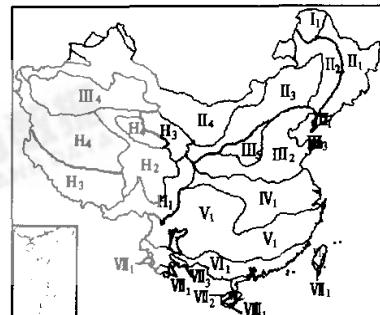


图2 中国气候区划
Fig. 2 Distribution of climatic region on the land-surface of China

当降水出现最小负相关时,有两种可能的意义,一是本地区降水过多,地表土壤湿度过高,影响植被生长;二是本地植被生长受人为因素影响,人为灌溉等弥补了降水不足,由于人为影响程度难以定量的评估,所以不作为本文的研究内容。

3 计算结果分析

3.1 累积降水的作用

我国南北横跨几个气候带,气候特征明显不同,只有在植被的生长季节,即活动积温大于某一数值时,NDVI 才与降水量呈相关特征。当降水量在植被生长发育所必须的极限附近波动时,地表植被的 NDVI 与降水量具有极好的正相关性;当降水量充分或地表没有植被覆盖时,这种相关性则并不显著。我国雨量分布的重要特点是东南多、西北少,从东南到西北递减^[12]。4月份,除华北地区以外,我国北方大部分地区气温较低,植被还未处于生长阶段,NDVI 与降水的相关系数分布普遍较低(图 3)。相关显著的区域(相关系数大于 0.3,置信度达到 95%)主要分布于我国南温带湿润大区(图 2)。4月份,这里是冬小麦生长季节,植被蒸腾作用较强,同时降水量相对较低(图 4),所以植被对降水极其敏感,相关系数较高。这时在我国亚热带与热带地区,虽然也是植被的生长季节,但这些区域在 4 月份已经进入多雨季节,地表土壤湿度较大,水分充足,植被的 NDVI 与降水的关系并不明显;5月份随着我国北方广大地区气温的普遍回升,最大相关系数的分布普遍增高,除北方的北温带和中温带的一些湿润和亚湿润大区由于冬季积雪的作用土壤湿度较大,造成相关不显著外,其它如中温带亚干旱大区、中温带干旱大区西部有植被覆盖区域相关系数增加。在南温带亚湿润大区正处于冬小麦成熟季节,植被的绿度下降,所以与降水的关系不显著。而长江以南地区从 5 月份开始就陆续进入雨季,最大降水量中心出现在华南沿海地区,降水已经不是制约这些地区植被生长的主要因素,相关系数也普遍较低。6、7 月份,随着植被的生长我国北方中温带湿润大区植被对降水的需求开始增加,同时由于雨带的不断北移,中温带干旱大区的东部植被也开始生长,对降水的需求进一步增加,这时的南温带亚湿润大区由于夏季作物的耕种和生长,对降水依然敏感。6、7 月份随着副高的北移,我国长江中下游地区普遍进入梅雨季节,降水量远远超过植被生长所需降水,NDVI 与降水量的关系也不显著。所

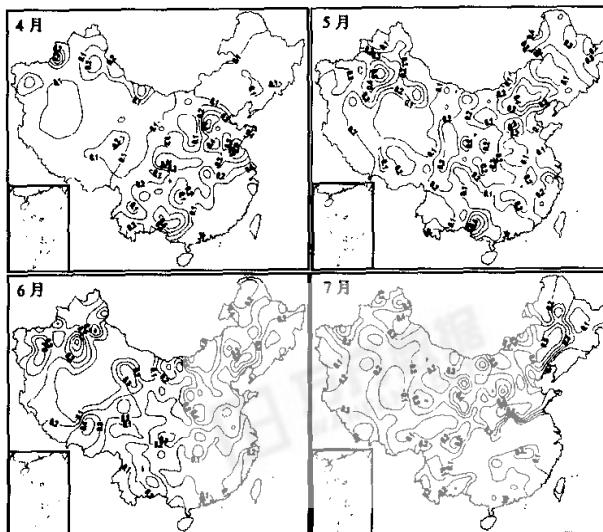


图 3 旬 NDVI 与前期总降水量的最大相关分布(4~7 月份)

Fig. 3 Maximum correlation between NDVI in a period of ten days and total precipitation in earlier stage
(Apr. ~ Jul.)

以, NDVI 与降水的关系既与所处的气候区域有关, 又与植被生长月份有关, 通过 NDVI 估算降水或通过降水预测植被长势, 在某些月份和某些区域可能较好, 但并不适合于大范围的区域。

对应于图 3 相关系数大于 0.3 的区域, 在不同月份和气候区域, NDVI 对降水的滞后时间尺度——敏感性也不同(图 5)。在较为干旱的区域, 一次降水就可能改变地表的植被覆盖状况, 因此出现最大相关系数

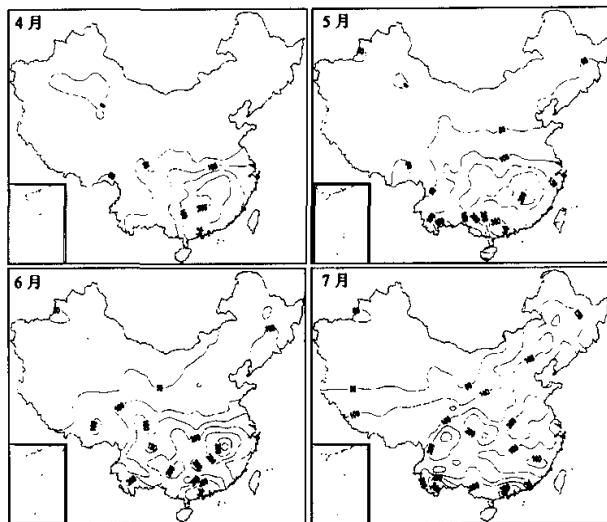


图 4 我国月平均降水分布(4~7月份)

Fig. 4 Distribution of the monthly mean precipitation(Apr. ~Jul.)

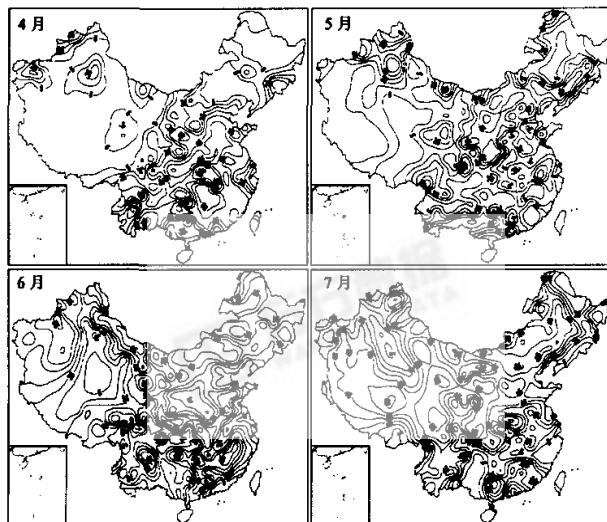


图 5 出现最大相关系数时前期降水量累计天数

Fig. 5 Accumulative total of days of precipitation in earlier stage occurring maximum correlation(Apr. ~Jul.)

的滞后时间比较短,而对于地表降水相对较多的湿润地区,部分降水渗入土壤,补充地下水储量,为植被的生长提供了连续的水分供应,所以滞后时间尺度相对较长。4月份在相关系数较高的南温带亚湿润大区,植被生长对降水基本滞后45~65d之间,即前期45~65d左右以内的降水总量变化直接影响到本区域植被的生长状况,对于农作物,这一时间之内的降水量直接影响到作物的产量。出现此结果的原因在于,这一时期本地区正是农作物生长发育季节,蒸发作用比较旺盛,所以土壤对植被的水分供应必须具有一定的可持续性,否则植被的生长会受到影响;5月份,在相关系数较高的中温带干旱和亚干旱大区,由于降水相对较少,植被对降水变得相对较为敏感,滞后时间尺度大多分布在15~45d之间。研究也表明^[15],在西北等干旱地区,一般大于10mm(或20mm)降水的间隔大于20d就会发生一定程度的干旱;6、7随着我国北方降水量不断增加,土壤湿度趋于稳定,这种滞后的尺度也逐渐变长,大多保持在25~45d之间,个别区域在45~65d以内。因此,无论是通过NDVI进行降水预报还是通过降水量预测植被的长势,不能单纯的以月或者旬为单位,要视各气候区域的气候特点、计算不同尺度的降水总量,这样才能建立较为精确的统计模型。

3.2 活动积温的作用

温度与降水一般呈反相关,当区域内降水较多时,到达地表的太阳辐射能相对减少,气温较低,这也势必影响到植被的生长状况。所以在4~7月份,NDVI与降水量相关系数较小的区域,NDVI与活动积温的相关系数就会变得较高,本文的计算结果很好地反映出这种关系(图6)。4月份,在我国北方地区,气温是影响植被生长的主要因素,所以NDVI与活动积温的关系比较密切,在亚热带和热带地区,由于降水充足,NDVI与活动积温的关系也非常显著,而在4月份与降水关系显著的区域,NDVI与活动积温的关系不显著。5月份这种关系更加明显,这时我国大部分地区植被的生长主要受气温的制约,唯一的例外是在南温带亚湿润大区和北亚热带湿润大区的东部,这里NDVI与积温的关系并不显著,原因在于这一时期这些区域冬小麦已经进入成熟季节,无论是降水还是积温对它们的作用都已经不大。6、7月份我国大部分地区都已经进入雨季,这时凡是降水较多、NDVI与降水关系不显著的区域,NDVI与积温的相关就会显著。

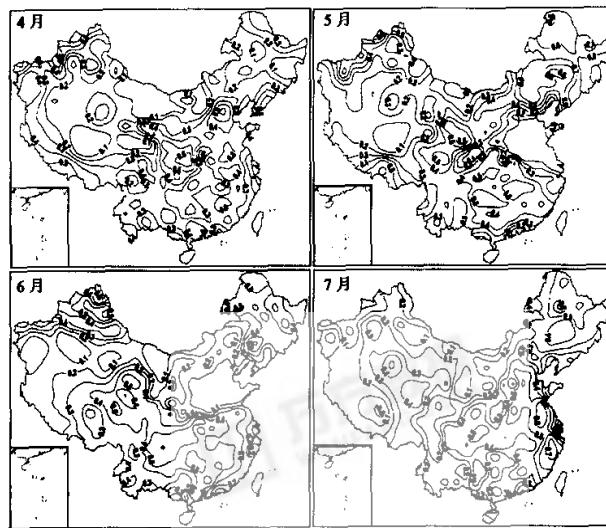


图6 我国地表NDVI与前期活动积温的最大相关分布(4~7月份)

Fig. 6 Maximum correlation between NDVI in a period of ten days and total active temperatures (Apr. ~ Jul.)

植被的生长状况需要一定的活动积温的累计,在降水充足时,在植被的整个生长周期中都会受积温的影响。与降水相似,植被对积温的敏感程度也是因所处的区域和月份不同而不同(图7),4月份在我国北温

带、中温带和高原气候区，气温正处于回升时期，地表植被也刚刚开始萌生，植被生长对活动积温的要求较高，在相关系数大于0.3的区域，前期活动积温的累计天数都在15~25d之间；5、6、7月份，随着我国广大地区植被的生长，我国南北地区对积温的敏感性也出现了显著的差异，在北部地区，前期活动积温的累计天数较长，这一方面是因为降水量适合于植被的生长，积温成为影响植被生长的主要因素，另一方面由于我国北方地区气温本身就较低，前期积温直接影响植被的生长；在我国南部地区，这一时期基本进入雨季，日照时数减少，从而反映出NDVI对积温变得非常敏感，最大相关系数基本出现在前期5~25d之间，这说明5~7月份积温是影响我国南方植被生长的主要因素。

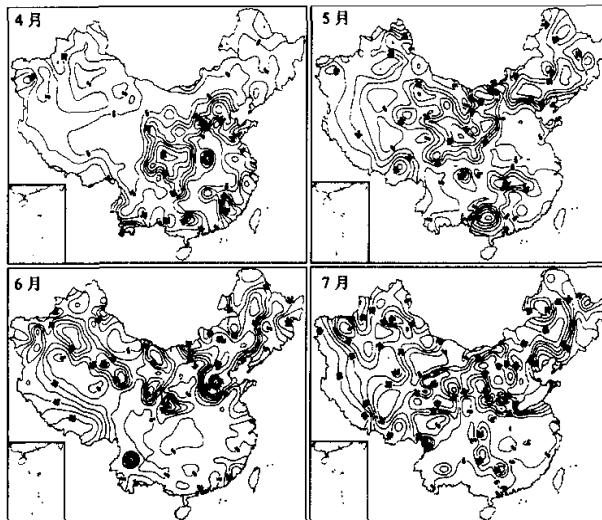


图7 出现最大相关系数时前期活动积温累计天数

Fig. 7 Accumulative total of days of total active temperatures in earlier stage occurring maximum correlation (Apr. ~ Jul.)

3.3 土壤质地对植被生长的影响

同一纬度带或同一气候区域，降水量和活动积温对植被具有不同程度的影响，这除了与植被类型有关外，土壤质地也是一项重要的影响因素。土壤质地的不同，其土壤物理特性具有很大的差异^[14]。石砾和沙覆盖地区、地表以裸露的山石和沙漠为主，基本无植被覆盖；土壤质地为砂土地区，土粒粗，粒间空隙大，毛管作用弱，故通气性好，透水性强，而水土保持的能力很差，土壤容易产生旱象，砂土含水量少，热容量较小，土温易升易降；土壤质地为粘土地区：土粒很细、粒间孔隙很小，毛管作用强，故通气性不良，透水性差，但保水、抗旱力较强，粘土蓄水多，热容量较大，土温变化缓慢，早春土温上升很慢，作物出苗慢，故有冷土和凉土之称；土壤质地为壤土地区，具有砂土和粘土之优点，既有一定量的大孔隙，也有相当多的毛管孔隙，保水力强，土温比较稳定。

对照图1~图5与我国土壤质地分布，NDVI与降水和温度的相关系数及出现最大相关系数的天数与土壤质地具有一致性。在NDVI与降水相关系数最大的区域，土壤质地基本上以砂土为主，在云南和广西南部小范围砂土区域，植被与降水的关系明显比周围其它土壤质地的植被显著，在粘土分布的区域，无论南北，相关系数都不显著，而壤土区域则介于两者之间。由NDVI对降水的敏感程度来看，最敏感的地区都为砂土。NDVI与积温的相关系数分布与土壤特征也有密切的关系，在植被的生长季节，最大相关系数基本出现在粘土分布区域，在砂土为主的区域，这种相关变得不显著。同样，对温度的敏感程度也以粘土分布区域为最，在砂土和壤土区域，这种敏感性则相对减小。

4 结论

利用1982~1994年期间的NOAA-AVHRR数据和地面气象台站数据,分析了在我国不同气候区域降水和活动积温对地表植被覆盖状况的影响,主要结论如下:

(1) 地表植被的生长状况和降水、积温的关系与我国气候区域的分布密切相关,在不同的月份,两者对地表植被的影响程度不同,当通过前期降水和积温预测地表植被的生长状况时,要根据当地的气候特点选择主要作用因子。

(2) 前期降水和活动积温影响植被的有效时间尺度在不同的气候区域和月份是不同的,总的来说这种时间尺度分布基本呈现无规律分布,因此通过月、旬降水或积温来预测地表植被的生长状况效果不一定最好,需要根据本地的数据分析结果建立关系。

(3) 土壤物理特性也是影响植被对降水和积温响应程度的因素,在砂土分布区域,NDVI与降水关系显著,并且较为敏感,在粘土分布区域,这种关系并不显著。与此相反,在砂土分布区域,NDVI与积温关系并不显著,而在粘土分布区域则相对较为显著。

在计算过程中,本文也作了一些假设,另外在分析过程中也回避了一些问题,主要集中在:

(1) 以旬最大NDVI代替旬末NDVI。对于植被的生长季节以及大多数自然植被这种假设是成立的,但对于一些农业作物,在进入成熟季节后,这种假设就会产生偏差。但考虑到我国大部分地区农业耕作习惯基本不变,这种误差对结果的分析以及结论影响极小。

(2) 在分析的区域,植被的类型差异、植被的人为更换和灌溉等都是影响最大相关系数分布的因素,而这些影响因素又很难消除,这对结果势必造成一些偏差。但从气候的角度而言,研究的是我国气候因子对地表植被作用的主要特征,所以上述问题不会影响本文所得出的结论。

References

- [1] Yan Z W, Wei H L. A comparative study of the impact of agriculture on July climate in China between the present and the Little Ice Age. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(4):323~328.
- [2] Zhou S Q, Chen W L, Wang G L. Experiments on summer climatic effects of Qing-Zang plateau vegetative cover part I: Model, Effect on precipitation and streamline field. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 1997, 20(2):158~163.
- [3] Li Y A, Huang F X G. Influences of improved surface parameters on T106 model. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2000, 1(1):62~70.
- [4] Shinoda M. Seasonal Phase Lag Between Rainfall and Vegetation Activity in Tropical Africa As Revealed by NOAA Satellite Data. *International Journal of Climatology*, 1995, 15(6):639~656.
- [5] Justice C O, Dugdale G, Townshend J R G, et al. Synergism between NOAA-AVHRR and meteosat data for studying vegetation development in semi-arid West Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 1991, 12:1349~1368.
- [6] Nicholson S E and Farrar T J. The Influence of Soil Type On the Relationship Between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Botswana. I. NDVI response to rainfall. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 50:107~120.
- [7] Malo A R and Nicholson S E. A study of the rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using the normalized difference vegetation index. *Journal of Arid Environments*, 1990, 19:1~24.
- [8] William T H and Graham Thomas. Modelling NDVI from decadal rainfall data in the North east arid zone of Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 1996, 48:249~261.
- [9] Grist J, Nicholson S E and Mpolokang A. On the Use of NDVI For Estimating Rainfall in the Kalahari of Botswana. *Journal of Arid Environments*, 1997, 35:194~214.
- [10] Chinese Academy of Sciences, The Commission for Integrated Survey of Natural Resources. *Handbook of China Natural Resources*, Science Press, 1990.
- [11] Compilation of China Natural Geography. China Cartographic Publishing House, 1984.

- [12] Zhang J C. A Series of Climate For China, China Meteorology Press, 1991.
- [13] Bai Z H, Xu G C. Climate For China Northwest. China Meteorology Press, 1991.
- [14] Nanjing University *et al.* Agrology and Agrogeography. The People's Education Press, 1980.

参考文献

- [1] 严中伟, 魏和林. 农业对小冰期和现代我国七月气候的影响模拟. 自然资源学报, 1999, 14(4): 323~328.
- [2] 周锁铨, 陈万隆, 王革丽. 夏季我国高原植被气候效应的数值研究 I: 模式及降水、流场的效应. 南京气象学院学报, 1997, 20(2): 158~163.
- [3] 李月安, 皇甫雪官. 地表参数对 T106 模式预报的影响. 应用气象学报, 2000, 1(1), 62~70.
- [10] 中国科学院国家计划委员会自然资源综合考察委员会. 中国自然资源手册, 科学出版社, 1990 年.
- [11] 中国自然地理图集. 北京: 地图出版社, 1984 年.
- [12] 张家诚. 中国气候总论. 北京: 气象出版社, 1991 年.
- [13] 白肇华, 徐国昌等. 中国西北天气. 北京: 气象出版社, 1991 年.
- [14] 土壤学基础与土壤地理学. 北京: 人民教育出版社, 1980 年.

《生态学报》荣获“第二届国家期刊奖百种重点科技期刊”等奖

《生态学报》荣获第二届国家期刊奖百种重点科技期刊奖。荣获第三届中国科协优秀期刊二等奖。

根据中国科技信息研究所信息分析中心 2002 年的《中国科技期刊引证报告》最新统计数据分析结果,《生态学报》2001 年影响因子为 0.911, 总被引频次为 1207 次, 指标综合加权评分为 84.678 分, 荣获“百种中国杰出学术期刊”称号。

《生态学报》2003 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的综合性学术刊物, 创刊于 1981 年。主要报道动物生态、植物生态、微生物生态、农业生态、森林生态、草地生态、土壤生态、海洋生态、淡水生态、景观生态、区域生态、化学生态、污染生态、经济生态、系统生态、城市生态、人类生态等生态学各领域的学术论文; 特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章; 原创性研究报告和研究简报; 生态学新理论、新方法、新技术介绍; 新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。为促进学术、科研信息的交流, 欢迎踊跃投稿。

《生态学报》为月刊, 2003 年每期 176 页, 信息容量约 36 万字。期定价 36 元, 年定价 432 元。全国各地邮局均可订阅, 望广大读者互相转告, 以便及时订阅。

地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号《生态学报》编辑部

电话: (010) 62941099

E-mail: Shengtaixuebao@sina.com 或 Shengtaixuebao@mail.rcees.ac.cn

本刊国内邮发代号: 82-7, 国外邮发代号: M670, 标准刊号: ISSN1000-0933
CN11-2031/Q

欢迎订阅! 欢迎投稿! 欢迎刊登广告!

