

1983~1992年中国陆地NDVI变化的气候因子驱动分析

陈云浩 李晓兵 史培军

(北京师范大学资源科学研究所, 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要 利用1983~1992年NOAA/AVHRR逐月的归一化植被指数(NDVI)资料和中国国家气象局全国160个基本标准气象站的月均温和降雨数据, 探讨气温、降水对中国植被NDVI动态变化驱动作用。首先计算了NDVI与气温、降水偏相关和复相关系数, 研究了我国植被NDVI变化的气候因子驱动的区域分异规律。并据此, 对中国植被NDVI变化的气候因子驱动进行了分区, 共分出4个一级区, 6个二级区和14个三级区, 进一步表明了中国植被NDVI变化气候因子驱动的区域差异。

关键词 NDVI变化 气温 降水 区域分异

VARIATION IN NDVI DRIVEN BY CLIMATE FACTORS ACROSS CHINA, 1983—1992

CHEN Yun-Hao LI Xiao-Bing and SHI Pei-Jun

(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education,

Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract Monthly digital NOAA/AVHRR NDVI images with 8 km spatial resolution and monthly temperature and precipitation data were obtained for 160 standard observatories across China from 1983 to 1992. The relationships among these factors were analyzed for trends, and rules for the regional distribution of variation in NDVI based on the correlation between NDVI with temperature and precipitation were developed. The scheme of regionalization of NDVI change by climate factors developed includes 4 first-class regions, 6 second-class regions and 14 third-class regions, and clearly indicates regional variation in NDVI in China.

Key words NDVI change, Temperature, Precipitation, Regional distribution

气候变化被认为是引发地表覆盖变化的主要原因之一(Lambin & Strahler, 1994), 加之地表NDVI在一定程度上能代表地表覆盖变化, 因而针对气候与NDVI关系的研究在全球变化研究中占有举足轻重的地位。Nicholson和Farrar(1994)证实了在非洲波兹瓦纳地区, 当降水量小于 $500 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 或 $50 \sim 100 \text{ mm} \cdot \text{month}^{-1}$ 时, NDVI与降水呈线性相关。Li和Kafatos(2000)通过对时序遥感资料的主成分分析和小波分析, 研究了NDVI变化对El Nino现象的响应关系。Fu(1999)研究了我国东部季

风区植被生长对气候年际变动的响应在纬向上的差异。李晓兵等(2000)和孙红雨等(1998)选择中国典型植被类型或典型样带, 对NDVI动态变化与气温、降水变化的敏感性进行了分析。

以上研究加深了对NDVI变化规律的理解, 然而如何进一步分析地表NDVI的变化机制是深入理解NDVI变化的要求。利用较长时间序列(1983~1992)的NOAA/AVHRR逐月的归一化植被指数(NDVI)资料和月均温和降雨数据, 探讨气温、降水对中国植被NDVI动态变化的驱动作用, 探讨区

分引起其变化的气候因子驱动及其区域规律是本文的目的。无论从对陆地生态系统变化过程的监测,还是从动态反映地表覆盖区域分异规律,还是制定可持续发展规划与国土整治区划,开展全国地表植被 NDVI 变化的气候因子驱动分异规律研究都是十分有益的。

1 资料来源

1.1 遥感数据

研究所利用的遥感数据为 Pathfinder NOAA/AVHRR 的“准 10 天”合成的陆地表面 NDVI 数字影像,来自美国地球资源观测系统(Earth Resource Observation System)数据中心。图像空间分辨率为 $8\text{ km} \times 8\text{ km}$,时间分辨率为月,时间序列为 1983 年 12 月至 1992 年 12 月。该数据集已经经过大气校正、云检验和质量控制等。图像处理主要包括图像配准和每月 NDVI 最大化处理 MVC(Maximum value composites),即图像中每一像元用该月的最大 NDVI 值代替,该处理的目的是为了减少大气的云、颗粒、阴影、视角以及太阳高度角的影响(Brent, 1986)。

$$NDVI_i = \max\{NDVI_j\} \quad (1)$$

其中, $i=1, 2, \dots, 12$, 表示月份。 $j=1, 2, \dots, 30$, 表示日期。

1.2 气象数据

传统的气候指标网格化方法是将以离散点形式存在的气候指标进行空间插值,直接生成一定栅格大小、一定行列数的栅格图像,如 Kriging 方法。这种方法的缺点是只考虑了离散点的信息,而忽略了地理现象本身的区域和地带性特征。

地理量随空间的变化可以分解为两部分:大尺度的区域变化和小尺度的局部变化。大尺度的区域变化反映某个地理量的变化趋势,又称为趋势变化,它主要受大范围的系统因素控制。求出趋势面方程可把大范围趋势变化和局部变化分开,有利于该地理问题的进一步研究和解决。

设气温、降水在区域分布可用一次趋势面方程进行表示,即

$$P_{ij} = a_{ij} + b_{ij}La + c_{ij}Lo + d_{ij}A \quad (2)$$

$$T_{ij} = a_{ij} + b_{ij}La + c_{ij}Lo + d_{ij}A \quad (3)$$

式中, P_{ij} 为降水(mm), T_{ij} 为气温($^{\circ}\text{C}$), La 为经度($^{\circ}$), Lo 为纬度($^{\circ}$), A 为海拔(m)。 $i=1983\sim 1992$, $j=1\sim 12$ 。

利用研究区内的气象站数据,采用逐步回归方法,求出系数 a_{ij} 、 b_{ij} 、 c_{ij} 和 d_{ij} ,从而分别建立 1983~1992 年逐月的降雨量、气温和经纬度及海拔的趋势面方程。利用上述方程和中国国家气象局的全国 160 个基本标准气象站的月均温和降雨资料,即可计算出月降水和气温的数字图象。

2 计算方法

为了描述 NDVI 与气温和降水的相关关系,选择偏相关系数和复相关系数作为量化指标。

2.1 数据处理

由于 NDVI 与气温和降水的值域区间相差较大,为了避免大值对小值的掩盖,首先对原始数据进行标准化处理。所谓标准化处理即产生数据集:

$$\{X_j | X_j = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}\} \quad (4)$$

其中, X_j : 标准化后数据; X_i : 原始数据; 均值 $\bar{X} =$

$\sum_{i=1}^n X_i/n$; 均方差 $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)}$ 。该数据集是均值为 0, 均方差为 σ 的正态分布。

2.2 计算指标

2.2.1 偏相关系数

地理要素之间的相关分析是为了揭示要素间相互关系的密切程度。在多要素地理系统中,研究某一个要素对另一个要素的影响,可暂不考虑其它要素的影响,用偏相关来表示两要素间的相关程度。度量偏相关程度的统计量,称为偏相关系数(徐建华, 1994)。为了计算偏相关系数,首先计算相关系数。相关系数:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (5)$$

其中, r_{xy} 为变量 x 与 y 的相关系数; n 为样本数; \bar{X} 为变量 x 的均值; \bar{Y} 为变量 y 的均值。

偏相关系数:

$$r_{xy \cdot z} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} \quad (6)$$

其中, r_{xy} 、 r_{xz} 、 r_{yz} 分别表示变量 x 与变量 y 、变量 x 与变量 z 和变量 y 与变量 z 的相关系数。 $r_{xy \cdot z}$ 为将变量 z 固定后变量 x 与变量 y 的偏相关系数。

偏相关系数的显著性检验, 一般采用 t -检验法。其统计量计算公式为:

$$t = \frac{r_{xy \cdot z}}{\sqrt{1 - r_{xy \cdot z}^2}} \sqrt{n - m - 1} \quad (7)$$

式中, $r_{xy \cdot z}$ 为偏相关系数, n 为样本数, m 为自由度个数。

2.2.2 复相关系数

研究几个要素与某一个要素间的相关关系可用复相关分析法。设 x 为因变量, y, z 为自变量, 将 x 与 y, z 间的复相关系数记为 $r_{x \cdot yz}$, 其计算公式为:

$$r_{x \cdot yz} = \sqrt{1 - (1 - r_{xy}^2)(1 - r_{xz}^2)} \quad (8)$$

复相关系数的显著性检验, 采用 F -检验法。其统计量计算公式为:

$$F = \frac{r_{x \cdot yz}^2}{1 - r_{x \cdot yz}^2} \times \frac{n - k - 1}{k} \quad (9)$$

式中, $r_{x \cdot yz}$ 为复相关系数, n 为样本数, k 为自变量个数。

3 结果分析

利用上述公式, 可分别对全国 $NDVI$ 与气温和降水的偏相关系数和复相关系数进行计算。

3.1 $NDVI$ 与气温相关分析

通过对 $NDVI$ 与气温偏相关分析可以发现, 在我国“第一级阶梯”东部沿海湿润平原地区(以珠江三角洲为代表), 影响地表 $NDVI$ 变化的主要驱动因子是气温。原因在于该地区降水较丰富, 可以满足植被生长的需要, 而热量的差异则成为驱动 $NDVI$ 变化的主导因素。为了进一步分析 $NDVI$ 与气温的偏相关的差异, 可取典型地区: 华南平原、华北平原和东北平原, 考察其区域 $NDVI$ 值与气温的偏相关关系的统计差异特征, 具体见表 1。

在我国东部沿海湿润平原地区, 沿同一经度线从南向北, 气温是影响 $NDVI$ 变化的主要驱动因子, 但其影响程度随纬度的升高而降低。另外, 新疆西部地区, 虽常年降水稀少, 但该地区主要依靠高山雪水, 水量也较为充分, 从而气温变化成为主导该地区地表 $NDVI$ 变化的影响因子。

表 1 典型地区 $NDVI$ 与气温(T)的偏相关关系

	$r_{NDVI \text{ 气温} \cdot \text{降水}}$ $r_{NDVI \cdot T \cdot P}$	平均 $r_{NDVI \text{ 降水} \cdot \text{气温}}$ Average $r_{NDVI \cdot P \cdot T}$
华南平原 Huanan plain	0.916~ 0.708	-0.104
华北平原 Huabei plain	0.726~ 0.363	0.351
东北平原 Dongbei plain	0.346~-0.134	0.608

3.2 $NDVI$ 与降水相关分析

通过对 $NDVI$ 与降水偏相关分析可以发现, 由降水起主导驱动的地区包括: 东北地区, 内蒙古东部和青藏高原的大部分地区。在我国北方, 对于同一条纬度带上, 由于热量条件相似, 因而热量对地表 $NDVI$ 变化的影响大体相当。降水对 $NDVI$ 变化的作用具有纬度地带性特点, 其典型区为我国内蒙古地区, 从东向西, 地表覆盖依次分布为森林、森林草原、典型草原、荒漠草原和荒漠。为了进一步分析 $NDVI$ 与降水偏相关的区域差异, 考察该地区森林、森林草原、典型草原、荒漠草原和荒漠等不同植被覆盖区, 其区域 $NDVI$ 值与气温的偏相关关系的差异特征, 具体见表 2。

表 2 典型地区 $NDVI$ 与降水的偏相关关系

	$r_{NDVI \text{ 降水} \cdot \text{气温}}$ $r_{NDVI \cdot P \cdot T}$	平均 $r_{NDVI \text{ 气温} \cdot \text{降水}}$ Average $r_{NDVI \cdot T \cdot P}$
森林 Forest	0.914~ 0.803	0.351
森林草原 Forest steppe	0.733~ 0.402	0.195
典型草原 Typical steppe	0.734~ 0.563	0.243
荒漠草原 Desert steppe	0.627~ 0.436	0.138
荒漠 Desert	0.254~-0.225	0.280

在这些地区降水量成为影响地表 $NDVI$ 变化的重要因子, 尤其在半干旱地区(农牧交错带)降水对 $NDVI$ 变化、对地区生态环境的影响更大。

3.3 $NDVI$ 与气温、降水相关分析

通过对 $NDVI$ 与降水偏相关分析可以, 气温降水对 $NDVI$ 变化的共同驱动作用。通过比较可发现: 受气温、降水共同驱动的区域, 除包含受气温和受降水驱动区域外, 还包括塔里木盆地等地区。这表明在极端干旱条件下, 单一因子(气温或降水)对 $NDVI$ 变化的影响均不够显著, 只有气温和降水的共同作用才会对该地区 $NDVI$ 的变化起驱动作用。

4 $NDVI$ 变化的气候因子驱动分区

根据以上分析发现, 我国地表 $NDVI$ 变化的气

表 4 中国地表 NDVI 变化的气候因子驱动分区
Table 4 Regionalization unit system of NDVI change driven by climate factors in China

一级区 First-class region	二级区 Second-class region	三级区 Third-class region
气温驱动区 Change driven by temperature	东部气温驱动区 Change intensities driven by temperature in east China region	辽东丘陵山地弱气温驱动亚区 Low change subregion driven by temperature in Liaodong hills
		淮北平原、胶东半岛较弱气温驱动亚区 Low change subregion driven by temperature in Huaibei plain and Jiaodong peninsula 秦巴山地中气温驱动亚区 Medium change subregion driven by temperature in Qin-Ba mountains 华中、华南平原强气温驱动亚区 High change subregion driven by temperature in central China and south China plains 台湾山地中气温驱动亚区 Medium change subregion driven by temperature in mountains of Taiwan region 海南中气温驱动亚区 Medium change subregion driven by temperature in Hainan region
降水驱动区 Change driven by precipitation	江淮地区强降水驱动区 High change intensities driven by precipitation in Jianghuai region	青藏高原中西部弱降水驱动亚区 Low change subregion driven by precipitation in west of Tibet plateau
	东北、东蒙强降水驱动区 High change intensities driven by precipitation in northeast China and east Inner Mongolia regions	藏东中降水驱动亚区 Medium change subregion driven by precipitation in central of Tibet plateau
	西南降水驱动区 Change intensities driven by precipitation in southwest China region	青藏高原东北缘、川北弱降水驱动亚区 Low change subregion driven by precipitation in northeast of Tibet plateau and north of Sichuan basin
	新疆西部中弱降水驱动区 Medium change intensities driven by precipitation in west of Xinjiang region	川南、云贵高原中降水驱动亚区 Medium change subregion driven by precipitation in south of Sichuan basin and Yungui plateau 阿尔泰山地、天山山脉地区中降水驱动亚区 Medium change subregion driven by precipitation in Altay and Tianshan mountains 天山南脉地区弱降水驱动亚区 Low change subregion driven by precipitation in south of Tianshan mountains
气温、降水驱动区 Change driven by temperature and precipitation	塔里木盆地、天山东部气温、降水驱动区 High change intensities driven by temperature and precipitation in Tarim basin and east of Tianshan mountains	塔里木盆地中气温、降水驱动亚区 Medium change subregion driven by temperature and precipitation in Tarim basin
非气候因子驱动区 Change driven by non-climate factors		准葛尔平原、阿拉善高原北缘弱气温、降水驱动亚区 Low change subregion driven by temperature and precipitation in Zhunqeer plain and Alaishan plateau

候因子驱动存在着明显的区域分异现象。如能对我国 *NDVI* 变化气候因子驱动进行分区,则可进一步概括 *NDVI* 在区域尺度上的变化规律。将 *NDVI* 变化的气候因子驱动区域分异规律作为指导分区的基本原则。在每一个区域中,首先保证每一个区域具有变化驱动特征的最大一致性;其次,根据变化驱动特征组合规律,进行区域的划分。同时根据自然分区的一般原则,保证区域的连续性和空间的不重复性。具体的分区步骤如下(表 3):

1) 计算出 *NDVI* 与降水、温度的偏相关系数, *NDVI* 与降水和温度的复相关系数。

2) 分别进行显著性检验(显著性水平为 0.01), 提取满足显著性检验的象元,二值化。

3) 满足复相关显著和 *NDVI* 与降水偏相关显著的象元定义为降水驱动型;满足复相关显著和 *NDVI* 与气温偏相关显著的象元定义为气温驱动型。

4) 满足复相关显著、*NDVI* 与降水偏相关不显著、*NDVI* 与温度偏相关不显著的象元定义为气温、降水驱动型。

5) 不满足复相关显著的象元定义为非气候因子驱动型。

在上述分区原则的指导下,制定了中国 *NDVI* 变化驱动特征分区方案(表 4)。共分 3 个等级:一级区 4 个,二级区 6 个,三级区 14 个。区域名称依据地区名+大地形+驱动特征来命名。

表 3 分区的准则

Table 3 The rules of regionalization

<i>NDVI</i> 变化类型 Types of <i>NDVI</i> change	准则 Rules		
	$r_{NDVI \text{降水} \cdot \text{气温}}$ $r_{NDVI P \cdot T}$	$r_{NDVI \text{气温} \cdot \text{降水}}$ $r_{NDVI T \cdot P}$	$r_{NDVI \text{气温} \cdot \text{降水}}$ $r_{NDVI T \cdot P}$
降水驱动型 Change driven by precipitation	$t > t_{0.01}$		$F > F_{0.01}$
气温驱动型 Change driven by temperature		$t > t_{0.01}$	$F > F_{0.01}$
气温、降水驱动型 Change driven by precipitation and temperature	$t < t_{0.01}$	$t < t_{0.01}$	$F > F_{0.01}$
非气候因子驱动型 Change driven by non-climate factors			$F < F_{0.01}$

5 结 论

本文计算了我国地表 *NDVI* 与月气温和月降水的相关关系,进而在探讨中国植被 *NDVI* 动态变

化气候因子驱动的区域分异规律的基础上,提出了分区方案。通过研究有以下认识:

1) 中国植被 *NDVI* 动态变化的驱动因子与强度存在明显的东南、西北分异。

2) 在自然地理分区的一般理论指导下,以区域分异规律作为分区的基本原则,以地表 *NDVI* 变化与气候因子的相关关系作为分区的指标,制定了 1983~1992 年中国地表 *NDVI* 变化的气候因子驱动分区方案,共分为 3 个等级,其中一级区 4 个,二级区 6 个,三级区 14 个。

3) 将 4 个一级区与常年降水量分布相印证可以发现,各气候因子驱动区与常年降水量存在一定的对应关系:气温驱动区主要对应于常年降水量大于 700 mm 东南地区及高山雪水较丰富的新疆西部地区;降水驱动区主要集中在 300~700 mm 降水等值线区域;气温、降水驱动区集中在年降水量小于 75 mm 的塔里木盆地及天山东部极端干旱地区。

参 考 文 献

- Brent, N. H. 1986. Characteristics of maximum-value composite image from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, **7**:1714~1734.
- Fu, C. & G. Wen. 1999. Variation of ecosystems over East Asia in association with seasonal interannual and decadal monsoon climate variability. *Climatic Change*, **43**:477~494.
- Lambin, E. F. & A. H. Strahler. 1994. Indicators of land-cover change for change-vector analysis in multitemporal space at coarse spatial scales. *International Journal of Remote Sensing*, **15**:2099~2119.
- Li, X. B. (李晓兵) & P. J. Shi (史培军). 2000. Sensitivity analysis of variation in *NDVI*, temperature and precipitation in typical vegetation types across China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24**:379~382. (in Chinese)
- Li, Z. T. & M. Kafatos. 2000. Interannual variability of vegetation in the United States and its relation to El Nino/Southern Oscillation. *Remote Sensing of Environment*, **71**:239~247.
- Nicholson, S. E. & T. J. Farrar. 1994. The influence of soil type on the relationship between *NDVI*, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana. *Remote Sensing of Environment*, **50**:107~120.
- Sun, H. Y. (孙红雨), C. Y. Wang (王长耀) & Z. Niu (牛铮). 1998. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between *NDVI* and environmental factor by using NOAA time series data. *Journal of Remote Sensing* (遥感学报), **2**:204~210. (in Chinese)
- Xu, J. H. (徐建华). 1994. The mathematic methods in modern geography. Beijing: China Higher Education Press. 10~18. (in Chinese)