

基于遥感的 NDVI 与气候关系图式研究

陈云浩 李晓兵 史培军

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

摘要 利用 1983~1992 年逐月的 NOAA/AVHRR 归一化植被指数(NDVI) 数字影像, 计算了中国 NDVI 动态变化与气温、降水变化的相关关系. 在此基础上, 分析了中国 NDVI 变化的区域分异规律. 其结果表明: 东北地区、内蒙东部以及青藏高原对降水的敏感度较高, 而广大的华南平原、黄淮地区和新疆西部对气温的敏感度较高. 我国陆地 NDVI 变化特征从东南到西北, 呈现不同驱动因子及强度, 且具有明显的地带状分布规律. 经研究表明中国 1983~1992 年间 NDVI 变化空间差异存在气温、降水、气温降水共同驱动等 3 种变化图式. 利用该图式可进一步表明中国 NDVI 变化气候驱动的区域差异规律.

关键词 NDVI 气温 降水 图式 遥感

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)04-0332-04

The Image Forms of Correlation Between NDVI Change and Climate Factors in China Using Remotely Sensed Data

CHEN Yun-hao, LI Xiao-bing, SHI Pei-jun

(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China,
Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract In this paper, the monthly digital NDVI image with 8×8km spatial resolution is used to study the correlation between NDVI change and climate factors, such as temperature and precipitation, and the rules for the regional distribution of NDVI change form 1983 to 1992 in China. It shows that the driving factor of land cover change in Northeast China, East of Inner Mongolia inland and Tibet plateau is precipitation, and the leading driving factor of most South China region (southeast monsoon), Huanghuai plain and West Xinjiang region is temperature. From southeast to northwest, it shows difference driving factors and influencing intensities and it can be found obvious strap regularity. Based on these results, it is pointed out that there are three image forms of NDVI change driven by climate in China (driven by temperature, driven by precipitation and driven by temperature-precipitation), and it indicates further the regional difference of NDVI change in China.

Keywords Normalized different vegetation index, Temperature, Precipitation, Image forms, Remote sensing

0 引言

陆地植被如何响应未来气候变化是科学界非常关心的问题^[1], 因而植被—气候关系研究已成为全球变化研究中极为重要的一环. 引发地表覆盖变化的主要原因为^[2]: 长期的气候变化; 地理或生态环境

变化(如土壤侵蚀、植被退化等); 人类活动驱动产物, 即由人类活动开发自然资源所进行的工业化、城市化和农业化过程引起的变化; 年季间的气候变化, 如降雨分布的差异、太阳辐射及植被物候的变动所引发的对生态敏感区域植被覆盖、NPP 及水循环的变化.

气候变化是地表覆盖变化的重要限制因子, 加

之植被变化在一定程度上能代表地表覆盖的变化, 在全球变化研究中有“指示器”的作用, 因而许多学者从 NDVI 着手来研究其与气候因子间的关系^[3,4]. 中国陆地植被在季风驱动下, 其变化特征具有典型的代表性和明显的区域特色, 在全球变化研究中占有重要地位. 随着近年对中国陆地植被变化研究的深入^[5], 人们逐渐认识了中国地球表层动态变化对气候因子的关系. 通过对中国典型植被类型和典型样带或区域的选择, 来研究 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性^[5,6]. 本文利用 1983~1992 年卫星遥感数据和我国标准气象台站的数据, 通过计算 NDVI 与气温、降水间的偏相关和复相关关系, 揭示了我国陆地 NDVI 变化所存在的气温、降水和气温降水驱动这 3 种变化图式, 研究结果有助于全面了解我国陆地植被对气候波动的响应和综合地理区划.

1 资料来源

遥感数据为美国地球资源观测系统 (Earth Resource Observation System: EROS) 数据中心的探路者数据库 (Pathfinder Data Sets) 所提供的 NOAA/AVHRR 的 NDVI 数字影像. NDVI 的定义为

$$NDVI = \frac{CH_1 - CH_2}{CH_1 + CH_2} \quad (1)$$

式中, CH_1 和 CH_2 分别为 AVHRR 的第 1 和第 2 通道反射率. 图象空间分辨率为 $8\text{km} \times 8\text{km}$, 时间分辨率为月, 时间序列为 1983 年 1 月至 1992 年 12 月. 该数据集已经经过大气校正、云检测和每月 NDVI 最大化处理 MVC (maximum value composites). 所谓 MVC 植被指数处理, 是指图象中每一像元用该月的最大 NDVI 值代替, 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^[7].

气象数据来自中国国家气象局的全国 160 个基本标准气象站的月均气温和降雨资料. 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, 直接生成一定大小、一定行列数的栅格图象, 较常用的是 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大尺度的区域

变化和小尺度的局部变化两部分. 其中, 大尺度的区域变化反映了某个地理量的变化趋势, 故又称为趋势变化, 它主要受大范围的系统因素控制. 通过求出趋势面方程可把大范围趋势变化和局部变化分开, 以有利于该地理问题的进一步研究和解决^[8].

假设气温、降水分布服从一次趋势面方程

$$\begin{aligned} P_{ij} &= a_{ij}b_{ij}L_a + c_{ij}L_o + d_{ij}A \\ T_{ij} &= a_{ij}b_{ij}L_a + c_{ij}L_o + d_{ij}A \end{aligned} \quad (2)$$

式中, L_a 为经度, L_o 为纬度, A 为海拔. $i = 1983 \sim 1992$, $j = 1 \sim 12$. P_{ij} 为降水; T_{ij} 为气温.

利用研究区内的气象站数据, 采用多元逐步回归方法, 求出系数 a_{ij} 、 b_{ij} 、 c_{ij} 、 d_{ij} , 分别建立 1983~1992 年逐月的降雨量和纬度、经度及海拔的相关公式. 在 GIS 支持下, 结合中国数字高程模型 (DEM), 利用式 (2) 求出各自的趋势面方程, 即可计算出降水和气温的数字图象.

2 计算指标

2.1 数据预处理

由于 NDVI 与气温和降水的值域区间相差较大, 因此为了避免大值对小值的掩盖, 需对原始数据进行标准化处理. 将原始的数据集标准化至 0.01~0.99 之间, 即

$$O = \frac{I - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \times (0.99 - 0.01) + 0.01 \quad (3)$$

式中, I 是原始数据, O 是标准化后数据, I_{\max} 和 I_{\min} 是该数据集中最大和最小值.

2.2 计算指标

为了定量揭示 NDVI 变化与气候因子的相关关系, 需选择能反映两者相关关系的指标, 然后分析指标值的变化规律, 以此揭示 NDVI 与气候因子相关的空间图式.

2.2.1 偏相关系数

进行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时, 可暂不考虑其他要素的影响. 两要素间的相关程度用偏相关来表示^[8]. 度量偏相关程度的统计量, 称为偏相关系数.

$$r_{xy \cdot z} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} \quad (4)$$

其中, $r_{xy \cdot z}$ 为将变量 z 固定后, 变量 x 与变量 y 的偏相关系数, r_{xy} 为变量 x 与变量 y 的相关系数:

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

其中, n 为样本数; \bar{X} 为变量 x 的均值; \bar{Y} 为变量 y 的均值; r_{xz} 、 r_{yz} 分别为 x 与 z 和 y 与 z 的相关系数。

偏相关系数的显著性检验, 一般采用 t -检验法, 其计算公式为

$$t = \frac{r_{xy \cdot z}}{\sqrt{1 - r_{xy \cdot z}^2}} \sqrt{n - m - 1} \quad (6)$$

式中, n 为样本数, m 为自由度个数。

2.2.2 复相关系数

可用复相关分析法研究几个要素与某一个要素间的相关关系。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

$$r_{x \cdot yz} = \sqrt{1 - (1 - r_{xy}^2)(1 - r_{xz \cdot y}^2)} \quad (7)$$

复相关系数的显著性检验, 采用 F -检验法, 其计算公式为

$$F = \frac{r_{x \cdot yz}}{1 - r_{x \cdot yz}^2} \times \frac{n - k - 1}{k} \quad (8)$$

式中, n 为样本数, k 为自变量个数。

3 结果分析

利用上述公式, 分别对全国连续 10 年的 NDVI 与气温和降水的偏相关系数和复相关系数进行计算, 其相关系数的大小映射为不同的色调, 以形成 NDVI 与气温偏相关图式(图版 I 图 1), NDVI 与降水偏相关图式(图版 I 图 2), NDVI 与气温降水复相关图式(图版 I 图 3)。

3.1 NDVI 与气温偏相关图式

根据我国陆地 NDVI 与气温相关程度的高低(图版 I 图 1), 将 NDVI 与气温偏相关关系分为以下 3 个等级:

(1) 第 1 等级为强相关区, 相关系数大于 0.82, 主要分布在华南平原等东部沿海湿润平原地区。影响 NDVI 变化的主要驱动因子是气温, 因为该地区降水丰富, 可以满足植被生长的需要, 而热量的差异则成为驱动植被覆盖变化的主导因素。

(2) 第 2 等级相关系数为 0.34~0.82, 主要分布在新疆西部地区。该地区虽常年降水稀少, 但因有高山雪水, 水量也较为充分, 气候变化成为了主导该

地区地表覆盖变化的影响因子。

(3) 第 3 等级相关系数为 0~0.34, 主要对应于黄淮地区, 该地区与华南平原相比, NDVI 与气温的相关关系有明显变化, 成阶梯状。其原因一方面是由于纬度的升高, 另一方面是由于该地区人类对土地的高强度开发利用。

在我国东部沿海湿润平原地区, 沿同一经度线从南向北, 气温是影响植被覆盖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, 西南地区 and 青藏高原受纬度、海拔的影响, 年内气温变化不大, 该地区 NDVI 与气温无明显的相关关系。

3.2 NDVI 与降水偏相关图式

从图版 I 图 2 可以看出, NDVI 与降水高度相关的地区主要有两大区域。一为包括东北, 内蒙东部以及华北北部等地区; 二为青藏高原大部及云贵高原部分地区。与常年的降水量相比发现, NDVI 与降水高度相关的地区基本与年降水量为 300~700mm 的地区重合。在我国北方, 同一条纬度带上, 由于热量条件相似, 因此热量对植被覆盖变化的影响大体相当。降水对植被覆盖变化的作用具有纬度地带性的特点, 其典型区为我国内蒙地区, 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。典型地区 NDVI 与降水偏相关关系的统计特征(如表 1)。

表 1 典型地区 NDVI 与降水的偏相关关系

	$r_{NDVI \cdot 降水 \cdot 气温}$	平均 $r_{NDVI \cdot 降水 \cdot 气温}$
森林	0.924~0.812	0.341
森林草原	0.733~0.422	0.195
典型草原	0.734~0.562	0.232
荒漠草原	0.624~0.458	0.135
荒漠	0.258~-0.245	0.280

对于我国北方地区, 降水量成为影响 NDVI 变化的重要因子, 尤其在农牧交错带、西藏高原等生态脆弱地区, 降水成为 NDVI 变化的主要限制因素, 对局地生态环境的影响重大。

3.3 NDVI 与气温降水复相关图式

图版 I 图 3 反映出气温降水对 NDVI 变化的共同驱动作用, 其具有以下特点:

(1) 全国大部分地区都与气温降水有较强的复相关关系, 表明用气温和降水能够解释大多数地区 NDVI 的变化。

(2) 通过图版 I 图 3 与图版 I 图 2 和图版 I 图 1 的比较可发现, 凡是与气温或降水高度偏相关的

地区, 都被包括在与气温降水高度复相关的区域。另外, 气温降水高度复相关区域还包括塔里木盆地, 这表明在极端干旱条件下, 单一因子(气温或降水)对 NDVI 变化的影响均不显著, 而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。从而反映出该地区特殊的气候驱动机制, 也决定了该地区植被恢复的困难性。

3.4 NDVI 与气候相关图式

对 NDVI 与气温, NDVI 与降水和 NDVI 与气温降水的相关关系分别进行显著性检验, 对偏相关系数进行 t -检验, 复相关系数进行 F -检验(显著性水平为 0.01), 提取满足显著性检验的像元, 进行二值化处理。

将满足 $r_{NDVI \cdot 气温降水}$ 复相关显著和 $r_{NDVI \cdot 降水 \cdot 气温}$ 偏相关显著的像元定义为降水相关型; 满足 $r_{NDVI \cdot 气温降水}$ 复相关显著和 $r_{NDVI \cdot 气温 \cdot 降水}$ 偏相关显著的像元定义为气温相关型; 满足 $r_{NDVI \cdot 气温降水}$ 复相关显著、 $r_{NDVI \cdot 降水 \cdot 气温}$ 偏相关显著和 $r_{NDVI \cdot 气温 \cdot 降水}$ 偏相关显著的像元定义为降水气温相关型。形成全国常年 NDVI 与气候相关图式, 如图版 I 图 4 所示。

从图版 I 图 4 中可发现中国植被的 NDVI 动态变化与气候因子存在明显的东南、西北分异。从东南到西北, 呈带状分布, 基本上表现出东北—西南走向带。以 NDVI 动态年际变化驱动作为分区的指标, 制定了 1983~1992 年中国 NDVI 动态年际变化的 3 种类型, 即降水相关型, 气温相关型和降水气温相关型。

4 结 论

本文在 GIS 的支持下, 利用 1983~1992 年逐月的 NOAA/AVHRR NDVI 时间序列资料, 对 NDVI 与气温、降水的偏相关和复相关关系进行了计算, 结果表明: 东北地区、内蒙东部以及青藏高原对降水敏感度较高, 而广大的华南平原、黄淮地区和新疆西部对气温敏感度较大。

研究还发现, 中国 NDVI 动态变化与气候因子存在明显的东南、西北分异。从东南到西北, 呈带状分布, 基本上表现出东北—西南走向带。按 NDVI 动态年际变化类型的指标, 将 1983~1992 年中国 NDVI 动态年际变化归纳为 3 种类型, 即降水相关型, 气温相关型和降水气温相关型。这种基于中国 NDVI 动态变化的分异规律的图式, 对中国土地利

用/土地覆盖变化研究具有重要的意义。

参 考 文 献

- 1 赵茂盛, 符淙斌, 延晓冬等. 应用遥感数据研究中国植被生态系统与气候的关系[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 287~296.
- 2 Lambin E F, Strahler A H. Indicators of land-cover change for change-vector analysis in multi-temporal space at coarse spatial scales [J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(10): 2099~2119.
- 3 Nicholson S E, Farrar T J. The influence of soil type on the relationship between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana[J]. Remote Sensing, 1994, 50(2): 107~120.
- 4 Li Zuotao, Menas Kafatos. Inter-annual variability of vegetation in the United States and its relation to El Nino/Southern Oscillation[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 71(4): 239~247.
- 5 李晓兵, 史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 379~382.
- 6 孙红雨, 王长耀, 牛铮等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204~210.
- 7 Brent N Holben. Characteristics of maximum-value composite image from temporal AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1986, 7(10): 1714~1734.
- 8 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994: 10~18.



陈云浩 1974 年生, 1999 年获中国矿业大学(北京校区)工学博士学位, 现在北京师范大学资源科学研究所从事博士后研究工作。研究方向为生态环境遥感。已发表文章 20 余篇。



李晓兵 1967 年生, 1997 年获北京师范大学自然地理学专业理学博士学位, 现在北京师范大学资源科学研究所工作。主要研究兴趣是遥感、地理信息系统、全球定位系统技术在生态学研究中的应用。已发表文章 30 余篇。



史培军 1959 年生, 1986 年获北京师范大学地理系理学博士学位, 1995~1996 年于美国伯克利加州大学自然资源学院从事博士后研究, 现任北京师范大学资源科学研究所教授、自然地理学博士生导师, 北京师范大学副校长。已发表文章近 200 余篇。