

# 利用 AVHRR 植被指数数据集分析中国东部季风区的物候季节特征\*

温 刚

(中国科学院大气物理研究所全球变化东亚区域研究中心 北京 100029)

**摘 要** 利用 NOAA / NASA Pathfinder AVHRR 陆地数据集,建立了中国东部季风区(108°—123°E, 21°—45°N)的 1986 年归一化植被指数(NDVI)距平图像序列。对此数据集进行主成分分析(PCA),前 2 个主成分的时间序列和空间场展示了中国东部季风区植被物候季节性特征和地域差异。南岭—五夷山以南的华南地区,植被生长季的物候季节性变化不明显。在南岭—五夷山以北地区,植被生长季的物候季节性特征明显,可以比较清晰地确定生长季的变化过程。以淮河流域为界,植被生长季的物候季节性特征又存在明显差异。华北平原表现出强烈的双峰植被物候过程。淮河以南地区,虽然也存在这种双峰物候过程,但比较华北平原的植被,还具有持续性的植被生长特征。淮河流域构成一条区分南北物候季节特征差异的过渡带。

**关键词** 中国东部季风区,物候,植被指数

## 1 引 言

NOAA 系列极轨气象卫星携带有改进的甚高分辨率辐射计(AVHRR)。虽然 AVHRR 最初被设计用于气象观测使用,但因其可见光通道(0.58—0.68 $\mu\text{m}$ )和近红外通道(0.72—1.10 $\mu\text{m}$ )处于可以较好地反映植被光谱特性<sup>[1-3]</sup>的波段范围上,因而也被广泛用于监测植被、分析植被物候特征<sup>[4-12]</sup>。这些分析丰富了人们关于植被季节和年际变化宏观特征的知识。AVHRR 数据还可用于旱情监测<sup>[13]</sup>和植被估产<sup>[14-16]</sup>。

为了从分光遥感观测数据中更好地提取植被信息,人们通常采用构造植被指数的方法<sup>[17-19]</sup>。归一化植被指数(NDVI)是一种经常被使用的植被指数,表示为  $NDVI = (R_{nir} - R_{vis}) / (R_{nir} + R_{vis})$ ,其中  $R_{nir}$  为近红外通道观测反射率,  $R_{vis}$  为可见光通道观测反射率。NDVI 可以较好地抑制大气路径影响和观测方向性的效果<sup>[20]</sup>。为了更加有效地消除云遮蔽、大气影响、观测中的几何关系、非卫星天底角观测等的不利因素,可以在一定时间区间内采取逐日 NDVI 图像的最大值合成处理方案<sup>[21]</sup>。现在采用较

多的是“准 10 天”的逐日 NDVI 图像最大值合成处理方案<sup>[22]</sup>。所谓“准 10 天”合成,是指每月划分成 3 个合成时间段,第 1 个和第 2 个时间段对应于这个月的 1 到 10 日和 11 到 20 日,第 3 个时间段是 21 到月末最后一天。因为月份不同,第 3 个时间段的长度可以是 8、9、10 或 11 天。这个方案与 NOAA 极轨气象卫星轨道飞行的 9 天左右周期接近,并恰恰与气候的旬统计时间区间一致,因而在数据处理和应用分析中具有优越性。

我们过去的工作<sup>[9,12]</sup>揭示了一些中国大陆植被变化的重要特征,特别是在植被生长开始阶段和结束阶段的 NDVI 突变特征,及其与年降水变化的很好的相关关系。本文的分析区域为 108°—123°E, 21°—45°N,是东亚季风的主要影响区域。有关该区域的植被状况,在《中国植被》<sup>[23]</sup>中有详细介绍。现将着重分析中国东部季风区植被的季节性变化特征。

## 2 主成分分析方法

主成分分析(PCA)是一种广泛使用的多元统计分析方法<sup>[24]</sup>。其主要优点,是可以把数据集中包含

\* 本文研究受到“攀登计划”项目“我国未来生存环境变化趋势的预测研究”资助。

收稿日期: 1997-09-18; 收到修改稿日期: 1998-04-09

的复杂和混合的信息分解投影于一个正交的主成分序列,从而便于提取和了解数据集中的主要信息特征。每一个主成分由对应的时间序列向量与空间场的乘积构成。PCA的基本原理是,令 $A$ 为原始数据矩阵,由 $n$ 个时间上的包含了 $m$ 个空间点观测值的向量组成,则 $A$ 可分解时空两个部分,即 $A = TX$ ,其中 $T$ 是时间矩阵,包含 $n$ 个针对 $n$ 个时间点变化特征的向量; $X$ 是空间场矩阵,包含相应的 $n$ 个在 $m$ 个空间点上数值的向量。针对时间展开的PCA,各主成分的时间序列向量表现该主成分的时间演变特征,对应的空间场表现这种时间演变特征在分析域的各个空间点上的权重,构成时间演变特征的空间分布特征。因此,PCA是对信息进行时空分析的一个有效手段。有关PCA的详细说明,可以参看有关文献<sup>[24,25]</sup>。本文使用了一个PCA标准程序<sup>[26]</sup>,对NDVI数据集进行处理。

### 3 AVHRR NDVI 数据集及其处理

本文所用数据取自NOAA / NASA Pathfinder AVHRR Land Data Set, Ten-day Composite Subset-1986,该数据集光盘由NASA哥达德飞行中心出版。

Pathfinder数据集计划由NASA启动。其目的在于,在“地球观测系统”(EOS)数据产生之前,推动现有卫星观测数据及其衍生数据应用于全球变化研究,并为EOS数据的生产、管理和应用提供经验。数据集包括了多种长时间序列卫星观测产品,每种产品都具有长期稳定的仪器标定校正,并可使用统一算法进行再处理<sup>[27]</sup>。AVHRR陆地数据集的处理流程包括了数据读取、导航、标定、大气校正、云标识、NDVI计算、投影、质量控制和合成等步骤<sup>[22]</sup>。这类数据集有8km分辨率和1km分辨率两种,均包含12个数据层,并以Interrupted Goode Homolosine投影<sup>[28]</sup>制作出全球图像。本文应用8km分辨率数据。

在Interrupted Goode Homolosine投影下,东亚地区图像有相对大的畸变。为了便于后续处理,将中国东部的NDVI数据提取出来,投影于15'分辨率的经纬等间距投影网格上,从而建立了一个中国东部季风区(108°—123°E, 21°—45°N)的1986年全年共36个“准10天”的NDVI图像序列。

为了着重于植被物候的季节性特征的信息提取,再建立一个中国东部季风区的1986年全年共36个“准10天”的NDVI距平序列。首先,计算出1986

年的NDVI年均值图像,再以NDVI年序列中各“准10天”的合成图像减去NDVI年平均值图像,从而获得各“准10天”合成图像对于年平均值图像的距平图像。当我们把植被的季节性变化特征作为迭加于年平均背景上的季节波动信号时,这样处理的好处是消除了年平均特征的背景信息,从而在NDVI距平图像序列中突出了各种季节波动特征,有利于发现和讨论这些特征。

### 4 结果和讨论

表1提供了对中国东部季风区1986年全年共36个“准10天”的NDVI距平图像序列进行PCA分解后,前10个主成分在总方差中占有的方差份额,并依此排序,表明各主成分的贡献。表1显示,第1、2主成分各占有21.76%和17.24%的方差贡献,共占有了39%方差贡献。可以看到,第1和2主成分的方差贡献较大,但不占有绝对优势。而且从主成分方差贡献的收敛趋势上看,收敛是缓慢的。这说明中国东部季风区植被物候的季节变化可能存在多种特征信息。另一方面,在缓慢收敛的、只具有较小方差贡献的主成分中包含的波动特征通常是不明显的,还有可能是在PCA的计算中引入的无实际意义的信号,当这些大量的不明显的波动特征以及无意义的杂波信息迭加在一起,在总效果上将抵销或掩盖这些波动特征。因此,对PCA主成分的分析一般集中于具有较大方差贡献的主成分,从中寻找具有实际意义的特征。下面来分析前2个主成分。

表1 中国东部季风区(108°—123°E, 21°—45°N)1986年NDVI距平图像序列主成分分析的前10个主成分在总方差中占有的方差份额

Table 1 Variance contribution in total of the first ten principle components of NDVI departure data set 1986 in East China monsoon region (108°—123°E, 21°—45°N) in 1986

主成分	1	2	3	4	5
方差占有份额/%	21.76	17.24	8.36	6.73	5.38
主成分	6	7	8	9	10
方差占有份额/%	4.94	3.44	2.84	2.63	2.53

图1为前2个主成分的时间序列曲线,表示这些主成分中的时间演变状况。因为事先已经排除了年平均特征的背景信息,在时间曲线中表现的物候季节演变特征显示为围绕零线进行的波动。图1(a)和(b)分别对应于第1、2主成分。图2是前2个主成分的空间场,表示这些主成分表现的物候特征的空间

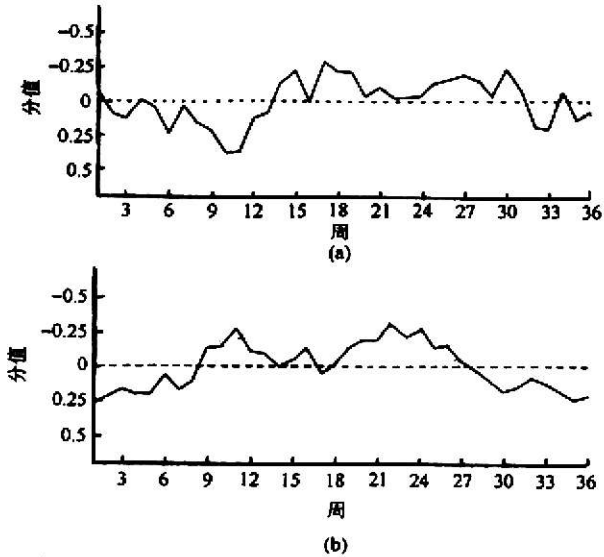


图 1 中国东部季风区(108°—123°E, 21°—45°N)1986年 NDVI 距平图像序列 PCA 的前 2 个主成分的时间序列  
(a) 第 1 主成分; (b) 第 2 主成分

Fig.1 Temporal curves of the first and second principle component of NDVI departure data set in East China monsoon region(108°—123°E, 21°—45°N) in 1986

权重分布状况。与图 1 一致,图 2(a)和(b)也分别对应于第 1 和 2 主成分。从 PCA 的原理出发,当时间曲线与空间权重数值同符号(同时为正或同时为负)时,时间曲线表现的物候季节演变特征得到强调,空间场上对应点的数值绝对值越高,时间曲线表现的物候季节演变特征越明显。通过空间场的数值差异,可以发现对应于确定的物候季节演变特征的空间分布特征,以及不同空间范围内的物候季节演变特征差异。针对图 1 和图 2 表现的 PCA 结果,为了以下分析的方便,将图 1 纵坐标的负方向绘图向上。这种绘图形式上的处理不会对结果和分析造成影响。

图 1(a)的第 1 主成分时间序列可分为第 1—13 个“准 10 天”的波谷期、第 13—31 个“准 10 天”的波峰期和第 31 周后的波谷期,其中第 13—31 个“准 10 天”的波峰期又被第 22—24“准 10 天”阶段分隔成两个峰区。从已有的植物生态学知识<sup>[23]</sup>可以知道,第 13—31 个“准 10 天”的波峰期对应着全国大部分地区的植被生长季。第 13 个“准 10 天”(4月中旬)至第 31 个“准 10 天”(10月中旬)是中国东部大部分地区

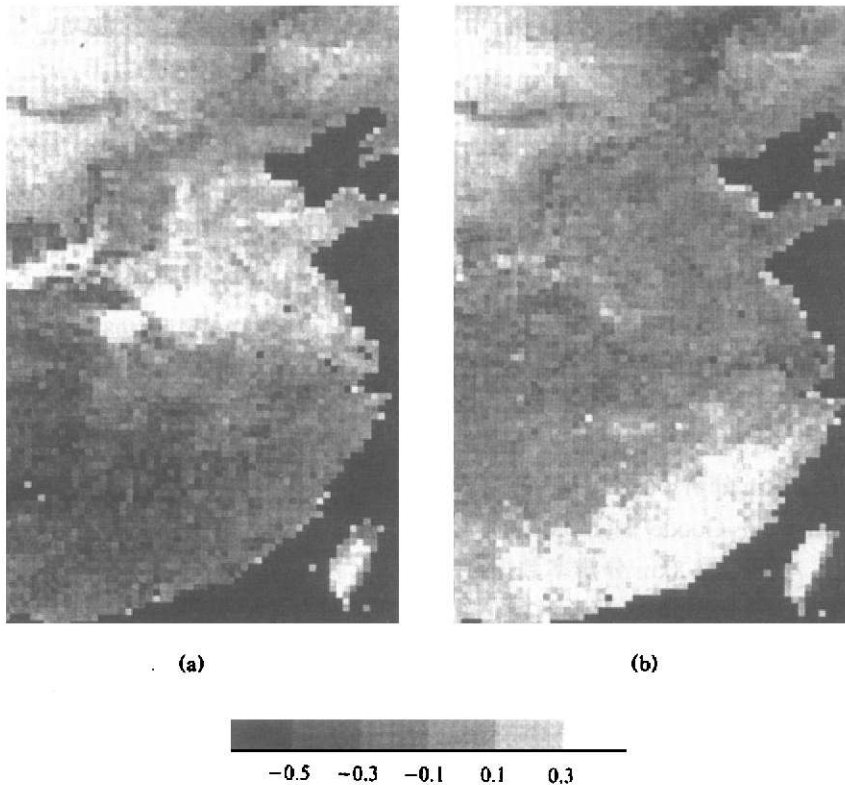


图 2 中国东部季风区(108°—123°E, 21°—45°N)1986年 NDVI 距平图像序列 PCA 的前 2 个主成分的空间场  
(a) 第 1 主成分; (b) 第 2 主成分

Fig.2 Spatial fields of the first and second principle components of NDVI departure data set in East China monsoon region (108°—123°E, 21°—45°N) in 1986

植被的生长比较旺盛的阶段。在4月上旬左右,植被逐渐恢复生机,对应的时间曲线上存在第11个“准10天”(3月下旬)开始的一致上升趋势,并一直保持到第15个准10天(5月上旬)。在10月中旬左右,植被的生长逐渐停止,对应的时间曲线上有第30—32个“准10天”(即10月上旬至下旬期间)一致下降趋势。相对于生长期,恢复生机阶段和停止生长阶段的时间长度是比较短暂的,具有跃变特征。在图1(a)的第一主成分空间场上,可以看到,图1(a)表现的植物生长季特征是在 $33^{\circ}\text{N}$ 淮河流域以南的广大华中、中南、华南地区有较强数值响应。广大华中、中南、华南地区是典型的农作物种植区。在图1(a)上的植被生长数值阶段被第22—24个“准10天”(7月中旬至8月中旬)间隔的两个峰值区,对应着这些地区的农作物阶段性的种植和生长,而7月中旬至8月中旬是第2季农作物的初期生长阶段。图1(a)的一个重要特点是经向特征,山脉地区都存在高数值响应区,因而出现了一个沿云贵高原东侧,向北通过巫山、秦岭、太行山至大兴安岭以及长白山的高数值带。由于在这些山脉上分布着茂密的森林,NDVI季节变化幅度很大。 $33^{\circ}\text{N}$ 淮河流域以北至 $40^{\circ}\text{N}$ 左右以南的华北平原地区表现出低数值响应或数值符号与时间曲线的上述时间段数值符号相异,说明这一地区的植被物候具有与淮河以南地区显著不同的植被物候季节特征。

在图1(b)的时间曲线上,最明显的特征是第9个“准10天”(3月上旬)至第28个“准10天”(8月上旬)的双峰。在图2(b)的第2主成分空间场上,明显的数值响应区出现在南岭—五夷山以北地区,特别是长江流域以北及华北平原有较高的数值响应。从已有的植物生态学知识和农业种植的地区传统<sup>[23]</sup>可以知道,在这些地区,普遍进行一年一季以上的农作物种植。一年两季在华北平原、华东、华中地区占优势,在华北平原北部两年三季。图1(b)的时间曲线因此反映着这些地区的农业物候的季节特征。华北平原及长江流域以北地区是冬小麦的主产区,冬小麦收获后继续进行夏种(或冬小麦生长后期套种)秋收。在图1(b)的时间曲线上,第9个“准10天”(3月上旬)对应冬小麦生长旺盛期的开始,至第17个“准10天”(5月下旬)左右,冬小麦的生长季结束。这一阶段在第16个“准10天”(5月中旬)左右出现的弱峰尚需寻找解释。自第17个“准10天”(5月下旬)至第28个“准10天”(8月上旬)是生长季的最旺盛时期。图1(b)显示的曲线除在第9个“准10天”左右的

第一个生长季初始阶段外,趋势比较平缓。在第9个“准10天”左右的跃变特征说明冬小麦的返青生长是非常快的。

淮河以北的华北平原的物候季节特征突出地表现为图1(b)的双峰过程。根据已有的知识,华北平原的植被主要是双季或两年三季的农业植被,植被种类较少,物候表现单一,季节性非常强。图1(b)的双峰特征与之一致。与华北平原的植被形成对比,淮河以南的华东、华中地区的植被在具有图1(b)的双峰特征的同时,还拥有图1(a)中的持续性特征更多的植被生长季特征,说明这些地区的植被种类和生长表现更加丰富。这种对比,还暗示着形成淮河两侧植被物候特征差异的植被生长环境的差异。淮河流域构成区分南北物候季节特征显著差异的过渡带。

在图2(b)的第2主成分空间场上,南岭—五夷山以南的华南地区数值与描述上述农业植被的双季种植生长的时间曲线数值,在植被生长季阶段数值符号相异。一方面,说明华南地区不存在农业植被的双季种植生长特征。另一方面,第2主成分空间场华南地区的负数值,还会抵销一部分第1主成分空间场华南地区的正数值。正负抵销的效果说明华南地区植被生长的季节性变化幅度不甚显著。

图2(a)和(b)上,内蒙古高原的东南边缘为图1(a)和(b)物候季节特征的弱响应区。此处植被是典型的草原,其季节变化特征与图1(a)和(b)所强调的农业植被的物候季节特征显然不同,但这种特征并未在图1和图2上有清晰表现。究其原因,PCA对信息的提取受到体现信息的面积和面积上信息的强度的影响。在本篇文章的工作中,内蒙古高原的东南边缘仅为分析区域的一隅,因而,这部分地区植被的物候季节特征没有很好地体现出来。如果希望更好地了解这部分地区植被的物候季节特征,就应该把研究范围向西向北扩大。

## 5 结 论

本文利用PCA方法对中国东部季风区( $108^{\circ}$ — $123^{\circ}\text{E}$ ,  $21^{\circ}$ — $45^{\circ}\text{N}$ )的1986年NDVI距平图像序列进行了处理,第1和第2个主成分的时间序列和空间场表现出这一地区物候季节特征和空间对应关系。在南岭—五夷山以南的华南地区,植被生长季的物候季节性变化不明显。在南岭—五夷山以北地区,植被生长季的物候季节性特征明显,可以比较清晰地

确定生长季的起始、终结以及它们之间的变化过程。以淮河流域为界,植被生长季的物候季节性特征又存在明显差异。华北平原表现出强烈的双峰植被物候过程。淮河以南地区,虽然也存在这种双峰物候过程,但比较华北平原的植被,还具有持续性的植被生长特征。淮河流域构成一条区分南北物候季节特征差异的过渡带。

PCA 方法对于提取分析域上有关植被物候季节特征和空间分布的信息是一种很有效的工具。但是,PCA 方法也存在局限性。在缓慢收敛的只具有较小方差贡献的主成分中包含的特征通常是不明显的,还有可能是在 PCA 的计算中引入的无实际意义的信号,会给分析带来困难,所以,常常舍弃这部分信息。另外,PCA 对信息的提取受到分析域上体现信息的面积和面积上信息的强度的影响。对较小面积上的信息,PCA 难于给予明确表述。因此,PCA 通常适用于宏观特征的表现。

本文的结果有助于形成关于区域尺度上的中国东部季风区植被物候的季节变化特征以及空间分布特征的宏观认识。应该指出的是,只有借助卫星观测数据集,才能实现这种认识。

### 参 考 文 献

- Gates, D.M., H.J. Keegan, J.C. Schleiter, V.R. Weidner. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 1965, 4:11—20.
- Knipling, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 1970, 1:155—159.
- Colwell, J.E. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.*, 1974, 3:175—183.
- Goward, S.N., C.J. Tucker, D.G. Dye. North American vegetation patterns observed with NOAA-7 Advanced Very High Resolution Radiometer. *Vegetatio*, 1985, 64:3—14.
- Townshend, J.R.G., T.E. Goff, C.J. Tucker. Multitemporal dimensionality of images of normalized difference vegetation index at continental scales. *I.E.E.E. Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1985, GE-23:888—895.
- Justice, C.O., J.R.G. Townshend, B.N. Holben, C.J. Tucker. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *Int. J. Remote Sens.*, 1985, 6: 1271—1318.
- Tucker, C.J., J.R.G. Townshend, T.E. Goff. African land cover classification using satellite data. *Science*, 1985, 227: 233—250.
- Malingreau, J.P. Global vegetation dynamics: satellite observation over Asia. *Int. J. Remote Sens.*, 1986, 7:1121—1146.
- Fu, C., G. Wen, S. Zhou, J. Lu. A preliminary study on vegetation dynamics of China by using meteorological satellite data. *Chinese Science Bulletin*, 1993, 38:221—224.
- Anyamba, A., J.R. Eastman, Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to El Niño / Southern Oscillation. *Int. J. Remote Sensing*, 1996, 17:2533—2548.
- Myneni, R.B., E.D. Keeling, C.J. Tucker, G. Asrar, R.R. Nemani. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 1997, 386:698—702.
- Fu, C., G. Wen. Variation of ecosystems over East Asia in Association with seasonal interannual and decadal monsoon climate variability. accepted by *Climate Change*. 1998.
- Henricksen, B.L., J.W. Dukin, Growing period and drought early warning in Africa using satellite data. *Int. J. Remote Sensing*, 1986, 7:1583—1608.
- Tucker, C.J., P.J. Sellers. Satellite remote sensing of primary production. *Int. J. Remote Sens.*, 1986, 7:1395—1416.
- 朱晓红, 谢昆青, 徐希儒, 承继成. 冬小麦产量构成分析和遥感估产. *环境遥感*, 1989, 4: 116—127.
- Prince, S.D. Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981—1988. *Int. J. Remote Sens.*, 1991, 12:1301—1312.
- Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 1979, 8:127—146.
- Curran, P., 1980, Multispectral remote sensing of vegetation amount, *Progress in Physics Geography*, Vol.4, 315—341.
- Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.*, 1988, 25:295—309.
- Holben, B. N., D. Kimes, R. S. Fraser. Directional reflectance response in AVHRR red and near-IR bands for three cover types and varying atmospheric conditions. *Remote Sens. Environ.*, 1986, 19:213—236.
- Holben, B.N., Characteristics of maximum-value composite images from temperal AVHRR data. *Int. J. Remote Sens.*, 1986, 7:1417—1434.
- James, M.E., S.N.V. Kalluri. The Pathfinder AVHRR land data set: An improved coarser resolution data set for terrestrial monitoring. *Int. J. Remote Sens.*, 1994, 15:3347—3364.
- 中国植被编辑委员会. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- 方开泰. 实用多元统计分析. 数理统计丛书. 上海: 华东师范大学出版社, 1989.
- Preisendorfer, R. W. Principle Component Analysis in Meteorology and Oceanography. compiled and edited by C.D. Mobley, *Developments in Atmospheric Science* 17, Elsevier Press. 1988.
- Mackiewicz, A, and W. Ratajczak. Principle components analysis (PCA). *Computers & Geosciences*, 1993, 19:303—342.
- Maiden, M. E., S. Greco. NASA's Pathfinder data set programme: land surface parameters, *Int. J. Remote Sens.*, 1994, 15:3333—3346.

- 28 Steinwand, D.R. Mapping raster imagery to the Interrupted Goode Homolosine projection. *Int. J. Remote Sens.*, 1994, 15:3463—3472.

### 作者简介

温刚, 1987年于南京气象学院天气动力学专业获得学士

学位, 1990年在中国科学院大气物理研究所获得硕士学位, 同年留所。1995年进入中国科学院全球变化东亚区域研究中心。现为助理研究员。主要研究领域是气候和全球变化研究中的遥感应用研究, 已发表文章多篇。

## Seasonal Phenological Characteristics in East China Monsoon Region with AVHRR Normalized Difference Vegetation Index Data Set

Wen Gang

(*Global Change Regional Research Center for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*)

**Abstract** The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) departure data set in East China monsoon region (108—123° E, 21—45° N) in 1986 was established with NOAA / NASA Pathfinder AVHRR Land data set. The principle component analysis (PCA) was implemented on this data set. The temporal curves and spatial fields of the first and second principle components expose the significant characteristics of vegetation phenology in seasonality and spatial patterns in East China monsoon region. In the area south to Nanling-Wuyi Mountains, there are not very clear vegetation seasonal variations. However, obvious seasonal phenological features in whole growing season exist in the areas north from Nanling-Wuyi Mountains. In Huabei Plain which locates in the north of Huai River Valley, phenology is distinguished with the double peak growing process. Though the similar double peak growing process also happens, there are more continuous characteristics of vegetation growing in the south of Huai River Valley. Huai River Valley forms a transitional zone of vegetation seasonal phenology.

**Key words** East China Monsoon Region, Phenology, Vegetation Index