

# 1982–1999 年我国陆地植被活动 对气候变化响应的季节差异

朴世龙, 方精云

(北京大学城市与环境学系, 北京大学生态学研究教育中心, 北京 100871)

**摘要:** 利用 NOAA-AVHRR 数据, 以归一化植被指数 (NDVI) 作为植被活动的指标, 研究中国 1982~1999 年四季植被活动的变化, 探讨植被活动对全球变化的主要响应方式。结果表明, 18 年来, 中国植被四季平均 NDVI 均呈上升趋势。春季是中国植被平均 NDVI 上升趋势最为显著 ( $P<0.001$ )、增加速率最快的季节, 每年平均增加 1.3%; 而秋季是 NDVI 上升趋势最不显著的季节 ( $P=0.075$ )。不同植被类型的季节平均 NDVI 的年变化分析表明, 生长季的提前是中国植被对全球变化响应的最主要方式, 但这种季节响应方式存在明显的区域性差异。夏季平均 NDVI 增加速率达到最大的地区主要分布在西北干旱区域和青藏高寒区域, 而东部季风区域的植被主要表现为春季 NDVI 增加速率最大。

**关 键 词:** NDVI; 季节变化; 气候变化; 植被活动

**中图分类号:** Q948.2

## 1 引言

植被是陆地生态系统的主体, 它不仅在全球物质与能量循环中起着重要作用, 而且在调节全球碳平衡、减缓大气中  $\text{CO}_2$  等温室气体浓度上升以及维护全球气候稳定等方面具有不可替代的作用。因此, 科学界越来越多地关注植被对全球变化响应, 迫切需要了解大气组成、土地利用和气候的变化对植被的影响与反馈<sup>[1]</sup>。

最近的研究表明, 在过去的几十年里, 北半球中高纬地区的植被活动显著增加<sup>[2-5]</sup>。这种增加主要来自两方面的作用: 一方面, 受大气  $\text{CO}_2$  浓度上升、温度增加以及氮 (N)、磷 (P) 沉降的影响, 植被活动在季节变化中的振幅加大; 另一方面, 气候变暖使植物的生长季提前或延长<sup>[2]</sup>。也就是说, 植被活动在不同季节有不同的响应。地球表面是高度异质的, 因此陆地生态系统对全球变化的反应也具有高度的空间异质性。有些地区的植被对全球变化的响应主要表现为植物生长期的加长, 而另一些地区的生态系统则主要表现为振幅加大, 或同时表现出上述两方面的作用。目前国内外的研究大多限于研究全球或者某一区域植被的平均活动状况, 而忽视比较植被活动年际变化的季节间差异, 从而无法阐明不同地区植被对全球变化响应的具体表现形式。

收稿日期: 2002-04-17; 修订日期: 2002-10-09

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G2000046801); 国家自然科学基金项目 (40152003) [Foundation Item: National Key Project for Basic Research, No.G2000046801; National Natural Science Foundation of China, No.40152003]

作者简介: 朴世龙 (1976-), 男, 博士研究生. E-mail: slpiao@water.pku.edu.cn

本文利用 1982~1999 年间遥感数据,研究 18 年来春、夏、秋、冬 4 季我国植被生长状况的变化趋势及其季节差异。我国位于欧亚大陆东南部季风气候区,幅员辽阔,具有从北温带 to 亚热带,从湿润到干旱的不同气候带。因此,研究我国植被对环境变化响应的季节差异将有助于认识全球变化影响陆地生态系统的机制。前一项研究表明<sup>[9]</sup>,1982~1999 年间我国大部份地区的植被活动呈增加趋势。本文通过研究我国植被对气候变化响应的季节差异,来进一步阐明我国植被活动年际变化的机制。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据来源和预处理

植被指数是卫星遥感中最具明确意义的指数之一,是基于植被叶绿素在  $0.69\mu\text{m}$  处的强吸收,通过红外与近红外波段的组合实现对植被信息状态的表达。各种植被指数中,由于归一化植被指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 能够较准确地反映植被的覆盖程度、生长状况、生物量以及光合作用强度<sup>[7,8]</sup>,因此,NDVI 常被直接或间接地用于研究植被活动<sup>[9-12]</sup>。

近 20 多年来,对地球表面连续性监测的 NDVI 数据,可以特征化植被活动对全球变化的响应<sup>[13]</sup>。本研究所利用的遥感数据为美国 EROS (地球资源观测系统) 数据中心的探路者数据库所提供的 1982~1999 年每旬 NDVI 的数据。图像的空间分辨率为  $8\text{km} \times 8\text{km}$ ,投影方式是 Goode 投影。由于探路者数据库所提供的 NOAA/AVHRR 数据不仅具有高的时间分辨率,而且通过最有效而统一的校准,保证了数据质量<sup>[14]</sup>,因此在全球及区域大尺度植被活动变化研究中显示出其他数据所无法替代的作用<sup>[15]</sup>。

每月的 NDVI 数据是通过国际通用的 MVC (最大值合成) 法 (式 1) 获得,该法可以进一步消除云、大气、太阳高度角等的部分干扰<sup>[16,17]</sup>。

$$NDVI_i = \text{Max} (NDVI_{ij}) \quad (1)$$

式中:  $NDVI_i$  为第  $i$  月的 NDVI 值,  $NDVI_{ij}$  为第  $i$  月第  $j$  旬的 NDVI 值。对通过 MVC 法获得的图像进行投影变换,从 Goode 投影转换为分辨率为 0.1 度的经纬网投影 (Geographic),以便进一步分析。

由于 1994 年 10 月到 12 月份的数据缺失,因此利用 1993 年和 1995 年对应月份的平均值来替代,并利用其它月份的值进行校正。另外,气候资料来自国家气象局的全国 700 多个站 1982 年到 1999 年间月平均降水和月平均温度数据,植被类型来自数字化的 1:400 万中国植被图<sup>[18]</sup>。

### 2.2 研究方法

为研究不同地区植被活动对全球变化的主要响应方式以及这种响应方式在空间上的分布,分别计算每一个像元不同季节 NDVI 平均值的年平均增加速率。我们假定:春季 NDVI 增加速率最大的地区,植被对全球变化响应主要表现为生长季的提前;夏季增加速率最大的地区,植被主要表现为植被活动在生长季节的振幅加大,或植被活动的强度加强;秋季平均 NDVI 增加速率最大,说明该地区植被生长季的延长明显。这些假定在最近的相关研究中得到了部分验证<sup>[5,19]</sup>。

为研究不同植被类型对全球变化的响应,利用 GIS 技术把矢量格式的 1:400 万植被图转换成分辨率为 0.1 度、投影方式为经纬网投影的栅格图像,并与 NDVI 图像叠加,获取每种植被类型每年的每一季节的平均 NDVI 值。

由于在植被覆盖率低的地区,NDVI 值受下垫面信息的影响较大,因此,本研究只考虑年平均 NDVI 大于 0.1 的像元。本文的研究区面积约为  $725 \text{万 km}^2$ ,占全国陆地面积的 76.7%。另外,由于除常绿阔叶林、常绿针叶林以及少部分的人工植被以外,其它

植被在冬季几乎停止光合作用, 因此, 研究冬季植被平均 NDVI 的变化时只考虑常绿阔叶林和常绿针叶林。

3 结果与分析

3.1 不同季节我国植被平均 NDVI 变化

在 1982~1999 年的 18 年间, 我国植被四季平均 NDVI 均呈上升趋势 (图 1)。其中, 春季 NDVI 上升趋势最为显著; 秋季 NDVI 上升趋势最不显著, 但其显著性水平仍达到 10%。

春季不仅是 4 个季节中平均 NDVI 上升趋势最为显著的季节 ( $P<0.001$ ), 而且是上升速率最快的季节, 平均每年以 1.3% 的速度增加。这意味着 1982~1999 年间我国植被生长季提前显著 (Myneni *et al.*, 1997; Zhou *et al.*, 2001)。通过对 NDVI 和气候因子之间的相关分析, 可以发现春季 NDVI 与温度的相关性最为显著 ( $P=0.001$ ), 并且其相关性好于与降水的相关性。说明这期间植被生长季的提前主要是由温度上升所致<sup>[9]</sup>。另外, 气候数据显示, 春季我国平均温度上升趋势显著 ( $P=0.003$ ), 平均每年增加 0.06 °C; 降水则没有明显的变化趋势 ( $P=0.79$ )。

夏季我国植被平均 NDVI 呈波动中上升趋势 ( $p=0.058$ ), 但上升速率和显著性水平都低于春季, 平均每年增加 0.3%。夏季 NDVI 的变化曲线中, 有两个明显的波峰 (1984 年

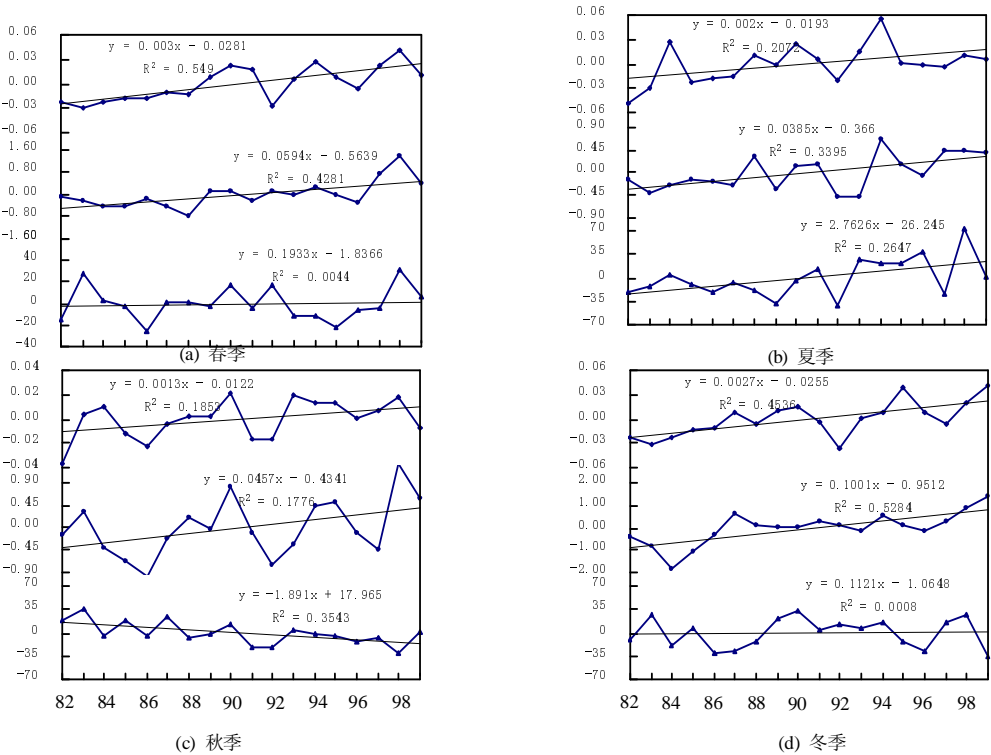


图 1 1982~1999 年间我国植被不同季节的平均 NDVI、平均温度、平均降水量的距平变化图(冬季只涉及常绿阔叶林和常绿针叶林)

Fig. 1 Interannual changes in spatially averaged NDVI, temperature, and precipitation in China for four seasons during 1982-1999 (Evergreen broad-leaved forest and evergreen needle-leaved forest included in winter)

和 1994 年) 和一个明显的波谷 (1992 年)。1984 年是 80 年代中夏季降水量最多的年份, 而 1994 年平均温度在近 20 年中最高, 因此, 这或许是这两年 NDVI 出现明显峰值的原因。受 1991 年 6 月份的菲律宾 Pinatubo 火山爆发的影响, 1992 年我国平均温度和降水都低于其它年份<sup>[20]</sup>。这可能是 1992 年夏季平均 NDVI 低于其它年分的原因。

秋季 NDVI 的上升趋势并不像其它季节那样明显 ( $P=0.075$ ), 且增加速率低于其它季节 (年均增加 0.2%)。表明全球变化背景下我国植被生长季的延长不如生长季提前明显, 这或许与近 18 年的秋季我国平均温度变化趋势不显著有关 ( $P=0.08$ )。另外, 虽然秋季温度上升速率大于夏季, 但上升趋势不如夏季那样显著 ( $P=0.01$ ), 是全年波动最大的季节。

冬季是全年中平均温度上升趋势最为显著 ( $P=0.001$ )、且增加速率最快的季节, 平均以  $0.1^{\circ}\text{C/a}$  的速度增加。由于冬季对于植被生长最主要限制因子是温度, 因此温度的升高将有利于植被的生长。1982~1999 年间我国冬季常绿植被平均 NDVI 每年以 1.0% 的速率增加, 且增加趋势显著 ( $P=0.002$ )。

3.2 不同植被类型的平均 NDVI 变化的季节差异

不同植被类型特有的生物学特性可能导致植被类型间对全球变化响应方式的不同。为了解不同植被类型对全球变化的响应, 根据我国 1:400 万植被图, 将我国植被划分为 10 种植被类型, 即: 常绿阔叶林、落叶阔叶林、针阔混交林、常绿针叶林、落叶针叶林、灌丛和萌生矮林、草原和稀树灌木草原、草甸和草本沼泽、荒漠以及人工植被, 对它们的 NDVI 变化的季节差异进行了探讨。从 1982~1999 年间不同植被类型春季、夏季、秋季平均 NDVI 以及部分植被类型冬季平均 NDVI 的变化量、变化速率和相关系数中可以看出 (表 1), 18 年间 10 种植被类型四个季节的平均 NDVI 都呈增加趋势。其中, 春季大部分植被类型 (除针阔混交林以外) 的平均 NDVI 都显著增加 ( $P<0.05$ ), 并且增加速率均大于其它季节, 表明 18 年来全球变化对我国大部分植被的影响主要是生长季的提前。

常绿阔叶林和常绿针叶林主要分布在长江以南地区, 分布区年平均降水量超过 1000 mm, 即使在冬季平均温度也大于  $0^{\circ}\text{C}$ 。18 年来这两种植被类型对全球变化的响应方式和大小均相似。春季两种植被 NDVI 的年平均增加量、增加速率在四季中最大, 分别增加  $1.06\%/a$  和  $1.27\%/a$ ; 而夏季是四个季节中 NDVI 增加速率、增加量最小, 且上升趋势最不明显的季节。分布区 1982~1999 年间夏季的气候数据显示, 这期间夏季降水量显著增加 ( $P<0.05$ ), 而温度上升并不显著 ( $P>0.05$ )。这说明, 夏季降水的增加对这两种植被的生长并没有显著的促进作用。

落叶针叶林主要分布在我国北纬  $50^{\circ}$  以上的地区。该地带年降雨量一般在 400~600 mm 之间, 植被生长主要受温度控制。18 年来, 春季和秋季落叶针叶林 NDVI 的年平均增加量和增加速率不仅大于夏季, 而且大于其它森林植被春季和秋季 NDVI 的增加速率,

表 1 1982~1999 年间不同植被类型平均季节 NDVI 的年际变化

Tab. 1 Interannual changes in averaged seasonal NDVI by vegetation type during 1982~1999

植被类型	春季			夏季			秋季			冬季		
	S	B	R	S	B	R	S	B	R	S	B	R
常绿阔叶林	0.38	1.06	0.57	0.16	0.12	0.24	0.21	0.35	0.31	0.28	0.73	0.46
落叶阔叶林	0.31	1.10	0.62	0.14	0.14	0.36	0.10	0.20	0.32			
针阔混交林	0.14	0.46	0.20	0.21	0.13	0.40	0.01	0.0	0.02			
常绿针叶林	0.41	1.27	0.65	0.16	0.16	0.27	0.19	0.28	0.36	0.25	0.69	0.52
落叶针叶林	0.37	1.47	0.50	0.16	0.20	0.27	0.26	0.95	0.46			
矮林灌丛	0.36	1.31	0.72	0.17	0.23	0.39	0.11	0.21	0.33			
荒漠	0.21	1.65	0.65	0.26	1.16	0.64	0.18	0.80	0.58			
草原	0.17	0.92	0.66	0.20	0.37	0.44	0.11	0.22	0.37			
草甸	0.23	1.19	0.71	0.20	0.31	0.45	0.10	0.13	0.32			
人工植被	0.37	1.46	0.74	0.24	0.39	0.49	0.11	0.21	0.46			

注: S-年平均增加量 ( $\times 0.01$ ); B-年平均增加速率 (%); R-相关系数 (0.468 为显著性水平 5% 下的相关系数)



表明我国落叶针叶林生长季的提前和延长较其它森林植被更为显著。

荒漠植被的春季、夏季、秋季的平均 NDVI 都呈显著增加趋势，且增加速率在 10 种植被类型中最大，说明 CO<sub>2</sub> 浓度升高以及温度上升对干旱区植被的影响尤为明显<sup>[21]</sup>。通过对荒漠植被 NDVI 与气候因子之间的相关分析，发现荒漠植被 NDVI 的上述变化趋势不仅与温度变化有关，也与降水变化有关。气候数据显示，分布区春季和秋季平均温度和降水都呈上升趋势；夏季温度和降水的增加都达到显著水平 (P=0.04)。

针阔混交林是唯一的 1982~1999 年间春季平均 NDVI 增加趋势不显著的植被类型。这可能与 18 年来分布区的春季温度上升趋势不显著 (P=0.12) 以及冬季和春季的降水量下降有关。灌丛和萌生矮林、草原和稀树灌木草原、草甸和草本沼泽以及落叶阔叶林春季平均 NDVI 均显著增加 (P<0.05)，且增加速率均大于夏季和秋季。另外，人工植被春、夏季的平均 NDVI 也显著增加。

3.3 植被活动对气候变化响应的区域差异

图 2 显示 18 年来不同地区植被对环境变化响应的主要方式。因为冬季只考虑常绿植被部分，所以在比较不同地区植被对全球变化的响应方式时，本文只考虑生长季。从不同表现方式所占的面积百分比看，以生长季提前为主的地区面积最大，占研究区的 61.2%；21.4% 的地区夏季 NDVI 增加速率在四季中达到最大；13.8% 的地区秋季 NDVI 增加速率最大；而占研究区 1.4% 的地区一年四季 NDVI 均呈下降趋势。前两种表现形式为主的地区占研究区面积的 80% 以上，说明生长季的提前和植被活动强度的加强是 18 年来我国植被对全球变化响应的最主要的方式。

我国植被对环境变化的响应表现出明显的地理分异。夏季平均 NDVI 增加速率在四季中最大的地区主要分布在西北干旱区域和青藏高原寒区区域；东部季风区域主要为春季增加速率最大；一年四季 NDVI 均呈下降趋势的地区主要集中在珠江三角洲、长江三角洲等地区，这显然与该地区快速城市化有关。

春季 NDVI 增加速率在四季中最大的地区主要集中在季风影响显著的东部区域，包括大兴安岭的中部和南部、辽东 - 山东半岛区、黄淮海平原区、汉江中游和下游、贵州高原 - 鄂西山区、藏东 - 川西区、江南丘陵山区以及华南丘陵地区。另外，准噶尔西部山区和江河源头区的部分地区的植被对全球变化的响应也主要表现出生长季的提前。这与该地区 18 年来气候的变化趋势有关。气候数据显示，该地区春季温度呈上升趋势。

18 年来植被活动的增加主要以夏季植被活动增加为主的地区集中在西北干旱区域和青藏高原寒区区域。包括藏南区、南羌塘高原区、北羌塘高原区、天山南坡

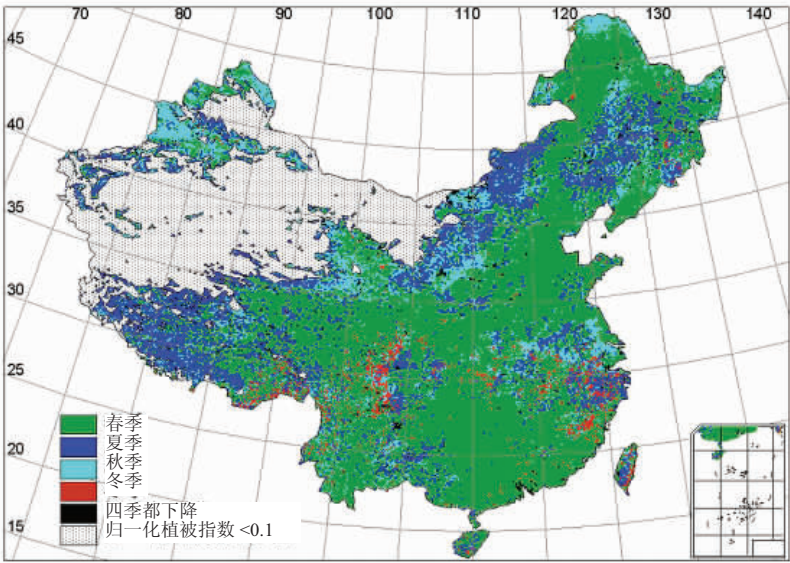


图 2 1982~1999 年间 NDVI 年平均增加速率最大季节的空间分布。  
Fig. 2 Distribution of season with the maximum annual mean increasing rate of NDVI from 1982 to 1999

区、以及内蒙古高原的东部和西部一些地区。松辽平原区、黄土高原区、四川盆地的部分地区以及长江中下游的一部分地区植被夏季 NDVI 在四个季节中最大,说明该地区植被活动的振幅 18 年来增加趋势明显。秋季植被平均 NDVI 增加速率在四个季节中最大的地区主要是大兴安岭的北端、天山北坡的部分地区、阿尔泰山地区、青海湖周围地区以及长江中下游的部分地区等。这说明上述地区植被 18 年来温度上升所引起的生长季延长明显。

此外,对常绿植被地区而言,在云贵川渝边界的狭长地带、长江中下游及福建的零星地区、藏南的部分地区以及台湾东部,冬季 NDVI 增加速率最大。说明冬季增温现象对这些地区冬季植被活动加强有显著影响。

## 4 结 论

本文利用 1982~1999 年间遥感数据,研究了我国春、夏、秋、冬植被活动的年际变化,并分析了我国主要植被类型不同季节 NDVI 的变化趋势,得出以下结论:

(1) 在 1982~1999 年间四个季节我国植被平均 NDVI 均呈上升趋势。其中,春季 NDVI 上升趋势最为显著 ( $P < 0.001$ ),且增加速率最大,每年平均增加 1.3 %;秋季 NDVI 上升趋势较弱 ( $P = 0.075$ )。

(2) 18 年来,不同植被类型的季节平均 NDVI 都呈增加趋势。春季大部分植被类型(除针阔混交林)的平均 NDVI 显著增加,且增加速率均大于其它季节,说明生长季的提前是 18 年来我国植被对全球变化响应的最主要方式。

(3) 我国植被对环境变化的响应表现出明显的地理分异。振幅加大的地区主要分布在西北干旱区域和青藏高寒区域,而东部季风区域主要表现为生长季的提前。珠江三角洲、长江三角洲地区植被的春、夏、秋季 NDVI 在这期间都显著减少,显然与该地区快速城市化有关。

## 参考文献 (References)

- [1] Cramer W P, R Leemans. Assessing impacts of climate change on vegetation using climate classification systems. In: Solomon A M, Shugart H H (eds.), *Vegetation Dynamics and Global Change*. London: Chapman and Hall, 1993. 190-217.
- [2] Keeling C D, J F S Chin, T P Whorf. Increased activity of northern vegetation in inferred from atmospheric  $\text{CO}_2$  measurements. *Nature*, 1996, 382: 146-149.
- [3] Myneni R B, C D Keeling, C J Tucker et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. *Nature*, 1997, 386: 698-702.
- [4] Fang J Y, A P Chen, C H Peng et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292: 2320-2322.
- [5] Zhou L M, C J Tucker, R K Kaufmann et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106: 20069-20083.
- [6] Piao Shilong, Fang Jingyun. Dynamic vegetation cover change over last 18 years in China. *Quaternary Sciences*, 2001, 21: 294-302. [朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. *第四纪研究*, 2001, 21: 294-302.]
- [7] Tucker C J, I Y Fung, C D Keeling et al. Relationship between atmospheric  $\text{CO}_2$  variations and a satellite-derived vegetation index. *Nature*, 1986, 319: 195-199.
- [8] Sellers P J, B W Meeson, F G Hall et al. Remote sensing of the land surface for studies of global change: Models-Algorithms-Experiments. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 51: 3-26.
- [9] Potter C S, J T Randerson, C B Field et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7: 811-841.
- [10] Field C B, J T Randerson, C M Malmstrom. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 51: 74-88.

- [11] Cramer W, Kicklighter D W, Bondeau A et al. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results. *Global Change Biology*, 1999, 5: 1-15.
- [12] Fang J Y, S L Piao, Z Y Tang et al. Interannual variability in net primary productivity and precipitation. *Science*, 2001, 293: 1723a.
- [13] Michael J B, J T Randerson, C R Mcclain et al. Biospheric primary production during an ENSO transition. *Science*, 2001, 291: 2595-2597.
- [14] James M E, S N V Kalluri. The pathfinder AVHRR land area data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15: 3347-3363.
- [15] Defries R S, J R G Townshend. NDVI-derived land cover classifications at a global scale. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15: 3567-3586.
- [16] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images for temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7: 1435-1445.
- [17] Tucker C J, Newcomb W W, Dregne H E. AVHRR data sets for determination of desert spatial extent. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 17: 3547-3565.
- [18] Botany Institute of Chinese Academy of Sciences. *Vegetation of China*. Beijing: Cartographic Publishing House, 1982. [中国科学院植物研究所. 中国植被图. 北京: 地图出版社, 1982.]
- [19] Randerson J T, C B Field, I Y Fung et al. Increases in early season ecosystem uptake recent explain recent changes in the seasonal cycle of atmospheric CO<sub>2</sub> at high northern latitudes. *Geographical Research Letters*, 1999, 26: 2765-2768.
- [20] Lei Wenfang. The influence of Pinatubo eruption to atmosphere aerosol. In: Wang Gengchen, Wen Yupu (eds), *The Measurement of Greenhouse Gas and Their Release and Related Processes*. Beijing: China Environment Science Press, 1996. 391-397. [雷文方. Pinatubo 火山爆发对平流层气溶胶的影响. 见: 王庚辰, 温玉璞 主编, 温室气体浓度和排放检测及相关过程. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 391-397.]
- [21] Jiang Gaoming. Response of plant ecophysiology to global change. In: Fang Jingyun (ed.), *Global Ecology: Climate Change and Ecological Responses*. Beijing: Higher Education Press, 2000. 26-41. [蒋高明. 全球变化与植物生理生态反应. 见: 方精云 主编, 全球生态学: 气候变化与生态响应. 北京: 高教出版社, 2000. 26-41.]

## Seasonal Changes in Vegetation Activity in Response to Climate Changes in China between 1982 and 1999

PIAO Shilong, FANG Jingyun

*(Department of Urban & Environmental Sciences, and Center for Ecological Research & Education, Peking University, Beijing 100871, China)*

**Abstract:** In the present study, using normalized difference vegetation index (NDVI) as an indicator of vegetation activity, seasonal trends of vegetation activity and their dynamic responses to climate changes in China were explored based on remotely sensed data (NOAA-AVHRR) from 1982 to 1999. As a result, spatially averaged seasonal NDVI in China showed a pronounced increase in all four seasons (spring, summer, autumn and winter) during the past 18 years. The average spring NDVI indicated the most significant increase ( $P < 0.001$ ) with a mean rate of 1.3%, while the average autumn NDVI showed the least increase ( $P = 0.075$ ). Analyzing interannual changes in seasonal mean NDVI by vegetation type, it was found that the advance of growing season was a major way for response of vegetation activity to climate changes and that the way exhibited a large regional heterogeneity. In the past 18 years, regions with the largest increase rate of summer NDVI appeared in Northwest China and the Tibetan Plateau, while areas with that of spring NDVI occurred in the eastern part of the country.

**Key words:** climate change; NDVI; seasonal change; vegetation activity