

# 利用卫星遥感资料对中国地表植被及荒漠化 时空演变和分布的研究\*

徐兴奎\*\* 林朝晖 李建平 曾庆存

中国科学院大气物理研究所 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

**摘要** 利用 1982~1999 年 NOAA-AVHRR 卫星遥感数据,通过对归一化的植被指数进行自然正交分解,反演获得了我国 18 年来地表植被覆盖的分布及其时空变化状况,发现这一期间我国大部分地区地表植被覆盖状况明显退化,分析得出气候因素不是造成我国地表植被覆盖状况变化的主要原因,人为因素的影响更为重要。

**关键词** 卫星遥感 地表植被覆盖 自然正交分解 归一化的植被指数

地表植被占陆地表面面积的 50% 左右,极易受环境和人类活动的影响。地表植被覆盖类型的改变导致地表物理、几何等特征发生变化,直接影响到地表能量的收支平衡,对气候、社会国民经济的发展都具有重要的影响<sup>[1,2]</sup>;而且地表植被自身又与周围环境存在着紧密的相互作用,它与大气进行能量和物质交换的同时,也在不断地改变着自身特征,这些特征量的变化又时刻影响着植被与外界的能量和物质的交换<sup>[3]</sup>。

随着卫星遥感技术的发展,利用遥感数据反演研究地表植被覆盖变化取得很多成果<sup>[4~7]</sup>。其中归一化的植被指数 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)是在遥感领域研究植被覆盖信息常用的一个参数,它是根据植被在第 1(0.58~0.68  $\mu\text{m}$ ) 和第 2(0.725~1.10  $\mu\text{m}$ ) 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,它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。我国地域辽阔,南北横跨几个气候带,地表类型及植被覆盖状况极其复杂。近 20 年来在大力发展经济的同时,对自然环境和地表植被覆盖的破坏也较大,其中沙漠化和荒漠化现象极为突出。为此,本文利用 1982~1999 年经大气校正后的 8 km  $\times$  8 km 分辨率的 NOAA 气象卫星数据,通过对月最大 NDVI 资料的分析,获得了我国近 18 年来地表植被覆盖率及其变化的反演结果,并简要分析了气候因素及人为因素的影响。

## 1 地表覆盖类型的时空变化分布

通过对 1982~1999 年逐年各月的 NDVI 的资料分析发现,每年的 7 月份是我国广大地区植被覆盖最密集的月份,而且由于各地区农业耕作习惯基本不变,所以在本文中我们对 1982~1999 年 18 年来 7 月份的月最大 NDVI 进行自然正交分解(EOF)。经 EOF 分解可以得到多个

2000-10-23 收稿,2000-12-11 收修稿稿

\* 国家重点基础发展研究项目(批准号: G1998040900 part 1)、优秀国家重点实验室项目(40023001)和中国科学院大气物理研究所创新项目资助(批准号: 8-1301)

\*\* xkxu@mail.iap.ac.cn

特征场分布和时间权重系数,每个特征场反映了主次信息的空间分布,时间权重系数则反映了这些空间场随时间的变化程度.表 1 给出了 13 个特征向量、方差和累积方差,其中第 1 个特征向量最大,占总方差的 36.7%,远大于其他特征向量所占的比重,因此 EOF 分析的结果能够反映地表 NDVI 时间序列的时空变化过程.

表 1 特征向量占总方差的百分比

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
特征向量	6.31	1.69	1.21	1.01	0.94	0.81	0.75	0.70	0.69	0.63	0.54	0.44	0.40
方差/%	36.7	9.9	7.0	5.8	5.4	4.7	4.3	4.1	4.0	3.6	3.1	2.5	2.3
累积方差/%	36.7	46.6	53.6	59.4	64.8	69.5	73.8	77.9	81.9	85.5	88.6	91.1	93.4

### 1.1 第 1 特征向量场和时间系数

NDVI 第 1 特征向量场几乎全为正值(图 1),与其对应的时间系数(图 2)从 1984~1994 年基本上为正值.这说明自 1984~1994 年期间,第 1 特征场的高值区有植被覆盖,并且覆盖状况良好,从 1995 年开始,时间系数转为负值,高值区域地表植被覆盖状况发生了明显的变化,这些区域要么已经沙漠或荒漠化;要么植被覆盖密度明显下降.图 1 和图 2 也说明,从 1995 年至今,全国范围地表植被覆盖状况发生明显的恶化.

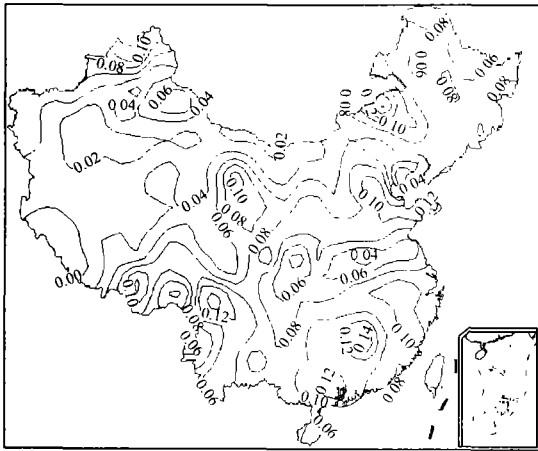


图 1 中国地表 NDVI 第 1 特征向量场

### 1.2 我国植被覆盖质量下降严重地区的分布

第 1 特征向量场中,有几个面积较大的显著高值区域.在西部地区,内蒙古、宁夏、甘肃、山西、陕西、新疆、青海等地区植被覆盖质量退化面积十分广大,主要是荒漠化日趋严重、沙漠面积进一步扩大、部分地区出现局域的地表覆盖质量退化现象.在内蒙古地区尤为严重,如河套地区是水系较发达的地区,20 世纪 80 年代这里分布着少量植被覆盖的荒漠及植被茂盛的农田和林草地.从 1995 年开始,植被覆盖面积急剧下降,原来的荒漠大部分已经沙漠化,部分植被茂密地区也已经荒漠化或完全沙漠化.同时,在内蒙古东部呼伦贝尔地区也出现大面积的植被覆盖质量退化现象.在我国东部地区,虽然没有出现大面积的荒漠化,但地表植被覆盖质量明显下降.其中河南、华北、长江三角洲、四川、东北东部、华中、华南及沿海地带、云贵高原等部分地区最为严重.在 20 世纪 80 年代这些地区植被覆盖率很高,裸露土壤面积极少,从 20 世纪 90 年代开始出现了大片的无植被覆盖区域.

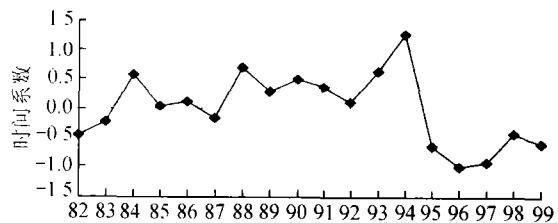


图 2 NDVI 第 1 特征向量场时间变化系数

为了定量地研究西部地区地表覆盖质量的退化程度,根据20世纪80年代初期和90年代中期地表资源普查数据库,分别选取沙漠荒漠样本区和植被覆盖率极小样本区,对1982~1999年各月份最大NDVI进行聚类分析,根据统计分析结果,在沙漠和荒漠覆盖地区 $NDVI < 0.06$ (占沙漠、荒漠总统计样本的97.9%),在植被覆盖率极小的地区 $0.06 < NDVI < 0.16$ (占植被覆盖率极小区总统计样本的95.9%),因此我们可以认为,当 $NDVI < 0.06$ 时,地表覆盖类型为沙漠和荒漠,当 $0.06 < NDVI < 0.16$ 时,地表为趋于荒漠化的但有少量植被覆盖的地区,通过上述标准,分析计算我国地表沙漠和荒漠化面积(图3)。结果显示,沙漠和荒漠的面积是在动态的变化的,其变化的位相与有少量植被覆盖并且正在趋于荒漠化的区域面积变化相反。这说明,我国沙漠和荒漠化面积的增加,主要是这些植被覆盖稀少区域土壤进一步退化引起的,而这些植被覆盖稀少区域的面积取决于沙漠、荒漠以及高植被覆盖地区的动态的相互转变强度。在1982~1994年间,沙漠和荒漠化面积有减少的趋势,同时,植被覆盖稀少区域增加,因此,这一时期,我国的地表环境是在向改善的方向发展,但从1995年开始,我国西部地区沙漠和荒漠化面积急剧增加,植被覆盖稀少区域急剧减少。

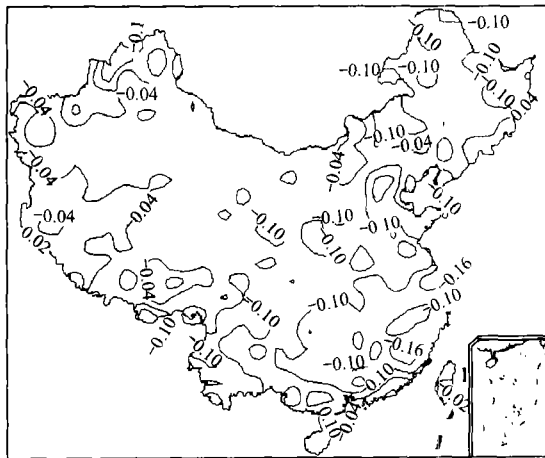


图4 1995~1999年与1982~1994年7月份平均NDVI差值分布

自1995年开始,我国地表植被覆盖率明显下降,下降最为严重的几个区域( $NDVI$ 变化大于0.1)为内蒙东部、华北、华中及华南、甘肃、宁夏、新疆北部、山西、河南、四川及云贵等地区。这与第1特征向量场和时间权重系数分析结果相吻合。由遥感图像可以更加清晰的显示我国地表植被退化程度,图版I-(a)(b)是经过密度分割处理之后的原始NDVI图像分布显示,从图版中可以看到1999年7月与1982年7月地表植被覆盖状况的明显变化。

## 2 影响我国植被覆盖质量的因素

影响植被分布和生长状况的主要有气候因素和地理因素,其中土壤质地和降水是影响NDVI分布的两个主要自然因子。土壤质地是长期气候作用的结果,其变化周期很慢,对地表植被具有显著影响的是区域降水量的变化;另外,近年来由于社会经济的发展,人为因素的影响也日益突出,逐渐成为一个主要的影响因素<sup>[8-10]</sup>。

### 2.1 降水对植被覆盖质量影响显著区域

降水为植被的生长提供必需的水分。当降水量在植被生长发育所必须的极限附近波动

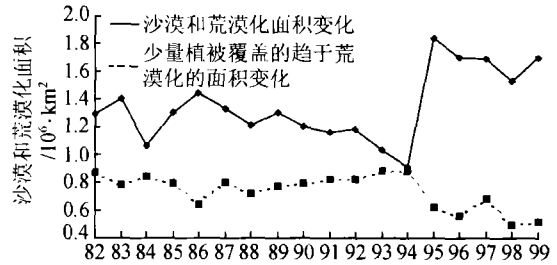


图3 沙漠和荒漠化面积年际变化

化面积(图3)。结果显示,沙漠和荒漠的面积是在动态的变化的,其变化的位相与有少量植被覆盖并且正在趋于荒漠化的区域面积变化相反。这说明,我国沙漠和荒漠化面积的增加,主要是这些植被覆盖稀少区域土壤进一步退化引起的,而这些植被覆盖稀少区域的面积取决于沙漠、荒漠以及高植被覆盖地区的动态的相互转变强度。在1982~1994年间,沙漠和荒漠化面积有减少的趋势,同时,植被覆盖稀少区域增加,因此,这一时期,我国的地表环境是在向改善的方向发展,但从1995年开始,我国西部地区沙漠和荒漠化面积急剧增加,植被覆盖稀少区域急剧减少。

NDVI差值分布结果也直接显示(图4),

时,地表植被 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,这种相关性则并不明显. 图 5 是 1982~1999 年 5, 6, 7 月降水总量与地表 NDVI 的相关系数分布,

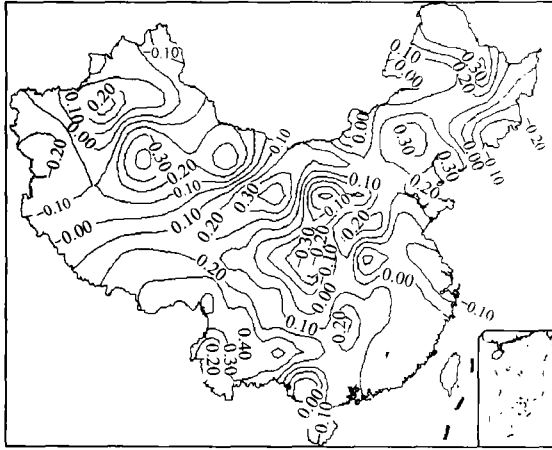


图 5 3 个月(5~7 月)降水总量与 NDVI 的相关分布

之所以选择 3 个月降水总量,是由于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. 在我国淮河以南降水充沛的地区,如华中长江中游附近地区、云南和西藏东南部地区也存在小面积的高相关区域. 这里地表植被以一年三熟农作物、常绿针叶林、常绿阔叶林和常绿灌木为主,复种指数高,它们与大气之间潜热交换量很大,因此对降水也相对比较敏感.

我国大部分地区 NDVI 与降水的关系并不显著. 根据对 1982~1999 年我国 5, 6, 7 三个月降水量总量正交分解结果来看,淮河以北地区降水量变化很小;淮河以南地区降水量虽然波幅较大,但这里降水却极为充沛. 因此降水量的变化并不是造成我国部分地区出现大面积植被覆盖率下降的主要原因,而人为因素的影响却日趋严重. 另外,在新疆、东北、四川等地区存在大面积的负相关区域( $< -0.3$ ),这也说明人类活动对地表覆盖的影响.

## 2.2 人为因素对植被覆盖质量影响显著区域

人为因素对地表环境的影响取决于人口密度和经济活动方式. 在西部地区,人口密度每平方公里大多低于 20 人(图版 I-下图),经济活动方式主要依赖于自然资源,在气候因素没有明显变化的情况下,1995 年之后在甘肃北部、内蒙中部及东部地区出现地表植被覆盖率下降,主要与近年来这些地区人为破坏、过度放牧等致使草原绿地退化有关. 东部是我国人口密度最高、经济最发达的地区. 在长江三角洲地区、华中、华南及沿海等地区,人口密度大部分地区每平方公里大于 200 人,近年经济增长速度很快,其高速增长过程中也带来了一些负面的效应,各种环境、生态变化比较显著,植被覆盖率发生了显著的变化,并出现了大面积的裸地,破坏了原有的地表生态系统;在华北地区,人口密度最集中,除人为因素外,自然资源的不断匮乏也是造成华北地区地表植被覆盖减少的一个重要原因,根据研究,由于黄河上游管理不善,用水浪费严重,特别是从 1986 年以来,黄河连续干旱,枯水系列、断流天数和断流距离有逐年增加的趋势,利津站 1992 年断流 38 天,1993 年 60 天,1994 年 74 天,1995 年 122 天,1996 年 133 天,1997 年 226 天,造成 1995 年以来黄河下游地区严重断流,华北黄河流域地区农业和草原生态系统严重失调,水土保持严重退化,沿海地区盐碱化面积增加<sup>[11,12]</sup>.

从我国人口密度分布上看,东、西部地区人口密度每平方公里在 20~200 人及以上的地

区,地表植被覆盖率普遍下降,这与近年来人口数量激增,城市化面积不断扩大密切相关。

### 3 结论

(1)从1982年至1994年期间,我国地表覆盖质量变化比较平稳,虽然在个别年份出现覆盖质量下降的情况,但总体上是向改善的方向发展,在我国西部地区,这种趋势更加明显。

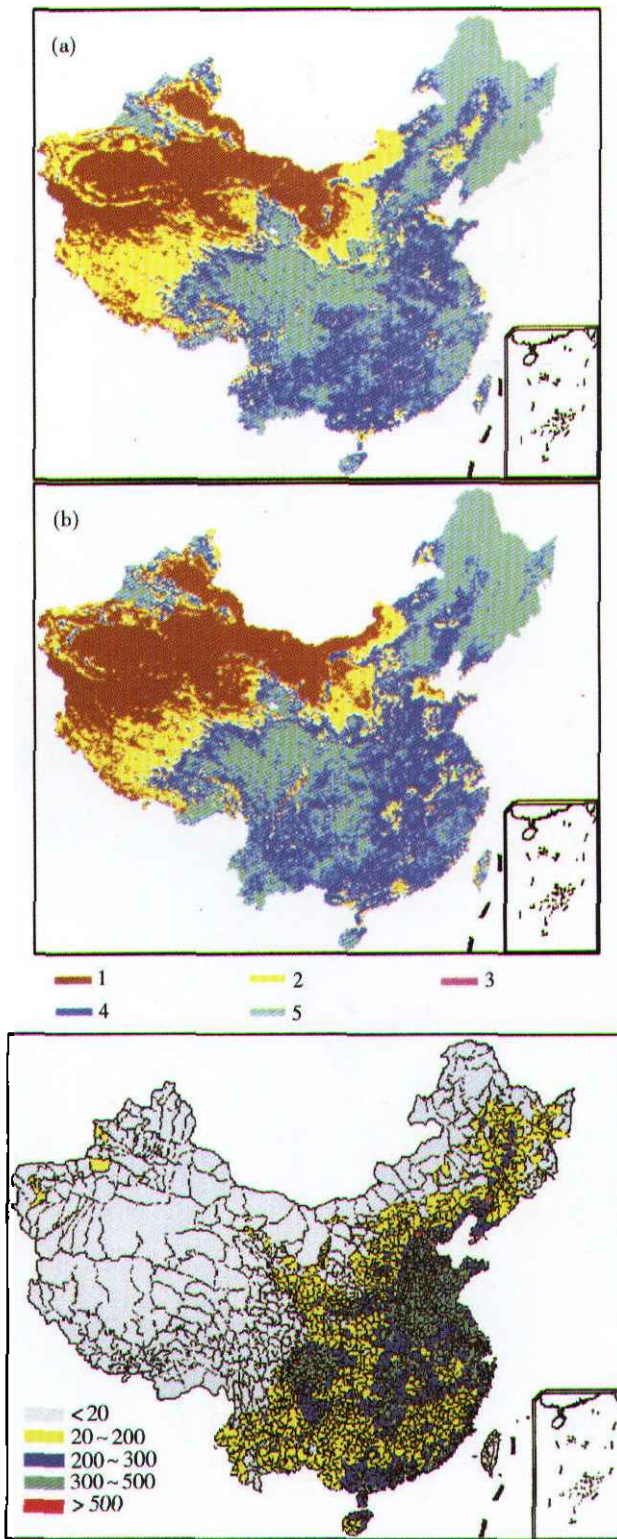
(2)自1995年以来,我国大范围出现地表覆盖质量严重退化现象,同时在西部地区沙漠和荒漠化日益严重,虽然我们还不能完全的解释这种现象,但分析结果表明这与近年来地表资源恶化,人为影响加剧有关。

(3)除少数地区外,降水量的变化并不是影响我国地表植被覆盖质量退化的主要原因,对降水比较敏感的地区主要分布在气候干燥、人口稀少的地区。

(4)人为因素可能是近年来地表覆盖状况发生改变的重要原因。地表覆盖状况下降的地区,存在两个特点:一是经济落后,社会经济发展主要依靠自然资源;二是经济发展迅速,经济建设改变了原有的地表植被结构。

### 参 考 文 献

- 1 Henderson-Sellers A. Effects of change in land use on climate in the humid tropics. In: Dickinson R E ed. The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions, 1987
- 2 Leemans R et al. Evaluating changes in land cover and their importance for global change. Trends in Ecology, Evolution, 1995, 10: 76
- 3 Houghton R A, et al. The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: Geographic Distribution of the Global Flux. Tellus 1987, 39(19): 122
- 4 Pickup G, et al. Estimating changes in vegetation cover over time in arid rangelands using landsat MSS data. Remote Sensing of the Environment, 1993, 43: 243
- 5 Ray T W, et al. Remote monitoring of shifting sands and vegetation cover in arid regions. Proceedings of IGARSS, 1994, 1033
- 6 Andres L, et al. Fourier analysis of multi-temporal AVHRR data applied to a land cover classification. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15: 1115
- 7 Ehrlich D, et al. Applications of NOAA AVHRR 1-km data for environmental monitoring. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(1): 145
- 8 Bilsborrow R E, et al. Population driven changes in land use in developing countries. Ambio, 1992, 21: 37
- 9 Mortimore M. Population growth and land degradation. GeoJournal, 1993, 31(1): 15
- 10 Zuidema G et al. Simulating changes in global land cover as affected by economic and climatic factors. Water, Air, and Soil Pollution, 1994, 76: 163
- 11 叶青超. 黄河断流对三角洲环境的恶性影响. 地理学报, 1998, 53(5): 385
- 12 伊国康. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因分析. 地理学报, 1998, 53(2): 174



地表 NDVI 变化比较(上方 2 图): (a) 1982 年 7 月 NDVI 分布, (b) 1999 年 7 月 NDVI 分布. 1~5 分别为: 沙漠和荒漠化地区, 少量植被覆盖地区,  $0.16 < NDVI \leq 0.26$ ,  $0.26 < NDVI \leq 0.36$ ,  $0.36 < NDVI \leq 0.65$ . 中国人口密布分布(下图, 单位: 人/ $\text{km}^2$ )