

中国植被覆盖季节变化和空间分布对气候的 响应——多年平均结果*

谢 力 温 刚 符 淙 斌

(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

文中利用 1982~1993 年的 12 a 平均归一化植被指数数据, 并结合同期的温度、降水数据, 运用经验正交函数分解的方法(EOF) 分析了中国植被覆盖变化的时空特征及其与温度、降水气候因子的定量关系, 发现在多年平均意义上, 在中国大尺度研究区域, 归一化植被指数所表现出的植被变化时空特征具有: (1) 植被的空间分布与降水空间分布更吻合, 植被季节生长变化与温度的季节变化特征更近似; (2) 植被与温度在季节生长变化上存在 e 指数关系; 与降水存在幂指数关系; (3) 植被季节生长与温度存在同期相关; 与降水存在滞后相关, 滞后时间两周。

关键词: EOF 方法, 植被空间分布, 植被季节生长变化。

1 引 言

以地球系统的整体行为作为研究对象的全球变化科学正在迅速发展。注重地球环境变化中物理、化学和生物 3 个基本过程及其三者之间的相互作用是全球变化科学最重要的特点之一, 尤其是无生命的地圈和有生命的生物圈之间的相互作用。在地圈与生物圈的相互作用中, 尤以大气圈与生物圈之间的相互作用最为活跃^[1]。植被是地表状况的重要特征, 是生物圈及其生态系统的核心和功能部分^[2], 因此植被-大气相互作用的研究已经成为全球变化研究的一个重要领域, 它主要包括: 植被-大气相互作用的模拟研究^[3, 4]、植被-大气相互作用的观测实验研究^[5, 6]和利用卫星遥感的植被信息进行的植被-大气相互作用的诊断研究^[7, 8]等方面。由于 NOAA AVHRR 具有周期短、覆盖范围广、成本低、波段宽等优点, 尤其根据植被反射波段特性计算得到的归一化植被指数可以从宏观上反映地表植被覆盖的空间分布密度和生长变化状况^[9], 目前被广泛的应用于植被-大气相互作用诊断研究领域。其计

算公式为:

$$I_{NDV} = (R_{nir} - R_{vis}) / (R_{nir} + R_{vis}) \quad (1)$$

其中, I_{NDV} 为归一化植被指数, R_{vis} 为可见光波段(0.58~0.68 μm) 的反射率, 处于叶绿素吸收带; R_{nir} 为近红外波段(0.75~1.10 μm) 的反射率, 处于绿色植物的光谱反射区^[10]。植物生态学表明, 决定植被覆盖变化的气候条件主要是温度和水分, 以及二者的配合状况^[11]。目前, 许多学者利用归一化植被指数(I_{NDV}) 数据, 从不同角度进行植被-大气诊断分析, 例如: 温刚^[12]分析了个别年份(1988~1989) 中国大陆植被与气候关系, 发现中国大陆植被生长存在明显的季节变化, 生长过程具有“突变性”, 植被生长的季节变化与东亚季风进退有关, 初步确定了一条斜穿中国大陆的大尺度植被过渡带, 植被生长延迟温度和降水的变化。孙红雨^[8]等利用 1985~1990 年 69 个月的 I_{NDV} 时间序列数据, 研究了中国大陆地表植被覆盖变化及其与气候因子的关系, 从而得出在中国植被指数沿经线具有明显的季相推移规律, 且推移时间和范围都远超出沿纬线的推移, 但他的研究侧重于在同一个纬度或经度, 即在一条线

* 初稿时间: 2001 年 4 月 29 日; 修改稿时间: 2001 年 8 月 16 日。

资助课题: 国家重点基础研究发展规划项目(G199043408) 及中国科学院创新项目(KZCX1-10-07)。

上研究植被生长变化受水热条件的影响,并且过去已有的大量研究在时间尺度上很少超过 10 a。而本文,是通过 12 a 平均卫星遥感数据的分析,从植被季节生长(时间)和地理空间分布(即在中国区域这一空间平面上)两个方面进一步研究中国区域的植被和气候要素的空间分布变化规律,寻找 I_{NDV} 时间序列与气候要素的响应关系。用多年平均的植被和气候资料,可以消除个别年份的差异,使得结果更具有普遍性。

2 数据集的建立和分析方法

本文使用的 I_{NDV} 数据来源于 1982~1993 年 NOAA/NASA Pathfinder AVHRR 陆地数据集^[13]中的 I_{NDV} 数据集部分。原数据集空间分辨率为 $8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ ($5' \times 5'$), 时间分辨率为“准 10 d”(每个月的 1~10 日, 11~20 日及当月剩余天数)。我们对新生成的数据集采取 $15'$ 的分辨率, 投影于经纬网格上, 每一个数据是 $15'$ 经纬网格内原 8 km 分辨率数据的平均值。这种空间平均计算相当于一种滤波处理, 保留植被物候共性的同时, 滤去部分个性特征^[14]。另外对新数据集的生成处理只是对陆地地点进行, 所有标识为水体(如海洋、湖泊)的点均排除在外, 通过以上处理, 则建立研究区域上的“准 10 d”时间分辨率和 $15'$ 空间分辨率的 1982~1993 年逐年逐旬 I_{NDV} 数据集。将 12 a 的数据进行时间平均, 建立了在中国区域范围内的 12 a 平均意义上的归一化植被指数旬变化数据集(空间点为 15430)。气候数据集采用研究区域 329 个台站旬均温和旬累积降水量, 然后对 12 a 同样进行时间平均计算, 建立多年平均意义上的温度和降水旬变化数据集(空间点为 329)。

为了从时空特征方面了解植被物候季节变化对气候的响应, 对上述 I_{NDV} 、温度和降水变化数据集进行经验正交函数(EOF)分析。EOF 分析是压缩和提取要素场演变的时空特征的有效方法。如果分析地域共有 n 个空间点, 每一时间点上某要素在分析地域上的分布可以表达为一个向量, 这个向量由

该要素在这 n 个空间点上的数值按空间顺序排列构成。如果需要分析的时段中有 m 个时间点, 则这个时段内某要素在分析地域上的分布状况可以按时间顺序排列到矩阵 $X_{m \times n}$ 中。矩阵 $X_{m \times n}$ 按照 EOF 可以展开成时空两个部分, 即

$$X_{m \times n} = A_{m \times n} Y_{m \times n} \quad (2)$$

其中, $A_{m \times n}$ 是 $X_{m \times n} X_{m \times n}^T$ 的特征向量(或主分量)矩阵, 包括了 m 个主分量, 每个主分量表现矩阵 $X_{m \times n}$ 中的一种时间演变特征(m 个时间点), 根据特征值计算出每个主分量的方差贡献, 衡量这种时间演变特征的重要性。因此, $A_{m \times n}$ 实际上是矩阵 $X_{m \times n}$ 展开中的时间部分。为便于分析, $A_{m \times n}$ 中主分量依照其各自对应的特征值从大到小的次序排列。通过关系式(2), 可以计算出矩阵 $A_{m \times n}$ 展开中的空间部分 $Y_{m \times n}$ 。对于 $A_{m \times n}$ 中某个主分量确定的时间演变特征, $Y_{m \times n}$ 中相应空间向量通过其数值指出这种时间演变特征在每个空间点上的强弱表现, 获得其空间分布。因此, $Y_{m \times n}$ 中的 m 个空间向量也可视为 m 种空间权重场。

由于 EOF 分析是一种已被熟知和广泛应用的多元分析方法, 具体方法参看参考文献[15]。针对本文, 多年平均 I_{NDV} 数据集空间维为 15430(15430 空间点)、时间维为 36(36 旬), 温度和降水的空间维为 329(329 个台站)。

3 从空间分布看中国植被对气候的响应

对 1982~1993 年 12 a 平均中国 I_{NDV} 、气温和降水的旬变化数据集作 EOF 分析。表 1 给出它们前 5 个主分量的方差贡献。从表中可见, 3 个变量第一主分量的方差均大于 84%, 说明 EOF1 提取了原数据集中主要空间分布和时间演变特征, 是反映中国多年平均意义上植被和气候关系变化最显著, 也是我们研究的主要分量。

植被在陆地上的分布, 主要决定于气候条件, 由于太阳辐射提供给地球的热量从赤道到两极存在规律性差异, 因而形成不同的气候带; 与此相应, 植被也形成带状分布, 这种沿纬度方向有规律地更替的

表 1 12 a 平均中国植被、温度和降水 EOF 分析方差贡献(%)

	第一主分量(EOF1)	第二主分量(EOF2)	第三主分量(EOF3)	第四主分量(EOF4)	第五主分量(EOF5)
I_{NDV}	86.92	8.97	1.24	0.95	0.35
温度	87.56	12.13	1.40	0.29	0.26
降水	84.43	8.22	1.53	0.99	0.89

植被分布,称为植被分布的纬向地带性,另外,从沿海到内陆,降水量逐渐减少,因此,以水分条件为主导因素,引起植被分布由沿海向内陆发生更替,这种分布格式,称为植被分布的经向地带性。植被的这种地带性分布规律在任何地点都是存在的,只是主次程度不同而已^[11]。下面我们利用 EOF 分析方法对多年平均意义上的 I_{NDV} 、温度、降水年变化数据

集进行 EOF 分解,由于 EOF1 提取了原数据集中的主要时间、空间演变特征,因此我们就利用 EOF1 时空场来分析一下在中国植被的时空分布主要受哪种气候要素影响更显著。

图 1 给出了上述 3 个变量 EOF1 空间场分布和其对应的时间演变曲线,从图中可以发现 3 个变量的 EOF1 空间分布特征(图 1a 见封三)

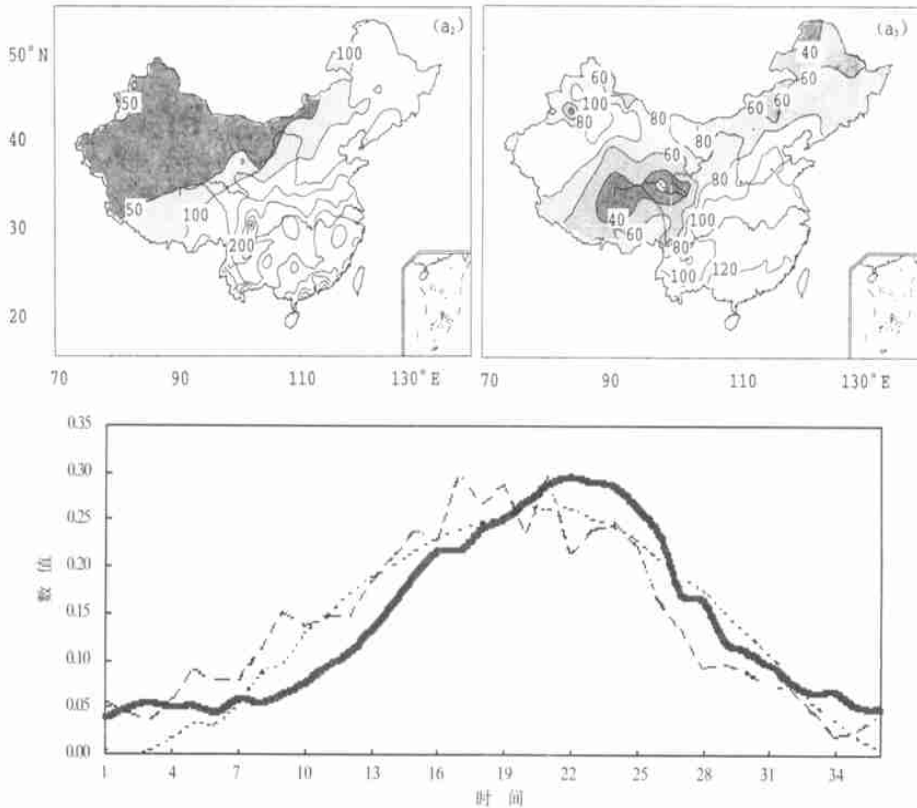


图 1 降水(a₂)和平均温度(a₃)的 EOF1 空间分布及其对应的时间演变曲线

(b 为时间演变特征; 实线: I_{NDV} , 长虚线: 降水)

(1) I_{NDV} : 在中国, I_{NDV} EOF1 值自东南向西北递减, 存在一条明显的植被过渡带^[16] (I_{NDV} 为 2.0 值线), 此过渡带东南一侧 I_{NDV} 值明显高于此带西北一侧的 I_{NDV} 值, 说明此带东南方向植被生长状况明显好于此带西北方向的植被生长状况。

(2) 降水量: 在中国, 降水量 EOF1 等值线大致呈东北-西南走向, 空间分布呈由东南向西北递减趋势, 100 等值线东南一侧, 降水较丰富, 此线西北一侧, 降水较少。中国水分条件从东到西, 由沿海到内陆降水量逐渐减少, 具有从湿润到干旱的变化。

(3) 温度: 在中国, 温度的低值区出现在青藏高原和东北部, 中国东南部温度相对较高, 在新疆吐鲁番盆地也有一个温度相对高值区。

3 个变量的东南部值均大于西北部值, I_{NDV} 的空间分布与降水、温度的空间分布响应均较好。其中, I_{NDV} 和降水在空间分布上具有更明显的自东南向西北迅速下降的趋势, 二者具有更好的地域性定向性, 如: I_{NDV} EOF1 空间场 2.0 值大致与降雨量 EOF1 的空间场 100 等值线互为对应, 而 I_{NDV} EOF1 空间场 1.0 值大致与降雨量 EOF1 空间场 50 等雨量线互为响应。而比较 I_{NDV} 与温度 EOF1 空间分布发现, I_{NDV} 对温度的空间响应则不如它对降水的空间响应关系好, 如在中国东北地区, 降水充沛(年降水量可达 500 mm 以上), I_{NDV} 值较高, 但温度较低, 植被分布为茂盛的落叶阔叶林(大小兴安岭)。从植被与降水量空间场更好的吻合关系表明, 中国

植被的空间分布对降水的空间分布依赖性要大于对温度的空间分布依赖性,反映了中国植被分布空间特征受以水分条件变化影响更显著。其原因在于:中国东面濒临太平洋,太平洋是水汽的主要来源,夏季东南季风的强弱决定着降水的多少,因此,从东南向西北,距海愈远,东南季风力量愈弱,降水愈少。植被随降水空间分布的变化按东南-西北方向依次更替着:落叶阔叶林或针阔叶混交林-草原(草甸草原-典型草原-荒漠草原)-荒漠(草原荒漠-典型荒漠)。植被的空间分布更受制于降水的空间分布,尤其在中国半干旱和干旱区域,降水不足是植被生长的主要限制因子。

4 中国植被的生长季节变化对气候的响应

植被的阶段发育(生长季节变化)受哪一个气候因子影响更大呢?即降水和气温对植被阶段生长发育的作用有什么不同?

图 1b 给出了温度、降水量和 I_{NDV} 3 个变量 EOF1 时间演变曲线。我们发现: I_{NDV} 在季节数值上的涨落与温度和降水的涨落互为响应,即降水集中的夏季和温度较高(太阳辐射较强)的月份,其 I_{NDV} 值也较高。从 3 条曲线的图形看, I_{NDV} 与温度的时间曲线从涨落变化和图形的形状更为接近,均

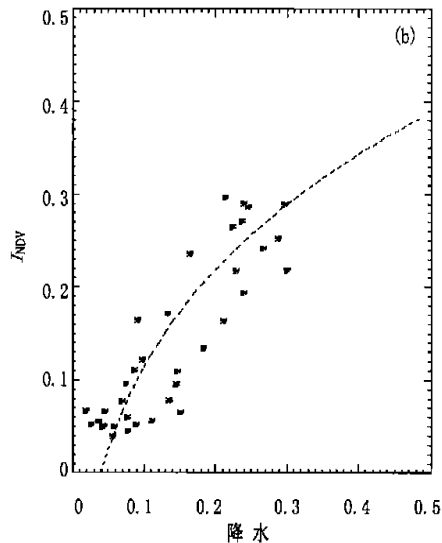
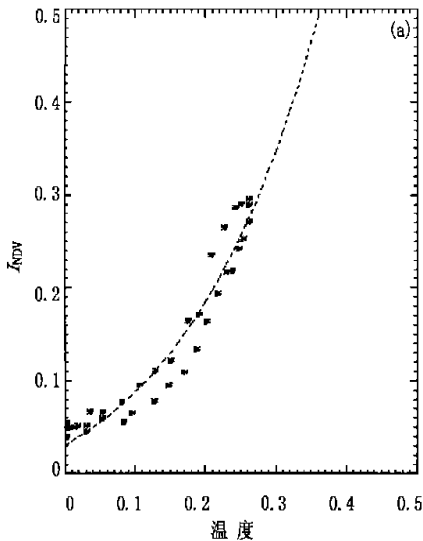


图 2 1982~1993 年 12 a 平均 I_{NDV} 分别与温度(a)、降水(b) EOF1 时间演变特征点聚图

拟合相关系数达 0.84,通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。 I_{NDV} 与降水的幂函数相关关系,且幂小于 1,说明当降水小于某值时, I_{NDV} 随降水的增加同样也是增加的,但当降水增加到一定范围, I_{NDV} 的增加速度

呈单峰型,而降水量 EOF1 时间演变曲线则呈多峰型。这里用 3 种方法(点聚图法、拟合方法和滞后相关分析方法)来着重分析植被的生长变化对气候的响应关系。

4.1 点聚图分析法

图 2 给出了 I_{NDV} 分别与温度(a)、降水(b) EOF1 时间演变特征点聚图(其中样本容量均为 36,代表 36 旬)。我们发现,年平均温度和 I_{NDV} 二者具有明显的 e 指数关系,其拟合函数为

$$Y = 0.0871135e^{5.11407x} - 0.05679$$

拟合相关系数可达 0.9699,通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验,这种 e 指数关系表明 I_{NDV} 温度、降水随温度的增加而增加,说明植被对温度有很强的感温性,温度升高,植被的生理生化反应加快,生长发育加速;温度降低,植被的生理生化反应变慢,生长发育迟缓。在一定的温度范围内(一般植物生长的温度范围是 $0 \sim 45^{\circ}\text{C}$),随着温度的上升,植物生长的速度就加速。图 2a 反映了植被随温度的迅速增加能加速生长发育的趋势。

图 2b 表明经 EOF 分析后年平均 I_{NDV} 与降水的第一模态时间演变序列大体呈幂函数关系,其指数小于 1。拟合函数为

$$Y = X^{0.243728} - 0.456572$$

则趋于缓慢。可能的原因是当降水达到或超过一临界值时,降水量不再是植被增长的限定因素。

4.2 拟合方法

对 I_{NDV} 、温度和降水量 EOF1 时间序列进行线

性拟合分析, 建立拟合方程:

$$I_1 = b_0 + b_1 T_1 + b_2 R_1$$

其中, I_1 , T_1 和 R_1 分别为 I_{NDV} 、温度和降水的 EOF1 时间序列值。

依最小二乘法原理及求解线性方程组的方法得到权重系数 $b_j (j = 1, 2)$ 后, 可得到常数项 b_0 。进行方差分析, 对所求得的拟合方程进行 F 检验。计算 $F = u/k/Q/(N - K - 1)$, $F > F_a$, 则方程通过检验, 其中

$$\text{拟合平方和: } u = b_j L_{jy}$$

$$\text{偏差平方和: } Q = L_{yy} - u$$

$$\text{复相关系数: } R = \sqrt{u/L_{yy}}$$

$$\text{平均标准偏差: } S = \sqrt{Q/(N - K - 1)}$$

依此法我们得出的多年平均 I_{NDV} 、温度和降水的 EOF 第一模态时间序列拟合方程为:

$$I_1 = 0.012853 + 0.800731 T_1 + 0.118556 R_1$$

方差值为 0.035, 复相关系数为 0.936412, 通过 0.05 显著性检验, 说明植被季节变化受温度和降水的季节变化影响均很大, 由于温度的权重系数 ($b_1 = 0.800731$) 远大于降水量的权重系数 ($b_2 = 0.118556$), 表明植被的季节生长对温度的依赖性要强于对降水的依赖性, 植被生长季节变化对温度的响应更敏感, 植被的季节变化特征与温度的季节变化特征更近似, 说明温度对自然界的的影响最敏感和最明显的是表现在植被的生长发育上, 例如: 平均气温达到 5°C 以上, 植被恢复生长。 10°C 以上, 植被生长呈现出活跃现象^[2]。用此方法进一步验证了传统的生态学观点, 即植被在季相变化上对温度更敏感^[11]。

4.3 滞后相关分析

图 1b 还反映了一个特征, 即温度和降雨量的涨

落近于同期, 而 I_{NDV} 季节涨落滞后温度和降雨量季节涨落变化。说明在中国, 降水量的多少和同期的温度高低成正相关, 这对植被的生长发育很有利。下面我们定量分析植被生长滞后温度和降水量问题。对 I_{NDV} 、温度和降水 EOF1 时间序列(样本容量均为 36 旬)作定量相关分析, 根据时滞相关系数的计算方法, 分别计算 I_{NDV} 与温度的 EOF1 时间序列时滞相关系数和 I_{NDV} 与降水的 EOF1 时间序列时滞相关系数。计算公式如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

其中, 变量 x 代表准 10 d I_{NDV} , 变量 y 代表旬平均温度或旬降水量, \bar{x} 为变量 x 的均值, \bar{y} 为变量 y 的均值, r 为变量 x 和 y 变量的相关系数, n 为样本容量(文中取 36, 代表 36 个旬)。

表 2 给出了计算结果。从表中我们可看到, 在中国, I_{NDV} 对温度和降水均呈正相关关系, 且通过 $\alpha = 0.01$ ($r_{c=0.4235}$) 的显著性检验, 即通过信度达 99% 的检验。温度和 I_{NDV} 的同旬响应最好, 相关系数达 94%, 降水和其滞后 2 旬的 I_{NDV} 响应关系最好, 滞后相关系数达 93%。植被对温度的同旬响应说明植被对温度的反应敏感, 对温度的直接依赖性强, 温度的季节涨落对植物萌芽、开花以及营养期结束起到关键作用。而植被对降水量的滞后响应则可能是由于植被生长对累积土壤湿度的直接依赖要强于对降水量的直接依赖——植被生长主要通过吸收土壤水分而获得的。土壤水分含量多少直接影响植物的生长发育, 而土壤水分的获得主要通过大气的降水量。

表 2 经 EOF1 分析后的多年平均 I_{NDV} 分别与温度和降水的相关系数

变 量	滞后时间(旬)						
	- 2	- 1	0	1	2	3	4
温 度	0.79	0.88	0.94	0.93	0.90	0.85	0.77
降 水 量	0.65	0.79	0.88	0.92	0.93	0.91	0.86

注: 表中 - 2 和 - 1 分别表示温度或降水滞后 I_{NDV} 2 和 1 旬, 0 表示温度或降水与 I_{NDV} 同期, 1~ 4 分别表示 I_{NDV} 滞后温度或降水 1, 2, 3, 4 旬)

5 结 论

文中利用卫星遥感数据, 对从中国植被空间分

布和季节生长变化(植被的季相变化)两个方面分别对气候响应的多年平均状况进行了分析, 得出结论如下, 从多年平均意义上讲, 在中国大尺度研究区域

内:

(1) 能够真实反映地表植被覆盖状况的植被指数空间分布格局主要受制于水热条件, 温度和降水的空间分布奠定了植被的分布; 植被的空间分布特征与降水的空间分布特征更吻合, 说明降水的多少直接影响植被空间分布, 在植被的空间分布上降水比温度起着更大的作用; 植被季节生长变化与温度的季节变化特征更近似, 说明温度对植被的季相变化起着比降水略大的作用。

(2) 植被与温度存在 e 指数关系, 这种关系说明当温度低于某临界值时, 植被的变化不显著, 超过此值, 植被随温度迅速增加而加速增长; 植被与降水存在幂指数关系, 这种关系可能反映了当降水量未超过临界值时, 植被随降水量增加而增加, 但当降水量达到或超过临界值时, 降水量不再是植被增长的控制因子。

(3) 中国植被的季节生长与温度存在同期相关; 与降水存在滞后相关, 滞后时间为两旬。

参考文献

- 1 符淙斌. 全球变化与我国未来的生存环境. 北京: 气象出版社, 1996. 248~ 257
- 2 吴征镒等. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980. 1375pp
- 3 Dickinson R E, Kennedy P J, Henderson-Sellers A, et al. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme for NCAR Community Climate Model Tech. Note, NCAR/TN- 275, Boulder, 1986
- 4 季劲均. 陆地表面物理和生物学过程年变程的模拟. 见: 符淙斌, 严中伟编. 全球变化与我国未来的生存环境. 北京: 气象出版社, 1996. 248 ~ 257
- 5 Gao Youxi. Heihe River Basin field experiment on the atmosphere-land surface interaction in Western China(HEIFE) . In: Ye Duzheng, Lin Hai, et al, eds. China Contribution to Global Change Studies. 1995. 38~ 41
- 6 Hall F G, Sellers P J. First International Satellite Land Surface Climatology Project(ISLSCP) Field Experiment Land Surface(FIFE) in 1995. J Geophys Res, 1995, 100(12): 385~ 395
- 7 Ada R Malo, Sharon E, Nicholson. A Study of Rainfall and Vegetation Dynamics in the African Sahel Using Normalized Difference Vegetation Index. J Arid Environ. 1990, 19: 1~ 24
- 8 孙红雨, 王长耀等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系. 遥感学报, 1998, 2(3): 204~ 210
- 9 Townahend J R G. Global, Data sets for land applications from the advanced very high resolution Radiometer: An introduction. Int J Remote Sensing, 1994, 15(17): 3319~ 3332
- 10 Nicholson S E, Davenport M L, Malo A R. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using normalized difference vegetation index from NOAA AVHRR. Clim Change, 1990, 17: 209~ 241
- 11 曲仲湘等. 植被生态学. 北京: 人民教育出版社, 1980. 430pp
- 12 Fu Congbin, Wen Gang. Variation of ecosystems over East Asia in association with seasonal, inter-annual and decadal monsoon climate variability. Clim Change, 1999, 43: 477~ 494
- 13 James M E, Kalluri S N V. The pathfinder AVHRR land data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. Int J Remote Sens, 1994, 15: 3347~ 3364
- 14 温刚. 中国东部季风区植被季节和年际变化及其对气候响应的卫星遥感研究: [学位论文]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 1999
- 15 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 1990. 385pp
- 16 温刚. 中国大陆植被季节变化的卫星遥感和植被-气候关系的初步研究: [学位论文]. 北京: 中国科学院大气物理研究所. 1990

THE RESPONSE OF THE VEGETATION SEASONAL VARIABILITY AND ITS SPATIAL PATTERN TO CLIMATE VARIATION IN CHINA: MULTI-YEAR AVERAGE

Xie Li Wen Gang Fu Congbin

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

Abstract

With the multi precipitation, and the seasonal variability of growth represented by NDVI is well correlated with the seasonal temperature variation.

(2) The exponential 'e' relationship exists between NDVI and temperature. When the temperature is lower than some threshold value, the change of NDVI is not evident. When the temperature is above the value, the NDVI increases greatly with a rate greater than the increasing rate of temperature. In the meantime, the NDVI and precipitation have a power exponent relationship. This probably is reflected by the following facts. When the precipitation does not exceed some threshold value, the NDVI increases along with the increase of precipitation; but when the precipitation reaches or exceeds the threshold value, the precipitation no longer acts as the controlling factor of vegetation increase.

(3) The seasonal growth of vegetation in China responds to the temperature synchronically, but lags a 20-day behind the precipitation on the average.

Key words: China, NDVI, Spatial pattern, Seasonal variability.

谢力等：中国植被覆盖季节变化和空间分布对气候的响应——多年平均结果

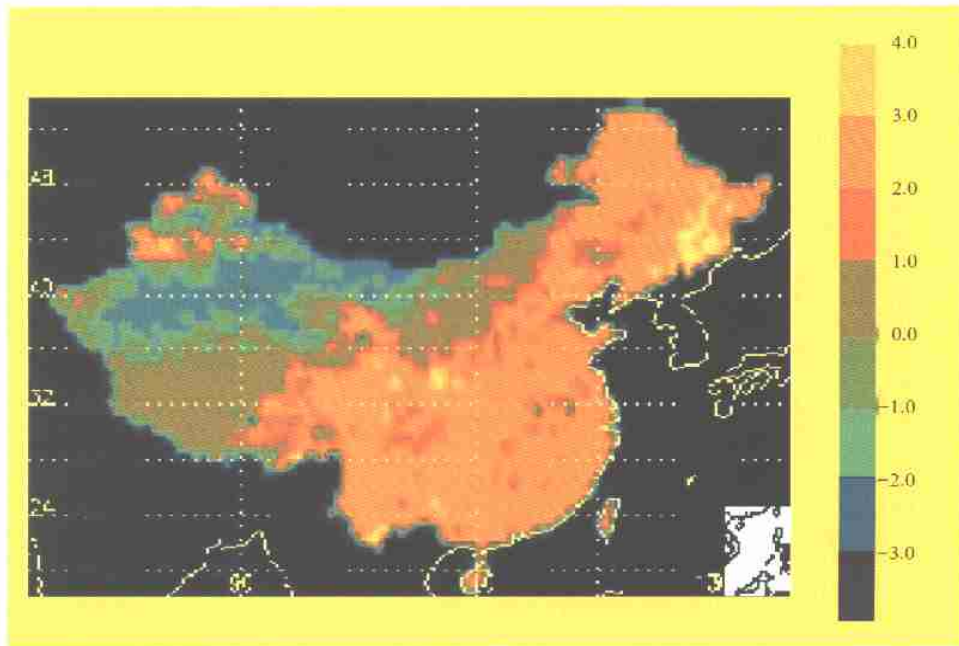


图 1a₁ 归一化植被指数的 EOF1 空间场分布

师春香等：用神经网络方法对 NOAA-AVHRR 资料进行云客观分类

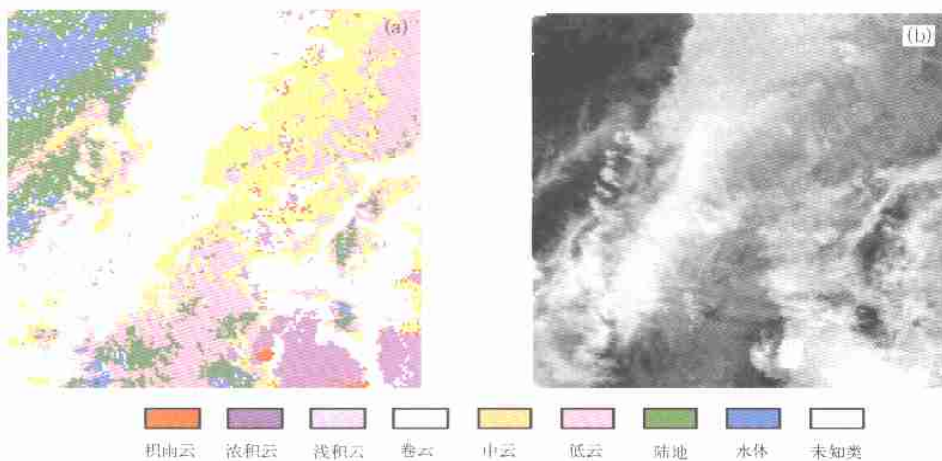


图 3 云和地表分类应用试验结果

(a, NOAA-11 1992 年 6 月 20 日 5 时, (UTC), 范围 30°-35°N, 140°-145°E 的分类图, b. 同时次通道 4 云图)