

利用卫星遥感数据集确定气候 过渡带和植被过渡带^{*}

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 利用卫星遥感数据, 以局域植被物候现象分析为基础, 开展大尺度植被分布的宏观特征研究, 试图从一个新的角度, 考察中国东部季风区植被物候的地域表现。研究区域位于夏季风自南向北推进的路径上, 限定在(23~47°N, 115~120°E)的条状区域内, 并以1个纬度的间隔划分出24个空间段。在研究中, 利用NOAA/NASA Pathfinder AVHRR陆地数据集的归一化植被指数(NDVI)数据集, 对24个空间段上的植被物候季节特征进行了经验正交函数 EOF)分析。使用 EOF 第一主分量的方差贡献作为一种定量指标, 以一种定量化的方式, 确定了由不同植被物候特征表现的植被过渡带和气候过渡带的位置, 其结果与过去植被生态研究和气候研究中通过植被和气候区域划分提出的过渡带位置相对应, 验证了在中国东部季风区上现有植被区划和气候区划的合理性。这项研究还表明, 植被生态的宏观特征可以使用定量化的方法进行分析, 卫星遥感为此提供了有力的支持。

关键词 卫星遥感; 植被; 气候; 过渡带

1 引言

在地带性气候分布的作用下, 植被的分布也具有地带性特征。在中国东部季风区里, 受季风气候驱动力的控制, 植被呈现出明显的纬向地带分布特征^[1]。以森林区为例, 从南向北依次分布着热带季雨林与雨林带、亚热带常绿阔叶林带(北亚热带落叶与常绿阔叶混交林亚带、中亚热带常绿阔叶林亚带、南亚热带季风常绿阔叶林亚带)、暖温带落叶阔叶林带。季风气候的影响继续向北延伸到了温带草原区。在这种情况下, 中国东部季风区里的植被物候特征也有可能具有纬向地带性的表现。本文所说的物候, 并不注重诸如某一特定种类植物的发芽和开花的时间, 而是希望了解大尺度生态系统的植被物候变化信息, 故而采用一个较宽的定义, 即“循环出现的生物事件的时间, 其生物和非生物的驱动原因, 以及相同和不同物种的生长变化位相关系”^[2]。但是, 中国东部经过数千年的农业开垦, 上述森林划分区中的原始林及其次生林早已萎缩到山区和部分丘陵区, 大量的平原和丘陵地区以种植农作物和经济林为主。在广大农业区, 农业植被为现实植被, 被替代的原有森林植被成为了潜在(potential)植被。植被的替代是否对可能存在的植被物候纬向地带性特征产生影响? 植被对气候环境的适应, 也同时表现为对气候条件的充分利用, 以达到最优。替代植被应该表现原有植被对生长环境的适应特

征, 否则, 替代植被没有很好地利用气候环境提供的条件, 实现的替代就不是最优的。中国农业精耕细作的特点, 决定了替代原有植被的农业植被充分利用了生长环境所提供的气候条件。因此, 在植被生长环境因素, 特别是气候条件的约束下, 农业植被等替代植被的多数物候特征应该同原始植被的情形相似。

在植被生态学研究的发展中, 卫星遥感的一个重要应用是寻找宏观的植被生态分布特征。较粗分辨率的卫星遥感连续观测图像具有难以替代的优势。例如, 利用植被特有的光谱反射特征^[3]和植被生长的季节变化特征进行植被分类^[4~6], 确定植被种类的空间分布。通常这种分类需要得到已有的植被图、土地利用图以及地形、气候数据集等先验知识的支持。那么现有的植被图在植被区划方面是否合理? 植被区划是根据地区植被生长的地理规律, 对植被地带性分布进行描述。由于植被区划主要依据人工地面调查和植被生长环境(如气候、土壤、高程和地形等)推算获得, 以定性为主, 需要有其他客观的和定量的方式方法予以验证。另外, 因为植被的分布是对气候的长期适应的结果, 也可以从植被研究中讨论气候区划的合理性。

卫星遥感提供了一种客观、有效的验证手段。在被动遥感中, 传感器接收到的植被反射信息以数字化的方式记录下植被生长及其变化特征。经过对这些信息的数字信号处理和分析, 就可以在区域尺度上, 寻找植被生长的物候变化规律^[7~9], 以及通过这些物候规律表现出的植被宏观分布特征。过去的研究^[10,11]指出了卫星遥感在这方面具有的能力, 并在对中国大陆植被物候季节变化的卫星遥感分析中, 确定了与植被生态研究结果相吻合的季风区与非季风区之间的植被大尺度过渡带及高原地形造成的植被过渡带。在国外也存在着利用卫星遥感手段进行植被过渡带研究, 如用粗分辨的 NOAA AVHRR 数据分析非洲 Sahel 地区植被过渡带的变化^[12]。

本文利用卫星遥感数据, 以提取局域物候现象为基础, 试图从一个新的角度, 对中国东部季风区植被物候的地域表现进行分析, 并借助这些分析, 确定植被过渡带以及与植被分布密切相关的气候过渡带, 由此验证植被生态学研究得到的植被区划^[1]和气候学研究得到的气候区划^[13]。

2 研究区域

研究区域限定在($23^{\circ}\sim 47^{\circ}\text{N}$, $115^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)的条状区域内, 位于夏季风自南向北推进的路径上, 穿过中国东部季风区的主要部分。在条带区域的北端, 是夏季风影响的尾间。在此条状区域内, 以 1 个纬度的间隔划分出 24 个空间段, 即 $23^{\circ}\sim 24^{\circ}\text{N}$, $24^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$, ……、 $46^{\circ}\sim 47^{\circ}\text{N}$, 见图 1。

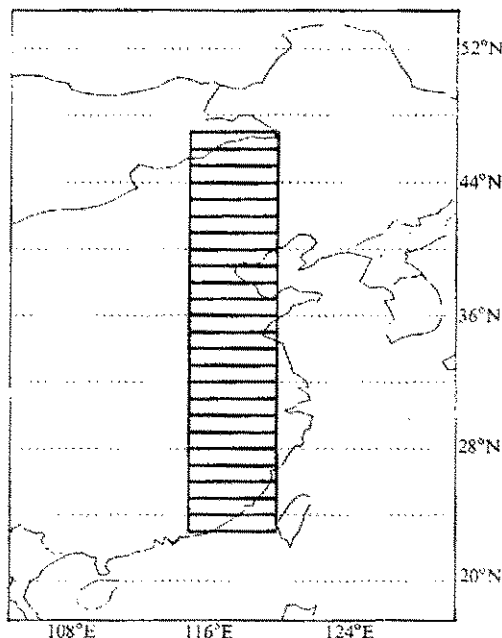


图 1 研究区域

对研究区域的选取考虑了三方面因素。

首先,研究区域内的季节性植被的物候表现和气候特征不失普遍意义,能够代表各纬度情况。我们已经知道,中国东部植被的水平分布具有典型的纬向变化特征,并对应其气候环境因子的分布状况^[1];同时,前面已指出,同地带的现实农业植被和潜在植被应共同具有多数物候特征。其次,为方便分析,截取的研究区域从南向北以直线通过了中国东部大部分地区。第三,考虑到卫星遥感数据的特点,应尽量排除复杂地形对数据分析的影响。中国东部的地形比较复杂,在选取区域的各纬度带上,地形状况最好一致。研究区域内,北方的地形基本上是平原,南方的地形包括了丘陵。

3 方法

本文数据处理中采用了经验正交函数(EOF)分析方法。EOF分析是提取要素场演变的时空特征的一种有效方法^[14],与主成分分析(PCA)方法非常相似。EOF分析同PCA的区别在于,EOF分解是针对要素场自身进行的,而PCA中的分解是对要素场的时(空)间离差场或者是标准化场进行的。当EOF分解是针对要素场的时(空)间离差场或者是标准化场进行时,可以认为是对要素场进行PCA中的分解。由于EOF分析是一种已被熟知和广泛使用的多元分析方法,在此不再予以介绍(参阅文献[14])。

在进行要素场序列的EOF时空分解时,可以获得三方面信息,其一是分解后各主分量的时间演变序列;其二为对应于该时间演变特征的空间场,表明这种时间特征在空间各点的表现强度或权重;其三就是各主分量的方差贡献及其在总方差中占有的份额,表明每个主分量时空特征的重要性。从EOF的原理出发,可知EOF第一主分量(EOF1)通常占有比其他主分量大得多的方差贡献。空间场内各点的时间变化特征越一致,EOF1的方差贡献越大,说明空间信息的表现越统一,空间场内各点表现出的个性越少,共性越多。如果各空间点上的时间变化特征的差异很大,则EOF1的方差贡献就越小,信息将越多地分散到反映个性特征的其他主分量上去。如果把个性特征作为噪音考虑,噪音越强,越不利于找到共性特征。

下面建立的数据集及其EOF分析,就是要利用EOF1方差贡献作为每一个空间段内的物候共性特征的指标量,讨论和说明植被物候共性信息在中国东部季风区内从南向北的变化状况。生态学知识告诉我们,当生长的环境条件近似时,各种类的植被物候阶段会出现趋于接近的表现。这有利于寻找特定地域上植被物候的共同特征。当相邻两空间段内植被物候共性信息发生了显著改变时,即可判断这里出现了植被过渡带。

4 数据及其处理

本文工作使用的卫星遥感数据生成于1982~1993年的NOAA/NASA Pathfinder AVHRR陆地数据集中的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index,简称NDVI)数据集部分。NDVI多被用作提取和表现植被特征的工具。NDVI的计算方法是

$$I = \frac{N - R}{N + R}, \quad (1)$$

其中, I 为 NDVI, R 是可见光通道观测到的地面反射率, N 是近红外通道观测到的地面反射率。Pathfinder AVHRR 陆地数据集是对多年积累的逐日 AVHRR 观测经过统一算法再处理后生成的, 处理流程包括数据读取、导航、标定、大气校正、云标识、NDVI 计算、投影、质量控制以及合成等步骤^[15]。通过处理, 大大减少云对地面植被的遮蔽, 以及观测的几何特征和大气消光等因素的影响; 并对数据集涉及的多个 AVHRR 遥感器, 利用各遥感器的标定数据, 对所有数据进行了校正, 使数据集具有很好的观测标准同一性。这个数据集的时间分辨率是“准 10 天”(每月的 1~10 日, 11~20 日及当月剩余天数), 数据集每一时间点上 NDVI 值为“准 10 天”内逐日最大值合成计算得到^[16], 12 年共 432 个时间点。

为了方便后续数据处理, 对于我们选定的研究区域中的每一个空间段, 把 8 km 分辨率的原数据集投影于 5' (1/12 经或纬度) 分辨率经纬网格上, 建立了研究区域上的“准 10 天”时间分辨率和 5' 空间分辨率的 1982~1993 年 NDVI 数据集。然后, 对 12 年的 NDVI 数据集进行时间平均计算, 获得多年平均意义上的 NDVI 年变化数据集。通过 12 年平均计算, 可以排除逐年信息中的年际变化信息干扰。从长期平均的角度进行分析, 是符合植被生态知识的, 因为植被的分布是对环境长期适应形成的, 虽然存在可能的植被生长年际变化, 但植被分布的主要特征即平均状况改变很少。

从研究目的出发, 利用植物生态学知识, 在上述多年平均意义上的 NDVI 年变化数据集的基础上, 对 24 个空间段均分别建立下面 3 种数据集; 再对各段内的数据集进行 EOF 分解, 考察第一主分量的方差贡献。

(1) NDVI 空间离差场数据集。在每一个时间点上, 计算本空间段内各空间点上 NDVI 的平均值, 构成空间平均意义上的一个具有本空间段内一般性的 NDVI 年变化序列。在段内, 对每个空间点上 NDVI 年变化均减去这一平均序列, 从而建立本段内的 NDVI 空间离差场数据集 (以下简称为数据集 A), 它表现出段内各点间 NDVI 差异的空间分布及其时间演变。如果在一个空间段内, 植被的生长表现越一致, 或类别越少, 则各点间的 NDVI 空间差异及其时间变化越小, 该数据集 EOF1 的方差贡献越大; 反之, 其方差贡献就越小。

(2) NDVI 空间离差场的年距平数据集。为突出季节性植被特征, 需要从数据集 A 中去除常绿植被和常年裸土的影响。由于常绿植被和常年裸土的 NDVI 年变化不大, 从数据集 A 的数据序列中, 对各空间点减去数据集 A 中的该点数据序列的年均值, 即可去除或显著降低常绿植被和常年裸土的影响, 构成 NDVI 空间离差场的年距平数据集 (以下称为数据集 B)。如果一个空间段内的季节性生长植被越多, 且植被生长的季节性特征越一致, 则该数据集 EOF1 的方差贡献越大; 反之, 其方差贡献越小。

(3) NDVI 空间离差场的年标准化数据集。为了在同一水平上考察同一空间段内和不同空间段之间的植被生长 NDVI 在不同时间点上的变化, 对数据集 A 的数据序列进行时间标准化, 建立 NDVI 空间离差场的年标准化数据集 (以下称为数据集 C)。对数据序列进行时间标准化的方法是

$$y_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma}, \quad (2)$$

其中, x_i 是原数据序列的样本值, $\bar{x}$ 和 σ 分别是原数据序列样本值的平均值和标准差, y_i 是经过时间标准化处理的数据序列的样本值。如果在一个空间段内, 植被的空间相对差异随时间变化小, 或植被的生长的季节同时性越强, 则该数据集 EOF1 的方差贡献越大; 反之, 其方差贡献越小。由于标准化处理, 数据集 C 中不包含或包含很少的常绿植被和常年裸土信息。

以上三种序列从不同角度反映了植被 NDVI 的物候季节变化特征。

5 结果和讨论

对研究区域 24 个空间段的数据集 A 、 B 和 C 进行 EOF 时空分解和绘图, 受篇幅限制, EOF 时空分解后获得的时间变程和空间分布结果就不在这里提供。

图 2 描绘了由各空间段数据集 A 的 EOF1 方差贡献联结的曲线。图中, 横坐标表明空间段沿纬度的排列, 25 即为 25~26°N 空间段, 30 为 30~31°N 空间段, 其余类同。按照图 2 曲线趋势性特征, 同时, 参考各空间段上 EOF1 时间序列的演变特征, 图 2 曲线可以划分出 4 个区段: (1) 23~31°N 区段; (2) 31~34°N 区段; (3) 34~42°N 区段; (4) 42~47°N 区段。

图 2 曲线上的波动, 很可能是因为局地性的植被及其生长环境特征造成的, 由于不影响寻找曲线趋势性的特征, 在区段划分中, 对这些波动不予考虑。

在 23~31°N 区段上, EOF 第一主成分的方差贡献基本稳定在 70%~80% 之间。在 31~34°N 区段上, 方差贡献从南向北表现出从 75% 到 50% 左右的一致递减。在 34~42°N 的区段上, 方差贡献表现出趋势性的增长, 变化幅度在 55% 至 90% 之间。第 42~47°N 的区段上, 方差贡献仍然表现出趋势性的增长, 变化幅度在 75% 至 95% 之间。结合植被生态知识, 从以上结果可以看到, 在总趋势上, 当各空间段内部植被的物候阶段特征趋于一致时, 植被物候的共同特征多, EOF 第一主成分的方差贡献就高; 反之则低。

植被的物候阶段特征趋于一致, 可以包括两种情形。一种情形是低纬度空间段中植被生长的常绿特征。自然植被是常绿植被, 农业植被虽为季节性种植, 绝大多数时间仍处于旺盛生长阶段, 土壤裸露和低 NDVI 时间很短, 使地表覆盖基本常绿。另一种特征, 是较高纬度空间段中, 植被季节生长同步调, 如内蒙古的草原植被均有一个生长峰; 华北平原的农业植被类型较少, 限于冬小麦、玉米等, 轮作或套作模式固定, 且随纬度增高, 这种特征愈加明显, 因而作物的种植生长阶段长度在各空间段内趋于一致。

植被的物候阶段一致性不强, 在自然植被方面, 主要是常绿植被与季节性植被混杂, 空间段内 NDVI 的年变化中包括了常绿和季节性的落叶或生长状态转换等两类信息; 在农业植被方面, 农业植被的类型较多, 种植模式多样, 使作物的种植选择和作物生长阶段及其长度有所不同。

另外, 在一个空间段中, 自然植被与农业植被分别占有的比例也会影响到空间段内

植被物候阶段的一致性。因为自然植被完全由自然环境控制,而农业植被除自然环境控制外,还要受到人对农业植被进行季节性种植和管理的影响。

按图2曲线区段划分,区段过渡带的位置是 $30\sim 31^{\circ}\text{N}$ 、 $33\sim 34^{\circ}\text{N}$ 和 $41\sim 42^{\circ}\text{N}$,对应着植被过渡带的位置。按照自然植被区划, $30\sim 31^{\circ}\text{N}$ 以南属常绿阔叶林区,以北至 $33\sim 34^{\circ}\text{N}$ 属含有常绿落叶阔叶树种的混交区; $33\sim 34^{\circ}\text{N}$ 以北至 $41\sim 42^{\circ}\text{N}$ 的地区为温带落叶阔叶林区; $41\sim 42^{\circ}\text{N}$ 以北是温带草原区。

如果仔细观察图2的 $23\sim 31^{\circ}\text{N}$ 区段,还可以发现在 $26\sim 27^{\circ}\text{N}$ 两侧存在不同。在这一位置以南空间段,方差贡献的曲线平滑,并维持在80%左右;在这一位置以北的空间段,曲线则具有波动性特征,方差贡献在75%左右变化。 $26\sim 27^{\circ}\text{N}$ 对应着一条植被过渡带,以南为具有热带树种的常绿阔叶林区,以北属亚热带的常绿阔叶林区。

图3表现了各空间段上数据集B的EOF1的方差贡献的变化趋势。曲线具有两个显著的特征,第一,曲线表现了总体的增长趋势,表明从南向北,季节性植被的年变化信息是增强的;第二,参考前面的区段划分方法,可以把整条曲线划分为4个区段:(1) $23\sim 29^{\circ}\text{N}$ 区段;(2) $29\sim 34^{\circ}\text{N}$ 区段;(3) $34\sim 42^{\circ}\text{N}$ 区段;(4) $42\sim 47^{\circ}\text{N}$ 区段。

在 $23\sim 29^{\circ}\text{N}$ 区段,各空间段的EOF1方差贡献在19.63%至54.93%之间,均值37.97%。从数值上看,EOF1的方差贡献比之后续主分量的方差贡献优势不明显,说明这里的季节性植被的年变化特征不强。其原因是由于热量和水分条件充足,季节性植被(主要是农作物)的物候阶段转变过程中,植被很快进入旺盛成长阶段,使地表裸露和植被低生长阶段很短。

在 $29\sim 34^{\circ}\text{N}$ 区段,各空间段的EOF1方差贡献在32.88%至50.15%之间,均值43.21%。EOF1的方差贡献虽有所提高,但是,与上一区段相似,对于后续主分量的方差贡献仍不占有很大优势。同时,在这一区段内,常绿植被逐渐消失,至 34°N 左右,自然植被已基本是季节落叶植被。

在 $34\sim 42^{\circ}\text{N}$ 区段,各空间段的EOF1方差贡献在37.12%和75.70%之间,均值56.35%。在这一区段的各空间段,EOF1的方差贡献已对后续主分量的方差贡献占据明显优势,因而季节性植被的年变化特征十分强烈,

在 $42\sim 47^{\circ}\text{N}$ 区段,各空间段的EOF1方差贡献在83.60%和92.36%之间,均值86.68%。EOF1方差贡献对后续主分量的方差贡献占据绝对优势,植被生长年变化的季节性最为显著。

在图3曲线的区段划分中,过渡带的位置是 $29\sim 30^{\circ}\text{N}$ 、 $33\sim 34^{\circ}\text{N}$ 和 $41\sim 42^{\circ}\text{N}$ 。与图2情况不同,它们更明确地表现了气候过渡带的位置,其原因是季节性植被的物候处于季风气候因子的强烈控制之下。 $29\sim 30^{\circ}\text{N}$ 以南为南亚带气候和中亚带气候型,以北至 $33\sim 34^{\circ}\text{N}$ 为北亚热带气候型; $33\sim 34^{\circ}\text{N}$ 与 $41\sim 42^{\circ}\text{N}$ 以南属南温带气候型; $41\sim 42^{\circ}\text{N}$ 以北则为北温带气候型。可以注意到,植被过渡带和气候过渡带的位置是相近或相同的,在植被生态学意义上,这是植被分布及植被物候对于气候的长期适应形成的结果。

图4是对数据集C进行各空间段上EOF分解后第一主分量方差贡献的连续表现。在趋势上,这条曲线以 $33\sim 34^{\circ}\text{N}$ 为界分为两个部分。此界以南,曲线的趋势基本不变,或略有增加;而此界以北,曲线则表现出显著的增长趋势。这个界限对应于气候上

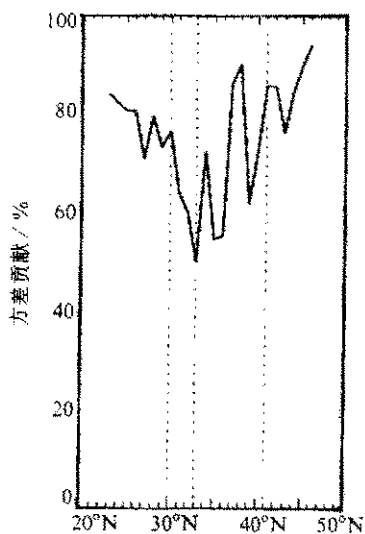


图 2 数据集 A 在 24 个空间段的 EOF1 方差贡献的联结曲线和区段划分
横坐标表明空间段沿纬度的排列, 25 即为 25~26°N 空间段, 30 为 30~31°N 空间段, 其余类同

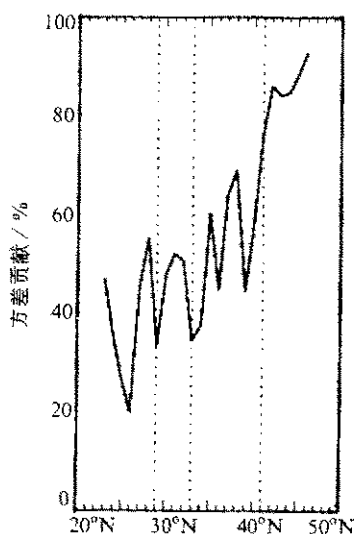


图 3 数据集 B 在 24 个空间段的 EOF1 方差贡献的联结曲线和区段划分
横坐标说明同图 2

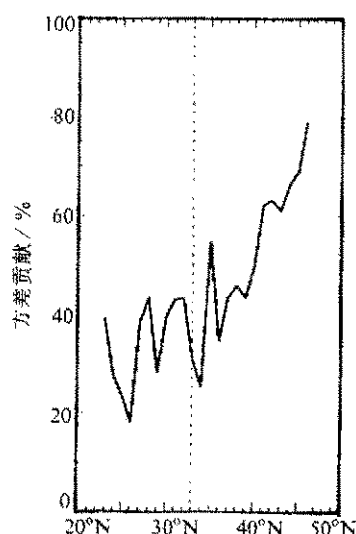


图 4 数据集 C 在 24 个空间段的 EOF1 方差贡献的联结曲线和区段划分
横坐标说明同图 2

亚热带和暖温带的气候过渡带, 也对应于植被生态的相应植被划分, 界限以北不再生长常绿阔叶植被树种, 对曲线变化的植被生态解释是, 在 33~34°N 以北, 以落叶阔叶树种或草原为主的自然植被的季节性生长特征明显, 而大量种植的农业植被受气候和人工控制的共同影响, 也反映出明显的季节性特征。纬度越高, 生长季越短, 植被的季节性特征越集中, 生长特征表现的同时性越强, 因此, 表现出方差贡献的向北增长趋势。在 33~34°N 以南, 自然植被中常绿树种和落叶树种混杂, 落叶树种的强季节变化和常绿树种的弱季节变化使得空间段内始终维持植被生长空间差异, 而季节性农作物的种植生长也会增加这种差异, 使得方差贡献的水平不高。同时, 由于常绿植被的存在, 以及季节性农业植被在较短时间间隔以外的几乎连续种植, 使地表植被覆盖程度始终较高, 这一意义上的季节差异不大。由于 33~34°N 以南的各段中均存在这个特征, 方差贡献的段间总趋势变化不大。

在上述分析中, 应该注意的是, 每一空间段内不仅存在自然植被, 而且有人工种植的农业植被, 距离海洋的远近地形等条件也不统一, 这会令不同空间段之间的植被分布及其生长环境的复杂性存在变化, 会给空间段之间的信息比较带来一定程度的干扰, 主要表现在图 2、3、4 中的 EOF1 方差贡献曲线不是平滑的, 存在纬度间的波动变化。但是, 相对于植被的大尺度空间分布趋势而言, 这种空间段之间的空间复杂性变化没有给分析结果带来根本性的影响; 同时, 为避免或降低这种影响, 在分析中考虑 EOF 时空分解得到的 24 个空间段数据集 A、B 和 C 的时间变程和空间分布, 是十分必要的。

6 结论

本文利用卫星遥感数据,以局域分析结果的拼接作为大尺度特征分析的基础,对中国东部季风区内 24 个空间段上的植被物候季节特征进行了 EOF 分析。利用 EOF1 的方差贡献作为一种定量指标,以一种定量化的方式,确定了由不同植被物候特征所对应的植被过渡带和气候过渡带的位置,其结果与过去植被生态研究和气候研究中通过植被和气候区域划分提出的过渡带位置相对应,验证了在中国东部季风区上现有植被区划和气候区划的合理性。

这项研究还表明,植被生态的宏观特征可以使用定量化的方法进行分析,卫星遥感为此提供了有力的支持。

致谢: 本文承中国科学院植物研究所周广胜博士提出宝贵意见;美国国家航空航天局(NASA)哥达德空间飞行中心数据信息中心提供了 NOAA/NASA Pathfinder AVHRR 陆地数据集,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 《中国植被》编写委员会,中国植被,北京:科学出版社,1980.
- 2 Lieth, H., Purpose of a Phenology Book, in: Lieth, H. (ed.), *Phenology and Seasonal Modeling*, New York: Springer-Verlag, 1974.
- 3 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.
- 4 Tucker, C. J., J. R. G. Townshend and T. E. Goff, African land cover classification using satellite data, *Science*, 1985, **227**, 233~250.
- 5 Loveland, T. R., J. W. Merchant, D. O. Ohlen and J. F. Brown, Development of land-cover characteristics database for the conterminous U. S., *Photogram. Eng. Remote Sens.*, 1991, **57**, 1453~1463.
- 6 盛永伟,肖乾广、陈维英,利用气象卫星植被指数进行我国植被的宏观分类,科学通报,1995, **40**, 68~71.
- 7 Goward, S. N., C. J. Tucker and D. G. Dye, North American vegetation patterns observed with NOAA-7 Advanced Very High Resolution Radiometer, *Vegetatio*, 1985, **64**, 3~14.
- 8 Townshend, J. R. G., T. E. Goff and C. J. Tucker, Multitemporal dimensionality of images of normalized difference vegetation index at continental scales, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1985, **GE-23**, 888~895.
- 9 Justice, C. O., J. R. G. Townshend, B. N. Holben and C. J. Tucker, Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data, *Int. J. Remote Sens.*, 1985, **6**, 1271~1318.
- 10 Fu Congbin, Wen Gang, Zhou Sisong and Lu Jie, A preliminary study on vegetation dynamics of China by using meteorological satellite data, *Chinese Science Bulletin*, 1993, **38**, 221~224.
- 11 Fu Congbin and Wen Gang, Variation of ecosystems over East Asia in association with seasonal interannual and decadal monsoon climate variability, *Climate Change*, 1999, (in press)
- 12 Tucker, C. J., Dregne, H. W. and Newcomb, W. W., Expansion and contraction of the Sahara desert from 1980 to 1990, *Science*, 1991, **23**, 299~301.
- 13 张家诚、林之光,中国气候,上海:上海科学技术出版社,1985.
- 14 黄嘉佑,气象统计分析与预报方法,北京:气象出版社,1990.
- 15 James, M. E. and 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.
- 16 Holben, B. N., Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data, *Int. J. Re-*

mote Sens., 1986, 7, 1417~1434.

Defination of Climate and Ecological Transitional Zones with Satellite Data Sets

Wen Gang and Fu Congbin

(Global Change Research Center for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract A new approach to determine the features of vegetation distribution at large scale is found based on the analyses of local vegetation phenological characteristics to survey the zonal behaviors of phenology in monsoon influenced East China. The research area, within a belt of (23~47°N, 115~120°N), was divided into 24 sections with 1° interval in latitude. In each section, emperical orthogonal function (EOF) analysis is applied to the normalized difference vegetation index (NDVI) data set in NOAA / NASA Pathfinder AVHRR Land Data Sets. With the variance contribution of EOF first mode as a quantitative indicator, the locations of ecological transitional zones and climate transitional zones are defined in a quantitative way, which responds to those by ecological and climate divisions in the past plant ecological and climatic studies. The results verify the reasonability of the existed divisions of ecological and climate zones in East China. This study also shows its ability to analyze the large scale features of plant ecology in quantitative ways, especially under the strong support of satellite remote sensing.

Key words: satellite remote sensing; vegetation; climate; transitional zone