

中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系*

——基于 NOAA 时间序列数据分析

孙红雨 王长耀 牛 铮 布和敖斯尔

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

李 兵

(中国农业部信息中心 北京 100101)

摘 要 本文利用 1985—1990 年连续 69 个月的 NOAA 时间序列数据,进行中国植被覆盖变化的空间,以及时间序列分析,并且结合同期的月平均气温、降水数据,进行植被覆盖变化与气候因子相关性分析。该文证实了在中国植被覆盖随时间的推移规律,空间分布规律,以及植被覆盖变化与气温、降水的定量关系。

关键词 植被覆盖变化,时间序列分析,相关分析

1 前 言

全球环境的种种变化日益威胁着人类及其社会的持续发展,因此越来越受到各国政府和科学家的重视。由于植被具有明显的年际变化,季节变化特点,并且是联结土壤、大气和水分的自然“纽带”,在一定程度上能代表土地覆盖的变化,所以在全球变化研究中充当着“指示器”的作用。由于 NOAA AVHRR 具有周期短、覆盖范围广、成本低、波段宽等优点,目前在全球变化研究中正日益受到重视^[1]。

植被覆盖变化主要是地球内部作用(土壤母质、土壤类型等)以及外部作用(气温、降水等)的综合作用的结果。目前,许多学者都从不同角度进行了植被覆盖变化的研究^[2]。这些研究的区域大多集中于非洲撒哈拉沙漠和南美热带雨林地区。中国地处世界上最大的“欧亚大陆”最东段,又面临最大的太平洋,海陆热力差异形成独特的大陆季风气候,在季风驱动下,植被的各种变化颇具区域代表性和典型性,是全球变化研究中不可缺少的部分。

2 数据的获取与处理

植被指数是根据植被反射波段的特性计算出来的反映地表植被生长情况、覆盖情况、生物量情况和植被种类情况的间接指标,其中归一化植被指数(NDVI)被广泛应用于植被覆盖的定量研究。NDVI 的计算公式为:

$$NDVI = (\rho_{ch2} - \rho_{ch1}) / (\rho_{ch2} + \rho_{ch1}) \quad (1)$$

其中, ρ_{ch1} 和 ρ_{ch2} 分别为第 1、2 波段的反射率。第 1 波段 Ch_1 (0.58—0.68 μ m) 是可见光波段,处于叶绿素的吸收带;第 2 波段 Ch_2 (0.75—1.10 μ m) 是近红外波段,处于绿色植物的光谱反射区。NDVI 是植物生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子,与植物覆盖分布密度呈线性相关。

本次研究的数据源是引用由美国国家地球物理数据中心(National Geophysical Data Center)制作并分发称为 GVI(Global Vegetation Index)的文件,GVI 数据是对 AVHRR 数据采样得到的,NDVI 与 GVI 之间的关系为 $GVI = (NDVI \times 100) + 100$ 。GVI 图像上 1 个像元对应约 16km × 16km 的面积。本次研究的时间序列是从 1985 年 4 月到 1990 年 12 月,共 69 个月。另外,我们还收集了与

* 国家重大基金项目:地表遥感信息传输及其成像机理研究。

收稿日期:1997-10-28;收到修改稿日期:1998-03-24

GVI数据同期的全国180个气象站点的气温和降水数据(图版I图1)。

3 样带的选择

样带是指全球变化或区域环境变化中具有代表性的地带和敏感地带。两种大的生态系统(或植被类型)之间的“过渡带”或“交错带”对全球变化最为敏感而构成全球变化的敏感地带^[3]。中国地域辽阔,从南到北跨越热带、亚热带、暖温带和温带;从

东到西包括了湿润,半湿润、半干旱、干旱和极干旱地区,形成了多种生态系统(图2)。其中我们选择了地处温带与暖温带过渡的北纬40°附近地带,处在暖温带与北亚热带过渡带的北纬30°附近地带;处于北亚热带过渡带的北纬23°附近地带和地处我国地形1、2级阶梯(东部沿海平原与中部高原)交接处的东径114°—115°地带;2、3级阶梯(中部高原和西部荒漠)交接处的东径106°—110°地带作为开展中国土地利用/土地覆盖变化(LUCC)研究的样带。

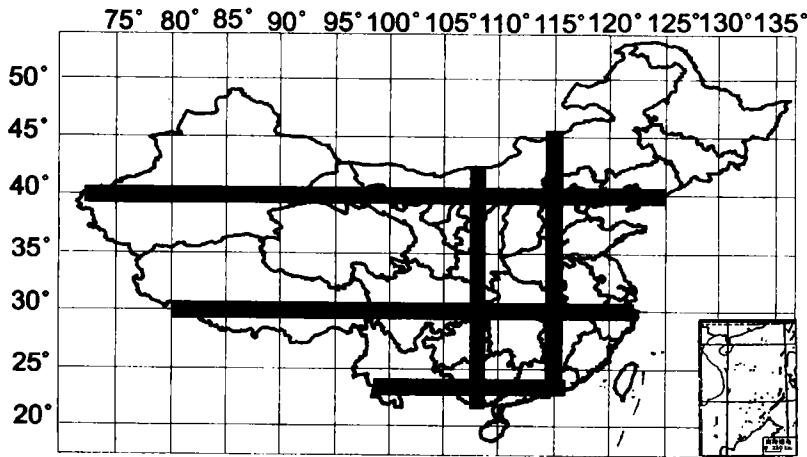


图2 中国LUCC研究样带

Fig.2 Sample transects for LUCC study in China

4 植被指数区域分布规律

由 NOAA 气象卫星数据计算出来的植被指数可以从宏观上反映植被覆盖的分布及变化。从图1的多年平均植被指数图中可以看出中国植被覆盖也具有明显的区域性,即基本与自然地理区域吻合。在东部季风区,植物可以得到充分的水热条件,分布着林地和田地,植被指数明显偏高;西北干旱区分布着草场和荒漠,植被指数随着离海岸距离的增加而减少;在青藏高寒区由于海拔高,气温低,植被稀少,植被指数也极低。这些在我们选定的样带上,作为植被指数的区域特征也有明显表现,如图3、图4和图5所示。

图3表示,沿着我国地形第1、2级阶梯(东部沿海平原与中部高原)交界处的东经115°,植被指数分布具有明显的经度地带性。沿此经度,由北至南,随着纬度的降低,热量条件增加,植被指数升高。在北纬40°附近植被指数形成一次明显的阶跃,这正是由第2级阶梯向第1级阶梯过渡处,天然植被由草地过

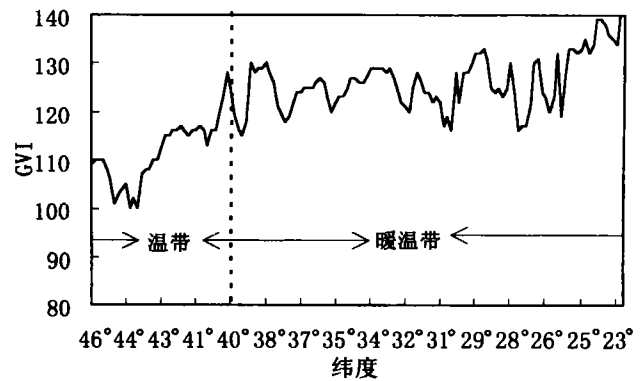


图3 沿东经115°经线植被指数变化图

Fig.3 Average GVI distribution along 115° E

渡到农田。这种阶跃在图4上也可以看到。图4是植被指数沿2、3级阶梯(中部高原与西部荒漠)交界处的沿东经108°经线的分布曲线。在北纬35°附近植被指数也形成明显的阶跃,这正处于秦岭、淮河一线地区,是我国温带与亚热带的分界处。秦岭以北属于温带,年平均气温-6℃—13℃,热量和生长期基本满足小麦、玉米等中温作物的需求;秦岭以南属

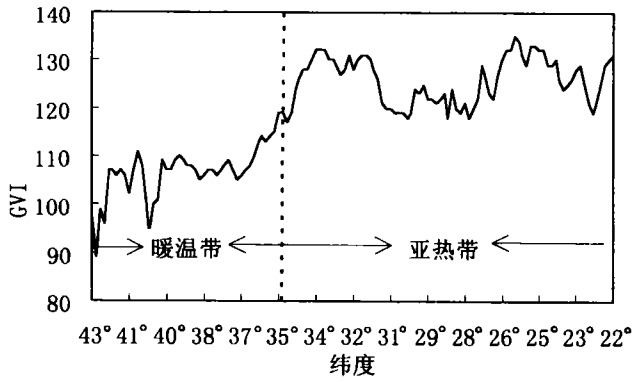


图4 沿东经108° 经线植被指数变化图
Fig.4 Average GVI distribution along 108° E

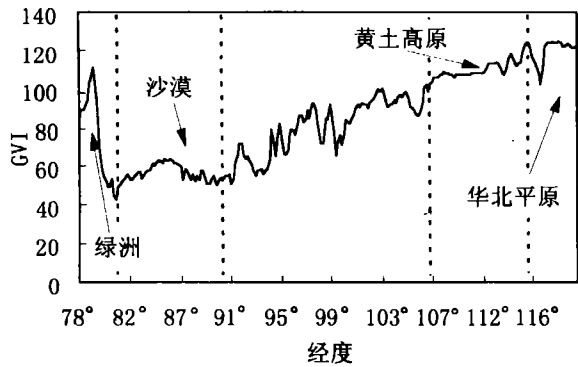


图5 沿北纬40° 纬线植被指数变化图
Fig.5 Average GVI distribution along 40° N

于亚热带,年平均气温 14℃—26℃,热量丰富,生长季长,种植水稻等各种喜温作物和亚热带经济林。另外,我们还可以看出,高纬地区植被指数变化较缓慢,而低纬地区植被指数变化则相对剧烈。这是由于北方地势变化平缓,大范围内土壤类型较单一,而南方地表破碎,土壤类型复杂;植被指数沿着纬线变

化也具有类似的规律。如图 5 所示,沿着我国温带与暖温带过渡的北纬 40° 纬线,随着经度的增加,离海岸距离的减少,降水逐渐丰富,植被指数也明显升高,形成西低东高的走势。在东经 80°—90° 中间带是塔克拉玛沙漠,地表极干旱,多年平均降水量不到 50mm,植被指数极低。在沙漠的边缘,东经 78° 附近一带形成一个植被指数脉冲峰,这里地面对应着沿叶尔羌河的一块绿洲。因此,我们可以看出影响植被覆盖的不仅有水热等环境因子,地形、土壤条件也是影响植被覆盖的重要因子。水热条件奠定了植被覆盖的总体走势或宏观状态,而地形、土壤条件则影响其局部波动或区域格局。

5 植被指数变化时间序列分析

5.1 绿波褐波随季相推移规律分析

绿波是指春季自然植被叶子开始发青时,在遥感图像上所反映出的绿度变化现象;褐波是指秋季自然植被的叶子开始发黄时,在遥感图像上所反映出的绿度变化现象^[4]。对于绿波褐波推移,许多学者都曾经用卫星资料进行过研究,如美国 Dethier 等人曾应用多时相陆地卫星遥感资料研究了全球的绿波褐波推移。通过对赤道两侧两条波状绿波等候线向两极方向推移规律的监测与研究,证明了采用卫星遥感方法从宏观上显示植物季节变化规律的地域分异特征的可能性。动态遥感的绿波研究可以直接反映植物及生态环境的季节变化规律,揭示了自然地带的地域分异规律。本次我们选取了样带中的东经 115° 和北纬 30° 进行了绿波褐波推移的深入研究。

在图 6 中,横坐标表示时间,即从 1985 年 4 月

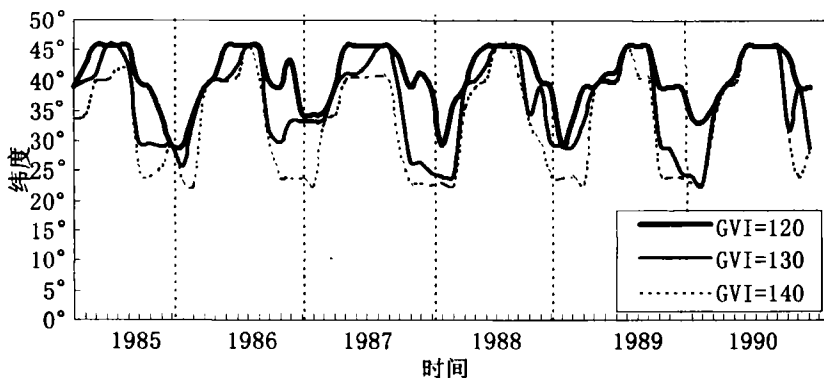


图6 沿东经115° 经线绿波推移图
Fig.6 Green wave move along 115° E

到1990年12月的69个月;纵坐标表示纬度。图中的3条曲线分别代表了GVI的3条等值线。从图中可以看出绿波沿同一经度具有明显的季相变化规律。从每年的3月起,绿波开始北移,北移的速度较缓。到8月绿波推移到最北端,形成绿波前峰。从9月开始褐波迅速南退,直到次年的2、3月份,退到最南端形成波谷。这与中国地表植被的季节性发绿、生长、枯萎以及与东部明显季风气候的暖气流的南北推移相吻合。中国东部是典型的大陆性季风气候,每年春季太平洋暖气流在东部沿海登陆,形成主要控制气团(称为副热带高压),并向北推移,直至8、9月份到达最北端。此时,西伯利亚冷气

团南下,形成主控气团,驱赶太平洋暖气团(副热带高压)迅速南退,完成一年的进退周期。从图中所看到的植被指数的南北进退周期性不对称正是气候因子驱动的结果。

图7所示的是绿波沿北纬30°纬线移动的轨迹。横坐标表示时间,纵坐标表示经度。从图中可以看出绿波沿纬线随季相推移并不明显。首先表现为推移时间短。一年中大部分时间都稳定地处于同一经度,只是在8—10月份的两三月份向西推移形成很小的波谷。而在东经115°度上一年四季绿波都在推移。绿波沿纬度推移不明显还表现为推移距离短。例如,在图6 GVI为120的等值线上沿东经

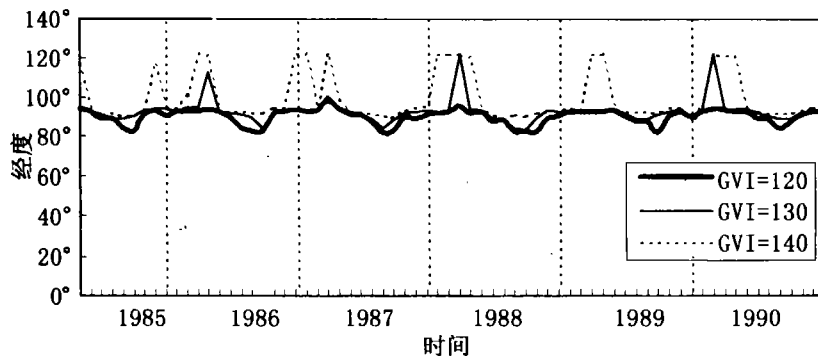


图7 沿北纬30° 纬线绿波推移图
Fig.7 Green wave move along 30° N

115°在北纬27°—45°推移,大约2000km;而在图7上GVI为120的等值线沿北纬30°只在东经85°—95°推移,大约1000km。沿着同一纬线,其区域条件的根本差异是水份条件。从东到西月平均植被指数最大值与最小值的出现是同步的,其差异主要表现在每月平均植被指数大小的差异上,这种差异在夏季最明显。但由于沿同一纬线热量条件几乎相同,绿波推移几乎是同步的(月平均植被指数变化波动规律是相同的)。

5.2 植被指数季相变化规律

除了裸岩,裸土等少数土地覆盖物以外,绝大多数土地覆盖物都随着自然环境的季节性变化而发生变化,其中最为明显的就是植被的季节性变化,随着纬度的增高植被的季相特性更加明显。

如图8所示,沿着同一经度,随纬度的增加,植被指数季相变化强度加大,在北纬23°附近,GVI植被指数在一年中的变化范围是125—150,而在北纬45°附近,GVI植被指数变化范围则是50—140。在高纬地区自12月起,植被指数随着时间而升高,直

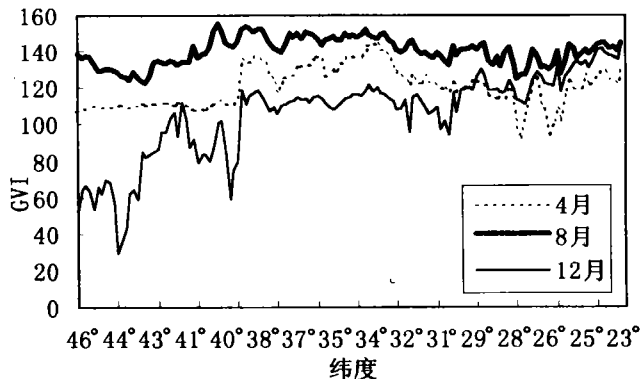


图8 沿东经115° 经线 GVI 季相变化图

Fig.8 GVI's seasonal distribution along 115° E

到次年的8月份,达到最高峰,此时的植被指数与低纬地区的植被指数相差甚少。8月以后,高纬地区的植被指数开始下降,到12月份达到最低点,此时的植被指数远远低于低纬地区的植被指数。从图9可以看出沿同一经度,自西向东各月的植被指数曲线似乎是平行的,其变化幅度是相同的,而且都很小(GVI约为30),季相变化不十分明显。在此纬度的西部(东经98°—105°),由于受印度洋暖流影响,水

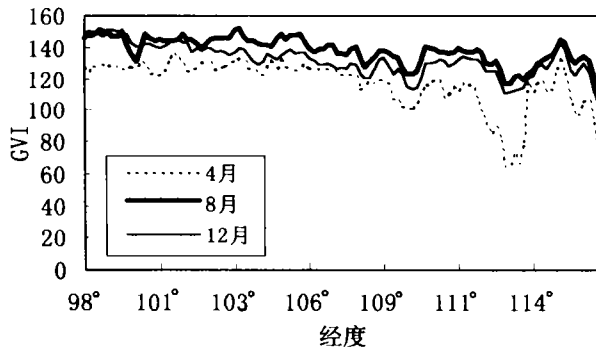


图9 沿北纬23° 纬线 GVI 季相变化图

Fig.9 GVI's seasonal distribution along 23° N

热条件丰富,分布着云南热带雨林,因此其植被指数高于东部,形成西高东低的格局。

6 影响我国陆地植被变化的气候因子分析

许多学者根据植物生理学提出了 NDVI 与气温、降水量的简单相关关系,即 NDVI 随着气温和降水量升高而增加。如 S.E. Nicholson 和 T. J. Farrar 等在 1994 年证实了在非洲波兹瓦纳(Bostwana)地区当降水量小于 500mm/yr 或 50—100mm / month 时,NDVI 与降水呈线性关系^[5]。在本次研究中我们也得到了类似的结论。

气温与降水是影响植被覆盖变化的显著性因子,都与 NDVI 呈明显的正相关关系。但实际上 NDVI 还受土壤类型、植被类型、土壤水分和高程等多种因素影响,这使得在不同的热量带和不同的湿润地带和不同地形单元上,水和热对植被覆盖影响具有差异,形成明显的区域性特点。

在相关分析中,二元相关分析关心地仅仅是两个变量的相互依赖的程度。在实际研究中,任何一对变量之间的相互关系总受到其它诸多因素的干扰。在多元相关分析中,可以通过计算偏相关系数,将其它各变量固定下来,单独考察两个变量间线性相关的程度^[6]。中国是大陆性季风气候,温度与降水具有一定的相关性,因此我们分别计算了在全国 180 个气象站点,连续 5 年(69 个月)的 NDVI 与气温和降水的偏相关系数,以此消除气温与降水的相互影响。偏相关系数计算过程为:

(1) 计算相关系数:

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

其中:变量 x 代表 NDVI;变量 y 代表月平均气温或月平均降水量; \bar{X} 为变量 X 的均值; \bar{Y} 为变量 Y 的均值; r 为变量 X 与 Y 的相关系数; n 为样本量。

(2) 计算偏相关系数:

$$r_{12.3} = \frac{r_{12} - r_{13}r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{13}^2)(1 - r_{23}^2)}} \quad (3)$$

其中: r_{12} 、 r_{13} 、 r_{23} 分别表示变量 V_1 与 V_2 、 V_1 与 V_3 和 V_2 与 V_3 的相关系数; $r_{12.3}$ 是将变量 V_3 固定后变量 V_1 与变量 V_2 之间的偏相关系数。

本次研究分别计算了 $r_{NDVI \text{ 气温, 降水}}$ 和 $r_{NDVI \text{ 降水, 气温}}$, 计算其偏相关系数之后进行了假设检验。取显著性水平为 0.05, 从相关系数临界表中查到临界值为 0.324, 即偏相关系数大于 0.324 的地区表现为具有相关性, 小于 0.324 的地区不具有相关性^[6]。得到每个气象站点的偏相关系数之后, 经过插值处理得到全国的偏相关系数图像。与全国行政界线图空间配准复合, 形成全国 NDVI 与气温、降水的偏相关系数图。

从图版 I 图 10 和图 11 可以看出, 在中国东部沿海湿润平原的“1 级阶梯”上影响植被覆盖变化的主要驱动因子是气温。因为这里降水丰富, 植物生长可以得到充分的水分, 而热量差异则是导致植被覆盖变化及绿波推移的主要原因。例如在华南水田区, NDVI 与气温的偏相关系数高达 0.8—0.9, 而与降水则不相关。在华北平原水田旱田交错分布区, NDVI 与气温的偏相关系数为 0.6—0.7, 与降水的偏相关系数为 0.1—0.2。在东北平原旱作农田区, NDVI 与气温的偏相关系数为 0.4—0.5, 与降水的偏相关系数为 0.2—0.4。从这定量证明了水热等区域参数在土地覆盖变化中表现的经度地带性, 即在东部沿海湿润平原上沿同一经度线, 由南向北, 气温成为影响植被覆盖变化的主要驱动因子, 而且影响程度随着纬度的升高而降低。

与经度地带性相对应, 水、热条件对土地覆盖变化的作用也具有纬度地带性。在第 2 级阶梯的内蒙古高原上, 从东到西随着与海岸距离的增加, 降水量在减少, 依次分布着森林, 森林草原、典型草原、荒漠草原和荒漠等天然植被类型。由于它们近似处于同一纬度, 热量条件近似相同, 热量对植被的影响也近

似相同,其偏相关系数处于0.2左右。在这些地区,水分的充沛与否成为影响植被覆盖的重要因子。半干旱地区地表植被对降水的影响很敏感,这种影响主要表现在植被覆盖变化上,特别是在森林草原与典型草原,典型草原与荒漠草原过渡地区,即农牧交错地区,降水成为植被覆盖变化的主要限定因子,其偏相关系数达到0.4—0.5。另外,在新疆荒漠地区,地表干旱,植被覆盖变化很小,这种微小的变化也是夏季仅有的一、两场降雨带来的,因此,降水的变化对NDVI的影响更直接,而气温在这些地区与NDVI则不显著相关。

一些独特的气候现象在图版I图10和图11上也有表现。云南高原由于纬度位置、海拔高度和大气环流等因素的影响,一年内气温的变化不大(10℃—20℃),气温的季候远不如干湿季节变化的明显,有四季不显,干湿分明的特点^[7]。本区既有广阔的高原湖盆,又有深陷的低热河谷,气候的地带性规律遭到破坏,非地带性因子起着支配作用。高原面上全年气候温和,冬无严寒,夏无酷暑。河谷地区常年无冬,气候炎热干燥,形成独特的干热河谷气候。如图12所示,在4—6月气温较高(18—20℃),而降水较少(70—100mm),气候炎热干燥,NDVI处于一年中的最低值。这种独特的气候特点,导致了在云南高原NDVI与气温的相关系数很低,为-0.23—-0.03,主要表现为不相关,在个别地区表现为负相关。

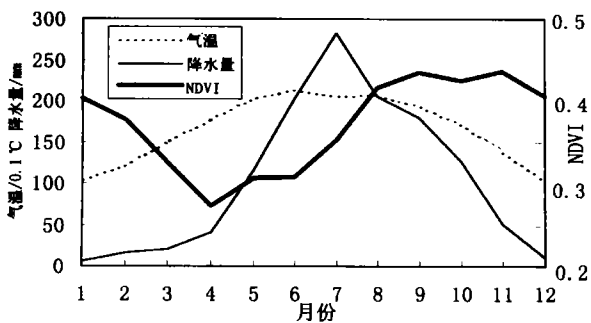


图12 云南高原地区气温、降水与NDVI关系图

Fig.12 Relationship between temperature, precipitation and NDVI (Yun Nan Plateau)

7 结论

根据以上分析可以得出以下结论:

(1) 植被指数较真实地反映了地表植被覆盖

状况,水热条件奠定了植被指数空间分布的总体格局,形成经度和纬度地带性。地形、土壤条件等因素影响植被指数的局部波动,奠定了其区域分布格局。

(2) 植被指数沿经线具有明显的季相推移规律,且推移的时间与范围都远远超过沿纬线的推移,绿波推移的方式与途径都与大陆主控气团(副热带高压)的季相推移同步,受其影响。

(3) 植被指数具有明显的季相变化,随气候的暖冷而增减。沿同一经线,随纬度的增加,季相变化幅度加大。在夏季,南北植被指数相差不大;在冬季,南北植被指数相差明显。

(4) 植被指数的变化在大范围上受水热条件驱动。在我国东部湿润的季风区沿同一经线,植被指数的变化主要受热量条件影响,与月平均气温相关性大,成为植被生长和变化的自然限制因子;在我国北部沿同一纬线,随着从东部湿润的季风区过渡到西北半干旱,干旱的沙漠地区,植被指数的变化与月平均降水量有较大的正相关,显示出干旱地区水资源是植被生长的重要限制条件。

参 考 文 献

- 1 Defries, R. S., Townshend, J. R. G. NDVI-derived land cover classifications at a global scal. *Int. J. Remote Sensing*, 1994, 15(17).
- 2 Tucker, C. J., J. R. Townshend, T. E. Goff. African land cover classification using satellite data. *Science*, 1985, 227.
- 3 Bukhosor, Liu Jiyuan Wang Changyao. Study on the Distribution Model of Land-Cover Change in Fragile Area and Times Using Remotely Sensed Data. *Proceedings of IEAS'97 & IWGIS'97*, 1997, 1(766).
- 4 陈述彭、赵英时. 遥感地学分析. 北京: 测绘出版社, 1990.
- 5 S. E. Nicholson, T. J. Farrar. The Influence of Soil Type on the Relationships between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Botswana. *Remote Sens*, 1994, 50: 107—120.
- 6 陶澍. 应用数理统计方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- 7 中国自然地理. 北京: 人民教育出版社, 1980.

作 者 简 介

孙红雨,男,1972年6月生,1995年毕业于北京大学城市与环境学系自然地理专业。现在于中国科学院遥感应用研究所攻读地图学与遥感专业硕士学位。主要从事全球变化、遥感作物估产研究。

Analysis of the Vegetation Cover Change and the Relationship between NDVI and Environmental Factors by Using NOAA Time Series Data

Sun Hongyu Wang Changyao Niu Zheng Bukhosor

(*Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101*)

Li Bing

(*Information Center, Ministry of Agriculture*)

Abstract By using NOAA temporal series data during the period 1985—1990 (69 months), this study examines the Vegetation-Cover change with time and space in China. Furthermore, the analysis about correlation between Vegetation-Cover change and environmental factors is also accomplished by combining simultaneous average temperature and precipitation data in each month. The methods employed include Sample Transect Analysis, Partial Correlation Analysis, and GIS Spatial Calculation.

From the above analysis, we can draw the following conclusions:

1. The vegetation index generally represents the situation of the superficial vegetation cover. Heat and water condition determine the whole spatial distribution pattern of vegetation index and build the regional attribute in longitude and latitude. The partial fluctuation of the vegetation index is essentially affected by landscape and soil conditions. This defines its regional distribution pattern.

2. Lying on the same longitude, the vegetation index obviously corresponds to the seasonal movement law, and span of the movement in time and space is much greater than that along the same latitude. The type and ways of the green wave movement synchronize with the seasonal movement of the continental main controlling air mass and are influenced by it.

3. The vegetation index increases and decreases with the warming and cooling of the climate. So it has typically seasonal change characteristics. Along the same longitude, the higher the latitude is, the greater the scope of seasonal change will be. In summer, there is no evident difference of vegetation index between southern and northern region. But in winter, this difference is quite obvious.

4. In a large range, the vegetation index change is driven by water and heat conditions. In eastern moist monsoon zone of China, along the same longitude, the temperature is the most important influential parameter. The correlation between the vegetation index change and monthly average temperature is obvious. So the heat is the key natural limited factor for the growth of the vegetation. Yet, in northern China, along the same latitude, from east to west, it sequentially covers the humid monsoon zone, semi-arid and arid desert zone. The relationship between the vegetation index change and monthly average precipitation is well correlated positively. It proves that in a dry area, water source is the essential limited condition for the growth of the vegetation.

Key words Vegetation-cover change, Analysis of time series, Sample transect analysis, Partial correlation analysis.