

应用 MSS 数字图像处理进行森林资源动态监测的探讨

许定成 游先祥 韩熙春

(北京林业大学)

1990年3月10日收稿

摘 要

本文探讨了应用多时相 Landsat MSS 图像进行森林动态监测的方法。研究了差值图像法、比值植被指数差值法、归一化植被指数差值法、多时相主分量分析法(垂直植被指数法)和分类比较法对提取森林动态变化信息的作用。结果表明,3种植被指数法都能较好地提取植被动态信息,可用于森林面积消长的动态监测。

关键词 遥感动态监测 植被指数 差值图像 多时相主分量分析

一、研究区域概况及资料

研究区位于河北省平泉县境内(北纬 $41^{\circ}2'19''$ — $41^{\circ}14'10''$, 东经 $118^{\circ}31'43''$ — $118^{\circ}47'36''$), 试验窗口面积约 600 平方公里。主要植被有油松、华北落叶松、山杨、刺槐; 虎榛子、胡枝子、荆条、绣线菊及山杏; 草本有苔草、蒿子和白草等。阳坡多为岩石裸露, 或仅有矮小灌木生长。林木一般分布在水分条件较好、土层较厚的阳坡和半阴半阳坡, 在山间盆地上, 大多为农田。天然植被一般在 4 月中下旬进入生长期, 7、8 月为生长盛期, 9 月下旬以后转入凋萎。

表 1
Table 1

卫星号	2	5
时 间	1976.5.16	1985.10.7
索引号	131/31	131/31
太阳高度角	56°	48°
太阳方位角	123°	135°

由于林木生长慢, 成林时间较长, 因此, 在北方地区进行森林动态监测的有效间隔期以 5—10 年为宜。鉴于此, 我们应用了表 1 所列的两幅无云覆盖的研究区 Landsat MSS 数字磁带。除此之外, 还应用了 1979 年拍摄的 1:5 万黑白航空像片, 1985 年拍摄的 1:3 万、1:7 万、

1:13 万彩色红外航空像片, 各时期的森林分布图、土地利用图和地形图等有关资料。

在动态研究中, 为了直观地了解植被的变化情况, 必须将两个时相的图像准确配准。为此, 试验中首先用二元三次多项式、双线性插值法进行重采样, 对 1985 年时相的 MSS 图像进行纠正。纠正时均匀地采用了 19 个控制点。纠正后以 1985 年的图像为准, 将 1976 年的图像与之配准。复合后的平均平方根误差, 横坐标为 0.331 个像元, 纵坐标为

0.274 个像元,点为 0.43 个像元。最大平方根误差,横坐标为 0.72 个像元,纵坐标 0.50 个像元,点为 0.814 个像元。

二、森林面积的动态监测方法

森林动态变化的涵义非常广泛,森林面积、蓄积量、林木生长状况、森林结构等变化,都是其研究的范围。本文所探讨的仅仅是森林面积的动态变化。

利用遥感图像进行动态变化监测,主要是通过比较两个时相的图像来进行的。其差异主要受下面因素的影响:(1)植被的生长发育是随季节而变化的,季节不同植被对光谱的反射也不同。此外,各种植被随季节变化的规律也不同。(2)土壤水分可使地物的光谱反射减弱,因此,土壤水分状况的差异要引起植被和裸地光谱的变化。土壤覆盖变化产生的差异,主要反映在土地利用现状上,它是进行动态监测要提取的信息。(3)大气条件的不同,卫星和监测过程不同,卫星空间位置不同,这些差异对每个像元都会产生影响^[2]。

两时相图像的变化,可以分为两类:第一类变化涉及大部或所有像元,如大气状况、土壤水分、卫星空间位置、季节等,这种差异产生的影响可以通过运算或旋转数据空间来消除或压缩。第二类变化只涉及少部分像元,如森林采伐、造林更新,通过运算或旋转数据空间,可以把第二类变化与第一类变化分离出来。

提取植被动态变化信息的方法有下列几种。

(一) 图像差值法

从植被光谱反射特性可知,红光波段(相当于 MSS5)是叶绿素的吸收带,近红外(相当于 MSS7)是植被强烈反射的波段,植被消长变化会明显引起这两个波段图像的变化。因此用差值法比较两时相相应的这两个波段,可以监测植被的变化情况。图像差值法是把已经相互匹配的第二时相原始图像减去第一时相的图像,相减的结果,理论上说正值和负值表示变化的像元,零表示没有发生变化的像元。由于图像亮度值是 0—255,因而差值图像常加一常数,以消除负值。

计算公式:

$$\Delta X_{ijk} = X_{(2)ijk} - X_{(1)ijk} + C$$

式中, ΔX 表示变化图像, $X_{(1)}$ 为第一时相图像, $X_{(2)}$ 为第二时相图像, C 为常数, i 为行, j 为列, k 为波段。

图像差值法产生的差值图像的直方图呈钟形分布。虽然这两个波段对植被变化都极敏感,但由于季相的差异,加上大气、卫星位置、土壤水分不同引起的像元亮度的变化,与土地覆盖变动引起的变化混合在一起,因此,在单波段差值图像中难以提取动态信息,很难辨认出植被的变化区域。然而,对不同波段,各种因素影响不一样,当对 MSS7, MSS5, MSS4 差值图像分别赋以红、绿、蓝所合成的彩色图像(图版 I 图 1),则综合了各个波段的动态信息,并很好地突出了植被变化的信息。由图 1 可以清楚地看出,植被增加区域为红色,植被遭破坏区域为暗棕色,没有变化的区域为青色,占地类的大部分。在图像上,1985 年比 1976 年明显干燥的区域,如河流附近的农田,呈现白色。

(二) 比值植被指数差值法

植被对近红外和红光光谱反射具有极敏感关系。IR/RED 对植被生物量具有很高的相关关系,因而,比较两时相的这种植被指数,可以很好地监测森林植被变化情况。同时,两波段相比还能消除大气状况、土壤水分、太阳高度角等因素对图像产生的影响,压缩非地类变化引起的差异,突出地类变化。

计算公式:

$$\Delta R_{ij} = \frac{MSS7_{(2)ij}}{MSS5_{(2)ij}} \cdot C_2 - \frac{MSS7_{(1)ij}}{MSS5_{(1)ij}} \cdot C_1 + C$$

式中, ΔR_{ij} 为比值差值图像; $MSS_{(1)}$ 为第一时相; $MSS_{(2)}$ 为第二时相; C, C_1, C_2 为常数; i 为行, j 为列。

图版 I 图 2 及图 3 是比值植被指数差值图像及其直方图。在图像上高亮度像元意味着比值植被指数剧烈增加区域,低亮度像元意味着植被指数剧烈降低区域,大部分像元呈中间灰度,表示植被指数变化不大的区域。从直方图分布看,植被指数变化剧烈的像元分布于直方图的两尾。左尾是植被指数剧烈降低的像元分布,右尾是植被指数剧烈增加的像元分布,大部分区域的植被指数变化不大,分布于直方图的中间部位。整个植被指数差值图像的亮度分布是连续的,从一定意义上说,植被指数的变化程度也是连续的。对于植被而言,二

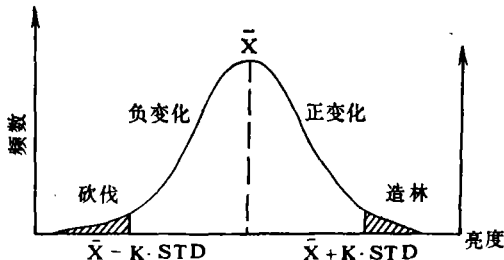


图 3 差值图像阈值检测示意图

Fig. 3 Diagrammatic sketch of D-value image threshold detection

时相植被指数变化的原因为: (1)季节不同引起的变化。但只要在生长季节内,植被指数随季节变化的程度均不很大。(2)由植被生活力的变化引起的。但林木的生长周期长,衰老缓慢,在间隔期不很长的情况下,由其引起的植被指数变化很小。(3)由森林植被演替和改造引起的植被指数的变化,这种因素实际上是不同植被类型引起的植被指数的变化,但由此引起的变化,一般来说也并不大。(4)由森林植被消长引起的变化,主要是采伐、火灾使林木消失和造林产生新林地。这种因素引起植被指数的剧烈变化,变化的程度比其它因素都大。

因此,根据森林植被消长剧烈影响植被指数变化这一情况,可以依据植被指数变化程度来监测林地消长变化。对于其它因素引起的变化,由于它们的变化程度相近。难以把它们划分开来。因此森林面积动态监测只能简单地划为 3 种情况:新增林地,未动林地和遭破坏林地。为此,必须依据一定阈值来划分植被指数差值图像,以检测变化区域的位置和大小。为了确定各种阈值划分的精度,在整个试验窗口布置 225 个抽样点,以相应两个时相的航空像片判读的动态结果为标准,检验取不同阈值的精度,从而确定最佳阈值。在判读航空像片时,考虑到 MSS 图像空间分辨率和我国森林调查的分类方法。对林地变化规定为:

新增林地：无林地→有林地，灌木林地
疏林地→有林地，灌木林地
破坏林地：有林地→无林地，疏林地
灌木林地→无林地

为了更好地估计动态监测精度，在计算监测精度时，先分别估算平均精度和总精度，取两者平均值作为比较各种精度的指标(表 2)。

从表中可以看出，取 1.25 倍标准差进行检测的监测精度最高，平均精度达 78.5%。总精度达 75.2%，综合精度达 76.85%。3 种精度的计算式为

$$\text{平均精度} = [(\text{正确变化监测精度} + \text{正确非变化精度}) / 2] \times 100\%$$

$$\text{总精度} = \frac{\text{正确的总数}}{\text{总抽样数}} \times 100\%$$

$$\text{综合精度} = \frac{\text{平均精度} + \text{总精度}}{2} \times 100\%$$

表 2 比值植被差值图像不同标准差倍数精度表
Table 2 Image threshold detection table of ratio vegetation D-value

平均值 $\bar{x} = 98.177$ 标准差 $STD = 15.288$			
标准差倍数 (K)	正确分类精度(%)		
	平均精度	总精度	综合精度
0.75	68.51	69.78	69.20
1.00	70.32	72.40	71.36
1.25	78.50	75.20	76.85
1.50	73.35	74.35	73.79

图版 I 图 4 是将图 2 进行密度分割后产生的动态图。红色区域为新增林地，黄色为破坏后的林地，青蓝色为未变动林地。

(三) 归一化植被指数差值法

归一化差值植被指数与比值植被指数一样，对植被具有良好反映^[4]，在植被较疏、土壤背景干扰大的地区，应用归一化差值植被指数优于比值植被指数。

表 3 归一化植被指数差值图像精度检测表
Table 3 Normalized vegetation index D-value image threshold accuracy table

平均值 $\bar{x} = 153.038$ 标准差 $STD = 19.691$			
标准差倍数 K	正确监测精度(%)		
	平均精度	总精度	综合精度
0.75	66.43	67.50	66.97
1.00	68.50	72.45	70.48
1.25	75.69	73.70	74.70
1.50	70.50	69.53	70.01

计算公式：

$$\Delta ND_{ij} = ND_{(2)ij} - ND_{(1)ij} + C$$

$$ND_{ij}(K) = \frac{MSS7(K)_{ij} - MSS5(K)_{ij}}{MSS7(K)_{ij} + MSS5(K)_{ij}} \cdot CK$$

式中， ΔND 为差值图像， ND 为归一化植被指数， K 为时相， C 为常数， i 为行， j 为列。

该法结果如表 3，平均精度 75.69%，总精度 73.70%，综合精度 74.70%。

(四) 多时相主分量分析法

在遥感应用中，由于彩色只能显示 3 个通道的信息，不能把多光谱数据所有信息都表示出来，而主分量进行压维后，则可使大量信息在 2 维或 3 维空间上表示出来。如将 MSS

两时相的波段作为 8 个通道的数据,这种扩展的数据经主分量分析将产生具有植被动态信息的高阶主分量,在多时相结构旋转过程中,把植被信息变化作为一种类型的“噪音”从中分离出来。

利用主分量对 Landsat 图像进行变换,第一主分量为亮度,第二主分量为绿色,第三、四主分量大部分是噪音。

应用多时相主分量法进行动态监测必须具备两个条件,一是两时相以上图像具有 2 维的基本维数,即亮度和绿色,二是土地覆盖或植被变化程度超过一定范围,两时相变化程度与土壤水分、人为活动、植被密度、活力、自然时相变化等因素引起的变化相联系。具有此二条件,再经精确配准,这样多时相多维数据在数字空间旋转中,由于土壤水分、植物变化引起的光谱反射变化将各自作为一维分量被分离出来。在新的主分量中,4 个主分量,即表示稳定亮度、稳定绿色、变化亮度、变化绿色的 4 个主分量是有意义的^[3,4]。

表 4 1976, 1985 年 MSS 试验窗口图像特征根和特征向量

Table 4 Characteristic root and characteristic vector of MSS experimental window images of 1976, 1985

统计值	主 分 量			
	1	2	3	4
1976 年				
特征根	109.635	9.729	1.369	0.958
贡献率(%)	90.1	8.0	1.1	0.8
累积贡献率(%)	90.1	98.1	99.2	100
1985 年				
特征根	148.783	13.926	1.836	1.428
贡献率(%)	89.6	8.4	1.1	0.9
累积贡献率(%)	89.6	98.0	99.1	100

如将 MSS5 与 MSS7 的数据作 2 维图,则土壤线接近一条直线,植被随覆盖度大小的不同,离土壤线的垂直距离也不同,随着植被数量的增多,红光波段减弱,近红外波段增强,则离土壤线的垂直距离变大;当植被覆盖度变低时,则距离变短。故到土壤线的垂直距离是一种植被数量的量度,称之为垂直植被指数。由于土壤和植被的光谱反射特性,这种距离趋势在可见光波段为负值,在红外波段为正值。表 4 是 MSS 两时相试验窗口图像主分量变换的特征根和特征向量,两时相各自的第一、二主分量包含了 4 个原始波段图像 98% 以上的信息,一

般保存原信息量的 85% 即可,因而此两时相原始数据的基本维数为 2 维即可满足要求。

动态变化可从多时相主分量变换进行分析。从表 5 可以看出,第一主分量在所有通道的特征向量都为正值,它反映多时相图像的的稳定亮度,占有所有变量信息的 71.8%。从多时相第一主分量图像可以看出,在两个时相各波段图像上亮度高的地方,第一主分量图像上亮度也高,如荒地、农田等,反之亦然。

第二主分量前 4 个通道,即第一时相的 4 个波段的特征向量全为负值;后 4 个通道,即第二时相的 4 个波段全为正值。这一主分量反映了两时相亮度的变化。从第二主分量的图像中可以看出,河谷和河川阶地耕地亮度变化较大。从 1976 年 5 月 16 日的图像可以看出,由于是春季,河谷和河川阶地上的耕地土壤湿度较大,在各波段亮度较低;而 1985 年 10 月 7 日图像中,由于是秋季,裸露土壤干燥,各波段亮度较高。第三主分量的特征向量总的趋势是在各时相的可见光波段为负,红外波段为正值,因而这一波段为变化“亮度”。在第三主分量的图像中,有植被覆盖的地方像元亮度都较高。第四主分量的特征向量,是第一时相可见光波段和第二时相的红外波段为正值,第一时相的红外波段和第二时

表 5 多时相主分量的特征根和特征向量

Table 5 Multi-temporal KL characteristic root and characteristic vector

通 道	主 分 量							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.413	-0.094	-0.545	0.239	0.481	0.475	-0.093	0.006
2	0.436	-0.109	-0.421	0.163	-0.506	-0.316	0.451	0.000
3	0.420	-0.369	0.082	-0.147	-0.145	-0.271	-0.746	0.089
4	0.354	-0.531	0.507	-0.237	0.180	0.194	0.449	-0.087
5	0.317	0.459	-0.010	-0.392	0.519	-0.502	0.113	0.035
6	0.343	0.478	0.086	-0.408	-0.431	0.525	-0.045	0.131
7	0.209	0.286	0.300	0.415	-0.038	-0.016	-0.116	-0.754
8	0.218	0.197	0.405	0.589	0.056	-0.040	0.033	0.630
特征根	1828.54	455.141	146.449	53.942	25.619	18.652	13.859	0.197
贡献率(%)	71.8	17.9	5.8	2.1	1.0	0.7	0.5	0.2
累积贡献率(%)	71.8	89.7	95.5	97.6	98.6	99.3	99.8	100

相可见光波段为负值,这一主分量突出了两个时相由植被引起的光谱反射变化,即绿度变化。在该主分量图像中,新增植被区域亮度高,植被遭破坏区域亮度低,更高次序的主分量包含的信息与前四个主分量相比,所包含的信息量极少,而且意义难以确定。

对于森林动态监测,第四主分量是我们提取的信息,它反映了植被变化的情况。采用标准差阈值对第四主分量图像进行检测,选择最佳阈值、以 1.50 倍标准差分割的动态图监测精度最高,平均精度达 78.4%,总精度达 80.64%,综合精度达 79.52%(图版 I 图 5)。

(五) 分类比较监测法

在两时相分类图的基础上,进行逐一像元比较,可得出动态变化矩阵。这种矩阵可全面反映各地类的变化情况。它的精度是两个时相分类精度的乘积。这说明此种方法只有在各时相图像的分类精度很高时,才能使动态监测结果达到可以接受的精度。而提高图像分类精度也正是遥感应用中全力解决的问题。由于分类精度的限制,分类比较法的精度较低。

对试验区的图像作分类时,由于各地类比较破碎,难以选择训练区,因此采用无监督分类方法对各时期的 MSS 7, 5, 4 合成图像进行分类。1976 年的时相图像聚成 18 类, 1985 年的时相图像聚成 15 类。参考收集的彩色红外航空像片、黑白航空像片及两时相森林分布图,确定分类结果与实际地物类别的对应关系。由于本试验的重点是森林植被,同时考虑到两时相图像的季相对地类区别

表 6 各种植被指数最佳监测精度的比较

Table 6 Comparison of optimum monitoring accuracy of different vegetation indexes

方 法	正确监测精度(%)			
	标准差 倍数	平均 精度	总分类 精度	综合 精度
比值植被指数	1.25	78.5	75.2	76.85
归一化植被指数	1.25	75.69	73.70	74.70
多时相主分量分析 (垂直植被指数)	1.50	78.40	80.64	79.52

的影响,为此尽可能把地类合并,各时相地类都合并成下面 5 类: 1. 水域,2. 针叶林,3. 阔叶林,4. 灌木林 5. 农田、荒草地。

为了检验分类精度,在整个窗口布置了 225 个样点,与航空像片判读结果进行比较。检验结果表明,1976 年时相的分类精度为 75.4%,1985 年时相的分类精度为 80.0%。根据这一精度,在像元与像元比较基础上得出的动态矩阵只有 $80.0\% \times 75.4\% = 60.32\%$,误差高达 39.68%。但从中仍可以了解一些各地类之间及地类内动态变化的情况。从表 6 可以看出,在动态监测方法中以多时相主分量分析法精度最高,依次为比值植被指数法,归一化植被指数法。但三者精度比较接近,处理后的动态图斑基本相等。小面积的林地变化,由于图像空间分辨率的限制,不能监测出来,还有一些因子受季节影响很大,这些因素造成了森林面积动态监测的误差。因此,若采用同一季相的 Landsat MSS 资料进行森林面积动态监测时,则可以达到较好的效果。随着新一代遥感信息源 TM 和 SPOT 图像的出现,即空间分辨率、光谱分辨率的提高,采用植被指数法进行森林动态监测,可望达到更高的调查精度。

参 考 文 献

- [1] 王品清,我国卫星图像数据用于生物量研究,遥感信息,(4),1987.
- [2] John, E. E. Douglas S., Monitoring land use and land cover changes, Remote Sensing of Resource Management, 1985.
- [3] James, V., Detection of forest Multispectral Scanner Data International, Journal of Remote Sensing, 1988.
- [4] Byrne, G. F. Crapper, P. F., Monitoring analysis of Multispectral data, Remote Sensing of Environment, 10, 1980.

Detection of Forest Change Using MSS Data

XU Dingcheng You Xianxiang Han Xichun

(Beijing Forestry University)

Abstract

The paper deals with the method of detection of forest change using Landsat MSS data of May, 1976 and October 1985 from frame of Pingchuan County, Hebei Province. The false color composites. (Band 7, 5, 4) were produced. The false color image is useful for manual interpretation of forest Change dynamics. A normalized difference vegetation index (NDVI) and a ratio vegetation index (RVI) were computed for two dates of Landsat data. The difference images for NDVI and RVI were produced by subtracting 1976 from 1985 data. the difference images indicate the great forest change between the above two data. Various standard deviation threshold levels were applied to the difference images to find the threshold value to produce the highest change classification accuracy. Principal components analysis of eight-channel data set consisting of the two landsat MSS data parity to generate the principal components. The first component is related to forest changes. The data classification techniques can monitor the changes of landcovers.

Key words Monitor of forest change Vegetation index difference image principal component analysis

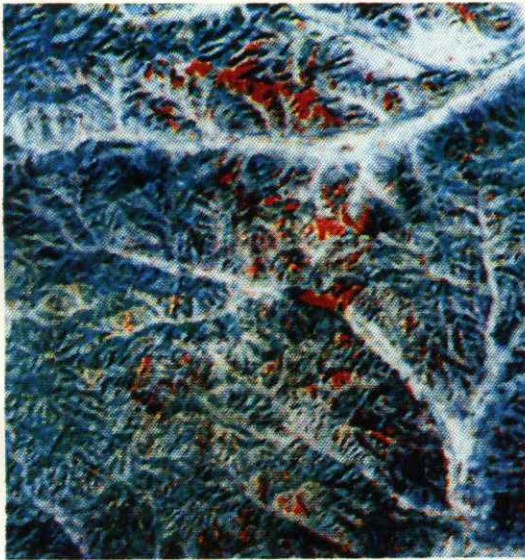


图 1 MSS 7, 5, 4 差值合成图像

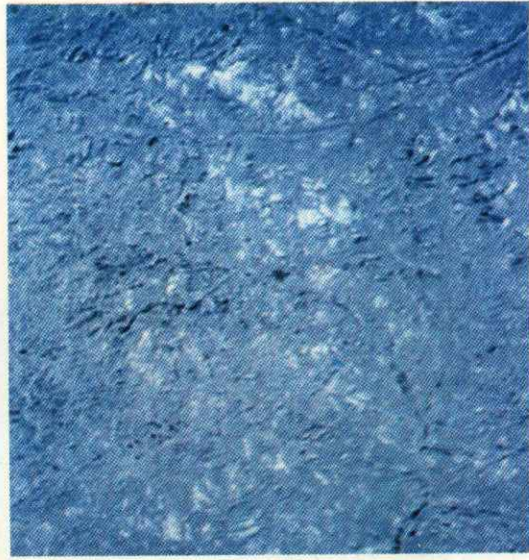


图 2 比值植被指数差值图像

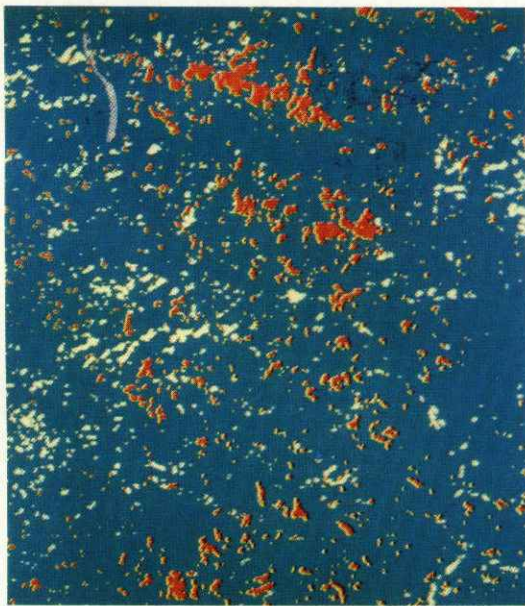


图 4 比值植被动态图

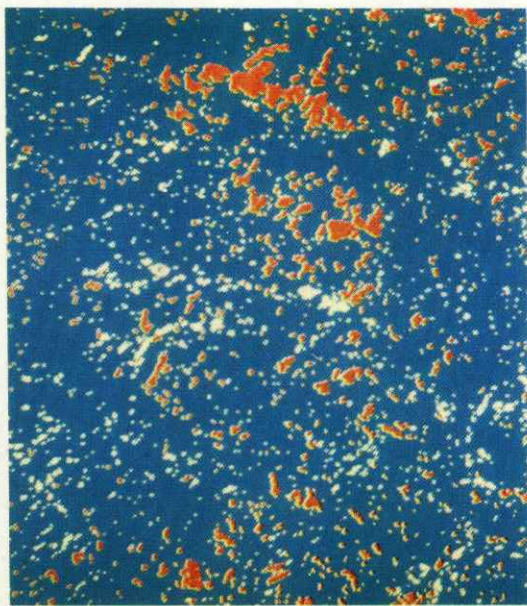


图 5 多时相主分量分析动态图
(垂直植被动态图)