

应用气象卫星 NOAA-AVHRR 图像进行 植被研究的多时相途径

朱启疆

(北京师范大学)

1990年9月1日收稿

摘 要

本文讨论了应用 NOAA-AVHRR 数字图像研究植被季相变化和进行植被分类的多时相方法。对生长季节的各时相植被指数 VI 图像进行图像分割,可揭示植被绿锋的进退和季相变化及其在空间上的表现。对多时相的植被指数 VI 图像进行主成分变换,据第一主成分的直方图各特征峰的形状和位置进行图像分割,可获得植被景观图,这一结果与现行的植被分布图相当一致。

关键词 植被指数 多时相方法 图像分割

全球变化的研究,特别是全球植被变化的研究,日益受到各国政府和科学家的重视。准确、及时的地球表面植被分布信息对阐明土地覆盖变化是非常必要的。土地覆盖的变化影响到大气中的 CO₂ 浓度,陆地的初级生产力,水分循环以及地表与大气界面间的能量平衡。植被覆盖信息对确定地球上生物资源的变化速率和借助调整土地利用方式来满足对某种生物资源的需求也是必不可少的。

获取植被分布及其变化信息的传统方法是通过地面调查进行植被制图。大范围的植被清查,不但要耗费巨资和投入庞大的人力,而且在事实上也是做不到的。因为范围大了,既不可能同时进行,又受人类活动的强烈影响,即使勉强为之,反映的也不是某时的实际情况。卫星遥感图像则因其覆盖面积大,可进行大尺度的植被研究,实现对地表的近乎同步的观测。

本文的目的在于结合实例,探讨 NOAA-AVHRR 图像进行植被分类和动态变化研究的原理和方法。

一、研究区图像数据的 获取与配准

研究区为一块典型的干草原地带,



图1 研究区位置图

Fig. 1 Map of western Liaohé basin and its contiguous zone

位于东经 115° 到 120°, 北纬 41° 到 46°, 面积约 25 万平方公里。西拉木伦河由东而西横贯本区中部, 大兴安岭南段在东北方向蜿蜒展布, 七老图山则由中部向东南方向伸展至境外, 西部是小腾格里沙地, 达里诺尔湖位于研究区中心(图 1)。地形上的变化造成了植被类型的多样性。本区处在半干旱地区向干旱地区的过渡地带, 生态上异常脆弱, 人类活动和气候上的波动极易引起环境的变迁, 是进行植被遥感研究的理想地域。

研究应用的遥感资料为 NOAA-AVHRR 数字图像, 监测时间自 1987 年 5 月 3 日开始, 一直延续到 1989 年 9 月底。所选用的无云晴空图像均以本区的达里诺尔湖为参考目标进行了大气纠正, 像幅中心都位于星下点附近, 即仪器光轴倾斜所造成的影响已降至最低。

为了进行比较和后续处理, 对图像进行了统一的墨卡特投影变换, 以使不同时相的图像在空间上做到严格的配准。

二、方法描述

一景卫星图像, 虽然是地面目标电磁波辐射特性的真实记录, 但它毕竟不是一幅植被图。为此需要将卫星图像演绎成研究所必需的植被图。不同植被类型对红光的吸收与对近红外辐射的反射之间的对比关系仍然是植被遥感分析的理论基础。由传感器的红光波段灰度值 CH_1 与近红外波段灰度值 CH_2 所定义的植被指数一直是光学波段遥感图像植被分析的有效工具。广泛采用的植被指数, 一是 $VI = \frac{CH_2}{CH_1}$, 另一是 $NVI = \frac{(CH_2 - CH_1)}{(CH_2 + CH_1)}$, 又称为归一化植被指数。由于当植被覆盖度很高时, NVI 呈现饱和现象, 对植被的差异反映不灵敏, 所以在本研究中使用的是植被指数 VI 。

每一时相的 AVHRR 图像, 在图像处理系统上都容易生成 VI 图像, 我们的任务就是要解决如何根据多时相的 VI 图像来生成植被类型图和研究植被的动态变化。

不同生活型的植物, 其生活节律、生命周期是不同的, 而不同时相的 VI 则是不同植被景观的真实的实时记录。不同的 VI 值反映了植物光合作用的强度和活力的大小, 也是植被类型差异的一种表现。一个时相的 VI 图像也许还不足以区分植被类型, 但如果我们能获得植物生活节律、生命周期的完整描述, 即获得整个生长期中各生长阶段的 VI 图像, 则通过某种变换, 也许就能有效地扩大各植被类型间的差异, 从而将它们加以区分。Karhunen-Loève 变换正是达到这一目的的有效手段。C. Tucker^[1] 曾对全非洲大陆的多时相 NVI 图像进行 K-L 变换, 然后根据前三个主成分进行监督分类, 做出了全非的土地覆盖图。基于本研究区的植被分布在大范围内均匀一致的特点及 K-L 变换的第一主分量占有方差达 90% 左右、集中了绝大部分信息的情况, 作者采用了对第一主分量进行图像分割的技术来生成研究区的植被分布图。

图像分割的本质是进行图像分析。一幅输入图像经过分割处理后的输出结果是图像的某种特性的描述。目前还没有统一的分割方法, 大多采用门限化的做法。分割的原则是一致性准则, 即图像本身特性一致、反映的景物一致以及图像结构特征方向一致。处理时, 凡是特性一致的像元置 1; 特性不一致的像元置零。

图像分割的依据通常是建立在图像的相似性及非连续性两个概念上的。

相似性原则——同一区域内像元应相似,类似于一个集合群;非连续性原则——从一个区域向另一个区域搜索时,像元一定有某些变量特征(如梯度等特征)会发生突变,从而可以确定边界。

1. 数学描述

均匀性 设一幅图像由二维点集合 $X\{i, j\}$, $i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, M$ 表示。 $x\{i, j\}$ 是 $X\{i, j\}$ 的一个子集合,即 $x \in X$ 。根据图像灰度值 $f(i, j)$, $0 \leq f(i, j) \leq 255$,及图像在 (i, j) 点的属性判断(每一像元):

$$P(x') = \begin{cases} \text{真}, 1, & x' \in x; \\ \text{伪}, 0, & x' \in \text{其它}。 \end{cases}$$

当 $P(x') = \text{真}$ 时,就称图像子集合 $x\{i, j\}$ 具有均匀属性或称图像集合 $X\{i, j\}$ 具有均匀属性 P 。

分割 图像点阵 $X\{i, j\}$ 的某些均匀属性 P_k 的一个分割是指把 X 划分成一些非空子集合 x_1, x_2, \dots, x_k , 它们满足下列条件:

- (1) $\bigcup_{i=1}^k x_i = X$, 意称某像元点属于某集合而不会有遗漏。
- (2) $x_i \cap x_j = 0$, 不允许二像元属于两个集合,即集合的交为零。
- (3) $P(x_i) = P_i$, 每个子集合具有本身独特的特性, $P_i \neq P_j (i \neq j)$ 。

2. 取门限

门限化是最常见的分割处理方法。它是把图像灰度动态范围分成若干段,并用门限值来具体确定区域或边界。

像元坐标 (i, j) 处的灰度值为 $f(i, j)$; 灰度值的动态范围是 $[f_{\min}, f_{\max}]$, $f_{\min} \leq f(i, j) \leq f_{\max}$ 。

设 T_k 是 $[f_{\min}, f_{\max}]$ 之间的一个数列 ($k = 1, 2, \dots, k$)。不失一般性,假定:

$$T_0 = f_{\min} < T_1 < T_2 < \dots < T_{k-1} < T_k = f_{\max}$$

据此,图像被分割成 k 类; f_1, f_2, \dots, f_k , 且

$$f(i, j) = \begin{cases} f_k, & T_k \leq f(i, j) < T_{k+1} \\ 0, & f(i, j) \notin [T_k, T_{k+1}] \end{cases}$$

T_k 又叫门限算子,它可以是 (i, j) 的函数,其一般形式是 $T_k\{i, j, f(i, j), N(i, j)\}$ 。

在这次处理中,仅考虑全局性门限,它只依赖于图像灰度值的分布,而与图像局部性质无关。根据直方图可确定 T_k 值:

$$f(i, j) = \begin{cases} 0, & f(i, j) \leq T_k \\ 1, & f(i, j) > T_k \end{cases}$$

为了描画边界,需要同时检测水平与垂直两个方向的边界。

水平扫描

$$f_H(i, j) = \begin{cases} L_{\text{边缘}} & f(i, j) \text{ 与 } f(i, j-1) \text{ 对 } T_k \text{ 的大小关系相反} \\ L_{\text{背景}} & f(i, j) \text{ 与 } f(i, j-1) \text{ 对 } T_k \text{ 的大小关系相一致} \end{cases}$$

垂直扫描

$$f_v(i,j) = \begin{cases} L_{\text{边缘}} & f(i,j) \text{ 与 } f(i-1,j) \text{ 对 } T_k \text{ 的大小关系相反} \\ L_{\text{背景}} & f(i,j) \text{ 与 } f(i-1,j) \text{ 对 } T_k \text{ 的大小关系相一致} \end{cases}$$

输出结果

$$f(i,j) = \begin{cases} L_{\text{边缘}} & f_H \text{ 与 } f_v \text{ 中有一个等于 } L_{\text{边缘}} \text{ 即可} \\ L_{\text{背景}} & f_H \text{ 与 } f_v \text{ 均等于 } L_{\text{背景}} \end{cases}$$

3. 分割的实现

分割是在图像处理系统上专门设计的新功能 SEGMENT 上实现的。与多波段图像分类相当的是单波段图像的分割。对于背景比较单一,目标大范围连续一致的草原地带,对多时相植被指数 VI 的 K-L 变换的第一主分量进行分割,显然具有分类上的意义。

执行上述数学描述所设计的分割功能是交互式的,可方便地选取直方图中的每个特征峰进行统计,随时给出均值 $\bar{\mu}_i$ 和方差 $\bar{\sigma}_i$,根据 $\bar{\mu}_i$ 和 $\bar{\sigma}_i$ 可确定每一个分段端点。直方图是进行分割的最重要的依据,要进行仔细分析,以查明总体分布特征,信号的动态范围,特征峰的数量、位置和形状,特征峰在植被类型与生活力上的含义。

为了建立人们习惯的直观的比较标准,在系统上还模拟出了 1989 年 8 月 13 日的 NOAA-AVHRR 图像的标准假彩色合成图像(图版 I 图 2)。这幅图成功地反映了本地地区的植被空间分布及其与生境的关系,但是它不具有分类上的意义。

三、结果与讨论

我们在达里诺尔地区的植物生长季节,共接收了四景晴空无云的 NOAA-AVHRR 图像,成像时间分别是 1989 年的 5 月 4 日,6 月 8 日,7 月 3 日和 8 月 13 日。原始图像经过墨卡特投影变换后,进行了严格的配准。分别求取上述图像的植被指数,相应地生成四个时相的植被指数图像。对这四个时相的 VI 图像进行 K-L 变换,意味着实现时相维的植被指数 VI 的空间坐标旋转,使植被类型分离的可能性达到最大,从而有利于区分它们。表 1 是达里诺尔地区多时相植被指数 VI 图像的 K-L 变换统计。

表 1 内蒙达里诺尔地区多时相植被指数 VI 图像 K-L 变换特征统计
Table 1 Statistics of K-L transformation for multi-temporary VI images in Dalainor region, Inner Mongolia

时相序号	均值	标准差	协方差矩阵				主分量	特征向量				百分率方差 (%)
			1	2	3	4		1	2	3	4	
1(504)	189.98	25.029	626.48	211.07	1415.0	1428.5	1	-0.169	-0.133	-0.690	-0.691	0.899
2(608)	232.27	33.752	211.07	1139.2	1056.4	1059.4	2	0.094	-0.988	0.084	0.083	0.068
3(703)	154.07	77.434	1415.0	1056.4	5996.0	5825.6	3	0.977	0.072	-0.189	-0.065	0.020
4(813)	153.85	77.507	1428.5	1059.4	5825.6	6007.3	4	-0.086	-0.007	-0.694	0.715	0.013

从表 1 可以看到,植被和植被指数的时相差异信息通过主成分变换,基本上集中到了第一主分量(占 89.9%),各植被类型的差异在第一主分量图像上达到最大,应用图像分割技术显然可以有效地从空间上区分它们。在进行分割处理时,主要考虑直方图上每个特征峰的位置和形状,根据每个特征峰的 $\bar{\mu}_i$ 和 $\bar{\sigma}_i$ 确定每段分割的端点。

对第一主分量图像进行拉伸后,灰度值的动态范围从 0 变化到 255,其直方图近于正态分布。根据直方图的分布细节确定的分割端点如表 2 所示。据这些端点进行图像分割所得到的图像(图版 I 图 3)经与内蒙古赤峰市植被图比较分析,图上诸色调所代表的地表覆盖类型也列于表 2。采用同样的方法对 1987 年 6 月 8 日及 1989 年 8 月 13 日的植被指数图也进行了图像分割,输出结果分别由图版 I 中的图 4 和图 5 表示。

表 2 多时相植被指数 VI 图第一主分量的图像分割

Table 2 Image segment of the first principal component for multi-temporary VI image

DN 区间	0—32	32—64	64—96	96—128	128—160	160—192	192—224	224—254	254—255
色调	深绿	苹果绿	蓝绿	豆绿	浅黄	土黄	深黄	红色	血青
植被意义	森林或密灌丛	林缘草地	草甸草原	干草原	典型干草原	退化草场	严重退化草场	农田	裸地裸沙

比较图版 I 中的图 2—5 可以看到,图 3 所反映的已不是研究区一时一地的植被指数的空间分布,而是代表着地表各种覆盖类型的空间镶嵌分布格局,它是一幅植被分布图或叫景观分布图,它反映的应是不同覆盖类型初级生产力水平的高低。由于植被指数 VI 本身代表了光合作用的强度(反映单位时间、单位面积上植物累积干物质能力的大小),它对时间的积分则代表了光合作用的总体强度,不同的植被其积分值不同。对多时相 VI 图像经 K-L 变换后的第一主分量进行图像分割,本质上相当于基于积分效应的图像分类。它强调的是平均总体效果,而非像元 VI 的瞬时取值。因而图 3 反映的是土地覆盖情况,是一幅植被景观图,且与野外调查结果和该地区现有的植被分布图极为吻合(图 6)。图 6 是在内蒙古从事植被遥感研究多年的北京大学崔海亭教授根据陆地卫星 TM 图像并参考图版 I 中的图 2 所作的植被景观类型判读图^[2]。由图 6 可以看出,其植被类型界限,采用的基本上就是图 2 的图像分割

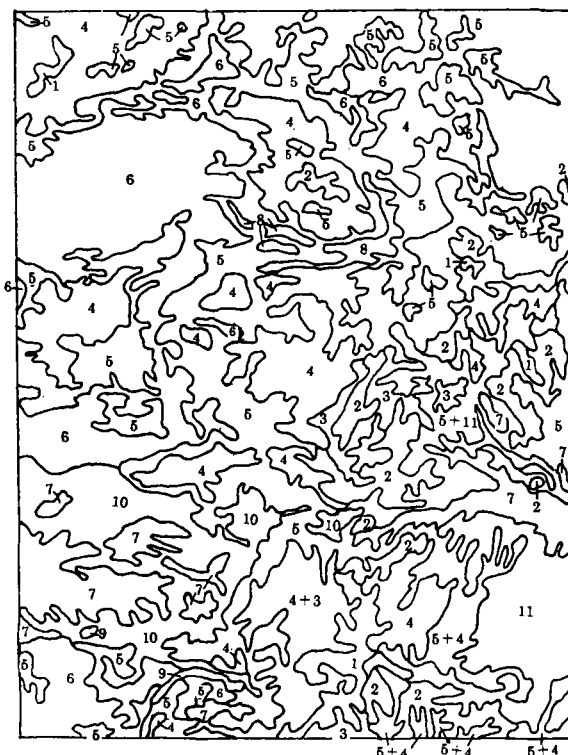


图 6 西辽河流域及其毗邻地区植被景观分布图

Fig. 6 Vegetation landscape map of western Liaohu river basin and its contiguous zone

1. 落叶阔叶林 2. 山地森林草原 3. 林缘草甸 4. 草甸草原
5. 大针茅草原 6. 克氏针茅草原 7. 流动半流动沙地 8. 盐化草甸
9. 河漫滩草甸 10. 固定半固定沙地 11. 农田

界限。这就是我们为什么采用图像分割而不采用图像的监督分类的简单原因。

比较图版 I 中的图 4 和图 5, 可以看出图像分割技术在研究植被动态变化上的效果。两幅图有相同色序的色标, 植被指数的动态范围均被拉伸(从 0 变化到 255)。植被指数最高的地方以墨绿色表示, 反映的植被类型是山地森林和山地灌丛, 它们分布在大兴安岭南段、黄岗梁、昭乌达高原和七老图山北段, 在整个生长季节绿色长驻, 几乎不受气候波动的影响, 时间上、空间上均表现出稳定性。浅绿色和黄色图斑反映的是草原植被类型, 它们随季节和年份呈现很大的波动。在 1987 年 6 月 8 日与 1989 年 8 月 13 日的分割图(图版 I 图 4 和图 5) 上的浅绿色色标的动态范围几乎是相等的, 但 1987 年 6 月份的绿锋已推进到锡林河与腾格里沙地的东缘, 而 1989 年 8 月 13 日的绿锋则退缩到了大兴安岭山地与七老图山的山麓, 水平距离后退 200 公里左右。究其原因, 一是季候的影响, 一是降水波动的结果。

达里诺尔地区由于气候干寒, 植物生长期很短, 主要集中在 5 月份到 8 月份完成其基本生命过程。本地区每年 4 月初雪开始融化, 4 月中全融, 之后地表迅速增温, 至 4 月底开始返青。6 月初全绿, 但此时的天然草场中绿草与枯草参半, 到 7 月初枯草才不起作用。6 月下旬狐茅(*Festuca sp.*)、早熟禾(*Poa sibirica*) 与落草(*Koeleria cristata*) 开始抽穗, 7 月上旬黄熟。其它禾本科的抽穗期, 羊草(*Aneurolepidium chinense*) 与冰草(*Agropyron cristatum*) 为 7 月 10 日到 20 日, 针茅(*Stipa grandis*) 为 7 月底, 到 8 月 15 日左右成熟。对干线叶菊(*Filifolium sibiricum*) 草原, 7 月上旬为花期, 终花于 7 月下旬, 8 月初花谢尽。8 月 20 日前后初霜, 草开始枯黄。8 月中旬为生物量最高产期。

上述的植物季相变化规律足以说明图版 I 图 4 (1987 年 6 月 8 日) 绿波突进和图 5 (1989 年 8 月 13 日) 绿波消退的原因。

这二个时相图像绿波进退如此鲜明对比的另一因素是降水的作用。达里诺尔地区地处典型的半干旱区, 年降水量在 250—450 毫米之间。植物生长和年降水量的多寡与降水的年内分配有很大关系。1986 年和 1987 年为两个丰水年, 降雨量分别为 420 毫米和 381 毫米, 高峰降水月份是 7 月和 8 月。因而 1987 年的草原植被不但返青早, 而且生长旺盛, 草原的绿锋迅猛推进。1988 年和 1989 年连续两年大旱, 降水量只有 200 毫米, 草原植被受影响最为显著。从图 5 可看出, 该草原由于长时间缺水, 还不到初霜季节, 草类即已提前枯黄, 绿锋提前全线消退。

参 考 文 献

- [1] Tucker, C. J., et al., African land-cover classification using satellite data, SCIENCE, Vol. 227, No. 4685, 1985.
- [2] 雍世鹏、崔海亭, 内蒙古自治区赤峰市草场植被类型图, 科学出版社, 1988 年。

The Multi-temporal Approach of Research on Vegetation by NOAA-AVHRR Image Data

Zhu Qijiang

(Department of Geography Beijing Normal University)

Abstract

This paper discusses the multi-temporal approach which does research on seasonal change of vegetation and its classification by NOAA-AVHRR digital image. Image segmentation of various temporal vegetation index can display the movement of green front forward or backward during plant growth period. The vegetation-landscape map were acquired by image segmentation of the first principal component of Karhunen-Loe've transformation for image data of multi-temporal vegetation index. This result corresponds well with thoes of existing vegetation maps.

Key words vegetation index multi-temporal approach image segmentation green front

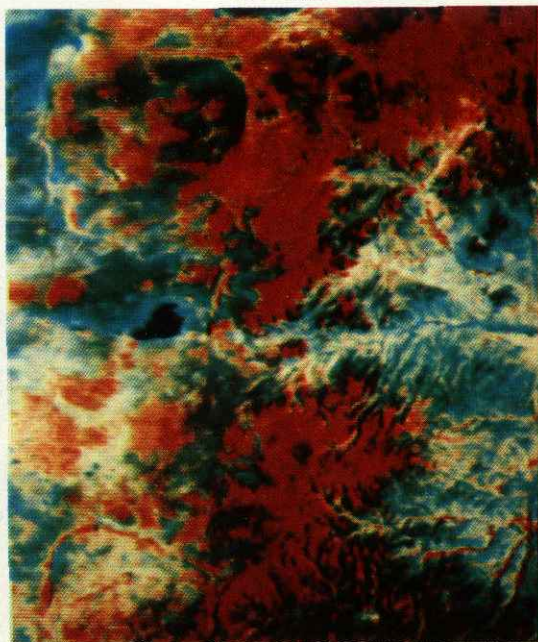


图 2 达里诺尔地区模拟标准假彩色
AVHRR图像

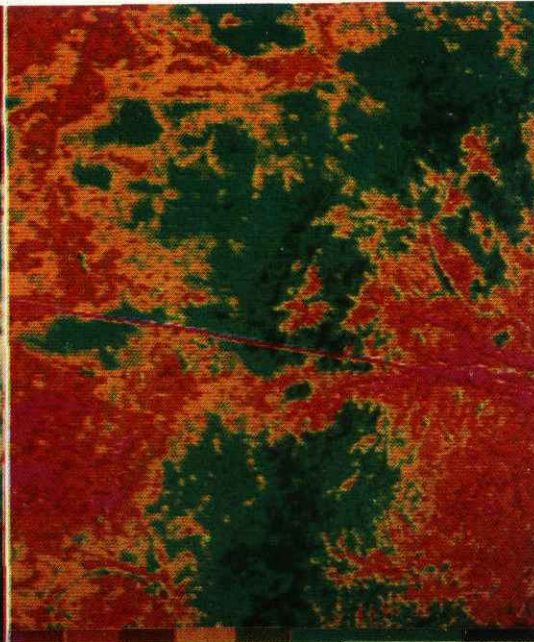


图 3 达里诺尔地区多时相VI图像
K-L变换第一主分量的图像分割

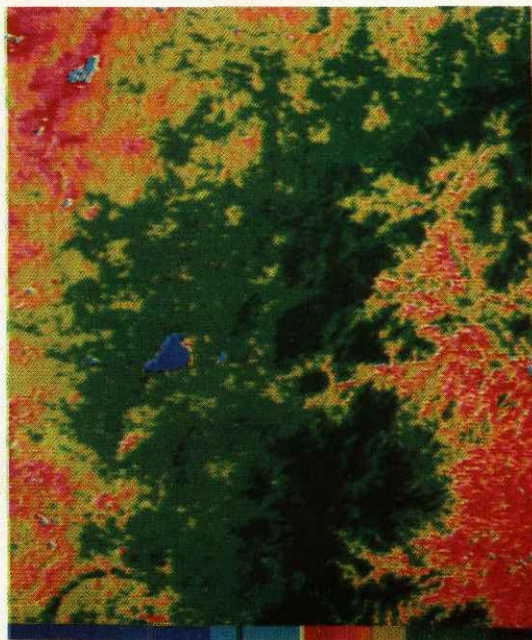


图 4 达里诺尔地区 6 月 8 日
VI 的分割图像

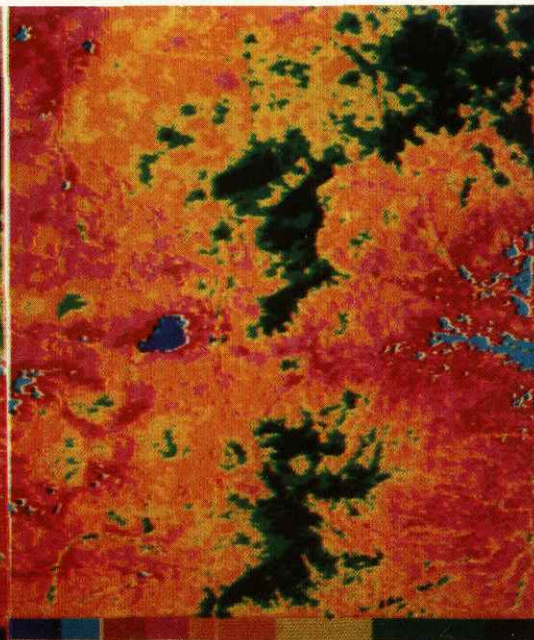


图 5 达里诺尔地区 8 月 13 日
VI 的分割图像