

# 利用多种传感器信息编制热带森林 植被图的研究\*

李芝喜 杨存建

(西南林学院)

1992年9月22日收稿

## 摘 要

本文介绍了利用卫星遥感编制西双版纳热带森林植被图的研究方法。论述了以森林生态规律为导向,以多种传感器遥感信息为基础,通过计算机图像处理和森林植被分类判读,编制了热带森林植被图的技术过程。研究结果表明,利用多种传感器卫星遥感数据 SPOT XS 和 TM, 结合部份航空像片编制热带森林植被图是可行的。该图件的编制为西双版纳珍贵的热带森林植被的保护管理提供了重要的基础信息。

**关键词** 热带森林植被 多种传感器信息 图像处理 制图

## 一、引 言

为了加强西双版纳及其自然保护区森林植被的管理保护,急需摸清该地区森林资源的类型及其分布等方面的信息,从而为珍贵的热带森林植被制定科学的经营措施。为此,我们利用遥感技术进行西双版纳森林植被分类和制图的试验研究。

森林植被图的编制是一项重要的基础工作,所以受到各方面的普遍重视,特别是一些国际组织曾进行了一系列的试验研究。例如,联合国科教文组织(UNESCO)的植被分类和制图的常设专业委员会为植被分类的国际规范化作了许多工作,但遗憾的是当时没有考虑使用遥感资料。联合国粮农组织(FAO)遥感中心也曾选择了塞拉利昂(Sierra Leone)、肯尼亚(Kenya)、西德(West Germany)、和澳大利亚(Australia)等不同特点的国家进行植被遥感研究。因遥感分辨力的局限,森林植被分类的依据侧重于气候带<sup>[1]</sup>。粮农组织(FAO)的林业与林产品部也曾进一步将热带森林植被图的编制列为研究项目,1985年开始在非洲利用MSS图像更新原有的森林植被图,并于1986年出版了1:500万的非洲热带森林植被图<sup>[2]</sup>。然而,仍由于卫星遥感分辨力不高,信息不够丰富,森林植被图仅反映宏观概貌。此外,近几年来国内有些单位围绕“三北”防护林调查规划,编制了类似森林植被图的其他专业图件<sup>[3]</sup>。但北方森林植被类型比较单纯,而本项研究是面临着

\* 该项研究属世界自然基金会(W. W. F)西双版纳自然保护区资助合作项目。参加该项目的还有西南林学院遥感室的范建蓉、周汝良、岳彩荣、李小英等,比利时根特大学遥感室弗兰斯·吉拉德(France Gerard)、布鲁诺·维比斯特(Bruno Verbist)、罗伯特·都尔夫(Robert De Wulf)、罗兰德·古森斯(Roland Gooßsens)、鲍德温·德罗文(Boudewijn De Roover);世界自然基金会约翰·麦金农(John Mackinnon)、杨元昌。此外,西双版纳自然保护区也给予了大力支持和帮助。

类型极其复杂的热带森林植被,所以该项研究具有极为特殊的意义。

## 二、试验区的森林植被概况

西双版纳地处热带北缘,而且具有四周高中间低的地势条件,所以出现了较大范围的热带性气候。由于其独特的地理位置、地貌形态和气候条件,成为我国唯一具有几个植物区系的荟萃地。特别是自然保护区是西双版纳的缩影和精华。西双版纳的主要森林植被类型有: 雨林、季雨林、常绿阔叶林、竹林、胶林、灌丛和草丛等。

## 三、研究方法

### (一) 试验材料

本次研究所使用的多传感器材料主要有:

- (1) 1988 年 2 月 16 日记录的 SPOT-1, XS 数据;
- (2) 1988 年 2 月 2 日记录的 Landsat-5, TM 数据;
- (3) 1973 年 3 月 2 日记录的 Landsat-1, MSS 数据;
- (4) 1989 年 3 月航空摄影的 1:4 万的自然保护区的全色黑白像片。

以上材料均为春季扫描记录的数据。西双版纳的春季属于干旱季节,有些草本植物已经接近枯黄,常绿性和半落叶性的森林植物出现树叶发红和发黄的季相特征。这种特定的季相条件,扩大了森林植被类型之间的波谱特征的差异,有利于森林植被的分类判读。

### (二) 图像处理

图像处理使用带有 S600 软件和配有 I'S Model-75 联结着 vax 微机的图像处理系统。鉴于我们本项研究任务,既包括西双版纳全州森林植被图的编制,又涉及其中自然保护区类型极为复杂的森林植被的重点研究。为此采取了点面结合的图像处理方法。

#### 1. 西双版纳全州森林植被图的图像处理

全州范围的森林植被图其覆盖面较大,为判读方便,图像处理时要求标准比较统一。其具体处理方法如下。

(1) 波段选择 对于 SPOT 图像沿用  $XS_1$ ,  $XS_2$  和  $XS_3$  数据。对于 TM 数据,则需进行波段的选择。选择波段时首先进行相关分析。本次使用 TM 数据,  $TM_1$  在数据接收记录时发生了毛病无法参与相关分析。根据计算,各自然保护区相关分析结果相近。现以勐养自然保护区相关系数为例加以说明(表 1)。

表中相关系数较小的是  $TM_2$  与  $TM_4$ ,  $TM_3$  与  $TM_4$ ,  $TM_4$  与  $TM_7$ 、 $TM_6$ 。单纯从相关性出发以  $TM_{346}$  最好,  $TM_{234}$  次之。但考虑到该项研究的主要对象是森林植被,需要结合波段的响应功能进行分析。其中  $TM_2$  (0.52—0.60 微米) 突出绿光反射,  $TM_3$  (0.63—0.69 微米) 为植被光合作用吸引区,  $TM_4$  (0.76—0.90 微米) 为叶肉组织强反射。根据相关性结合波段功能的综合分析,  $TM_1$  组合不仅对森林植被分类的敏感度比较高,而且波

表 1 TM 波段相关系数矩阵  
Table 1 Correlation matrix for TM

波段	2	3	4	5	7	6
2	1.000					
3	.733	1.000				
4	.499	.305	1.000			
5	.762	.764	.555	1.000		
7	.855	.924	.375	.856	1.000	
6	.571	.547	.339	.551	.558	1.000

段间的独立性也比较强,波段之间的信息重复较少,充分发掘了信息潜力。

(2) 对比度扩展 在几何校正的基础上,采用了直方均衡处理进行影像的对比度扩展,已达到丰富森林植被类型的目的。

(3) 彩色合成 为了突出森林植被的效果,采用了假彩色合成图像。对于 Landsat 图像,按  $TM_{234}$ ; SPOT 图像,按  $XS_{123}$  的顺序分别赋予 B.G.R 颜色。最后输出了彩色喷墨的标准假彩色合成图像(图版 I 图 1、图 2),以提供西双版纳州森林植被图的判读。

## 2. 自然保护区森林植被图的图像处理

自然保护区森林植被类型比较复杂,但它又是主要研究对象,所以采用了多方案的重点处理。其中主要包括图像变换和分类。

### (1) 图像数据变换

在几何校正的基础上,进行数据变换。

自然保护区的数据变换采用了主成分分析 (PCA) 和归一化差值植被指数分析 (NDVI)。

主成分分析(PCA) 该变换处理既能压缩波段数据又能使各成分彼此独立避免波段信息的相互重叠,而且在一定程度上还能突出各分量的信息特征(表 2), TM 数据 PCA 变换特征向量表(勐养保护区)。

表 2 TM 数据特征向量表  
Table 2 List of eigen vectors for TM

主分量	方差百分数	特征向量					
		$TM_2$	$TM_3$	$TM_4$	$TM_5$	$TM_7$	$TM_6$
PC-1	0.907	-0.090	-0.101	-0.671	-0.694	-0.207	-0.090
PC-2	0.072	0.053	0.029	0.709	-0.700	-0.015	0.060
PC-3	0.010	-0.309	-0.428	0.109	0.128	-0.660	0.507
PC-4	0.008	0.125	0.244	-0.183	-0.102	0.390	0.854
PC-5	0.002	-0.522	-0.598	0.029	-0.050	0.605	-0.029
PC-6	0.001	0.778	0.623	-0.33	-0.001	-0.058	-0.030

从表 2 可知,第一主分量 (PCA-1) 方差最大,占全部信息的 90.7%。它与  $TM_5$ ,  $TM_4$  关系较大,集中了亮度方面的信息,有利于地类判读。PC-2 与  $TM_4$ ,  $TM_5$  关系较

大,反映绿度信息,提供森林植被及其生长信息。PC-3 与  $TM_7$ ,  $TM_6$  相关性较大,反映湿度信息,并与地形变化有直接关系。PC-4 含有较多的  $TM_6$  信息,与太阳高度角有关,反映热量分布状况。PC-5 与噪声关系较大<sup>[4]</sup>。

以上这些主分量的分解,有利于提取专题信息。

此外,考虑到自然保护区森林植被的多样性,所以除利用上述的 TM 数据进行主成分分析外,还使用 MSS 数据和 TM + MSS 数据的主成分分析。

归一化差值植被指数分析 (NDVI) 该变换处理除压缩波段之外,主要是为了解决图像分类与目标物之间的相应关系,特别是处在变化中的森林植被类型。例如,在森林植被中的新垦农地,撂荒地上新恢复的森林植被等过渡类型。所以试验中采用了前期(1973 年)与后期(1988 年)的归一化差值植被指数 (NDVI) 分析。

$NDVI = \frac{Ch2 - Ch1}{Ch2 + Ch1}$ , (Ch2

为含近红外信息的波段,Ch1 为红光波段)。这种波段组合是以森林植被的叶绿素为基础,由于绿色植被强反射近红外光波段而吸收红光波段,所以能有效地反映森林植被的类型。根据归一化差值植被指数的计算结果,绘制出特征空间散点图,利用已知没有变化的森林植被类型的点位分布区间作为消长分界线以确定有关类型,特别是新垦农地、采伐迹地、撂荒地、新恢复的林地等<sup>[5]</sup>。

## (2) 图像数据分类<sup>[6]</sup>

在图像数据变换的基础上,图像分类采用了最大似然分类法 (MLA)。

为了提供最大似然分类所需要的辅助数据,利用为编制全州森林植被图经对比度扩展彩色合成所得到的 TM 图像,(1988 年,1:5 万),SPOT 图像(1988 年,1:5 万)和全色航空像片(1989 年,1:4 万),到现场进行训练区的实况调查。

根据实际情况自然保护区设置了 11 个类型的训练区。具体的类型包括: 1. 森林,2. 竹林,3. 茶林,4. 农地,5. 胶林,6. 林地向农地的过渡型,7. 农地向林地的过渡型,8. 草地,9. 灌木,10. 草地向灌木的过渡型,11. 水域。

对于 11 种类型进行了最大似然分类的 11 种组合方案的演算。具体方案 (表 3)。

表 3 最大似然分类方案

Table 3 Scheme of maximum likelihood algorithm

方 案	分类数据组合形式	分类数据含量
1	TM	全部
2	TM + MSS	全部
3	NDVI	全部
4	TM(PCA) + MSS(PCA)	全部
5	(TM + MSS)PCA	PC2 + PC4
6	(TM + MSS)PCA	PC1 + PC2
7	(TM + MSS)PCA	PC1 + PC2 + PC3
8	(TM + MSS)PCA	PC1 + PC2 + PC4
9	(TM + MSS)PCA	PC2-5
10	(TM + MSS)PCA	PC1-5
11	(TM + MSS)PCA	PC2 + PC4 + NDVI

以上分类方案的分类结果经统计分析<sup>[7]</sup>: 含有前后期数据 (MSS, TM) 的方案 (主要是 5—11), 对过渡类型分类效果较好。方案 3, 对过渡类型最好, 但对其余类型其分类精度普遍偏低约 10%。含有 PC1、2 的组合 (方案 6—8) 对农地 (特别是旱稻和水稻) 分类效果较好。含有 PC2、4 的组合 (方案 5, 11, 8 等) 对森林植被分类效果较理想。方案 1, 实况反映较明显。方案 2 对各种类型都能兼而有之, 综合分类精度较好。

综合上述 11 种方案对 11 种类型的分类结果, 按 95% 的可靠性指标具有 79% 以上的分类精度。但当森林植被类型归并为 6 类时, 在 95% 可靠性的前提下, 具有 86% 以上的分类精度。

通过以上点面结合的图像处理, 提供适用的遥感图像以便进行全州和保护区的森林植被的判读。

### (三) 森林植被判读

西双版纳自然保护区森林植被的现状判读, 是以热带森林植物生态原理为导向, 遥感图像为基础, 通过地面样地的支撑进行森林植被的分类判读。

#### 1. 森林植被的分类系统

根据西双版纳森林植被的特点, 按固有的相似性和相异性, 参考云南植被分类系统<sup>[8]</sup>, 结合遥感图像的可判性, 拟定了西双版纳森林植被分类系统 (表 4)。

表 4 的分类系统包括了自然保护区内外的西双版纳范围, 但热带雨林多分布于自然保护区内。此外, 关于由于人为作用的过渡类型, 分类时按优势覆盖类型的实况归属于相

表 4 森林植被分类系统

Table 4 Classification system of forest vegetation

类 型	亚 型	代 码
热带雨林	季节性雨林	1
	山地雨林	2
	半常绿季雨林	3
热带季雨林	落叶季雨林	4
	石灰山季雨林	5
	季风常绿阔叶林	6
亚热带常绿阔叶林	山地苔藓常绿阔叶林	7
	暖温性落叶阔叶林	8
落叶阔叶林	暖热性针叶林	9
暖性针叶林	热性竹林	10
竹 林	橡 胶 林	11
	茶 林	12
经 济 林		13
疏 林		14
灌 丛		15
草 丛	水 田	16
	旱 地	17
	轮 休 地	18

应的分类系统。例如退耕还林的过渡类型, 视恢复程度按现状分属于草丛或者是灌丛或是其他某种森林植被类型。

## 2. 森林植被判读的依据

(1) 森林植被的生态规律: 西双版纳由于西部高东部低, 所以气候差异明显, 由东到西旱季伸长, 雨量降低, 所以呈现东部潮湿、西部干燥的气候特征。森林植被也随之出现水平分布上的差异。东部热带雨林分布较多, 且雨林特征较突出明显; 西部则以常绿阔叶林为主。西双版纳境内地势起伏高差较大, 海拔跨度在 475—2429 米之间, 由于光、热、水条件的分配差异而形成森林植被特有的垂直分布规律。其垂直分布虽有镶嵌交错甚至还有逆温倒置, 但是垂直带谱还是明显的<sup>[9]</sup>(图 3、4)。

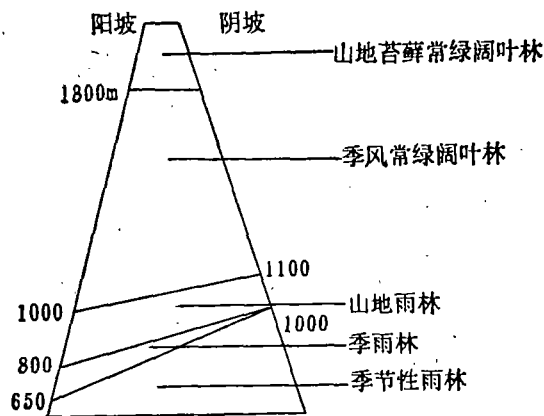


图 3 东部植被类型垂直带谱

Fig. 3 The vertical distribution of forest vegetation in east of Xishuangbanna

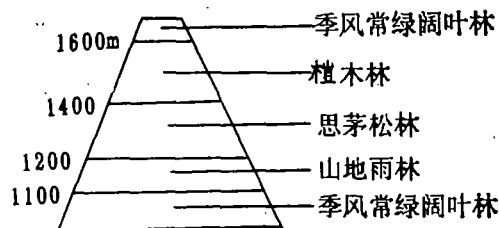


图 4 西部植被类型垂直带谱

Fig. 4 The vertical distribution of forest vegetation in west of Xishuangbanna

在判读森林植被时, 以森林植被的水平分布和垂直分布的规律性为导向, 参照地形图海拔数据在卫星遥感图像上进行类型分析。

### (2) 遥感图像的影像特征

不同的森林植被由于其建群种和所处生态环境的不同, 其群落的波谱特征也就存在

差异。这种差异提供了图像处理和图像判读的基础。波谱特征的差异在经处理的图像上是以色彩、明度、饱和度和纹理图案而体现的。例如,热带雨林由于森林高大茂密,结构复杂多层,林冠起伏不整齐。在 TM 和 Spot 标准假彩色卫星图像上,多为深红色(相当于孟塞尔颜色系统中的 3R5/10),色调均匀致密,一般呈块状分布。热带季雨林林层结构较简单,含有大量的旱季换叶树种,春季呈现黄褐色的森林景观。所以标准假彩色图像上为淡红色(近于 10R3/4),色调不致密,间杂有黄灰色斑点。而亚热带常绿阔叶林,以常绿栎类为主,山茶科、樟科次之。具有茂密而常绿的林冠。图像上色调不致密但无杂斑,多为鲜红色(相当于 6R7/8)。

### 3. 森林植被判读的过程<sup>[10]</sup>

为了保证判读精度,在判读之前进行了判读样地的调查。判读样地的设置和调查有三个目的:第一,建立判读标志。通过遥感图像的现地连测定位,确定遥感图像与地面实况的对应关系,以此作为由已知推未知的判读样片。第二,鉴定森林植被类型(含亚型)的属性。森林植被类型和亚型主要是由植物的种类和生活型来确定的。例如热带季雨林类型中又划分为半常绿季雨林、落叶季雨林和石灰山季雨林。所以判读样地需要调查和量测林层、郁闭度、树种、株数、树高和胸径等因子,以便作出类型的鉴定。第三,设置图像计算机分类的训练区。对森林植被类型(包括地类)设置训练区,提供计算机最大似然分类的辅助数据。

在判读训练的基础上进行全面的室内判读。由于热带森林植被的复杂性,采用了多种传感器遥感数据进行分析。当一种遥感图像不能确定其属性时,则利用另一种遥感图像或者是另一种处理方式的遥感图像进行综合分析。在自然保护区航空像片也加以配合。对于某些森林植被分类存在疑难的地方,又再次到达现地验证落实。

## (四) 森林植被图编制

根据判读的结果,跟踪覆盖在卫星遥感图像上的透明薄膜而勾绘出森林植被类型的轮廓界线。这种判读轮廓图需要按相应的比例尺转绘到地理基础底图上才能直观全面地反映森林植被的信息。地理基础底图是按相应比例尺的高斯-克吕格投影的地形图透绘而成的。透绘内容包括各种行政界线、地性线(如水系、公路、山脊线等)和有关注记。

鉴于西双版纳全州和自然保护区特点,确定森林植被图的比例尺为 1:20 万和 1:5 万。

编制 1:5 万的有关自然保护区森林植被图时,通过投影缩放使判读轮廓图与基础底图配准,同名地性线严格套合。在此条件下,将判读轮廓图上的森林植被分类界线不重复不遗漏地转绘到底图上。通过上色着墨、整饰注记而编制成为自然保护区森林植被原图。

1:20 万西双版纳全州森林植被图的编绘是先将近似于 1:5 万的判读轮廓图作了进一步缩小后再向 1:20 万的基础底图上转绘,而后按相应比例尺的《林业地图图式》(1982 年)的要求作了综合取舍而成为森林植被原图。

为了保证森林植被图的质量,对原图进行了现地检验和修正。经检验实际精度为 88%,对误判的 12%,又进行了修正。在此基础上对原图进行了清绘制版,彩色套印和出版发行(图版 II 图 5)。此外,对原图进行了面积量算,通过层层控制、分级平差而最后得到各类型的面积(表 5)。

表 5 西双版纳各植被类型面积统计表

Table 5 List of vegetation types area in Xishuangbanna

植被类型名称	总面积 (ha)	百分比(%)
季节性雨林	36318	1.84
山地雨林	21477	1.09
半常绿季雨林	1333	0.06
落叶季雨林	4294	0.22
石灰山季雨林	12938	0.65
季风常叶阔叶林	566044	28.76
苔藓常叶阔叶林	775	0.04
落叶阔叶林	2208	0.11
暖性针叶林	18643	0.95
竹林	68325	3.47
橡胶林	44945	2.28
茶园	17212	0.87
疏林	316701	16.09
灌丛	272699	13.85
草丛	286242	14.55
农地	137112	6.96
其它	161734	8.21
合计	1969000	100.00

## 四、结果与讨论

(1) 热带森林植被类型极为复杂,由于森林植被的稠密,利用常规方法又难予涉足其间,而利用遥感技术成功地解决了这一难题。不仅为西双版纳本身提供了森林植被的本底信息以满足各方面的紧迫需要,更重要地是填补了热带森林植被分类的遥感方法和应用模式探索出了一条新路子。

(2) 采用多种传感器遥感数据,通过多方案的图像处理,从而获得多重信息。在专业判读方面又采用了包括生态因子在内的多因子判读。这就是编制复杂结构的热带森林植被图的基本策略。采用多因子进行专业判读,是受到有关方面重视的。例如,联合国粮农组织(FAO)遥感中心的 J. A 霍华德博士在《适用于遥感使用的标准化植被分级分类方法》一书中就写到:“有人把地形、土壤、生态因子放在高于群落外貌的重要位置上,虽然我们在这方面的研究很少,但这是完全可以接受的”。

(3) 该项研究与常规方法相比,进一步证明了遥感技术能在较短的时间内以较低的成本获得较高精度和较丰富信息的热带森林植被图。该图件经许多单位的实际应用,受到好评和赞扬。

## 参 考 文 献

- [1] J. A 霍华德等,适用于遥感使用的标准化植被分级分类方法,联合国粮农组织,1—11,1982。
- [2] K.D. Singn, Review of recent FAO contributions to inventorying and monitoring of tropical forests. Inventorying and monitoring endangered forests IUFRO conference. Zurich 55—59 1985.
- [3] 徐冠华等,再生资源遥感,科学出版社, p116—140, 1988.

- [4] Robert De wulf, Roland Goossens, Boudewijn De Roover, Li Zhixi, Remote Sensing of protected forests in Xishuangbanna, International symposium on man-made community, integrated landuse and biodiversity in the tropics. Xishuangbanna, P. R. China, October 1991.
- [5] 李芝喜, 热带森林植被的动态变化遥感监测, 环境遥感, 7(2), p 99—105, 1992.
- [6] 李芝喜等, 利用电子计算机对西双版纳地区遥感图像进行地表景观划分, 植物生态学与地植物丛刊, 9(3), p. 231—234, 1985.
- [7] Michael Story, Russell Congalton, Accuracy assessment. Photogrammetric engineering and remote sensing, Vol. LII No. 3 p365—399, 1986.
- [8] 吴征镒, 云南植被, 科学出版社, p81—96, 1987.
- [9] 西双版纳自然保护区综合考察团, 西双版纳自然保护区综合考察报告集, 云南科技出版社, p95—97. 1987.
- [10] 李芝喜, 林业遥感, 东北林业大学出版社, p63—68. 1990.

## The Tropical Forest Vegetation Mapping Using Multisensor Remote Sensing Information

Li Zhixi Yang Cunjian

(Southwest Forestry College, Kunming)

### Abstract

The research is to explore the utility of multisensor remote sensing data to survey and map the tropical forest vegetation distribution.

Those multisensor remote sensing materials are: (1) Spot-1 XS 16-Feb-1988; (2) Landsat-5 TM 02-Feb-1988; (3) Landsat-1 MSS 02-Mar-1973; (4) aerial panchromatic black and white photographs Mar-1989.

The satellite remote sensing data were processed through histogram equalization, principal components analysis and maximum likelihood classification, by using a IIS model 75 with S-600 software, linked to a micro-VAX as host computer. The tropical forest vegetation classification system for surveying and mapping with remote sensing is developed.

According to tropical forest vegetation classification system, the remote sensing images were interpreted before some field sampling of remote sensing images were conducted. The method of analysis that combined the image feature with the forest ecological law was used in this interpretation. The details of interest for this research were forest vegetation type, so the boundaries delineated by tracing details on a transparency superimposed on the spot XS or Landsat TM composites. But the satellite images can not be used for the classification of all forest vegetation types. This is the reason that aerial photographs of special sites were used in this research.

After interpretation, all details of relevant forest vegetation types from satellite images were transferred to base map (scale 1:200,000 and 1:50,000) for making the forest vegetation map of xishuangbanna Prefecture and nature reserves. The Preliminary map accuracy is 88%, by some field verification. The forest vegetation maps was completed and printed.

The research both provides the important basic data for protection and management of the tropical forest vegetation in Xishuangbanna and reveals that remote sensing technique especially multisensor remote sensing method is an economic and efficient technique for surveying and mapping the tropical forest vegetation.

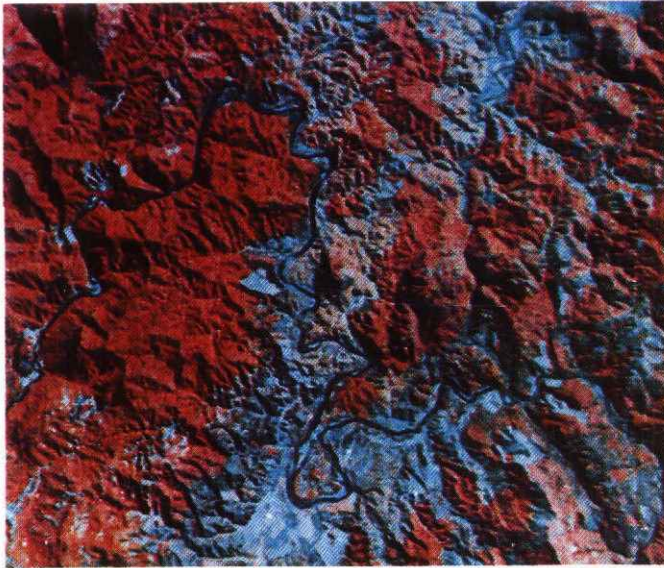


图1 勐伦TM2、3、4、合成图像

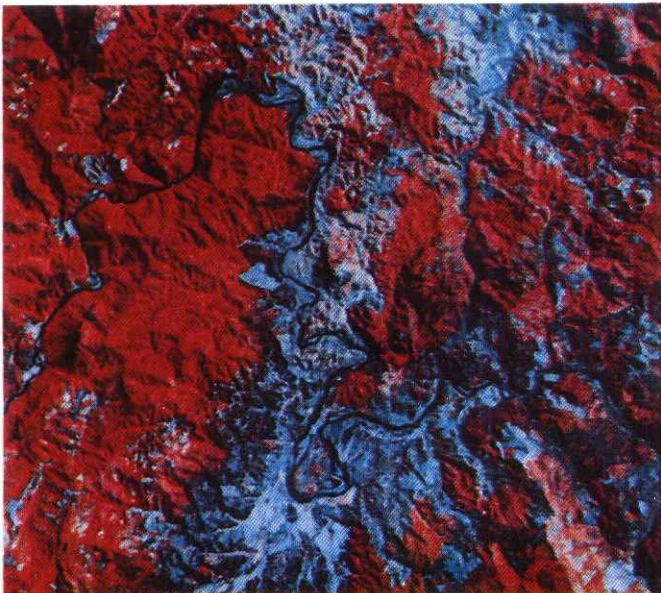


图2 勐伦SPOT XS1、2、3、合成图像

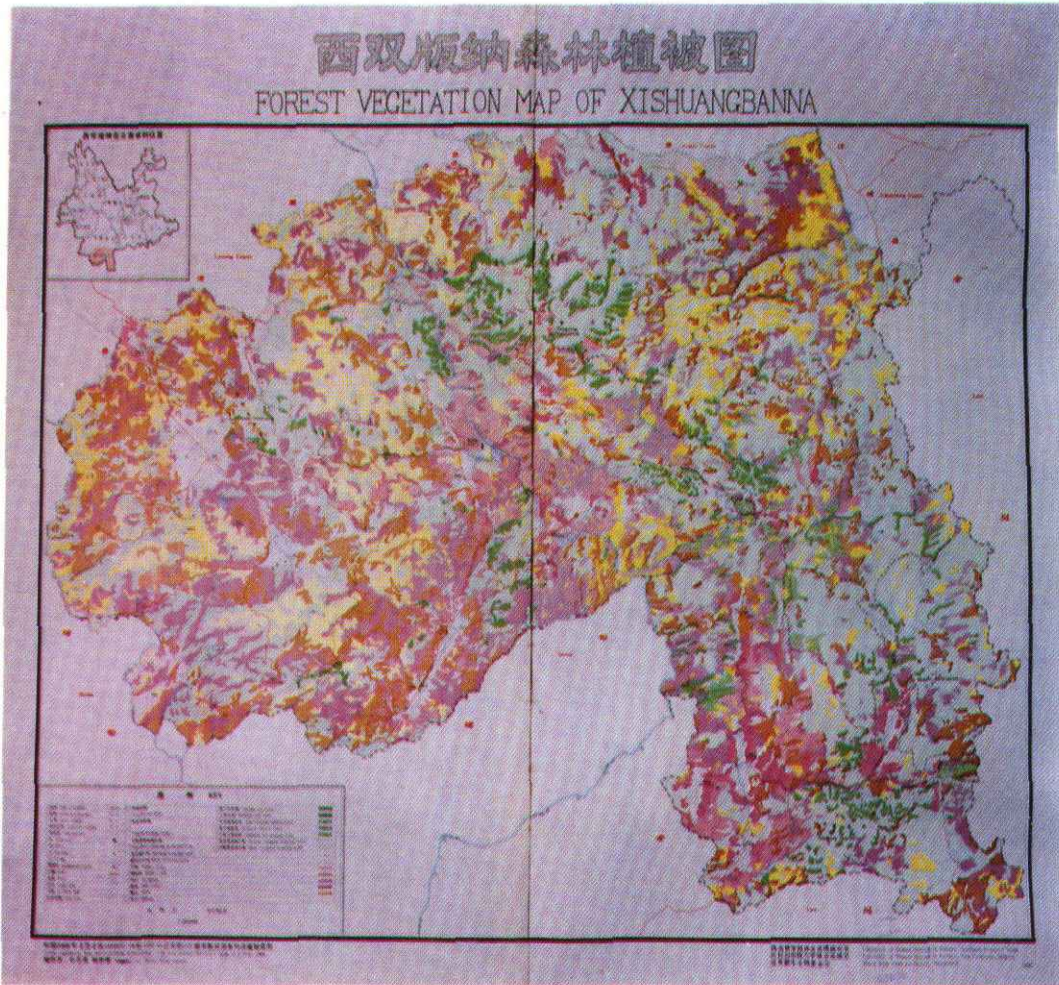


图5 西双版纳森林植被图

类型	颜色	亚型	注记
热带雨林	深绿	季节性雨林	1
		山地雨林	2
热带季雨林	绿	半常绿季雨林	3
		落叶季雨林	4
		石灰山季雨林	5
常绿阔叶林	淡绿	季风常绿阔叶林	6
		苔藓常绿阔叶林	7
落叶阔叶林	淡红		8
暖性针叶林	淡红		9
竹林	红		
人工林	红	橡胶林	1
		茶林	2
疏林	紫红		
灌丛	褐		
草丛	黄		