

彩红外航空像片应用于森林灾害 调查的方法与结果分析*

唐小平

(林业部调查规划设计院)

1990年6月7日收稿

摘 要

本文应用联邦德国的一个实例,介绍了大比例尺(1:5000)彩红外航空像片应用于森林灾害调查的程序和方法。总结了彩红外航空像片判读树种和林木受损害等级的标志;并分析了不同树种、年龄和海拔高度等因素对林木受损害程度的影响;最后提出了调查精度。结果表明:利用彩红外航空像片调查林木因大气污染、病虫害、自然灾害等因子影响而受损的程度的方法,可以为合理经营规划森林资源快速提供较精确的信息。

关键词 彩红外 航空像片 光谱反射 森林灾害调查 判读标志

一、前 言

森林因受自然灾害、病虫害、大气污染和土壤侵蚀等因素影响,健康状况会不断恶化。特别是工业化国家,随着工业化程度的提高,工业废气和汽车废气严重破坏了森林生态平衡,不同程度地损害了森林植被的健康,加速了林木的衰老和死亡。因此,林业生产部门或林业经营者迫切需要一套森林损害调查方法(Forest Damage Inventory),以便随时了解所经营森林的受损程度,死亡林木和潜在死亡林木的比例,为调整经营规划和制订相应经营措施提供依据。

目前,世界上许多国家都已开展了森林损害状况调查的研究。特别是彩红外遥感技术在调查中得到了广泛的应用。联邦德国在60年代就已应用彩红外航空像片发现的定量调查森林病害。近30年来,已成功地利用彩红外航空像片小范围地调查了森林因二氧化硫、氟污染、干旱、火灾、卷叶蛾虫、孢锈病或受雪害、风暴、洪水等因素引起的损害^[1]。1987年—1989年,又利用比例尺为1:5000(部分地区1:2500)的彩红外透明正片,对巴登—符腾堡州的黑森林地区森林损害状况进行调查。调查工作由弗赖堡大学(Freiburg)林业遥感和航测研究所组织实施。笔者在德学习期间,曾参与了部分调查和数据统计工作。下面介绍本次调查的方法,并对调查结果进行分析。

* 本文得到了西德 G. Hildebrandt 教授和林业部调查规划设计院李留瑜、李克渭高级工程师的多次指教。在此表示感谢。

二、调查方法

1. 调查区

调查区 (Schwarzwald 黑森林)位于巴一符州西南部,属阿尔卑斯山支脉。南北走向,长约 160 公里,面积约 42.5 万公顷。地貌属南德山地。西部是莱茵河谷,隔河与法国相望,南部山地与瑞士接壤;东部属内卡尔河和多脑河流域,是多脑河的发源地,最高海拔约 1500 米。

黑森林是西德主要用材林区和著名的户外游憩地。也是重要的农牧业区。莱茵河谷的葡萄园和山地的优良牧场为生产世界著名的巧克力和酒提供优质原料。在黑森林四周,分布着斯图加特、海得堡、卡尔斯鲁厄、曼海姆、弗赖堡及瑞士巴塞尔等工业、旅游城市和世界著名的默塞德斯—奔驰、波齐汽车制造厂和巴塞夫化学公司。

区域内树种单纯,令级分布均匀,大部分林地覆盖着成片的人工云冷杉和道格拉斯冷杉林。阔叶林以山毛榉为主,另有小面积的栎树、杨树等纯林或与针叶林混交。对森林进行高度集约的经营管理。林区内路网密度大。森林、牧场、道路、农地交错分布,调查十分方便。

2. 调查设计

因受时间和成本的限制,调查采用带状抽样、航空像片判读的方法进行。即在调查区内每隔 8 公里航摄一条带,航向与山脉走向平行,总计 10 条带 844 公里长。带宽约 1.4 公里(根据航空像片局部比例尺而异)。航空像片航向重叠率 60%。在每条带中每三张航空像片抽取一张,以航空像片主点为中心,系统布设 9 个航空像片样地,在航空像片上间隔为 5×5 厘米。

航摄从 1985 年 7 月开始,1986 年底完成。选择晴朗少云的夏季中午摄影。摄影胶片是: **Koda Aerochrom 2443** 彩红外透明正片;航摄像机是 **ZEISS RMK A4**;滤色镜是黄色,像机焦距 304.96 毫米。像幅 23×23 厘米,航高 1800 米,成像比例尺 1:5000 (部分 1:2500)。

三、彩红外航空像片应用于森林 损害调查的理论基础

植被具有发射和反射光波的特性。其反射强度受树种、林木生长期、植被活力、密度和年

龄等因子的影响。试验区内针叶树种因叶面积小,比阔叶树种的反射率低;同一树种在不同波段的反射率也有很大差异。图 1 是调查前所测的区域内几种主要树种在不同波段的

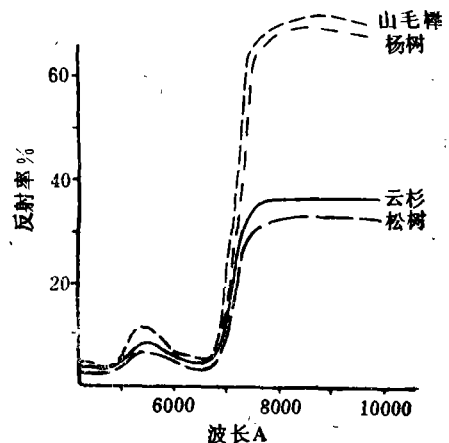


图 1 不同树种的光谱反射曲线图

Fig. 1 Spectral reflectance of different species

反射率分布。

另外,植被受损害后,其活性降低,也会导致光谱反射率异常。在航摄期间,采用多

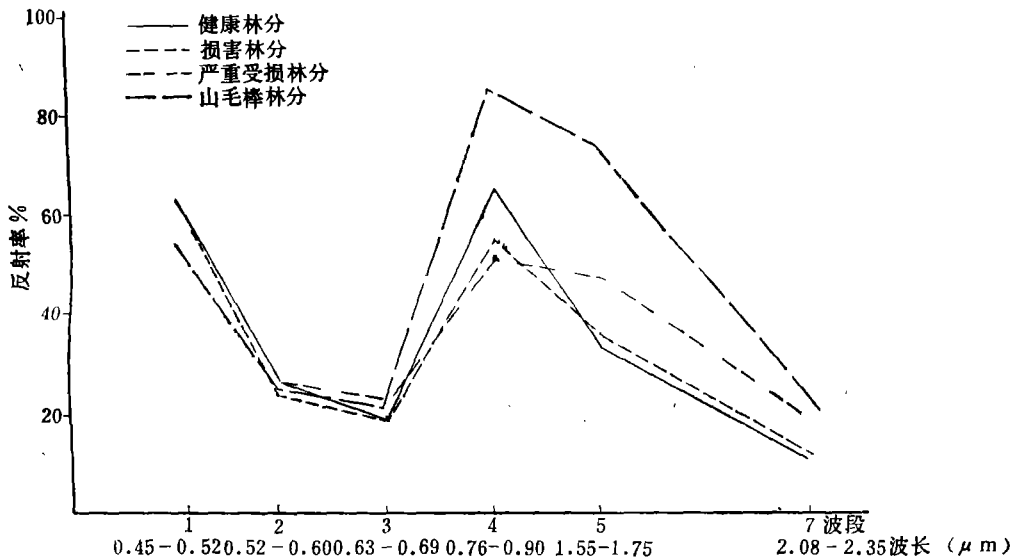


图 2 不同损害程度的云杉林分光谱反射图

Fig. 2 Spectral characteristics for various health status of spruce stands

表 1 不同植被在彩红外航空像片上的颜色反映

Table 1 Interpreted color feature to detect vegetation stress on aerial color infra-red film

植被反射光	航片上的颜色	植 被 类 型 (例)
绿	蓝色 蓝紫色 深紫色	健康的针叶树; 健康的针叶树, 针叶树
红	蓝偏绿 绿色	植被有病或疏叶 针叶树针叶死亡,不再反射红外和绿色光
黄	青色	植被受损害,树叶黄化或死亡
黑(无反射光)	黑色 灰色	没有树叶的死树 树叶部分死亡,没有在所有三层感光片上着色
近红外	红色	嫩草;春天和夏天健康的阔叶树
绿+近红外	亮红色 深红色 粉红色 棕偏紫	健康落叶树 健康针叶树和阔叶树,未感染黄化病的植被 受影响的植被 部分损害树叶的植被
红+近红外	黄色	受影响的植被,或是秋天的红叶
黄+近红外	白色	秋天的黄叶

光谱测量仪在 300 米高空量测了受到不同程度损害的云杉林在不同波段的光谱反射率^[2] (同山毛榉林分的反射率作对比)。结果如图 2 所示。

图 1、2 表明: 绿色植被在红外波段 (0.7—1.25 微米) 处有一个强反射峰。不同树种以及同一树种的不同损害等级在近红外和远红外波段内反射率差异较明显。如果使用彩红外胶片进行摄影, 不同植被经显影后会呈现有差异的影像标志, 易于识别。表 1 列出了不同植被在彩红外航空像片上呈现的不同颜色特征。

四、立木损害状况的航空像片判读

1. 林木损害等级

林木受大气污染、病虫害、自然灾害等因子综合影响, 会表现出不同程度的损害状况。反映林木损害状况的因子很多, 如树冠稀疏度、落叶率、叶绿素缺乏症、树叶大小或形状、一年生新芽长度、最老树叶的年龄和树干状态等。根据航空遥感调查的特点, 本次调查选用落叶率并结合叶绿素缺乏症两项因子来衡量林木损害程度。落叶率是指立木树冠因受损害而失落的叶量占树冠总叶量的百分比。考虑到森林经营的需要和航空像片判读的可能性, 损害程度分为五级^[3], 详见表 2 和表 3。

表 2 仅考虑落叶率的林木损害分级表

Table 2 Damage classes by the factor of tree defoliation percentage

损害等级	落叶百分率 (%)	健康程度
0	0—10	健康
1	11—25	轻微损害
2	26—60	中等损害
3	61—90	正在死亡
4	91—100	已死

表 3 落叶率和黄化率综合损害分级表

Table 3 Classification of damage trees by percentage of defoliation and yellowing

损害等级 落叶率	树 叶 黄 化 率		
	0—25%	26—60%	61—100%
0—10	0	1	2
11—25	1	2	2
26—60	2	3	3
61—90	3	3	3

2. 航空像片判读因子选择

航空像片判读是对林木影像特征进行综合分析的过程。利用大比例尺彩红外透明正片判读树种和损害程度, 主要选择形状、结构和颜色等因子进行分析。

(1) 形状: 指立木的立体影像几何形状,如圆锥形、圆柱形、伞形、球形、圆丘形、星形等。

(2) 影像结构: 指立木树冠的紧密程度、大树枝着生状态、及树冠细部可识别程度等。林木受损害后,因落叶量、树冠稀疏程度和部位不同,表现在航空像片上的影像结构则有很大差异。一般可分为粗结构和细微结构。

粗结构: 指树冠的紧密度、均匀度、有无空隙及空隙大小等。细结构: 指树枝形状、着生状态、是否整齐等。如茅状、刷状和鞭状。

(3) 颜色: 这是一个非常重要而复杂的因子,可细分为色调、饱和度、亮度和均匀性等。如表 1 所示,健康林木因反射强度大,在航空像片上呈鲜红色(阔叶树)和深红色(针叶树)。色调均匀、饱满而有光泽。当立木受损害后,其活性降低,逐渐死亡。在彩红外航空像片上,颜色差异较明显。

3. 树种的航空像片判读

调查区内树种单纯,根据上述判读因子在大比例尺(1:5000)彩红外航空像片上区分几种主要树种类型较容易,详见表 4。

表 4 在彩红外航空像片(1:5000)上判读调查区内主要树种的标志表
Table 4 Interpretation keys for the identification of major tree species
founded in research area on aerial CIR film at a scale 1:5000

编号	树种	影 像 特 征		
		色调	树冠形状	细部结构描述
1	山毛榉	鲜红色	刺猬状	树枝整齐,从冠中伸出似箭状或茅状
2	栎树	鲜红色	球形或山丘形	树冠簇生呈几个大球,球体内可见许多小圆球
3	椴树	红或鲜红	椭圆或山丘形	树枝簇生呈若干小球体
4	杨树	品红、粉红	椭圆或卵形	大枝明显,小枝不规则
5	落叶松	红或亮红	圆锥形或椭圆	树枝较清晰,影纹细腻,树梢较明显
6	冷杉	暗红黑红	圆锥形	树枝对称,梢尖而明显,枝极紧凑较细
7	云杉	暗红	圆锥或星形	树梢钝,大树枝明显
8	松树	酱红、红偏棕	星形,卵形或不规则	细部结构不明显,树冠边缘不清晰

4. 立木损害等级的航空像片判读标志

林木一旦受各种不利因素损害,会陆续出现树叶黄化(缺绿症)、掉叶、停止生长、以至

表 5 彩红外航空像片判读云杉损害程度标志表 (1:5000)
Table 5 Interpretation Keys to identify damage classes of spruce on aerial CIR film (scale 1:5000)

损害级	形态特征			颜色特征	
	类型	梳形云杉	刷形云杉	平台云杉	颜色分布
0	形状	尖圆锥状, 边缘呈星状锯齿形	尖或钝锥形, 四周缘波浪形或较平滑	平台云杉	均匀, 整齐
	粗结构	第一级大枝呈星状, 细部有光泽	第一级大枝楔形或隆起的圆形, 有时紧密而有规则	第一级大枝宽的隆起或呈松弛、裂片的层状	很鲜艳, 暗
1	细结构	第一级大枝无空隙均匀而平滑	第一级大枝无空隙; 不均匀; 平滑		红
	形状	尖圆锥形, 边缘呈星状锯齿形	尖至钝圆锥形; 周缘波浪形至平滑		较均匀
1	粗结构	大枝呈星形, 细部具放射状	大枝楔形至隆起, 紧密而有规则	大枝宽隆起至松弛的层状	很鲜艳, 较暗
	细结构	大枝几乎无空隙, 有时光滑	大枝几乎无空隙; 不均匀; 平滑		浅红
2	形状	尖圆锥形, 边缘呈星形	尖至钝锥形, 周缘波浪形至平滑, 或周缘有流苏状		1. 不均匀的细斑点 2. 不均匀的粗斑点
	粗结构	大枝呈星形和有清楚的细部亮光	大枝不规则或呈不清楚的有规律的星形	大枝层状窄的隆起; 新月形至无规律的团块状	略显灰 清晰地显灰白
2	细结构	2.1. 大枝粗糙; 大团块状带有少许小空隙 2.2. 大枝清楚粗糙; 小团块状带有众多小空隙			2.1 亮红至灰红 2.2 灰红、亮灰至灰绿
	形状	尖锥形, 周缘车轮状	周缘不尖, 尖至钝的圆锥状, 周缘有粗大的流苏		不均匀的粗斑点
3	粗结构	大枝呈星形和清晰的细亮光	大枝散乱排列; 或不可见排列; 能见零星死枝	大枝层状窄的新月形, 树枝扩散疏松	很少的隆起鲜艳小球(粗灰斑)暗部有小亮点
	细结构		大枝模糊小球形带有众多的大和小空隙		灰绿带有亮红的斑点
4	形状				均匀
	粗结构	1. 新死的树; 粗和细部结构同第 3 级 2. 死亡长时间的树; 各种云杉树不容易区别; 粗结构同第 3 级, 细结构缺少			鲜亮, 很亮
4	细结构				亮绿; 蓝绿或白色

于逐渐死亡等症状。在彩红外航空像片上能见到不同程度的树冠稀疏, 树枝裸露。影像颜色从鲜红→粉红→褐黄→灰白等变化。这样, 调查者完全可以借助于彩红外航空像片在室内对林木损害程度进行判读。

判读前, 对典型区域进行判读训练。训练区选择覆盖尽量多的树种和损害等级的地区。利用地面调查的详细结果与相应航空像片影像进行比较, 发现各树种不同损害等级的影像特征。从而建立各树种立木损害等级判读的典型判读标志。

表 5 是黑森林地区云杉树的损害等级航空像片判读影像特征表^[4]。因该地区有两种不同树冠形状的云杉, 一种树枝上针叶着生如梳状, 另一种针叶着生如刷状, 在航空像片上两种云杉的影像有差异, 所以分栏描述。

5. 航空像片样地判读

在判读仪下, 仅对有林地航空像片样地进行判读。在每个样地内, 判读坡形、坡向、郁闭度和混交类型。并在地形图上查取海拔高。然后以样地中心点为圆心, 选取离中心点最近的 20 株树组成样本单元。判读每株树的树种、年龄级和损害等级。记入相应的航空像片样地判读登记卡中。

五、调查结果与分析

按照设计的抽样方法, 总计布设 4213 个航空像片样地。其中有林地 3106 个。总计判测 62120 株树, 各树种所判读株数如表 6。

表 6 航空像片判读树种株数分布表

Table 6 Interpreted number of trees by species on aerial CIR film

树种	云杉	冷杉	欧洲黄杉	松树	落叶松	栎树	山毛榉	硬阔
株数	31642	13076	1295	4960	611	698	8512	1326
%	50.9	21.1	2.1	8.0	1.0	1.1	13.7	2.1

云、冷杉是黑森林的主要树种, 占林地面积的 70%。表中硬阔一栏是指除栎树和山毛榉以外的所有硬阔树。

对每株树损害程度的判读结果按树种、龄组、地貌等因子进行统计, 可看出黑森林地区林木损害状况有以下几个特点:

1. 各树种间的损害状况差异很大

如图 3 所示, 幼龄的针叶树和阔叶树, 因生命力旺盛, 抗病虫害和空气污染能力强, 所以受损害最轻。欧洲黄杉抗严寒, 风吹、雪压的能力强, 受损害立木的比例也较小。而冷杉和云杉树受损害较为严重。其原因一是云、冷杉树都是浅根系, 容易风倒, 特别是林缘和与新进行皆伐的林地相邻地块更为严重; 二是云、冷杉树枝较脆, 特别是冷杉树枝比云

杉细小,在冬季更易被雪压断而引起病虫害;三是空气中硫、氟等有害元素含量过高,易使云、冷杉染上叶绿素缺乏症,或使新萌发的嫩芽、新枝死亡。在邻近高速公路、厂矿的林分

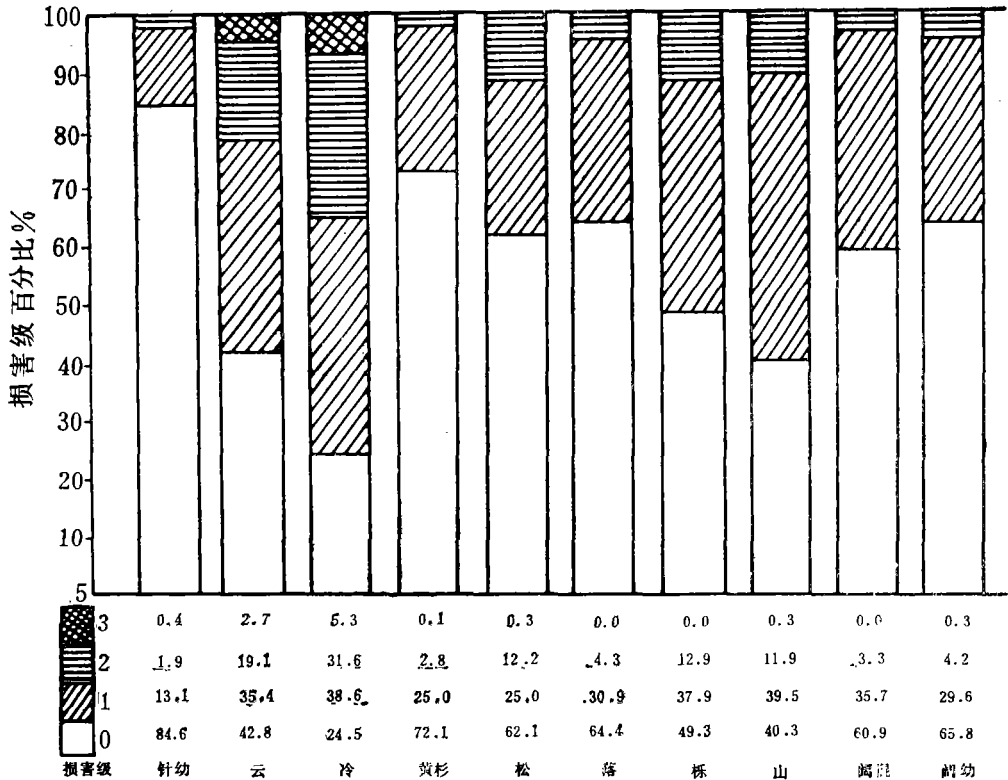


图 3 不同树种受损害程度图

Fig. 3 Distribution of stress degree by tree species

内受 2 级以上损害的云、冷杉林木可达 40%。另外,从不同树种组进行分析,针叶树比阔叶树受损害重。这是因为阔叶树抗空气、污染和风害、雪压的能力都比针叶树强的缘故。

2. 林木受损害程度与自身年龄相关

林木年龄越大,其受损害程度越重。表 7 统计了 6 种不同年龄组的用材林材种立木损害状况判读结果。成熟林的林木损害程度最重,2 级以上的损害木占 30% 多。主要因为林木的年龄越大,生长势越衰弱,对空气污染和病虫害的抵抗力减弱。很多树龄 100 年以上的云、冷杉都寄生有真菌和树干甲虫,危害树皮和韧皮部,使树枝死亡,针叶疏落。另外,大径材是在茂密的中幼龄林分里通过不断疏伐而培育的。每次疏伐都会对保留木的生长有影响。例如碰伤或支撑力减弱等。一旦经营措施不当,保留木恢复生长缓慢,容易损伤和风倒。

表 7 不同龄组林木损害程度分布表

Table 7 Distribution of stress degree by age classes

百分 比 损害级	龄组 幼林 人工林	幼壮林	杆材林	枕木林	粗径材	成熟林
0	84.2	79.3	61.4	45.0	31.5	20.9
1	14.2	18.2	31.6	40.4	41.7	37.5
2	1.0	2.0	6.6	13.8	24.3	34.6
3	0.6	0.5	0.4	0.8	2.5	7.0

3. 林木受损害程度与生长的海拔高度相关

随着海拔高度增加,林木受损害比例会越来越大;损害程度越来越重。如果林木生长的海拔高度超过 1100 米,则受损害 2 级以上的林木比率超过 30%。因为在高山区风大雪厚,更易使林木断梢疏叶、风倒死亡。黑森林的中山地带(800—1100 米)的林木损害主要发生于山脉西部。这是因为受大西洋和地中海季风的影响,以及西部几个主要工业城市排放的废气随风飘到中部山区,由于二氧化硫、氧化氟等有害气体浓度高,使大片云、冷杉患叶绿素缺乏症。新萌发的树梢和嫩枝枯黄,针叶疏落。

另外,林木受损害程度与林分郁闭度关系不明显。

六、航空像片判读精度

根据巴登—符腾堡州的森林资源调查法规,使用航空像片进行森林判测调查时,应抽取不少于调查总体 3% 的样本在地面进行实测检查。因此,在调查区内 3206 个有林地航空像片样地中随机抽取 110 个样地组成检验样本。在地面对样地中 2200 株树定位并核实判读结果。

结果表明:航空像片判读立木损害等级的总正确率为 83.5%。如果分别树种统计,云杉树判对率为 90.6%,松树 96%,山毛榉 80.2%。但冷杉、落叶松和栎树的判对率较低,分别为 76.5%、71.3% 和 64%,错判主要在区别第一级和第二级损害度。这种错判占整个错判株数的 85%。因为这两个等级在航空像片上所反映的特征差异很小,容易混淆。所以对这三种树,有必要对损害等级的划分作适当调整;或者对判读标志作补充修正。但从总体精度来说,利用彩红外航空像片对森林立木损害程度调查的精度完全可以满足森林经营和规划的需要。

七、结 语

利用大比例尺的彩红外航空像片对森林损害状况进行大面积调查,在德国也是第一次。通过调查,查清了黑森林地区不同树种的不同损害状况,健康木、损害木、濒死或死亡

林木的比例。最后计算了每个航空像片样地的林木损害程度,分严重损害、轻度损害和健康三个类型沿航带标示在 1:2500 的黑森林地区林相图上。这些为合理的森林经营和规划迅速提供了必不可少的资料。

在调查中,建立了一套较完善的彩红外航空像片判读树种和不同树种不同损害等级的判读标志。这有利于该项技术在生产中推广应用。如果结合周期为 10 年的森林经营规划调查,则可以对森林立木的健康状况进行动态监测。

另外,调查结果还指出了林木受损害严重的大概地带。如结合典型调查和林分调查,可区划出受损害范围。分析受损原因快速提出合理的治理方法。

总之,森林健康状况调查是森林集约经营的一项必不可少的工作。利用彩红外航空像片进行调查具有快速、经济和较准确的特性,它必将在今后的林业生产中得到广泛的应用。

参 考 文 献

- [1] G. Hildebrandt, O. Grundmann, Entwicklung Und Durchführung einer Pilotinventur für eine permanente Europäische waldschadens-inventur; Projekt Europäisches Forschungszentrum für Massnahmen Zur Luitrein·haltung (PEF), 1986.
- [2] A. Kadro, Use of Landsat-TM Data for Forest Damage Inventory, Proceeding of a Wookshop on Earthnet Pilot Project on Landsat TM Application; Frasccoti Italy, 1987.
- [3] Diagnosis and classification of new types of damage affecting forests; special edition commission of the European Communities DG VI, F3 Forests and Silviculture, 1984.
- [4] Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten (AHL), Auswertung Von Color-Infrarot-Luftbildern, März, 1988.

The Inventory Method and Result Analysis of Forest Hazard Inventory by Using Color Infrared Aerial Photos

Tang Xiaoping

(Academy of Forest Inventory & Planning, Ministry of Forestry)

Abstract

This article introduce procedures and methods of using large scale (1:5,000) color infrared transparency to inventory the damaged forests by an example in West Germany; summarize the interpretation keys of identifying tree species and injury status of forest trees on color infrared aerial photos; analyze the stress degree to forest health conditions by factors such as species, ages and elevation. Finally, precision of the inventory are listed. Results have already demonstrated that methods of applying color infrared photos to assess the injury degree to forest trees caused by air pollution, disease and insects, natural disaster can rapidly provide information with higher precision which is needed during the planning process of making sound forest management plans.

Key words color infrared aerial photo spectral reflectance forest hazard inventory interpretation key