

文章编号: 1007-4619 (2004) 02-0172-06

松毛虫灾害的 TM 影像监测技术

武红敢¹, 石进²

(1. 中国林科院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 安徽省森林病虫害防治总站, 合肥 230031)

摘要: 中国森林病虫害日趋严重, 每年都造成巨大损失, 其主要原因之一就是不能实现森林病虫害的及时准确监测与中长期预测预报, 以便把灾害控制在萌芽状态, 虽然目前科学技术和研究水平还不能准确预测森林病虫害的发生发展, 但可以及时监测早期灾害点, 尽力把损失降到最低限度。该文主要介绍了利用陆地卫星 TM 数据开展早期灾害点(或虫源地)监测的方法和利用航天遥感数据对“虫源地”实施的有效监测, 为航天遥感技术用于重大森林病虫害的宏观监测和预警提供了实例。

关键词: 松毛虫灾害; 遥感; 监测

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

森林病虫害是中国森林的主要灾害之一。不仅具有水灾、火灾那样严重的危害性和毁灭性, 还具有生物灾害的特殊性和治理上的长期性、艰巨性。森林病虫害防治是国家减灾工程的重要组成部分。大力开展森林病虫害防治, 对于巩固造林绿化成果, 保护森林资源, 促进生态环境建设和社会可持续发展具有十分重要的意义。

近年来, 中国森林病虫害大面积发生, 危害极为严重, 每年发生面积 $800 \times 10^4 \text{hm}^2$ 左右, 损失木材生长量 $1700 \times 10^4 \text{m}^3$, 造成经济损失 50 亿元以上。主要表现为: 一是危险性森林病虫害扩散蔓延迅速, 对森林资源和自然景观构成巨大威胁; 二是常发性森林病虫害面积居高不下, 总体呈上升趋势; 三是偶发性森林病虫害大面积暴发, 损失严重^[1]。

中国森林病虫害共有 8000 多种, 经常造成危害的有 200 多种, 其中位居“十大”危害较严重病虫害之首的是松毛虫。中国松毛虫有 28 种, 但其中危害严重的有马尾松毛虫、油松毛虫、赤松毛虫、云南松毛虫、落叶松毛虫。松毛虫在中国分布范围较为广泛, 北起黑龙江, 南到海南岛, 西起新疆、西藏, 东达

沿海和舟山、台湾。因此, 松毛虫的有效治理对全国的森林灾害控制举足轻重^[2]。

美国 1999 年就制定了全国的森林健康监测计划, 建立了以遥感技术为主体的森林病虫害监测体系。欧洲、日本、北美等许多国家都在广泛开展和应用航天遥感技术进行森林质量及其变化的宏观监测^[3]; 中国自“七五”末期开始, 也进行了松毛虫灾害的遥感监测研究, 从目前的研究和生产应用来看, 通过多时相数据的变化分析, 来获得森林质量变化信息的方法较为实用和简便, 还能剔除许多干扰信息, 提高监测精度。

1.1 松毛虫灾害的特点

松毛虫为食叶害虫, 自幼虫孵化后即可啃食针叶, 使松针形成许多缺刻而枯黄, 但不能咬断或食尽一根松针, 2 龄幼虫末期开始嚼食整个针叶, 不过食量很少。5—6 龄时食叶骤增, 末龄幼虫取食量最大, 达 70% 以上^[2]。换句话说, 危害最为严重的时期为 5 龄后的一段时间, 这就成为遥感的“生物窗口”。

1.1.1 直观性与世代性

松毛虫虫口密度较高、发生数量多时, 一片青山在数日之内, 即可被蚕食精光, 远望枯黄、焦黑, 如同

收稿日期: 2002-11-06; 修订日期: 2003-11-26

基金项目: 国家“863”项目《重大病虫害遥感监测与预警技术研究(2001AA245032)》和国家“十五”攻关项目《基于航天航空遥感的灾害监测技术研究(2001BA509B0904)》资助。

作者简介: 武红敢(1963—), 女, 研究员, 1983 年毕业于武汉测绘科技大学, 1989 年获中国科学院地理研究所地图学与遥感专业硕士学位。现在中国林业科学研究院资源信息研究所工作, 主要从事“3S”技术在林业上的应用研究, 已发表论文 30 余篇。

火烧过一样,常被喻为“不冒烟的火灾”。被害的松林,轻的影响生长,重的造成枯死,给生态环境造成巨大破坏。因此,危害后景观变化明显,很容易识别。为遥感的准实时监测提供了可能。

由于受气候因素如光照、湿度、松树种类及生长情况、受害程度等因素的影响,松毛虫具有不同世代的特点。一般来说,松毛虫都要经过卵、幼虫、蛹、成虫四个时期。每一世代所需天数因种类和地区而异,而且同种不同世代,由于每年季节的气候变化差异,各代所需的天数显著不同。就马尾松毛虫而言,完成1世代最短50余天,最长310余天。东北落叶松毛虫2年完成一代,实际要跨3个年度,完成1世代所需的时期就更长了。

因此,松毛虫灾害的遥感监测有很大的差异性,需掌握不断变化的世代规律,确保在较为理想的时间段内,开展遥感监测。

1.1.2 管理的宏观性与灾害的累积性

从中国病虫害的控制要求来讲,对松毛虫灾害采取宏观管理。因为它作为一个生物种群,不可能消灭更不应该灭绝,因此管理尺度较大,灾害一般需要同时满足两个条件,即针叶损失>50%和受灾面积>50亩。

在特定的气候条件下,病虫害有多世代连续暴发的现象。换句话说,森林经常会遭到连续两次以上的破坏,构成了累积的灾害损失。这就给分世代灾害的遥感监测带来了巨大困难。

1.2 卫星遥感技术在松毛虫灾害控制中的技术特点

1.2.1 宏观性、客观性、综合性和周期性

作为一种高效的对地观测技术,遥感是对地面一定范围实施全面的观测,不受地形等条件的影响,尤其对于山高坡陡,人迹罕至的地区,其意义更大。其次,遥感数据所反映的是地表的综合辐射信息,即除树冠的信息外,还包含林下灌木、地表杂草、土壤等的光谱贡献。对于研究森林灾害来讲,树冠外的信息均为干扰因子,这就为提高遥感监测精度带来巨大挑战。还有遥感信息不受人为干扰,获取的是地表的客观现实状况信息,并能按既定的重访周期对地表实施周期性观测,即周期性地获得地表辐射信息。

1.2.2 快捷、廉价性

由于遥感数据极便于计算机处理,只要方法选用得当,很快即可得出大范围的分析结果。随着遥感技术的不断发展,应用愈来愈广泛深入,数据价格

也越来越低,其用于生产的成本远远低于地面调查,因此在森林病虫害的管理中有着巨大的应用前景。

1.2.3 时间分辨率较低

目前,中等分辨率的资源卫星的重访周期为16—26天;而松毛虫危害的暴食期通常也只有半个月,所以很难获得最佳时相的数据。

1.2.4 区域性

对于资源监测常用的光学遥感卫星来说,不具备全天时、全天候的能力,在中国南方的广大马尾松林区,一年获得一景理想数据都不能保证,更不用说获得与4代左右发生准同步的多时相数据了,这是马尾松毛虫灾害遥感监测的致命障碍。

2 试验方法

2.1 试验区概况

我们选择地处大别山南坡的安徽省潜山县为研究试验区,该县属亚热带湿润季风气候区,全县土地总面积1718.72km²,其中林业用地875km²,占51.57%,松树为586km²,占有林地的67%,所以松毛虫是最为严重的森林病虫害,该县松毛虫一年发生两代,即第一代和第二代,少数分化三代,第二代幼虫越冬。

1996年,松毛虫大面积发生,不得不采用飞机防治,由于采用化学防治方法,因此给环境也会带来巨大危害。

2.2 遥感数据的预处理

从中国科学院遥感卫星地面站获取了美国陆地卫星-5的TM数据,考虑到尽量减少因物候等因素的差异带来的影响,我们分别选取了1993年11月15日,1995年12月7日,1996年10月22日的影像数据。

2.2.1 数据校正和配准

首先对三年的数据进行严格的几何精校正和配准,为了确保配准精度在一个像元之内,我们采用最新出版的1:10000地形图来选取地面控制点,当然差分GPS也可获得理想的效果。

2.2.2 数据的归一化

为了便于比较与分析,我们对三年的TM数据用(1)式进行了辐射水准的归一化处理,即以1993年数据为准,把1995和1996年的数据全部校准在1993年的辐射水平上。

$$Ndn_i(t) = f(dn_i) \quad (1)$$

其中: $i = 1-7$, 为波段号。 t 为年份, 分别为 1995、1996。 dn 、 Ndn 分别表示归一化前后的 DN 值。 f 为归一化函数。

2.3 典型区数据的分析

为了深入了解提取 TM 数据灾害信息的方法, 根据对三年影像的目视分析, 在林分质量明显发生变化的区域, 我们选择了 700 公顷的样地数据, 用于变化信息的提取分析。图 1 显示了三年 TM 数据的 DN 值, 可以看出逐年下降的趋势(TM6 除外), 图 2 的标准差为逐年上升, 说明 TM 数据中含有丰富的森林变化信息; 图 3 是对目前几种常用指数(1-TM5/TM4, 2-TM4/TM3, 3-TM7/TM4, 4-TM(4-3)/TM(4+3))的分析, 可以清楚地得出指数 1 的差异最大, 相对而言是提取这些变化信息的最佳指数, 图 4 是这些指数的标准差分析, 仍然是指数 1 表现出较大的变异, 同时也更加表明 TM 数据对森林质量的宏观变化有着较高的灵敏度。

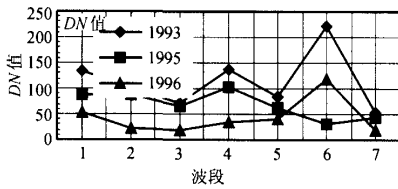


图 1 TM 七波段 DN 值分布图
Fig.1 DN distribution of TM 7 band

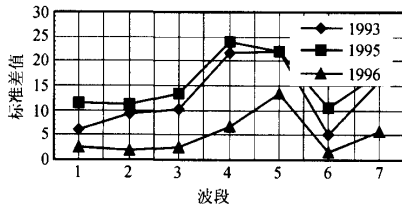


图 2 TM 七波段的标准差
Fig.2 Standard error of TM 7 band

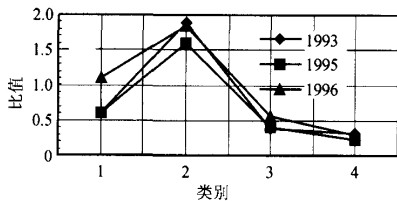


图 3 四种比值图比较
Fig.3 Comparison of four ratio graphs

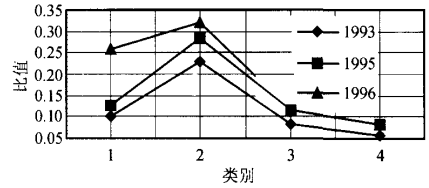


图 4 四种比值的标准差
Fig.4 Standard errors of four ratios

2.4 森林变化信息的提取与分类

大量的研究分析表明, 近红外、中红外波段对植物的水分含量变化和叶绿素含量变化反映敏感, 它们是森林变化信息的主要蕴涵波段, 为此建立了森林质量变化的遥感监测模型, 以便定量分析森林的变化状况, 本文以 1993 作为基准或标准年份。

$$D_i(t) = f(\Delta B4, \Delta B5) \quad (2)$$

其中: D_i 是森林质量等级 ($D_i = 1-3$, 分别代表严重、中等、健康三种情况)。 $\Delta B4, \Delta B5$ 为相对于基准年份 4 波段、5 波段的变化值。 t 为年份, 分别为 1995、1996。

由于多时相的数据很难做到完全的配准, 一般会有半个像元以上的误差, 因而又会产生许多伪变化信息, 需要采用滤波的方法来减少这种误差。

一般来说, 需要根据研究对象和目标选择合适的滤波方法。本文选择 5×5 的模板进行了滤波处理。

图 5 显示了局部地区三年的合成影像, 绿色为健康森林植被, 紫色为裸土地, 红或橙色为程度不同的变化区域。从图幅中心的区域对比来看, 1993 年时植被良好, 但到 1995 年时, 这个小区域已经发生严重变化(红褐色), 1996 年时更大范围的森林出现变化, 但该小区域的林分倒有所恢复。经当地老乡证实, 1995 年时为松毛虫危害, 形成虫源地, 因没及时调查和防治, 造成来年的大暴发。

图 6 展示了该地区运用遥感监测模型计算出的基于像元的分类结果。1995 年的虫源地(图(a)成片红色)清晰准确, 1996 年大面积扩散。

2.5 伪信息剔除与矢量化

虽然通过多时相数据的分析, 可以消除部分干扰信息, 但由于农事历等的差异, 仍然会有一些伪信息, 因此, 我们采用最新的数字森林分布图, 把非森林区域的变化裁切掉, 以提高运算效率。

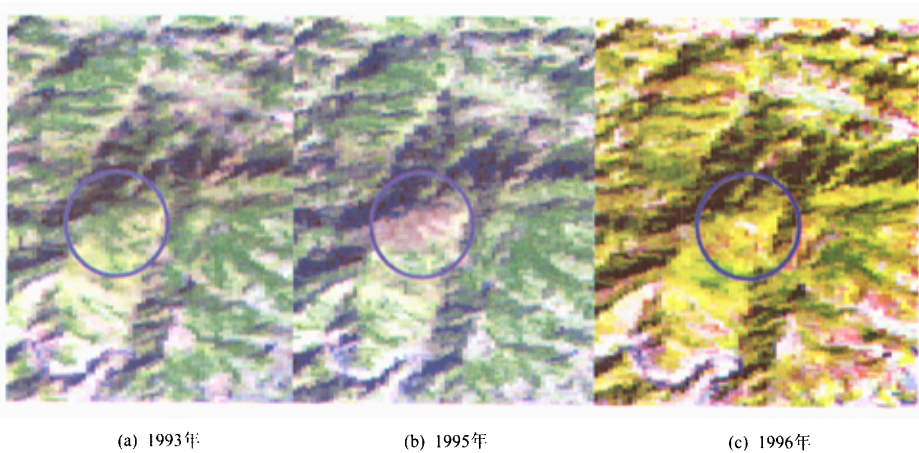


图 5 三个时相的遥感影像合成图
Fig.5 Synthetic map of imagery from 3 temporal phases

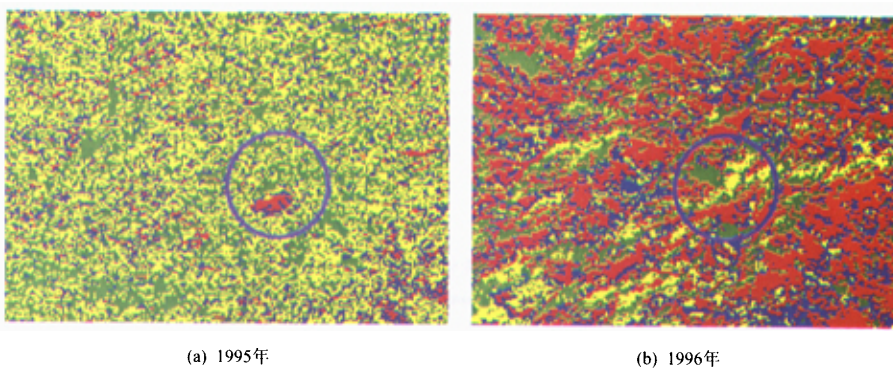


图 6 森林变化遥感监测分类图(基准数据为 1993 年)
Fig.6 Remote sensing classified map of forest change with 1993 as reference

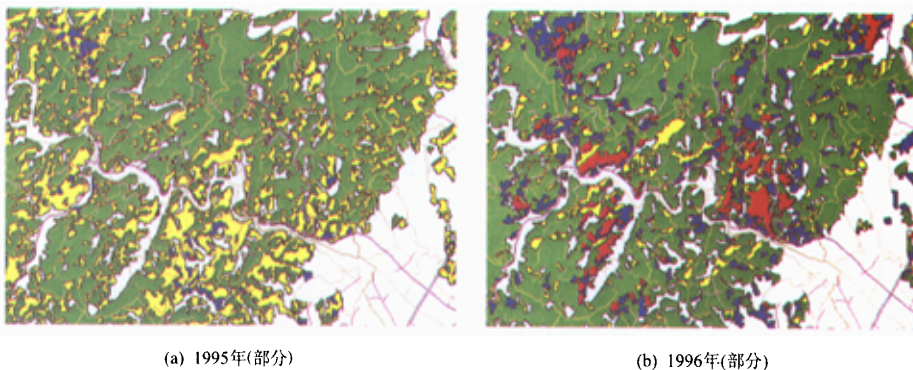


图 7 遥感监测结果
Fig.7 Result of remote sensing monitoring

为了研究的方便,需把栅格数据转化为矢量数据,并根据实际生产管理的需要,剔除微小多边形。本项目按照生产单位要求,仅提取大于 3 公顷的变化区域,并制图见图 7(局部)。

3 监测结果与地面验证

结合生产要求,我们把松林质量的变化(主要从鲜叶生物量的增减来衡量)划分为三类,即正常(鲜叶生物量增加或减少不超过 40%)、中等(鲜叶生物量损失在 50%左右)、严重(鲜叶生物量损失大于 70%)。具体监测结果如表 1,相对于基准的 1993 年而言,1995 年时已有部分森林发生了程度不同的质量变化,其主体仍处于良好状态;而 1996 年时已发展到近一半的森林发生质量变化,仅有约半数的森林仍处于良好状态。在我国实施分类经营和保护森林资源的大背景下,这种变化绝对是非正常现象或非正常变化。

表 1 监测结果
Table 1 Monitoring results

年份	程度	正常	中等	严重
1995	图斑数/个	2218	456	21
	百分比/%	82.3	16.9	0.8
1996	图斑数/个	1921	1174	470
	百分比/%	53.9	32.9	13.2

表 3 变化原因核查

Table 3 Validation of factors for change

	程度	病虫害危害	新造林地	农地	砖瓦厂	火烧迹地	云	合计
1995	中	97	29	13				139
	重	7	13				1	21
1996	中	172	7			1		180
	重	110	8		2			120

由此说明,森林变化的主体是由病虫害危害所致,基本反映了松毛虫灾害的整体情况。其监测结果得到了生产单位的一致首肯,并希望尽快应用于生产。

4 结论与讨论

4.1 卫星遥感技术可以用于早期灾害点的监测

目前,我国松毛虫虫情、灾情监测主要依靠线路踏查、标准地调查、灯诱和性诱等手段,来掌握松毛虫的发生情况,提供抽样信息,并长期积累第一手资料,分析不同立地条件下的松毛虫发生规律。因此通过早期灾害点的准实时航天遥感监测将会对踏查

为此,对这些变化进行了地面调查,核查比率见表 2。

表 2 核查范围
Table 2 Validation area

年份	程度	中等	严重
1995	图斑数/个	139	21
	比率/%	30.48	100
1996	图斑数/个	180	120
	比率/%	15.33	25.53

地面调查结果见表 3。在 1995 年严重变化的 21 个图斑中,7 个是由松毛虫危害引起的。绝大多数的中等变化也是由松毛虫危害导致;在 1996 年严重变化的 120 个图斑中,110 个是病虫害。绝大多数的中等变化同样也由松毛虫危害造成。由此可以判定,1995 年时,虫口密度已经开始上升,并形成了若干虫源地,造成危害,但由于地处偏僻的山区,没有及时发现并采取相应防治措施,导致第二年(1996)松毛虫暴发,造成大面积灾害,不得不航空喷洒化学农药,不仅投入了大量人力、物力和财力,而且还给生物种群平衡和环境带来重大影响。

线路的制定、标准地的设定等地面调查和科学管理提供准确科学依据。

4.2 遥感应成为森林病虫害预警的技术手段之一

遥感在监测森林病虫害方面有着其独到的优势,衰弱立木或早期灾害点(或虫源地)的探测可以为森林病虫害的预警服务,因为这些将是病虫害发生和蔓延的前兆。松毛虫作为常发性生物灾害,自身有一定的发生发展规律,如果能够利用遥感手段定期开展监测(如一年一次),我们便能及时发现虫源地和虫情上升的迹象,尽快采取防治措施,制止其蔓延,最大限度地降低灾害。

4.3 应开展灾害与虫情关系的研究

遥感技术虽然很难直接对松毛虫的虫情做出有效监测,但虫害与虫情必然有着密切的关系。在GIS的支持下,根据立地环境、食料供给等因子,可以建立起虫情遥感反演模型,为进一步开展预测预报提供科学依据。

4.4 深入开展相关应用基础研究

众多的应用和研究已经表明,遥感可以广泛应用于资源的宏观监测,而且应用多时相数据开展变化监测是最为成熟的方法。ERDAS等专用图像处理系统已经构建了变化检测模块,使生产应用更为便利,但辐射水准归一化、植被的生长等诸多问题尚

需进一步研究和探讨,作者认为它们是构建森林病虫害遥感监测实用系统的关键技术难题。

致 谢 本工作得到安徽省潜山县林业局的全力支持,借此对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢!

参 考 文 献 (References)

- [1] State F A. Prevention and Cure of Forest Insects and Diseases [国家林业局,森林病虫害防治知识问答[M]. 中国林业出版社,1999]
- [2] Chen C J. Integrated management of pine Caterpillars in China, [陈昌洁,松毛虫综合管理[M]. 中国林业出版社,1990]
- [3] William M C. Remote sensing in forest health protection[M]. USA, 2000.

Monitoring Technique of Pine Caterpillars with TM Image

WU Hong-gan¹, SHI Jin²

(1. Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. General Center for Forest Pest Control of Anhui Province, Hefei 230031, China)

Abstract: The hazard of forest insects and diseases has been worsening in our country and cause great damage each year. A principal factor is that early and mid-term forecasting of could not be done accurately to controll the hazards at the initial stage. Although it's still far away from predicting accurately the occurrance and development process of forest insects and disease, it's possible to detect the early hazard spots through the techniques of remote sensing so that the damage can be reduced greatly. A methodology to monitor early spots of forest insects and disease with TM data is discussed in this paper, and it has been proved very efficient. Satellite remote sensing has provided a good instance for macroscopic monitoring and warning of severe forest insects and disease in our country.

Key words: pine caterpillar; remote sensing; monitoring