

卜静, 蔡子良. 遥感技术在火灾后林业经济损失评估中的应用[J]. 灾害学, 2021, 36(3): 47-50, 56. [BU Jing and CAI Ziliang. Application of Remote Sensing Technology in Forest Economic Loss Assessment after Fire[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(3): 47-50, 56. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.03.009.]

遥感技术在火灾后林业经济损失评估中的应用^{*}

卜 静^{1,2}, 蔡子良^{1,2}

(1. 国家林业和草原局西北调查规划设计院, 陕西 西安 710048;
2. 旱区生态水文与灾害防治国家林业局重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘 要: 为提高火灾后林业经济损失的评估准确性, 应用遥感技术优化设计火灾后林业经济损失评估方法。利用遥感和卫星设备收集实时林业区域的遥感数据, 并从校正和辐射定标两个方面实现对初始遥感数据的预处理。在遥感数据中提取有效的植被信息, 从而计算火灾的受灾面积和受害程度。建立火灾后林业经济损失的评估指标, 从直接经济损失和间接经济损失两个方面, 得出最终的综合评估结果。

关键词: 遥感技术; 森林火灾; 林业经济损失; 损失评估

中图分类号: S762; X43; X915.5; X945 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2021)03-0047-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.03.009

森林火灾是一种具有突发性强, 破坏性大, 扑救难度大等特征的自然灾害。与地震、台风等自然灾害相比, 森林火灾的产生原因分为自然和人为两种情况。受到干旱、高温以及大风等不利气候因素的影响, 为森林火灾的发生创造了充足的条件, 另外人类的用火行为也是引发森林火灾的直接原因之一^[1]。近几年来, 全球森林火灾频繁发生, 造成了重大的人员伤亡和财产损失, 已经成为了国际社会高度关注的热点问题。

林火不仅破坏了森林动物的生存环境, 降低了森林生物多样性, 而且给林业带来了较大的经济损失。森林经济损失是指景观资源、林内动植物资源、微生物资源、森林火灾对森林资源等造成的经济价值和财产损失。林业在社会经济发展中发挥着重要作用, 而中国是一个森林资源稀少、森林火灾频发的国家^[2]。通过对森林火灾经济损失进行科学的评估, 有助于加强经济技术措施, 有效地控制森林火灾, 尽量减少森林火灾的发生以及可能造成的巨大损失。

为进一步提高林业火灾经济损失评估结果的可信性, 将遥感技术应用于林业火灾经济损失评估中, 并在此基础上观察其应用效果。遥测技术是利用电磁波的原理, 采集和处理远距离目标辐射和反射的电磁波信息, 最终以图像数据的形式输出, 从而探测和识别地面上的各种景物。利用遥感技术可以更全面地收集火灾后的林业信息, 避免人员进入灾害环境, 最大限度地保障工作人

员的生命安全。

1 火灾后林业经济损失的遥感评估方法设计

森林火灾不仅会直接烧毁森林中的植被, 影响林木生长和更新, 破坏森林结构, 还会烧毁林区的各种器械设施, 造成人们的经济甚至生命财产的损失^[3]。森林火灾对林业可持续发展构成了巨大的威胁和影响。应用遥感技术为火灾后林业经济损失评估方法的设计提供初步数据支持, 并分别对不同影响进行具体分析, 以保证评估结果的精准度。

1.1 林业遥感影像数据获取与预处理

利用高分辨率对地观测卫星高分系列遥感卫星采集林业遥感影像数据, 能够为林业灾害的监测提供可靠的遥感数据。在表1中显示了遥感卫星对森林火灾通道特征的采集。

对于采集到的原始遥感图像进行预处理, 预处理过程大致可分为两部分, 一部分是校正部分, 另一部分是定标部分。成像数据校正过程中, 通过大气校正处理能够尽量消除太阳光照以及其他环境因素对森林反射结果所产生的影响, 从而保证获取遥感数据的真实性和准确性^[4]。校正过程使用了辐射传输模型的代码, 辐射传输模型可以表示为:

* 收稿日期: 2020-12-15

修回日期: 2021-02-24

基金项目: 青海省森林资源规划设计调查项目(QHLY20170108)

第一作者简介: 卜静(1986-), 女, 汉族, 内蒙古鄂尔多斯人, 硕士, 工程师, 主要从事林业规划设计、自然保护区规划、林业信息技术等研究。E-mail: pkca1008@163.com

表 1 遥感卫星采集林业过载的通道特性

通道号	波长范围/ μm	分辨率/ km	特性用途
1	0.62 ~ 0.67	0.25	云和陆地识别
2	0.84 ~ 0.88	0.25	云和陆地识别
3	0.46 ~ 0.48	0.5	云和陆地识别
4	0.55 ~ 0.57	0.5	云和陆地识别
5	1.23 ~ 1.35	0.5	地表/云温度
6	1.63 ~ 1.65	0.5	地表/云温度
7	2.10 ~ 2.16	0.5	地表/云温度
20	3.66 ~ 3.84	1	大气温度
21	3.93 ~ 3.99	1	大气温度
23	4.02 ~ 4.08	1	地表/云温度
24	4.43 ~ 4.50	1	地表/云温度

$$L(\mu_v) = L_0(\mu_v) + \frac{\rho_i}{1 - \rho_i W} F_d T(\mu_v)。(1)$$

式中： $L(\mu_v)$ 和 $L_0(\mu_v)$ 分别为遥感器接收到的辐射亮度和路径的程辐射， ρ_i 表示目标也就是森林的反射率， F_d 为太阳下行总辐射，而 W 和 $T(\mu_v)$ 分别对应的是大气的半球反射率以及遥感器和目标之间的透过率^[5]。从而确定了遥感图像大气校正可分为三个步骤，首先从图像中提取大气参数，然后根据大气参数求解对应的辐射传输函数表达式，得到具体的反射率数据；最后，对遥感图像进行光谱平滑操作，消除校正过程中引入的噪声因素^[6]。遥感影像数据的辐射定标过程可以表示为：

$$\sigma^2 = 10 \times \lg(I^2 + Q^2) + CF - 32.0。(2)$$

所得结果为遥感影像幅值变换的后向散射系数， I 和 Q 分别对应单视复数的实部和虚部， CF 对应定值因子。

为了保证收集的林业遥感影像信息的完整性，对所有的遥感数据进行融合处理^[7]。采用全色波段作为尺度因子进行比例调制的融合处理，具体过程可以表示为：

$$\hat{B}(i)_L = \frac{B(i)_L \times Pan_H}{Pan_{mean}}。(3)$$

式中： $B(i)_L$ 为融合处理前遥感影像的多光谱第 i 波段， Pan_H 和 Pan_{mean} 分别为高分辨率全色影像和窗口为 $n \times n$ 的均值滤波数据。

1.2 分层提取林业植被信息

根据所获得的遥感影像数据，通过分析遥感影像数据的光谱和纹理特征，提取森林植被信息，得到以植被指数为计量单位的量化提取结果^[8]。通过结合不同波段的遥感信息，对研究区内地物

植被覆盖状况作出有效的响应。在这些指标中，归一化植被指数是近红外光谱和红光光谱的差值和反射量的总和，可以检测出植被的生长状况和覆盖程度，其表达式为：

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}。(4)$$

式中： NIR 和 R 分别表示红外波段和红光波段^[9]。同理可以采用均值、方差、对比度、相关性等纹理特征量，反映出遥感图像的纹理特征提取结果。

1.3 计算林业火灾面积

利用遥感图像的特征提取结果，对森林火险进行了分区。用几何图形法勾画遥感影像中火场边缘，具体的计算过程可以表示为：

$$S = \sum_{i=1}^n S_i。(5)$$

式(5)表示的是将遥感图像中的火场区域分成若干三角形或梯形等几何图形，然后逐个计算其面积，再进行累加，其中参数 S_i 即为每一个小区域的面积。

1.4 确定森林火灾等级

根据森林火灾的遥感影像，森林火灾受害程度可分为未受灾、轻度受灾、中度受灾和重度受灾四种类型^[10]。用数理统计的方法，选取火烧迹地内各层的多个样本点，计算植被指数，并将火灾面积考虑在内，确定火灾程度的具体划分标准(表2)。将获取的林业火灾后遥感影像的信息提取结果与表2中的数据进行比对，便可以确定该林业区域的火灾受灾程度。

1.5 建立林业经济损失评估指标体系

根据《中华人民共和国林业行业标准》制定的“森林火灾经济损失额计算方法”，林业经济损失包括森林资源的直接经济损失和间接经济损失两个部分^[11]。在独立性和整体性原则的约束下，结合林业经济损失评估的内容，建立了林业经济损失评估指标体系(表3)。

1.6 实现林业经济损失评估

1.6.1 直接经济损失

火灾造成的直接经济损失是指在火灾过程中烧毁、毁坏的森林资源和建筑物，主要表现为货币形式或者其他方式^[12]。其中，林木资源的流失与林龄和森林树种的烧毁程度有关。林火引起的森林树种损失，应按林分树种的差异计算，公式如下：

$$V_i = \sum_{i=1}^n A_i \times B_i。(6)$$

表 2 林业火灾受灾程度评判标准

受害程度分级	植被指数				受灾面积/ hm^2
	最小值	最大值	平均值	标准值	
未受灾	-0.127 8	0.060 2	-0.034 1	0.048 8	906.57
轻度受灾	0.179 6	0.384 4	0.266 1	0.062 3	4 213.10
中度受灾	0.397 5	0.724 3	0.568 1	0.077 1	4 685.09
重度受灾	0.769 6	0.949 4	0.880 7	0.040 2	1 031.03

表3 林业经济损失评估指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
直接经济损失	森林资产损失	林木资源、非木质林产品
	林区物质财产损失	森林火灾损失, 森林道路、生产设施、房屋建筑、防灾设施、通信设施、机械设备
间接经济损失	人员伤亡损失	工伤人员死亡, 伤残人员伤残保险, 抚恤金, 工伤医疗费, 丧葬费, 工伤康复费, 工伤保险
	防灾救灾费用	所用设备、机具、器材; 所用应急食品、被褥、材料、燃料等; 救援者的伙食、工资、补助; 交通费用; 灾害救援组织管理费用
	停产、停工、停业损失	旅游业损失、木材生产加工工业损失、林产品经销行业损失等
	善后处理费用	灾害后迹地清理费, 灾害后造林或再造林费, 新员工培训费

式中: A 、 B 为蓄积损失值和林木价值, i 为不同树种的价值, 计算结果 V 为林木资源损失量。经济林的火灾经济损失可通过灾前、灾后经济价值之差计算出来, 灾前经济林价值的计算公式可以表示为:

$$V_q = J \times \sum_{i=1}^n A_i (1 + P)^{n-i+1} \quad (7)$$

式中: 参数 J 表示的是经济林质量的调整系数, A_i 为当前经济林的生产成本, 而 P 和 n 分别表示的是利率和林分年龄^[13]。同理可以得出火灾后, 经济林的经济价值记为 V_h , 那么火灾前后林业区域内经济林的经济损失可以表示为:

$$V_z = V_h - V_q \quad (8)$$

同理, 综合固定资产损失、流动资产损失、火灾扑救等森林火灾直接经济损失评估内容, 得出直接经济损失的评估结果为:

$$F_z = M_g + M_l + M_p + \sum_{i=1}^n V_i \times \eta \times S \quad (9)$$

式中: M_g 、 M_l 和 M_p 分别为固定资产损失、流动资产损失、火灾扑救费的量化结果, V_i 为与森林烧毁面积有关的直接经济损失, 而 S 和 η_i 分别为火灾面积和林木烧伤程度比率。

1.6.2 间接经济损失

综合善后处理费用、停减产损失、保育土壤价值损失以及净化空气价值损失等多个方面, 得出间接经济损失的计算公式为:

$$F_j = C \times B \times S \quad (10)$$

式中: C 和 B 分别为单位面积的林业间接经济价值和价值损失系数综合值^[14]。参数 B 与林业火灾的受害程度有关。

1.6.3 综合林业经济损失评估结果

综合火灾后林业直接经济和间接经济损失的评估计算结果, 得出综合评估结果为:

$$F_{total} = F_z + F_j \quad (11)$$

分别将公式(9)和公式(10)的计算结果代入到公式(11)中, 便可以得出火灾后林业经济损失的遥感评估结果。

2 应用实例分析

为了测试遥感技术在火灾后林业经济损失评估中的应用效果, 选择最近经历过灾害的森林作

为研究对象进行实例分析。

2.1 研究区概况

选择的研究区域为某百花林场, 其地理坐标为 $124^{\circ}15' \sim 125^{\circ}30'E$, $26^{\circ}16' \sim 26^{\circ}26'N$, 总面积约 91.03 km^2 。百花林场位于河谷地貌区, 最高海拔 $2\,514 \text{ m}$, 最低海拔 $1\,542 \text{ m}$ 。从地势上来看绝大多数是陡坡、陡坡和险坡, 占森林总面积的 98.9% 。该地区属暖温带大陆性季风气候, 温和湿润, 年平均气温 10.9°C , 平均降水量 800 mm , 冻土最大深度 37 cm 。在被调查的林场中, 主要树种有红杜鹃、白杜鹃、白花木、铃木树、杨树桐、栎树等 263 种左右。

2.2 数据来源

火灾损失调查数据的准确性和完整性与森林火灾损失评估质量关系密切, 目前, 森林火灾损失调查范围一般包括火灾损失调查、受影响区域调查以及森林损失调查等方面, 其中森林损失调查是对森林火灾原因及森林资源损失进行调查的方法。在进行实例应用时需要准备数据包括遥感数据和辅助数据, 其中遥感数据主要是利用遥感影像的自动提取程序得出。

除了遥感影像外, 还可利用小班林相图、样地调查数据、DEM 及局部小班林相图等辅助数据。另外还调取了灾后整修以及受灾经济统计的相关数据, 以此作为评估结果精度验证的标准数据。

2.3 火灾特点分析

选择的研究区域最近一次发生火灾的时间为 2018 年 6 月, 火灾的受灾范围为 57.809 km^2 , 受灾范围内的火灾受灾程度包括轻度受灾、中度受灾和重度受灾三种类型, 其中面积最大的受灾类型为中度受灾。

2.4 实验过程

在应用实例分析开始之前, 首先利用遥感影像信息自动提取程序, 得出火灾研究区在 $6-9$ 月的遥感影像(图1)。以收集的遥感影像为基础, 按照设计的火灾后林业经济损失的遥感评估方法进行经济损失评估, 并输出最终的评估结果。

2.5 评估结果分析

通过对相关研究区域林业经济损失的评估, 得出最终的评估结果(表4)。通过对表4中数据的统计, 确定该次火灾给林业带来的经济损失约为 2.8 亿元, 与统计的评估精度验证标准数据相比, 评估误差约为 0.3 亿元。

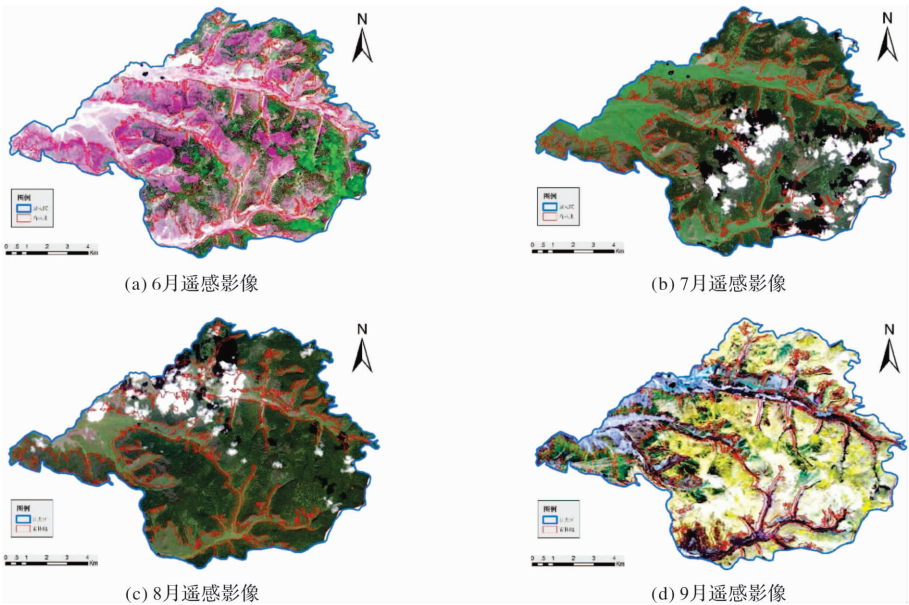


图 1 火灾研究区遥感影像时序图

表 4 应用实例结果数据

林业经济损失类型	损失评估指标	经济损失 额/万元
直接经济损失	森林资产损失	1 118
	林木资源损失	2 309
	木材损失	5 630
	固定资产损失	165
	农牧产品损失	5 000
	火灾扑救费用	1 512
	居民财产损失	4 473
间接经济损失	人员伤亡损失	1 103
	防灾救灾费用	1 650
	停产、停工、停业损失	1 184
	善后处理费用	1 187
	森林生态价值损失	1 530
	保育土壤价值损失	824

3 结束语

在森林火灾经济损失评估方面，适当利用卫星和遥感数据，可以及时满足森林防火部门的需要。根据标准确定受灾地区不同受灾等级的受灾面积、植被恢复状况，提出采伐管理和植被恢复重建的意见。但在实际的林业管理和开发过程中，仍然需要实时地关注森林的实时状态，尽可能地避免火灾的发生，从根本上减少林业经济损失。

参考文献：

[1] 刘明, 贾丹. 卫星遥感技术在森林火灾扑救中的应用[J]. 城市与减灾, 2018(6): 66 – 70.

[2] 刘媛媛. 林业遥感技术应用存在的问题及对策[J]. 黑龙江科学, 2020(12): 136 – 137.

[3] 康庆江, 秦瑞强. “3S”技术在林业信息化中的应用[J]. 科技创新与应用, 2018(5): 151 – 152.

[4] 杨福成. 林业遥感技术的应用问题与发展策略[J]. 科学技术创新, 2019(31): 136 – 137.

[5] 陆小辉. 基于遥感技术的辽宁阜新市森林资源估算[J]. 防护林科技, 2019(3): 37 – 38.

[6] 魏嘉玮, 毛鹏, 李婕, 等. 建筑施工扬尘污染对环境损害的经济损失评估[J]. 建筑经济, 2018, 39(10): 111 – 115.

[7] 张恒, 史浩楠, 张秋良. 基于变量分析法的中南地区森林火灾特征研究[J]. 温带林业研究, 2018, 1(3): 27 – 34.

[8] 张安德. 分析林业经济发展中存在的主要问题及解决对策[J]. 祖国, 2018(16): 113 – 114.

[9] 林雨轩, 杨景海. 森林火灾损失评估分析[J]. 现代商贸工业, 2018(25): 100 – 102.

[10] 刘树超, 陈小中, 覃先林, 等. 内蒙古毕拉河林场森林火灾受害程度遥感评价[J]. 林业资源管理, 2018(1): 90 – 95, 140.

[11] 张磊. 浅析火灾损毁林地的森林资源恢复[J]. 中小企业管理与科技, 2020(4): 48 – 49.

[12] 张恒, 王轩, 张鑫, 等. 内蒙古赤峰市森林火险等级评价及火灾危险性评估[J]. 西南林业大学学报, 2019, 39(2): 143 – 150.

[13] 贾哈曦, 林均岐, 刘金龙. 基于随机森林的火灾损失影响因素研究[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(11): 1642 – 1644.

[14] 周生瑞, 何诚, 陈锋, 等. 我国森林火灾危害性评价分析[J]. 森林防火, 2018, 137(2): 38 – 41.

(下转第 56 页)