

基于 NDVI 的不同火烧强度下大兴安岭 林火迹地森林景观恢复*

解伏菊^{1,2} 肖笃宁¹ 李秀珍^{1**} 王绪高^{1,2} 夏少华³ 赵玉柱⁴

(¹ 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039; ³ 大兴安岭林业调查规划设计院, 加格达奇 133315; ⁴ 大兴安岭图强有限责任公司森林经营公司, 图强 165301)

摘要 利用 LANDSAT TM 影像, 通过分类、提取森林景观类型及 NDVI 值, 在较大尺度上探讨了火烧区火烧强度与森林景观格局、功能恢复的关系。结果表明, 火烧区森林总体恢复情况较好。恢复状况与火烧强度具有明显的相关性。火烧强度越高, 恢复状况越差。重度火烧区的针叶林景观所占比重低且生长状况较差; 沼泽面积高于未火烧对照区, 这一现象应引起足够重视, 特别是在全球变化气温升高的背景下, 应防止寒温带针叶林的退化以及林地沼泽化。在三种主要森林类型(针叶林、阔叶林、针阔叶混交林)中, 针阔叶混交林是生长状况最好的, 标志着火烧迹地正由演替的初期阶段向中期阶段过渡。

关键词 火烧强度, NDVI, 森林景观, 恢复

中图分类号 S754 **文献标识码** A **文章编号** 1000 - 4890(2005)04 - 0368 - 05

Forest landscape restoration assessment based on NDVI under different burn intensity in the burned blank of Daxinganling Mountains. XIE Fujun^{1,2}, XIAO Duning¹, LI Xiuzhen¹, WANG Xugao^{1,2}, XIA Shaohua³, ZHAO Yuzhu⁴ (¹ Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ² Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; ³ Institute of Forest Investigation and Planning in Daxinganling Mountains, Jiagedaqi 133315, China; ⁴ Tuqiang Limited Corporation on Forest Management, Tuqiang 165301, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4): 368 ~ 372.

Integrating the forest landscape types and NDVI from LANDSAT TM image of 2000 with burn intensity map, the relationship between forest landscape restoration and burn intensity was discussed. The results showed that the restoration of whole burned blank was remarkable. The degree of restoration negatively correlated with fire intensity, which meant that the more severely it was burned, the worse the restoration was. The conifers in the severely burned area occupied less area with low growth rate. The area proportion of swamp in the burned area was much more than that in the contrast area, which should be paid more attention to. Under the influence of global warming, the conifers degradation and increase swamp must be prevented. Mixed forest grew best among three forest types, which meant the vegetation succession in the burned blank was transforming from initial stage to middle stage.

Key words fire intensity, NDVI, forest landscape, restoration.

1 引言

森林是地球上最重要的生态系统之一, 它在全球的物质循环和能量流动中起着重要作用。林火作为森林景观重要的干扰因子, 一方面对森林景观造成了严重的危害, 使森林环境发生剧烈变化, 大气、水域和土壤等森林生态因子之间的生态平衡受到干扰, 各种物质循环、能量流动和信息传递遭到破坏, 导致森林生态平衡的破坏^[5]。另一方面, 火又是自然界不可或缺的生态因子, 一定频率和一定强度的火在维护森林生态平衡、维持生物多样性等方面起

着重要作用。

分布于大兴安岭的针叶林是我国面积最大的天然寒温带针叶林生态系统, 对我国乃至全球环境的物质循环、能量流动尤其是 C 循环都起着非常重要的作用。1987 年大兴安岭“5.6”特大森林火灾给这一重要的森林生态系统带来了严重破坏。为尽快恢复其森林景观格局和功能, 火后前几年进行了

* 国家自然科学基金项目(30270225, 40331008)、中国科学院知识创新自然科学基金资助项目(SCXZY0102)和中俄自然资源与生态环境联合研究中心专项经费资助项目。

** 通讯作者

收稿日期: 2004 - 06 - 18 改回日期: 2004 - 09 - 04

大量的研究,这些研究或集中于短期的植被破坏及恢复对策方面^[3,10],或探讨林火对局部地区某一生态要素的影响^[6,8],为火烧迹地的尽快恢复提供了科学依据。

3S 技术的迅速发展为研究大面积的森林景观格局变化以及森林的生长状况提供了可靠的技术手段^[11]。本文利用 2000 年 LANDSAT TM 数据提取主要的森林景观类型及反映植被生长状况的 NDVI 值,结合 1987 年的火烧现状图,研究了火烧强度与森林景观格局、植被生长状况的关系,为今后森林经营管理提供借鉴。

2 研究地区与方法

2.1 自然概况

研究区的选取主要基于以下原因:尽可能的将原火烧区包括在内,对整个火烧区总体情况进行分析研究,鉴于塔河原始火烧现状图已失,只有将研究区缩小至西林吉、图强、阿木尔三个林业局的过火区,面积为 7 295 km²,其中轻度火烧面积为 4 001 km²,占过火区总面积的 54.9%;中度过火区面积为 373 km²,占总面积的 5.1%;重度火烧区面积为 2 920 km²,占过火区总面积的 40%,基本可以反映火烧迹地的全貌。为了对火后恢复状况有更加准确的定位,特选取与火烧区自然条件相似的未火烧区作为对照。对照区主要位于阿木尔林业局东北部,也包括过火区内部极少量的未火烧区,面积为 1 928 km²。

该研究区地处我国大兴安岭的北坡,位于 52°15′~53°34′N,121°29′~124°05′E。地势东南高西北低,最高海拔为 1 396.7 m,最低海拔 255 m。地势起伏不大,坡面长而缓,河谷平坦而宽阔,属典型的低山宽谷地貌。本区属典型的寒温带大陆性季风气候,年平均气温 - 4.82℃,最低气温 - 47.2℃,最高气温 32.6℃。年平均降雨量为 432.0 mm,多集中于 7、8 月份。无霜期 85~115 d,年平均积雪 165~175 d。本区的森林属寒温带针叶林,分布最广的树种有兴安落叶松(*Larix gmelinii*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、白桦(*Betula platyphylla*),其次为云杉(*Picea koraiensis*)、山杨(*Populus davidiana*)、岳桦(*B. ermanii*)等。土壤以棕色针叶林土为主。

2.2 研究方法

2.2.1 数据 1987 年火烧现状图;2000 年 9 月

LAND SAT TM 卫星遥感数据;野外调查验证、补充遥感分类数据。

2.2.2 方法 遥感图像预处理。

利用 ERDAS IMAGINE 8.6 软件对遥感图像进行几何校正,根据研究区 1/50000 地形图选取地面控制点(GCP)45 个,平均误差 RMS 为 0.32 个像元。

遥感图像的分类。根据研究区内地形复杂、湿度差异较大、树种混生等特点,采取选择训练区进行监督分类的方法,将研究区分为 4 种植被景观类型:针叶林、阔叶林、针阔叶混交林以及沼泽。

野外验证。选取典型训练区,利用 GPS 定位进行分类的野外数据验证、补充,形成森林景观类型分布图(图 1)。



图 1 2000 年研究区森林景观分布

Fig. 1 Distribution of forest landscape type in 2000

植被指数的选取与计算。植被指数(vegetation index)指从多光谱遥感数据中提取的有关地球表面植被状况的各种数值。通常使用红光波段(R)和近红外(NIR)波段通过数学运算进行线性或非线形组合得到的数值,用以表征地表植被分布和质量情况^[1,13]。常用的植被指数有许多种,归一化植被指数(NDVI)就是其中之一。由于它与植被的很多生理生态指标有关系,如叶面积指数(LAI)、有效光合辐射(FPAR)、叶绿素浓度、绿叶面积和蒸腾速率等等^[4],因此可以较好地反映植被的生长状况,本文特选取 NDVI 作为植被恢复的主要参照因子,其计算公式如下:

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$

式中, TM4、TM3 分别为 LANDSAT 7 个波段遥感数据的第四(近红外)和第三波段(红)的灰度值。利用 ERDAS IMAGINE 8.6 软件的 Spectral Enhancement 的 Indices 计算功能得到 NDVI 数字化分布图,为了便于

输出与显示,将该值转化成 0~255。通过采样林地、沼泽等求得各种类型的 NDVI 阈值(表 1),得到研究区 NDVI 等级数字化分布图(图 2)。

表 1 NDVI 分级标准与植被生长状况

Tab. 1 NDVI grade and vegetation growth

等级	NDVI 范围	植被盖度	影像特征
1	0~133	低	白、灰白、青灰
2	133~180	较低	黄绿
3	180~196	较高	粉红
4	196~216	高	红、暗红
5	216~255	极高	深红

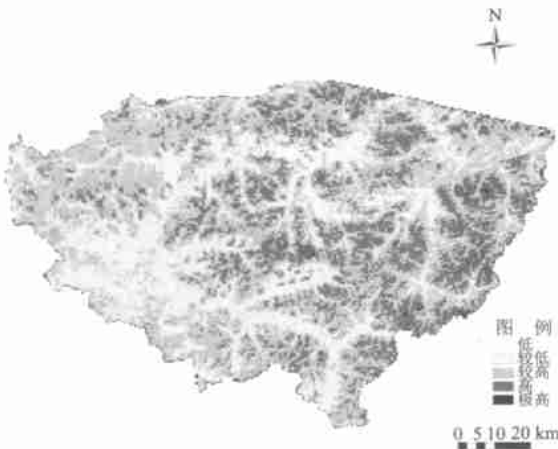


图 2 2000 年研究区 NDVI 等级分布
Fig. 2 Distribution of NDVI grade in 2000

在 ArcView3.3 等地理信息系统平台的支持下对火烧现状图进行校正、数字化处理。由于火烧强度图系 1987 年火后手工绘制而成,为确保其与 TM 图像匹配,故用校准的 TM 图像作为参照对火烧现状图进行校正配准,经数字化处理得到火烧强度数字化图(图 3)。火烧强度的划分标准见表 2。

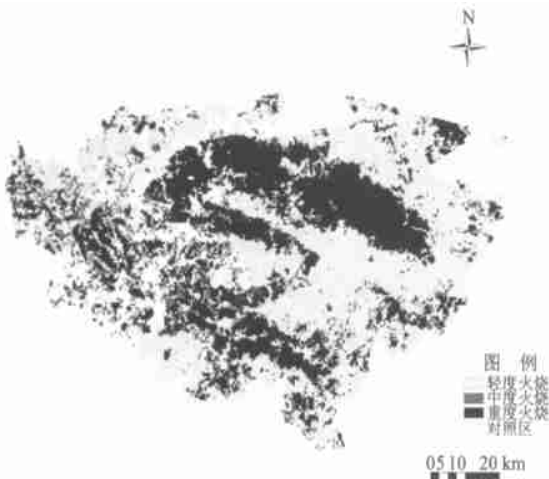


图 3 1987 年研究区火烧强度
Fig. 3 Fire intensity in 1987

表 2 火烧强度的划分标准

Tab. 2 Criterion on fire intensity

火烧强度	烧死木比例 (%)
轻度	30
中度	30~70
重度	70

数据叠加。在 ArcMap 地理信息系统软件的支持下,分别将数字化火烧强度图、植被景观类型图以及 NDVI 等级分布图叠加,建立属性数据库。

3 结果与分析

3.1 火烧强度与植被景观类型的恢复

表 3 2000 年森林景观类型在不同火烧强度下的面积分布 (%)

Tab. 3 Area distribution of forest landscape type in 2000 under different fire intensities

景观类型	轻度火烧	中度火烧	重度火烧	对照区
针叶林	33.0	24.1	7.0	34.0
阔叶林	10.6	14.9	17.1	12.5
混交林	23.8	21.8	22.0	12.3
沼泽	31.6	36.7	50.1	36.2
其它	1.0	2.5	3.8	5.2
合计	100	100	100	100

如表 3 所示,该区植被演替顶级群落的针叶林所占的比重在轻度火烧区、中度火烧区、重度火烧区分别为 33%、24.1% 和 7.0%。可以看出针叶林景观所占的比重随着火烧强度的增加降低,这与针叶林的生理特点和火烧强度都有密切关系。轻度火烧区针叶林比重与未火烧对照区基本持平,表明轻度火烧对针叶林影响不大,母树的存在使其能在短时间内迅速恢复;重度火烧区针叶林的比重仅有 7.0%,低于对照区的 34%。调查表明^[10],重度过火区种子损失量大,母树全部烧毁、埋藏在地表土壤中的种子大多已丧失了萌发能力,尽管有人工造林、抚育等措施的辅助,但由于立地条件的差异,人工更新效果并不完全理想,导致了针叶林景观的恢复程度仍随火烧强度的增加而降低。中度火烧区针叶林的恢复状况则介于两者之间。

三种不同程度火烧区混交林的比重分别为 23.8%、21.8% 和 22.0%,均明显高于对照区的 12.3%。火烧后林冠层的去除,导致喜阳、耐旱且具有萌发能力的白桦等阔叶树种迅速繁殖生长并很快侵入残存的针叶林或人工更新的针叶林之中,形成大面积的针阔叶混交林;另外野外调查发现,十几年林龄的白桦由于其生理特点而大量出现枯烂现象,为针叶林的生长让出了资源,这也是混交林比重大

的重要原因。生长迅速的阔叶树种为早期针叶林实生幼苗提供了遮荫条件,有利于针叶林幼苗的生长,在较长时间相对稳定的环境条件下将逐渐演替为针叶林群落。火烧区中阔叶林面积比重明显高于对照区的仅有重度火烧区,进一步说明了耐旱、喜阳的阔叶树种是重度火烧造成的大面积裸地的先锋树种。

重度火烧区沼泽比重高达 50.1%,超过对照区的 36.2%。沼泽面积的大幅度增加究其原因主要有两方面:一是重度火烧区完全丧失了林冠层,表层凋落物和腐殖质也基本全部烧毁,导致了截流量和蒸散量的减少,加之土壤下阻止水分下移的永久冻土层的存在,所以重火烧沼泽地表处于过湿或积水状态,再加上茂密的沼泽植物,土壤沼泽化程度进一步加重,又因土壤长期处于嫌气状态,土壤有机质积累增强,导致沼泽不断发育,并向外扩展^[12];二是火前分布于沼泽边缘或水分条件优越的河谷地带的疏林地由于火后立地条件的改变很难重新形成林地,随着火后径流量的增加^[15]这部分地区积水成沼。另外,虽然对照区选取尽量与火烧区的自然条件保持一致,但不能排除重火烧区火前沼泽比重大的可能。

3.2 火烧强度与植被生长状况的关系

由表 4 可以看出,若将 NDVI 较高值与高值作为植被生长状况良好的标准,则轻度、中度与重度火烧区植被生长较好的面积比重分别为 59.6%、50.8%和 44.3%,对照区为 45.3%。可以看出,火烧区植被整体生长状况良好。轻度与中度火烧区植被生长状况明显好于对照区,出现这一现象的原因与火干扰密切相关。中轻度火烧既没有对针叶林等顶级群落造成毁灭性的影响,又通过上层林木的烧毁,促进了林下植被的生长,提高了植被生产力^[7];而对照区植被由于处于或接近于演替顶级阶段,林冠郁闭度高,林下层植被衰退严重,导致了 NDVI 值的分化(对照区 NDVI 低值、较低值以及极高值的面积比均高于火烧区),分布更趋均匀。重火烧区植被 NDVI 值位于较低值的比重达到 54.3%,明显高于其它火烧区与对照区。高强度的林火导致林木死亡较多,虽然有利于灌木丛和新萌发的乔木幼苗的生长,也有利于草本层的生长^[8],但整体生产力水平远没有达到火前,反映在 NDVI 值上重度火烧区较低值面积所占比重最大。未火烧区与轻度火烧区的 NDVI 极高值是中度和重度火烧区的两倍,反映了处于演替顶级阶段的群落结构复杂、生物多样性极其丰富、生物量较大的特点^[9]。

表 4 2000 年不同火烧强度下植被 NDVI 的等级构成(%)

Tab. 4 Ratio of NDVI grade in 2000 under different fire intensities

NDVI 等级	轻度火烧	中度火烧	重度火烧	对照区
1	0.7	1.2	1.2	3.7
2	39.3	47.9	54.3	50.5
3	41.4	38.8	33.3	34.9
4	18.2	11.9	11.0	10.5
5	0.4	0.2	0.2	0.4
合计	100	100	100	100

3.3 不同火烧强度下各森林景观类型的生长状况

由图 4 可以看出,针叶树种在三个火烧等级上,分布于生长良好、NDVI 较高和高的比重分别为 76.6%、69.7%和 65.8%,对照区为 72.9%,中度与重度火烧区明显低于对照区;相反中度与重度火烧区分布于生长状况一般、NDVI 值较低的比重较大,分别为 29.9%和 33.7%,明显高于轻度火烧区与对

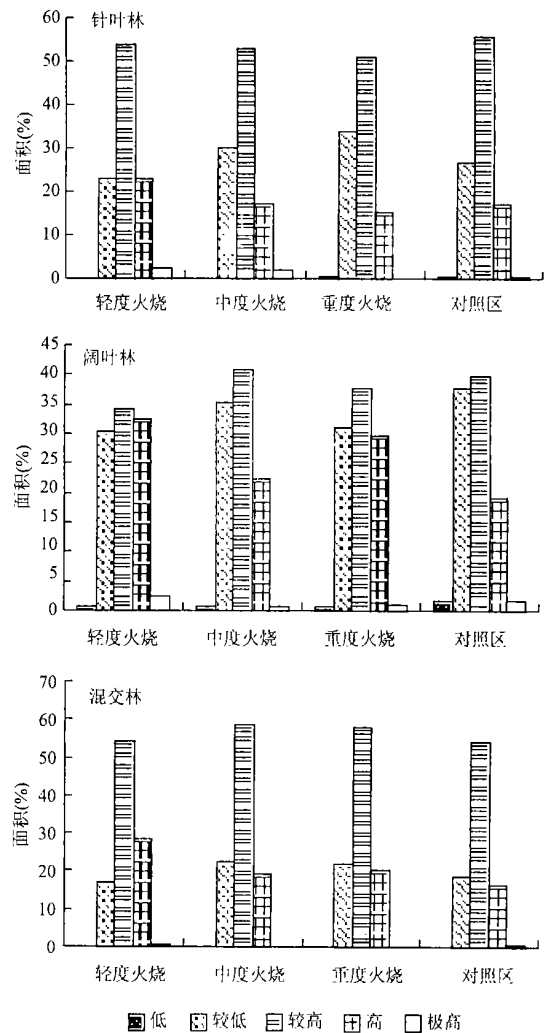


图 4 不同森林景观的 NDVI 组成与火烧强度的关系

Fig. 4 Relationship between NDVI ratio under different forest landscape types and fire intensities

对照区。早期重度火烧区严重的种源缺乏以及以兴安落叶松为代表的落叶松生长缓慢等特点决定了其生产力的恢复迟缓,在今后相当长的时间内都需要人工辅助更新;阔叶树种的 NDVI 较低、较高、高三个等级的值在各个火烧等级上的分布都比较均匀。三个不同火烧强度下,属于生长状况较好的高 NDVI 值分别占 66.6%、63.1%和 67.2%,均明显高于对照区的 58.7%。反映了火干扰在一定程度上提高了阔叶树种的生产力。研究表明,火烧程度越重,白桦、山杨等阔叶树种的萌发苗越多生长越好^[7];三种火烧强度下混交林生长恢复良好的面积比重分别为 82.7%、77.4%和 78.0%,对照区为 70.6%,生长一般的面积比重为 16.8%、22.4%和 21.8%,对照区为 28.7%。可以看出混交林的植被生长状况要明显好于同等火烧强度下的针叶林与阔叶林,表明火后植被演替正处于混交林的演替阶段。总之,轻度火烧区各林种生长状况都已恢复,从生产力看甚至超过未火烧的对照区;中度、重度火烧对针叶林的恢复影响较大,对阔叶树种没有明显的影响。

4 结 语

研究区森林景观总体恢复状况良好,火烧强度与森林景观的格局与功能的恢复具有明显相关性。火烧强度越高,景观恢复状况越差。

重度火烧区的恢复状况较差,尽管有人工辅助措施,但成效并不显著。表现在顶级群落的针叶林分布面积较小,植被生产力水平较低的面积比重较大。另外位于重火烧区的沼泽面积显著增大也应引起重视。由于全球变化导致的增温现象,可能会进一步引起针叶树种的衰退和沼泽化的加剧。另外,沼泽面积的大幅度增加也可能与重度火烧区火前沼泽面积比重较大有关。因此,深入研究沼泽化的原因,是重度火烧区避免针叶林的逆行演替以及林地

的沼泽化的关键。

从森林类型看,针叶林的恢复最差,混交林的生长状况最好。火烧区混交林的面积明显高于对照区,反映生长状况的覆盖度高值区所占比重也明显高于对照区,反映了火烧区正处于由演替初期向演替中期的过渡阶段^[2]。在稳定的自然环境条件和较少的人为干扰下,大部分地区将逐步演变为顶级群落针叶林。

参考文献

- [1] 丁建丽. 2001. 塔里木盆地南缘绿洲植被生境质量变化的研究[J]. 干旱区资源与环境, 15(4): 6~11.
- [2] 王绪高, 李秀珍, 孔繁花. 2003. 大兴安岭北坡火烧迹地自然与人工干预下的植被模式初探[J]. 生态学杂志, 22(5): 30~34.
- [3] 关克志, 张大军. 1990. 大兴安岭森林火灾对植被的影响[J]. 环境科学, 11(5): 82~88.
- [4] 张正兴, 刘 闯, Vete Alfredo. 2003. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI[J]. 生态学报, 23(5): 979~987.
- [5] 张思玉, 居恩德. 1994. 林火发生次数、燃烧面积的时域化分析[J]. 森林防火, (1): 11~17.
- [6] 杨发柱. 1988. 大兴安岭火烧迹地土壤动物的初步调查[J]. 生态学杂志, 7(增): 55~59.
- [7] 杨树春, 刘新田, 曹海波. 1998. 大兴安岭林区火烧迹地植被变化研究[J]. 东北林业大学学报, 26(1): 19~23.
- [8] 周幼吾, 梁林恒, 顾钟炜. 1993. 大兴安岭北部森林火灾对冻土水热状况的影响[J]. 冰川冻土, 15(1): 17~26.
- [9] 罗菊春. 2002. 大兴安岭森林火灾对森林生态系统的影响[J]. 北京林业大学学报, 24(5/6): 101~107.
- [10] 赵大昌. 1988. 大兴安岭森林大火区的植被及其恢复问题[J]. 生态学杂志, 7(增): 35~40.
- [11] 郭志华, 彭少麟, 王伯荪. 2002. 利用 TM 数据提取粤西地区的森林生物量[J]. 生态学报, 22(11): 1832~1838.
- [12] 阎敏华. 1993. 森林火灾对大兴安岭林区小气候的影响[J]. 地理科学, 13(4): 389~390.
- [13] 彭望祿. 1991. 遥感数据的计算机处理与地理信息系统[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 67~68.
- [14] 温广玉, 郑焕能, 曹仁杰. 1996. 林火灾变对生态系统的影响[J]. 东北林业大学学报, 24(2): 62~67.
- [15] 蔡体久, 周晓峰. 1995. 火灾对河川径流的影响研究[J]. 林业科学, 31(5): 403~407.

作者简介 解伏菊, 女, 1969年7月生, 高级讲师, 博士生, 主要从事景观生态学、城市规划等方面的研究。
责任编辑 王 伟