

免修、半免修复层防火林带阻火机理研究

洪长福

(福建省长泰岩溪国有林场, 福建 长泰 363902)

摘要: 利用山沟、小山脊呈“鸡爪型”分布的特点, 在沟边和小山脊采取不同措施营建高阻火效能、低维护成本的免修、半免修复层防火林带, 并研究其阻火机理。对火环境主要因子调查分析表明: 免修复层防火林带衰减光照能力强, 降温保湿效果好, 挡风能力强, 乔木、灌木、草本层和枯枝落叶层以及土壤的含水率高, 阻火效果最好; 半免修复层防火林带阻火效果次之, 山脊单层防火林带阻火效果最差。因此, 应充分利用沟边残存阔叶林和沟边小山脊特有的湿润环境, 营建免修、半免修复层新型防火林带, 并对现有单层防火林带进行改造。

关键词: 免修、半免修; 复层防火林带; 阻火机理; 生物阻火

中图分类号: S727.2

文献标识码: A

Fire Retardant Mechanism of the Non-managed and Partly Managed Multi-layer Firebreak Forests

HONG Chang-fu

(Changtai Yanxi Tree Farm, Fujian Province, Changtai 363902, Fujian, China)

Abstract Non-managed and partly managed fire retardant multi-layer firebreak forests with high fire retardant efficiency and low management cost were established in mountain gullies and on low ridges using various afforestation measures, and fire retardant mechanism was analyzed by investigating related fire retardant factors. Results showed that non-managed multi-layer firebreak forest belt got the highest fire retardant efficiency with the highest capacity of luminous energy reduction, temperature decreasing, moisture keeping and wind breaking. Humidity ratio in living plants layer, litter layer and soil was also the highest in investigated forest types. Fire retardant efficiency of the partly managed multi-layer firebreak forest belt was less than the non-managed belt. And the single layer firebreak forest on upper mountain ridges showed the least fire retardant efficiency. Based on these results, suggestions were given on non-managed and partly managed fire retardant multi-layer firebreak forest establishment by making use of the moist environment with remained broadleaf forest in mountain gullies and low ridges near the gully. Suggestions were also given on reconstruction of the existing single layer firebreak forest on upper mountain ridges.

Key words non-managed and partly managed fire retardant multi-layer firebreak forest; fire retardant mechanism; biological forest-fire retardant

火灾是森林的重要灾害之一, 森林防火一直是各级政府及林业生产单位的重要工作内容, 并采取多种林火预防和控制措施, 营造防火林带是南方林区防止

火灾蔓延的一项重要措施^[1,2]。郑焕能指出, 防火林带最好是复层或多层, 它容易保持林带内森林气候, 即光照少、气温低、相对湿度大、风速小, 有利防火^[3]。

收稿日期: 2006-04-28

基金项目: 福建省林业厅 1995年科技项目“免修半免修复层防火林带阻火机理与营建技术研究”部分内容

作者简介: 洪长福 (1957—), 男, 福建长泰人, 高级工程师, 主要从事森林防火等研究与管理工作。

邵占杰认为含水率高是决定防火树种阻火特性高低的关键因素^[4]。这些观点为防火林带建设提供了新思路,但很少引起重视和应用于实践。长期以来,人们习惯于将防火林带建设于主山脊上,由于主山脊一般立地条件差,阳光充足,林带内空气干燥,不利于耐火阔叶树种的生长,利于易燃类杂草滋生。同时,干燥的小环境不利于枯枝落叶的腐烂,导致山脊防火林带对地表火几乎没有阻隔能力,每年不得不花费大量的人力、财力、物力用于防火林带的维修^[5]。

为了探求高效省本的防火林带类型,作者利用山沟、小山脊都呈“鸡爪型”分布的特点和亚热带顶级群落为常绿阔叶林的特性,在沟谷两旁和立地条件较好的小山脊试验营建免修、半免修复层防火林带,并从阻火机理、植被多样性、阻火性能检验等方面进行研究,着重对阻火机理进行探讨,为新型防火林带推广应用提供科学依据。

1 试验地概况

试验地位于福建省长泰岩溪林场,地处 117°36′~117°52′ E, 24°43′~24°50′ N,海拔 70~1100 m,坡度 20~40°,土壤为山地红壤。年均气温 21℃,年均日照时数 2037.4 h,无霜期 328 d,年均霜日 6~7 d,年降水量 1400~1600 mm,属亚热带海洋性气候区。山地特点为各个坡面自然形成的山沟、小山脊较多,呈“鸡爪型”分布;原生植被为亚热带常绿阔叶林,由于人为因素干扰,目前多为杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.),马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.),木荷(*Schinus superba* Gardn. et Champ.),火力楠(*Michelia macclurei* var. *sublanaea* Dandy),桉树(*Eucalyptus* spp.)等人工林,在山沟两旁,由于难于耕作和人、畜难于入内,有少量的天然次生林、灌木林,多数顺着山沟呈不规则条状分布。

2 研究方法

2.1 免修、半免修复层防火林带营建和阻火性能试验

试验区原有防火林带为建在主山脊上的以木荷、火力楠为主的人工单层防火林带(简称人工单层,下同)。新型防火林带营建方法分 2 种:(1)在山沟两旁有天然次生林或灌木林地段,保护沟边残存常绿阔叶林和耐火灌木、藤本、草本,宽度 10~20 m,并补植耐火阔叶乔灌木,人工或化学方法去除易燃植被,加宽加长至主山脊单层防火林带。防火林

带形成后可免予维修(简称免修复层,下同)。(2)在山沟边和立地条件较好的小山脊,天然次生林或灌木林已消失地段,种植和保护耐火的乔灌木、藤本、草本,连接至主山脊的单层防火林带。或在立地条件较好的已有单层防火林带地段,种植和保护耐火灌木、藤本、草本,营造初期由于林带内的小环境尚未形成,需进行局部管理维护,随着林龄的增长,阻火小环境的形成,由半免修转向全免修(简称半免修复层,下同)^[5]。

林带建成后,于秋冬干旱季节结合林事活动的炼山作业,3种防火林带进行 20 多次阻火能力检验,设计火灾类型为上山火、下山火。

2.2 各种防火林带小环境因子测定与分析

火环境是影响林火蔓延重要条件,可通过比较其所形成的森林小环境,评估各种防火林带性能的优劣。本研究在林带走向相同、乔木层株数相同的各种防火林带内设立标准地(免修复层位于沟边,为天然次生林内化学去除易燃植被后的沟边,草灌层的盖度 90%;半免修复层为木荷林下套种砂仁(*Amanum villosum* Lour.)的小山脊,盖度 90%;人工单层为位于主山脊的木荷纯林,草灌层盖度 0%),选择以下几个主要因子进行观测统计,分析评价各防火林带的阻火效能。

2.2.1 相对光照强度 选择晴朗无云天气,使用照度计分别测定离地面 1.5 m 和 0.1 m 处的光照强度。从各种防火林带边缘起横穿林带,每隔 1 m 设 1 个测点,直至防火林带中心,共设 6 个测点,重复 3 次。按以下公式计算相对光照强度:

$$\text{相对光照强度} = \frac{\text{防火林带内光照强度}}{\text{对照 (CK}_i\text{)光照强度}} \times 100\%$$

2.2.2 日平均气温和平均相对湿度 在久旱无雨的秋季森林防火期,选择能反映各种防火林带气候特征的标准地,在林带中心点,每日 8:00 14:00 20:00 时观测气温、湿度。在林带两侧大于 1 倍主林层平均树高的空旷地设立对照(CK_i),每次观测 10 d,相隔 10 d 后继续观测,重复 3 次,计算公式为:

$$\text{日平均气温}^{[6]} = \frac{(\text{当日最低气温} + \text{昨日 20:00 时观测值}) \div 2 + 8:00 \text{ 14:00 20:00 时 3 次观测值}}{\div 4}$$

$$\text{日平均相对湿度}^{[6]} = \frac{(8:00 \text{ 时观测值} \times 2 + 14:00 \text{ 时观测值} + 20:00 \text{ 时观测值})}{\div 4}$$

2.2.3 相对风速 因人难于深入火场,改用台风经过防火林带的风速变化模拟森林火灾所产生的热气

流。2003年 13号台风(杜鹃)来临时,用 DEM6型轻便三杯风向风速仪,同时在各种防火林带外空旷地(CK_i)和防火林带中心点测定瞬时风速(每分钟的平均风速)重复 10次,计算方法为:

$$\text{相对风速} = \text{林带内风速} / \text{对照(CK}_i\text{)风速} \times 100\%$$

2.2.4 主要乔灌木种类、林带下地被物含水率和土壤含水率 选择久旱无雨的秋季,在各种防火林带标准地,各采集 5株主要乔灌木叶片和小枝;按“S”形路线设 5个 2m×2m样方,采集枯枝落叶和活地被物;挖取 0~20 cm、20~40 cm 土层的土壤样品。用塑料薄膜封装带回称鲜质量,烘干后称绝干质量,计算含水率:

$$\text{含水率}^{[7]} = (\text{样品鲜质量} - \text{样品绝干质量}) / \text{样品绝干质量} \times 100\%$$

3 结果与分析

3.1 各种防火林带光照强度差异

防火林带衰减光照能力的大小,直接影响林带内的森林小气候。由表 1可见,越靠近林带中心,衰减光照效果越好,但各种防火林带衰减光照能力不同。进入防火林带 1m,在 1.5 m和 0.1 m 高度处,免修复层各有 95.3%、96.4%的光照已被衰减,而人工单层仅有 48.6%、60.4%的光照被衰减;进入

防火林带中心(入林带 5 m),在 1.5 m和 0.1 m 高度处,免修复层各有 99.2%、99.6%的光照被衰减,而人工单层仅有 95.9%、97%的光照被衰减。由表 1还可见,防火林带不同高度,衰减光照效果不一。地表(0.1 m 高处)衰减效果优于 1.5 m 高度处;半免修复层衰减光照能力在 1.5 m 高处接近于人工单层,在 0.1 m 处接近于免修复层,这是因为其下层植被高度仅为 0.9 m 所致。经分析可见,各种防火林带对光照的衰减能力大小为:免修复层 > 半免修复层 > 人工单层。

表 1 各种防火林带相对光照强度比较

防火林带类型	测定高度/m	空旷地	各测点相对光照强度/%				
			入林带 1m	入林带 2m	入林带 3m	入林带 4m	入林带 5m
人工单层	1.5	100	51.4	12.3	5.2	4.5	4.1
半免修复层	1.5	100	50.1	12.1	5.1	4.4	4.0
免修复层	1.5	100	4.7	2.0	0.9	1.5	0.8
人工单层	0.1	100	39.6	7.4	3.4	3.2	3.0
半免修复层	0.1	100	4.0	1.3	0.7	0.5	0.4
免修复层	0.1	100	3.6	1.1	0.8	0.5	0.4

3.2 各种防火林带气温差异

气温影响蒸发量、蒸发速度、相对湿度、气温日较差等因素,从而综合影响林火的发生和发展^[8]。降温能力越强的防火林带类型,越有利于阻火,反之,则越差。

表 2 各种防火林带日平均气温差异比较

℃

防火林带类型	观测时间							
	8:00		14:00		20:00		平均值	
	气温	温差	气温	温差	气温	温差	气温	温差
人工单层	21.1	0.9	30.8	0.7	20.1	0.3	22.9	0.2
对照(CK ₁)	22.0		31.5		20.4		23.1	
半免修复层	21.2	1.0	30.2	1.2	20.0	0.4	22.7	0.4
对照(CK ₂)	22.2		31.4		20.4		23.1	
免修复层	21.4	0.8	29.5	1.4	19.8	0.7	22.4	0.8
对照(CK ₃)	22.2		30.9		20.5		23.2	

注:温差 = 对照(CK_i)气温 - 林带内气温。

由表 2可见,各种防火林带内的日平均气温均低于附近空旷地(CK_i),降温效果为:免修复层 > 半免修复层 > 人工单层,平均降温幅度分别为 0.8、0.4、0.2℃。一天中的 8:00、20:00时降温幅度小,介于 0.3~1.0℃;而 14:00时降温幅度最大,分别为 1.4、1.2、0.7℃。午后是发生森林火灾的高峰时段,防火林带内气温的降低无疑会降低火险等级,降

温幅度越大,防火效果越佳。

3.3 各种防火林带相对湿度差异

相对湿度表明一定空气中的干燥或湿润的能力,无论是火险天气预报或火险等级预报中,相对湿度是最重要的因子之一^[8],湿度越大的防火林带类型,阻火效果越佳,反之,则越差。

表 3 各种防火林带日平均相对湿度差异比较

%

防火林带类型	观测时间							
	8:00		14:00		20:00		平均值	
	相对湿度	湿差	相对湿度	湿差	相对湿度	湿差	相对湿度	湿差
人工单层	80.3	1.3	62.3	3.8	80.3	0.5	75.8	1.7
对照 (CK ₁)	79.0		58.5		79.8		74.1	
半免修复层	81.2	0.7	65.0	4.7	82.1	1.8	77.4	2.0
对照 (CK ₂)	80.5		60.3		80.3		75.4	
免修复层	81.9	1.2	66.4	4.3	83.2	2.3	78.4	2.3
对照 (CK ₃)	80.7		62.1		80.9		76.1	

注: 湿差 = 林带内相对湿度 - 对照 (CK₁) 相对湿度。

由表 3 可见, 各种防火林带内的相对湿度均大于附近空旷地 (CK₁), 相对湿度大小顺序为: 免修复层 > 半免修复层 > 人工单层。一天中的 8:00-20:00 时湿度变化幅度小, 介于 0.5% ~ 2.3%; 而 14:00 时湿度变化幅度大, 介于 3.8% ~ 4.7% 之间。保湿效果越好的林带类型越有利于防火, 而相对湿度受防火林带所处地理位置的不同影响较大, 位于沟边的免修复层防火林带及 CK₃ 的湿度都大于位于山脊的单层防火林带及其对照 (CK₁)。由此可见, 免修、半免修复层防火林带是防火效果最好和较好的防火林带。

3.4 各种防火林带风力差异

风速的强弱给火流的蔓延和扩大带来很大影响^[9], 俗话说“火借风势、风助火威”, 风是森林火灾发生诸因素中最主要的因子^[8]。挡风能力强的防火林带类型, 则阻燃能力强, 反之则差。

表 4 各种防火林带风力差异

风速	防火林带类型					
	人工单层	对照 (CK ₁)	半免修复层	对照 (CK ₂)	免修复层	对照 (CK ₃)
平均风速 /(m·s ⁻¹)	3.49	2.30	3.00	2.23	0.38	1.90
相对风速 %	152	100	150	100	20	100

由表 4 可见, 气流经过免修复层防火林带时, 风速由林带外的 1.9 m·s⁻¹ 降至 0.38 m·s⁻¹, 风速衰减 80%, 这与免修复层防火林带乔灌木、藤本等枝叶茂密, 使进入林带的气流改变方向, 形成风向各异的小“涡旋”, 抵消了风能, 降低了风速有关。而气流经过半免修复层和人工单层防火林带时, 反而增速 50% 和 52%, 这是因为这两种防火林带的乔木层树冠浓密, 但林下稀疏, 树干所占空间少, 不仅不能“破碎气流”, 反而在地表至树冠之间产生“管道效应”, 使气流通过稀疏林带的速度加快。由表 4 还可

见, 各种防火林带外 (CK₁) 的风速也不同, 这与各种防火林带位于山沟、小山脊或主山脊的环境有关。

可以预见, 一旦发生森林火灾, 顺风蔓延的热气流经过具有“管道效应”的人工单层防火林带时, 不仅不能阻滞地表火的蔓延, 反而会加速地表火蔓延; 半免修复层防火林带由于林下植被高度小, 初期阻火效果也不强, 但随着建设年限的延长, 林下植被茂盛, 阻风效果将逐年加强; 而免修复层防火林带不具有“管道效应”, 能较好地“破碎气流”, 阻挡“火星”、“火球”, 是最好的防火林带类型。

3.5 各种防火林带下地被物含水率差异

地被物是森林火灾发生和蔓延的物质基础, 防火林带内地被物含水率的高低直接影响阻燃效率。

表 5 各种防火林带枯枝落叶、活地被物含水率

%

防火林带类型	枯枝落叶	活地被物
人工单层	12.3	179.7
半免修复层	15.8	265.4
免修复层	33.6	340.5

南方山地发生森林火灾, 都是枯枝落叶先着火, 再烤干引燃活植被。从表 5 可见, 枯枝落叶和活地被物含水率规律均为免修复层 > 半免修复层 > 人工单层。枯枝落叶、活地被物含水率越高的防火林带类型, 越不利于森林火灾的蔓延, 阻燃效果也就越好。

3.6 同种植物在各种防火林带内的含水率差异

树木的叶子和小枝含水率对于火行为有重要作用。一般认为, 针叶含水率在干质量的 100% 以下时, 有形成树冠火的危险; 地中海地区灌木林树叶含水率在 75% 以下时, 就极易发生火灾^[10]。虽然选择防火林带树种需考虑多种指标, 但探讨同种植物叶片及小枝在各种防火林带含水率差异, 对判断各种防火林带的阻燃性能仍然具有一定意义。

表 6 同种植物在不同防火林带内含含水率差异 (2003-12-03) %

防火林带类型	防火林带植物					
	木荷	润楠	鹅掌柴	无花果	藤本类	砂仁
人工单层	168.5	190.8	-	-	-	-
半免修复层	180.7	220.5	295.7	464.8	347.5	322
免修复层	202.2	334.8	672.2	765.5	359.2	340.8

注: 拉丁学名: 润楠 (*Machilus pingii* Cheng ex Yang)、鹅掌柴 (*Schefflera octophylla* (Lour.) Ham s.)、无花果 (*Ficus carica* L.)。藤本类不适合于干燥环境下生长。

从表 6 可见, 同一时间、同种植物在各种防火林带内含含水率不同, 免修复层防火林带内植物含水率明显高于人工单层防火林带, 如南方常用的防火树种木荷, 其含水率介于 168% ~ 203%, 乡土树种润楠含水率介于 190% ~ 335%, 含水率大小顺序为: 免修复层 > 半免修复层 > 人工单层。其他乔木、灌木、藤本、草本植物也具有相同的规律。

3.7 各种防火林带下土壤含水率差异

浅层土壤含水率可以通过与地表可燃物、特别是地表枯死可燃物的水分交换影响地表火蔓延。由表 7 可见, 浅层土壤含水率为: 免修复层 > 半免修复层 > 人工单层, 也即免修复层最不利于地表火蔓延, 半免修复层次之, 人工单层最差。

表 7 不同类型防火林带土壤含水率差异

防火林带类型	绝对含水率 %	
	0~20 cm 土层	20~40 cm 土层
免修复层	22.0	22.2
半免修复层	20.4	21.9
人工单层	18.5	19.5

4 小结与讨论

防火林带阻火机理有 3 个层次: 防火树种、结构合理的防火林带及其形成的火环境。枝叶茂盛的树冠能有效阻挡火焰的蔓延, 良好的林带结构易于形成不利于可燃物燃烧的环境^[11]。项目研究表明, 营建具有良好垂直结构的复层防火林带, 减少了林带内可燃物的积累并造就不利于火灾蔓延的特殊环境, 即使在免修、半免修的条件下, 也具有较好的阻火效果。主要是因为免修、半免修复层防火林具有良好的垂直结构, 其衰减光照能力强, 降温效果、保湿能力好, 挡风能力强, 乔木、灌木、草本层和枯枝落叶层以及土壤的含水率均高于人工单层防火林带。

人工单层防火林带林冠层枝叶稠密, 具有较好阻挡树冠火的能力, 但林下稀疏, 草灌层又年年被清

除, 气流经过时必然产生“管道效应”, 速度加快, 易产生“飞火”; 若不年年维修, 枯枝落叶大量积累和其位于山脊干燥通风的特殊环境又使之有利于地表火蔓延, 这也在本项目设置的火场得以验证。因此, 现行全面清理林带草灌木的维护方式需要改进, 应有选择性地保留含水率高的阴性耐火灌木、藤本、草本, 去除含水率低的阳性易燃植被, 定向培育成免修、半免修的防火林带, 以提高其阻隔地表火的能力。

在进行营林设计、伐区设计时, 应统筹考虑免修、半免修复层防火林带的同步建设, 充分利用自然地形的“鸡爪型”沟系, 在保护原有的天然次生林、灌木林的基础上营造或改造防火林带。沟谷两旁湿润的小环境和肥沃的土壤有利于免修、半免修复层防火林带的尽快形成。利用自然地形的“鸡爪型”沟系营造或改造免修、半免修复层防火林带, 应与已有的山脊防火林带形成“闭合圈”, 或与背面山坡的同类防火林带相连接, 并灵活运用免修、半免修、维修等管护技术, 以实现全方位阻火。

由于森林火灾是在开放的系统中进行的, 其燃烧过程是不容易准确控制的^[8], 为确保森林安全, 防火林带实施免修、半免修技术措施应因地制宜, 试验后再推广应用。

参考文献:

- [1] 漆荣, 张家来, 曾祥福, 等. 湖北省生物防火林带模式研究 [J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(1): 80~82
- [2] 刘芳. 浅谈生物防火林带效能及其建设 [J]. 林业勘察设计, 2005(2): 107~109
- [3] 郑焕能. 综合森林防火体系 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1990: 38~39
- [4] 邵占杰. 林其钊, 路长. 防火树种阻火特性的实验研究 [J]. 火灾科学, 2002, 11(4): 222~227
- [5] 黄龙杰. 免修半免修阔叶林复层防火林带建立及效果 [J]. 林业科技开发, 2005, 19(6): 58
- [6] 云南林学院. 气象学 [M]. 北京: 农业出版社, 1979
- [7] 周正. 营林工程师手册 [M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1979: 148
- [8] 陈存及. 森林消防 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1996: 31~34
- [9] (日)消防厅消防课. 地域防灾课. 林野火灾的警防战术 [M]. 霍风, 董斌兴, 徐福岚, 等译. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1992: 121
- [10] 舒立福, 田晓瑞, 李惠凯. 防火林带研究进展 [J]. 林业科学, 1999, 35(4): 80~85
- [11] 舒立福, 田晓瑞, 林其昭. 防火林带的理论与应用 [J]. 东北林业大学学报, 1999, 27(3): 71~75