

澳大利亚森林火灾的管理与火生态的研究

D. M. Chapman (澳大利亚悉尼大学, 悉尼 2006)
高瑞平 (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

【摘要】 澳大利亚是火灾频发的地区, 每年因森林火灾的危害都要造成相当的社会、经济损失及生态环境的破坏, 故火生态的研究及火的管理在澳大利亚的生态学研究一直占有重要地位. 本文主要讨论了澳洲森林大火起燃的物理过程和机制、可燃物的特征、林火的特点、习性及对生态环境的影响和如何控制和减少火灾的危害性, 达到对火进行利用、控制和管理的目的.

关键词 森林火灾 火生态 火管理

Management of forest fire in Australia and fire ecology. D. M. Chapman (*University of Sydney, Australia* 2006), Gao Ruiping (*Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang* 110015). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 1994, 5(4): 409- 414.

Fire disaster occurs frequently in Australia. Each year, several large wildfires break out in forests, and induce severe economic loss and serious ecological impacts. It is therefore very important for ecologists in Australia to research fire ecology and fire management. This paper focuses on the phenomenon of forest fire, characteristics of fuel, fire behaviour and its effect on environment, and ways to control and minimize the hazard of forest fire.

Key words Forest fire, Fire ecology, Fire management.

1 引言

澳大利亚是世界上最大的岛国, 森林起火在澳洲大陆是一种十分常见的生态现象, 特别是在每年的夏季及春末秋初季节, 干热多风的气候常常造成一个长达 3- 5 个月的火灾危险期. 据记载, 这块大陆从古至今都与火有着不解之缘, 过去土著人常根据本身的需要随意放火, 获取猎物, 以致澳洲许多植物种形成一种抗火、耐火的生态特征. 后来, 随着欧洲移民的到来, 放火烧荒, 清理林地等活动, 加之一些无意或天然引发的森林大火, 使这块大陆的火景更为频繁显著. 如何利用火、控制火、管理火成为澳洲生态学家面临的急待解决的一个重要课题.

2 森林火的燃烧过程及特征

森林大火的燃烧与蔓延是一个复杂的火行为过程, 林中木质或草质可燃物受热, 点燃产生燃烧过程. 火蔓延的热传导主要是对流和辐射, 传导对于火的扩散与蔓延并不起主导作用. 可燃物中烃类、脂肪、油、蜡等物质汽化挥发(100- 200), 纤维素受热后分解, 并挥发(> 200), 这些挥发性的物质点燃后形成火焰(300- 400). 一些植物, 特别是桉树属(*Eucalyptus*) 和松属(*Pinus*) 植物常含有丰富的挥发性油和蜡质物质, 比其它植物更易燃烧. 木质素则非常稳定, 遇热形成碳化合物, 在焰燃发生以后, 大多数挥发性的物质已被烧掉, 剩

余的碳化合物进入炽燃阶段. 在林火燃烧过程中, 焰燃总是发生在灼烧之前.

3 可燃物的特征

3.1 可燃物的体积与大小

林火燃烧过程及燃烧特征很大程度上取决于可燃物面积与体积之间的比率关系. 一般来讲, 体积小的可燃物(如草、树叶、树皮及树枝)构成了可燃物中最易燃的部分. 大体积的可燃物(如树干、枝条及未腐的倒木)则较为难燃.

3.2 可燃物排列状态

除了可燃物的体积与大小之外, 它们的空间排列状态也极大地影响着其燃烧特性. 排列紧实的可燃物, 如泥炭, 其燃烧过程非常缓慢. 在澳大利亚东南部干燥的硬叶林中, 易燃物的组成除了与其它森林类型一样有干死的树叶、细小的树枝以外, 还有一些与其它森林类型不同的易燃物, 即从桉树树干上剥落下来的长条的树皮, 这种树皮重量轻, 极易燃, 在澳洲森林火灾中起着非同一般的助火蔓延的关键作用. 在天然松树林中, 林下所积累的许多死亡枝条、针叶和含有树脂的绿色针叶, 常共同构成了可燃烧的最佳状态.

3.3 可燃物的数量

可燃物的数量通常用单位面积可燃物的重量来度量. 目前还无法给出定量描述这一概念的数学公式. 在密林中, 总的地上生物量可能大于 $500\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, 甚至在干燥的硬叶林中, 其地上生物量也可能超过 $250\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, 但其中只有 10–20% 的物质在森林大火中可立即变为可燃物.

森林可燃物的粗积累速度大约在 $1-10\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{年}^{-1}$ 间, 但净积累速度却取决于新的可燃物的生产与枯枝落叶的分解. 新的可燃物的生产很大程度上受气候和天气条件的制约, 取决于土壤微生物及枯枝落

叶层中的微气候. 火后, 常有一个时期枯枝落叶的积累超过了腐烂速度, 然后渐渐地分解和生产的比例达到平衡. 在湿性硬叶林中, 火后这一时期可能需要 5–10 年, 而在干燥硬叶林中, 达到这种平衡至少需要 25–30 年的时间.

3.4 可燃物的水分含量

植物的不同部分水分含量不同, 而枯枝落叶层的水分含量主要取决于天气情况和地面湿度. 枯枝落叶层的水分含量是大气相对湿度的函数. 在美国和欧洲的针叶林中, 针叶中含水分的多少有如下简单公式以示其消长关系.

$$\frac{W}{M} < 1.0$$

式中, W 为针叶中水分的平均含量, M 为针叶的干重.

相对湿度随天气的不同而有很大变化. 一般在最热的天气中最低相对湿度点出现在下午 2–3 点, 最高点出现在凌晨. 当大气相对湿度超过 75%, 枯枝落叶层的湿度保持在 15% 或高于 15% 时, 则认为这个湿度指标是林火燃烧受限的最高点.

3.5 可燃物的能量含量

林中可燃物所释放的热能的多少可用燃烧热指标来度量. 一般林中可燃物的燃烧热可达 $20\,000\text{KJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. 然而, 由于可燃物中水分含量影响其燃烧, 故也极大地影响着森林可燃物热的完全释放, 实际上林中可燃物的燃烧热只能达到 $16\,000\text{KJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

4 林火的特征

林火燃烧过程中释放的热量实际上是火的特征函数. 火强度用来度量燃烧过程中热释放的速率. 运用火强度度量热的释放要比用温度准确, 因为枝条燃烧所达到的温度可与大面积燃烧的林冠火所达到的

温度相等, 但是由林冠火的火焰前端传导到周围环境的热量要明显地快于枝条的导热, 故林冠火可释放更多的热量使火势很快蔓延。另外, 植物的死伤程度也取决于火的强度和吸收热的多少。通常用于估测热强度的公式如下:

$$I = HWR/600$$

式中, I 为热释放强度($\text{KW} \cdot \text{m}^{-1}$), H 为可燃物的释放量($\text{KJ} \cdot \text{kg}^{-1}$), W 为可燃物的多少($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$), R 为火焰移动的速率($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

热释放强度指数(I) 的变化范围受火前锋移动速率变化所制约, 热的释放量(H) 在一定的林型中基本上是个常量。而可燃物的多少(W) 值则根据不同的森林类型其可燃物积累与分解的速度不一样, 故变幅常在 10 倍左右。火焰移动速率(R) 变化范围在 100 倍左右。假设某一缓慢燃烧的火焰($10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), 可燃物为 $10\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, 将产生 $2\,700\text{KW} \cdot \text{m}^{-1}$ 的热量。可控林火(即通过枝条抽打或水龙头喷水方式可灭火)的临界值为 $4\,000\text{KW} \cdot \text{m}^{-1}$; 被控林火的(I) 值至少要降到 $500\text{KW} \cdot \text{m}^{-1}$ 以下。森林大火的强度值预计最高可达 $100\,000\text{KW} \cdot \text{m}^{-1}$ 。实际上(I) 值若达 $60\,000\text{KW} \cdot \text{m}^{-1}$, 就可与 $40\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 的可燃物以每小时超过 3km 的快速移动的火势相当。

森林着火时所形成的热辐射量很大, 其主要作用就是预热和烤干周围的可燃物, 使它们处于随时可燃的状态。热对流过程在很大程度上受燃烧地区的风速、地形、树冠所制约, 所以处于森林上层的可燃物预热后把火迅速传入树冠且预热和烤干纤维性树皮及树枝的这一过程, 主要靠火的热辐射和对流来完成。

风是影响火特征的一个很重要的因素。风可使火焰迅速靠近未燃的易燃物, 并通过辐射加速预热过程, 同时携带和扩散

一些已着燃的枝、叶和树皮, 从而进一步加强了火的传播速度。火势蔓延的速率可通过单位时间内火焰移动的距离来度量, 它几乎是有效风速平方的函数。因为与稀疏的、较高的林冠相比, 在密林下风速减小得更快。

坡度也是一个很有意义的指标, 由于陡坡上的可燃物直接暴露于火的前锋, 故接受到更多的对流和辐射热, 当坡度达 25 时, 大火则形成了垂直的火焰, 火的移动速度在坡度为 10 时明显加倍, 坡度为 20 时达到 4 倍。

大气条件也明显地影响森林火的特征。在稳定的大气条件下, 林火使其周围的大气增温, 而形成了一个从下往上高温对流柱。若大气条件不稳定, 这一对流柱的范围较窄, 如天空中有逆温层存在, 特别是逆温层较低时, 其下部的冷空气可使林火的燃烧过程受抑。但若林火火势很大, 能使其穿透逆温层, 由于逆温层上部的干热空气的存在会加强火势, 产生“火风暴”。

可根据火的强度把林火分成几种情况, 其火的强度主要取决于环境条件与火相互作用力的大小, 其间的关系如图 1 所示。

在澳洲, 根据火的行为和特征, 可将林火分为 3 类: (1) 火强度受环境条件的控制(图 1)。燃烧物主要为林下的枯枝落叶层, 其强度小于 $500\text{KW} \cdot \text{m}^{-1}$, 不产生明显的空气对流柱, 可用常规的灭火方式将这类火扑灭。(2) 火强度受火和环境条件的共同制约。火与环境相互作用较为强烈, 并形成空气对流柱, 火焰高度远远大于宽度。燃烧区域形成一个较大的热源并将周围可燃物迅速预热。利用常规的灭火工具不可能将火扑灭, 需采用特殊的灭火方式, 诸如高压水流及飞机灭火等手段。(3) 火成为控制火强度的主导因素。这一阶段, 周围热气流形

成了热对流柱,并产生火风暴,从桉树树干上剥落下来并点燃了的树皮被对流体携带着高高抛起,并被抛落在距火源很远的地方.这些带火的树皮落地后形成新的火源,并跳跃式蔓延,给灭火人员在判断火的走势和火源时带来很大困难.

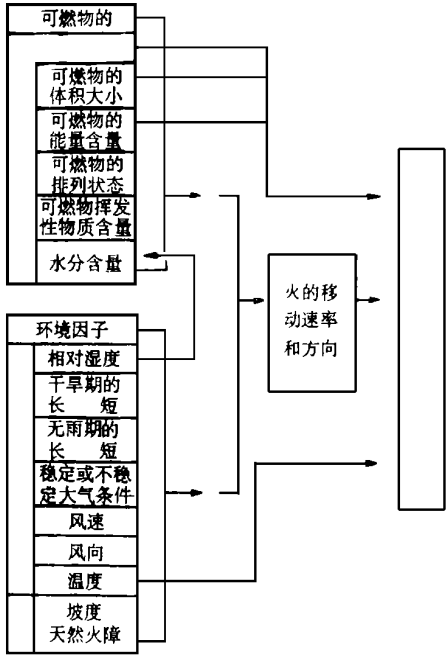


图 1 影响林火强度的主要生态因子
Fig. 1 Main ecological factors affecting forest fire intensity.

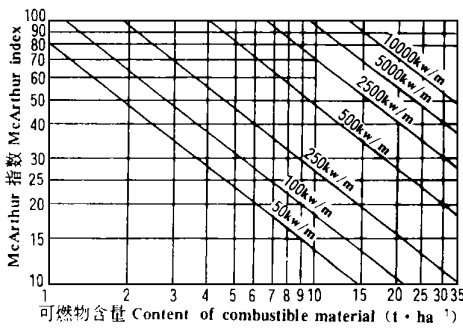


图 2 林火强度与 McArthur 指数关系图
Fig. 2 Relationship between fire intensity and McArthur index.

澳大利亚林学家 McArthur^[4]对影响森林火灾的重要生态因子做了系统研究,并发明了一个“园形转盘尺”(称作 McArthur 米尺),被林火管理人员广泛地用于估测火险程度.这种尺对林火产生影响的气候指标进行综合计算,得出“火险指数”,即 McArthur 指数,利用这一指数和对可燃物量的估计,可在野外迅速预测火的强度及危险程度.其火强度与火危险指数和可燃物量之间的关系见图 2.利用 McArthur 指数估计火强度已被广泛用于美国的森林火灾管理中^[5].

5 森林火灾的影响

森林火灾导致大面积森林的毁坏,使一些受保护动、植物数量剧减,甚至造成一些数量少,分布区域窄的动、植物种灭绝.火的灾害性及严重程度很难通过单一指标来进行描述.我们主要从生态系统、地理系统、大气系统、火灾管理系统和人类社会系统 5 方面进行考虑.对于生态系统来讲,火的灾害性的评估必须着眼于系统受损的程度,诸如植物、动物和土壤微生物的影响及死伤的数量,珍稀濒危植物和动物受损情况等.对地理系统来讲,应考虑物质的流失情况,如土壤养分的损失,迳流增加的次数及土壤侵蚀程度的大小等.大气系统则应考虑火后释放的物质对大气的影 响,如碳粒的数量,有毒有害气体量,温室气体量等.在火灾管理系统中则重点考虑动用的人力、物力和各种灭火设备的情况等.在社会系统中,则要考虑火灾引起的损失情况,诸如房屋被毁的数量,人员死伤数及造成的经济损失.澳大利亚新南维尔士州从 1982- 1992 年火灾次数及经济损失见表 1.从表 1 可见,仅就新南维尔士州,每年因森林火灾造成的损失平均达 6840 万澳元.

6 林火的管理

众所周知, 燃烧至少需要具备 3 个条件, 即氧气、可燃物及点燃物, 可称其为“火表 1 新南维尔士州森林火灾次数及损失一览表 (1982 - 1992)

Table 1 Impact of bushfires in New South Wales (1982 - 1992)

年 分 Year	火灾次数 Number of fires	被烧面积 Area burned (ha)	经济损失 (澳元, 百万) Damage (\$m Dollars)
1982- 1983	7899	447400	104. 1
1983- 1984	2640	20954	15. 2
1984- 1985	6294	272000	86. 3
1985- 1986	5126	128548	36. 3
1986- 1987	10158	457679	90. 1
1987- 1988	6593	209642	58. 0
1988- 1989	5197	119942	38. 6
1989- 1990	9203	294413	65. 5
1990- 1991	9090	768400	113. 4
1991- 1992	11605	500400	76. 3
平均 Mean	7380	322000	68. 4

资料来源: 新南维尔士州森林火灾管理委员会.
From Annual reports , New South Wales Dept. of
Bushfires Services.

三角”规则. 在森林大火中, 截断供氧源是不可能的, 故对森林火灾的控制只能通过减少火源或在易发生火灾的地区减少可燃物这两个途径来实现. 人为火灾虽然可通过宣传、教育、普及火灾知识及罚款等措施来管理, 但事实上人的行为是很难控制的. 为了达到后一个目的, 人们采取放火烧掉林下积累的枝条落叶, 以减少大的森林火灾的发生, 在新南维尔士州的蓝山就是采用这种方法来减少火灾的^[3]. 但这种火要严格地控制在一定的强度和条件之下, 实施前一定要综合考虑可燃物周围的气候、地形等各种因素, 使火的燃烧强度控制在即满足烧掉多余积累的易燃物, 又不至于造成任何经济损失的范围内. 虽然有些人反对这种做法, 但事实上若任其森林处于自然状态, 时间越长, 则意味着林中积累着更多的枯枝落叶(易燃物), 同时也意味着

有朝一日森林火灾的爆发, 特别是在干旱季节, 尤为危险. Chapman^[2] 计算得出, 一场森林大火所释放的能量其级别远远大于一个百万吨级的原子弹所释放的能量. 为了减少森林大火的危害性, 这种定期火烧的方法不失为一种控制火灾的好方法. 据研究, 减少 50% 的可燃物可减少 50% 的火扩散速率, 更重要的是减少了 75% 的火强度.

在过去几十年中, 定期放火清除林下可燃物的办法曾被广泛地用在森林火灾的管理中, 有效地控制和减少了火灾的危害性, 对成年桉树也不会产生太大的影响, 但对其它个别植物种所产生的影响, 目前还不是十分清楚, 特别是从生态学的角度来考虑火的影响. 有人研究并注意到, 林中灌木层受影响更甚, 因为它的生长至少需要有几年的无火期来达到性成熟和结实以繁衍下一代, 但如果人工控制的林下燃烧期太短, 频率太高的话, 这些灌木种甚至都没有时间达到性成熟. 这种方式所带来的另一个问题是植被矿质元素的损失. 此外, 动物区系的恢复也是一个很大的问题, 有些动物很可能由于频繁的火烧而无处栖息, 以致在某些地区永久地消失. 当然也有人认为, 这样的方法并不会带来严重的生态后果, 澳大利亚的森林树种组成中, 除了桉树是耐火树种外, 仍有一大批树种和灌木种具有耐火特性. 对动物群落来说, 燃烧速度慢, 强度小, 面积控制在一定范围的火给动物提供了逃避到其它区域的时间和机会, 比起突然发生的大的森林火灾来, 显然更有利于动物的生存. 关于频繁火烧所造成的养分流失究竟比一次大火迅速的养分释放造成的养分流失大或小的问题目前尚在研究中. 所以如何利用火、控制火、管理火使社会与自然系统之间均达到和谐的状态, 仍需生态学家做长期的工作.

对于火的监测已有很多行之有效的办法. 最基本的方法是采用建立监测塔的目测法, 如果在两处同时观察到森林某处着火, 则可通过三角测量定位法将其定位. 然而对大面积的森林来说, 主要是通过分片管理的方式, 澳洲专职管理火的人员很少, 故火灾管理委员会在很大程度上是依赖居民及公众对发生火灾的报告. 特别是飞行员, 他们是灾情发生很重要的报告人. 近年来随着技术的发展, 遥感技术已用于火监测系统中, 将热扫描系统安装在飞机上, 其系统可通过林中的浓烟迅速而准确地定位森林起火部位, 并确定林火的前锋及火移动方向, 然后绘出火势移动图, 用 Fax 将图传到救火指挥中心, 决策和指挥人员可迅速调遣消防灭火人员和车辆, 使其可准确地到达火场, 快速灭火.

计算机的普及和发展使森林火灾的监测和管理水平更科学化、现代化. 特别是专家系统和仿真模型已越来越多地运用于森林火灾的管理过程中. 在澳洲人们比较熟悉的模型有 FIREMAP 和 ASH FRIDAY 及 Wallace^[6]. Wallace 的模型主要是以气候因子作为参数和变量, 根据气候条件的变化来模拟火灾发生的可能性及特征. FIREMAP 将预测模型与地理信息系统 (GIS) 结合在一起, 根据环境及气候条件的变化, 以一定的时间步长来模拟火的发展过程, 其输出形式即可以是数据, 又可以是数字化了的火势动态图, 这使管理人员可通过图直观地了解掌握火的动态、特征, 使得火灾控制和管理的工作更迅速、准确, ASH FRIDAY 是 Chapman 根据多年对澳洲火的特征、习性研究的基础上所建立的一个林火发展动态预测、模拟模型. 主要参数有各类气候因子(从各地气象局的气候数据库中提取), 植被特征, 生物量的积累

速度, 可燃物的多少等. 火的发展过程和速度则决定于上述参数以及灭火人员行动的有效程度, 模拟时间是以每秒钟为单位进行计算, 计算机的屏幕上可随时观察到火的动态, 若需要的话, 随时可联机打印得到灾情发展动态图.

7 结 论

澳洲是一个森林火灾频发的大陆, 长期以来火成为塑造这块大陆动、植物区系的重要生态因子, 也给人类社会带来了极大的影响. 通过多年生态学家研究和努力, 现已对火的习性、特征及森林火灾发生、蔓延的过程有了较清晰的认识, 并已逐步发展和掌握了一套控制火、管理火的有效办法, 但对火管理的方式和方法仍需做进一步的深入研究和探讨, 以期对火的管理方式达到既有利于人类社会系统又不损害环境生态系统的目的, 最终实现人类社会和自然社会协调共处的平衡状态.

参考文献

- [1] Bradshaw, D. Deeming, L. S., Bragan, J. E., et al. 1983. The 1978 National Fire-Danger Rating System: technical documentation. USDA Forest Service, General Technical Report INT-69, 44 pp.
- [2] Chapman, D. M. 1992. ASHFRIDAY A bush-fire management simulation model. Software program (121K) and documentation (36pp.), published by Environmental Education Unit, University of Sydney.
- [3] Cunningham, C. J. 1984. Recurring natural fire hazards: a case study of the Blue Mountains, New South Wales, Australia. *Applied Geography*, 4: 5-57.
- [4] Luke, R. H. and McArthur, A. G. 1986. Bush-fires in Australia. Canberra, Department of Primary Industry/CSIRO Division of Forest Research.
- [5] Rothermel, R. C. 1993. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service Research Paper INT-115, 40 pp.
- [6] Wallace, G. 1993. A numerical fire simulation model. *Int. J. Wildland Fire*, 3: 111-116.