

論述

森林防火線之探討-生物化防火林帶

盧守謙¹ 呂金誠²

【摘要】 本文旨在探討森林防火線之研究發展與設置防火林帶之效益性。從各國近 30 年來之研究來看，生土帶防火線之研究已趨減少，傳統之生土帶防火技術逐漸被生物化防火林帶所取代。防火林帶阻火機制可分三個層次：防火之樹種、結構與配置合理之林帶，及其形成之火熱環境。樹葉茂盛之樹冠能有效阻擋火焰之蔓延，而結構良好之林帶則能形成不利於可燃物火燒之環境；因而達到阻止森林火災蔓延、林分與森林多樣化與物種之維護、森林害蟲與疾病擴展防制，以及有利於國土保安、水資源保存、木材供給與非木材森林產品之保護等。此外，它更密切地結合林火控制與造林措施，以這種方式，被動的火災搶救已經轉變為火災的早期預防，並藉由適當植被與維護，取代傳統之火災搶救技術。亦即，生物化林帶效益是將社會性利益、生態性利益與經濟性之利益作緊密連結。臺灣係處於低緯度亞熱帶之海島型國家，氣候濕度高有利於防火林帶效果之發揮，此或為往後以天然方式來控制森林火災發展之考量方向。

【關鍵字】 防火線、生物化防火林帶、耐火樹種、抗火性

Review

Exploration on the Forest Firebreaks-Biological Fire-Retarding Forest Belts

Sohu-Chien Lu¹ King-Cherng Lu²

【Abstract】 The paper states the development of the firebreak research and the benefit on biological fire-retarding forest belts. Carrying on the study for soil belts to have tended the decrease from all countries at recently for 30 years, the soil belts of the tradition brings the technique of fire prevention was gradually turned the biological forest belts to replace. The mechanism of fire retarding forest belts lays three levels. These are fire-retarding tree species, fire-retarding forest belts with rational structure and its fire environment. The crown with flourishes branches and leaves can effectively stop fire spreading. The fire-retarding forest belts with rational structure can easily from the environment, which is unfavorable to fuel burning. In fact, the establishment of retardant species firebreak will effectively prevent the spread of

1. 臺中縣消防局第二大隊副大隊長，通訊作者
The Second Battalion, Deputy Battalion Chief, Tai-chung County Fire Department., Corresponding author.
2. 國立中興大學森林學系教授
Professor, Department of Forestry, NCHU.

forest fire, contribute to the improvement of forest species and stand, prevent the expansion of forest insects and disease. Besides, it closely combines forest fire control together with afforestation, in this way, passive defense has been turned into early prevention, properly planted and maintained they will replace traditional fire suppression technologies. That is advantage is that it closely combines social benefits, ecological benefits and economic benefits together. In Taiwan is placed in the subtropics island of low latitude, and the high humidity of the weather is benefit to biological forest belts to resist the fire spread. This is probably the direction of the development to control the forest fire with natural way in the future.

【Key words】 Firebreak, biological fire-retarding forest belts, fire retardance tree species, fire resistance.

一、前言

世界各國對森林火災之控制能力雖已大幅提升，然當大火燃燒達一定程度時，以目前之科技仍無法予以立即撲滅。為防止大火蔓延擴張，各先進國家均紛紛探討新方向與途徑，而防火林帶即是其中之一。早於 1960 年代，前蘇聯與東歐一些國家即選擇抗火性植物與樹種，提出防火林帶建置工作；1970 年代中國大陸等國家提出以闊葉防火林帶來取代森林防火線，隨即展開大規模實施工作；1980 年代為控制森林火災之擴展與蔓延問題，歐洲南部與美國加州等地區，亦大力種植耐火性林帶來對抗火勢；至 1990 年代時日本等國家已普遍推廣防火林帶應用於林野火災與都市防火措施上。由此可見，各國對生物防火林帶之重視與推廣應用。

以生物化防火林帶做為森林防火線，不僅得阻隔可燃物之連續性，在森林保護上亦可改變林相結構之耐火能力、防止林火漫延之危害，從而達到減少與控制森林火災之目標；此亦即本文所欲探討之課題，並祈各界先進不吝指正。

二、森林防火線

通常森林防火線是在林緣或林內開設一定寬度之帶狀空地，來隔絕樹冠火與地表火之蔓延，並作為森林火災搶救時人員佈署之動線，或作為引火回燒 (back fire) 之活動據點；此

種防火線，即為各國最早所採用之森林防火措施。

(一) 生土帶防火線

生土帶防火線是森林早期使用之防火隔離帶，近年來隨著各先進國家在生物防火技術上之發展，其應用已有逐漸減少之趨勢，因而各國對生土帶之研究亦相對減少。Noble 在西伯利亞研究森林防火線時，指出生土帶有效防火寬度之計算，可由風速、可燃物濕度、可燃物密度與草本高度等因素來作決定，如在無林地、草本高度低於 15 cm 時，生土帶寬度應為 2 cm 以上，始能有效阻止火勢蔓延；草本高度在 15~30 cm 時，生土帶有效寬度應為 2.8 cm 以上；又草本高度在 30~50 cm 時，生土帶有效寬度應為 4.2 cm (Noble, 1971)。而日本東京消防廳亦指出，生土帶防火線開闢寬度原則上以樹高 2 倍或草高 10 倍以上為基準 (日本火災學會編，1996)。後 Noble (1971) 以貝加爾湖東部林區實際進行測試，指出林緣周界之生土帶防火線理想寬度，至少應在 2 m 以上才能達到阻止外緣草原火之侵入蔓延。此外，在生土帶防火線研究上，Gorbunov *et al.* (1974) 對幼林地區之防火設計中，提出在每 10~50 ha 林區面積上以生土帶來作分割，來阻止大火擴張。Noste *et al.* (1983) 指出，無論是利用手工工具或爆破方法建立之防火線，對生土帶植被之恢復能力不會產生負面影響。

在生土帶防火線開設方面，美國阿拉斯加

是使用堆土機 (bulldozer)，並結合阻燃劑或水噴灑，來加強防火線之阻火效果。在加利福尼亞洲是使用牽引機 (tractors)，假設在高火燒強度的情況下，同時使用兩輛牽引機作平行開設。Sutton (1982) 指出，使用輕型炸藥之爆破方法來開闢生土帶防火線，是一種快速簡捷且低成本之有效方法。在前蘇聯許多林區，大部分以犁車來建立生土帶，對於森林地表火亦利用犁車來進行翻土壓滅火勢。此外，東京消防廳整理相關研究資料指出，生土帶防火線應用種類有：1. 皆伐防火線；2. 土堤防火線；3. 犁除防火線；4. 溝壕防火線；5. 燒除防火線；6. 耕作防火線；7. 上述任一組合防火線 (東京消防廳，1994)。

(二) 生物帶防火線

從近幾十年防火線之發展而言，生土帶防火線暴露了諸多缺失，如水土流失嚴重、維護困難及經濟成本高等負面情況，使生物化防火線之推廣越來越受到重視，特別是建築物或住宅紛紛興建於林地周遭位置，對此一問題之研究更加深入。1970 年代，Jolly (1968) 在紐西蘭之森林防火線上種植三葉苜蓿 (*Medicago sativa*)，研究指出其可達到防火效果又同時具有重複採伐之經濟收入。Nicholson (1991) 種植多年生有根莖之草本植物 *Vetiveria zizanioides* 於防火線上，來防止生土帶之水土流失，由於此種植物僅生長7個月就能形成濃密之植被層，且具有強抗火性之功能，所以不僅具有防火效果又能達到水土保持之作用；且其不會受到草食動物之啃食危害，防火線日後幾乎不須再進行人工維持之工作。Etienne *et al.* (1989) 在 1981 至 1987 年對 Esterel 林區防火線之維護與羊群放牧管理進行研究，評估年降水量與可食草料之季節變化等因素，如果單純以施肥方式並不能提高草料之產量，但在防火線上種植車軸草 (*Trifolium subterraneum*)、鴨茅 (*Dactylis glomerata*)、羊茅 (*Festuca spp.*)、

金雀兒 (*Cytisus triflorus*) 等四種草本植物後，特別是金雀兒可供作春季飼料，藉由如此措施不僅可提高畜牧產量，亦可達到防火線之維護目的。

Pardini *et al.* (1993) 在其相關研究中指出，以車軸草 (*Trifolium subterraneum cv. Woogenellup, T. brachycinum*) 種植在 20 m 寬之防火線上，並結合放牧作為防火線之維護；其後又在 Tuscan Maremma 地區之林地上利用種植耐火之苜蓿來減少易燃物，作為防火隔離帶與土壤流失防治之一項措施。Masson (Pardini *et al.*, 1995) 認為利用車軸草不但可供放牧及保護環境，並阻止地中海區域之森林火災蔓延及防止土壤之流失作用。後來 Pardini *et al.* (1995) 等人於 1990 至 1994 年於 Casamora 區域栽培 10 個車軸草品種與澳大利亞 6 個相關品種，進行適應性之觀察研究，確定了適宜牧場播種之品種與葡萄園之綠肥選用品種，並提出了燃燒性低之矮莖品種非常適宜在防火線上推廣種植。中國大陸亦進行類此相關研究，如肖功武等人 (1996) 以具有阻火與滯燃作用之白三葉草 (*Trifolium repens*) 作樣本研究，結果指出白三葉草是非常適宜選作防火帶上之草本植物。

三、防火線維護

因防火線在森林保護中仍是一項非常重要之措施，故經長期之發展，各國對其開設與維護方法之應用上亦不斷改善，相關之研究與管理亦一直未嘗間斷。

(一) 利用放牧維護

自 1980 年代以來，農林業之研究與發展具有長足之進步，對於防火線維護措施上，一些歐美國家相繼提出利用放牧來作管理，如 Esplin 在 1980 年時提出利用山羊維持 Los Padres 林地之防火線，因山羊可以吃掉 80 % 之灌木、70 % 之一年生草本與 50 % 多年生草

本，於櫟樹 (*Quercus dumosa*)、下田菊 (*Adenostoma fasciculatum*) 之立地上最易實施放牧 (Esplin, 1980)。Etienne 與 Pardini 分別於 1989 年與 1993 時之研究中，皆提出防火線上種植車軸草，來結合放牧以維持防火線之防火效果 (Pardini *et al.*, 1995)。Delabrazze 於 1990 年時提出林牧業相結合之基本型式：即 1.鄰近農場之林區放牧；2.林區內農場之牧畜飼養；3.季節性林區放牧，指出防火線或採伐地上放牧是一種重要之森林防火措施 (Delabrazze *et al.*, 1992)。

Pardini 於 1994 年時對 Casamora 森林區防火線上，進行放牧與可燃物之關係研究，結果指出倘若不進行人工管理之防火線，地表可燃物之累積量年平均達 2.2 ton/ha，且草本層高度為 45 cm，火災潛在危險性最高；若進行放牧管理之防火線可燃物之累積量年平均則為 1.9 ton/ha，火災潛在危險性亦高；而若防火線上以人工種植苜蓿，不進行放牧管理可燃物之累積量年平均 1.5 ton/ha，草本層最高高度為 25cm，然若又進行放牧管理，則可燃物之累積量年平均僅有 0.3 ton/ha，草本層高度為 10 cm，大幅降低了火災潛在危險性。換言之，在防火線上種植苜蓿並結合放牧，可以大幅減低火災危險性與兼顧防治土壤流失之作用 (Pardini *et al.*, 1995)。此外，Taylor 亦提出以放牧山羊可作為防火線上灌木與細小可燃物種之管理工具 (Taylor, 1994)。

(二) 利用除草劑維護

迄今，除草劑之應用已提高防火線之防火效能並大幅降低其維護之成本。在歐美國家經由不斷研究，確定出不同群落與地區植被相適合之除草劑類型，如 Silva (Taylor, 1994) 於 1969 年指出，陡坡上易燃草本植物之地表火潛在危險性，可藉由選擇性除草劑 (如 Dowpon S) 作最適林地之化學處理，不僅利於雙子葉植物之發展，亦可防止大黍

(*Panicum maximum*) 之侵入；此外，Dowpon S 除草劑亦可應用於荒地、大黍地與灌木生長之坡地上。Delabrazze 於 1971 年時在地中海林區之防火線 (30~100 m寬) 上，連續二年之春季使用 2-4-D 除草劑，而秋季使用 2-4-5-T 結果顯示，五年觀察期間皆沒有發生火災蔓延現象 (Delabrazze *et al.*, 1992)。Garcia 等人 1976 年時在 Portugal 北部地區，選擇冬末初春之濕潤天氣條件下用 8 kg/ha Ustilan 除草劑噴灑於防火線上，結果 3 年後無草本再生現象 (Delabrazze *et al.*, 1992)。

Delabrazze 於 1978 年，於春季應用不同除草劑噴灑來減少易燃性之草本植物與一些木本樹種 (特別是柑桔屬)，降低火災潛在危險性後；結果指出以 4 kg/ha 黃草靈可有效控制歐洲蕨，2 kg/ha 草甘磷 (glyphosate) 可全面控制或消滅已發育之草本植物，而木本植物以黃草靈來控制處理更為有效 (Delabrazze *et al.*, 1992)。Pakotomanampison 於 1978 年時對 9 種除草劑之除草效果進行效能比較，結果指出最為有效是 GS29696 (thiazafluron)，用量為每公頃為 8 kg，有效期可達到 30 個月之久 (Delabrazze *et al.*, 1992)。

Dodeld 等人 (Mortenson, 1984) 於 1981 年時對地中海地區防火線上鐵橡櫟之侵入作觀察研究，利用 7.2 kg/ha 之 Fosamine 除草劑即可控制其蔓延，亦可清理其他草本植物；研究中並指出噴灑處理最佳時間是在秋季第一場雨後來作實施。在 Marechal 於 1983 年之研究中 (Mortenson, 1984)，分別以每公頃施用 ethidimuron 7kg、tebuthiuron 6 kg 與 thiazafluron 1kg 之不同除草劑來作為防火線之維護工作，於 4 年觀察期後指出 thiazafluron 最適合用來清除易燃植被層之除草劑；後 Marechal 又提出以每公頃施予 6 kg tyriclopyr 除草劑對 *Cistus* spp. 植物相當有效，而 2-4-5-T 除草劑適合清除柑桔屬樹種，且一年

中處理效果最佳時間應是在春季時。

Mortenson 於 1983 年提出防火線管理，認為應該利用適當除草劑來控制草本、灌木及其他一些樹種，並結合其他措施來進行綜合性管理，包括病蟲害管理、計畫燒除 (prescribed burning)、機械或人工採伐與放牧，來控制易燃性植物之生長與入侵，如桉樹 (Eucalyptus)、金雀兒 (Cytisus monspessulanus) 等 (Mortenson, 1984)。Suharti (1989) 之研究則指出，對阿拉伯金合歡 (Acacia arabica) 防火林帶內，利用苯撐藍除草劑來清理林下雜草之費用僅為人工清理成本的 0.26 倍。Davison (1996) 指出，在森林可燃物管理項目中提出利用除草劑、機械控制、計畫燒除與放牧等綜合措施，來降低林地火災潛在危險性，是一種相當有效方法。

(三) 控制焚燒維護

森林中每年之凋落物因不能完全腐化，導致地表枯落物之飛散與累積，而可燃物質積累愈厚，釀成森林大火之潛在危險性亦相對提高。自 1970 年代以來，各林業發達國家已普遍開始應用控制焚燒 (prescribed burning) 工作，如美國、加拿大、澳大利亞等，每年於林區實施控制焚燒之面積皆達 100 ha 以上 (Caljouw *et al.*, 1996; Kwilosz *et al.*, 1999)。

1. 控制焚燒理論基礎

控制焚燒是在一定地形、氣候、土壤濕度等條件下，巧妙地用火燒除多餘可燃物，將燃燒連續行為限制在特定之區域內，於一定時間內產生合適之熱量強度與蔓延速度，為防火、育林、野生動物管理、放牧與減少病蟲害等多重目標管理上常用之一種方式，具有某些預期之效果。一般而言，控制焚燒在林地管理中之應用極廣，如：消除林床不必要燃料負載量、提高家畜與野生動物放牧價值、防治病蟲害、減少火災所造成之水土流失、保護野生動植物、提高林區景觀度等；在育林工作上，則包括立地準備、競爭植被之控制、林分改造恢復

與保護自然生態系統等。

2. 控制焚燒種類與方法

在一定條件下進行適當之控制焚燒，對林木而言有其正面效益。一般實施時是選擇在溫度、風速、風向、濕度、植物含水量等適宜之季節與時間內進行，在嚴格控制之下展開。其種類對象有(1)林內火燒：林內計劃火燒是指在不傷害目的樹種之前提下，以低能量火燒緩慢釋放林內多餘能量。此種技術主要應用於有厚保護性樹皮、樹冠耐輕度灼傷之樹林；(2)茂盛荒草火燒：對於不必要之荒草進行燃燒，因其秋冬季時形成枯草時具有易燃性特強，常成為林火侵入或蔓延之通道。此項措施必須限制在某種範圍內進行，以避免破壞生態系統之平衡；(3)火燒防火線：火燒防火線是一種低成本高效益之維護或預防火災方法，如對道路兩旁、林緣或林內防火線之陽性雜草進行低強度燃燒予以清理，一般選擇在春、秋季來進行。

3. 控制焚燒條件

根據可燃物狀況與林火環境特點來選擇用火時機與技術，確保火燒之低強度燃燒行為。實施前須作全面評估，調查燃料負載量、林木生長狀況、地形、風速與濕度等條件下來安全進行。一般可利用雨後且大氣穩定時，在細小燃料含水量高之情況下來進行低強度之燃燒行為。

四、生物化防火林帶之機制

(一) 生物林帶對熱環境之因應

對於耐火林帶之防火效果，在此有二個重要名詞須先作探討，亦即1.耐火力，指樹木能耐火多少之程度；2.遮熱力，則指樹木能遮斷多少熱之程度。

林帶區域內之樹木，在防火上為能有效維持，必須具有耐火之程度，而耐火力係指樹木能維持其形狀，在能忍受火熱環境下而不致燒死之程度。然為達此一結果，樹木必須能發揮遮熱力以達成具有所謂遮蔽物之效果；圖 1 所

示為樹木受到熱環境壓力下之對應（日本火災學會編，1996）：

1. 耐火力：亦即難燃之程度

林帶區域內樹木受到外圍火熱之影響下，初期主要為樹木周圍位置或樹冠層（canopies），從受熱方向之葉面開始發生變化。當受到熱輻射作用時，為防止葉面溫度上昇，樹木內部會持續進行汽化熱之轉變過程，亦即放出樹葉中之水分與蒸氣。而由層層重複葉片組合之樹冠層中，亦能扮演著防止熱浸透之角色作用。而樹葉即藉由水分轉

移之冷卻，來抑制葉溫之上昇作用；然當一旦受熱量增大，致受熱與放熱之平衡機構喪失，葉溫即會逐漸往上升高。

基本上，樹葉在熱環境下因而吸收之熱量 Q_R ，可以下式求得：

$$Q_R = Q_L + Q_S + Q_M + Q_H$$

式中， Q_R 係葉面直接受到火熱所得之純受熱量； Q_L 係從葉面受熱環境經由水分蒸發作用所需之潛熱傳達量； Q_S 係葉面因受熱環境從周邊空間放射出熱量之顯熱傳達量； Q_M 係葉面因受熱環境所吸收熱量比放射熱量

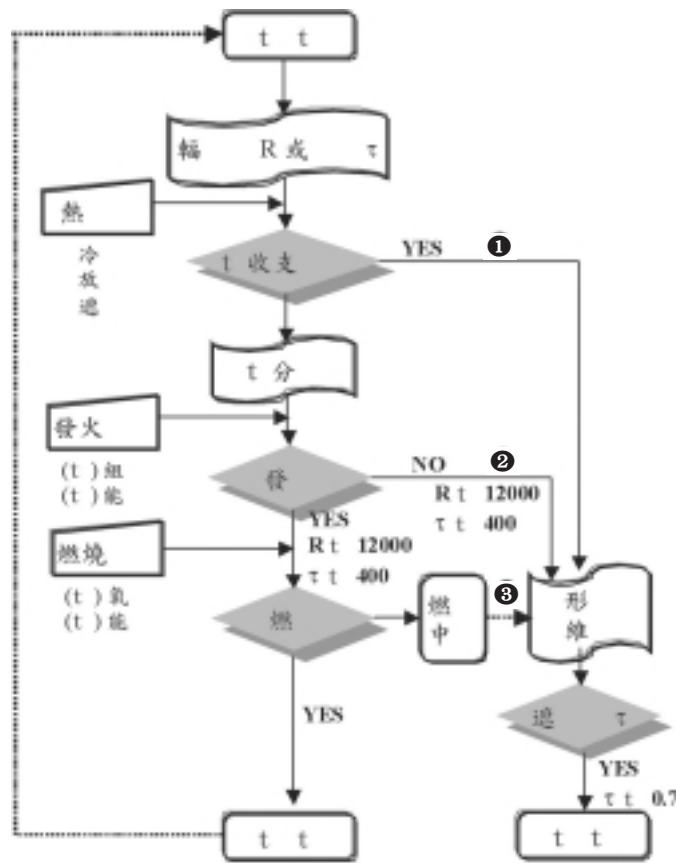


圖 1. 樹木在熱環境下之因應（資料來源：日本火災學會）

Fig. 1. The tree under hot environment changes (From: Japan Association for Fire Science and Engineering)

多而蓄積之儲存熱。在一般定常狀態下 $Q_M = 0$ ；而 Q_H 係植物代謝所須使用之熱量，亦可將之予以忽略。

進一步而言，在熱環境下樹木之 Q_R 會增大， Q_L 與 Q_S 在增加持續狀態下，葉中之水分即呈現一定之限界值存在。依日本類似實驗指出，從樹根部彼此間所吸收水分來補充葉面，所產生之冷卻機能，是來不及趕上因葉層熱蒸散而喪失之水分量；又熱放射量亦因受熱量多而無法得到熱平衡，所以在此情況下， Q_R 與 $(Q_L + Q_S)$ 間的熱平衡機構喪失，使 Q_M 因而增加，如此葉面所得到之結果即是溫度持續上昇，當其達到一定溫度時，即開始進行所謂“熱裂解”作用（pyrolysis）。熱裂解進行中開始生成木瓦斯（可燃性氣體）與殘渣，一旦達到完整之發火條件時，即出現發火現象。此後如復能滿足其燃燒條件時，則形成燃燒態樣。亦即，樹木在熱環境下對於發火與燃燒之二種條件皆能滿足時，則呈現出葉面之有焰燃燒狀態，此時在防火上已無效果可言。

換言之，林帶樹木之葉面在持續受到熱環境之影響，而形成燃燒狀況，此時樹木是否能維持其形狀，則寄望於樹木之遮熱力程度，來防止葉面燃燒傳熱至周圍所進行之熱浸透能力；以下特以圖 1 之①至③來作進一步說明樹木形狀維持之機制。

A. 在圖中①情況中，林帶樹木在受熱環境下，其熱收支之平衡機制並沒有瓦解，因葉溫沒有持續昇高，故尚未進行所謂熱裂解作用，亦無發火燃燒情況，而呈現一種有效之形狀維持機制。

B. 在圖中②情況中，林帶樹木在受熱環境下其熱收支之平衡機制已瓦解，葉溫持續昇高情況下，而進行熱裂解作用，但尚未達到完整之發火條件，所以沒有形成發火現象；此現象之可能原因，主要是外界風力吹動葉面晃動，導致熱裂解所生成之可燃性氣體擴散掉，而無法達到其一定條件所致。通常，物質是否形成

發火現象主要取決於熱能量條件所左右，如以耐火力最弱之針葉樹而言，其輻射熱（ R ）通常亦須達到 $12,000 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ 與溫度（ θ ）達到 400°C 才足以達到發火之程度，如果低於如此能量值，樹木仍能維持其一定形狀。②與①之主要不同點，可能在於各樹種葉生理性狀之屬性差異所致。

C. 在圖中③情況中，樹木在受熱環境下，其熱收支之平衡機制瓦解，葉溫持續昇高情況下，而進行熱裂解作用，並達到完整之發火條件，而形成發火現象，但所形成之燃燒條件並沒有達到完整，致燃燒連鎖反應因而自行中斷現象。以燃燒條件而言，通常即使氧氣供應足夠，但受到能量供給並未充分，則雖在葉表層已達到發火之程度而亦產生燃燒現象，但因沒有達到所需之能量來供給下層樹葉燃燒，此可能是表層葉燃燒，輻射熱受到次層葉之遮蔽作用，而使能量傳遞受到遮斷所致，此即為樹木之熱防制機能表現。這種燃燒反應中斷現象，一般僅在樹葉上呈現出小規模範圍有焰燃燒，所以能維持有效之樹木形狀。

2. 遮熱力：亦即熱難浸透之程度

以遮熱力之評價而言，通常指樹木在受熱環境下，能耐高熱狀態而不致燒死，仍能維持一定有效形狀之現象。亦即，林帶之樹木能遮斷高熱往周圍傳輸熱浸透之力，如此與樹木或樹葉間所形成之間隔空隙比率（空隙率）有密切關係。其空隙率通常表示如下：

$$\text{空隙率} = \frac{\{\text{樹木範圍} - (\text{樹冠面積} + \text{枝幹面積} - \text{枝下面積})\}}{\text{樹木範圍}}$$

式中，樹木範圍 = 樹木高度 × 樹葉層寬度。而葉子交錯重疊所成形之樹冠面積中常有多處空隙，此一空隙值在各不同樹種間亦因而迥異，所以樹冠面積必須依不同樹種之葉密度來作係數補正。而枝幹立面上之空隙率在各樹種間差異性則極小，然而枝下部分之空隙率較大，在求其枝下比（指枝下高度與樹木全高之比值）時，有必要作空間之係數補正，故在評

估樹木防火上之有效性上，必須依據空隙率大小來作探討。

(二) 生物林帶耐火之限界值

對耐燃樹木作為森林防火線或是都市防火應用上之有效性而言，前述之形狀維持是最基本之必要條件；然這並不意味樹木不會燃燒，而是視其受輻射熱或溫度大小與樹木耐火力程度，來決定樹木是否出現燃燒、不燃燒或燃燒反應自行中斷之現象。

基本上，樹木在熱環境下，尤其樹葉之受熱面因持續受到高熱而變色，同時從葉內部出現激烈的熱裂解氣體後，發生葉面曲折捲縮變形現象，變形過程中經歷生物階段變化而最後整個變為黑色；此時假如受熱度超過樹木耐火限界值將形成發火現象；反之，如果在限界值以下樹葉將產生焦黑再轉為白色化，有時則焦黑後產生龜裂或捲擠成一團之不發火現象。

一般而言，在輻射熱(R)在 20,000 kcal/m²h 或溫度 (θ) 在 500°C 值左右之溫度，為發火之臨界紅點 (Red Spot) 並會持續擴大至葉全面，而出現出一種無焰發火現象，這種發火沒有出現有焰現象，為樹木防火上極為重要之條件，如常綠闊葉樹中之珊瑚樹 (Viburnum

awabuki) 即是一種值得推薦之有效防火樹種。

當評價樹木之耐火力值，依據日本實驗得到各樹種對輻射熱之耐火限界值，如表 1 所示。

圖 2 表示常綠闊葉樹種之發火時間與受熱量之關係；圖中上半部係發火之危險區域，圖中下半部則表示安全區域；換言之，依日本實驗指出常綠闊葉樹種處於輻射熱 13,450 kcal/m²h 以下環境時，無論經過多少時間亦不會出現發火燃燒現象，此即為常綠闊葉樹種之耐火限界值。而其發火時間與輻射受熱量之關係式可依上述實驗表示以下：

$$t_E = 88.13 - 33.71 \ln (R - 13.45)$$

式中， t_E 為常綠闊葉樹種之發火時間 (秒)， \ln 為自然對數值， R 為輻射受熱量 (1/10 kcal/m²h)。

圖 3 與圖 4 則表示落葉闊葉樹種與針葉樹種之發火時間與受熱量之關係，其中圖3之關係式為：

$$t_F = 50.53 - 19.48 \ln (R - 13.93)$$

式中， t_F 為落葉闊葉樹之發火時間 (秒)， \ln 為自然對數值， R 為輻射受熱量(1/10 kcal/m²h)。而圖 4 之關係式則為：

表 1. 樹種別之耐火限界值 (單位：1,000kcal/m²h) (資料來源：日本火災學會)

Table 1. The critical value of fire-retarding value in different tree species (Unit:1000 kcal/m²h)
(From: Japan Association for Fire Science and Engineering)

常綠闊葉樹種		落葉闊葉樹種		針葉樹種			
樹木名	耐火限界值	樹木名	耐火限界值	樹木名	耐火限界值		
海桐	14.9	樟樹	13.7	枹欒	15.0	羅漢松	16.1
全緣冬青	14.9	日本桃葉珊瑚	13.7	銀杏	14.1	日本柳杉	14.9
八角金盤	14.5	小葉青剛櫟	13.7	光葉櫟	13.4	日本赤松	14.9
山茶	14.1	珊瑚樹	13.4	-	-	日本魚鱗松	13.0
波緣冬青	14.1	日本石櫟	12.3	-	-	日本扁柏	12.6
楊梅	13.7	-	-	-	-	日本花柏	11.9

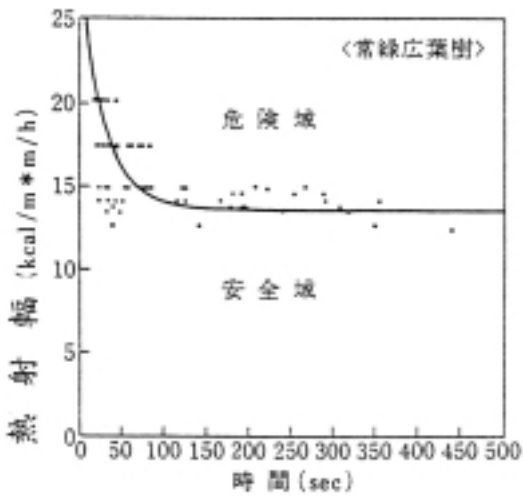


圖 2. 常綠闊葉樹之發火限界曲線
(資料來源：日本火災學會)

Fig. 2. The critical curve of beginning ignites in the broad-leaved evergreens (From: Japan Association for Fire Science and Engineering)

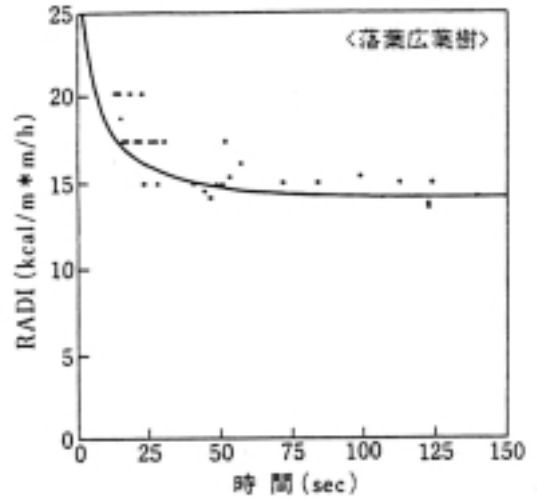


圖 3. 落葉闊葉樹之發火限界曲線
(資料來源：日本火災學會)

Fig. 3. The critical curve of beginning ignites in the shed leaves broad-leaved tree (From: Japan Association for Fire Science and Engineering)

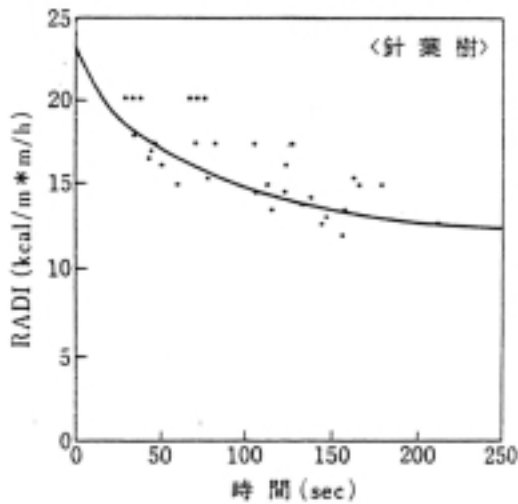


圖 4. 針葉樹之發火限界曲線 (資料來源：日本火災學會)

Fig. 4. The critical curve of beginning ignites in the Conifer tree. (From: Japan Association for Fire Science and Engineering)

$$t_N = 196.97 - 87.17 \ln (R - 12.02)$$

式中， t_N 為針葉樹之發火時間 (秒)， \ln 為自然對數值， R 為輻射受熱量 ($1/10 \text{ kcal/m}^2\text{h}$)。又依圖中可看出落葉闊葉樹種之耐火限界值為 $13,930 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ ，而針葉樹種則為 $12,020 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ 。

圖 5 表示常綠闊葉樹種之樹葉在火熱環境下之溫度變化情形，測試點 1 是位於葉上方 2 cm 之空氣溫度，測試點 2 與點 3 為位於葉表面之溫度，測試點 4 與點 5 則為位於葉裡面之溫度。測試點 1 初期溫度上昇率快而處於非常不安定，1分鐘後達到 300°C 時，始轉為較穩定狀態；測試點 2 之初期溫度上昇率亦非常快，約 40 秒後達到 400°C 時轉為安定狀態；測試點 3 為 30 秒後產生急激上昇現象，一直至 450°C 值過後才產生發火現象；測試點 4 之初期與測試點 3 有類似傾向，但至 350°C 值才轉趨安定；測試點 5 與測試點 4 一樣至 350°C 值才轉趨安定。綜合而言，在各測試點

達到安定狀態後，葉內立即呈現出熱量持續蓄積情況，一旦達到臨界值時即出現發火現象。

從以上實驗得出重要結果，即林帶樹葉之耐火限界溫度值，在常綠闊葉樹種為 445 °C，而落葉闊葉樹種為 470 °C，針葉樹種為 409 °C。如上述樹種在熱環境下未達到其

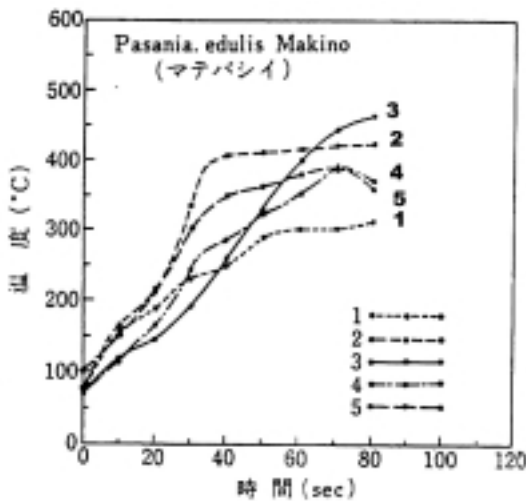


圖 5. 在熱環境下之葉溫變化
(資料來源：日本火災學會)

Fig. 5. The temperature changes of leaf under the fire environment. (From: Japan Association for Fire Science and Engineering)

限界值時，藉由遮熱力效果，樹木僅可能出現發火現象，但不會產生有焰燃燒行為。表 2 為日本實驗所得之不同樹種耐火限界值。

表中顯示，以發火限界值之輻射熱而言，針葉樹最低、常綠闊葉樹次之、落葉闊葉樹最高；另以溫度而言，落葉闊葉樹最低、針葉樹次之、常綠闊葉樹最高。

五、生物化防火林帶之建置及其效益

(一) 防火樹種選取

1. 理想防火樹種

理想之防火林帶樹種，應具有較強之阻火能力、環境適應性強、具常綠且樹冠結構緊密、樹種來源豐富、栽培容易而生長快，達到鬱閉早，能較快地起防火隔離之作用，並具有(1)降低火災強度；(2)減少風速與火旋風；(3)捕捉飛火 (spotting fire) 與餘燼；(4)遮開輻射熱能等，以及(5)樹種本身亦能具有一定之經濟價值 (本木茂他，1991)。

雖然幾乎所有樹種在曝露到足夠高熱度後均會燃燒，但受到中等強度 (moderate intensity) 大火之耐燃樹種之林帶是較不容易引燃的，因而削減森林大火蔓延之強度。一般而言，做為防火林帶之樹種必須具備以下屬性 (近代消防編集局，1999；Stephen, 2002; The Rural Fire Division; 1994)：

表 2. 樹木之耐火限界值 (資料來源：日本治山治水協會)

Table 2. The critical value of fire-retarding value in different tree species

(From: Japan Association of for managing the mountain and water resource)

		常綠闊葉樹	落葉闊葉樹	針葉樹
發火限界	輻射熱 (kcal/m ² h)	13,400	13,900	12,000
	溫度 (°C)	455	407	409
引火限界	有焰燃燒 (kcal/m ² h)	5,400	-	5,800
	無焰燃燒 (kcal/m ² h)	5,700	-	-

(富含較多水分且厚實之樹葉 (Leaf fleshy or watery content)，如果樹、熱帶雨林樹種等之樹葉均富含較多水分，在一定熱環境下當其起燃時，將需要較多之預燃時間，並從火災中吸收較多熱能，因而達到降低火災強度。相反地，富含揮發油與樹脂之樹種，在足夠熱環境下將會形成燃燒現象，並增加火災蔓延強度。

- 具有隔熱與厚質 (thick insulating) 之樹皮：假使植物體形成層外面組織具有纖維狀、寬鬆樹皮、乾枯樹枝 (Amount of loose bark and dry twigs (或樹皮成條狀裂縫現象，如擁有繩狀樹皮 (Stringy bark) 之桉屬樹種即是。此種易使地表火爬上至樹冠層，如大多數之桉屬植物與白千層 (Melaleucas) 之樹皮即具有上述之狀態；而如 Paperbarks、Cypress pines 等常保留許多精細乾枯細枝，因而容易造成起火。
- 富含鹽分之樹葉 (Salt content of leaves)：如檉柳 (Tamarix)、西方桉樹 (Eucalyptus occidentalis) 等均是非常不易起燃的，因其樹葉具有削低燃燒熱之高鹽分含量。
- 具有較稠密之樹冠層 (dense crowns)：樹木具有較充分之樹冠層 (full canopies) 屬性，亦能較有效扮演防風、防熱煙氣、防飛火之作用。亦即，當樹種具有較常綠性與生長健全茂盛現象，遮熱效果佳而受到火災起燃之潛在危害機率會較小；但是土壤如果一旦變乾情況下，樹種本身所能含有水分即會減少，相對地起燃機率即會相對提升。
- 樹種分枝距離地面具有較高之高度：林中一旦形成火災時，樹種分枝與地表火擁有一定高度距離，較能免受火勢輻射熱之威脅。

然而，較易燃燒之樹種如次：

- 樹木含有揮發油脂，如大多數桉屬植物 (eucalypts)。
- 含有樹脂 (resin) 之樹種，易分泌樹脂生成物如大多數之針葉樹種。

- 含有或累積有較多無生命之樹葉與樹枝，如大多數之桉樹。

2. 樹種抗火性與耐燃性

通常，做為生物防火林帶之樹種可區分為抗火性 (fire resistance) 與耐燃性 (fire retardance)。所謂抗火性之樹種即指受到外來之火焰或其他起火源而較不容易起火之樹木，雖然抗火性之樹種在大火中亦如其他樹種一樣會受到傷害甚至燒死，但是其樹葉與樹幹較不易起火，當曝露於火災熱環境時，抗火性植物較有能力得以維持或復甦。而耐燃性樹種與抗火性則有程度上差異性存在，如大多數桉屬植物與 paperbarks 是具有較高之抗火性，其即使遭遇到極強度火災 (intense fires) 仍能生存。但是，如果其樹葉富含較高油份或具有寬鬆樹皮仍可能造成本身強烈火勢，此時其所具有耐燃屬性並不能發揮顯著效果。另一方面，如大多數熱帶雨林樹木因富含較高水分與較少之乾枯樹枝或樹葉，則具有相當耐燃性 (Stephen, 2002)。然而，一旦受到火災即容易受到傷害，即使在輕微火勢 (mild fire) 之熱曝露環境下也可能會造成枯萎。換言之，如果選擇耐燃性 (fire-retarding) 而非抗火性 (fire-resistant) 樹種，可以大幅削減強烈火災輻射熱而減低其蔓延能力，但樹種可能在火災後因而枯萎死亡，亦即耐燃性樹種遭到大火僅能用一次 (one-off)，而後須再重新栽植；在表 3 列出抗火性樹種例。

一般而言，被列入抗火性之樹種，則具有以下屬性 (近代消防編集局, 2001; Shu, 1998; Queensland Fire Services, 1996)：

- 樹葉較潮濕 (moist) 與柔順 (supple)。
- 樹木具有較少與乾燥之小枯枝，以及較少枝葉累積在其周遭範圍內。
- 樹木之汁液似水狀 (water-like) 且不具顯著性之氣味 (strong odor)。
- 樹木具有較高之二氧化矽 (silica) 含量。

大多數落葉性之樹種與灌木 (shrubs) 均

表 3. 抗火性之樹種 (資料來源: Oregon State University)

Table 3. The fire-resistant tree species (From: Oregon State University)

常綠性樹種(Trees-evergreens)		
美國西部落葉松 (<i>Larix occidentalis</i>)	美國西松 (<i>Pinus contorta</i>)	糖松 (<i>Pinus lambertiana</i>)
黃松 (<i>Pinus ponderosa</i>)		
落葉性樹種(Trees-deciduous)		
大葉槭 (<i>Acer macrophyllum</i>)	挪威槭 (<i>Acer platanoides</i>)	深紅槭 (<i>Acer rubrum</i>)
馬栗 (<i>Aesculus hippocastanum</i>)	紅椴木 (<i>Alnus rubra</i>)	樺木 (<i>Betula</i>)
黃金樹 (<i>Catalpa speciosa</i>)	美洲樺樹 (<i>Celtis occidentalis</i>)	椴樹 (<i>Cornus</i>)
美洲皂莢 (<i>Gleditsia triacanthos</i>)	美國肥皂莢 (<i>Gymnocladus dioicus</i>)	胡桃 (<i>Juglans walnut</i>)
膠皮糖香樹 (<i>Liquidambar styraciflua</i>)	白楊 (<i>Populus</i>)	櫟樹 (<i>Quercus garryana</i>)
針櫟 (<i>Quercus palustris</i>)	紅櫟 (<i>Quercus rubra</i>)	刺槐 (<i>Robinia pseudoacacia</i>)
柳樹 (<i>Salix</i>)	歐洲花楸 (<i>Sorbus auacparia</i>)	

具有抗火性；然而，在此要強調的是即使是抗火性之植物亦會在一定大火中燃燒起來，特別是健康狀態 (healthy condition) 不佳之樹種。相反的，高易燃性 (highly flammable) 之樹種，通常具有以下屬性：

- 含有細小 (fine)、乾燥或枯死之物質在樹種周邊位置內，如細枝、針狀物質 (needles) 與樹葉。
- 葉、細枝與樹幹含有易揮發性的蠟質 (waxes)、烯 (terpenes) 或油質 (oils)。
- 樹葉具芳香 (aromatic) (特別是當其揉碎時)。
- 樹木之汁液含有黏性膠質 (gummy) 與樹脂 (resinous) 及具有強烈氣味。
- 具有鬆散的 (loose) 或薄狀 (papery) 之樹皮。

(三) 防火林帶結構

樹木受到非足夠火熱環境而沒有出現燃燒現象，這種結果可以達到樹木之形狀維持，而形成一種所謂“屏風”作用，產生遮斷熱能量之機制功能。然而樹木之屏風功能並沒有像混凝土壁體一樣完全沒有空隙，而

能具有 100 % 遮斷熱能量之能力。因此，樹木必有一定空隙率之比例存在；亦即，在火熱環境下熱度會從樹木空隙通過 (主要指樹冠層部分) 而衍生熱浸透之作用。所以，在防火林帶建置上須考量樹種結構間之空隙作用與其遮熱效果。

1. 林帶結構之遮熱率

(1) 一片葉之遮熱率

依據日本實驗資料指出 (日本火災學會編, 1996)，常綠闊葉樹之一片葉面具有 40 % 遮熱率，而落葉闊葉樹遮熱率則僅 30 %。但是，在針葉樹種，因其葉之規模較小，難以正確測量出一片葉之構造，僅能以落葉樹中之銀杏來做比較，得出其相當於常綠闊葉樹 48% 之遮熱率效果。

(2) 一棵樹木之遮熱率

以一棵均一之常綠闊葉樹為試驗體做實驗，得知一棵樹之遮熱率為 36 %，然連續三棵則可達到 90 % 遮熱率效果，此乃因樹葉之層層重合作用，而具有遮熱之增強效果，針葉樹中之日本花柏 (*Chamaecyparis pisifera*) 與常綠闊葉樹連續三棵做比較，其實驗顯示

出可達到 97 % 之遮熱效果，已可達到較完全之遮蔽作用。

(3) 一片林木帶之遮熱率

以複數樹木之集合體所形成樹木帶而言，在構成樹木之列數與樹木之間隔以及如何配置關係，皆會產生出不同程度之遮熱率效果；表 4 所示如以一系列樹木之方式種植時，在樹木間隔以 1/2 樹木寬度空隙種植時，具有 80 % 遮熱率效果；然而，若以樹木間隔以 1 倍樹木寬度空隙時則僅剩下 60 % 之遮熱率效果；如

以二列方式種植，且樹木之間隔以交互種植時，可達到最佳之遮蔽輻射熱效果；而如以三列方式種植，在樹木間隔以 1 倍樹木寬度時也可達到 95 % 之遮熱率效果。

2. 林帶結構之型式

大體上，生物防火林帶結構有三種型式，即單層結構、複層結構與矮林結構；因為複層林帶需要較複雜造林技術與合理樹種結構配置，目前大多數之防火林帶殆屬於單層林型式應用上還較少。此外，為使防火林帶達到最佳

表 4. 樹木間配植結構與遮熱率關係 (資料來源：日本火災學會)

Table 4. The relation at the plant construction and the cover hot rate for the tree arrangement (From: Japan Association for Fire Science and Engineering)

		1列	2列	3列
沒有空隙	正列	● ● ●	● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ● ●
	交互		● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●
1 / 2 空隙	正列	● ● ●	● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ● ●
	交互		● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●
1 倍空隙	正列	● ● ●	● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ● ●
	交互		● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●

阻火效果，可利用不同防火樹種混合植被如利用耐火性灌木、小喬木與喬木等樹種彼此混合之結構設計。

(四) 防火林帶配置

一般而言，枝葉茂盛之樹冠能有效阻擋火焰之蔓延，而良好之林帶結構配置則形成不利於森林燃燒傳熱之環境。在生物化防火林帶所組成之林地網格，更可對具有極易燃屬性之針葉純林區，達到所謂機械隔離之遮熱作用。

1. 防火林帶規格

防火林帶之配置規格應根據樹種本身之抗火或耐火性能、林分燃燒性、生態學特性、造林地之地形與氣候條件特性等因素作考量。一般而言，熱帶性地區之防火林帶寬度可比溫帶地區相對窄些，以美國之主林帶而言，通常其寬度為 15~50 m 範圍；而日本防火林帶範圍為 30~34 m 寬，即其中間兩側各 3 m 寬生土帶，然後再各 12 m 寬防火樹帶，如圖 6 所示；或是生土帶 6 m 寬，兩側再各 14 m 寬上層木與下層木所組成之防火樹帶，如圖 7 所示。然而最適防火林帶之寬度不僅應考量林帶所能發揮最低防火效能，亦應能滿足其經濟與林學之特性為實際取向。

2. 防火林帶設置

通常，生物防火林帶設置區域一般置於山脊、嶺線、溪河、峽谷及重要行政界線等，又為防止人類活動不慎引火，亦常置於林地邊界周遭處、道路兩側處等。在設計上防火林帶應考量林分、道路、河流、山脈、地形等自然環境條件，使防火林帶與工程或天然防火線以及天然地形屏障相連接，以共同組成林火阻隔之網絡系統（島田和則，1999）。

3. 防火林帶效益性

理想之生物防火林帶，在火災發生時可將林火阻隔在閉合圈內，發揮到阻火、隔火和斷火作用，降低火災危險等級，並能緩火災蔓

延速度，為林火搶救贏得時間，進而大幅提高森林自身抵禦火災能力。換言之，在森林易燃樹種之可燃物可藉由生物化防火林帶之設置，使其在垂直分布上呈現不連續現象，又防火林帶地表上枯落物即使燃燒亦較不易能由地表火轉為樹冠火型態；在水平方向上，防火林帶之樹葉係屬於難燃燒物，應用在大面積屬於易燃之針葉林區而分隔成小區域，使廣大易燃樹種間呈現間歇性分布型態，故適當設置之防火林帶，誠具有可防止森林大火之發生與蔓延機率之效果。與此同時，營造防火樹種改單一林分為混交林，優化林種樹種結構，對於抑制森林病蟲害，防止水土流失，提高土壤有機質含量，具有顯著之生態效益。此外，設置生物化防火林帶，將減少防火線建設，改變單純之防火投入為開發性的林業投入，提高林地和資金之使用率，使被動性防火轉為主動性防火且低效益防火轉為高效益防火措施之多重效益性。

六、結論

從近30年之國外研究來看，對生土帶防火線之研究已趨減少，傳統之生土帶防火技術逐漸被生物化防火帶所取代。生土帶之形成，除天然地形外仍主要藉由機械方式，其維護管理不乏利用刈草、翻土或除草劑等來清除植被，以保持其阻隔火勢作用。在近10年來隨著人們環境保護之日益重視，所要求使用之除草劑必須是無毒、無污染、易分解，所以各國對除草劑之應用與研究，尤其是歐洲國家目前已有豐碩之研究成果，並已定位出不同植被類型所須選用之最適除草劑。然而，生物化防火線來取代生土帶是一種發展趨勢，從1980年代以來隨著林業之發展，各國利用生物措施進行防火之研究與應用已得到相當成果與經驗累積，篩選出最適耐火性或抗火性強之樹種林帶，並與相關防火線作結合，在大面積林地上分隔成適當防

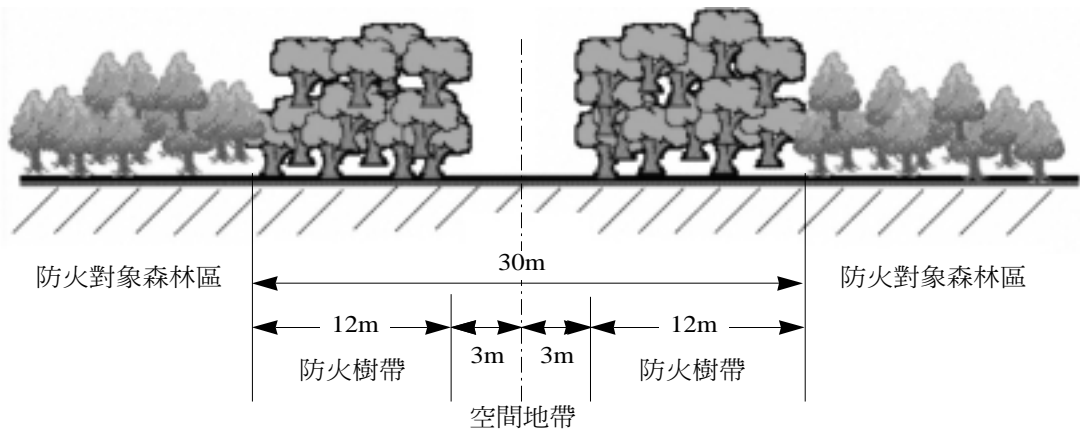


圖 6. 防火林帶設置規格 (資料來源：日本近代消防)

Fig. 6. The specification of the constitution for biological fire-retarding forest belts (From: The fireman an Japan Journal)

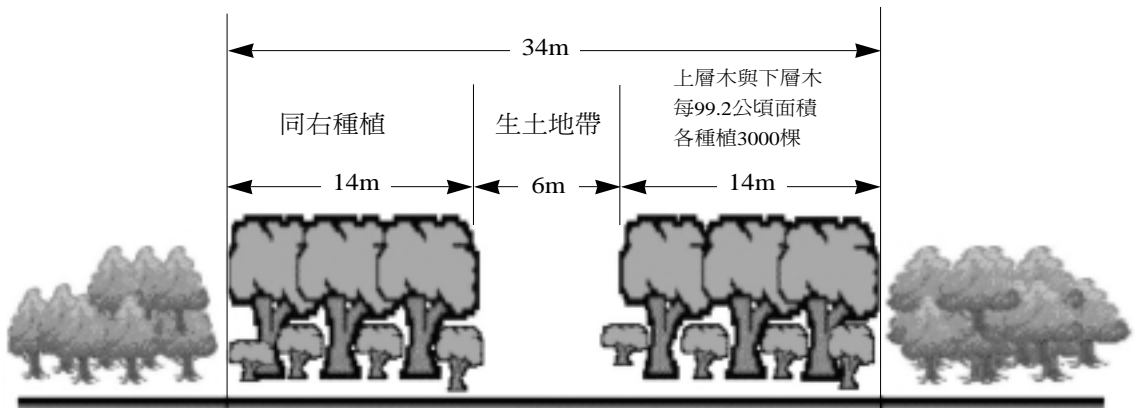


圖 7. 防火林帶設置規格 (資料來源：日本近代消防)

Fig. 7. The specification of the constitution for biological fire-retarding forest belts (From: The fireman an Japan Journal)

火區塊，採取這些綜合措施必可大幅提升森林本身之防護水平。

事實上，生物化防火林帶充分發揮自然力作用，其利用森林植物間之阻火性差異，以防火或耐燃樹種所組成林帶，達到不同層次上防止森林火災之蔓延與擴展，具有降低火災強度、減少風速與火旋風、捕捉飛火與餘燼及遮

開輻射熱能等種種防火效益性。而臺灣處於低緯度亞熱帶海島型國家，氣候濕度高有利於防火林帶效果之發揮，這或許是今後以天然方式來控制森林火災之發展考量方向。如此方向具有以下幾項相關子題：

1. 選取具有防火之樹種 (Selection of fire retardant or fire resistant tree species)：防火

之樹種必須具有在火災後有萌生幼芽 (shoots) 之能力、具有含水量高來減少易燃性與火災蔓延性、具較低之樹脂與揮發油量、具較高之二氧化矽 (silica) 含量。而選取不同樹種之方法係依據樹種生物地理學間等屬性差異作評估。

2. 森林防火林帶之機制 (Mechanism of forested firebreak belts) : 包括森林、樹種與森林帶下燃料機制與林床管理等, 通常對於如何防止林火之蔓延機制有幾種研究方式, 包含植被層之化學與物理分析之田野調查等等。
3. 防火林帶所附加之利益分析 (Analysis of the beneficial impacts of firebreaks) : 其包含火災防止、森林帶邊際利益、微生物多樣性之生態學上與社會上所附加之利益分析。
4. 前瞻性建構防火林帶 (Put forward rules of firebreaks belts built) : 以合乎科學、最適使用與科技標準方式, 來明確建構防火林帶; 包含防火林帶之分類、大小設計與密度所形成之網狀系統。

一旦標準化生物防火林帶種植與維護將能替換火災傳統搶救技術, 且防火林帶所附隨利益, 亦包含土壤、水資源涵養、木材之生產與非木材之森林產品 (non-wood forest products)。這些從經濟學上所獲得利益與其所投入成本(cost-effective)比較觀點, 或許在臺灣森林保護工作上足頗值得深入評估之發展方向。

七、參考文獻

- 肖功武、劉志忠 (1996) 選用白三葉草做防火草帶的研究, 陳存及等主編, 森林消防。112-113頁。
- 日本火災學會編 (1996) 林野火災, 火災便覽第 3 版, 共立出版株式會社。578-591 頁。
- 本木茂他 (1991) 森林の防火機能, (社) 日本治山治水協會, 12: 2。
- 近代消防編集局 (2002) 林野火災消火の基礎知識, 近代消防, 1: 23。
- 近代消防編集局 (1990) 燃えやい樹。燃えにくい樹—樹火著火のメカニズム, 近代消防, 10: 14。
- 東京消防廳警防部監修 (1994) 林野火災消防活動要領, 新消防戰術第 4 冊, 東京消防廳警防研究會, 平成 6 年, 286頁。
- 島田和則 (1992) 森林の生活環境とのかかわり, 森林總和研究所—森林の構造と防火機能, 所報 2(125):12。
- Caljouw CA; Dunscomb JK; Lipscomb M; Edwards R, and Adams S. (1996) Use of prescribed fire for recovery of the endangered peters mountain mallow. pp.28.
- Davison J. (1996) Livestock grazing in wildland fuel management programs, Rangelands, pp.146.
- Delabrazé P.; Dubourdiou, J. (1992) French research into forest decline, forest, pp.120.
- Esplin D.H. (1980) Fuelbreak management with goat: biological control of vegetation, Proceedings of the 32nd annual California Weed Conference, pp.103-106.
- Etienne M., Napoleone M.; Jullian P.; Lachaux M. (1989) Sheep rearing and protection of Mediterranean forest against fire. The part played by a flock of sheep in the maintenance of a firebreak. Etudes et Recherches Department de recherches sur les System Agraires et le Development, INRA. No. 15, pp.46.
- Gorbunov, V., Hazel J. (1974) Ultra-microstructure and microthermomechanics of biological IR detectors: material properties from biomimetic prospective.

- Biomacromolecules 2: 304-312.
- Jolly, Lane L. (1968) Firelines goes face-to-face with wildland-urban interface, *FMT Articles*, 52(3): 31.
- Kwilosz JR and Knutson RL. (1999) Prescribed Fire Management of Karner Blue Butterfly Habitat at Indiana Dunes National Lakeshore. *Natural Areas Journal* .12; pp. 36.
- Mortenson, B. (1984) Urban fuelbreak management plan, An integrated pest management approach, 1984.
- Nicholson, P.H. (1991) Fire and the Australian Aborigine - an enigma; In: Gill, A.M., Groves, R.H. & Noble, I.R. (eds.) (1991); *Fire and the Australian Biota*; published by the Australian Academy of Science; pp. 55-76.
- Noble, Edward L.; Lundeen, Lloyd. (1971) Analysis of rehabilitation treatment alternatives for sediment control. In: *Symposium on forest land uses and stream environment: Proceedings*; 1970 October; Corvallis, OR: Oregon State University: 86-96.
- Noste, Nonan V. and Ryan, Kevin C. (1983) Evaluating prescribed fires. *Wilderness Fire Symposium*; November 15-18; Missoula, Mont. 230- 238.
- Pardini, A.; Piemontese, G (1993) Limitation of forest fire risk by grazing of firebreaks in Tuscany, Forest, Vol.48.
- Pardini, A. ; Piemontese, G. (1995)*Rivista-di-agronomia*. Selection of subterranean clover cultivars for productive an productive sites in the Mediterranean, 29: 3, pp.267-272.
- Queensland Fire Services (1996)*Treecare Extension Officers*, Using fire retardant plants for fire protection, Rural fires division of the Queensland Fire Services, Australlia, December, pp.13.
- Shu Lifu (1998) Designing and planting a firebreak, *The Study and Planning of Firebreaks in China*, IFFN No. 19, September.
- Stephen F. & A. J. Waldo (2002)*Fire-Resistant Plants for Oregon Home Landscapes*, Forest Resource, Note No.6, April pp.24.
- Suharti, M. (1989) Cost analysis of *Acacia arabica* control in Baluran National Park, East Java, *Buletin-Penelitian-Hutan*.
- Sutton (1982) Michigan agencies promote wildfire prevention, *FMT Articles*, 47(1): 17.
- Swarty M (1990) *Acacia arabica* as a firebreak in Baluram National Park, *Duta Rimba*, Vol.16.
- Taylor, C (1994) Sheep grazing as a brush and fine fire fuel management tool, *Sheep Research Journal*, Special issue.
- The Rural Fire Division (1994) *Reducing The Risks - Keeping Your Home Safe From Fire*, Research of Forest Fire Station, Winter.

