

# 灰燼中重生

## 梨山二葉松林相改良及運用

文、圖／游智偉（林業及自然保育署臺中分署經營企劃科技正）

陳建璋（國立屏東科技大學森林系教授）

吳耿東（國立中興大學森林學系副教授）

### 氣候變遷下的森林火災

近年來，溫室效應影響導致的聖嬰現象使極端氣候事件發生頻率提高，各種自然災害風險加劇，其中森林火災發生次數近年亦有上升趨勢。據估計，目前全球每年發生森林火災次數近 22 萬次，其燒毀森林和其它林地面積約為 646 萬公頃，占世界森林面積 0.13%。森林火災對於森林所造成的危害不單單是使森林內林木遭受焚毀，一旦森林遇火延燒，如未能即

時迅速撲滅將會順勢蔓延，短時間造成森林內能量釋放，使森林生態系統失衡，更甚者影響到整體生態環境及人類生活與生命財產安全，顯見森林火災影響極為深遠。

### 高山林火的彈藥庫：二葉松林

大甲溪事業區隸屬林業及自然保育署臺中分署（下稱臺中分署）轄管事業區之一，長期以來一直是森林火災發生頻率較高的敏感區域，主要原因除了人為活動較為頻繁外，由於大甲溪事業區自 1976 年為供應國內紙漿用材而實施林相變更，主要造林樹種以臺灣二葉松（*Pinus taiwanensis* Hayata）為主，其可燃燒性相對於其它樹種高外，加上鄰近德基水庫集水區，在森林保護措施下，使得該地區每公頃臺灣二葉松株數與造林之初相似而產生燃料累積的問題。林火事件頻繁，除因易燃樹種外，也可能是地表燃料量過多所致。



■ 異常高溫和乾旱使全球森林大火發生次數有上升趨勢（豐年社提供）



■ 密度過高的二葉松純林



■ 2020 年大甲溪事業區 38 林班二葉松林下起火燃燒



■ 梨山是臺中山區重要的溫帶水果、高冷蔬菜、茶葉產地。(豐年社提供)

## 來自社會開發的火災隱憂

不過追究原因，引發森林大火の起火點，可能不在森林裡，而是緊鄰著森林的農場。根據過去發生林地火災現場的跡象判斷，有高達 98.1% 都是人為導致，只有 1.9% 是雷擊引發，梨山為臺中山區重要的溫帶水果、高冷蔬菜、茶葉產地，高產值溫帶水果（如梨子及蘋果）常因採收水果而產生諸多廢棄枝條無法處理，農民多選擇於乾旱季節以方便、快速及節省成本方式，私下將農業廢棄物及廢棄枝條焚燒，且果農覺得向消防隊提出引火申請程序規範太多，未經申請即逕行焚燒或將農業廢棄物丟於山溝中，依據國有林地火災研判成因，農地燒

壟及燒垃圾不慎是引發森林火災的主因，又梨山地區農墾區域鄰近國有森林臺灣二葉松燃料庫，更提升森林火災發生的危險度，成為歷年來引發梨山森林大火的可能原因。



■ 國有林地旁農園露天燃燒

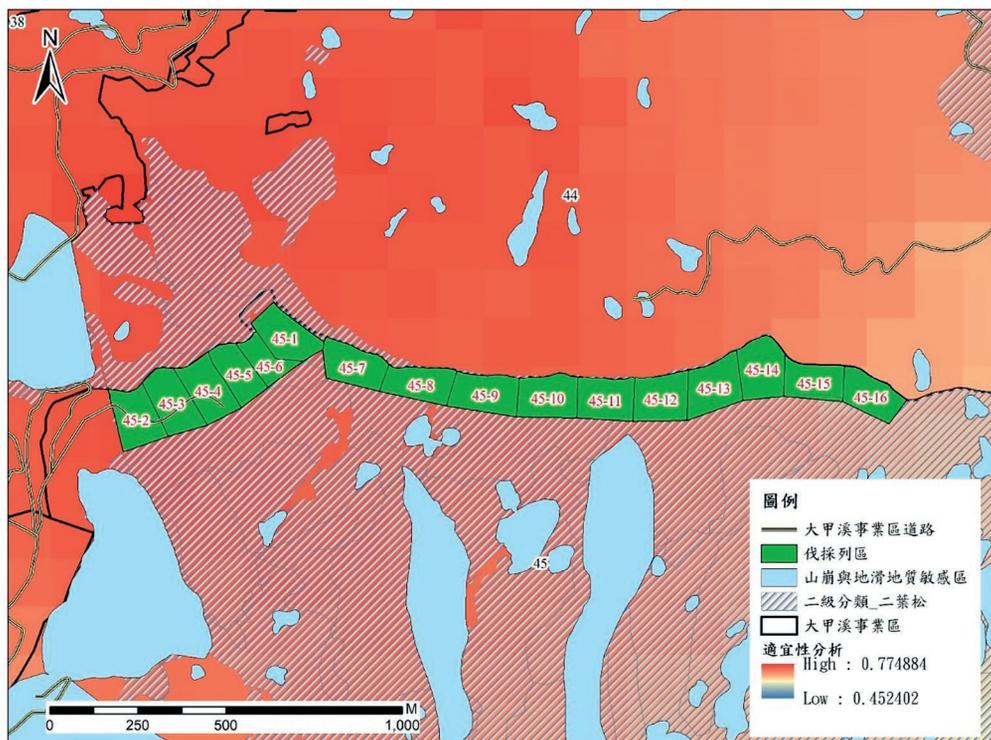
## 改變、預防與挑戰

因此要預防森林火災，可讓森林裡的樹種多樣化，簡單地說，就是淡化二葉松的影響，種植含水量高的闊葉樹木，讓環境變得不容易起火或是延燒速度慢，爭取救災的時間；要讓森林裡的樹種變得多樣化，可以嘗試進行「林相改良」。大甲溪事業區原為收穫臺灣二葉松為目的的林相，在1974年德基水庫完工後，大甲溪事業區列為水源涵養的保安林，進行水土保持及涵養水源集水區經營政策，因此主要森林事業除加強造林外，強調森林保護，因缺乏經營性撫育，造成

臺灣二葉松林密度與造林初期差異不大，且多年來於林下持續累積松針堆積燃料，近年來森林火燒頻繁已被懷疑是燃料量過高所致。

防火林帶阻火機制可分3個層次：防火的樹種、結構與配置合理的林帶，及其形成的火熱環境。樹葉茂盛的樹冠能有效阻擋火焰的蔓延，而結構良好的林帶則能形成不利於可燃物火燒的環境，從而達到阻止森林火災蔓延、林分與森林多樣化與物種的維護、森林害蟲與疾病擴展防制，及有利於國土保安、水資源保存保護。

而所謂的林相更新，可以想成一座森林的「重生」。簡單來說，原本



■ 二葉松更新防火林帶規劃圖（陳建璋提供）

已經形成的森林或植物群落，因為地形改變（如崩塌）、火災或開墾後留下的廢棄地，從光禿禿連草都沒有的狀態，到有植物發芽、生長茁壯的過程。原本的森林可能生長得很茂密、穩定，但這樣的狀態反而會讓新生的樹木沒有生長空間，若以人為操作，將原有的二葉松純林移除，反而是一個重新開始的機會。

因此，將臺灣二葉松進行林相更新，並進行防火樹種的造林建置防火林帶值得一試，臺中分署委託國立屏東科技大學辦理規劃，透過遙測技術、樣區調查及 UAV 拍攝進行分析，以森林類型、坡度、坡向、海拔高度、距水系遠近、距建地遠近及道路遠近等，並結合過去火災熱點位置及二葉松密度進行適宜性分析與建立更新優先度

分級（5 級），優先度最高區域應先進行林相更新。

因大甲溪右岸二葉松林多有闊葉樹種於孔隙內建立跡象，目前以交通因素為先決條件選擇左岸的大甲溪事業區 45 林班內作為起點，45 林班二葉松林無闊葉樹或其他樹種混雜，幾乎為純林狀態，又鄰近人為活動區域，亦是火災高風險區域，該區域經實際踏勘發現，許多林木因林分密度過高導致死亡，火災風險極高，經調查後二葉松每公頃株數約為 1,740 株，密度明顯高於正常撫育的林分，第一期計畫採塊狀疏伐方式進行 2023—2027 年的伐採區規劃，以人工栽植取代二葉松建立防火樹種林相，預計可完成寬度 50—100 公尺的防火林帶，面積達 6.81 公頃，並選擇種植木荷、森氏



■ 規劃區 45-1 新植造林完成（林業保育署臺中分署柯亮群提供）

櫟、楊梅、青剛櫟、銳葉高山櫟及三斗石櫟等適合該處海拔高 2,200 公尺的樹種，視林地內林木生長情況及當地原生樹種建構喬木層、亞喬木層，最終形成混交林結構，徹底改善林地立地條件，促進生物多樣性的恢復，降低火災風險進而預防。

## 二葉松剩餘資材思考運出、利用及去化

伐採作業所產生的剩餘木材、粗枝經截短後與細枝、葉散置於林地，可增加地表覆蓋度，也提供昆蟲及分解菌的棲息環境及食物來源。但是對這片久未撫育的臺灣二葉松林分而

言，為避免枝條留置林地增加地表燃料庫的情形發生，臺中分署採取全數搬出伐採後枝梢材的作法，並思考無害去化的可行方法。

林業主要產品為生產原木與製材，原木後續可用於建築、製作製材、人造板等，製材則進一步加工生產成家具、工具、器具、玩具、木材纖維、紙漿等各類生活用品。因木材具再生特質，符合「綠色循環利用」的基本應用概念。二葉松亦然，在林相更新過程中所伐除的二葉松，在全株利用的概念下，除了主要產品利用外，融合「循環經濟」概念，伐採後的林地枝葉與梢材可搬出，可開發作為能源利用及化學抽出產物等森林特色產品。



■ 二葉松剩餘資材利用



■ 松脂採取槽杯式採脂法

伐採後的二葉松剩餘資材首先嘗試供在地居民自由撿拾，以往伐木作業一般只會將品質較好的原木運離現場，剩餘形質較差的枝梢材及廢材多半會留置林地使其自然分解，然而這些被認為沒有價值的木材卻是很好的文創材料，如果加以利用，往往能夠產生意想不到的價值。公告撿拾即是讓這些看似沒有價值的木材多一次被利用的機會，讓在地民眾能獲得不一樣的創作資源。

另外，二葉松伐採前採取松脂可減低造材及製材工具的損耗，其枝葉也可利用蒸餾技術萃取出芳香精華，衍生的副產物如松脂、針葉純露、小徑料等，臺中分署開發成品並於 2024

森林市集首批曝光銷售，頗受好評，後續將於實體通路與電商平臺進行銷售。而最後不被利用或是最終剩餘材則以氣化技術轉換成氣態燃料（合成氣）再利用。

## 生質物氣化技術

氣化技術及其應用在 20 世紀初有相當不錯的發展，後因石油工業的興起而逐漸衰退，接著在兩次世界大戰中因石油短缺而再次蓬勃發展，尤其是在第二次世界大戰時，氣化技術十分熱門。但戰後氣化技術的應用再度因石油及天然氣的充裕而急遽下降，在 1950 年代裡是一項被遺忘的技術。

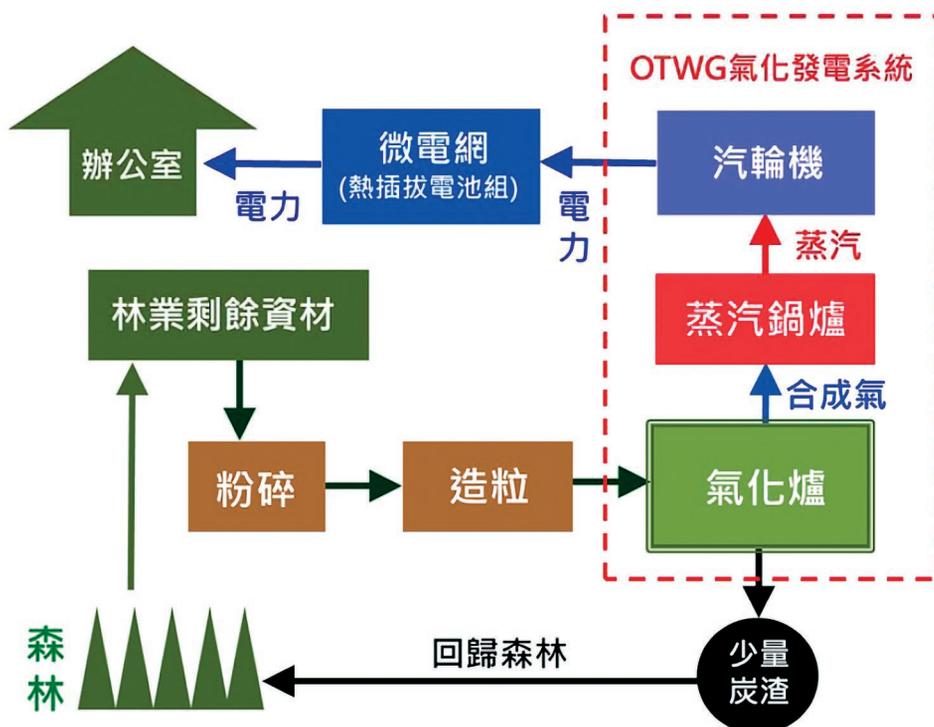
氣化技術的再次興起是在 1970 年代之後，肇因於能源危機，使得煤炭氣化再度受到重視；而於此同時，因歐洲伐木等事業帶來環境的問題，使得氣化技術開始利用木屑等農業廢棄物，即生質物 (biomass) 作為氣化原料，開啟了廢棄物氣化技術的發展，更大量地被應用於能源較缺乏的發展中國家。在歷經近 30 年的發展，現今廢棄物氣化技術已被認為是極具潛力的代替能源之一，可同時解決環境污染及能源短缺問題。

所謂「氣化」是指在限量供應氧氣及高溫的條件進行非催化性的部分氧化反應，將含碳物質（如生質物、

廢棄物或煤炭等）轉換成以氣態燃料為主，經氣化反應所產生的可燃氣體主要包括一氧化碳、氫氣、甲烷等，可使用在效率較高的燃氣鍋爐、內燃機或燃氣渦輪機以回收電力。

## 氣化系統建置

為解決梨山地區國有林事業區二葉松更新剩餘資材及枝梢材處理問題及降低林地燃料量，減少森林火災發生機率，臺中分署規劃於梨山工作站場域內建置一座 25 kWe (kilowatt electric) 的生質物氣化發電整合系統，所產生的電力可供機關使用，建立



■ 林業剩餘資材氣化發電流程圖 (吳耿東提供)

一完全使用再生能源（生質能）的分散式電力系統，達成淨零排放的目標，並防患森林火災的發生。

臺中分署建置的「林業剩餘資材氣化發電系統」採用國立中興大學農資學院生物能源研究核心實驗室所研發的 OTWG（Zero tar and waste water gasifier，零焦油及零廢水氣化爐）氣化發電系統的技術，屬新型的下吸式固定床型式氣化發電系統，並無傳統小型氣化爐會產生焦油及廢水的缺點，且可連續進料；並於後端整合一微電網（microgrid）系統，其所產生的電力經一充電區，進行可攜式熱插拔電池（hot swappable battery）的充電。

林業剩餘資材經破碎後進入新式 OTWG 小型下吸式氣化發電系統，將木質碎片於氣化爐內進行部分氧化反應，轉換為可燃的合成氣後，再進入蒸汽鍋爐中燃燒，並經汽輪機組進行發電，無焦油及廢水問題；其所產生的電力再經微電網系統儲存，供應梨山工作站電力的使用，形成一分散式電力系統，依照國立中興大學計算，以 1 噸的剩餘資材進行氣化處理，最終氣化過程中產生的固體殘渣（生物炭）僅剩 50 公斤，環保效益較高。

但因為梨山地區海拔高約 2,000 公尺，含氧量由平地每立方米 260 公克降至 224 公克，剩餘資材的含水率



■ 梨山生質能氣化爐入料燃燒中



梨山工作站無償協助果農去化果樹枝條

也較高，供氧不足及水分過高降低合成氣熱值，如不經過預先處理，氣化爐需要較長熱爐時間（約 6 小時）才能達到高溫負壓的可發電狀態，目前工作日 1 天約可提供 30 千瓦電量，去化約 1—2 噸剩餘資材，並依大甲溪事業區 45 林班 2024 年首次進行更新工作結果，每公頃二葉松依 CNS442 主要樹種用材及枝梢材容積重量表換算可產生約 200 噸枝梢材，除去再利用部份，即約為氣化系統 1 年的去化量，未來完成預先處理的優化後，去化量可達現在的 2—3 倍。

## 森林防火新策略

1980 年代以來，隨著林業的發展，各國利用生物措施進行防火的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的樹種林帶，並與相關防火線作結合，在大面積林地上分隔成適當防火區

塊，採取這些綜合措施必可大幅提升森林本身的防護水準。

事實上，防火林帶充分發揮自然力作用，其利用森林植物間的阻火性差異，以抗火或耐燃樹種所組成林帶，達到不同層次上防止森林火災的蔓延與擴展，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的發揮，這或許是今後以天然方式來控制森林火災的發展考量方向。

而預防勝於治療，雖然氣化技術在高海拔地區的利用面臨諸多挑戰，但隨著技術的進步和經驗的積累，這些問題是可以克服的，臺中分署梨山工作站也向在地果農伸出橄欖枝，無償協助氣化處理果樹剪枝枝條，儘管目前響應的農友不多，但相比於露天亂燒，這種方式對山林安全更具保障。🌱