



# 林床生態改進與林木疏伐效應

圖·文：郭寶章／台灣大學森林學系名譽教授



環節，即生態系之組成結構與動態運作間的一系列互動，要達到平衡與順暢，才符合生態系經營之原則。

在森林生態系之組成分子中，其垂直結構如以植物為主體，可別為喬木、亞喬木、灌木、草本、蘚苔、枯枝落葉、腐植

## 緒言

「林床」一詞在台灣林業刊物與林學書籍內，是一個較少見到的術語，林床是林地表面土壤之上階層通稱，一般主指枯枝落葉層及腐植質層而言。林床生態即討論此階層內之生物（植物、小動物、微生物）與微環境因子之相互制約與發育現象，其在生態系物質循環與能量轉移機制上，非常重要，然常被忽視。

多年來，林業界包括育林家，都重視在林地上所生長之林木、森林及其多項功能，而現今之新林業要重視森林生命之整體，即所謂森林生態系之經營，雖然林木是生態系之重要組成分，但為了達到林木之生長發育、森林多目標功能及其永續的利用，必須注重影響林木生育與森林經營之諸多因子與

質、礦物質土壤層、母岩層與地下水層等。台灣屬於高溫多雨之氣候，不僅森林之層次較多，生物多樣性亦較高，使生態系之結構與運作更為複雜。去年以來，台灣之林業界積極推行密生造林地之疏伐撫育作業，以調節林分之密度，增強森林生態系之活力與功能之發揮，其影響所及對林床之生態情況尤為重要，但坊間較少報導有關問題。作者近年常讀到日文這方面資料，今特以日本扁柏為例，說明密生林分對於林床生態之負面影響，並強調實施疏伐之必要性、深感此與台灣之若干針葉樹造林地情況有所關聯，特加以整理著文發表，以他山之石可以攻錯之理念，提供台灣林業界與育林家之閱讀參考，希望將此觀念納入疏伐實施效應之評估與檢討，本文所參考之文獻日文較多，如有興趣請與作者聯繫。

爲便於讀者之閱讀，特將本文之大綱加以列述：林床之意義與特性、林床植生之生態、森林土壤之形成與維持機制、林分之發育階段與土壤發達、日本扁柏之特性、扁柏成林之林床問題、實施疏伐改進林床生態等。

## 一、林床之意義與特性

林床 (Forest floor) 就是森林林地之最上層部分，即指林地之表面而言。細言之，林床應包括下列組成分：倒木 (Falling logs)、枯枝落葉 (Litter)、腐植土 (Humus) 等有機物質 (Organic matter)，以及在這上面所生長之林床植生 (Forest floor vegetation) 層，包括灌木、幼苗、雜草、蘚苔、地衣及小動物與微生物等。林床是森林生態系之更新與物質循環之所在位置，林床之有機物及植物對於土壤流失之防止，即水土保持有很重要之功用，也是地表水浸滲與逕流之通道，是維持及增進林地生產力之基址。茲就林床之特性加以要述。

自林床之物理條件而言，一般溫度方面林床較林外爲低，溫差 (Temperature range) 亦較小，水分與濕度亦較高，二氧化碳之濃度亦高，林床之光度較低與較陰暗之環境，對於更新幼苗、幼樹與林床植物之生存發育，提供有利及不利之條件。

林床之有機物量取決於森林之枯枝落葉供給堆積量及其分解速度，林床上枯枝落葉之分解速度，在地理位置上，緯度由北向南，有機物量有遞減之趨勢，熱帶林枯枝落葉堆積量雖高，然因分解亦迅速，幾乎不見有機物之分布。即屬同一林型林床上有有機物量也隨著地形與方位而異。

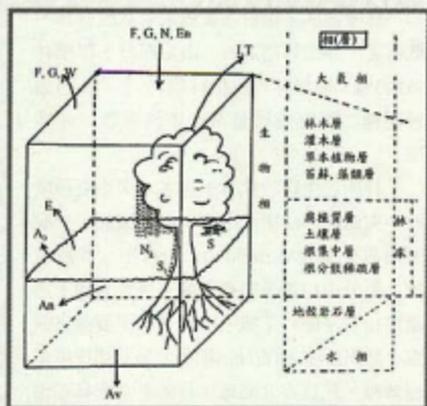
林床表面之相對光度依天氣狀態而異，概言之，赤松林爲20%，山毛櫸林、錐櫸林各爲3%，柳杉林、扁柏林爲1%上下。乃因各樹種之樹冠與枝葉密度不同影響了光環境。

林床之生物特性對主林木之天然更新成敗，與幼苗、幼樹之生育有密切關係，一般礦物質土壤 (Mineral soil) 裸地或蘚苔地，對於小粒種子樹種之發芽條件有利，落葉堆積深厚地有使種子不易著土與發芽之缺點，然對於堅果類 (Nut) 種子之發芽卻提供正面效應。在日本北海道，林床上之雲杉類倒木提供幼樹生育最適之苗床，即通稱之倒木更新。

## 二、林床植生之生態

林床植生英名亦稱 Ground vegetatia，又稱林下植物 (Undergrowth) 是指林床上所生育之植物群：高木層、亞高木層以下，高度未達胸高 (1.3公尺) 之植物層而言，其包括高木、亞高木層之幼苗與幼樹、灌木類、草本植物、地衣、蘚苔與蕨類等植物。由於林床之環境較爲陰暗，所生育植物之耐陰性 (Shade tolerance) 均較強，假如將上層木伐採特別是皆伐，微環境會急劇發生變化，陽性 (Light demanding) 之林床植物即侵入生長。

由於生育環境受制於上層木之影響，林床植物又對環境因子之耐性較低，意即過敏性較高，換言之，有些植物能有效的、綜合的表現出局部環境之特殊性即指標性者，特稱指標植物 (Plant indicator)，常用在決定生育地地位 (Site quality) 與土壤性質之制定評估上提供參考。因植物有其偶發性，單一



森林生態系統輸入與內部轉換之模型

輸入：F(空中沉澱)、G(氣體)、N(氮)、En(能量)  
 輸入：T(截流作用)、T'(蒸散作用)、E(蒸發作用) Aa(遠流) Av(最近地表之流失) Av'(滲漏)、Aa'(點)  
 內部轉換：Nk(樹冠雨水)、S(樹幹雨水)、S'(枯枝落葉)

之物種又有其實用上之限度，若以林床植生組成全體供為評估基礎時，其對環境之指標性較高。此在氣候與土壤條件較為嚴酷之溫帶林地較之高溫多雨之熱帶至亞熱帶，所顯示之指標效應較高，日本屬於溫帶氣候，曾研究林床植生型與土壤及地形之關係。所謂林床型以此為基礎，可供決定柳杉造林地之地位及造林木之生長量。

狹義的指標植物，乃指依人工方法去培育植物以供觀察及評估環境之條件，特以植物計 (Pphytometer) 稱之。因植物之敏感性常能反應在其生長之形態與生理之現象上，例如都市環境遭受空氣污染之程度，亦可用植物觀測以代替儀器，常能獲得相當正確之結果，此稱為環境污染指標植物或指標種，亦稱為綠色警報器，一般草本及苔蘚植物較之木本植物之感應準確性甚高。(以上參考日文林業百科辭典)

### 三、森林土壤之形成維持機制 (藤森，森 共生，2000)

有機物枯枝落葉及枯倒木堆積在土壤表層，經由土壤動物及土壤微生物之作用進行分解、回歸到土壤之中，成為森林植物之養分，不定期的供應樹木枝葉與幹部之生長。有機物位於礦物質土壤上方之部分，分解後形成腐植質，一部分混入土中，能改良表土之性質，在粗有機物變為腐植土之過程中，常見蚯蚓等土壤動物在此處移動之痕跡與殘留之糞便，因而增強土壤之團粒作用與粗孔隙之發達效果，而成為保水與通氣之良好土壤，有利地表水之滲透。當林內之寒暖與乾濕間差異較小時，且枯枝落葉層構造較深之際，能促進林床及表土中森林土壤動物與微生物之繁殖與分布，有利土壤之化育，在土壤深層中枯死之大小根系經腐朽之後，形成不同之孔隙，乃成為地中水與地下水流動之通路。

若林分生長於急峻之山坡，其地表之枯枝落葉容易被風吹散或因地面逕流移動而流失，在此處若有良好之林床植生覆被，可以發揮減緩之作用。重要之點為上層林冠能射入適宜之光照，以利林床植物之繁生。因林床光度較低時，一般雖僅適於陰性植物之生育，但該類植物葉部比較柔軟，且覆蓋面積較廣，有防止雨滴直接打擊土壤之功能，也可保護表土免於沖蝕。

由於林床之深厚有機物層與茂密之覆蓋植物 (Cover plants)，形成複雜之地表保護構造，降落林內之雨水，最先受到高、亞木樹冠之截留，繼續受到地表覆蓋植物與枯枝落葉層之截阻，如此層層之截阻作用已降低降雨之強度與雨滴降落之末速。因降雨強度

之降低及林床有良好之粗孔隙有機物層，能促使雨水向土壤中滲透，雨滴打擊土壤之強度亦因而減低，即有地表逕流之發生，其流速亦相對的緩慢，所造成之破壞力即微小也。當林床上分布有大量之倒木與殘材時，其防止表土流失及控制逕流之功能，將更為顯著，尤以老齡林在水土保持上之功能為強，值得重視。在森林土壤之垂直面上，若有深根性與淺根性之樹與草本植物之交互分佈時，由於密佈之根網（Root network）效應，又具有防止表層崩坍之功能。

#### 四、林分之發育階段與土壤發達

依藤森隆郎（Fujimori, 2001）之新書所述，森林（天然林或人工林）受到干擾（皆伐或自然災害）後，包括人工造林之實施，林分之發展可分為四個階段：

1. 林分創始（Stand initiation）期--林地上為草本與灌木之繁生階段，為期較短，陽性植群間之競爭激烈。

2. 林木獨佔（Stand exclusin）期--為幼齡林階段，種內競爭逐漸造成優劣勢生長差異，林冠形成鬱閉。

3. 下木再生（Understory reinitiation）期--林分之進入壯齡林階段，實施疏伐使林

冠疏開，可促進林下植生之生長。

4. 老齡林階段（Old growth stage）--林多生長安定、多樣性達到最高，上層木開始衰退，枯立木與倒木增加。

當林分受到強度干擾如實施皆代之後，林地探出林床之有機物層與礦質土壤首先遭到破壞與流失。但在台灣之情況，因氣候濕潤，不足1~2年時間，地床植生即侵入繁茂，進入林分之創始期，達到了覆被林床之功用，因而縮短土壤劣化之期間。林分進入幼齡期後，林冠鬱閉逐漸形成，在10數年間由於林木所佔據之優勢，排斥林下植生之發育，對於土壤之保育是最為不利。進入成熟之壯齡期後，密生林分若未實施疏伐調以節林分鬱閉度，林床劣化之情形將更是嚴重。若定期的實施疏伐，改進林分內之光環境，促使光補償點較低之草本與灌木入侵與再生，不難提升保護水土之功效。當林分由壯齡林末期進入老齡木階段，由於高、亞木層之林木生長衰弱及枯立木倒伏，形成林內之空隙（Gap），更有利林下植生之發育與促進林木之天然更新，而誘導林分發達輪迴到幼樹創始之階段，此時有機物之分解、土壤之化育與水土保持之功能，均能顯著的獲得增進，將更符合生態系永續經營之原則。

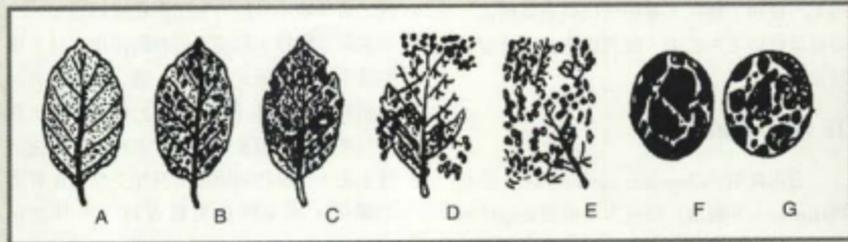
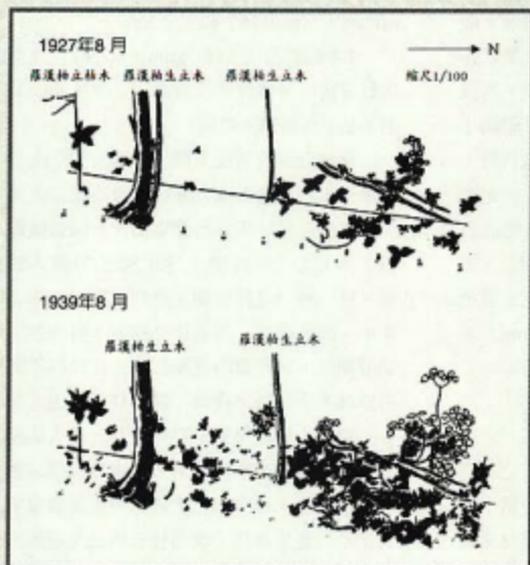


圖 4-1 山毛櫸落葉分解成土壤形成之過程。A：山毛櫸之落葉；B：昆蟲吃食部分葉及蟲糞表皮（細菌及真菌開始侵襲）；C：孔蟲之過渡期；D：孔蟲及葉動員蟲（開始可蝕洞）；E：微生物分解之高時期，繼續被寄生動物吃食；F：分解質體與礦質土混合（樹皮經由蚯蚓之作用）；G：重積經過化鼠道後之狀態及腐植體之形成，其所費完全分解之時間，式樣視樹種而異，快者數月，慢可達數年。（BGS, 1988）



林床層群遷移相之實況素描(日本林業技術協會, 1981)  
 一覽扁柏之天然林，經約10年間檢等種類之變化較少，而密度增加顯著，尤以枯倒不孔跡處林床層群繁生之情況為然。

在植群演替 (Vegetation succession) 過程中，有機物之堆積、分解與森林土壤之發達係同步進行，以達到極盛相 (Climax) 動態平衡之階段，此時，植群中間無機物質之補給與消費間到達不變之安定狀態，人工林之經營亦應以使生態系之物質循環保持安定視為第一要務，為此，避免皆伐與適時疏伐，以維護林地之生產力，應列為育林之重要策略。

## 五、日本扁柏之特性

日本扁柏 (*Chamaecy paris obtusa*，日名稱Hinoki，亦稱檜) 為日本最重要之造林樹種，亦為木材價值最高之用材樹種。自江戶時代即施行天然林之伐採，並進行人工造

林，現今原始之天然林極其有限。日本扁柏與其變種台灣扁柏 (*C. obtusa var formosana*) 具有相似之特性，但台灣扁柏之天然林仍有大面積之分佈，日本專家認為是台灣之瑰寶。在日本，扁柏之人工林面積超過250萬公頃，約佔人工林總面積之25%，且有增加之趨勢，惟較柳杉為少。近年由於外材之大量輸入，日本國產材價格極為低迷。又因工資持續上漲，林業經營相當困難，尤以中後期撫育之除伐、疏伐實施不足之林地面積逐年增加，因林相鬱閉過密，而發生水土保持問題。因台灣之扁柏與紅檜人工造林已達40,731公頃，其中41%超過

20年生分佈在各林區，應有日本扁柏人工林之相似問題，日本經驗可供吾人參考。

日本扁柏 (以下簡稱扁柏) 造林木之樹齡，最高者有200~300年生，近百年生之造林地比比皆是。多年來在日本，扁柏之造林地有顯著的地方衰退之現象，經實地觀察，乃因地被物流失與落葉枯枝分解速度較為緩慢所致，尤以分佈在地形急峻與疏伐實施延遲之造林地，其地方衰退問題更為嚴重。冷溫帶針葉樹林，到達老齡林階段後森林土壤常發生灰化現象，會造成土壤之劣化。有謂扁柏林之情況似與灰化土之形成無關。到1976年以後，很多研究證實扁柏壯齡林後所發生之水土保持問題實與林床生態退化有密切關係，本文搜集兩篇資料 (赤井龍男1977，牧勉1984)，綜合的論述，定為本文之骨幹部分。

扁柏之葉為鱗片狀，常綠性，葉之壽命約為五年，但壯齡林形成鬱閉後，下枝與小枝鱗葉開始枯萎，於11~12月凋落最盛。鱗葉乾燥變成細小碎片後，又不易吸濕，輕輕覆蓋在地被物（Litter，大陸稱凋落物）之表面，在斜坡上更易為地表逕流所沖失，而減低地被物層之厚度。扁柏之大枝多呈平展狀，枝葉有向樹冠上層密生之現象，故扁柏林冠（Canopy）較易形成與維持鬱閉，因使降低林內之日照量，使林下植物如雜草、灌木、羊齒類等不易繁生，而造成地表呈裸露狀態。同時，扁柏葉片中含有順式脫落酸（Cis-abscisic acid）一種阻害發芽之物質，可能是下層植生缺少之另一原因。脫落之葉片尚多含有葉綠素，依研究所示，扁柏人工林之葉乾重即生物量（Biomass）為10~19噸/公頃，較柳杉林15~27噸/公頃為少，而扁柏雖

為落葉樹之3~5倍，然鬱閉後扁柏之落葉量平均僅為3.5噸/公頃/年。

林床之森林土壤種類不同，亦影響林床僅植生之生長，扁柏之生育地常為山腹、山嶺之乾燥處，與柳杉適生於山麓谷間之濕潤環境不同，土質較為乾燥，林床植生之生物量僅為柳杉之1/5~1/3，土壤中磷之含量亦低到上述比率，此乃因扁柏地被物分解較為緩慢之故，而以地被物之流失為主因，扁柏土壤團粒構造之發達亦較柳杉者為劣。

森林家藉疏伐之實施，以圖改進林床上腐植質之性質。實施疏伐使雨水及日射較易到達地面，增高腐植質之溫度，促其分解。疏伐因降低土壤酸度，也能增進硝化作用及促進枝落葉之分解。當土壤暴露於日射熱之下，致使不混土腐植質即粗腐植質發生硝化作用，加速分解而成混土有機物質，將有利



美國教育團活動中心紅檜造林地，40年生左右，林地於疏伐鬱閉，脫落葉層植物。



深溝杉林地層進行疏伐，50年生，林地密度較疏，蘆薈類及林床隨性草本分布多。

於土壤團粒之形成。

## 六、扁柏成林之林床問題

扁柏林分發展到壯齡期時，在樹齡約15年生前後，林木之生長競爭劇烈，為爭取較大之生長空間，以至樹冠間相互接觸重疊，形成鬱閉後，位於樹冠之下側枝條因受光量較少，光合作用不盛，小枝連葉遂開始枯萎脫落，扁柏因較柳杉之耐陰性為高，加上大枝有水平擴展之習性，使林分易於保持鬱閉情況已如上述，而促使枝下高（Clear length）升高，因此，下枝之枯萎脫落更為顯著。密度之冠層遮阻陽光，枝葉量隨光度之降低而減少，相對光度到達1%時，林床上已無植生存活，遂造成林床表土裸露。在日本近畿地方，扁柏之造林運作三代後，使土地瘠瘦結果，只能生長赤松（*Pinus densiflora*）了。

如上所述，扁柏造林地地力衰退之原因，可綜合的依下列流程加以表示：樹冠強度鬱閉→林內光照減低→下層植生消失→枯

枝落葉流失→林床土壤裸化→雨滴撞擊土壤→雨濺沖蝕發生→表土加速流失→地力衰退開始。總之，林床上問題發生在林分形成強度鬱閉之後，因之，地力改進之道首在調節林分之密度。

在扁柏之幼齡林階段若將林床植生刈

除，與未刈除之對照區比較，當豪雨之際雨滴沖蝕量高到3~13倍，其所濺出（Splash）之土砂，90%來自急坡之上方，且以微細之小形針葉鱗片流失最多。下層植生不存時，為豪雨逕流所沖失之落葉量為一年落葉總量之40~90%，而對照區僅為20~40%，扁柏壯齡林每公頃每年平均之土壤流失深度為 $2.33\text{mm} \times 10^3$ ，而為山毛櫸（*Fagus crenata*）天然林之12倍，與山毛櫸天然林伐採跡地之1.6倍。

當林床上枯枝落葉與土壤為雨水所沖失，礦物質土壤因而缺少有機質之供應，將使土壤團粒作用發生不良之結果。換言之，土粒間之大小孔隙因缺少團粒集聚效應，而減低了土壤水之滲透率與貯水率。日本研究上述扁柏幼齡林之地表植生經刈除後，2年間表土之粗孔隙率僅為對照區之10%。

日本研究也證實扁柏造林會增強土壤之灰化現象（Podzolization），影響枯枝落葉之分解。在緩坡林地，因枯枝落葉層堆積較厚，表面容易硬化而呈蓆網（Mat）狀，更使水分滲透不良。扁柏鱗葉不易分解之另一原因

為葉中含有單萜類 (Terpenes) 成分或臘質，比較容易乾燥，造成微生物之生息困難。凡落葉分解不良之地，所生成之腐植酸較多，因而降低Ao層之pH值，一般扁柏林地較之柳杉與山毛榉土壤之pH為低，特別在Ao層40cm以內之土壤深度為然。森林土壤中微生物之種類與數量遭受土壤pH值之影響，一般之細菌與放射菌較適生於中性至微酸性之土壤，如pH太低會妨害其生長。反之，真菌類之生育則以酸性土壤為適，中性與微酸性之土壤反而不利其繁殖。灰化土中之微生物相與褐色森林土(Brown forest soil)亦有差異。

## 七、實施疏伐改進林床生態

在日本、扁柏造林所造成之林地劣化問題，多年來已證實乃由於單純同齡林之密植與疏伐之實施欠缺所致，當然扁柏之樹冠形態與枝葉生理特性亦有關係。研究證實林床植生與土壤性質之改進，首先要由林分之密度調節以改善林床之光環境著手。

在日本之尾鷲地方，扁柏林分之相對光度在0.7%或1%或稍高時幾乎不見林下植生，當光度增至4-5%時下層植生即見繁茂。為促進林下植生之生長，依不同林分發展階段加以調整如次：幼齡林5-20%，壯齡林5-25%，均以5%為相對光度之基點。

造林地若屬於急峻之地形，即有下層植生分布，當豪雨降落流經地表時，仍不免會帶動落葉與土砂之流失，改進之道在混植柳杉、赤松、落葉松(*Rarix spp.*)等，混植樹種之落葉覆蓋在扁柏落葉之上，具有保護扁柏林床之作用，即有流失其量亦屬微少，由於混合林之林床改善扁柏單純林之問題，更有

利土壤微生物之棲息活動而促進枯枝落葉之分解。枯枝落葉之分解指標，可依堆積之重量表示，將落葉分解遲緩之樹種如扁柏與分解快速之樹種如柳杉、松類混合造林，亦會加速扁柏落葉分解之速度。

在育林上，常藉著施肥以改進地力，施肥對扁柏土壤劣化問題效果不大，仍以促進林下植生之生育，防止枯枝落葉與土壤流失為基本。特別就長時間之林地改進以言，經由林地之養分循環所發生之土質改良遠勝過暫時性之肥培功能。

總之，扁柏之造林策略應調整傳統式的單純經營，改為疏植政策、混合樹種、二段林作業與連續的疏伐之實施，在光環境改善之後，因促進林床之生態發展由植生，落葉與土壤間之旺盛交互循環作用，不難達到地力改進之效果，進而也增進主林木扁柏生產材之質與量之提升。日本之結果或可供台灣紅檜與台灣扁柏造林疏伐之參考，筆者希望此一他山之石經驗能為台灣林業界多提供些省思與考量之資料。☺

