

菌根菌應用於森林苗圃育苗的技術與成效

文/圖 李明仁 ■ 國立嘉義大學森林暨自然資源學系講座教授

一、前言

行政院農業委員會林務局在各林區管理處設置有母樹林、種子園及採穗園，提供優良的種子與枝穗，給8個林區管理處的苗圃培育成苗木，以供應造林及環境綠美化的需要。優良品質的苗木是造林成功的先決條件。所以，森林苗圃育苗的技術影響苗木的生長勢與生理特性、造林後的成活率、適應力、及生長量等。近年來，氣候變遷加劇，導致山崩土石流環境劣化，災後瘠劣地的復舊造林，更需要優質的苗木，以提高造林苗木的成活率。

在國外自十九世紀初期，菌根(Mycorrhizae)已被證實在苗木的生長發育及抵抗逆境上扮演著重要的角色，且已被廣泛應用於林業苗圃的育苗作業中，以培育優質的裸根苗及容器苗(Molina and Trappe, 1984)。在大自然的森林土壤生態系中，菌根是菌根菌(Mycorrhizal Fungi)與植物根部的非病原性共生結合。苗木的營養

根組織(Feeder Root Tissues)被菌根菌拓殖(Colonization)後，可以增進苗木對養分和水分吸收效率。同時，苗木也經由光合作用提供菌根菌所需的碳水化合物，而這些碳水化合物最終也轉移到根圈，據估計約佔森林土壤有機質的15%。在自然界，大多數的高等植物會與內生菌根菌或外生菌根菌形成菌根結合。而在熱帶林中，約95%的樹種純與內生菌根菌結合(Redhead, 1980)。部分的環境條件下，林木和其他植物會自然地菌根菌拓殖。由於菌根菌、林木及陸地生態系的高度多樣性，導致菌根結合的高度複雜性及動態性。

以前的森林苗圃育苗作業，多以苗床培育裸根苗為主，所以培育的苗木大多具有菌根；然而近年來大都採用容器育苗法培育苗木，因所採用的人工介質或土壤缺乏菌根菌，使苗木未能形成有效的菌根感染，致苗木對造林地環境逆境的適應力降低，導致造林苗木成活率低

且生長緩慢，甚至造林失敗的結果。尤其在病蟲害嚴重危害的苗圃，因大量噴施農用藥劑，苗木很難形成菌根；而介質或土壤的物理化學性質(如pH值等)及所含的微生物種類和族群等因素，也影響菌根菌的生長和發育，直接或間接影響苗木菌根的形成。所以，接種優良的菌根菌於苗木以培育優質的菌根苗，已成為國際育林的新潮流。

二、林木菌根菌的種類

常見的林木菌根菌的種類有下列幾種：

(一)外生菌根菌(Ectomycorrhizal Fungi)：此類真菌會在苗木營養根表面形成菌毯(Mantle)，其菌絲會進入根部，在皮層細胞間形成哈替氏網(Hartig Net)，並在此一菌絲與根的接觸區進行養分的交換。真菌並產生植物荷爾蒙促進根分支及伸長，進而增進苗木根的吸收面積。根的分支形態隨苗木的種類而異，有二分叉、羽狀、結瘤狀等(圖1)。有許多的菇類、馬勃菌、及塊菌(高等擔子菌類及子囊菌類)能與許多種的林木形成菌根。外生菌根菌的孢子可隨風傳播。



圖1 蒙古歐洲赤松外生菌根之形態(攝影/Burenjargal Otgonsuren)

(二)內生菌根菌(Endomycorrhizal Fungi)：此類真菌也稱叢枝菌根菌(Arbuscular Mycorrhizal Fungi)，其菌絲會進入苗木根部細胞內，形成交換養分的叢枝體(Arbuscules)及儲存養分的囊泡(Vesicles)，而其根外菌絲會將根圈土壤的養分轉移到根部。叢枝菌根菌不會產生大形的菇狀子實體，而只產生土棲性的球形孢子，且無法隨空氣長距離傳播，只限制於機械的土壤移動。在育苗作業上，通常以叢枝菌根菌的孢子(圖2、3)接種苗木。



圖2 叢枝菌根菌*Acaulospora scrobiculata*孢子的形態(攝影/許崑衍)



圖3 叢枝菌根菌*Glomus mosseae*孢子的形態(攝影/許崑衍)

(三)外內生菌根菌(Ectendomycorrhizal Fungi)：此類真菌在苗木根部形成薄而且透明的菌毯。外內生菌根的分枝像外生菌根，但沒有根毛。其菌絲也會在苗木根部形成哈替式

網，並穿透皮層細胞。一些小的子囊菌類會與苗木根部形成外內生菌根菌。

(四)放線菌根細菌(Actinorhizal Bacteria)：此類絲狀細菌*Frankia*會與許多樹種的苗木根部形成具有固氮作用的放線菌根瘤(Actinorhizal Nodules)。例如，赤楊、台灣馬桑、台灣胡頹子、蘇鐵、及木麻黃等均能與*Frankia*共生形成放線菌根(Actinorrhizae) (圖4)。



圖4 台灣馬桑之放線菌根瘤形態(攝影/陳右農)

(五)固氮根瘤菌(Nitrogen Fixing Rhizobium)：與豆科植物共生固氮的根瘤菌已被分離者約有100多種，在生產上應用的種類約1/5。在分類上有5個屬分別為：根瘤菌屬(*Rhizobium*)、慢生根瘤菌屬(*Bradyrhizobium*) (圖5)、中華根瘤菌屬(*Sinorhizobium*)、固氮根瘤菌屬(*Azorhizobium*) 和中慢生根瘤菌屬(*Mesorhizobium*)，每個根瘤菌屬包括至少1個種。

(六)杜鵑類菌根菌(Ericoid Mycorrhizal Fungi)：此類菌根菌主要與杜鵑花科的杜鵑屬(*Rhododendron sp.*)及馬醉木屬(*Pieris sp.*)等植物共生，其菌絲會感染根的表面形成根外菌絲，並入侵皮層細胞形成許多菌絲圈(Hyphal Coils) (Read, 1996) (圖6)。



圖5 慢生根瘤菌*Bradyrhizobium elkanii*之微細構造(橫線=6 μ m)(攝影/葉怡君)

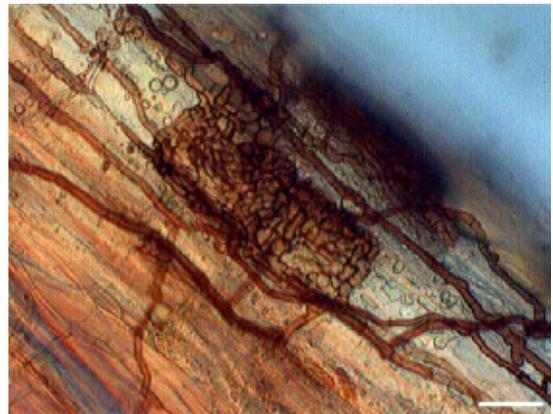


圖6 西施花野生苗之根部皮層細胞菌絲圈形態(橫線=20 μ m)(攝影/謝宛倫)

三、林木菌根菌應用於森林苗圃育苗的技術

由於各森林苗圃的特性都有差異，所以林木菌根菌的應用技術也隨苗圃的條件而有所不同。一般而言，苗圃管理者必須依前人實驗及經驗的技術，來應用林木菌根菌，才能獲得良好效果。林木菌根菌在林業的主要應用技術包括下列幾種：

(一)裸根菌根苗：應用培養的菌根菌孢子或菌絲體，對林木種子或土壤進行接種，以培育優

良的菌根苗。其實施方法是先以3%甲醛溶液消毒土壤一週後鬆土，並以1%氯水消毒種子，菌根菌的接種技術可採用種子接種法或土壤接種法。種子接種法有(1)浸泡法：將消毒的種子浸泡於配製的菌根菌孢子或菌絲懸浮液中，使菌根菌沾染種子後播種；(2)包覆法：將消毒的種子置入於菌根菌孢子配成的粉劑或菌絲體配成的膠質劑中，使菌根菌包覆種子後播種。土壤接種法是在播種前或播種時，將菌根菌的孢子或菌絲體製劑拌入苗床土壤中，可採用條狀施放於苗床下10cm處，種子發芽即可接種。

(二)容器菌根苗：將培養的菌根菌孢子或菌絲體，接種於種子或容器介質，以培育優良的菌根苗。其實施方法是先將育苗介質消毒備用，菌根菌的接種技術常採用介質接種法、種子接種法或移植接種法。介質接種法和種子接種法的作法與裸根菌根苗的方法相似。移植接種法是將種子發芽長出的小苗割傷部分細根後，浸泡於配製的菌根菌孢子或菌絲懸浮液中，使菌根菌沾染苗根後移植於容器中，以培育容器菌根苗。

四、林木菌根菌應用於森林苗圃育苗的成效

林木菌根菌與苗木根部形成菌根後，對苗木的成效包括下列幾項：

(一)促進苗木的生長：菌根可以促進苗木的新根增生根毛，因而增加根部的表面積，增進苗木對土壤中養分和水分吸收能力，進而促進苗木的生長。研究證實，接種叢枝菌根菌 *Glomus mosseae* 的台灣欒 (*Zelkova serrata*

Hay.) 苗木根部的根毛數量顯著高於未接種者 (圖7a, 7b)。以叢枝菌根菌 *Acaulospora scrobiculata* 接種草海桐 (*Scaevola sericea* Vahl.) 7個月後，接種苗的高生長、地徑生長及乾重分別為未接種者的4.8倍、2.8倍及10倍 (盧廷璋, 2002)。烏桕 (*Sapium sebiferum* (L.) Roxb.) 苗木以叢枝菌根菌 *A. scrobiculata* 接種8個月後，其高生長、地徑生長及乾重分別為未接種者的1.8倍、1.5倍及2倍 (黃秀緞, 2005)。以叢枝菌根菌 *Glomus etunicatum* 及慢生根瘤菌 (*Bradyrhizobium elkanii*) 雙重接種相思樹 (*Acacia confuse* Merr.) 苗木10個月後，接種苗高生長、地徑生長及乾重分別為未接種者的16.6倍、2.8倍及9.8

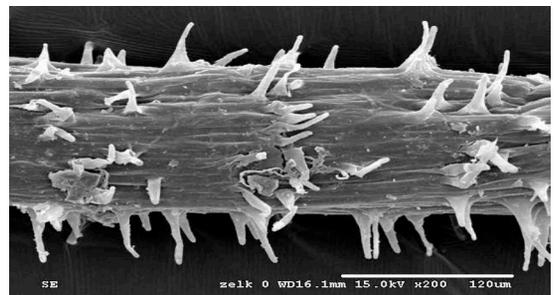


圖7a 未接種繡球菌 (*Glomus mosseae*) 的台灣欒苗木根部表面形態 (橫線=120um)。(攝影/李明仁)



圖7b 接種繡球菌 (*Glomus mosseae*) 的台灣欒苗木根部表面形態 (橫線=120um)。(攝影/李明仁)

倍(葉怡君, 2007)(圖8)。台灣胡頹子(*Elaeagnus formosana* Nakai)苗木接種放線菌根菌*Frankia* 9個月後, 其高生長、地徑生長及乾重分別為未接種者的2.4倍、2.5倍及2.9倍(余旻儒, 2010)。國內外許多研究結果證實, 菌根菌與苗木根部共生形成菌根後, 對苗木地上部及地下部的生長均有顯著的促進效益。接種暗色隔膜內生菌(*Phialocephala fortinii*)於歐洲赤松(*Pinus sylvestris* L.)苗木根部, 可以顯著增進苗木的生長量(Otgonsuren & Lee, 2013)。



圖8 相思樹苗木接種叢枝菌根菌與慢生根腐菌10個月後的生長情形
CK：對照組；Ge：接種*G. etunicatum*；R：接種*B. elkanii*；接種*G. etunicatum*及*B. elkanii* (攝影/葉怡君)

(二)提高苗木對環境逆境的抵抗力：苗木接種菌根菌形成菌根後, 可以提高其對環境逆境如乾旱、鹽害、寒害等的耐性。研究證實, 歐洲赤松苗木接種暗色隔膜內生菌(*Phialocephala fortinii*)形成菌根後, 可以提高苗木的耐凍性(Freeze Tolerance)(Otgonsuren & Lee, 2013)。接種*Glomus mosseae*的光蠟樹與台灣檉苗木栽植於崩塌地的成活率及高生長顯著高於未接種者(蕭育志、李明仁, 2013)。

(三)增加苗木對根部病害的抗性：菌根菌與苗木共生形成菌根後, 會提高苗木對土棲性病原生物的抗性。接種外生菌根菌彩色豆馬勃(*Pisolithus tinctorius*)於台灣二葉松及相思樹苗木的根部, 顯著降低幼苗猝倒病的發病(李明仁, 1996)。台灣泡桐(*Paulownia x taiwaniana* Hu & Cheng)苗木接種南方根瘤線蟲(*Meloidogyne incognita* Chitwood), 可以降低根瘤線蟲的危害(李明仁等, 1998)。其他研究也證明, 內生(叢枝)菌根的形成, 能減輕植物根瘤線蟲的危害, 使根部產生根瘤數減少(程永雄、莊明富、蔡東纂, 2001)。

(四)增強苗木的生理效應：菌根菌與苗木的共生, 可以提高苗木體內植物荷爾蒙的含量, 並促進其生理作用。許多研究證實, 菌根菌的拓殖會增加植株生長素(Auxin)、細胞分裂素(Cytokinins)、激勃素(Gibberellins)及離層酸(Abscissic Acid)的含量(Haneefat *et al.*, 2012; Foo, 2013)。白匏子(*Mallotus paniculatus* Larmk.)接種叢枝菌根菌*A. scrobiculata* 12個月後, 其葉部的脯胺酸(Proline)濃度及淨光合作用速率均顯著高於未接種者(許崑衍, 2005)。血桐(*Macaranga tanarius* L.) 接種叢枝菌根菌*Glomus mosseae*接種12個月後, 其淨光合作用速率顯著高於未接種者(許崑衍, 2005)。

五、結論

林木菌根菌為普遍存在於大自然中的重要生物資源, 也是植物天然的生物肥料(Biofertilizer)。由於林木的生長期長, 需要從土壤吸收許多養分, 而淋溶作用常使林地土壤肥

力貧瘠，缺乏氮、磷、鉀等元素，致影響林木的生長發育。森林苗圃的育苗作業是林業的重要工作，苗木的品質直接影響造林的成敗。在苗木的品質指標中，我們常以苗高、基徑、苗重、色澤、菌根、莖根比、纖弱指數及Dickson指數等，來衡量苗木的品質。事實上，我們常常忽略了菌根的重要性。菌根菌是微生物，以孢子或菌絲形態存在於根域土壤中，在適合條件下它們可以繁殖生長發育，並與苗木根部共生形成有效的菌根，促進苗木對養分和水分吸收。雖然，菌根菌存在於大自然土壤中，但是由於各地的土壤物理、化學性質及其他土中生物的種類差異很大，有些地方無菌根菌甚或很少菌根菌，無法有效地培育菌根苗。所以，

先進國家的苗圃育苗作業都會依樹種別，選擇優良的菌根菌接種於苗圃的種子或苗木，使苗木於幼苗期就形成良好的菌根。自然地，這些生長形質優良菌根苗栽植造林後的成活率和生長量就會相對地提高。林木菌根一旦形成，其效益是永續的，且對森林健康及生物多樣性有深遠的影響。

林木菌根的應用技術並不難，只要簡易的設備即可分離、培養及繁殖菌根菌，最後再將菌根菌接種於種子、小苗或苗圃，可與整體的森林苗圃作業合為一貫作業，不會造成額外負擔。為了提昇苗木的品質，我們一定要積極改進育苗技術，採用菌根菌接種技術培育菌根苗，以迎合國際林業潮流。🌱