

兩種闊葉樹菌根之研究

顏江河^{1,3} 唐盛林²

【摘要】本研究利用野外調查殼斗科與樟科的菌根型態及菌根接種後對苗木生長的影響兩種方式探討闊葉樹育苗體系中菌根所扮演的角色。自野外分離出殼斗科的外生菌根菌 *Cortinarius sacchariolen* Quel.，以及樟科的內生菌根菌 *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann 菌種，可經人工大量繁殖供做菌根接種源。此二菌種以及分離自台灣二葉松的 *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch 分別用來測試菌根接種效益，結果顯示青剛櫟接種 *C. sacchariolen* 以及樟樹接種 *G. etunicatum* 對苗木生長具有顯著效益，但是青剛櫟接種 *P. tinctorius* 菌種則幾乎無菌根效益。菌根接種雖然不會增加苗木植體內氮濃度，但顯著促進磷養分吸收，非接種菌根苗木植體內磷養分的不足，可能是苗木生長遲緩的主因。本試驗證實菌根不但對苗木的生長具有絕對性的影響，選擇適宜菌種更是重要。

【關鍵詞】 菌根、殼斗科、樟科。

Studies on the Mycorrhizae of Two Broad Leaf Species

Yen, Chiang-Her Tang, Sheng-Lin

【Abstract】 In this study, both investigation of the mycorrhizal status on Fagaceae and Lauraceae in the field and the mycorrhizal effect after seedlings inoculated with different mycorrhizal fungi in green house were carried out to ascertain the mycorrhizal role in broad leaf nursery system in Taiwan. There were two mycorrhizal fungi isolated from field, one is ectomycorrhizal fungus, *Cortinarius sacchariolen* Quel. from Fagaceae, the other is VA-mycorrhizal fungus, *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann from Lauraceae, could be mass production with artificial medium. These two manmade inocula together with *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch, isolated from Taiwan red pine, were used to test the mycorrhizal effects on seedlings growth. Results obtained from inoculated experiments showed that Ring-cupped Oak (*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst) with *C. sacchariolen* and Camphor tree (*Cinnamomum camphora* Linn.) with *G. etunicatum* had better performance than those non-mycorrhizal seedlings. But Ring-cupped Oak with *Pisolithus tinctorius* mycorrhizal seedlings almost had no mycorrhizal effects. Tissue nutrition analysis indicated that mycorrhizal inoculated didn't increased N concentration, but P concentration was increased obviously. Poor P uptake seems to be the factor that

1 國立中興大學森林系助理教授

Assistant Professor, Department of Forestry, NCHU.

2 台灣省林業試驗所森林經營系

Division of Forest Management, Taiwan Forestry Research Institute.

3 通信聯絡員 Corresponding author

cause non-mycorrhizal seedlings stunted. The results from this study demonstrate that mycorrhizae had an absolute effect on the seedling growth, and it is more important to select an appropriate mycorrhizal fungus.

[Key words] Mycorrhizae, Fagaceae, Lauraceae

一、前言

台灣中、低海拔天然闊葉林主要以殼斗科及樟科樹種為主。近年來，由於對森林資源保育、生態環境平衡的重視，闊葉人工混合林的建造取代過去大面積的針葉樹造林，因此闊葉樹育苗技術廣受重視。菌根(mycorrhizae)對宿主的效益，已被廣為證實，包括增加植物對不易移動養分的吸收、減少根部病蟲危害、提高植物對生長逆境的抵抗能力以及對宿主產生有益的生理效應(如提高植物生長素的含量)等(Abbott and Robson, 1984; Bagyaraj, 1984; Sylvia and Williams, 1992; Linderman, 1994)，因此菌根接種早被應用在苗圃的育苗作業體系(Menge *et al.*, 1977)。在台灣，育苗過程中未曾考慮菌根接種問題，有關菌根與苗木生長關係的研究資料極少，惟據野外觀察，苗圃中有菌根感染的台灣杉幼苗較無菌根苗生長量相差 20 倍(顏江河、鍾旭和，1990)。溫室接種菌根試驗也有相同的結果(鍾旭和等，1991)，證明苗木培育過程中有無菌根感染對苗木生長極為重要，尤其近年來人工介質大量應用，自然感染菌根的機會極低。但是在苗圃中經由集約的管理，苗木同樣能生長良好，惟一旦出栽後，在生育地的逆境下可能很難獲得優良生長，導致許多造林失敗問題。因此在台灣闊葉樹育苗作業體系中，如何進行菌根接種工作甚為重要。本研究選擇殼斗科及樟科樹種，進行野外分離菌根菌種、大量繁殖菌種、菌根接種、菌根苗木生長調查，作為闊葉樹育苗體系中菌根接種作業之參考。

二、材料與方法

(一)苗圃菌根調查

每隔 3 個月分別赴林業試驗所信賢苗圃、林務局竹東林管處大平苗圃與台大實驗林和社苗圃

進行長葉木薑子(*Litsea acuminata*)、大葉楠(*Machilus kusanoi*)、青剛櫟(*Cyclobalanopsis glauca*)與三斗石櫟(*Pasania hancei*)的野外菌根菌種採集工作。野外調查時若為塑膠袋苗，則每一樹種選擇生長較優者(優勢苗木)與生長較差者(被壓苗木)各 6 株；若為裸根苗時則同樣採取 6 株生長優勢苗與 6 株生長較差苗木，塑膠袋苗攜回實驗室後，以剪刀剪開塑膠袋，在立體顯微鏡下小心檢視根系，是否具有外生菌根感染。若發現有外生菌根則利用 Molina and Palmer (1982)之方法進行菌種分離；若苗木根系不見外生菌根型態，則以內生菌根染色法觀察菌根感染型態(Phillips and Hayman, 1970)，同時以濕篩及傾倒法(Gerdemann and Nicolson, 1963)分離土壤中可能存在的內生菌根孢子，所分離出的孢子利用玉米為寄主進行孢子的大量繁殖試驗(Gerdemann, 1961)。裸根苗則同塑膠袋苗一樣進行相同試驗。共計進行 3 次採樣調查。

(二)菌根接種試驗

試驗用青剛櫟(*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.)種子採自中興大學實驗林惠蓀林場海拔 1200 公尺，樟樹(*Cinnamomum camphora* (Linn.))種子則採自南投縣中興新村人行道。種子採回經 5°C 濕藏 2 個月後，置於蛭石：泥炭：水苔(10:5:1)的人工介質中進行發芽，待苗木 2 個月大後進行接種試驗。

試驗用菌種包括分離自台大實驗林和社苗圃的青剛櫟的外生菌根菌 *Cortinarius sacchariolenis* Quel. 以及分離自台北縣政府小格頭苗圃的 *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch.，兩菌種都以蛭石水苔進行人工大量繁殖備用。供接種於樟樹的內生菌根孢子則分離自新竹林區的竹

東工作站之大平苗圃，並能以玉米繁殖法所得大量孢子 *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann。

接種處理時選取大小一致的青剛櫟試驗小苗，小心移至容積約為 1000 ml 的威特鉢，同時加入 100 ml 的菌絲接種源，每一菌種接種 12 株，共計 36 株(兩種菌種與對照組)。樟樹則於接種處理組根域處加入約 60 顆 *G. etunicatum* 孢子，對照組則加入同體積的無孢子濾液，每處理 12 株苗，共計 24 株樟樹苗。試驗用介質採用蛭石泥碳土體積比 2:1。

苗木置於中興大學森林系頂樓溫室中，每隔 3(夏)至 5(冬)天添加蒸餾水保持適當水分。試驗結束量測各處理苗木之高生長與地際直徑生長，進行全株收穫，秤乾重與氮、磷養分分析(Moore and Chapman, 1986)。

三、結果與討論

野外調查結果證實樟科樹種(包括長葉木薑子與大葉楠)與真菌共生屬囊叢枝菌根(vesicular-arbuscular mycorrhizae)，而殼斗科樹種(包括青剛櫟與三斗石櫟)與真菌共生則屬於外生菌根(ectomycorrhizae)。苗圃中不論是塑膠袋苗或裸根苗，在生長的表現上較佳者，其根系都具有菌根感染，而所有生長緩慢的苗木都不具菌根感

染，呈現極顯著差異($p < 0.05$)，以長葉木薑子為例具菌根感染苗木的高生長(32.5 cm)為未感染苗木(7.8 cm)的 4.2 倍，莖徑則為 1.68 倍(0.52 cm/0.31 cm)；其餘三種苗木之菌根苗與非菌根苗，其高生長與莖徑同樣呈數倍的差距(表 1)，此現象與台灣杉幼苗有無菌根感染的差異相似(顏江河、鍾旭和，1990)。此說明幼苗對菌根有極大的依賴度(mycorrhizal dependency)，也就是在苗圃的育苗作業體系中，苗木生長優良與否與菌根感染有相關，在溫室中的菌根接種試驗也有相同的結果(鍾旭和等，1991)。

外生菌根菌種的獲得可直接分離自菌根，惟其技術較難，另外菌種可分離自子實體(fruiting body)，然子實體出現時機極為短暫，甚至極少出現。利用 Molina and Palmer (1982)所提方法在火燒柯、青剛櫟、三斗石櫟等外生菌根樹種，進行菌根部位分離菌根菌，皆無法成功，惟在 1997 年 10 月在和社苗圃地發現菌根子實體，經採集與分離後確定為 *Cortinarius sacchariolenis*，並以蛭石水苔添加 M.M.N. 營養液為培養介質(Marx, 1969)，在三角瓶中於 25°C 下經 2-3 個月可獲得大量菌絲接種源。內生菌根菌種的獲得僅能由根域(rhizosphere)土壤中篩洗孢子，試驗結

表 1. 不同苗圃調查不同樹種之優勢苗與被壓苗的生長參數

Table 1. The growth parameter of seedlings collected from different nurseries.

苗木種類	高生長(cm)	莖徑 (mm)	菌根狀態	採集地
長葉木薑子 (<i>Litsea acuminata</i>)				信賢苗圃
優勢苗木	32.5 (2.8)	0.52 (0.12)	V-A 菌根	
弱小苗木	7.8 (1.9)	0.31 (0.08)	無菌根形成	
大葉楠 (<i>Machilus kusanoi</i>)				大平苗圃
優勢苗木	26.5 (3.3)	0.68 (0.08)	V-A 菌根	
弱小苗木	9.5 (2.1)	0.39 (0.10)	無菌根形成	
青剛櫟 (<i>Cyclobalanopsis glauca</i>)				和社苗圃
優勢苗木	28.4 (3.7)	0.55 (0.11)	外生菌根	
弱小苗木	6.3 (1.5)	0.28 (0.07)	無菌根形成	
三斗石櫟 (<i>Pasania hancei</i>)				和社苗圃
優勢苗木	33.7 (4.1)	0.71 (0.14)	外生菌根	
弱小苗木	9.6 (2.8)	0.35 (0.08)	無菌根形成	

註：1. 每一數值為 3 個重複的平均值，每重複為 6 株苗木的調查值

2. 括弧內之數值表標準偏差。

果樟科樹種中，包括紅楠、大葉楠、長葉木薑子等，內生菌根菌以 *Glomus* 與 *Acaulospora* 屬為主，本試驗利用玉米繁殖法經 3-4 個月可獲得大量 *Glomus etunicatum* 孢子，供後續接種之用。

表 2 為青剛櫟分別接種 *C. sacchariolenis* 與 *P.tinctorius* 外生菌根菌以及樟樹接種 *G. etunicatum* 內生菌根菌後，對青剛櫟與樟樹生長之效益，顯示菌根接種對高生長、地際直徑與乾重皆有顯著增加效益。青剛櫟接種 *C. sacchariolenis* 菌根菌處理苗高生長(23.7 cm)與接種 *P. tinctorius* 菌根菌處理苗(12.5 cm)及未接種對照組(9.8 cm)分別增加 89.6% 與 141.8%；莖徑則分別增加 35.4% 與 85.7%，呈顯著差異，但是接種 *P. tinctorius* 菌根菌處理苗與對照組在高生長與莖徑並無顯著性差異。樟樹接種 *G. etunicatum* 內生菌根處理苗的高生長(29.5 cm)與莖徑(0.71 mm)都較未接種對照組(13.3 cm, 0.49 mm)為佳，分別增加 121.8% 與 45.1%，呈顯著差異。

青剛櫟接種 *C. sacchariolenis* 菌根菌處理苗地上部乾物重(6.54 g)與地下部乾物重(2.11 g)都較接種 *P. tinctorius* 菌根菌處理苗(4.68 g, 3.85 g)與未接種對照組(1.05 g, 0.85 g)，同樣呈顯著差異，其地上部乾物重分別增加 39.7% 與 69.9%，地下部乾物重則分別增加 100.9% 與 148.2%，但接種 *P. tinctorius* 菌根菌處理苗與對照組則同樣在地上部與地下部乾物重呈不顯著差異。樟樹接種 *G. etunicatum* 內生菌根菌處理苗的地上部乾物重(8.65 g)與地下部乾物重(3.15 g)都較未接種對照組(3.41 g, 1.28 g)為佳，呈顯著差異，其地上部與地下部乾物重分別比對照組增加 153.6% 與 146.1%。

表 3 為青剛櫟與樟樹接種不同菌根後對苗木地上部與地下部氮、磷養分濃度的影響，青剛櫟幼苗地上部的氮濃度因接種 *C. sacchariolenis* 菌根(1.03%)而低於對照組(1.21%)與接種 *P. tinctorius* 苗木(1.26%)，呈顯著差異，地下部的氮濃度也有同樣的反應。然而與氮濃度相反的現象，青剛櫟幼苗地上部的磷濃度則因接種 *C. sacchariolenis*

菌根(785 $\mu\text{g/g}$)而顯著高於對照組(230 $\mu\text{g/g}$)與接種 *P. tinctorius* (265 $\mu\text{g/g}$)，各呈顯著差異，地下部的磷濃度也有同樣的反應。樟樹幼苗地上部與地下部的氮濃度不因接種 *G. etunicatum* 菌根而影響，皆呈不顯著差異，但是樟樹幼苗地上部與地下部的磷濃度則因接種 *G. etunicatum* 菌根而顯著高於對照組，皆呈顯著差異。

菌根接種對在青剛櫟氮養分濃度有減少趨勢，但若將養分濃度換算成單株苗木的總吸收量，則如表 4 所示，青剛櫟接種 *C. sacchariolenis* 幼苗與接種 *P. tinctorius* 苗木之地上部氮吸收量(67.36 mg/plant, 58.97 mg/plant)顯著高於對照組(46.59 mg/plant)，同樣的地下部氮吸收量亦有相同趨勢。樟樹的單株氮吸收量差異更為顯著，地上部與地下部幾乎都相差將近 3 倍。菌根接種對青剛櫟磷吸收量有極大影響，尤其接種 *C. sacchariolenis* 地上部與地下部的磷吸收量高達 5.13 mg/plant 與 2.92 mg/plant 顯著高於接種 *P. tinctorius* 與對照組苗木；樟樹地上部與地下部磷吸收量，同樣因菌根接種而呈顯著差異。菌根幫助宿主生長，但其氮濃度經常低於非菌根，通常被視為稀釋效應(dilution effects) (George and Marschner, 1994)，但是磷濃度在菌根苗卻往往高於非菌根苗數倍，將本試驗青剛櫟的氮、磷吸收量換算莫耳數(mole)，則接種 *C. sacchariolenis* 地上部所吸收的氮磷莫耳比為 100：3.42，接種 *P. tinctorius* 者為 100：0.94，而對照苗則為 100：0.86，顯示出後二者苗木磷的吸收不足；同樣的樟樹接種 *G. etunicatum* 菌根地上部氮磷莫耳比為 100：2.79，而對照苗為 100：0.93，可知因磷的不易吸收而限制苗木的生長，同時也驗證菌根具有幫助不易移動養分吸收得能力 (Johansen and Jensen, 1996)。

分離自和社苗圃三斗石櫟裸根苗床之外生菌根菌 *C. sacchariolenis*，在本試驗中證實對青剛櫟幼苗具有顯著的生長與氮、磷吸收效益，而另外一種 *P. tinctorius* 菌根菌雖然是目前為止，被研究最多的外生菌根菌，同時也被證實對於生長在

表 2. 青剛櫟與樟樹分別接種不同菌根後對幼苗生長參數之影響

Table 2. The seedling growth parameter of *C. glauca* and *C. camphora* inoculated with different mycorrhizal fungi.

樹種	青剛櫟 (<i>C. glauca</i>)			樟樹 (<i>C. camphora</i>)	
	<i>C. Sacchariolen</i>	<i>P. tinctorius</i>	Control	<i>G. etunicatum</i>	Control
菌根接種					
高生長 (cm)	23.7 (2.30) a	12.5 (2.20) b	9.8 (1.40) b	29.5 (2.80) a	13.3 (0.08) b
莖徑 (mm)	0.65 (0.12) a	0.48 (0.11) b	0.35 (0.13) b	0.71 (0.14) a	0.49 (0.15) b
地上部乾重(g)	6.54 (1.21) a	4.68 (0.92) b	3.85 (1.11) b	8.65 (1.02) a	3.41 (0.88) b
地下部乾重(g)	2.11 (0.13) a	1.05 (0.11) b	0.85 (0.13) b	3.15 (0.93) a	1.28 (0.15) b

註：1.每一數值為 12 株苗木之平均值。

2.括弧內之數值表標準偏差。

3.每一樹種每列平均值後之字母(a, b, c)若不同表顯著差異(p < 0.05)。

表 3. 青剛櫟與樟樹分別接種不同菌根後對幼苗營養濃度之影響

Table 3. The seedling nutrition concentration of *C. glauca* and *C. camphora* inoculated with different mycorrhizal fungi.

樹種與菌種	分析項目	地上部		地下部	
		N (%)	P ($\mu\text{g/g}$)	N (%)	P ($\mu\text{g/g}$)
青剛櫟					
<i>C. sacchariolen</i>		1.03 (0.05) b	785 (35) a	0.85 (0.03) b	655 (30) a
<i>P. tinctorius</i>		1.26 (0.04) a	265 (12) b	1.11 (0.04) a	220 (12) b
Control		1.21 (0.04) a	230 (13) c	1.02 (0.04) a	180 (11) b
樟樹					
<i>G. etunicatum</i>		1.43 (0.05) a	855 (34) a	1.15 (0.05) a	580 (25) a
Control		1.36 (0.05) a	285 (15) b	1.08 (0.05) a	215 (12) b

註：1.每一數值為 4 次重複分析之平均值。

2.括弧內之數值表標準偏差。

3.每欄平均值後之字母(a, b, c)若不同表顯著差異(p < 0.05)。

表 4. 青剛櫟與樟樹分別接種不同菌根後對幼苗營養吸收總量之影響

Table 4. The total nutrition uptake of seedlings of *C. glauca* and *C. camphora* inoculated with different mycorrhizal fungi.

樹種與菌種	分析項目	地上部		地下部	
		N (mg/plant)	P (mg/plant)	N (mg/plant)	P (mg/plant)
青剛櫟					
<i>C. sacchariolen</i>		67.36 a	5.13 a	17.93 a	2.92 a
<i>P. tinctorius</i>		58.97 a	1.24 b	11.66 b	0.23 b
Control		46.59 b	0.89 c	8.67 c	0.15 c
樟樹					
<i>G. etunicatum</i>		123.69 a	7.65 a	36.23 a	1.83 a
Control		46.38 b	0.97 b	13.38 b	0.28 b

註：1.每一數值為 4 次重複分析之平均值。

2.每欄平均值後之字母(a, b, c)若不同表顯著差異(p < 0.05)。

瘠劣煤礦廢土石地的松樹具有極佳的菌根效益(顏江河, 1996), 但在本試驗中對於青剛櫟則幾無效益, 因此對於菌種與樹種間的菌根組合必須慎重考慮。樟樹接種 *Glomus etunicatum* 在本試驗證實具有極佳的菌根效益, 但是 Graham 等 (1982) 研究發現 *G. etunicatum* (600) 與 *G. macrocarpus* (619), *G. fasciculatus* (624), *G. fasciculatus* (474) 對 *Troyer citrange* 宿主無菌根效益, 但是 *G. fasciculatus*(92), *G. fasciculatus* (0-10), *G. macrocarpus*(329), *G. fasciculatus*(474) 與 *G. constrictus*(66) 則具有很好的菌根效益, 顯示雖然同種菌種但分離品系不同, 對宿主的菌根效益會不盡相同。此外 Abbott and Robson (1985) 之研究顯示 *G. fasciculatum* 較 *Giaspora calospora*, *Acaulospora laevis* 及 *G. tenue* 等三種菌種更具有效性。菌根具有幫助宿主生長之功能, 且不同菌根型態與不同菌種間各有不同程度的菌根效益, 但對於不同環境下(如乾旱、貧瘠、強酸等)是否仍然有相同功效(Clark *et al.*, 1999), 尚待進一步試驗證實。

四、參考文獻

鍾旭和、顏江河、簡光文 (1991) 台灣杉菌根化容器苗之培育研究。林試所研究報告季刊 6(4): 345-356。

顏江河、鍾旭和 (1991) 台灣杉幼苗感染 *Scutellospora nigra* 內生菌根之觀察。林業試驗所研究報告季刊 5(1): 51-60。

顏江河 (1996) 彩色豆馬勃琉球松菌根在煤礦棄土地對土壤溶液中鋁、硫含量及其吸收之效應。國立台灣大學博士論文。110 頁。

Abbott, L. K. and A. D. Robson (1984) The effects of VA mycorrhizae on plant growth. In: C. L. Powell and D. J. Bagyaraj (Eds), VA Mycorrhizae. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, pp.113-130.

Abbott, L. K. and A. D. Robson (1985) Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New

Phytol. 99: 245-255.

Bagyaraj, D. J. (1984) Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. In: C. L. Powell and D. J. Bagyaraj (Eds), VA Mycorrhizae. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, pp.131-138.

Clark, R. B., S. K. Zeto and R. W. Zobel (1999) Arbuscular mycorrhizal fungal isolate effectiveness on growth and root colonization of *Panicum virgatum* in acidic soil. Soil Biol. Biochem. 31: 1757-1763.

George, E. R. V. and H. Marschner (1994) Contribution of an arbuscular mycorrhizal fungi to uptake of cadmium and nickel in bean and maize plants. Plant and Soil 184: 195-205.

Gerdemann, J. W. (1961) A species of Endogone from corn causing vesicular-arbuscular mycorrhiza. Mycologia 53: 254-261.

Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson (1963) Spores of mycorrhizal Endogone extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans Br. Mycol. Soc. 46: 235-244.

Graham, J. H., R. G. Linderman and J. A. Menge (1982) Development of external hyphae by different isolates of mycorrhizal *Glomus* spp. in relation to colonization and growth of *Troyer citrange*. New Phytol. 91: 183-189.

Johansen, A. and E. S. Jensen (1996) Transfer of N and P from intact or decomposing roots of pea to barley interconnected by an arbuscular mycorrhizal fungus. Soil Biol. Biochem. 28:73-81.

Linderman, R. G. (1994) Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. In: Bethlenfalvai, G. J. and R. G. Linderman (Eds.), Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 45-70.

Marx, D. H. (1969) The influence of ectotrophic

-
- mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. *Phytopathology* 59: 153-163.
- Menge, J. A., H. Lembright, and E. L. V. Johnson (1977) Utilization of mycorrhizal fungi in citrus nurseries. *Proc. Int. Soc. Citric.* 1: 129-132.
- Molina, R. and J. G. Palmer (1982) Isolation, maintenance, and pure culture manipulation of ectomycorrhizal fungi. In: N. C. Schenck. (Eds), *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, pp. 115-129.
- Moore, P. D. and S. B. Chapman (1986) Methods in Plant Ecology. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh. p.589
- Phillips, J. M. and D. S. Hayman (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Sylvia, D. M. and S. E. Williams (1992) Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: Bethlenfalvay, G. J. and R. G. Linderman (Eds.), *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 101-124.

