

砂床培育帶菌根杉木苗之研究— 砂床苗圃接種菌根試驗(二)

鍾旭和 顏江河 簡光文

摘 要

在土床及砂床苗圃，選擇能大量繁殖且具短休眠期的 *Glomus mosseae* 進行杉木苗的接種試驗，結果顯示：(1)接種與否並不影響砂床育苗成活率(平均為97%)；而接種則明顯提高土床育苗成活率(接種者高達86%；未接種者74%)。(2)不論是砂床或土床，接種處理均能促進苗高生長，增加地上部及根部乾重，並提高根、莖及葉部之磷含量。(3)砂床苗與土床苗相較其地上部生長差異不大，但就根系之發育而言，則前者優於後者。接種土床苗之莖/根比值最高；未接種之砂床苗最低，接種砂床苗與未接種土床苗莖/根值近似，而介於上述二者之間。(4)施用含磷量適中之肥料能促進苗木之生長發育，其中以每次施用10~30 g/m² 過磷酸鈣之中度施肥最具效應。(5)杉木自砂床出栽後，以玉米間作確能有效地提高砂床孢子含量，惟此高密度之孢子是否能如預期中感染下一期，而不需再行接種作業，則有待進一步觀察評估。

關鍵詞：VA 菌根、砂床、杉木。

鍾旭和、顏江河、簡光文。1992。砂床培育帶菌根杉木苗之研究—砂床苗圃接種菌根試驗。林業試驗所研究報告季刊，7(1)：27-37。

Cultivation of China-fir (*Cunninghamia lanceolata*) Mycorrhizal Seedlings in Sand Bed—Sand Nursery Inoculation Experiments(2)

Hsu-ho Chung, Chiang-her Yen and Kuang-wen Chien

[Summary]

In our previous study we found that the short dormant *Glomus mosseae* which produce mass spore by sand culture was the most effective mycorrhizal fungus associated with China-fir. Spore of *Glomus mosseae*, hence, was selected as inoculum for sand nursery inoculation experiment in the present study. The performances and nutrient status of mycorrhizal seedlings thus obtained were compared with that of non-mycorrhizal seedlings cultivated in sand bed as well as mycorrhizal and non-mycorrhizal seedlings cultivated in regular forest soil bed. The results can be summarized as follow:

1. The survival rates of seedlings cultivated in sand beds (SA) were significantly ($p < 0.05$) higher than those cultivated in soil beds (SO); the former were 98%, and 97%, respectively, for mycorrhizal (MSA) and non-mycorrhizal (NMSA) seedlings; while the latter were 86% and 78%, respectively, for MSO and NMSO.

2. No significant difference in growth was found between MSA and MSO. Likewise we found no disparity in growth between NMSO and

80年7月送審

81年1月通過

NMSA. The growth of mycorrhizal seedlings both in sand and soil beds, however, were significantly higher than the non-mycorrhizal ones.

3. Top-root ratio (TR ratio) of mycorrhizal seedlings cultivated in SO was quite different from that of cultivated in SA. The TR ratio of MSO and NMSA was, respectively, the highest and the lowest with that of MSA and NMSO in between. The extensive root system and vigorous shoot growth found in MSA suggest that MSA would be an ideal choice for reforestation in China-fir extensively planted areas of central Taiwan which are characterized by distinct dry-wet seasons.
4. Phosphate fertilization was found to be necessary for improving the growth of China-fir seedlings. Moderate application of calcium superphosphate at $10\sim30\text{ g/m}^2$ would result in the best growth performance of MSA.
5. Results of corn intercropping experiment showed that such practice could increase and sustain the sufficient propagules in sand bed.

Key Words : VA mycorrhizae, Sand nursery, *Cunninghamia lanceolata*.

Chung, Hsu-ho, Chiang-her Yen and Kuang-wen Chien. 1992. Cultivation of China-fir (*Cunninghamia lanceolata*) Mycorrhizal Seedlings in Sand Bed—Sand Nursery Inoculation Experiments(2). Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 7(1) : 27-37.

一、緒 言

本研究報告之第一部份(鍾旭和等, 1991)已確証菌根接種為改進杉木苗生長之重要因子。該部份報告並指出不具長休眠期且易於繁殖大量孢子接種源之 *Glomus mosseae* 菌種, 頗適於砂床培育帶菌根杉木苗接種試驗之用。因此在本試驗中, 首先乃就砂床接種此一菌種之效應作一探討, 以明瞭接種是否確能改進砂床杉木苗生長遲滯之現象。

就物理性狀而言, 砂床介質頗異於土床介質, 而菌根的形成又與生長介質之水分含量, pH值、溫度、光照等具密切關係 (Anderson *et al.*, 1986; Furlanand Fortin, 1977; Hayman and Tavaves, 1985; Reid and Bowen, 1979; Schenckand Schroder, 1974; Wang *et al.*, 1985); 因此接種後之砂床苗與土床苗值得做實質上之觀察比較。本省杉木多栽植於中部地區之中海拔地帶, 該地區全年氣候乾濕季分明, 出栽苗木之形質遂為影響林分建立成敗之重要因素。

砂床菌根苗其形質是否優於土床菌根苗而較適於作為此一地區出栽苗之用, 值得探討。另外, 肥料的施用與菌根對苗木生長的效應亦極具相關性 (Black and Tinker, 1977; Menge *et al.*, 1978)。砂床苗圃作業中, 肥料的施用及其效應並無資料可供參考。為此, 本試驗亦就不同施肥處理對培育杉木菌根苗之影響進行研究。

一般而言, 對苗木出栽品質的評估項目極多 (Duryea 1985), 其中菌根的有無(接種作業與否)以及根/莖率(與砂、土床有密切關係)二者與本試驗較具相關性, 由於VA菌根菌(Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, 簡稱VAMF)與宿主植物間之專一性極低(Harley and Smith, 1983), 且由於其分佈極廣, 因此VAMF並不構成植物生長與分佈之限制因子。但當生育地(1)缺乏VAMF或其含量極低, 致VAM的形成遭遇困難, (2)雖有VAM的形成, 但其菌種並非有效者 (Abbott and Robson, 1982), 則此時即須對出栽於該生育地之植物予以接種。近年來, 由於對VAM重要性之逐漸了解, 因此林業先進國家之苗圃作業中VAM接種已日益普遍。但由於苗床菌根接種為一極節約之措施, 所費甚高。因此若接種作業確能改進砂床苗之缺失, 而提供形質優良, 適於出栽之砂床苗, 則研擬可行且經濟有效之砂床菌根接種作業管理模塊, 供培育杉木及其它內生菌根樹種砂床菌根苗之用, 遂為本試驗擬深入探討之重點。

二、材料與方法

(一)砂床結構

本試驗地設於台灣省林業試驗所蘆華池分所后崙苗圃, 該苗圃已備有砂床苗床, 並已作過一年半之砂床育苗, 其砂床構造(如圖1), 為長16公

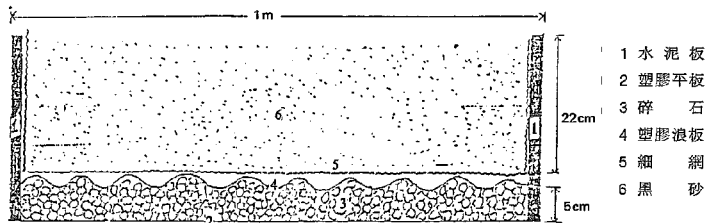


圖1. 砂床結構圖

尺,寬1公尺,並以水泥板隔成1×1公尺之小試區,底層鋪塑膠平板,其上加5公分之碎石,上面再加塑膠浪板以利排水與通氣,其內四週鋪設細網,內置取自瀾水溪之黑砂,砂厚22公分。

(二)砂床接種效應試驗

為了解苗床介質種類(土或砂)、菌根接種及施肥對杉木幼苗生長之效應,本試驗採用複因子完全隨機區集設計,每一區集大小為1×1公尺,其內栽植25株杉木苗,每區集重複4次。在苗床設置後,先用98%的溴化甲烷(methyl bromide)以390kg/ha之使用量予以消毒(Snyder and Davey, 1986),並覆蓋膠布,經兩星期後移去膠布,再經兩星期移入一個月大的杉木苗,並於根域中加入約150顆 *Glomus mosseae* 孢子。對照組則加入10ml孢子濃液。其後每隔四個月施用F1(30g硫酸銨+10g氯化鉀),F2(30g硫酸銨+10g過磷酸鈣+10g氯化鉀),F3(30g硫酸銨+30g過磷酸鈣+10g氯化鉀),及F4(30g硫酸銨+50g過磷酸鈣+10g氯化鉀)等四種不同肥料。待苗木生長2年後,每區集隨機選出12株苗木做苗高、莖徑、乾重測定及植株養分分析。根、莖及葉部之氮、磷、鉀養分含量分別以 Kjeldahl法、鉅黃法及原子吸收光譜法測定之。

(三)砂床接種效應試驗

為了解苗床介質種類(土或砂)、菌根接種及施肥對杉木苗成活之影響,本試驗採用複因子完全隨機區集設計,每一區集大小為1×1公尺,其內栽植25株杉木苗,每區集重複4次。在苗床設置後,先用98%的溴化甲烷(methyl bromide)以390kg/ha之使用量予以消毒(Snyder and Davey, 1986),並覆蓋膠布,經兩星期後移去膠布,再經兩星期移入一個月大的杉木苗,並於根域中加入約150顆 *Glomus mosseae* 孢子。對照組則加入10ml孢子濃液。其後每隔四個月施用F1(30g硫酸銨+10g氯化鉀),F2(30g硫酸銨+10g過磷酸鈣+10g氯化鉀),F3(30g硫酸銨+30g過磷酸鈣+10g氯化鉀),及F4(30g硫酸銨+50g過磷酸鈣+10g氯化鉀)等四種不同肥料。待苗木生長2年後,每區集隨機選出12株苗木做苗高、莖徑、乾重測定及植株養分分析。根、莖及葉部之氮、磷、鉀養分含量分別以 Kjeldahl法、鉅黃法及原子吸收光譜法測定之。

(三)間作玉米以行砂床菌根接種之可行性試驗

盆栽試驗已經證明利用玉米做為孢子繁殖之媒介宿主,在短期間內能大量形成菌根孢子(鍾旭和等1991;陳樹春1982)。因此,基本上以玉米間作在砂床上繁殖孢子,並用以接種播種於其上之杉木苗應為一理想且經濟之作業方式。惟此種作業是否確實可行尚須視在所設定之砂床設施中,玉米是否仍可做為媒介宿主而繁殖大量之孢子而定。本試驗即擬就此一可行性作一探討,並以完全隨機區集設計檢定玉米間作對杉木苗出栽後砂床孢子量之影響。每一區集間作25株玉米,平均

分配於1×1公尺試區內,每區集重複三次。其後就每區集劃分25個樣點進行採樣,並以酒精傾倒法(Gerdemann and Nicolson, 1963)及50%蔗糖液(Jenkins, 1964)進行離心後檢定其孢子含量。

三、結果與分析

(一)苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗成活之影響

由圖2可知砂床苗(SA)之成活率要遠優於土床(SO)。圖2亦顯示砂床育苗作業中菌根接種對苗木成活率並無影響。但SO之成活率則因接種而顯著提高,就施肥處理而言,則不論是SA或SO之成活率均不受施肥處理之影響。

(二)苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗生長之影響

無論是在砂床或土床菌根接種對促進苗木地上部生長,地下部根系發育以及苗木總生物量累積均具有顯著差異(圖3)。在苗高生長上,主要受菌根接種與否的影響,在土床中以F1(低施肥量)而在砂床則以F3(中高施肥量)為最佳(圖3A),而未接種苗則不論砂床、土床皆呈生長不佳的情況。莖徑生長則明顯受苗床介質的影響(圖3B),土床苗木之莖徑大於砂床苗,未接種苗大於接種苗,而砂床中則接種苗之莖徑大於未接種苗。在苗木總生物量累積上,一般而言,SO地上部乾重略高於相對應之SA。但就地下部根系之發育而言,則苗床介質之影響至為明顯,不僅是接種砂床苗(MSA)根部乾重遠較SO重;即使是未接種之砂床苗(MNSA)根系的發育亦遠優於接種之土床苗(MSO)(圖3F)。

含磷量不同之四種施肥處理對苗木之生長效應並不具明顯之差異。一般而言,以磷含量適中之F2及F3兩種肥料對促進杉木苗生長之功效較顯

菁(圖3)。

此外，由地上部(包括莖及葉)及地下部乾重資料可計算推測苗木形質之根莖比(Top:root ratio, 簡稱TR率)。圖3C顯示各處理中以MSO之TR率最高；NMSA之TR率最低，MSA與NMSO之TR率近似，介於上述二者之間。

三、苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗木物體養分之影響

概括而言，菌根接種對杉木苗根、莖、葉之氮、磷、鉀濃度及總含量具有顯著之影響。惟其影響程度則又視杉木苗之組織部位及養分種類而異(圖4~圖9)。若就菌根接種處理之影響而論，對照組之氮濃度一般要較處理組為高；但後者之磷濃度卻明顯地高於前者。鉀則視組織部位不同，處理組或高於或低於對照組。另外，就苗床介質之影響而言，SO根部及葉部之氮濃度要高於SA，而莖部則相反。SA與SO各部位之磷、鉀濃度差異不大，唯一較明顯趨勢為SA葉部鉀濃度高於SO。至於不同肥料處理對杉木苗氮磷鉀濃度之影響似無一定型態可尋，其差異程度亦不若接種及苗床介質所產生之效應。

就養分總含量而言，(圖5、7及9)顯示不論是SA或SO菌根接種均能增加苗木各部位氮磷鉀之量。就苗床介質之影響而論，除了MSA根部氮磷鉀之總含量均高於MSO外，在其他各處理中，

SA各部位氮磷鉀含量則或高於或低於其對應之SO。

四、玉米間作與孢子繁衍

杉木出栽後，間作玉米明顯地影響砂床孢子產量。實驗結果顯示砂床經過玉米間作後其孢子量為 126 ± 24 個/100g砂，而未間作者僅得 41 ± 8 個/100g砂，二者相差達三倍之多，在統計上呈極顯著差異($p < 0.01$)。

四、討 論

一般傳統性之土床苗圃在長期使用之後，地方貧瘠，病蟲害嚴重，致成活率極低。蓮華池之後苗圃亦不例外，雖經消毒、施肥亦未能加以改善。圖2顯示此苗圃之杉木苗成活率僅得75%左右。消毒雖能滅低病蟲為害，但此一措施亦可能同時消除了諸如VAMF等有利於苗木成活生長之土壤微生物。因此，對一般苗圃而言，微生物接種常能提高其成活率。例如后港苗圃經VAMF接種後其成活率明顯地提高15%左右(圖2)。至於砂床則因排水性佳、通氣良好，在水分、養分供應充足情況下，樹根旺盛。因此，接種VAMF與否對其成活率並無顯著影響(圖2)。

本試驗所用之菌種*Golmus mosseas*，在本報告之第一部份中，以同樣接種方式及材料，證

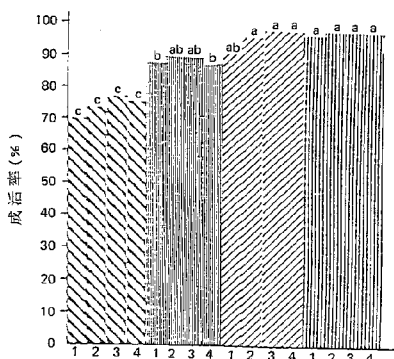


圖2. 苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗成活率之影響

圖2~圖9之圖例說明

粗斜條表示土床未接種菌 (NMSO)

細直條表示土床接種菌 (MSO)

細斜條表示砂床未接種菌 (NMSA)

粗直條表示砂床接種菌 (MSA)

1~4表示F1, F2, F3, F4四種不同施肥度

長條圖上方具有相同英文字母者表示不呈

顯著性差異 ($P < 0.05$)

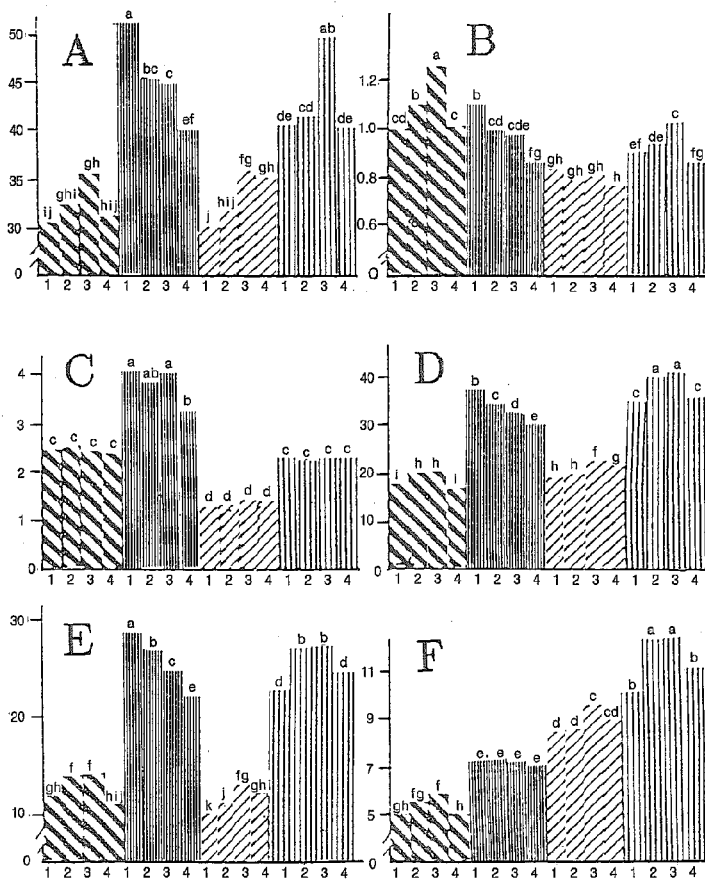


圖3. 苗床介質、苗根接種及施肥處理對杉木苗A.苗高(cm)，B.莖徑(mm)，C.TR率，D.總乾重(g)，E.地上部乾重(g)，F.地下部乾重(g)之影響。

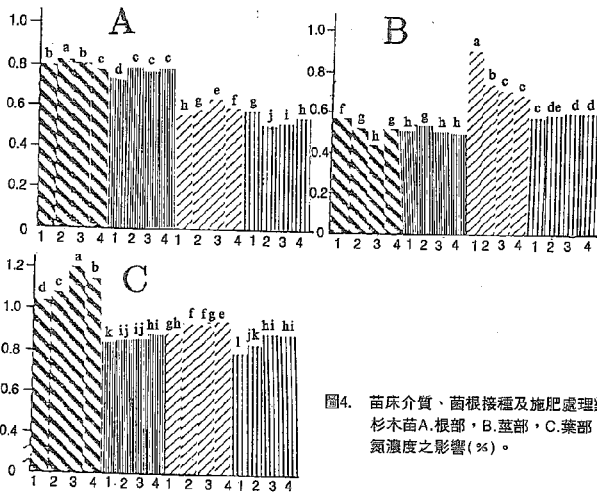


圖4. 苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗A.根部, B.莖部, C.葉部氮濃度之影響(%)。

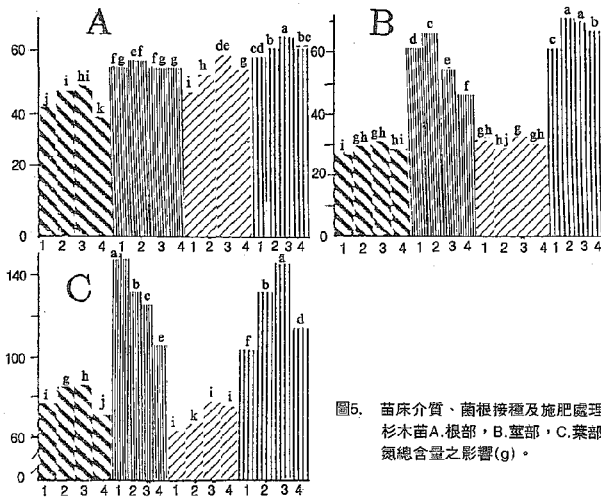


圖5. 苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗A.根部, B.莖部, C.葉部氮總含量之影響(g)。

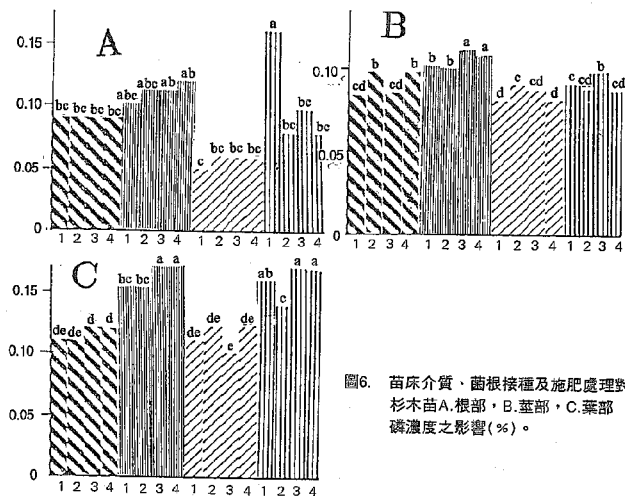


圖6. 苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗A.根部, B.莖部, C.葉部磷濃度之影響(%)。

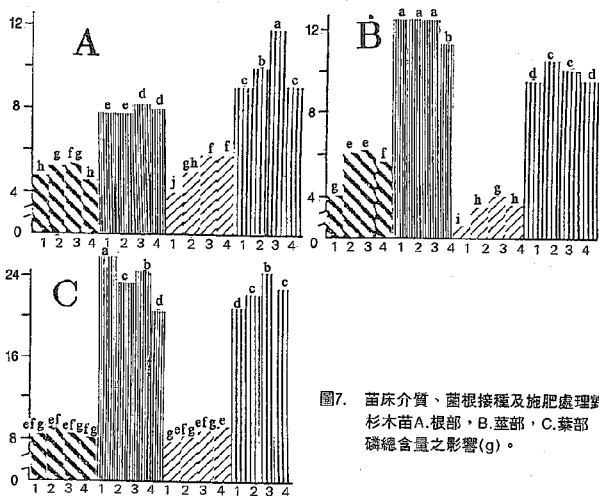


圖7. 苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗A.根部, B.莖部, C.葉部磷總含量之影響(g)。

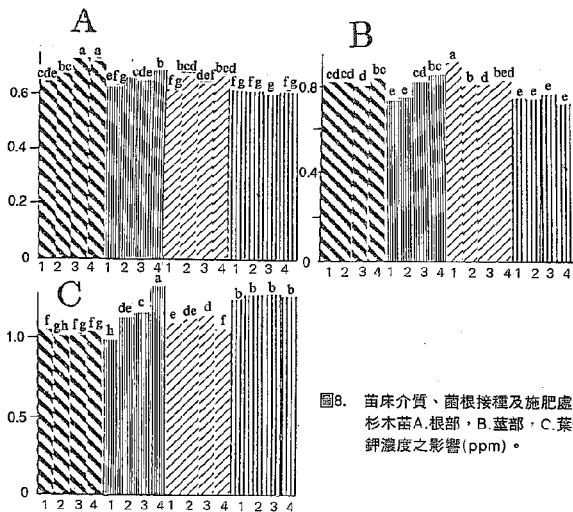


圖8. 苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗A.根部, B.莖部, C.葉部鉀濃度之影響(ppm)。

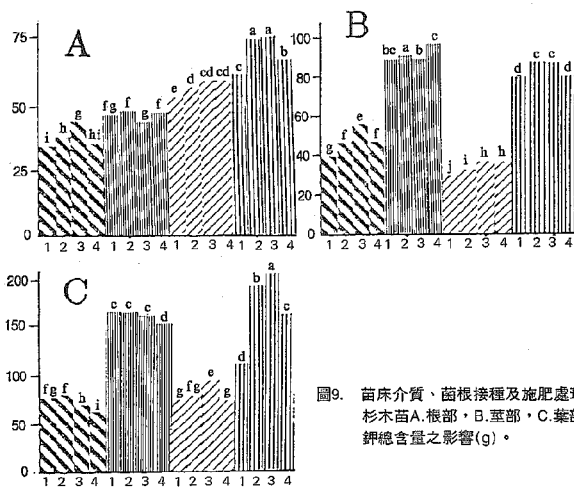


圖9. 苗床介質、菌根接種及施肥處理對杉木苗A.根部, B.莖部, C.葉部鉀總含量之影響(g)。

實確能與杉木形成典型的內生菌根, 其感染率約 22.7%, 且其對杉木生長之效應呈顯著差異(鍾旭和等, 1991)。菌根接種處理雖然未提高砂床杉木苗成活率, 但圖 3E 及 3F 顯示接種確能促進杉木苗地上部及地下部之生長。類似之效應亦發生於 MSO。菌根學者多將此種功能歸因於菌根能促進宿主植物對養分—特別是移動性低的磷—之吸收(Gerdeman, 1968; Mosse, 1973)。祇要生長介質對 VAMF 不產生毒害, 且介質之有效磷含量偏低, 則 VAM 即能發揮此種功能。在圖 3 所示之諸多處理中對 SA 施以適當肥料時, 菌根菌接種所產生之效應最能印證此一學說。在此一處理中 MSA 之地上部、地下部之生長及磷濃度均顯著地高於未接者。惟檢視圖 3, 可知施用含磷量適中之肥料(即 F2 及 F3) 仍為促進 MSA 之生長發育所必需。施用含磷量過高(即 F4) 或過低之肥料對 MSA 均非所宜(圖 3); 前者將抑制菌根形成, 即使是殘留之施用亦復如此(Mosse, 1973; Mosse *et al.*, 1981), 而後者則使根系發育不良, 降低菌根感染率(Habte and Manjumath, 1987), 其結果均不利於菌根功能之發揮。

就苗木總生物量及地上部生物量之生產而言, SA 或高於或低於接種同一處理之 SO。而就地下部之生長而言, 則 SA 根系之發育要遠優於對應之 SO(圖 3F)。因此, 在形態上 MSA 或 NMSA 之 TR 率要明顯地低於其相對應之 SO 苗木。終究其因, 一則可能是因為砂床質地疏鬆, 排水及通氣良好, 有利於根系之發育。此外, 砂床疏鬆的質地亦使得所施用之肥料易於流失, 為供應維持苗木成活與生長所需之養分, 在比例上 SA 勢須分配較 SO 為多的光合產物至地下部分以促進根系發育, 增加養分吸收面積。反之, 由於土床介質對肥料之吸附及釋出具有緩衝作用, 因此在養分適切充分供應之下, SO 乃能分配大比例之光合產物以供地上部生長發育之用。

學者亦曾報導杉木在水分過壓狀態下增加對地下部光合產物之輸送, 以促進根部生長(Teskey and Hinckley, 1986)。就 TR 率而言, 以 MSO 最高, 而 NMSA 為最低, MSA 及 NMSO 則相近似。據 Thompson (1985) 指出以 TR 率估測苗木出栽後之生長表現時須與苗木大小等其他因子同時考慮, 但以 TR 率推測苗木出栽後之成活率則堪稱允當。特別是在水分或養分缺乏致使苗木遭受逆齡為害之地區, 應優先選用 TR 率低之苗木供作造林之用。本省中南部地區, 乾溼區分明顯, 每年之十一月至次年之四月幾無降雨可言。譬

如堪稱為本省中部典型杉木栽植地之本所蓮華池分所試驗林地, 其乾季之表土土壤水勢極低。因此, 出栽於中部地區之杉木苗 TR 率不宜過高。但 TR 率亦不宜過低, 以免苗木出栽後呈生長弱勢而無法與其他植群競爭, 並延長成林所需時日。據 Stoekeler (1957) 之報告, TR 率小於 3 者為最佳, TR 率過高由於旱害、熱害及其它植群之競爭易使苗木大量死亡, 本試驗中所培育之 MSA 及 NMSO 有較適宜之 TR 率, 而 NMSA 之 TR 率僅約 1.3 似嫌過低, MSO 之 TR 率則過高(圖 2C), 因此, 在本省中部地區杉木造林作業中, 為兼顧苗木出栽後之成活與生長, MSA 應不失為一理想之選擇。惟何種 TR 率之杉木苗最適於造林出栽之用, 目前尚無資料可循。而 MSA 之 TR 率可藉由接種及所施肥料之組成分(特別是磷含量)、用量及頻度等加以調節。本試驗所培育之四種苗木在蓮華池地區出栽後之成活與生長目前正評估中。

本試驗所培育之接種苗木品質亦可由苗木養分分析結果加以評估。一般而言, 接種苗之氮及鉀濃度大部分均低於未接種者(亦有例外, 如葉部鉀濃度)(圖 4 及圖 8), 但此乃因前者之快速生長所引起之組織體內養分稀釋作用大於後者所致。由於苗木養分若以含量表示時已將苗木生物量生長因數包含在內, 因此, 以養分含量來預測苗木出栽後之表現應較準確為佳(Landis, 1985)。由於苗木葉部氮磷鉀(特別是氮)含量與苗木之生長具正相關性。因此, 養分生理學者常用以預測苗木之生長(Switzer and Nelson, 1963; Van der Driessche, 1984a, 1984b)。由於接種苗之養分含量普遍高於未接種苗, 而 MSA 又高於 MSO(施用 F1 低磷肥者除外)(圖 5、7 及 9)。因此, 自養分生理觀點言之, MSA 在出栽後當展現成活及/或生長優勢。

無可否認的 MSA 之培育為一極端節約之苗圃作業。因此, 砂床接種固然可獲得形質優良之苗木, 但其栽培成本亦相對提高。本試驗中以玉米間作模式提高 MSA 出栽後砂床中孢子含量之構想即在於減低菌根接種成本, 以使 MSA 之培育成為經濟可行之作業方式。而事實上玉米已被證實為大多數 VAMF 之優良宿主, 以益栽砂耕方式繁殖孢子, 在實驗室中廣為菌根研究者所採用, 本試驗結果顯示間作玉米確能明顯提高砂床孢子含量, 惟此種以玉米繁殖於砂床之孢子是否能如預期中感染下一期作杉木苗, 及間作之玉米對杉木苗生長是否產生競爭壓力, 則有待進一步觀察評估

五、結 論

(一)砂床中接不接種菌根並不影響成活率，二者分別為98%與97%，而在土床中接種菌根明顯提高成活率，接種苗之成活率平均為86%，不接種苗僅73%。施肥處理則不影響成活率。

(二)不論在砂床或土床，菌根接種可促進地上部生長及地下部根系發育，並提高根、莖及葉部磷含量。MSA或NMSA與對應之SO之間地上部生長差異並不大，但就地下部根系之發育而言，則前者要遠優於後者。苗床所施用之肥料以含過磷酸鈣10~30g/m²者最能促進苗木生長。肥料中之含磷量若高於或低於此一範圍均非所宜。試驗所培育之不同苗木中以MSO之TR率最高；NMSA最低；MSA及NMSO之TR率近似，介於二者之間。

(三)接種處理與苗木介質對杉木之氮磷鉀含量、濃度均有顯著之影響。惟其影響程度則視杉木苗組織部位及養分種類而異。就養分含量而言，接種均能增加苗木各部位氮磷鉀之量。

(四)苗木之TR率、生長勢、養分含量及杉木苗在出栽後長期水分逆壓引起之生長為害等幾個因子予以考慮，則本試驗所育成之MSA不失為乾燥季分明之本省中部杉木造林地區理想之出栽苗。

(五)以玉米間作確能有效提高砂床出栽後苗木中之孢子含量，達三倍之多，惟此高密度之孢子是否能如預期中感染下一期作杉木苗，及間作之玉米對杉木苗生長是否產生競爭壓力，則有待進一步觀察評估。

引用文獻

陳樹青. 1982. 內生菌根對矮性四季豆生長、根部形態、磷肥吸收與酶反應的影響。台大園藝所碩士論文。

鍾旭和、顏江河、簡光文. 1991. 砂床培育帶菌根杉木苗之研究—優良菌種之篩選與繁殖(I)，林業試驗所研究季刊, 6(2): 147-154.

Anderson, R.C., B.C. Ebbers and A.E. Liberta. 1986. Soil moisture influences co-lonization of prairie cordgrass (*Spartina pectinata* Lind.) by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 102: 523-527.

Abbott, L. K. and A. D. Robson. 1982. The

role of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 389-408.

Black, R. L. B. and P. B. Tinker. 1977. Interaction between effects of vesicular-arbuscular mycorrhizae and fertilizer phosphorus on yields of potatoes in the field. *Nature (London)* 267: 510-511.

Furlan, V. and J.A. Fortin. 1977. Effects of light intensity on the formation of vesicular-arbuscular endomycorrhizae on *Allium cepa* by *Gigaspora calospora*. *New Phytol.* 79: 335-340.

Gerdemann, J. W. 1978. Vesiculat-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Ann. Rev. Phytol.* 6: 397-418.

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

Habte, M. and A. Manjunath. 1987. Soil souldition phosphorus status and mycorrhizal dependency in *Leucana leucocephala*. *Appl. and Envir. Micro.* 53: 797-801.

Hayman, D.S. and M. Tavares. 1985. Plant growth reponses to vesicular-arbuscular mycorrhiza X V. influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. *New Phytol.* 100: 367-377.

Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Dis. Rep.* 48: 692.

Landis, T.D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. In: Duryea, M.L.(Eds.) *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests.* Forest. Res. Lab., OSU., Corvallis; Oregon.

Menge, J.A., L.K. Labanauskas, E.L.V. Johnson and P. G. Platt. 1978. Partial substitution of mycorrhizal fungi for phosphorus fertilization in the greenhouse culture. *Soil Sci. Amer. J.* 42: 926-930.

- Mosse, B. 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Ann. Rev. Phyto.* 11 : 171-196.
- Mosse, B., D.P. Stribley and F. Letacon. 1981. Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. *Adv. in Micro.* 5 : 137-210.
- Reid, C.P.P. and G.D. Bowen. 1979. Effect of soil moisture on VA mycorrhizae formation and root development. *In : J.I. Harley and R. Russell.* (Eds.) *The soilroot interface.* Academic Press, London, pp.211-219.
- Snyder, C. S. and C. B. Davey. 1986. Sweetgum seedling growth and vesicular-arbuscular mycorrhizal development as affected by soil fumigation. *Soil Sci. Amer. J.* 50 : 1047-1051.
- Stoekeler, J.H., and G.W. Jones. 1957. Forest nursery practice in the Lack States. U. S. Forest Serv. Agr. Handbook 110.
- Schenck, N.C. and V.N. Schroder. 1974. Temperature response of Endogone mycorrhiza on soybean roots. *Mycologia* 66 : 600-605.
- Switer, G. L. and L.E. Nelson. 1963. Effect of nuresery fertility and density on seedling characteristics, yield, and field performance of loblolly pine (*Pinus taeda*). *Soil Sci. Amer. Proc.* 27 : 461-464.
- Teskey, R.O. and T.M. Hinckley. 1986. Moisture : Effects of water stress on trees. *In : Hennessey, T.C., P. M. Daugherty, S. V. Kossuth and J.D.Johnson* (Eds.) *Stress physiology and forest productivity.* Martinus Nijhoff Publishers, pp.9-33.
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation — what you can tell by looking. *In : Duryea, M. L.* (eds.) *Evaluating seedling quality : Principles, procedures and predictive abilities of majortests.* Forest Res. Lab., OSU., Corvallis.
- Van der Driessche, R. 1984a. Soil fertility in forest nurseries. *In : Duryea, M.L. and T.D.Landis* (eds.) *Forest Nursery Manual : Production of Bare Root Seedlings.* The Hague : Martinus Nijhoff/ Dr. W. Junk, Publishers, pp.63-74.
- Van der Driessche, R. 1984b. Relationship between spacing and nitrogen fertilization of seedlings in the nursery, seedling mineral nutrition and outplanting performance. *Can. J. For. Res.* 14 : 431-436.
- Wang, W.M., D.P. Stribley, P.B. Tinker and C. Walker. 1985. Soil pH and vesicular-arbuscular mycorrhizas. *In : A.H. Fitter.* (Eds.) *Ecological Interactions in Soil : Plants, Microbes and Animals.* Blackwell Oxford, pp.219-224.