研究報告

兩種土壤中接種菌根對大頭茶苗木的生長效應

顏江河[1] 林哲毅[2]

【摘要】本研究利用分離自平溪煤礦區堆置棄土及惠蓀林場大頭茶根域土之菌根孢子作為接種源，以二種土壤（惠蓀土、煤礦土），三種處理（接種惠蓀孢子、接種礦區孢子、不接種孢子）之複因子試驗設計，觀察不同處理對大頭茶形質生長及土壤中麥角固醇量之影響。二處採樣地所分離之孢子經鑑定均為 *Glomus constrictum* Trappe，大頭茶苗木經接種 60 粒 *G. constrictum* 孢子後，苗木生長（高生長、地際直徑）及乾重（地下部、莖部、葉部）在不同土壤及不同孢子處理皆呈顯著差異，以煤礦區堆置棄土接種礦區孢子之大頭茶生長為最佳、接種惠蓀孢子者次之，對照組最低。土壤處理中，以生長在煤礦區堆置棄土處理之大頭茶較惠蓀土處理者為佳。試驗用土經接種處理後較未接種處理及栽植前之 pH 值分別增加 0.1～0.3、0.3～0.5 個單位，顯示土壤之 pH 值會因苗木生長而有改變。在煤礦區堆置棄土中之麥角固醇可能因 pH 值過低而無法測出，但在惠蓀土壤中則接種處理者其麥角固醇量皆高於未接種處理者。

【關鍵字】菌根、大頭茶、煤礦區堆置棄土

Research paper

Effects of Mycorrhizal Inoculation on the Growth of Taiwan Gordonia (*Gordonia axillaris*) Seedlings in Two Soils

Yen, Chiang-Her[1] Lin, Chieh-Yi[2]

【Abstract】The purposes of this study were to observe the effects of mycorrhizal inoculation on the Taiwan gordonia seedlings growth and soil ergosterol concentration treated with different soils and inoculation. Mycorrhizal spores were isolated from Pin-Shi coal mine spoils and Hue-Sun Forest Station. Experiment was conducted with factorial design, by using two soil (coal mine spoils, Hue-Sun soil) and three treatments (spores from coal mine spoils, spores from Hue-Sun soil, uninoculated). Indigenous spores *Glomus constrictum* Trappe from both two soils were identified. After inoculated with sixty spores, Taiwan gordonia seedlings growth (high and stem diameter) and biomass production (root, stem and leaf) showed significant difference between each treatment. Seedlings grown on coal mine spoils were significantly better than those on Hue-Sun soil. Among all treatments, the seedlings grown on coal mine

1. 國立中興大學森林系助理教授，通訊作者
Assistant Professor, Department of Forestry, NCHU. Corresponding author.
2. 國立中興大學森林系研究生
Graduate student, Department of Forestry, NCHU.

spoils inoculated with coal mine spores had best performance. The soil pH increased 0.3-0.5 and 0.1-0.3 value, cause by mycorrhizal inoculation or uninoculaton, respectively. It showed that soil pH was change by seedlings growth. Ergosterol concentration couldn't be detected in coal mine spoils, probably due to the pH lower than 4.0. On the contrary, with mycorrhizal inoculation in Hue-Sun soil the ergosterol concentrations were higher than those uninoculated.

【**Key words**】Mycorrhizae, Taiwan gordonia, Coal mine spoils.

一、前言

大頭茶（*Gordonia axillaris*）屬山茶科（Theacea）樹種，常綠小喬木，分佈在台灣中低海拔闊葉林，在原始森林中可生長成大喬木，但在一般的次生林地中爲小喬木，生長並不快。根系屬主根系深根性，栽植之存活率較低。適生酸性、乾旱之貧瘠土地或岩隙。性喜溫暖及強光照。對病蟲害、污染及強風之耐性甚強，可供爲綠化樹種及水土保持邊坡穩定之用，木材質地甚細可供建材（呂福原等，1996 ）。此外本樹種在台灣北部許多煤礦堆置棄土地爲唯一的優勢喬木，對於瘠劣地的復育造林具有重要意義。

煤礦區堆置棄土（coal mine spoils）可能是目前人爲破壞自然地表，除了熱帶雨林之外，面積最大者（Tate and Klein, 1985）。棄土區流出之水因受土壤性質影響，嚴重污染水源，土壤流失亦極爲嚴重。棄土區通常含有大量石礫，土壤水容易漏失，保水力極差，有效含水量經常僅在 2.3 %～14.7 % 範圍內，因而影響植物吸收水分，易引起乾旱現象。棄土地也因裸露狀態，氣溫 30～35 ℃ 時土溫會高達 50～55 ℃ 甚或高達 70 ℃ ，容易引起高溫爲害（Pederson *et al.*, 1980）。煤礦通常伴隨著許多黃鐵礦（pyrite），主要成份爲 FeS_2，曝露在空氣中氧化會產生硫酸及氫氧化鐵，使煤礦土呈極酸的反應。低 pH 值通常是限制土地植生的主要因子，且會釋出高濃度的鐵、鋁、錳等重金屬，因此 pH 值低於 4 往往會對植物產生毒害。由於煤礦棄土地呈極酸性，使得土壤中的微生物不易生存，造成土壤肥力及微生物活性下降（Harris *et al.*, 1989），因此分解礦質養分及植物殘體的能力降低、養份循環不易、改良土壤的各種性質速度緩慢，也使得土壤沖蝕的機會加大。

至目前爲止，除廖芳瑾（1998）研究大頭茶切根後對生理機能及根系再生能力之研究，鍾旭和與顏江河（1997）研究大頭茶的抗鋁機制外，尙未見其他有關本樹種之研究報告。本研究主要在利用分離自礦區棄土地的菌根孢子與分離自惠蓀林場之孢子，分別接種於礦區土與一般森林土，用來瞭解大頭茶接種菌根後對生長表現，探討煤礦區堆置棄土自然生長之大頭茶，是否因形成菌根共生的關係才能在此瘠劣地生長良好，因而評估該樹種在不良生育地復育（restoration）的可行性。

二、材料與方法

（一）接種源之分離

將取自台北縣平溪鄉菁桐煤礦區堆置棄土及中興大學實驗林惠蓀林場之大頭茶根域土，約 250 ml 土加入 1000 ml 水混合後，以濕篩沈降法讓大徑土粒沈澱數秒，倒入由不同網目組成之組合篩網內，以水徐徐沖洗網目，待洗淨後取出各個篩網所留下之物質，緩慢的倒入內含 40 % 的蔗糖溶液的試管內，靜待平衡後吸取懸浮液，再重覆上述步驟（Daniel and Skipper, 1982）。由於水與蔗糖密度之差異可以將孢子和土壤及雜質分離，分離之懸浮液經稀釋後，放置於解剖顯微鏡下將孢子逐一吸出。

（二）土壤處理、苗木培育及接種處理

試驗用土同樣分別取自惠蓀林場及台北平溪煤礦區棄土堆置區土，取上層土（深度約 20 cm）經 4 mm 過篩，所得之土壤全部施以高

溫高壓殺菌處理，並放置通風之室內 10 天以上，減少因高溫殺菌可能產生的有害物質，儲藏備用。

大頭茶種子取自台北林業試驗所，經 30 % H_2O_2 表面殺菌 20 分後行流水處理 48 小時，播種至發芽床。介質為 1 號蛭石，約 3 星期後陸續發芽，取苗齡約 30 天之健壯幼苗，移植至上端口徑 10 cm 高 15 cm 葳特缽（體積約 640 ml），每天澆水 1 次，水量控制在田間容水量範圍內，苗木置於透明遮陽棚內。全程不施肥。

試驗採 2 ×3 複因子試驗設計，包括 2 種土壤（礦區棄土、惠蓀土），3 種接種處理（接種礦區孢子、接種惠蓀孢子、對照組（不接種菌根），每處理 6 株苗。幼苗移植時利用注射器將孢子沿著苗木側根滴下使與根接觸，每處理接種孢子量為 60 顆，對照組則注入 2 ml 未含孢子之懸浮液，以減少微生物差異產生的現象（Koide and Li, 1989）。

（三）苗木生長收穫調查

苗木 10 個月大時結束實驗，量測苗高、地際直徑，並區分為根、莖、葉三部份，放入 65 ℃ 烘箱中 1 星期，絕乾後放入大型玻璃乾燥器，冷卻後秤重，再用植物體粉碎機磨碎，置於乾燥箱貯藏備用。

（四）土壤分析

土壤經風乾後，測定含水率，瓶裝保存供測定分析之用。土壤 pH 以玻璃電極法，將土壤與水溶液以 1：1（V / V）的比例混合均勻放置過夜，平衡後以酸鹼測定儀測定之。凱氏全氮取通過孔徑 2 mm 之風乾土樣 0.5 g 加催化劑 1 g （催化劑 = K_2SO_4 : $CuSO_4 \cdot 5H_2O$: Se（100：10：1），加入 5 ml H_2SO_4，在 375 ℃ 加熱消化至澄清，蒸餾時以 2 % 硼酸當接收劑再以 0.05 N H_2SO_4 滴定之（MacDonald, 1977）。有效磷濃度取通過孔徑 2 mm 風乾土樣 1 g，在試管中加 7 ml 萃取液（0.03 N NH_4F 與 0.025 N HCl）震盪 1 分鐘，抽出液經濾紙（Whatman no.42）過濾，以 $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ 及 $SnCl_2$ 呈色後，在 660 nm 波長下比色定量（Olsen and Sommer, 1982）。陽離子置換能力與可置換性鉀、鈉、鈣、鎂以 1 N 中性的 NH_4OAc（pH = 7.0）抽出後過濾之，定積至 200 ml，以原子光譜吸收儀（AA）分別測定 K、Na、Ca、Mg。土樣再經酒精淋洗數次後，再以酸化之 10 % NaCl 淋洗後定積至 100 ml，測定陽離子置換能力，方法同凱氏氮蒸餾（MacDonald, 1977）。

（五）麥角固醇分析

取 5 g 新鮮土，置於 30 ml 螺旋試管內，加入 15 ml ℃ methanol及 5 ml 4 % KOH-methanol 溶液（KOH/methanol; w/v）。先搖晃 2 分後，再以超音波震盪 2 分，旋置於 80 ℃ 水浴槽中 30 分鐘。取出後放置 15 分鐘使其冷卻，加入 5 ml 去離子水，再震盪數秒，過濾後再加入 5 ml methanol，移入 250 ml 分液管，加己烷（n-hexane），萃取 3 次，每次 10 ml。取其上層澄清液，所得澄清液以旋轉蒸發器真空乾燥（水浴 40 ℃）。完全乾燥後加入 5 ml methanol，超音波震盪 1 分鐘。再將體積縮小至 1～1.5 ml。以 5 ml 注射器吸取樣液，經 0.45 μm 微孔濾膜過濾至取樣瓶，注入離子層析儀（Ion Chromatography, IC）分析。IC 操作條件設定如 Eash 等（1996）。

三、結果

濕篩沈降法為目前最普遍用於內生菌根菌孢子分離之方法，雖然較為費時，但能確實將土壤中之孢子分離。本試驗分離出之孢子經鑑定為 Glomus constrictum Trappe，屬於繡球菌目（Glomales）、繡球孢子科（Glomaceae）、繡球孢子屬（Glomus）（Trappe, 1977）。於解剖、光學顯微鏡下觀察其特徵如下：孢子表面有細刺網紋、孢子有延伸菌絲、孢子接觸點之開口及接觸菌絲幾無顯著隔膜、延伸菌絲在接觸點收縮、孢子

大小約 100～150 μm、孢壁顏色為深褐色至黃色，破裂之成熟厚壁孢子內含多量原生質。

表 1 為兩種土壤與三種孢子接種處理對 10 個月大頭茶生長之影響，苗木高生長在土壤處理間以礦區土為佳（M, 11.4 cm），與惠蓀土（H, 8.08 cm）呈顯著差異。如不考慮土壤之性質，單純以不同接種處理間做比較時，則苗高生長以接種礦區孢子為最佳（m, 11.18 cm），與接種惠蓀孢子（h, 9.17 cm）及對照組（c, 8.49 cm）呈顯著差異，但接種惠蓀孢子與對照組則呈不顯著差異。六種不同處理中，以礦區土接種礦區孢子處理（Mm, 13.12 cm）生長最佳，接種惠蓀孢子（Mh, 10.52 cm）次之，與對照組（Mc, 9.78 cm）比較時，高生長分別增加了 34.2 % 及 7.6 %；在惠蓀土壤中同樣以接種礦區孢子處理（Hm, 9.23 cm）生長最佳，顯著高於接種惠蓀孢子（Hh, 7.81 cm）及對照組（Hc, 7.20 cm），高生長分別增加了28.2 % 及 8.5 %，但 Hh 與 Hc 則不具顯著差異。

地際直徑生長之反應趨勢類似高生長，兩種土壤中都是以接種礦區孢子之處理呈最佳生長，分別為 Mm（4.25 mm）、Hm（2.93 mm），與未接種對照組比較呈顯著差異，其增加量分別為 39.3 % 及 29.6 %。Hh 與 Hc 無顯著差異；但Mh（3.59 mm）較 Mc（3.05 mm）增加了17.7 %，具顯著差異。兩種

表 1. 不同土壤及不同接種處理對 10 個月生大頭茶生長之影響

Table 1. The effects of soil and inoculation on the growth of ten months old Taiwan gordonia seedlings.

不同處理	高生長 (cm)	地際直徑 (mm)	葉乾重 (g)	莖乾重 (g)	地下部乾重(g)
			不同土壤與菌種處理		
Hh	7.81 [d]	2.50 [d]	0.56 [e]	0.15 [e]	0.31 [e]
Hm	9.23 [c]	2.93 [c]	0.88 [d]	0.20 [d]	0.84 [d]
Hc	7.20 [d]	2.26 [d]	0.40 f	0.10 f	0.21 [e]
Mh	10.52 [b]	3.59 [b]	1.23 [b]	0.32 [b]	2.41 [b]
Mm	13.12 [a]	4.25 [a]	1.61 [a]	0.57 [a]	2.89 [a]
Mc	9.78 [bc]	3.05 [c]	1.04 [c]	0.24 [c]	1.52 [c]
			不同土壤處理間		
H	8.08 [b]	2.56 [b]	0.61 [b]	0.15 [b]	0.45 [b]
M	11.14 [a]	3.63 [a]	1.29 [a]	0.37 [a]	2.27 [a]
			不同接種處理		
h	9.17 [b]	3.05 [b]	0.90 [b]	0.23 [b]	1.36 [b]
m	11.18 [a]	3.59 [a]	1.24 [a]	0.38 [a]	1.87 [a]
c	8.49 [b]	2.65 [c]	0.72 [c]	0.17 [c]	0.86 [c]

每一數據為 6 株苗木平均值，同欄數值後之字母若不同表差異顯著($p < 0.05$)H、M 分別代表惠蓀土及礦區棄土。h、m、c分別代表接種惠蓀孢子、礦區孢子及對照組

土壤接種處理（h, m）與照對組（c）皆呈顯著差異。

葉部乾重以礦區土處理 M（1.29 g）較惠蓀土處理 H（0.61 g）佳，呈顯著差異。H處理間以 Hm（0.88 g）最佳、Hh（0.56 g）次之，與 Hc (0.40 g）呈顯著差異。M 處理間以 Mm（1.61 g）最佳、Mh（1.23 g）次之，與 Mc（1.04 g）呈顯著差異。接種處理中以 m（1.24 g）最佳、h（0.90 g）次之，與 c（0.72 g）呈顯著差異。

莖部乾重在兩種土壤處理間，以 M 處理（0.37 g）較H處理（0.15 g）爲佳，呈顯著差異。H 處理間以 Hm（0.20 g）最佳、Hh（0.15 g）次之，較對照組 Hc（0.10 g）分別增加 100 % 及 50 %，呈顯著差異。M 各處理間以 Mm（0.57 g）爲最佳、Mh（0.32 g）次之較對照組（Mc, 0.24 g）分別增加 112.5 % 及 33.3 %，呈顯著差異。三種接種處理（h, m, c）間，以 m （0.38 g）最佳、h（0.23 g）次之與 c（0.17 g）比較時增加的量分別爲 123.5 % 及 35.3 %，呈顯著差異。

根部乾重以 M 處理根部乾重爲 H 處理的 5 倍，H 處理間以 Hm（0.84 g）最佳，與對照組比較時增加了 300 %。雖然 Hh 較 Hc 增加 47.6 %，但不具顯著差異。M 各處理間以 Mm（2.89 g）最佳、Mh（2.41 g）次之，皆與照對組（Mc, 1.52 g）呈顯著差異，較對照組分別增加 90.1 % 及 58.6 %。三種接種處理間（h, m, c）呈顯著差異，以m（1.87 g）最佳、h（1.36 g）次之、c（0.86 g）最劣，較對照組分別增加 117.4 % 及 58.1 %。

四、討論

內生菌根菌感染植物所引起寄主根部細胞之變化，除了少數的植物（如洋蔥）有顯著的黃色素，可明顯地與未感染菌根者加以區別外，大部分內生菌根並無法用肉眼予以辨認，不似外生菌根會造成寄主根部外觀形態上之變化，故需借助顯微鏡及染色法檢定之。本實驗利用孢子直接滴於大頭茶根系，經染色後以顯微鏡觀察確實有菌根感染，惟需考慮的是，所使用的孢子是否有活力、數量是否足夠，Koide 及 Li（1989）用 50 顆孢子已能感染植物根部。爲確保菌根感染成功，本試驗每株大頭茶利用注射器注入接種 60 顆孢子。

本實驗自煤礦區堆置棄土及惠蓀林場所篩選出之孢子經鑑定雖爲同一種，但可能是因兩地環境因子差異之影響，導致生態地位上之不同而分化爲生態亞型（ecotype）（Stahl *et al*., 1988），對於菌根效益的表現會有不同，不論礦區土或惠蓀土皆以接種礦區孢子最佳、接種惠蓀孢子次之，對照組最低。此外礦區土之大頭茶高生長、地際直徑均較生長在惠蓀土者爲佳，呈顯著差異，此結果與 Isabelle 等（1998）認爲接種內生菌根菌對植物之高生長及地下部重量均有增加相同。

大頭茶各部組織乾重在土壤處理間或接種處理間皆較對照組爲重，呈顯著差異。兩種土壤處理以礦區土爲佳，與惠蓀土呈顯著差異。根部乾重在土壤處理及接種處理中與對照組之差異最大，在土壤處理中 M 較 H 增加了 4 倍，顯示大頭茶在礦區土之適應力較惠蓀土佳。三種接種處理中，Hm 較 Hc 增加 310 %，Mm 較 Mc 增加 90.1 %，差異顯著。莖部乾重與葉部乾重在各接種處理間皆以接種礦區孢子爲佳、惠蓀孢子次之，對照組最劣，呈顯著差異。Vaast 等（1996）同樣證實內生菌根菌接種後對植物之各部生物量均有增加現象。

表 2 爲盆栽試驗前兩種土壤及試驗後各處理的土壤化學分析結果，顯示全氮含量並不因有苗木生長或有接種處理而有明顯改變。鉀離子濃度皆較栽植前的土壤低。鈣離子濃度在惠蓀土有苗木生長時，除 Hm 略高於栽植前的土壤，其餘皆有降低之趨勢，在礦區土則因苗木生長而增加土壤鈣離子的濃度，尤以有接種者

表 2. 試驗前與不同處理後土壤化學性質分析

Table 2. The chemical properity of soil before and after experiment.

土樣別	pH	凱氏氮 (%)	有效磷 (ppm)	置換性陽離子(m.e./100 g) K	Ca	Mg	Na	CEC (m.e./100 g)
試驗前之土壤								
惠蓀土	4.17	0.41	5.69	0.26	1.18	0.28	0.08	13.52
礦區土	3.21	0.13	nd	0.21	1.99	1.16	0.10	6.95
不同處理後之土壤								
Hh	4.61	0.41	5.50	0.21	1.05	0.77	0.15	15.08
Hm	4.65	0.40	6.41	0.20	1.20	0.81	0.10	14.99
Hc	4.31	0.42	6.28	0.23	1.11	0.76	0.14	14.50
Mh	3.61	0.13	nd	0.18	3.14	1.03	0.12	7.43
Mm	3.67	0.13	nd	0.16	3.14	1.04	0.11	6.99
Mc	3.53	0.12	nd	0.15	3.07	1.09	0.13	6.32

每一數據爲 6 次重覆之平均值
nd 表檢測不出

增加較多。鈉離子不論是惠蓀土或礦區土，均因有苗木生長而增加土壤中的鈉離子濃度。鎂離子濃度在有苗木生長時，惠蓀土會增加鎂離子濃度，但礦區土卻只有少量減少。各接種處理的 pH 值皆較未接種處理者增加，惠蓀土接種處理後其 pH 值較未接種者增加 0.32 個單位；礦區土接種處理後較未接種處理者增加 0.11 個單位。不論接種處理與否皆因大頭茶的存在較栽植前增加 0.14-0.46 個單位，顯示土壤的 pH 值會因植被的存在而有明顯的改變，Bago 和 Azcon-Aguilar（1997）同樣證實內生菌根菌的根外菌絲會影響土壤的化學組成及 pH 值。

礦區土栽植前與栽植後的有效磷皆無法偵測到，惠蓀土則在栽植後有微量增多，但都在有效磷極微量的範圍（ < 7 ppm）。土壤的全磷量很少缺乏，但一般多爲無效磷的狀態，常產生所謂的磷耗盡區（depletion zone），且移動性差，而無法藉由擴散作用加以補充，所以常常成爲植物生長的限制因子。耗盡區以外的區域，植物本身無法加以利用，必須借助於改變 s 根部的微環境。改變的方式如有機酸的分泌、土壤微生物的共生，例如菌根菌。菌根菌對於磷的吸收能力已爲許多學者所證實，吸收能力常可達未接種菌根者數倍至數十倍。土壤中磷有效性，主要是依土壤 pH 值而定，高 pH 值會以磷酸鈣形式被固定，低 pH 值會形成磷酸鐵及磷酸鋁，因此在 pH 6.5（礦質土），pH 5.5（有機質土）有效磷之含量最多，被固定的磷最少（郭魁士, 1985；Michael, 1998）。土壤養分有效供應、菌根共生以及苗木生理特性都會影響苗木的生長表現，本試驗所使用的兩種土，惠蓀土有效養分的供應，不論 N、P、K 都優於礦區土，但苗木生長表現顯著低於礦區土（表 1），甚至未接種的 Mc 生長表現高於有接種的 Hh 與 Hm，大頭茶在煤礦區堆置棄土爲唯一的優勢樹種，在此瘠劣地其生長快速（鍾旭和與顏江河，1997），大頭茶與茶皆屬山茶科，梁致遠等（1997）認爲茶適生長於酸土中，很早前就認爲酸土中的鋁離子是茶生長的

必須元素（Chenery, 1955），因此礦區土的低pH 值與高量鋁離子濃度（1242 mg/kg, 鍾旭和與顏江河，1997），可能是大頭茶所適宜的生長條件，值得以水耕控制進行深入探討。

表 3 爲兩種土壤及三種接種處理對 10個月生大頭茶根域土麥角固醇量之影響，顯示土壤處理間以惠蓀土爲高，而礦區土內無法測出。惠蓀土各接種處理中以 Hm 爲高、Hh 次之，二者皆高於對照組（Hc），呈顯著差異。接種處理間以 m 爲高、h 次之，c 最低。麥角固醇分析可得知土壤中之活眞菌生物量，會因菌根之種類、土壤之種類而有不同的量。殺菌過而未接種菌根菌之處理，應無法測出麥角固醇量，然而本試驗在對照組測出其值，推測可能是苗木並非在控制生長箱中培育，實驗期間因微生物侵入土壤中，導致麥角固醇的出現。各學者在分析土壤麥角固醇量時，其介質的 pH 值均爲 5.2 以上（West *et al.*, 1987）或 5.0 以上（Gessner and Chauvet, 1992），而本試驗用之礦區土其 pH 值爲 4 以下，因此 Mh, Mm 與 Mc 同樣應有麥角固醇，可能因 pH 值之故，而導致無法測出，仍需進一步之實驗來加以証實。

五、參考文獻

呂福原、歐辰雄、呂金誠（1996）台灣常見樹木解說手冊。台灣省農林廳林務局。59 頁。

廖芳瑾（1998）根系修剪對四種原生樹種生理機能及根系再生之研究。國立中興大學森林研究所碩士論文。

郭魁士（1985）土壤學。中國書局。358-360 頁。

梁致遠、顏江河、林鴻淇（1997）茶樹免除鋁的營養生理障礙之研究。中國農業化學會誌 35(1): 61-69。

鐘旭和、顏江河（1997) 煤礦棄土地大頭茶抗鋁毒害機制之研究。台灣林業科學 12(2)：167-175。

Bago, B. and C. Azcon-Aguilar (1997) Changes in the rhizospheric pH induced by arbuscular mycorrhizal formation in onion (*Allium cepa* L.). Zeitschrift furpflanzenernaehrung und

表 3. 不同土壤及不同接種處理之後土壤中麥角固醇量（ppm ）之分析

Table 3. The ergosterol concentration (ppm) of different soil and different mycorrhizal inoculatuon.

不同土壤與不同菌根處理					
Hh	Hm	Hc	Mh	Mm	Mc
2.53 [a]	3.67 [a]	0.99 [b]	nd	nd	nd
兩種不同土壤處理間					
H	M				
2.40	nd				
三種不同菌根處理間					
h	m	c			
1.27 a [b]	1.83 [a]	0.50 [b]			

每一數據爲 18 次重覆之平均值，同列數值後之字母若不同表差異顯著（$p < 0.05$ ）

* H、M 分別代表惠蓀土及礦區棄土

** h、m、c 分別代表接種惠蓀孢子、礦區孢子及對照組。 nd：表示儀器無法測出

bodenkunde. 160: 333-339.

Chenery, E. M. (1955) A preliminary study of aluminum and tea bush. Plant Soil 6: 174-200.

Daniel, B. A., and H. D. Skipper (1982) Methods for the recovery and quantitative estimation of propagule from soil. Ed. Schenck, C. *In*: Methods and principle of mycorrhizal research. Ed. Schenck, N. C. Amer. Phytopathol. Soc. p. 29-35

Eash, N. S., P. D. Stahl, T. B. Parkin and D. L. Karlen (1996) A simplified method for extraction of ergosterol from soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 468-471.

Gessner, M. O. and E. Chauvet (1992) Ergosterol —to—biomass conversion factors for aquatic hyphomycetes. Appl. Environ. Microbiol. 58: 502-507.

Harris, J. A., P. Birch and K. C. Short (1989) Changes in the microbial community and physico-chemical characteristics of topsoils stockpiled during opencast mining. Soil Use Manage. 5: 161-167.

Isabelle, S., M. Ducher, H. Sallanon, and C. Alain (1998) Growth and gas exchange response of *Heavea brasiliensis* seedlings to inoculation with *Glomus mosseae*. Trees. 12: 236-240.

Koide, R. T. and M. Li (1989) Appropriate controls for vesicular arbuscular mycorrhizal research. New Phyto. 111: 35-44.

MacDonald, C. C. (1977) Methods of soil and tissue analysis used in the analytical laboratory. Canadian Forestry Service Information Report. MM-X-78.

Michael, D. M. (1998) Transformation of other elements. *In*: Principles and applications of soil microbiology. Ed. Sylvia, D., J. J. Fuhrmann, P. G. Hartel, and D. A. Zuberer. Prentice Hall, Inc. New Jersey. p. 369-377.

Olsen, S. R. and L. E. Sommers (1982) Phosphorus. *In*: Methods of soil analysis. Part II Chemical and microbiological properties second edition. Ed. Page *et al.*, ASA. CSSA. SSSA. Madison, Wisconsin.

Pederson, T. A., A. S. Rogowski and R. Jr. Pennock (1980) Physical characterics of some minesoils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 321-328.

Stahl, P. D., S. E. Williams and M. Christensen (1988) Efficacy of native vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi after severe soil disturbance. New. Phyto. 110: 347- 354.

Tate III, L. Robert and D. A. Klein (1985) Soil reclamation process-microbilogical analyses and applications. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York and Basel.

Trappe, J. M. (1977) Three new endogonaceae: *Glomus constrictus, Sclerocystis clavispora, and Acaulospora scrobiculata*. Mycotaxon 6: 359-366.

Vaast, Ph., R. J. Zasoski and C. S. Bledsoe (1996) Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation at different soil P availabilities on growth and nutrient uptake of *in vitro* propagated coffee (*Coffea arabica* L.) plants. Mycorrhiza 6: 493-497.

West, A. W., W. D. Grant and G. P. Spatling (1987) Use of ergosterol, diaminopimelic acid and glucosamine contents of soil to monitor changes in microbial populations. Soil Biol. Biochem. 19: 607-612.