

行政院農業委員會林務局南投林區管理處委託研究計畫系列 100-04-5-02

# 高山菜園回收造林地土壤性質與造林苗木 生長之研究

The study of reforestation seedling growth and  
soil characteristic  
in alpine vegetable garden area



成果報告

委託機關：行政院農委會林務局南投林區管理處

執行機關：國立中興大學森林學系

計畫主持人：顏江河

中華民國 101 年 4 月

## 一、前言

在經濟快速發展之下，近年來台灣農業生產型態隨之轉變。農民利用高山高海拔冷涼之氣候條件栽培農作物，其中又以投資報酬率最為豐碩的高冷蔬菜為主。蔬菜為求短期收穫，農民使用大量肥料及農藥，一年三至五期耕種，多次清耕翻土，在經暴雨沖刷後，使得表土大量流失，肥料及農藥隨之威脅集水區水質及水庫壽命，造成水土保持與生態環境的破壞。

丹大事業區高海拔林班地長期經農民濫墾及連續耕作，其土壤性質多遭改變、甚至退化，而雪霸國家公園內武陵地區果園回收地亦出現相同之情形，其土壤 pH 值約於 6.94~7.14 間，相較於台灣一般森林土壤高，以致收回後造林成效不彰。本計畫藉由調查回收林班地之土壤化學與生物性質，找出其可能影響苗木生長之原因，並瞭解造林苗木根部菌根 (mycorrhizae) 共生的狀態，同時分離菌根菌種，接種適當菌根菌種，以改善回收造林苗木生長遲緩之現象。

## 二、前人研究

### 菜園土壤性質

蔬菜耕作為一種時間短、見效快之產業。農民為追求高利益，普遍連續耕作、施用化學肥料，造成菜園土壤惡化。大量施用化肥，徹底破壞土壤肥力平衡，透氣性降低，需氧性微生物活性下降，土壤板結，進而造成根系發育不良。人工施肥也導致土壤養分失調，一般農園地農民偏重施用氮肥易造成農地土壤酸化，然而丹大菜園回收地，因大量使用石灰進行酸化土壤的改正，造成土壤嚴重鹼化的現象。連年耕作除了促使耕作層變淺外，也造成土壤有機質及微量元素含量降低 (古強和王敏，2008)。

### 農藥與土壤微生物

長期重複施用單一或多種農藥於同一塊農地之中，會導致農藥及代謝物之殘留，因此可能會對於土壤微生物生物量及活性造成破壞 (Greaves, 1979)。農藥之中對土壤微生物影響較大的可能為除草劑與殺菌劑兩種。殺

菌劑主要是抑制細菌與真菌的生長，故對土壤微生物多樣性可能造成影響。除草劑則大量使用於土壤表層上，因此在土壤中殘留量較高。若除草劑其作用機制是影響植物胺基酸合成，則可能對微生物生長造成影響（羅致述，2009）。而土壤酵素對於土壤中物質的分解與元素循環具有一定之重要性，微生物的死亡可能阻斷了土壤養分轉換，因此探討及瞭解土壤酵素活性對於土壤養分循環具有一定的必要性（鄭國隆，2000）。

### 菌根接種與復育造林

菌根 (mycorrhizae) 為真菌和植物根系所形成的共生體，普遍存在於表土層中。許多研究指出在瘠劣環境下，菌根菌的接種對於植物生長有明顯的正面效益。菌根菌的感染能改變植物適應能力的原因在於菌根的根外菌絲能向外擴展超越養分耗盡區 (depletion zone)，使不易移動的養分 (如磷等元素)，藉由根外菌絲能較為快速向植物根部移動，增加根部吸收的表面積 (Bethlengalvay *et al.*, 1982)。當菌根形成後，其根外菌絲會不斷拓展至土壤中，形成龐大的菌絲網，穿過土壤顆粒間極細小之孔隙，與土壤顆粒密切接觸，菌絲所分泌的有機物質可促進土壤顆粒團粒化，進而改善土壤結構，提高土壤通氣性、水分滲透力和保水力 (Kabir and Koide, 2000)。

在復育造林計畫中，接種菌根菌可幫助植物生長 (Herrera *et al.*, 1993) 且可促進土壤物理、化學及生物性質 (Carrillo-García *et al.*, 1999)。Duponnois 等人 (2007) 曾針對澳大利亞的相思樹 (*Acacia holosericea*) 進行菌根菌接種，觀察其於耕作農地及休耕農地上復育造林之成效。結果顯示無論接種叢枝菌根菌 (vesicular-arbuscular mycorrhiza, VAM) 或是其他三種外生菌根菌 (ectomycorrhizal fungi) 均有效促進宿主植物生長。Alguacil 等人 (2005) 在地中海退化環境中，對於兩種原生典型灌木進行原生及非原生菌根菌接種，結果也顯示只要菌根菌種適宜宿主植物，均可提高土壤中有效磷含量及土壤微生物活性，為植物生長帶來正面效益。顏江河 (1996) 於台灣煤礦棄土地中，針對琉球松進行外生菌根菌彩色豆馬勃之接種，結果顯示，菌根的共生能幫助植物於瘠劣生育地之逆境下正常生長。

### 三、材料方法

#### 試驗地概況

丹大事業區位於南投縣信義鄉，東緣與花蓮縣萬榮鄉交界，介於北緯  $23^{\circ}35'3''$  至  $23^{\circ}52'7''$  之間，東經  $120^{\circ}59'43''$  至  $121^{\circ}13'55''$ ，其地形起伏劇烈，海拔自 521~3106 m，跨越亞熱帶、暖溫帶及冷溫帶等三個氣候帶 (傅國銘等，2004)。年均溫為  $12^{\circ}\text{C}$ ，年雨量約為 1600~2400 mm。民國 76 年，負責丹大事業區林班造林的振昌木材防腐工廠被發現於其租地中果樹行間大量種植蔬菜，此舉已違反契約及森林相關法令，在南投林管處長期訴訟後，於民國 98 年將所有遭佔墾之林班地收回，終止近 20 年林班地之不當利用。

本試驗採樣地點於丹大事業區內第 8、9、10、17 林班，第 8 林班海拔約 2500 m，第 9、10 林班約 2100 m，而第 17 林班為 2000 m 左右。其位置如圖 1。

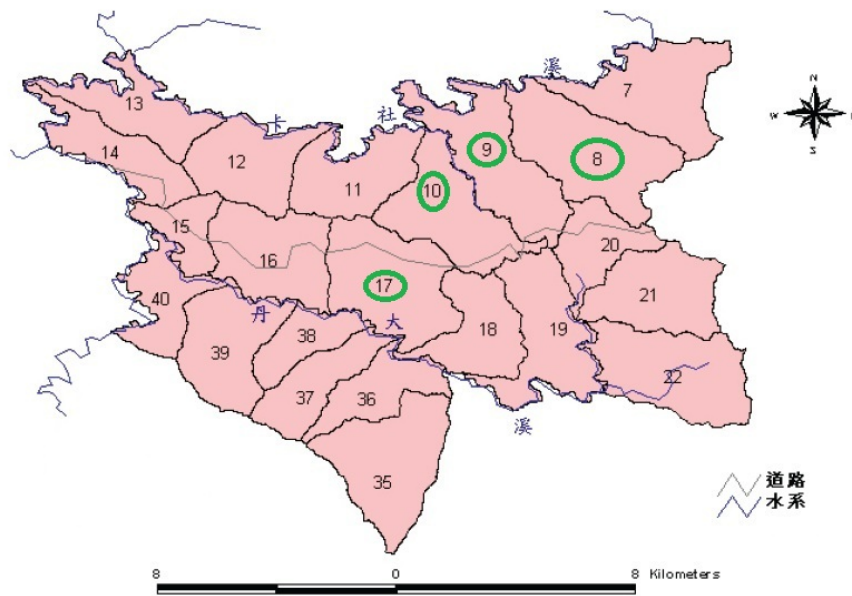


圖 1. 丹大事業區林班位置圖 (傅國銘等，2004)。

#### 菜園回收地土壤化學性質調查

長期人為施肥，可能改變土壤化學性質及引起土壤有效養分的供給不平衡，因此針對丹大事業區林班復舊造林地進行土壤採樣分析。於事業區

內第 8、9、10、17 林班試驗地隨機選取土樣，每一林班地土壤取樣分為菜園平台、邊坡及生長良好之苗根域土三種，每種至少採 3 重複，另外採取天然林土壤作為對照，攜回實驗室後分別進行土壤化學分析，分析項目包括土壤 pH 值、全氮、有效磷、有機質、CEC 與置換性鉀、鈉、鈣、鎂，以瞭解目前土壤狀況。

### 1. 土壤 pH 值

取土壤與蒸餾水以 1:2.5 (w/v) 比例均勻混合，靜置隔夜後，以酸鹼值測定儀 (Jenco model 6173pH) 測定 (McLean, 1982)。

### 2. 土壤全氮

土壤全氮量以 Semimacro Kjeldhal 法測定之 (MacDonald, 1977)。秤取 0.5 g 風乾土加入 1.1 g 催化劑 ( $K_2SO_4$ : $CuSO_4$ :Se=100:10:1) 與 10 mL 濃硫酸，於分解爐 (Digestion system 20, 1015 Digester, Tecator) 中加熱至 375 °C，恆溫維持 2 小時，待冷卻後之樣液以凱氏氮分析蒸餾裝置 (Tecator, Kjeltect System 1026 Distilling Unit) 進行全氮蒸餾；樣液加入過量 40% 氫氧化鈉，取 20 mL 的 2% 硼酸作為接收液，再以 0.05 N 硫酸滴定之。

### 3. 土壤有效磷

鹼性土以 Olsen 土壤有效磷檢測法測定 (MacDonald, 1977)。秤取 2.5 g 風乾土置於 250 mL 錐形瓶中，加入 50 mL 的 0.5 M  $NaHCO_3$  (pH 8.5) 萃取液，封口振盪 30 分鐘後，以濾紙過濾。取 5 mL 濾液加入 4 mL 維他命 C 混合液，於 25 mL 定積瓶中稀釋定積；靜置 30 分鐘使其顯色，再以分光光度計 (spectrophotometer, Hitachi U-2000) 於 660 nm 下測定吸光值，並比對磷之標準曲線計算其濃度。

酸性土以鉬藍法測定 (Olsen and Sommers, 1982)。秤取 1 g 風乾土加入 7 mL 抽出液 (0.025 N HCl-0.03 N  $NH_4F$ )，搖晃 1 分鐘後以濾紙過濾。取 2 mL 樣液，依序加入 5 mL 去離子水與 2 mL 鉬酸銨溶液，混合後再加入 1 mL 氯化亞錫稀釋液，呈色後以分光光度計 (spectrophotometer, Hitachi U-2000) 於 660 nm 下測定吸光值，並比對磷之標準曲線計算其濃度。

#### 4. 土壤有機質

以濕消化法測定 (MacDonald, 1977)，秤取 0.5 g 風乾土置於 500 mL 錐形瓶中，加入 10 mL 1 N 重鉻酸鉀，輕輕搖晃，再加入 20 mL 濃硫酸，放置於 150 °C 沙盤中加熱 5 分鐘，待冷卻後加入 150 mL 去離子水與 85% 磷酸 10 mL，並加入 5~6 滴指示劑 (Ferroin)，最後以 0.2 N 硫酸銨亞鐵滴定之。反應初期顏色為暗黃色，之後漸漸轉變為綠色，當樣液由青綠色迅速轉變為暗褐色時，即達到反應終點。

#### 5. 土壤 CEC 及置換性鉀、鈉、鈣、鎂

以中性醋酸法測定 (Rhoades, 1982)。秤取 5 g 風乾土置於 250 mL 錐形瓶中，加入 100 mL 1 N 醋酸銨，振盪 30 分鐘後，再以抽氣過濾法加入約 50 mL 1 N 醋酸銨淋洗 5~6 次後，以 1N 醋酸銨定積至 200 mL，並以濾紙過濾，其濾液以感應耦合電漿光譜分析儀 (Inductively-Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer, ICP-AES, Leeman, USA) 測定可置換性陽離子鉀、鈉、鈣、鎂。

土樣繼續以 95% 酒精淋洗，丟棄其濾液；再以 10% 氯化鈉淋洗 5~6 次，每次 25~30 mL，濾液再以 10% 氯化鈉定積至 200 mL，取 100 mL 以凱氏氮分析裝置 (Tecator, Kjeltac System 1026 Distilling Unit) 進行全氮蒸餾，並以 0.05 N 硫酸滴定之，計算陽離子置換容量(CEC)。

#### 菜園回收地土壤酵素分析

長期施用農藥，可能會導致農藥及代謝物殘留，因此亦會對於土壤微生物生物量及活性造成破壞，阻斷土壤養分的轉換，因此針對丹大事業區林班復舊造林地進行土壤採樣分析。於事業區內第 8、9、10、17 林班試驗地隨機選取土樣，每一林班地土壤取樣分為菜園平台、邊坡及生長良好之苗根域土三種，每種至少採 3 重複，另外採取天然林土壤作為對照，攜回實驗室後分別進行土壤生物酵素分析，分析項目包括與氮循環相關的土壤 L-天冬醯胺酶 (L-asparaginase) 及與磷循環相關的鹼性磷酸脂酶 (alkaline phosphatases) 活性分析。

### 1. 土壤 L-天冬醯胺酶 (L-asparaginase)

參照 Frankenberger 和 Tabatabai (1991) 的方法測定 L-天冬醯胺酶 (L-asparaginase)。秤取 5 g 風乾土置於 50 mL 定積瓶中，加入 0.2 mL 甲苯及 9 mL 三羥甲基氨基甲烷 (Tris hydroxymethyl aminomethane, THAM)，搖晃數秒使其混合後，加入 1 mL 0.5 M L-asparagine 溶液，再搖晃數秒混合，蓋上瓶塞後置於 37 °C 水浴槽孵育 2 小時，而後拔塞加入約 35 mL 氯化鉀-硫酸銀混合液，搖晃數秒，靜置溶液降至室溫，再用氯化鉀-硫酸銀溶液定積至 50 mL。取 20 mL 懸浮液並加入 0.2 g 氧化鎂，以凱氏氮分析蒸餾裝置 (Tecator, Kjeltac System 1026 Distilling Unit) 進行蒸餾；樣液加入過量 40% 氫氧化鈉，取 20 mL 的 2 % 硼酸作為接收液，再以 0.05 N 硫酸滴定之。

### 2. 鹼性磷酸脂酶 (alkaline phosphatases)

參照 Eivazi 和 Tabatabai (1977) 的方法測定鹼性磷酸脂酶 (alkaline phosphatases)。秤取 10 g 風乾土置於 100 mL 定積瓶中，加入 1.5 mL 甲苯處理 15 分鐘，再加入 10 mL 苯磷酸二鈉溶液及 10 mL 硼酸鹽緩衝液 (pH 10)，混合後置於 37 °C 水浴槽孵育 3 小時，再以 38 °C 熱水定積至 100 mL，並以濾紙過濾。取濾液 1 mL 於 100 mL 定積瓶中，加入 5 mL 硼酸鹽緩衝液 (pH 10)，加水稀釋至 25 mL，再加入 1 mL Gibbs 試劑，混合後靜置 20 分鐘使其顯色，再將樣液定積至 100 mL，24 小時內以分光光度計 (spectrophotometer, Hitachi U-2000) 於 578 nm 下測定吸光值，並比對磷之標準曲線計算其濃度。

## 造林苗木菌根共生調查與分離

菌根對於苗木養分的吸收具有絕對重要性，因此選擇試驗地中生長較為良好的台灣杉及紅檜苗木進行土壤菌根菌種孢子篩洗。將其根系土壤以濕篩傾倒法進行篩洗 (Gerdemann and Nicolson, 1963)。將苗木土球置於 5 L 塑膠桶中，以水分沖洗並攪拌均勻，靜置大顆粒土粒沈澱後，倒入分別為 450-250-150-106-53  $\mu\text{m}$  組合的不銹鋼篩網中，以流水沖洗網上土粒，分別收集篩網上物質於燒杯中；再以 40% 糖液離心法分離雜物，並用水洗淨糖液，於解剖顯微鏡下挑選孢子，再於光學顯微鏡下觀察孢子形態構造，以

Nikon CoolPix 995 數位相機拍照存檔。

另外針對紅檜苗木根部進行菌根染色觀察其菌根感染狀況。逢機剪取紅檜根部片段約 20 段 (每段約 1 cm)，以清水洗淨，再以超音波振盪數次。將根段放入 10% KOH 中，以 90°C 煮 30 分鐘 (以根段的軟硬度而增減時間)，用水洗淨後，以 alkaline H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 漂白根段 (時間視根段色素而定)，再用水洗淨，用 1% HCl 酸化根部 5 分鐘，而後倒出 HCl，加入染色劑 (Trypan blue)，以 90°C 煮 60 分鐘，倒出染色劑，將根置於酸性甘油中於室溫下褪染及保存。在光學顯微鏡下觀察根的感染狀況，以 Nikon CoolPix 995 數位相機拍照存檔。

### **接種菌根苗造林試驗**

將試驗地菌根調查中分離出來的菌種接種至紅檜苗木根系，於北溝苗圃培育後移植至丹大事業區第 17 林班菜園回收地，觀察苗木生長狀態，評估菌根對苗木生長之效益。



## 四、成果

### 土壤化學性質調查

#### 1. 土壤 pH 值

表 1 為丹大事業區回收造林地所採土壤樣本 pH 值。植物最適生長 pH 值於 5~6 間，而所有菜園回收地土壤樣本 pH 約在 7.21~7.80 之間，屬於弱鹼至鹼性土壤。其邊坡 pH 值在 5.61~6.86，屬弱酸至弱鹼土壤範圍之間。苗根域土則是取該林班內生長較佳之造林苗木根域土壤。菜園地土壤大多呈鹼性，推測原因應為先前農民施用大量石灰及含鈣量高之雞糞所致，而第 10 及 17 林班內亦發現棄置之生石灰 (圖 2)。

表 1、丹大事業區回收造林地土壤 pH 值 (H<sub>2</sub>O)

|         | 菜園平台 | 邊坡   | 苗根域土 |
|---------|------|------|------|
| 菜園地     |      |      |      |
| 8 林班    | 7.72 | 5.61 | 7.25 |
| 9 林班    | 7.80 | 5.85 | 7.31 |
| 10 林班   | 7.43 | 6.27 | 7.45 |
| 17 林班-1 | 7.69 | 6.86 | 7.90 |
| 17 林班-2 | 7.21 | 6.84 | 7.62 |
| 天然林     |      |      |      |
| 17 林班   | 5.89 |      |      |

每一數值為 3 個分析數據之平均值



圖 2. 丹大事業區林班內遺留之生石灰 (A) 第 10 林班處 (B) 第 17 林班處。

## 2. 土壤全氮

表 2 為丹大事業區回收造林地所採土壤樣本之全氮量。一般正常土壤全氮量約於 0.02~0.4%，由表 2 結果看來，菜園地全氮含量在 0.36~0.45 間、邊坡為 0.26~0.39、苗根域土約 0.32~0.44，含量皆屬正常，代表其土壤中具足夠之全氮供植物利用，推測應該是先前菜農長期施用雞糞所導致的結果。

表 2、丹大事業區回收造林地土壤全氮量 (%)

| 林班      | 菜園平台 | 邊坡   | 苗根域土 |
|---------|------|------|------|
| 菜園地     |      |      |      |
| 8 林班    | 0.36 | 0.36 | 0.43 |
| 9 林班    | 0.45 | 0.37 | 0.44 |
| 10 林班   | 0.43 | 0.39 | 0.43 |
| 17 林班-1 | 0.38 | 0.39 | 0.32 |
| 17 林班-2 | 0.37 | 0.26 | 0.38 |
| 天然林     |      |      |      |
| 17 林班   | 0.39 |      |      |

每一數值為 3 個分析數據之平均值

## 3. 土壤有效磷

表 3 為丹大事業區回收造林地所採土壤樣本之有效磷。根據表 1 結果可知，回收菜園造林地土壤大致上為鹼性土。pH 值高的鹼性土壤及石灰質土壤，磷易被碳酸鈣固定或形成難溶性的磷酸鈣沈澱，故有效性低 (陳仁炫, 1992)。回收地邊坡土樣屬酸性土壤，以 Bray 1 雙酸法測定數據結果得知有效磷含量足夠，而菜園回收地土壤屬鹼性土壤，以 Olsen 土壤有效磷測定法所得之數據顯示這些回收造林地土壤中有效磷含量低於一般正常土壤，可能為影響造林苗木生長原因之一。

表 3、丹大事業區回造林地土壤有效磷 ( $\mu\text{g/g}$ )

| 林班      | 菜園平台           | 邊坡             | 苗根域土 |
|---------|----------------|----------------|------|
| 菜園地     |                |                |      |
| 8 林班    | 0.75           | 27.92 (Bray 1) | 0.59 |
| 9 林班    | 0.97           | 35.62 (Bray 1) | 0.64 |
| 10 林班   | 0.52           | 78.95 (Bray 1) | 0.75 |
| 17 林班-1 | 0.69           | 65.60 (Bray 1) | 0.64 |
| 17 林班-2 | 0.60           | 64.38 (Bray 1) | 0.72 |
| 天然林     |                |                |      |
| 17 林班   | 65.20 (Bray 1) |                |      |

每一數值為 3 個分析數據之平均值

#### 4. 土壤有機質

表 4 為丹大事業區回收造林地所採土壤樣本之有機質。回收地有機質量大約在於 5~10 % 之間，顯示該地有機質並無缺乏或不足的現象。

表 4、丹大事業區回收造林地土壤有機質 (%)

| 林班      | 菜園平台  | 邊坡   | 苗根域土  |
|---------|-------|------|-------|
| 菜園地     |       |      |       |
| 8 林班    | 4.76  | 7.90 | 6.93  |
| 9 林班    | 8.58  | 8.07 | 10.46 |
| 10 林班   | 7.89  | 8.32 | 7.68  |
| 17 林班-1 | 6.61  | 9.10 | 5.70  |
| 17 林班-2 | 10.18 | 5.95 | 6.73  |
| 天然林     |       |      |       |
| 17 林班   | 11.18 |      |       |

每一數值為 3 個數據之平均值

#### 5. 土壤 CEC 及置換性鉀、鈉、鈣、鎂

表 5 為丹大事業區回收造林地所採土壤樣本之 CEC (陽離子置換容量)。依照土壤 CEC 分級標準來看，15~25 為中等級。一般而言，若 CEC 低於 10，其土壤中氮、鉀及其他陽離子淋失可能性較大，保水保肥力也較低 (陳仁炫，1992)。根據表 5 結果而言，CEC 尚未嚴重不足。

表 5、丹大事業區回收造林地土壤 CEC (m.e./100g)

| 林班      | 菜園平台  | 邊坡    | 苗根域土  |
|---------|-------|-------|-------|
| 菜園地     |       |       |       |
| 8 林班    | 12.30 | 17.36 | 15.68 |
| 9 林班    | 32.80 | 17.38 | 16.68 |
| 10 林班   | 17.72 | 18.23 | 17.90 |
| 17 林班-1 | 15.87 | 22.52 | 14.38 |
| 17 林班-2 | 16.80 | 21.05 | 15.98 |
| 天然林     |       |       |       |
| 17 林班   | 34.30 |       |       |

每一數值為 3 個分析數據之平均值

表 6 為丹大事業區回收造林地所採土壤樣本之置換性鉀、鈉、鈣、鎂。農民長期大量使用石灰及含鈣量高的雞糞，會提高土壤中鈣離子的濃度，造成土壤鹼化，而高濃度的鈣會與有效磷形成鈣-磷沉澱物，導致苗木無法吸收磷，進而影響苗木生長。表 7 為丹大事業區回收造林地所採土壤樣本之置換性鉀、鈣、鎂之間相互比值。土壤中陽離子間會產生頤抗作用，過量的鈣離子會引起鉀及鎂的含量不足。一般正常土壤中，Ca/Mg 比值為 6~7，Mg/K 比值為 2，Ca/K 比值為 12~13。根據表 7 結果顯示，回收造林地中高含量的鈣使得鉀、鎂含量不足，也可能為影響苗木生長原因之一。

表 6、丹大事業區回收造林地土壤置換性鉀、鈉、鈣、鎂 (m.e./100g)

| 林班      | 區域   | Na    | Mg    | K     | Ca     |
|---------|------|-------|-------|-------|--------|
| 8 林班    | 菜園平台 | 0.080 | 0.804 | 0.243 | 8.851  |
|         | 邊坡   | 0.052 | 0.198 | 0.145 | 8.919  |
|         | 苗根域土 | 0.001 | 1.132 | 0.309 | 8.804  |
| 9 林班    | 菜園平台 | 0.198 | 2.324 | 0.809 | 10.827 |
|         | 邊坡   | 0.063 | 0.192 | 0.137 | 9.012  |
|         | 苗根域土 | 0.082 | 1.167 | 0.521 | 9.804  |
| 10 林班   | 菜園平台 | 0.168 | 1.032 | 0.310 | 10.188 |
|         | 邊坡   | 0.078 | 0.206 | 0.163 | 10.144 |
|         | 苗根域土 | 0.001 | 1.132 | 0.309 | 8.804  |
| 17-1 林班 | 菜園平台 | 0.046 | 1.459 | 0.460 | 10.198 |
|         | 邊坡   | 0.077 | 2.143 | 0.512 | 9.583  |
|         | 苗根域土 | 0.070 | 1.572 | 0.440 | 10.249 |
| 17-2 林班 | 菜園平台 | 0.077 | 1.203 | 0.538 | 10.118 |
|         | 邊坡   | 0.082 | 0.888 | 0.684 | 9.776  |
|         | 苗根域土 | 0.048 | 1.471 | 0.465 | 10.147 |
| 17 林班   | 天然林  | 0.025 | 1.673 | 0.665 | 8.285  |

每一數值為 3 個分析數據之平均值

表 7、丹大事業區回收造林地土壤置換性鉀、鈣、鎂比值

| 林班      | 區域   | Ca / Mg | Mg / K | Ca / K |
|---------|------|---------|--------|--------|
| 8 林班    | 菜園平台 | 11      | 3      | 36     |
|         | 邊坡   | 45      | 1      | 61     |
|         | 苗根域土 | 8       | 4      | 28     |
| 9 林班    | 菜園平台 | 5       | 3      | 13     |
|         | 邊坡   | 47      | 1      | 66     |
|         | 苗根域土 | 8       | 2      | 19     |
| 10 林班   | 菜園平台 | 10      | 3      | 33     |
|         | 邊坡   | 49      | 1      | 62     |
|         | 苗根域土 | 8       | 4      | 28     |
| 17-1 林班 | 菜園平台 | 7       | 3      | 22     |
|         | 邊坡   | 4       | 4      | 19     |
|         | 苗根域土 | 7       | 4      | 23     |
| 17-2 林班 | 菜園平台 | 8       | 2      | 19     |
|         | 邊坡   | 11      | 1      | 14     |
|         | 苗根域土 | 7       | 3      | 22     |
| 17 林班   | 天然林  | 5       | 3      | 12     |

## 土壤酵素分析

### 1. 土壤 L-天冬醯胺酶 (L-asparaginase)

表 8 為丹大事業區回收造林地所採土壤樣本之 L-天冬醯胺酶活性。針對丹大事業區內非菜園回收地土壤亦進行檢測對照，所測得數據為 40.18 ( $\mu\text{g}$  氮/g 絕乾土 h)。由表 8 結果可知，回收造林地中 L-天冬醯胺酶大致上無缺乏情況發生，加上土壤全氮分析結果亦顯示回收造林地中氮含量充足，故此不為影響苗木生長之原因。

表 8、丹大事業區回收造林地土壤 L-天冬醯胺酶 ( $\mu\text{g}$  氮/g 絕乾土 h)

| 林班      | 菜園平台  | 邊坡    | 苗根域土  |
|---------|-------|-------|-------|
| 菜園地     |       |       |       |
| 8 林班    | 41.90 | 66.75 | 87.83 |
| 9 林班    | 73.19 | 65.98 | 58.90 |
| 10 林班   | 28.45 | 67.82 | 30.24 |
| 17 林班-1 | 54.47 | 44.22 | 43.18 |
| 17 林班-2 | 57.55 | 68.50 | 55.02 |
| 天然林     |       |       |       |
| 17 林班   | 40.18 |       |       |

每一數值為 3 個分析數據之平均值

### 2. 鹼性磷酸脂酶 (alkaline phosphatases)

表 9 為丹大事業區回收造林地所採土壤樣本之鹼性磷酸脂酶活性。針對丹大事業區內非菜園回收地土壤亦進行檢測對照，所得數據為 4.17 ( $\mu\text{g}$  苯酚/g 絕乾土 h)。由表 9 結果發現，回收造林地中鹼性磷酸脂酶活性大體而言皆低於當地一般正常土壤。土壤鹼性磷酸脂酶是於鹼性環境下，催化有機磷轉換為無機磷供植物吸收利用的重要酵素之一。對照回收地土壤有效磷分析結果，鹼性磷酸脂酶的不足也可能為影響土壤養分原因之一。

表 9、丹大事業區回收造林地土壤鹼性磷酸脂酶 ( $\mu\text{g}$  苯酚/g 絕乾土 h)

| 林班      | 菜園平台 | 邊坡   | 苗根域土 |
|---------|------|------|------|
| 菜園地     |      |      |      |
| 8 林班    | 3.18 | 1.14 | 1.94 |
| 9 林班    | 3.07 | 1.35 | 5.23 |
| 10 林班   | 3.56 | 2.07 | 3.61 |
| 17 林班-1 | 5.64 | 2.50 | 3.70 |
| 17 林班-2 | 5.17 | 2.20 | 5.73 |
| 天然林     |      |      |      |
| 17 林班   | 4.17 |      |      |

每一數值為 3 個分析數據之平均值

### 苗木菌根共生調查與分離

#### 1. 台灣杉根域土壤孢子

圖 3 為丹大事業區回收造林地 (A) 及南投人倫苗圃 (B) 中台灣杉根域土壤所洗出的孢子。回收地生長較為良好之台灣杉，100 c.c. 根域土壤約可洗出 14 顆孢子。而人倫苗圃生長較佳之台灣杉苗，100 c.c. 約可洗出 30 顆孢子；生長較差者，則約可洗出 15 顆孢子。

挑出的孢子經鑑定後，主要約為以下幾種：1. *Acaulospora mellea* Spain et Schenck，屬於繡球菌目，無柄孢子科 (Acaulosporaceae)，無柄孢子屬 (圖 4)。*Acaulospora* 屬的囊叢枝內生菌根菌，孢子著生於產孢囊泡的柄外。當孢子成熟後，產孢囊泡萎縮脫落並在孢子外壁上留下一個圓形孢痕。而其發芽方式會先在內層胞壁內形成螺旋形的發芽盾 (germ shield)，然後才穿透孢子長出發芽管；2. *Scutellospora calospora* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders，屬於繡球菌目，大孢子科 (Gigasporaceae)，盾蓋孢子屬 (圖 5)。*Scutellospora* 屬的囊叢枝內生菌根菌，目前全世界約有二十三種。其孢子的孢壁經輕微擠壓破裂後，孢壁會分離成二或更多的壁群，其中在內壁群會含有一或多層的薄膜壁 (membraneous wall) 或皮革壁 (coriaceous wall)。孢子發芽時，會先於最內層壁群中或最內層壁上形成發芽盾，然後再產生發芽管向外延伸。3. *Acaulospora* spp.，屬於繡球菌目，無柄孢子科 (Acaulosporaceae)，無柄孢子屬 (圖 6)。由於孢子在野外可能因微生物或其他因素，使其孢子表面特徵遭破壞，以至於無法確定其種類。

圖 7 (A) 為南投人倫苗圃之台灣杉苗圃。圖 7 (B) 為人倫苗圃中台灣



杉生長較優勢及劣勢情形。生長較佳的台灣杉苗，地上部約有 46 公分；生長較差者，地上部則約 13 公分。觀察兩者地下部也發現，根部生長較佳之台灣杉苗，其根域土壤所含之孢子數量也較多。

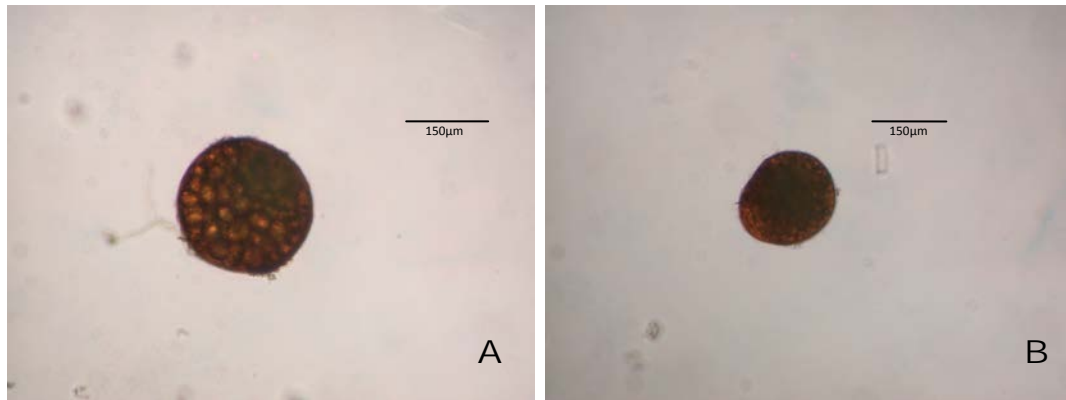


圖 3. 丹大事業區回收造林地 (A)、南投人倫苗圃 (B)台灣杉根域土壤孢子 *Acaulospora* spp.。

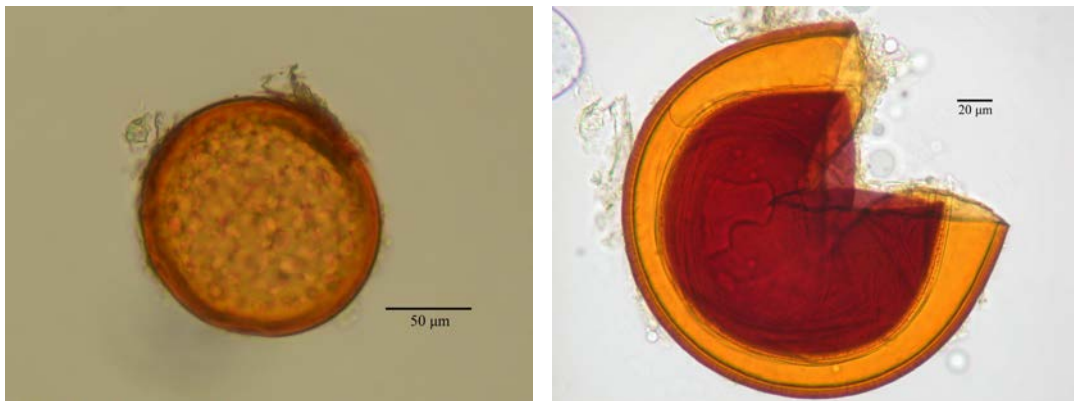


圖 4. *Acaulospora mellea*。

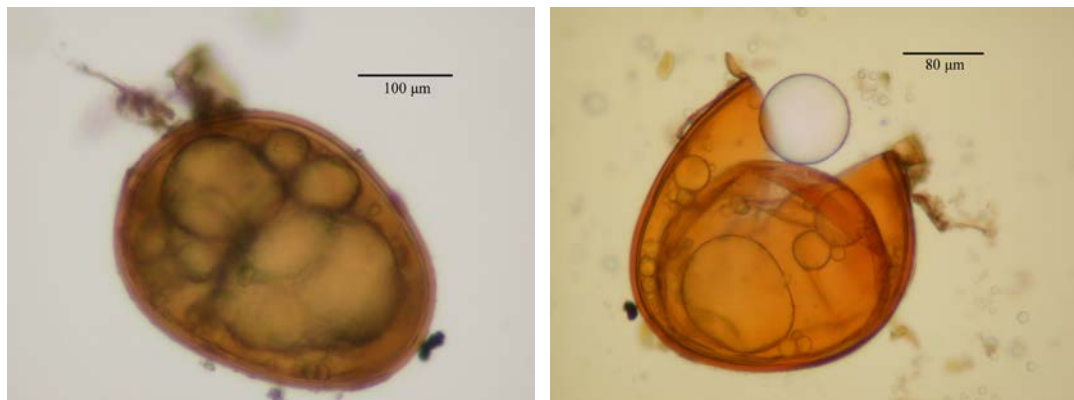


圖 5. *Scutellospora calospora*。

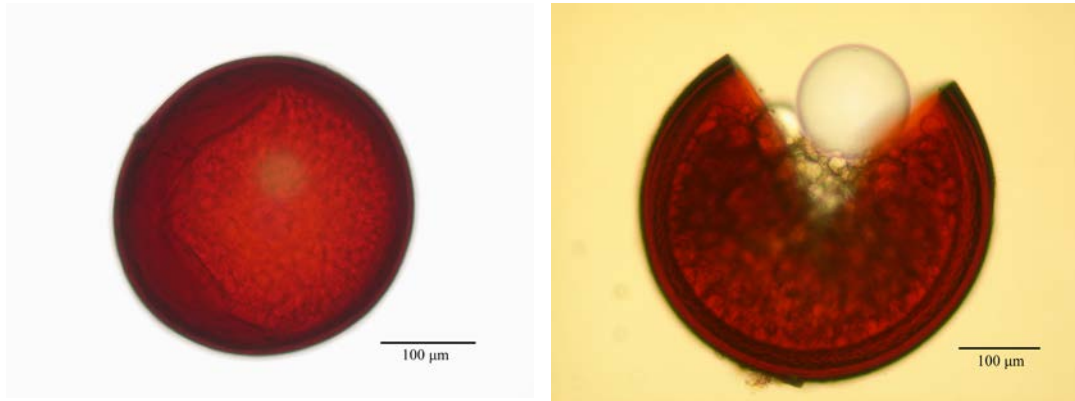


圖 6. *Acaulospora* spp. ◦

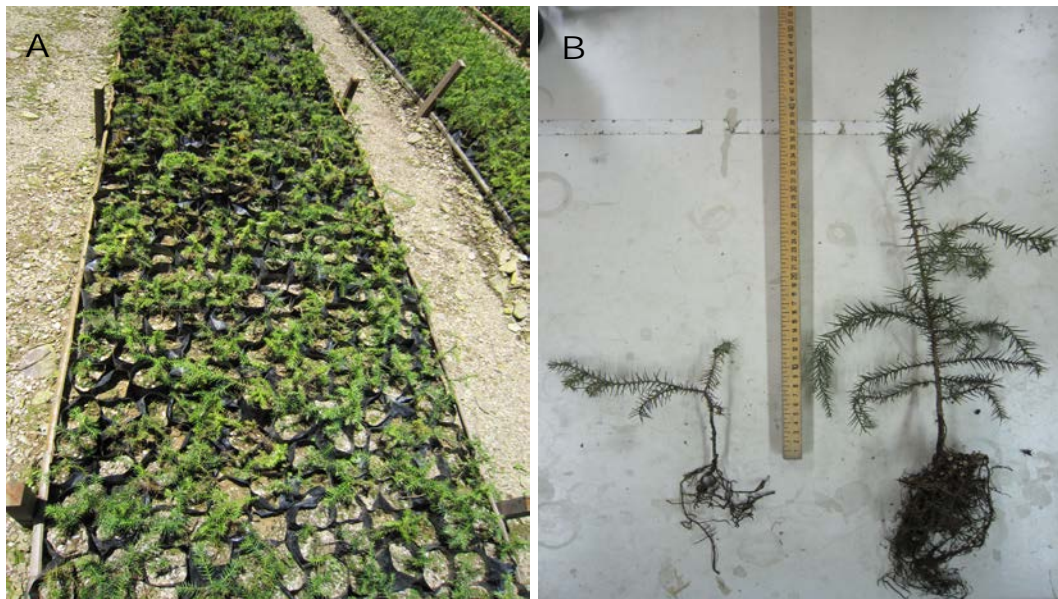


圖 7. 南投人倫苗圃之台灣杉苗圃 (A) 人倫苗圃台灣杉苗生長優勢與劣勢之情形 (B)。

## 2. 紅檜根部菌根染色

針對丹大事業區回收造林地林班內生長較佳之紅檜進行菌根染色觀察，發現紅檜根部具有菌根共生之狀態 (圖 8)，但其感染率並不高，約 50% 左右。

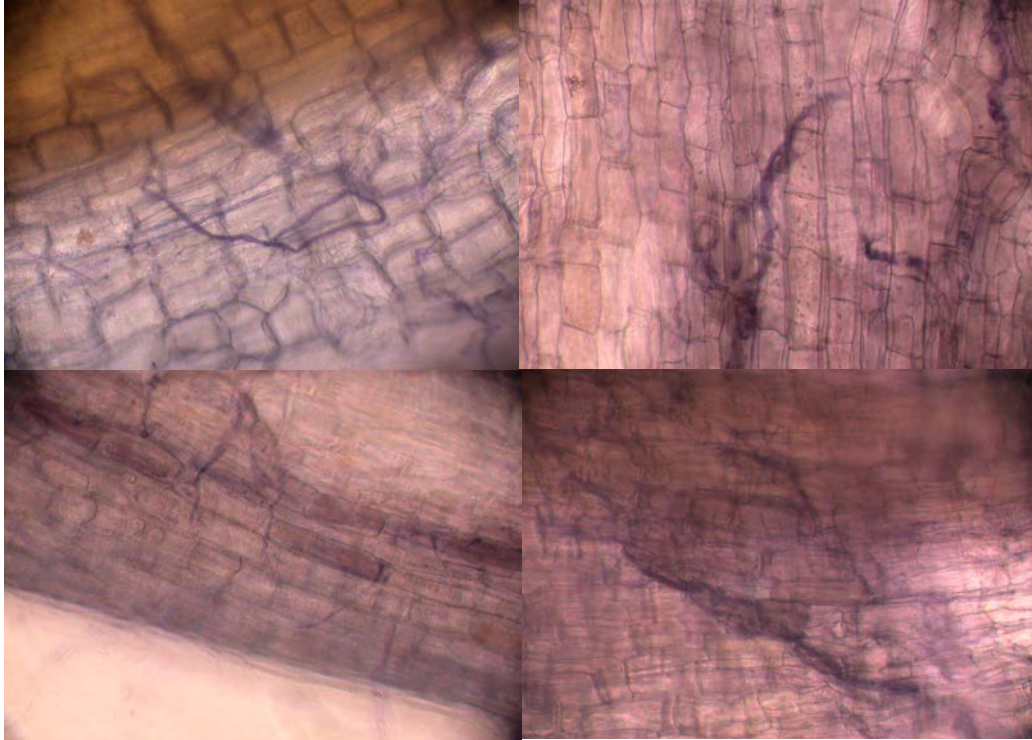


圖 8. 丹大事業區回收造林地林班內紅檜之根部染色。

### 接種菌根苗造林

將已接種試驗地菌根菌種及未接種對照組的紅檜苗木於中興大學北溝苗圃培育兩個月後 (圖 9)，移植至丹大事業區第 17 林班菜園回收地 (圖 10)。移植時一併測量苗高 (圖 11)，接種菌根的紅檜苗木平均苗高約為 32 公分，而未接種對照組平均苗高約 30.6 公分 (表 10)。一個半月後觀察紅檜苗木生長狀態 (圖 12)，接種菌根之紅檜平均苗高約為 36.9 公分，而未接種者則為 31.3 公分 (表 10)。至目前為止，菌根對苗木於回收地生長之助益還有待長時間觀察才能進行確切評估。

表 10、丹大事業區回收造林地紅檜造林苗木苗高 (cm)

|            | 接種菌根菌 | 未接種對照組 |
|------------|-------|--------|
| 2012.02.21 | 32.0  | 30.6   |
| 2012.04.07 | 36.9  | 31.3   |



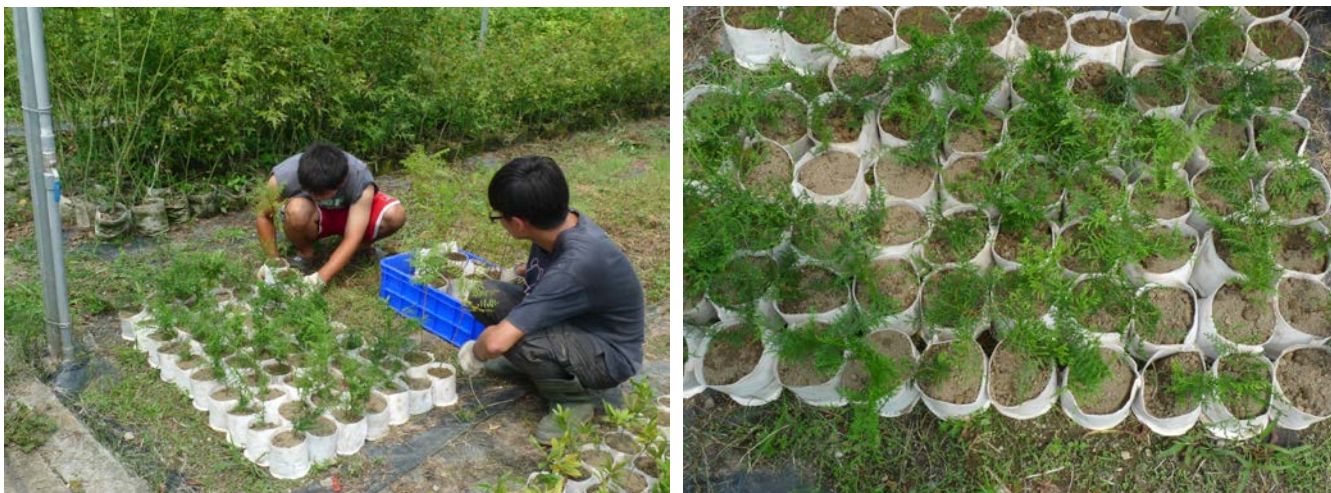


圖 9. 接種及未接種菌根紅檜苗木於北溝苗圃培育情形。



圖 10. 接種及未接種菌根紅檜苗木栽植於丹大事業區第 17 林班回收造林地情形。



圖 11. 接種及未接種菌根紅檜苗木栽植於丹大事業區第 17 林班回收造林地苗高測量。





圖 12. 接種菌根紅檜苗木栽植於丹大事業區第 17 林班回收造林地一個半月後苗高測量。

## 五、結論

丹大事業區高海拔林班地在長期經農民連續耕種蔬菜後，其土壤性質多遭受改變，以致於回收後造林苗木生長遲緩。在土壤化學性質方面，農民不當施用石灰及含鈣量高的雞糞肥料，長時間下來累積了過量的鈣離子於土壤中，導致土壤逐漸鹼化，並影響其中養分的平衡。過量的鈣會將土壤中的有效磷吸附固定，或是形成難溶性的磷酸鈣沈澱，使得植物無足夠有效磷吸收利用，進而導致生長不佳。另外高含量的鈣也使得鉀、鎂產生拮抗作用，導致含量不足而影響苗木正常生長。在土壤生物酵素活性方面，鹼性磷酸脂酶的缺乏可能影響了有機磷轉換成無機磷的速率，使得土壤中能供植物利用的無機磷不足。

根據人倫苗圃的台灣杉苗木菌根孢子調查結果可知，菌根的共生狀況與苗木生長優劣有一定的正面效益。而針對丹大事業區回收造林地中生長較佳的台灣杉及紅檜進行的菌根調查中也發現，即使孢子數量不多、菌根感染率並不高，但對於苗木於當地生長還是具有某種程度上的效益，這也顯示了菌根的共生對植物而言是適應逆境的策略之一。今年已將接種試驗地菌種及未接種的紅檜苗木種植至丹大事業區第 17 林班回收地，待長時間觀察後，以評估菌根共生改善苗木於當地生長之成效。

丹大事業區回收造林地苗木生長不佳最大的主因在於土壤 pH 值過高。相較於台灣一般正常高山土壤的酸化問題，鹼性土壤的改良更為困難。未來希望能利用產酸肥料（例如硫酸銨）的施用來降低土壤 pH 值，以提高土壤中養分的有效性，其施用的可能性及成效還需進一步的試驗與探討評估。

## 六、參考文獻

- 古強、王敏 (2008) 菜園土壤惡化原因及改良方法。四川農業科技 7: 51。
- 陳仁炫 (1992) 土壤肥力診斷方法~由土壤性質研判。農藥世界 111: 32-37。
- 傅國銘、歐辰雄、呂福原 (2004) 丹大地區植群之研究。台大實驗林研究報告 18(4): 247-260。
- 鄭國隆 (2000) 土壤酵素活性與土壤生態系之關係。台灣大學農業化學研究所碩士論文。
- 羅致述 (2009) 農藥與環境微生物多樣性。農藥與環境研討會 7-1~7-20。
- Alguacil, M. M., F. Caravaca and A. Roldán (2005) Changes in rhizosphere microbial activity mediated by native or allochthonous AM fungi in the reforestation of a Mediterranean degraded environment. *Biol. Fert. Soils* 41:59-68.
- Bethlengalvay, G. J., M. S. Brown, R. N. Ames and R. S. Thomas (1982) Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Physiologia Plantarum* 72:565-571.
- Carrillo-García, A., J. L. Luz, Y. Bashan and G. J. Bethlenfalvay (1999) Nurse plants, mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran desert. *Restor. Ecol.* 7:321-335.
- Duponnois, R., C. Plenchette, Y. Prin, M. Ducouso, M. Kisa, A. Moustapha Ba<sup>^</sup>, and A. Galiana (2007) Use of mycorrhizal inoculation to improve reforestation process with Australian Acacia in Sahelian ecozones. *Ecological Engineering* 29:105-112.
- Eivazi, F. and M. A. Tabatabai (1977) Phosphatases in soils. *Soil Biol. Biochem.* 9:167-172.
- Frankenberger, W. T., Jr., and M. A. Tabatabai (1991) L-Asparaginase activity of soils. *Biol. Fert. Soils* 11:6-12.
- Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson (1963) Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of*

- the British Mycological Society 46:235-244.
- Greaves, M. P. (1979) Long-term effects of herbicides on soil microorganisms. *Annals of Applied Biology* 91:129-132.
- Herrera, M. A., C. P. Salamanca and J. M. Barea (1993) Inoculation of woody legumes with selected arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia to recover desertified Mediterranean ecosystems. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:129–133.
- Kabir, Z. and R. T. Koide (2000) The effect of dandelion or a cover crop on mycorrhiza inoculum potential, soil aggregation and yield of maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78: 167-174.
- MacDonald, C. C. (1977) Methods of soil and tissue analysis used in the analytical laboratory. Canadian Forestry Service Information Report MM-X-78.
- McLean, E. O. (1982) Soil pH and lime requirement. *In: Page et al. (eds.) Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties* 2nd ed. ASA. CSSA. SSSA. Madison, Wisconsin.
- Olsen, S. R. and L. E. Sommers (1982) Phosphorus. *In: Page et al. (eds.) Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties* 2nd ed. ASA. CSSA. SSSA. Madison, Wisconsin.
- Rhoades, J. D. (1982) Cation exchange capacity. *In: Page et al. (eds.) Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties* 2nd ed. ASA. CSSA. SSSA. Madison, Wisconsin.



## 七、附錄

### (一) 期中報告審查委員意見答覆表

| (一)提問：陳副處長耀榮   | 回覆  |
|--|---|
| <p>1. 本處丹大事業區內回收造林地的土壤性質，經研究團隊研究的成果顯示，其中有關菜園地的各項土壤性質均不利於苗木的生長，顯示目前濫墾造林地苗木生長不良的原因為土壤性質不佳，此項研究結果可供將來造林作業長期經營管理之參考。</p> <p>2. 依期中報告結果菜園地土壤性質，土壤酸鹼值偏高、有效成份不足、土壤之 CEC (陽離子置換容量) 低於 10，因此如何改善土壤酸鹼及提高有效成份，將是未來重要的工作，建議對於改善的方法將來在期末報告多以著墨。</p> <p>3. 讓造林地苗木存活是造林的首要目標，因此土壤性質改善及鈣離子置換等實行的費用，於這個階段能否進行單價成本分析，將施行費用予以量化，建議研究團隊審慎評估改善費用量化的可行性，俾利本處將來對造林地的經營管理。</p> | <p>1. 謝謝委員。</p> <p>2. 謝謝委員的建議，在期末報告會針對如何改善土壤酸鹼及提高養分有效性方面進行研究並加建議說明。</p> <p>3. 謝謝委員的建議，量化改善成本這方面會審慎評估其可行性。</p> |

|  |  |
|--|--|
| (二)提問：藍課長其安  | 回覆   |
| <p>1. 依研究團隊研究發現，對回收地土壤性質與造林木生長的情況，確有一定的關聯，即回收地土壤性質不佳造成苗木生長情況不良；一般認為回收地之前栽種蔬菜，長期施肥除草，且地勢平坦，應為土壤肥沃，視為苗木生長之良地，殊不知長期破壞已不利苗木生長。這個結果對回收造林地而言，的確為一項重大發現，對將來類似的造林地提供重要的經營方向。</p> <p>2. 對於期末準備進行接種苗木的現場栽植試驗，請研究團隊應考慮現場動物危害，其中以水鹿最甚，除嚙咬外亦有磨角的情況，依王穎教授的調查發現以檜木類受動物嚙咬情況最少，請研究團隊對於本項試驗建議採紅檜、扁柏一類苗木，以降低動物危害的機率；對於試驗地的苗木建議設置相關的保護措施，減少動物危害情況。</p> <p>3. 造林地是現在進行式，對於造林木的生長情況，依研究團隊的初期結果土壤性質影響苗木的生長甚巨，其環境對於苗木菌根生長極為不利，因此對於現栽植於造林地上的苗木如何觸發菌根、促進苗木生長，建議研究團隊研擬利用中耕作業觸發苗根生長的可能性。</p> | <p>1. 謝謝委員。</p> <p>2. 謝謝委員的建議，在期末菌根接種試驗中，我們選擇紅檜作為試驗苗木，未來於現場栽植時也會設置保護措施，降低動物危害，以利苗木生長。</p> <p>3. 謝謝委員的建議，將依委員建議進行可行性探討。</p> |

|  |  |
|--|--|
| (三)提問：鍾主任國基  | 回覆   |
| <p>1. 造林地調查發現，收回地邊緣林相完整，有部份為早期造林地，有部份則為次生的天然林，這些林下發現有大量的天然更新苗木，然一線之隔的收回地內，卻沒有發現任何的天然更新苗，若依研究團隊的期中結果，收回地的土壤性質顯然不適宜天然更新，因此對於天然更新的種子發芽情況，建議研究團隊採集土樣於實驗室中進行發芽試驗的比較，以瞭解收回地土壤與一般土壤的優劣。</p> <p>2. 依期中的初步結果，各項土壤性質對林木生長影響各異，因此對造林地苗木生長的情況應有程度的差別，對應於相同土壤性質的苗木生長情況，除利用土壤採樣瞭解菌根及孢子的情況外，現場苗木生長的情況，利用拍照比較或其他方式應予適度調查，以對照土壤性質的研究結果。</p> <p>3. 根據瞭解，早期收回地栽種高山蔬菜時，耕作之前，利用雞糞、化肥及石灰等，一併置入土壤中攪拌，長期使用的結果，致使土壤性質不佳，其中報告中尚未提及石灰的使用，請研究團隊應予說明收回地石灰使用的情況，並說明土壤性質鹼化與石灰使用之間的關聯。</p> | <p>1. 謝謝委員的建議，將於下次至現場時採集天然林下土壤返回實驗室進行分析比較。</p> <p>2. 謝謝委員的建議，下次至現場將會補拍苗木照片以利比較其生長差異。</p> <p>3. 關於置換性鉀鈉鈣鎂的數據，會在期末報告一併補上。農民長期大量使用石灰，會提高土壤中鈣離子的濃度，造成土壤鹼化，而高濃度的鈣會與有效磷形成鈣-磷沉澱物，導致苗木無法吸收磷，進而影響苗木生長。此項建議將於期末報告詳細說明。</p> |

|  |  |
|--|--|
| (四)提問：育樂課張技士燕卵   | 回覆   |
| 1. 菌根菌為試驗地現場採集後，於實驗室進行培養，與試驗地現場自然產生的方式不同，接種菌根試驗中，苗木數量是否足夠，請研究團隊再行評估  | 1 實驗培養接種的菌根形成方式與野外自然感染方式雖不同，但是共生的菌種是一樣的。今年度接種菌根苗木數量不多，惟希望在下半年出栽後若有預期中的表現，即可進行大量菌根育苗作業。   |
| (五)提問：作業課陳技佐照鈞   | 回覆   |
| <p>1. 有關期中報告中有誤繕之處請查明後更正：(1) 第一頁第二大段第二行『撤底』，請更正為『徹底』。(2) 同一段第四行，『農民偏重施用氮肥亦是土壤酸化的重要原因之一』，請查明是酸化還是鹼化，若為酸化是否與結果不相符合。(3) 第三頁第三行『酸鹼計測定測之』，請刪去『測之』。(4) 第四頁造林苗木菌根共生調查與分離本段第五行『不銹剛』請更正為『不秀鋼』。(5) 第七頁第一、二行『產孢囊泡』及『產孢囊泡』二詞名詞不同，請查明後更正。</p> <p>2. 土壤的各項分析中，其中丹大事業區第 9.10 林班未採集邊坡土及苗根域土，另丹大事業區第 17 林班-2 未採集苗根域土，建議未採樣的區域應予採樣進行調查，以增加調查數據，俾利佐證初步調查結果；各項調查依附註說明為『每一數值為 3 個分析數據的平均值』，有關樣本數是否足具代表性，請依調查的方法及原理說明。</p> | <p>1. 謝謝委員指正。(1) 已改正。(2) 於一般農田菜園，農民偏重施用氮肥是造成土壤酸化的原因，但在本試驗回收地中，農民大量使用石灰，造成原本為酸土的高山土壤因石灰大量累積而鹼化，已進行部分文句的修改。(3) 已改正。(4) 已改正。(5) 已改正。</p> <p>2. 有些林班地未採集邊坡或苗根域土壤，是因為該試區找不到生長較優良之苗木或該試區為一平坦區塊，其邊界並無坡度。依委員之意見，下次至現場時，會再做評估及採集。至於樣本數方面，是否足夠，會再做評估及增加，惟依目前分析結果顯示，樣本重複間數值差異小，因此 3 重複應已足夠具代表性。</p> |

3. 依報告說明苗根域土為林班內生長較佳之造林苗木根域土壤，既為林班內生長較佳之造林木，顯示該土壤各項性質應優於收回地的土壤性質，經研究調查結果土壤 pH 值偏高，有效磷含量低於收回地，CEC 值亦不優於收回地，對於原來立論有數值上的差距，請就採樣原則及調查的原理說明。

3. 生長較佳之苗木皆有菌根共生，菌根可增進植物吸收養分，故其根域土壤養分大多被植物吸收利用，導致根域土壤養分相較於其他土壤來的低。而菌根又利用其菌絲作為根系的延伸，藉此獲取根系以外的養分，促進植物的生長。因此生長佳的苗木根域土壤養分較低屬合理現象。

## (二) 期末報告審查委員意見答覆表

| (一)提問：陳副處長耀榮   | 回覆   |
|--|--|
| <p>1. 有關林務局近年來針對濫墾林地的收回及強制執行等，大多為果園地或蔬菜墾地，類似丹大事業區第8、9、10、17 林班菜園回收地之地質條件，將來在進行復舊造林時，恐與丹大收回地面臨相同問題。透過顏老師團隊研究探討，其所得結果指出，地質性質對於苗木生長有顯著的影響，將來應針對丹大菜園回收地持續有更深入探討，未來提供造林更實質的建議。</p> <p>2. 依顏老師研究團隊所做的報告，對於土壤的化學性質得到初步的結果，該土壤性質確實對造林苗木生長條件困難，研究報告內容詳盡且具參考價值，惟儘針對回收造林地土壤分析探討，尚未見毗鄰天然林內土壤數據，建議週遭土壤化學性質應予採樣比對，使報告內容更周嚴且完整。</p> <p>3. 本收回造林地苗木普遍生長不良，是否與培育苗木老化有關，請研究團隊就土壤化學性質的觀點，酌以說明老化苗木、土壤性質及苗木生長情況三者之關聯。</p> | <p>1. 謝謝委員的建議，我們將戮力而為。</p> <p>2. 謝謝委員的建議，已於期末報告中將毗鄰天然林內土壤數據補上。</p> <p>3. 苗木老化當然會影響苗木的生長，老化的苗木其根系無法在土壤中延伸，因而影響苗木吸收養分、水分的功能。在現場挖掘苗木根系，觀察到經過幾年的栽植，苗木根系已有向外延伸之現象，只是數量極少，此點可以證明老化苗經過長時間根系有機會向外延伸，但是土壤特性實在太差不利植物生長，因而造成苗木生長遲緩現象。</p> |

|  |  |
|--|--|
| (二)提問：余課長啟瑞  | 回覆   |
| <p>1. 本收回造林地苗木生長不良原因，研究結果，主要係土壤 pH 值高，有效磷低、鉀含量不足造成。</p> <p>2. 書面報告中，土壤化學性質試驗數據，建議加上正常土壤化學性質數據，可供比對。</p> <p>3. 依書面報告中，建議加入其他收回造林地造林情形，如研究團隊說明如武陵地區果園收回地、煤礦土棄置場等造林情況，以資佐證。</p> <p>4. 建議加入鄰近林地(原始林)土壤表土理化性質比較。</p>  | <p>1. 本研究結果之數據，確實證明此現象。</p> <p>2. 謝謝委員的建議，期末報告中已將正常土壤數據補上。</p> <p>3. 謝謝委員的建議，期末報告中已依章節將相關收回地情形補上。</p> <p>4. 謝謝委員的建議，已於期末報告中將毗鄰天然林內土壤數據補上。</p>                      |
| (三)提問：鍾主任國基  | 回覆   |
| <p>1. 有關收回造林地，其苗木生長不佳等情況，經顏老師的團隊研究的結果，的確土壤性質影響苗木生長甚鉅，希望研究團隊透過研究的結果，給予本處實質的建議，尤其在苗木的選擇；而將來在苗木培養的過程中，對於菌根的接種的菌種取得及接種的技術，建議對於相關的研究應予延續，並由研究獲得關鍵技術後轉移可供實際施行。</p> <p>2. 依研究團隊的研究結果，發現菜園邊坡土壤的性質優於菜園平坦地，對於將來試驗的方向是否需要加重邊坡地的試驗，並針對試驗地加強動物危害的防治，以減低動物危害造成的變因。</p> | <p>1. 苗木選擇應該以附近天然林相樹種為原則。至於菌根菌種選擇與菌根接種技術，我們極為樂意提供。</p> <p>2. 同意委員之意見，邊坡土壤優於菜園土壤，有利於苗木之建造，可以優先在此處植林，較容易成功，成功林木可以漸漸改善周遭土壤，有利於苗木之生長。至於加強動物危害之防制，應可請其他研究團隊提供有效之防護。</p> |

|   |  |
|---|--|
| (四)提問：陳主任啟榮   | 回覆   |
| <p>1. 對於樣區內土壤不同深度(梯度)之成份分析，是否有必要加入。</p> <p>2. 土壤鹽分過高時，會使得土壤水勢能降低，因水是由水勢能高處流向低處，當土壤水勢能因鹽分累積而降低時，植物根部吸水能力因而降低導致脫水死亡。土壤水勢能在-15 bar 時會引起植物永久凋萎，水勢能愈低，水的電導度愈高，若可加入電導度，其驗證度是否更高。</p> <p>3. 與遭海水倒灌地區相比，其造林技術及條件是否相似。</p> | <p>1 試驗地為推平的菜園地，當初栽植蔬菜時土壤都經過翻耕，已不再有土壤剖面的特性，因此不同土壤深度之分析不具重大意義，況且造林栽植苗木根系所生長的範圍僅在根域附近，不同土深之分析應不需要。</p> <p>2. 電導度可表示土壤中離子的總濃度，如果能夠確切分析出土壤中的各項離子（本分析中的置換性陽離子）相信比起分析電導度是更能夠說明土壤特性。</p> <p>3. 海水倒灌地區含有大量的 Na 離子，本試驗地含有大量 Ca 離子，理論上相似，但是土壤質地、氣候條件、地形不相同，因此欲進行土壤性質改善，兩者仍具極大不同。</p> |
| (五)提問：作業課陳技佐照鈞  | 回覆   |
| <p>1. 期末報告中針對丹大事業區收回造林地的試驗，並未說明試驗地的地點，及試驗地概況，僅於報告第三節材料方法中，提到取樣的地點為丹大事業區第 8、9、10、17 林班，建議於報告中將試驗地概況說明，如地點、氣候、海拔及位置；並請說明造林地之前遭佔用濫墾的情況，如佔墾的時間、耕種的作</p>   | <p>1. 謝謝委員的建議，已將試驗地地點概況及菜園回收情形補於材料方法章節中。</p>   |



|   |   |
|---|---|
| <p>物等相關的資料。</p> <p>2. 於研究團隊的簡報中，有部份珍貴的照片，建議依章節的需要加入報告中，如說明墾農於現場使用石灰改善土壤酸化的情況，簡報有呈現丹大事業區第 10 林班內遺留成堆石灰的照片等，若依章節的說明加入報告中一併說明，可使報告更具說服力。</p> | <p>2. 謝謝委員的建議，期末報告中已增加部份照片說明計畫相關情形。</p> |
|---|---|