

# 菌根在丹大菜園回收地造林的應用

文/圖 郭珩妏 ■ 國立中興大學森林學系碩士生  
顏江河 ■ 國立中興大學森林學系副教授(通訊作者)

## 一、前言

近年來農民利用高海拔冷涼之氣候條件栽培高冷蔬菜，為求環境更適宜生長且於短期間內收穫，大量施用石灰(Lime)改變土壤酸鹼度，並以化學肥料、氮磷鉀含量高之雞糞供給蔬菜養分，1年可有多期收穫，年年多次清耕翻土。過量的肥料、石灰殘留於土壤中，導致土壤性質日漸改變(王鐘和，2004；林晉卿等，2002；賴文龍等，2004)。

台灣中部丹大事業區林班地遭菜農佔用，濫墾及連續耕作，不當施用石灰及高pH值的雞糞肥料，使得土壤逐漸鹼化，影響土壤養分的平衡及有效性。此外，菜園回收地土壤的鹼性磷酸酯酶(Alkaline Phosphatase)亦呈現缺乏現

象，影響磷的轉換速率，導致土壤中供植物吸收利用的有效磷缺乏，以致於林班地收回後造林成效不彰。

菌根(Mycorrhizae)為植物與真菌形成之共生體，由宿主植物提供光合作用之碳水化合物給予菌根菌(Mycorrhizal fungi)利用，菌根菌藉由菌絲(Hyphae)自土壤根域處吸收水分及礦物養分提供給宿主，兩者達互利共生(Mutualism)之現象(劉潤進和陳應龍，2007)。菌根菌對於植物在生長逆境下的效益被廣泛地探討，無論是鹽分逆境、重金屬逆境等，菌根皆能提高植物對逆境的耐受性，幫助其維持正常生長(Al-Karaki, 2000; Brunner and Frey, 2000)。在復育造林計畫中也常對菌根菌實際應用進行探

討，結果顯示只要接種適宜的菌根菌，皆能為植物生長帶來正面效益(顏江河等，1999; Alguacil *et al.*, 2005; Duponnois *et al.*, 2007)。

本報告針對紅檜(*Chamaecyparis formosensis*)進行菌根菌接種處理後，栽植於丹大菜園回收地之土壤，觀察苗木生長之適應性。

## 二、材料與方法

### (一)試驗地概況

試驗區位於南投縣信義鄉丹大事業區，介於北緯23° 35'3"至23° 52'7"之間，東經120° 59'43"至121° 13'55"，其地形起伏劇烈，海拔自521-3,106m，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°C，年雨量約為1,600-2,400mm。因丹大事業區林班地承租人，違反租約規定在租地內種植蔬菜，經林務局南投林區管理處訴訟收回林地。

### (二)試驗用土及苗木來源

試驗土壤採集自丹大事業區第17林班菜園回收地。試驗用紅檜小苗為林業試驗所發芽試驗之幼苗，先將其栽植在蛭石與水苔的混合介質中，置於中興大學北溝苗圃溫室培育後，做為試驗之用。

### (三)菌根接種處理

選取性狀一致的紅檜小苗，移入裝有丹大事業區菜園回收地土壤的150ml穴植管中，其中40株幼苗同時接種採自丹大事業區紅檜所分離的菌根孢子，包括*Scutellospora calospora*、*Glomus mosseae*、*G. etunicatum*、*G.*

*constrictum*、*Acaulospora mellea*、*A. morrowiae*等混合孢子，每株接種量約20-30顆孢子，另20株則不接種菌根，做為對照，合計共60株苗木，置於溫室中澆灌去離子水培育8週後，進行酸雨處理試驗。

### (四)酸雨處理

酸雨處理包括裸土及紅檜菌根苗，另外裸土、無菌根苗、菌根苗進行去離子水澆灌，共計5種並為期15週的試驗處理(圖1)。台灣地區酸雨中 $\text{SO}_4^{2-}$ :  $\text{NO}_3^-$ 當量濃度比之平均約為3:1(陳淨修，1993)，故依比例調配pH5.0之酸雨進行試驗，每次澆灌為15ml，共計7次澆灌，並收集其土壤滲漏水進行分析。



圖1 丹大菜園回收地土壤栽植紅檜苗，經接種菌根後在溫室澆灌酸雨試驗的生長情形。右邊起第1排為裸土澆灌去離子水，第2排為栽植紅檜無菌根苗澆灌去離子水，第3排為栽植紅檜菌根苗澆灌去離子水，第4排為裸土澆灌酸雨，第5排為栽植紅檜菌根苗澆灌酸雨。

### (五)實驗分析

#### 1.苗木生長與植體營養分析

酸雨處理15週後，進行苗木全株收穫，以60°C烘乾1-2週後秤重。植體烘乾磨粉後，以硫酸-過氧化氫分解法(Moore and Chapman, 1986)分析並測定其氮、磷、鉀、鈉、鈣、鎂含量。

#### 2.土壤化學性質分析

試驗結束後，分析穴植管土壤性質，包括

pH值、有效磷、CEC與置換性鉀、鈣、鎂，以瞭解菌根菌接種對菜園回收地土壤化學性質之影響。

### 3.土壤滲漏水分析

將試驗收集的滲漏水樣以Whatman No.42濾紙過濾後，以酸鹼值測定儀(Jenco,model 6173 pH, USA)測定其pH值，感應耦合電漿光譜分析儀(Inductively-Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer, ICP)測定陽離子 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 含量，離子層析儀(Ion Chromatography, IC)測定陰離子 $NO_3^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 。

## 三、結果與討論

### (一)苗木生長與植體養分分析

每月針對試驗中未接種菌根澆去離子水(NM+水)、接種菌根澆去離子水(M+水)及接種菌根菌澆酸雨(M+酸雨)等3種處理之紅檜苗木進行苗高測量(圖2)。結果顯示，M+酸雨處理之紅檜苗高顯著高於NM+水之紅檜對照組。

NM+水之紅檜苗，試驗期間苗木死亡率達1/3，而接種菌根苗木則未有死亡情形發生。所有植體收穫(圖3)進行烘乾後秤量其乾重，3種處理的單株植體乾重分別：NM+水為 $0.05 \pm 0.02$

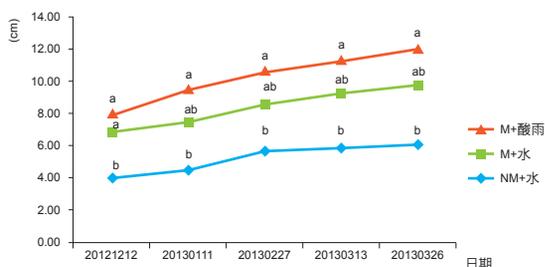


圖2 三種不同處理之紅檜苗生長於丹大菜園回收地土壤中，15週後苗高之生長。M+酸雨表接種菌根菌之紅檜澆灌酸雨，M+水表接種菌根菌之紅檜澆灌去離子水，NM+水表未接種之對照組澆灌去離子水。

g、M+水為 $0.60 \pm 0.04$  g、M+酸雨為 $0.74 \pm 0.07$ g。接種菌根之紅檜苗生物量顯著大於未接種菌根之對照組。而對3種不同處理之植體進行養分分析，觀察其氮、磷、鉀、鈉、鈣、鎂含量，結果如表1所示。以單株植體養分含量來看，所有養分皆為M+酸雨>M+水>NM+水，3種處理間具顯著差異。

菌根可利用根外菌絲增加植物對養分的吸收，進而增進植物地上部及地下部之生長。植體分析結果顯示，接種菌根菌之紅檜小苗，其單株氮、磷、鉀、鈉、鈣、鎂含量皆顯著高於未接種對照組。一般而言，大部分的菌根菌較適宜生長於偏酸之環境(呂斯文和張喜寧，1993；謝一青等，2002)，有些菌根菌對環境酸度的改變更為敏感。不同菌根菌種均有其適應之pH值，且在特定酸鹼度下會提高孢子產量。試驗中同樣接種菌根菌之紅檜小苗，澆灌酸雨者之養分含量顯著高於澆去離子水者，推測應為澆灌酸雨增加了土壤養分的釋出(酸雨本身亦為養分的來源)，此時菌根共生提高了菌根效應，使得植體養分含量有所差異。

### (二)土壤化學性質分析

試驗中裸土澆去離子水、裸土澆酸雨、無菌根澆去離子水、接種菌根澆去離子水及接種



圖3 紅檜幼苗經3種處理在丹大菜園回收地中生長15週後，全株收穫之狀況 (a)澆灌去離子水，接種菌根菌之紅檜小苗與未接種對照組(b)澆灌酸雨之紅檜菌根小苗。

表1 三種不同處理之紅檜苗生長於丹大菜園回收地土壤中經3個月後之植體養分(mg per plant)

	無菌根/澆水	接種菌根/澆水	接種菌根/澆酸雨
N	0.52 c	3.23 b	3.65 a
P	0.19 c	1.86 b	2.17 a
K	0.60 c	5.13 b	5.64 a
Na	0.05 c	0.48 b	0.60 a
Mg	0.08 c	0.86 b	1.09 a
Ca	0.35 c	3.41 b	5.63 a

表2 丹大菜園回收地土壤中經5種不同處理後之土壤化學性質分析

	原始介質	裸土/澆水	裸土/澆酸雨	無菌根/澆水	接種菌根/澆水	接種菌根/澆酸雨
pH (H <sub>2</sub> O)	7.69 a	7.53 ab	7.50 b	7.53 ab	7.61 ab	7.60 ab
Olsen-P ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	0.69 a	0.76 a	0.79 a	0.74 a	0.73 a	0.72 a
CEC(m.e. 100g <sup>-1</sup> )	15.87 a	14.16 a	14.04 a	13.91 a	12.95 a	13.69 a
exch. Na(m.e. 100g <sup>-1</sup> )	0.05 a	0.01 a	0.03 a	0.16 a	0.17 a	0.17 a
exch. Mg(m.e. 100g <sup>-1</sup> )	1.46 a	1.12 b	1.20 ab	1.10 b	1.00 b	0.97 b
exch. K(m.e. 100g <sup>-1</sup> )	0.46 a	0.32 ab	0.33 ab	0.33 ab	0.26 b	0.24 b
exch. Ca(m.e. 100g <sup>-1</sup> )	10.20 a	9.96 a	9.99 a	10.18 a	9.95 a	9.90 a

菌根澆酸雨等5種處理的土壤，分別測定土壤pH值、有效磷、CEC及置換性鉀、鈉、鈣、鎂，並與原始土壤(丹大第17林班菜園回收地之土壤)進行比較，結果如表2所示。

土壤pH值，除了裸土澆酸雨低於原始介質外，其餘間無顯著性差異；由於所有處理土壤皆為鹼性土，土壤有效磷以Olsen進行測定，顯示所有處理與原始介質皆無顯著性差異；另外CEC、置換性鈉及鈣在各處理與原始介質間亦無顯著差異；置換性鎂各處理含量皆顯著低於原始介質，而鉀在接種菌根澆離子水及接種菌根澆酸雨2種處理時，濃度顯著低於原始介質。

叢枝菌根菌的共生會促使根系分泌H<sup>+</sup>和有機酸，直接影響土壤化學特性，進一步活化土壤養分、提高養分有效性(劉潤進和陳應龍，2007)。鹼性環境下，菌根植物之根域土壤pH值

較未接種者來得低，原因應為菌根菌提高根系分泌物，改變養分有效性(Hu *et al.*, 2010)。但Li等(1991)於含鈣量高之鹼性土壤下，觀察菌根菌接種對土壤pH值之影響，發現其並無明顯改變。土壤pH在所有處理與原始介質間相較，無顯著性降低，應為先前長期大量施用生石灰(CaO)改變土壤酸度所致。生石灰遇到水會產生強鹼性之氫氧化鈣，故要在短時間內明顯觀察到根域土壤酸化之情形較為困難。置換性鎂、鉀含量在各處理略低於原始介質，尤其於菌根菌接種處理更是顯著性降低，對照植體分析結果，可能是植物將鉀、鎂吸收利用，導致土壤中其含量降低。

### (三)土壤滲漏水分析

試驗中5種不同處理滲漏水之分析結果如表3，不同處理之滲漏水pH值並無顯著差異。鉀、鈣、

表3 丹大菜園回收地土壤中經5種不同處理後之土壤滲漏水分析

日期	裸土/澆水	裸土/澆酸雨	無菌根/澆水	接種菌根/澆水	接種菌根/澆酸雨
pH值	6.67 a	6.52 a	6.91 a	7.16 a	6.94 a
K <sup>+</sup> (μg g <sup>-1</sup> )	11.04 a	11.43 a	6.07 b	4.97 bc	4.62 c
Ca <sup>2+</sup> (μg g <sup>-1</sup> )	63.35 a	58.65 b	34.61 c	16.96 e	23.87 d
Mg <sup>2+</sup> (μg g <sup>-1</sup> )	3.08 a	2.75 b	1.53 c	0.68 e	0.89 d
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μg g <sup>-1</sup> )	229.49 a	211.20 b	110.77 c	64.77 d	19.40 e
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (μg g <sup>-1</sup> )	17.93 a	15.64 b	10.81 c	9.67 d	9.81 d

鎂3種陽離子以及2種陰離子測定之結果，各處理間的變異情況相似，不同處理間各離子濃度以裸土澆去離子水>裸土澆酸雨>無菌根澆去離子水>接種菌根澆去離子水>接種菌根澆酸雨，各處理間呈顯著差異。

土壤中絕大部分的養分會經由土壤侵蝕(Erosion)、地表逕流(Surface Runoff)、淋洗作用(Leaching)和地下流(Sub-surface Flows)等途徑流失(Harris, 2001)，只有少部分養分會被植物吸收利用。菌根共生之植物被證實可減少土壤養分經由淋洗作用流失(顏江河, 1996; van der Heijden, 2010; Asghari and Cavagnaro, 2011)，菌根共生會增加養分的吸收(Asghari *et al.*, 2005; Tanaka and Yano, 2005)，進而提高植物生物量，並減緩養分的流失。在試驗結果中，土壤滲漏水pH值在各處理間無顯著差異，而在Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 3種陽離子及NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 2種陰離子方面都呈現相同之情形，養分釋出皆為裸土>未接種菌根者>接種菌根者，此結果再次證明菌根菌可降低土壤養分的流失。

#### 四、結論建議

(一)丹大事業區菜園地長期施用石灰與雞糞肥導致土壤鹼化，養分失衡，尤其有效磷極度缺

乏，不利林木生長。

(二)林木需要有菌根共生始能維持正常生長，許多實驗證明，植物若無菌根共生，即使生長在肥沃土壤中，林木仍將遲滯生長，甚至死亡。丹大菜園回收地經長期不當耕作，不但土壤性質迥異於一般森林土壤，林木共生的菌根菌亦全無。

(三)溫室試驗證明接種菌根的紅檜小苗，在丹大菜園回收地土壤中生長良好，未接種菌根的紅檜小苗，則呈現遲滯生長，且大量死亡。證實菌根的接種能夠確保苗木在菜園回收地的正常生長。

(四)目前林業苗圃的育苗作業，大量使用人工介質(泥碳土、蛭石等)，因而缺乏菌根的感染源，所培育的苗木感染菌根之機率極低，但在良好的苗圃管理作業下，苗木仍可正常生長，惟一旦出栽後，常致造林失敗，尤其發生在不良的生育地。

(五)苗圃育苗過程中，建立菌根接種作業為培育不良生育地造林苗木的重要課題，且菌根菌種的來源應篩自欲造林地之處，始能發揮菌根的預期效益。🌱

參考文獻(請逕洽作者)