

菌根與煤礦棄土地的復舊造林

◎國立中興大學森林系·顏江河

煤礦棄土地土壤特性

煤礦棄土地(coal mine spoils)可能是目前人為破壞自然地表面積最大者，自英、美工業革命後，需煤量大增，不斷的大面積開採。在美國因採礦而極需植生復舊之面積即達63萬公頃之多，主要集中在美國東部，雖然美國各州皆早已制定法律進行採礦棄土地的復舊造林，但成效不彰；更嚴重者，經由此棄土地流出之水因受土壤性質影響，嚴重污染水源，土壤流失亦極嚴重(約為一般正常森林地的100倍)，因此煤礦棄土地不但影響附近生態，同時會影響整個集水區流域的居民生活品質。

煤礦取自地下，其棄土通常含有大量 $\geq 2\text{mm}$ 之石礫，會因地質不同可達3.0%~93%，因此土壤水容易漏失，保水力極差，有效含水量經常僅有2.3~14.7%，易引起乾旱現象。此外，棄土地土壤溫度因裸露狀態，當氣溫30~35°C時會高達50~55°C甚或高達70°C，容易引起高溫為害，熱死小苗。

煤礦通常伴隨著許多黃鐵礦(pyrite)，主要成份為 FeS_2 ，曝露在空氣中即進行一系列化學作用產生大量硫酸根，使煤礦棄土呈極酸的反應。低pH值通常是限制棄土地植生的最主要因子，也會產生高濃度重金屬的釋出，如Al、Fe、Mn，因此pH值低於4往往對植物產生毒害。

土壤有機質為重要土壤性質，對植物根系發展極為重要，新煤礦棄土地通常幾乎不含有機質，估計在自然狀況下，即使經過70~130年採礦棄土地土壤中的有機質量仍

無法達到一般正常土壤的有機質含量。同樣的，氮及有效磷等重要植物營養元素，在煤礦棄土地皆極缺乏。酸性煤礦棄土地土壤通常較正常土壤具低的生物活性(biological activity)，因此分解各項物質能力低，養分循環較慢，改善土壤物理性質速度較緩慢。新的棄土地完全無蚯蚓的存在，自然狀況下可能需經15年後才能發現有蚯蚓。微生物的生長與活性(microbial growth and activity)，在煤礦棄土地相對的都很少；土壤呼吸量(soil respiration)、土壤酵素活性(soil enzyme activity)同樣也相對的少。

煤礦棄土地土壤的改良

煤礦棄土地通常以下述方法進行土壤性質改良：a.覆蓋表土(topsoil)，以一般正常森林土壤覆蓋在pH值2.4的煤礦棄土地約5~25cm厚。但資料顯示經11個生長季節後，僅15cm以上的覆土，植物能獲得正常生長，且根系只能達到棄土地之0.65cm深處，顯示棄土地土壤會阻礙根系發展。此項工作所費甚鉅，且在地斜之處易引起沖蝕，非萬不得已甚少引用。b.覆蓋飛灰(fly ash)，以電廠燃燒所餘之飛灰進行採礦棄土地的覆蓋，可將土壤pH值從2.6~4.7提昇至5.0~7.5左右，雖然有效果，但因飛灰中含有各種元素，尤其有毒金屬因此是否適用仍待探討研究。c.使用污水淤泥(sewage sludge)，此種沉積物富含植物所需養分，尤其氮與磷，通常使用量在50~500tons/ha。d.紙漿淤泥(papermill sludge)，具有高含量的鹽基及

植物養分來源，並含有已部份被分解的有機質，因此也具有改良土壤物理、化學性質的功效。e.施用Sodium Lauryl Sulfate(SLS)，可抑制*Thiobacillus ferrooxidans*氧化 FeS_2 ，降低土壤酸化，SLS就如同殺細菌劑一般，可降低60%~90%的作用，雖然成效好，但SLS為水溶性，易被沖蝕掉，因此近年已有緩效性(slow release)的SLS問世。f.複合使用，上述方法二種以上同時使用。

煤礦棄土地的植生復舊

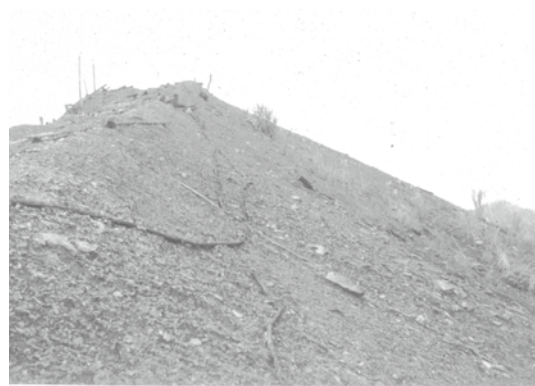
自從1966年Schramm發表菌根在採礦棄土地上的重要性之後，即有大量學者利用菌根與林木共生，來克服煤礦棄土地造林困難的問題，所發表的報告不勝枚舉。菌根為真菌與寄主植物間的互利共生現象，扮演諸多重要功能，包括幫助寄主吸收養分，保護根部防止病害，以及抗旱等等。在某些狀況下植物具有菌根感染對其成活有絕對的重要性，經由菌根的共生，寄主可提供真菌生長所需的碳水化合物，而真菌則可自更廣大範圍的土壤中吸收與聚集更多養分與水分供寄主生長所用。野外的觀察，顯示外生菌根在枝葉及腐植層中呈大量網狀分布，對有機養分的分解上扮演重要角色，因此利用菌根接種方式來克服瘠劣地造林困難為可行的方法，尤其在採礦棄土造林，其應用已相當廣泛。

最近的研究則針對外生菌根聚網(ectomycorrhizal mats)的土域進行各項因子調查，證實因菌根的存在可引起土壤生態因子的變異，惟這些報告皆在自然狀況下的天然林所進行的研究結果，並未探討到瘠劣棄土地中菌根的功效。

國內煤礦棄土地的復舊造林

試驗地概況

本試驗地在台北縣平溪鄉菁桐煤礦，位於台鐵平溪支線菁桐站西北方約1.5公里處，為台灣早期北部主要產煤地區，採礦後的廢土大都以索道纜車堆棄成尖山狀，廢土土質具有四大特點，1.土壤呈極酸性，2.土壤溶液中含有高量的鋁，3.土壤中含有大量的硫，4.土壤乾旱，因此不論人工復舊造林或自然植生皆極困難。該地數年來經自然植生演替，僅有零星分佈五節芒與野牡丹。分析煤礦棄土地土壤性質，pH為3.20，土壤全氮僅0.18%，有效磷屬低量範圍(3~7ppm)，可置換陽離子鉀、鎂、鈣含量0.12~0.99m.e./100g，無機態硫與可置換鋁分別高達為2256與1241ppm。此土壤特性極不利於植物之生存。

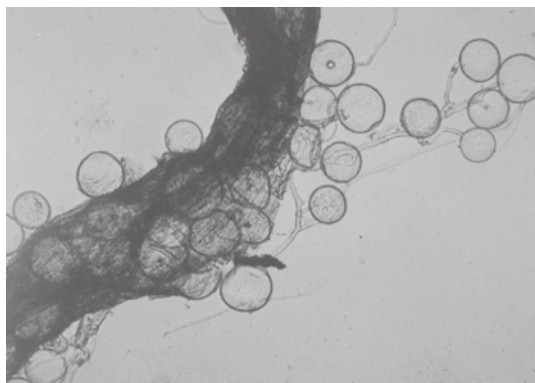


以纜車索道方式棄置的煤礦棄土地，唯一能自然植生者為五節芒(顏江河 攝)

內生菌根接種試驗

在野外檢視自然植生的五節芒根系，可發現具有大量的內生菌根(endomycorrhize)

共生現象，此菌根菌種確定為無柄孢子屬的 *Entrophospora colobiana*，該菌種在實驗室中能以玉米或苜蓿芽為宿主進行大量孢子的繁殖。在溫室中以無菌發芽的相思樹、銀合歡、赤楊、構樹小苗進行接種 *Entrophospora colobiana*，將這些接種菌根與不接種的小苗栽植於煤礦棄土地，結果顯示，不接種菌根的小苗在7~21天內全數枯死完全無存活機會；接種菌根苗則有68~84%的存活率，以赤楊、銀合歡成活率較高，相思樹與構樹表現較差，赤楊與銀合歡並有長出新葉的現象，唯這些存活樹種在2~6個月內相繼死亡，顯然內生菌根共生，能夠幫助這些樹種短暫的在煤礦棄土地生存下來。



自然植生的五節芒根系佈滿內生菌根共生(顏江河 攝)

外生菌根接種試驗

彩色豆馬勃(*Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker & Couch.) (簡稱 *P. t.*) 屬擔子菌類腹菌綱真菌，能與大多數松科與殼斗科植物形成外生菌根(ectomycorrhize)，在培育松樹的苗圃中偶而可以發現 *P. t.* 子實體的出現，外生菌根菌可以經由子實體做成存培養的菌絲，進行大量繁殖作為菌根接種，同樣以無菌發芽的



苗圃中黑松苗床長出的彩色豆馬勃菌根菌子實體(顏江河 攝)



未接種 *P. t.* 的琉球松真葉漸漸黃化，最後全株枯死(顏江河 攝)

琉球松幼苗進行接種 *P. t.* 試驗，將這些接種與未接種小苗栽植於煤礦棄土地，未接種菌根之小苗全株針葉開始黃化，漸漸枯萎，約2個月時間後全數枯死，接種 *P. t.* 幼苗成活率高達95%，生長旺盛，針葉翠綠，四年高生長可達2~3公尺，生長量不遜於肥沃的生育地。



四年生接種 *P. t.* 的琉球松在煤礦棄土地生長旺盛針葉翠綠
(顏江河 攝)

接種 *P. t.* 菌根對煤礦棄土瘠劣地的適應性

煤礦棄土的土壤中置換鋁高達1,242ppm，土壤溶液中 Al^{+3} 離子高達192~333ppm，遠超過一般植物能忍耐的程度(約27ppm)，然生長此地的琉球松並未見生長遲緩現象，未受鋁毒為害，顯然 *P. t.* 菌根扮演重要角色。研究證實 Al^{+3} 離子被菌根有效的過濾，堆積在菌根菌毯處，摒除在植物體外，少部份的 Al^{+3} 離子進入植物體內，在導管汁液輸送過程中被有機酸(尤其是檸檬酸)所螯合，形成較不具毒害的鋁螯合物，這些鋁螯合物經輸送至地上部，主要累積在幹葉(長在樹梢頂部的樹幹上)，而幹葉較枝條針葉早脫落，因此可將進入植體內

之鋁排除至體外。有 *P. t.* 菌根栽植土壤中置換鋁降至736ppm，土壤溶液中 Al^{+3} 離子會則降到18~66ppm。

煤礦棄土的無機態硫原為2,257ppm，經由接種 *P. t.* 菌根栽植後降至1,443ppm。在土壤高硫含量下，*P. t.* 菌根會將硫吸收進入植物體內，有一部份會累積在根部的皮層細胞腔內，形成瘤狀富含硫的構造物。另外因菌根的引入煤礦棄土地，菌根根系會改變土壤生態，因而增加土壤微生物，這些微生物可吸收土壤中大量的硫，以微生物硫(bicrobial biomass-S)的型態儲存在土壤中，減少硫酸根自土壤溶液中流失，也意味著將硫養分保存在土壤中，可視為土壤肥力的一環。此外具有琉球松植被覆蓋之土壤，因菌根根系的分佈，其pH值較裸露地高0.5單位。

結論

煤礦棄土地的土壤物理性質、化學性質、生物性質都極為惡劣，植物若無菌根共生幾乎無法在此環境下存活。自然植生的五節芒具有內生菌根共生，若將此內生菌根菌種接種到木本植物，證實仍然無法幫助木本植物克服煤礦棄土地的惡劣環境；選擇外生的 *P. t.* 菌種接種在琉球松，證明不但植株茂盛，生長快速，更能夠改善煤礦棄土地的土壤性質，有利於日後的植群演替。

不同的菌根組合有不同的生育地適應性，有些耐高溫或低溫、有些耐極端酸鹼值、有些耐乾旱或潮濕、有些耐貧瘠、有些耐重金屬，對於不同的造林需求，應選擇適當的菌根菌種，才能達到預期的效果。⊗