

# 大油坑硫磺噴氣口鄰近區域植群類型與土壤因子對叢枝菌根菌組成之影響

## Vegetation and Soil Factors Affecting Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community Composition in Dayukeng Fumarole Area

顏江河<sup>1</sup> 林子超<sup>2,\*</sup>

Chiang-Her Yen<sup>1</sup> Tzu-Chao Lin<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> 國立中興大學森林學系 40227 臺中市國光路 250 號

<sup>2</sup> 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 55224 南投縣集集鎮民生東路 1 號

<sup>1</sup> Department of Forestry, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

<sup>2</sup> Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

\*通訊作者：super@tesri.gov.tw

\*Corresponding author: super@tesri.gov.tw

### 摘要

大油坑為台灣規模最大的噴氣孔區，具特殊的土壤環境及獨特的植群組成，本研究於大油坑主噴氣口鄰近區域 3 種不同植群類型中，調查叢枝菌根菌組成，並分析土壤因子與植群組成對叢枝菌根菌組成之影響。調查共記錄 AMF 7 屬 17 種，AMF 的組成隨著遠離噴氣孔，菌種多樣性逐漸增加，而孢子數量卻逐漸減少。大油坑硫磺噴氣口鄰近地區 AMF 的組成與土壤中的 pH 值、土壤全氮及可置換性鈣有明顯的相關性；土壤中孢子數量與土壤之 pH 值、可置換性鎂及可置換性鋁呈顯著負相關；而土壤中菌種數則與土壤全氮呈顯著正相關。

### Abstract

Dayukeng is the largest fumarole area in Taiwan defined by particular soils environment and unique

vegetation. In this study the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) composition was examined in three different vegetations in Dayukeng to find out how soil and vegetation factors affect the AMF composition. In total, 17 species in seven AMF genus was recorded. The AMF species diversity increased with distance from the fumarole, but the amount of AMF spores decreased. The AMF composition in Dayukeng correlated with soil pH, total nitrogen and exchangeable calcium significantly. The amount of AMF spores was significantly and negatively correlated with soil pH, exchangeable magnesium and exchangeable aluminum, whereas AMF species diversity was significantly and positively correlated with total nitrogen.

**關鍵詞：**菌根菌、植群、噴氣口

**Key words:** mycorrhizal fungi, vegetation、fumarole

收件日期：2016 年 08 月 04 日

接受日期：2016 年 10 月 31 日

Received: August 04, 2016

Accepted: October 31, 2016

## 緒 言

叢枝菌根菌 (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 對於整個生態系的運作，有著不容忽略的地位，藉由共生關係之建立，影響宿主植物對環境的適應性，改變宿主植物的競爭能力 (Hart *et al.*, 2003)，進一步也影響了植群組成的消長；同樣地，地上部植群組成亦影響著 AMF 的群落組成 (Johnson *et al.*, 2004; Mummey *et al.*, 2005)。除了宿主效應，許多研究指出土壤因子 (Aliasgharзад *et al.*, 2010; Liang *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2012) 也影響了 AMF 群聚結構。本研究以大屯火山群大油坑地區為研究樣區，於不同植群型中設置樣點，調查 AMF 的菌種組成，並進行梯度分析來探討 AMF 與伴生植群及生育地土壤因子間的關係。探討 AMF 組成與植群及土壤因子間的關係將

有助於進一步瞭解共生機制與植群分佈之關係。

## 材料與方法

### 一、研究區域環境概述

大油坑位於新北市金山區西南方的邊緣山區，介於七股山與大尖後山之間，海拔約 600m，為台灣規模最大的噴氣孔與硫氣孔區，距離主噴氣孔 120m 範圍內無植物，120m 以外則有白背芒 (*Miscanthus sinensis* var. *glaber*) 定植，150m 以外開始有栗蕨 (*Histiopteris incisa*) 與白背芒混生，250m 以外則為白背芒與芒萁 (*Dicranopteris linearis*) 及部分小灌木如野牡丹 (*Melastoma candidum*)、燈稱花 (*Ilex asprella*) 等伴生，隨著距離噴氣孔愈遠植物種類也愈多，植被也更加完整 (林等 2013)

## 二、土壤取樣及化學性質分析

於大油坑鄰近主噴氣口地區 3 種不同植群類型(草本型、灌木型及喬木型)中設置樣點，每種植群型設置 6 處樣點，進行土壤取樣，於實驗室將野外採集的土壤樣本進行土壤分析，實驗時土壤樣本做 3 重複，分析項目及方法如下：

### (一) 土壤 pH 值

取土壤與蒸餾水以 1:2.5(w/v)，均勻混合，靜置隔夜，以酸鹼值測定儀(Jenco model 6137pH) 測之(McLean, 1982)。

### (二) 土壤全氮

土壤全氮量以 Semimacro Kjeldhal 法測定 (MacDonald, 1977)。取 1 g 風乾土加 1.1 g 催化劑 ( $K_2SO_4$ : $CuSO_4$ : $Se=100:10:1$ ) 及 10 ml 濃硫酸，置於分解爐中加熱至 375°C 持續 2 小時，至溶液呈澄清或灰白色，待冷卻後之樣液置於凱氏氮分析裝置 (Tecator, Kjeltect System 1026 Distilling Unit) 進行全氮蒸餾，樣液加入過量的 40%NaOH，另取 20 ml 的 2% 硼酸置於冷凝接收管下作為接收液，再以 0.05 N  $H_2SO_4$  滴定接收液。

### (三) 土壤有效磷

用鉬藍法測定 (Olsen and Sommers, 1982)，取 1 g 風乾土加入 7 ml 抽出液 (0.025 N HCl-0.03 N  $NH_4F$ :15 ml  $NH_4F$  加 25 ml HCl，再加水定積至 500 ml)，均勻搖晃 1 分鐘後，以 Whatman NO.42 濾紙過濾。取 2 ml 濾液依次加 5 ml 去離子水、2 ml 鉬酸鉍液〔15 g( $NH_4$ )<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O 加 350 ml 去離子水加 350 ml HCl 定積至 1000 ml〕及 1 ml 氯化亞錫稀釋液〔0.5 ml 氯化亞錫母液 (10 g  $SnCl_2$ ·2H<sub>2</sub>O 加 25 ml conc. HCl) 加 66 ml H<sub>2</sub>O〕以分光光度計於波長 660 nm 下測定吸光值。

### (四) 土壤可置換性陽離子

用中性醋酸鉍法 (Rhoades, 1982) 測之，取 5 g 風乾土以 250 ml 去離子水清洗後，以每次 25~30 ml 的 1 N 醋酸鉍淋洗 5~6 次，再以 1N 醋酸鉍定積至 200 ml，以 Whatman No. 42 濾紙過濾，濾液以感應耦合電漿光譜分析儀測可置換性陽離子鉀、鈣、鎂。

### (五) 土壤有機質

以濕消化法測定 (MacDonald, 1977)，稱取 2 g 風乾土樣置於 500 ml 錐形瓶中，加入 10 ml 1 N 重鉻酸鉀，輕輕搖晃使溶液均勻，再加入 20 ml 濃硫酸，放置於 150，放沙盤中加熱 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 硫酸鉍亞鐵滴定之。反應初期顏色為暗黃色，然後漸漸轉變為綠色，當樣液由青綠色迅速轉變為暗褐色時，即達到反應終點。

### (六) 土壤可置換性鋁

稱取 5 g 土壤於 100 ml 之錐形燒杯中，加入 1 N 氯化鉀溶液 (稱 74.56 g 試藥級氯化鉀溶於去離子水中並定積至 1000 ml) 50 ml，並以石蠟膜 (parafilm) 封瓶口後震盪 30 分鐘，然後以 Whatman No.42 濾紙過濾，濾液以感應耦合電漿光譜分析儀測定可置換性鋁 (Barnhisel and Bertsch, 1982)。

## 三、菌種分離及鑑定

2012 年分別於 1、4、7 及 10 月於大油坑主噴氣口鄰近區域 3 種不同植群類型 (草本型、灌木林型及喬木林型) 共 18 處樣點中進行土壤取樣，於實驗室將野外採集的土壤樣本，稱取 100g 土樣後，以濕篩傾倒法 (Gerdeman and Trappe, 1974) 和糖液離心法 (Daniels and Skipper, 1982) 分離孢子後，在

解剖顯微鏡下計算孢子數量並挑取孢子，孢子依外觀形態如：直徑大小、顏色、接著菌絲有無等特徵初步進行區別，再以 Polyvinyl alcohol lactophenol glycerol (PVLG) (Koske and Tessier, 1983) 包埋劑製作成半永久玻片，以利於孢子的鑑定與標本之保存。孢子的鑑定採 Schenck 和 Perez (1990) 所建議的步驟進行，以顯微鏡 (Leica DMRB) 觀察孢子之壁群結構、染劑反應等特徵，菌種鑑定除了比對 Schenck 和 Perez (1990) 所提供之菌種發表原始文獻描述外，並參考西維吉尼亞大學 INVAM (<http://invam.wvu.edu/>) 網站所提供之菌種特徵描述。每份土壤同時進行土壤化學性質分析，以作為後續分析其與菌根菌組成關係之依據。

#### 四、叢枝菌根菌組成與土壤因子間之分布序列分析

分布序列是分析物種沿環境梯度變化的方法。可沿著單一或複合梯度軸排列樣區或物種，將綜合複雜的相關性，歸納一個或少數明顯序列顯示物種於環境中可能性的變化 (McCune and Grace, 2002)。

間接梯度分析為根據共變數和物種的聚集，排列樣本位置 (McCune and Grace, 2002)，該分布序列技術僅由物種資料找尋主要梯度，不包含任何環境變數 (Ter Braak and Šmilauer, 2002)。然而間接梯度分析無法分析環境變數對物種組成的效應，此限制可由直接梯度分析加以解決，即物種的出現與環境變數有直接相關。直接梯度分析乃基於一組物種和環境資料，測試分析環境變數上物種出現及數量的相關性 (Gauch, 1982)，為解釋在分布序列軸限制環境變數的線性組合下，物種的反應 (Ter Braak and Šmilauer, 2002)。

本研究以各調查樣點每 100 g 土壤中 AMF 菌種孢子數為基礎，使用間接梯度分析中的降趨對應分析 (detrended correspondence analysis, DCA) 以及直接梯度分析中的典型對應分析 (canonical correspondence analysis, CCA)，對 AMF 物種及土壤因子進行分析，以探討大油坑火山噴氣口鄰近地區 AMF 之物種組成與土壤因子間之相互關係 (本研究使用 Canoco 4.5 套裝軟體進行分析)。

## 結果與討論

### 一、大油坑主噴氣口鄰近 3 種植被型內生菌根組成

土壤樣本經分離鑑定共記錄 7 屬 17 種內生菌根菌 (如附錄 1)，大油坑鄰近噴氣口草本型樣點共記錄 7 種內生菌根菌，其中以 *Entrophospora columbiana* 最為優勢，*Sclerosistis rubiformis*、*Acaulospora mellea* 及 *Glomus clarum* 零星出現，單一土壤樣本孢子數 100 g 土壤約 82.3 個。距噴氣口 250 m 外白背芒、芒萁、野牡丹及燈稱花伴生植群型 (後續稱為灌木型) 共記錄 9 種內生菌根菌，其中以 *E. columbiana* 及 *A. mellea* 最為優勢，*Sc. rubiformis*、*Acaulospora morrowiae*、*Glomus ambisporum* 及 *Glomus deserticola* 等菌種零星出現，單一土壤樣本孢子數 100 g 土壤約 16.2 個。距噴氣口 500 m 外紅楠、奧氏虎皮楠、森氏紅淡比與大頭茶伴生植群型 (後續稱為喬木型) 土壤樣本共記錄 15 種內生菌根菌，其中以 *A. mellea* 最為優勢，單一土壤樣本孢子數 100 g 土壤約 24.3 個。

菌根菌物種組成在不同植群類型間的差異，除了可能是不同菌種對宿主植物的偏好性以及對土壤性質的適應性外，不同分類群

的菌種由於主要的感染途徑不同，也可能造成不同的菌種分佈組成，例如 *Glomus* 屬的真菌主要以根外菌絲感染的方式去拓殖其族群，而 *Gigaspora* 與 *Acaulopora* 屬的真菌則主要是以孢子發芽的方式 (Klironomos and Hart, 2002; Hart and Reader, 2004)。

Vandenkoornhuysen 等 (2003) 以分生的方法調查不同草原的菌根菌組成，結果發現即使在相同的土壤條件下，因為宿主植物的不同也會造成菌根菌組成呈現明顯不同，研究人員認為這是因為宿主與菌根菌兩者間有明確辨識彼此的機制，這也是造成植物組成多樣性影響了菌根菌組成多樣性的原因。研究發現豆科植物之細胞懸浮培養液能促進菌根菌的菌絲生長，表示植物細胞可分泌活性代謝物質至細胞外以誘導菌絲生長 (Paula and Siqueira, 1990)，且不同植物對不同 AMF 菌絲的誘導能力也不盡相同 (Carr *et al.*, 1985)。此外，也有研究指出缺磷植物根系所分泌之物質對 AMF 之菌絲才有誘導生長的效果 (Elias and Safir, 1987)。

Ven der Heijden 等 (2003) 的調查發現，地上部植群的物種多樣性與結構受到 AMF 組成與多樣性的影響；同樣地，地上部組成亦影響著 AMF 的群落組成 (Johnson *et al.*, 2004; Mummey *et al.*, 2005)。Vandenkoornhuysen 等 (2003) 以分生的方法調查不同草原的菌根菌組成，結果發現即使在相同的土壤條件下，因為宿主植物的不同也會造成菌根菌組成呈現明顯不同，他們認為這是因為宿主與菌根菌兩者間有明確辨識彼此的機制，這也是造成植物組成多樣性影響了菌根菌組成多樣性的原因。

## 二、叢枝菌根菌組成與伴生植群及土壤因子間之分布序列分析

將各樣點之 AMF 物種組成資料進行 DCA，結果顯示草本型的樣點在第 1 與第 2 梯度軸上之分布呈現非常集中 (圖 1)，由此可知草本型各樣點之菌種組成與其它 2 植群型有明顯的差異，而灌木型與喬木林型的樣點分布雖較為零散，然而隱約仍可看出灌木林型的樣點大多介於草本型與喬木林型之間 (圖 1)。由於 DCA 分析之結果顯示第 1 梯度軸長達 4.836 (表 1) 大於 4 SD (standard deviation)，代表物種資料與環境梯度軸呈顯著的單峰反應，適合選用 CCA 做進一步物種與環境變數相關性的分析 (Ter Braak and Šmilauer, 1998)，以利透過土壤因子變數解釋 AMF 組成分化的情形。本研究進一步使用 72 個土壤樣點之菌種組成資料與 8 項土壤因子變數進行 CCA 分析。CCA 結果顯示第 1 軸特徵值最高為 0.507 (表 2)，最能解釋物種的分化程度，接著依序為第 2 軸 0.275、第 3 軸 0.226、第 4 軸 0.137。軸 1 與物種與環境的相關性為 0.856、軸 2 為 0.698、軸 3 為 0.660、軸 4 為 0.614，總解釋變異量 (加權變異量) 為 4.912，而所有特徵值的總合為 1.338，軸 1 可解釋物種與環境關係的變異量為 37.9%，軸 1、2 所累積的可解釋物種與環境關係的變異量則達 58.4%。本研究使用特徵值較高，即解釋能力較佳的前 2 梯度軸與土壤因子變數，配合樣區和物種繪製雙序圖。CCA 為直接梯度分析，雙序圖乃由環境變數與梯度軸做多元直線回歸所得的結果 (McCune and Grace, 2002)，雙序圖能將環境變數以向量表示，樣區或物種以分布點表示，繪至同一圖面上，可由該圖顯示環境與樣區或物種的相關性。

表 1. 大油坑地區叢枝菌根菌組成降趨對應分析結果

Table 1. Result of detrended correspondence analysis of AMF composition in Dayukeng

Axes	AX1	AX2	AX3	AX4	Total inertia
Eigenvalues	0.750	0.489	0.328	0.217	4.912
Lengths of gradient	4.836	3.527	3.100	2.498	
Cumulative percentage variance of species data	15.3	25.2	31.9	36.3	
Sum of all eigenvalues					4.912

表 2. 大油坑地區叢枝菌根菌組成典型對應分析結果

Table 2. Result of canonical correspondence analysis of AMF composition in Dayukeng

Axes	AX1	AX2	AX3	AX4	Total inertia
Eigenvalues	0.507	0.275	0.226	0.137	4.912
Species-environment correlations	0.856	0.698	0.660	0.614	
Cumulative percentage variance of species data	10.3	15.9	20.5	23.3	
Cumulative percentage variance of species-environment relation	37.9	58.4	75.3	85.5	
Sum of all unconstrained eigenvalues					4.912
Sum of all canonical eigenvalues					1.338

於本研究雙序圖 (圖 2、3) 顯示, 第 1 軸與土壤 pH 值 (0.730)、全氮 (0.851) 有較明顯的正相關。第 2 軸與置換性鈣 (0.539) 有較明顯正相關 (表 3)。雙序圖中的物種與樣區分布以點表示, 環境變數皆由箭號表示, 箭頭所在之象限方向表示環境變數與梯度軸的正負相關, 其長度代表環境變數與樣區或物種分布相關程度的大小, 長度越長, 表示相關性越大、越重要, 反之則相關性越小。兩箭頭連線之間或與梯度軸間的夾角越小, 則代表該兩軸關係越密切。箭頭方向則代表該變數量值的增加方向, 各樣區或物種分布與環境變數軸做垂

線, 便可得知樣區或物種於該變數序列上的排序關係 (Ter Braak and Šmilauer, 1998)。點與點的關係則可由中心理論解釋 (Centroid principle), 樣區點的位置將位於該樣區中出現物種的周圍。亦可由其看出物種與每一樣區的豐量度, 基於距離規則 (Distance rule), 物種中心點為豐量總合做加權平均, 即樣區越靠近該物種者, 該物種於其樣區的豐量越高, 反之則越小 (Ter Braak and Šmilauer, 2002)。因此可從樣點與環境因子雙序圖 (圖 2) 上得知各樣點的生育地類型, 如雙序圖左下邊的樣點, 為 pH 值偏酸性、置換性鈣以及含氮量較少的樣

點，由圖中可大致看出由白背芒佔優勢的草本型樣點多半分佈於此，而喬木林樣點則多半分佈於雙序圖中的右半邊，至於灌木樣點則大致上位於草生地樣點與喬木林樣點之間。若從菌種與環境因子雙序圖上(圖 3)來看，*E. columbiana*、*G. clarum*、*Scu. rubra* 以及 *Scu. aurigloba* 多半出現在雙序圖左下邊，生育環境為土壤 pH 值偏酸性、置換性鈣及含氮量較少的土壤中，與生存於相同環境的白背芒形成共生。若當土壤的 pH 值偏酸與含氮量較少，而置換性鈣含量較多時 *G. ambisporum* 則形成優勢，與燈稱花、野牡丹等灌木形成共生。當土壤 pH 值提高、含氮量也增加，土壤中即出現 *G. invermaium*、*Scu. calospora*、*Gi. gigantea* 及 *P. occultum*。當土壤 pH 值提高、含氮量增加，

但是置換性鈣缺乏時，土壤中則出現 *Scu. pellucida*，與出現在相同環境梯度的優勢植物大頭茶形成共生。

Carvalho 等(2003)在其研究中發現 AMF 孢子的分佈與宿主距離的遠近以及土壤中有機質含量而呈現小區塊性的分佈，而 Friese 和 Koske (1991) 則認為菌根菌孢子與宿主植物以及土壤中的有機質含量並沒有明顯的相關性。這可能是因為這 2 個研究地區分別是在葡萄牙鹽鹼沼澤地以及美國的沙丘，二種差異極大的生育地很難一起比較。在本研究中以 DCA 進行分析則是發現大油坑地區菌根菌的組成與土壤中的有機質含量沒有顯著相關性，而是與土壤 pH 值、土壤全氮及可置換性鈣有明顯的相關性。

表 3. 典型對應分析結果之各環境因子與前 4 軸之相關性

Table 3. Relationship between environment factors and first four axes of canonical correspondence analysis

	AX1	AX2	AX3	AX4
pH	0.730	0.173	0.356	-0.115
N	0.851	-0.256	-0.243	-0.137
Organic	0.478	0.087	0.085	0.028
P	-0.310	0.155	-0.607	0.203
K	0.136	0.112	0.495	0.214
Ca	0.310	0.539	0.058	0.076
Mg	0.452	-0.088	0.115	0.427
Al	-0.224	0.016	-0.200	0.904

### 三、土壤中孢子數量及種數與土壤化學性質之相關性分析

以各樣點所調查到之孢子數量及菌種數分別與各樣點土壤之pH值、有機質含量、含氮量、有效磷、可置換性鉀、鈣、鎂、鋁等測值進行 Pearson 相關分析，分析結果顯示大油坑硫磺噴氣口鄰近地區土壤中孢子數量分別與土壤之pH值 ( $r=-0.25$ ;  $P<0.05$ )、可置換性鎂 ( $r=-0.39$ ;  $P<0.01$ )以及可置換性鋁 ( $r=-0.37$ ;  $P<0.01$ ) 呈負相關，與其它因子則沒有顯著相關性。而土壤中菌種數則與土壤含氮量呈正相關 ( $r=0.25$ ;  $P<0.05$ )。

林素禎等 (2000) 針對臺灣69處低海拔農耕地進行AMF調查共記錄15種AMF，研究中發現除了 *Acaulospora mellea* 的孢子數與土壤中的可置換性鈉有顯著的正相關外，其餘土壤樣

本中的AMF孢子數與土壤中的有機質含量、含氮量、有效磷、可置換性鉀、鈉、鈣、鎂等皆沒有顯著的相關性。而本研究可能是研究地點與一般的農耕地有明顯的差異，研究結果發現土壤中的孢子數量與pH值、可置換性鎂及可置換性鋁呈明顯負相關。在Eom等 (2000) 的研究中也發現即使分離自相同土壤但來自不同宿主的同一種菌根菌，其產孢的模式也不同。另有研究指出含氮量較高的土壤，不利於AMF感染及產生孢子 (Saito *et al.*, 2011)，但也有研究認為，土壤中氮含量較高的環境下，植物體內之N/P比值較高且磷相對缺乏，進而增加叢枝菌根的感染率及產孢量 (Douds and Schenck, 1990)。而本研究統計發現菌根菌的菌種數與土壤中的氮含量有顯著的正相關。

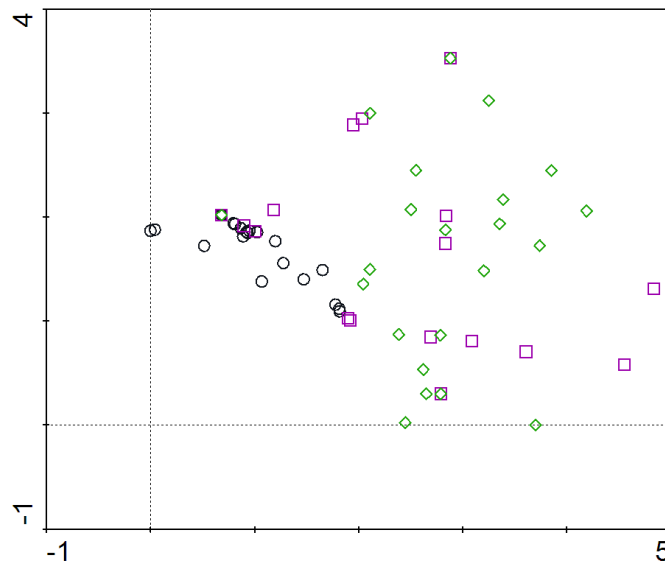


圖 1. 大油坑地區菌根菌調查樣點於 DCA 第 1、第 2 軸之位置圖。(○：草本型樣點；□：灌木林樣點；◇：喬木林樣點)。

Fig. 1. DCA ordination plot of the first two axes of sample plots in Dayukeng. (○ : grass plots; □ : shrub plots; ◇ : tree plots)

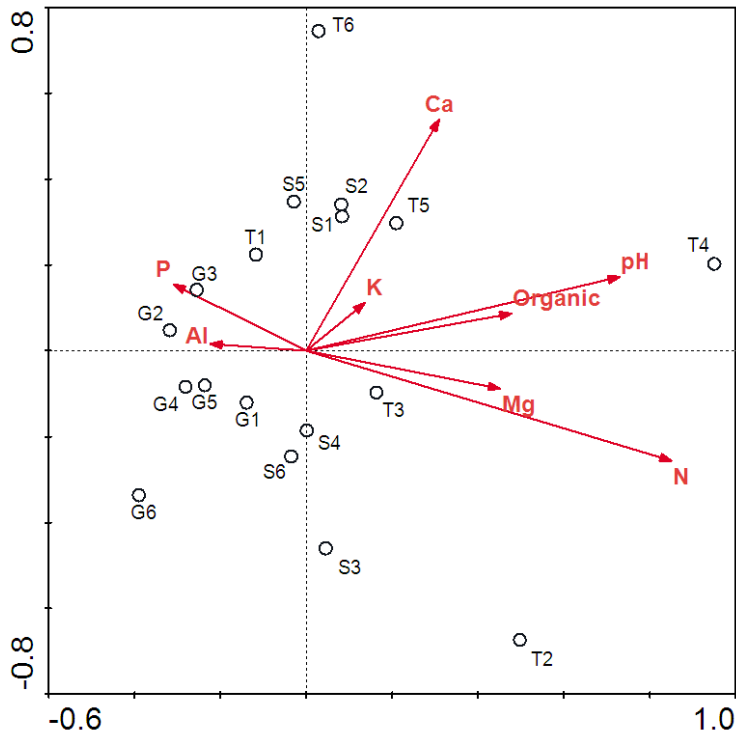


圖 2. 大油坑地區樣點與環境因子 CCA 雙序圖。(G1-G6 為草本型樣點；S1-S6 為灌木林型樣點；T1-T6 為喬木林型樣點；P 為有效磷；Al 為可置換性鋁；N 為全氮；Mg 為可置換性鎂；Organic 為有機質；pH 為酸鹼值；K 為可置換性鉀；Ca 為可置換性鈣)。

Fig. 2. CCA biplot of the AMF sample plots and environmental factors in Dayukeng. (G1-G6: grass plots; S1-S6: shrub plots; T1-T6: tree plots; P: available phosphorous; Al: exchangeable aluminum; N: total nitrogen; Mg: exchangeable magnesium; Organic: organic matter; pH: soil pH; K: exchangeable potassium; Ca: exchangeable calcium)

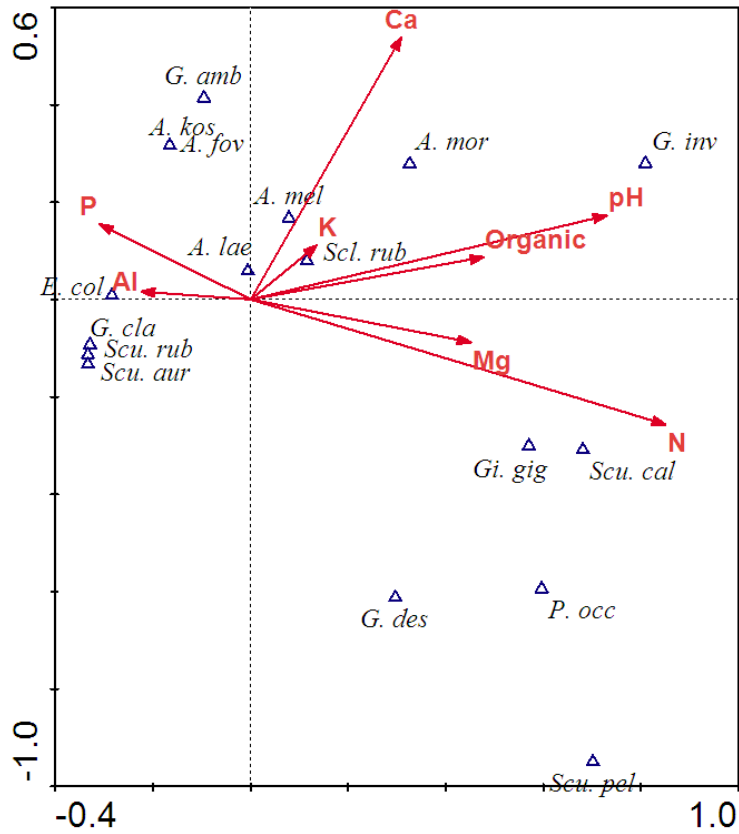


圖 3. 大油坑地區菌根菌與環境因子 CCA 雙序圖 (A. mor 為 *A. morrowiae*; A. mel 為 *A. mellea*; A. fov 為 *A. foveata*; A. kos 為 *A. koskei*; A. lae 為 *A. laevis*; E. col 為 *E. columbiana*; G. cla 為 *G. clarum*; G. des 為 *G. deserticola*; G. inv 為 *G. invermaium*; G. amb 為 *G. ambisporum*; Scu. pel 為 *Scu. pellucida*; Scu. rub 為 *Scu. rubra*; Scu. aur 為 *Scu. aurigloba*; Scu. cal 為 *Scu. calospora*; Gi. gig 為 *Gi. gigantea*; P. occ 為 *P. occultum*; Scl. rub 為 *Scl. rubiformis*; P 為土壤有效磷; Al 為土壤可置換性鋁; N 為土壤全氮; Mg 為土壤可置換性鎂; Organic 為土壤有機質; pH 為土壤酸鹼值; K 為土壤可置換性鉀; Ca 為土壤可置換性鈣)。

Fig. 3. CCA biplot of AMF species and environmental factors in Dayukeng. (A. mor : *A. morrowiae*; A. mel : *A. mellea*; A. fov : *A. foveata*; A. kos : *A. koskei*; A. lae : *A. laevis*; E. col : *E. Columbiana*; G. cla : *G. clarum*; G. des : *G. deserticola*; G. inv : *G. invermaium*; G. amb : *G. ambisporum*; Scu. Pel : *Scu. Pellucida*; Scu. Rub : *Scu. Rubra*; Scu. Aur : *Scu. Aurigloba*; Scu. Cal : *Scu. Calospora*; Gi. Gig : *Gi. Gigantean*; P. occ : *P. occultum*; Scl. Rub : *Scl. Rubiformis*; P : available phosphorous; Al : exchangeable aluminum; N : total nitrogen; Mg : exchangeable magnesium; Organic : organic matter; pH : soil pH; K : exchangeable potassium; Ca : exchangeable calcium)

## 結 論

生態系統的運作是處於一個協調的動態平衡，一個植物社會的形成是由許多錯綜複雜的因子共同作用，並且經過長時間的演替而來，其中多數的因子更是環環相扣，交互影響著。本研究藉由現地的取樣調查，發現大屯山大油坑硫磺噴氣口鄰近區域，共計有 AMF 7 屬 17 種，其中 *Entrophospora columbiana* 及 *Glomus clarum* 為白背芒之主要共生菌種，隨著遠離噴氣口，其植相與共生之菌種多樣性也明顯地提升。大致而言，AMF 的組成隨著草本型到灌木型再到喬木型，菌種數逐漸增加，而孢子數量卻逐漸減少。大油坑硫磺噴氣口鄰近地區 AMF 的組成與土壤中的 pH 值、土壤全氮及可置換性鈣有明顯的相關性；土壤中孢子數量則與土壤之 pH 值、可置換性鎂及可置換性鋁呈負相關，與其它因子沒有顯著相關性；而土壤中菌種數則與土壤含氮量呈正相關。

於本研究中明顯可看出植物的多樣性影響了菌根菌組成的多樣性。從統計的結果發現，AMF 的組成隨著草本型到灌木型再到喬木型，菌種數逐漸增加，孢子數量卻逐漸減少，這可能是由於 AMF 在不同土壤使用類型的適應性是非常有彈性的，Stürmer 與 Siqueira (2011) 於亞馬遜地區進行調查，發現廣泛分佈種 (同時出現於 5~6 種土壤類型) 種類較多，獨佔種 (只出現於 1 種土壤類型) 種類較少，土壤中菌根菌的多樣性，也使得這些真菌能在截然不同的土壤使用類型中適應存活，由於草本型的宿主植物種類較少且土壤條件較為嚴苛，因此與其共生的菌種多為獨佔種，造成菌種數也相對較少。至於孢子數量在灌木林型及喬木林型反而低於草本型，可能是因為喬木林型的植物與

真菌形成潛伏性的共生而不產孢，也可能因為菌根菌將能量多運用於功能性的共生，而避免使用太多能量去產孢，然而在草本型的土壤條件極為惡劣且陽光直射，造成白天土溫上升且乾溼季明顯，這些明顯的生態干擾反而會促使菌根菌大量產孢。

伴隨著地表上植群組成的不同，在地表下與其關係密切的共生真菌組成也會產生質與量的變化。植物生態學家藉由植群調查與分析，得以窺探植群組成大致的樣貌，進而去推測此一區域的演替階段、它的穩定性以及將來的變化。然而，由於菌根菌獨特的生物學特性，使其在進行族群評估及生態學研究上有其困難與限制。各種不同的定性與定量方法皆有其優缺點，但若是進行菌根菌族群生態的比較與評估，進行菌根菌孢子的組成分析仍是比較可行的方法。藉由菌根菌孢子組成的調查與分析，除了可以了解土壤中菌根菌組成的變化與差異，且量化的資料更提供了菌根菌與植群間交互關係分析的可行性。

## 引用文獻

- 林子超、朱恩良、李苑瑋、顏江河。2013。陽明山火山噴氣口鄰近土壤與內生菌根菌調查。林業研究季刊 35(4)：241-252。
- 林素禎、洪崑煌、吳繼光。2000。囊叢枝內生菌根菌在台灣代表性土壤中之分布。中華農業研究 49(4)：65-80。
- Aliasghar zad, N., L. M. Martensson and P. A. Olsson. 2010. Acidification of a sandy grassland favours bacteria and disfavours fungal saprotrophs as estimated by fatty acid profiling. *Soil Biology and Biochemistry* 42:

- 1058-1064.
- Barnhisel, R. and P. M. Bertsch. 1982. Aluminum. In A. L. Page *et al.* (eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. *Agronomy* 9: 275-300.
- Carr, G. R., M. A. Hinkley, F. Le Tacon, C. M. Hepper, M. G. K. Jones and E. Thomas. 1985. Improved hyphal growth of two species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the presence of suspension-cultured plant cells. *New Phytologist* 101 : 417-426.
- Carvalho, L., P. Correia, R. Ryel and M. Martins-Loucao. 2003. Spatial variability of arbuscular mycorrhizal fungal spores in two natural plant communities. *Plant and Soil* 251: 227-236.
- Daniels, B. A. and H. D. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: *Methods and principles of mycorrhizal research*, Schenck, N. C. (Ed.). The American Phytopathological Society, Staint Paul pp. 20-45.
- Douds, D. D. and N. C. Schenck. 1990. Increased sporulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by manipulation of nutrient regimens. *Applied and Environmental Microbiology* 56:413-418.
- Elias, K. E. and G. R. Safir. 1987. Hyphal elongation of *Glomus fasciculatus* in response to root exudates. *Applied Environmental Microbiology* 53: 1928-1933.
- Eom, A. H., D. C. Hartnett and G. W. T. Wilson. 2000. Host plant species effects on arbuscular mycorrhizal fungal communities in tallgrass prairie. *Oecologia* 122: 435-444.
- Friese, C. and R. Koske. 1991. The spatial dispersion of spores of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a sand dune: microscale patterns associated with the root architecture of American beachgrass. *Mycological Research* 95(8): 952-957.
- Gauch, H. G. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press, London. 298 pp.
- Gerdemann, J. W. and J. M. Trappe. 1974. The *Endogonaceae* in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoir* 5: 76.
- Hart, M. M. and R. J. Reader. 2004. Do arbuscular mycorrhizal fungi recover from disturbance differently? *Tropical Ecology* 45: 97-111.
- Hart, M. M., R. J. Reader and J. N. Klironomos. 2003. Plant coexistence mediated by arbuscular mycorrhizal fungi. *Trends in Ecology and Evolution* 18: 418-423.
- Johnson, D., P. J. Vandenkoornhuyse, J. R. Leake, L. A. Gilbert, R. E. Booth, J. P. Grime, J. P. W. Young and D. J. Read. 2004. Plant communities affect arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community composition in grassland microcosms. *New Phytologist* 161: 503-515.
- Klironomos, J. N. and M. M. Hart. 2002. Colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi using different sources of inoculum. *Mycorrhiza* 12: 181-184.
- Koske, R. E. and B. Tessier. 1983. A convenient, permanent slide mounting medium. *Newsletter Mycological Society of America* 34: 59.

- Liang, Y., X. He, C. Chen, S. Feng, L. Liu, X. Chen, Z. Zhao and Y. Su. 2015. Influence of plant communities and soil properties during natural vegetation restoration on arbuscular mycorrhizal fungal communities in a karst region. *Ecological Engineering* 82: 57-65.
- Liu, Y. J., G. X. Shi, L. Mao, G. Cheng, S. J. Jiang, X. J. Ma, L.Z. An, G. Z. Du, N. Collins Johnson and H. Feng. 2012. Direct and indirect influences of 8 yr of nitrogen and phosphorus fertilization on Glomeromycota in an alpine meadow ecosystem. *New Phytologist* 194: 523–535.
- MacDonald, D. C. 1977. Methods of soil and tissue analysis used in the analytical laboratory. Canadian Forestry Service Information Report MM-X-78.
- McCune, B. and J. B. Grace. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Software Design, Gleneden Beach, USA. 300 pp.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In: A. L. Page *et al.* (eds.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties 2<sup>nd</sup> edition ASA. CSSA. SSSA. Madison, Wisconsin.
- Mummey, D. L., M. C. Rillig and W. E. Holben. 2005. Neighboring plant influences on arbuscular mycorrhizal fungal community composition as assessed by T-RFLP analysis. *Plant and Soil* (2005) 271: 83–90.
- Olson, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. In A. L. Page *et al.* (eds.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. *Agronomy* 9: 403-427.
- Paula, M. A. and J. O. Siqueira. 1990. Stimulation of hyphal growth of the VA mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita* by suspension-cultures *Pueraria phaseoloides* cells and cell products. *New Phytologist* 115: 69-75.
- Rhoades, J. D. 1982. Cation exchange capacity. In: A. L. Page *et al.* (eds.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties 2<sup>nd</sup> edition ASA. CSSA. SSSA. Madison, Wisconsin.
- Saito, M., H. Oba, and T. Kojima. 2011. Effect of nitrogen on the sporulation of arbuscular mycorrhizae fungi colonizing several gramineous plant species. *Soil Science and Plant Nutrient* 57: 29-34.
- Schenck, N. C. and Y. Perez. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. INVAM, Gainesville. Florida.
- Stürmer, S. L. and J. O. Siqueira. 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza* 21: 255-267.
- Ter Braak, C. J. F. and P. Šmilauer. 1998. CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Window: Software for Canonical Community ordination. (4 th ed.) Microcomputer Power, Ithaca. 345 pp.
- Ter Braak, C. J. F. and P. Šmilauer. 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination. Ithaca Press, New York. 500 pp.
- Van der Heijden, M. G. A., A. Wiemken and I. R. Sanders. 2003. Different arbuscular

mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plant. *New Phytologist* 157: 569-578.  
 Vandenkoornhuysen, P., K. P. Ridgway, I. J. Watson,

A. H. Fitter and J. P. W. Young. 2003. Co-existing grass species have distinctive arbuscular mycorrhizal communities. *Molecular Ecology* 12: 3085-3095.

附錄 1. 大油坑噴氣口鄰近區域內生菌根菌名錄

Appendix 1. A checklist of arbuscular mycorrhizal fungi in Dayukeng fumarole area

*Acaulospora*

*Acaulospora foveata* Trappe & Janos

*Acaulospora koskei* Blaszkowski

*Acaulospora laevis* Gerdemann & Trappe

*Acaulospora mellea* Spain & Schenck

*Acaulospora morrowiae* Spain & Schenck

*Entrophospora*

*Entrophospora columbiana* Spain & Schenck

*Glomus*

*Glomus clarum* Nicolson & Schenck

*Glomus deserticola* Trappe, Bloss & Menge

*Glomus invermaium* Hall

*Glomus ambisporum* Smith & Schenck

*Scutellospora*

*Scutellospora rubra* Stürmer & Morton

*Scutellospora aurigloba* (Hall) Walker & Sanders

*Scutellospora calospora* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders

*Scutellospora pellucida* (Nicol. & Schenck) Walker & Sanders

*Sclerocystis*

*Sclerocystis rubiformis* Gerdemann & Trappe

*Paraglomus*

*Paraglomus occultum* (Walker) Morton & Redecker

*Gigaspora*

*Gigaspora gigantea* (Nic. & Gerd.) Gerd. & Trappe