

九二一地震後九九峰地區先驅樹種內生菌根菌調查研究  
Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi (VAMF) Symbiotic with  
Pioneer Plants at Mt. Jiujiufong after the 921 Earthquakes

林子超<sup>1</sup> 吳繼光<sup>2</sup>

Tzy-Chau Lin<sup>1</sup> and Chi-Guang Wu<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> 亞洲大學生物科技與生物資訊學系 台中縣霧峰鄉柳豐路500號

<sup>1</sup> Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

<sup>2</sup> Department of Biotechnology and Bioinformatics, Asia University, Taichung, Taiwan

### 摘要

九二一地震造成九九峰地區嚴重山崩，形成極為特殊之地理景觀，多處崩塌跡地植群重新進行演替。本研究藉由調查演替初期先驅樹種根系之內生菌根菌，以了解這群與植物關係極為密切之土壤微生物的變化。研究中發現土壤條件較差之稜線樣區較崖下樣區有較高的菌根菌多樣性。初期內生菌根菌的種類及土壤中孢子數皆較多，然而隨著植群演替的進行有逐漸下降的趨勢，後期台灣二葉松成爲稜線上的優勢種，並於其根系土壤發現大量的 *Scutellospora nigra* 孢子。

### Abstract

Mt. Jiujiufong experienced a series of extensive landslides after the 921 Earthquake occurred on September 21, 1999. A unique geographic feature and active plant succession have been observed at several landslide locations. This study found that the soil condition was worse but the species diversity of VAMF was higher at the study plots of the crest line than those at the valley. Numbers of VAMF species and their spores decreased progressively with decreasing in the pioneer plants during the study period. Eventually, *Pinus taiwanensis* became the predominant pioneer plant in the crest line, and VAMF's *Scutellospora nigra* spores were found in its rhizosphere.

**關鍵詞：**九九峰、先驅樹種、內生菌根菌、921 地震

**Key words:** Mt. Jiujiufong, pioneer plants, vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (VAMF), 921 Earthquakes

收件日期：95 年 6 月 20 日

接受日期：95 年 10 月 24 日

Received: June 20, 2006

Accepted: October 24, 2006

## 緒 言

九九峰位於台中縣東南隅與南投縣交界處之烏溪北岸，其地質屬更新世頭嵙山層上部的礫石層(廖 1992)，長久以來一直是群峰林立，山脊陡削，遇雨易形成崩塌及土石流。九二一地震後造成嚴重山崩，估計崩塌裸露面積超過 1,000 ha (賴等 2003)，形成極為特殊之地理景觀，多處崩塌跡地植群重新進行演替。據推測約 40-46 億年前的陸生植物即與囊叢枝菌根菌(vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi; VAMF)形成共生的關係(Remy *et al.* 1994; Redecker *et al.* 2000)，因此菌根菌被列為是現今陸生植物演化的基礎，且有學者認為囊叢枝菌根菌與植物形態改變之間具有協同演化的關係(Smith and Read 1997)。本研究擬藉由調查演替初期入侵先驅樹種(pioneer plant)根系的囊叢枝內生菌根菌，進而了解與植物關係極為密切之囊叢枝內生菌根菌隨著植群演替的過程是否產生族群變化。調查期間我們得以看見一處處光禿禿的崩塌跡地，隨著先驅植物建立，緩慢地朝著重建舊有植群的方向前進，這種難得的大自然現象對於觀察植群的建立與菌根菌的關係更是不可多得。

## 材料與方法

### 一、研究區域氣候環境概述

九九峰地區年平均降雨量為 1,795.65 mm，每年 4-9 月累積降雨量占全年總降雨量之 86-91%，雨季及旱季差異明顯(陳 2003)；另依陳(2003)設置於崩塌地之水文觀測站結合雙冬及草屯兩雨量站之分析結果，2000 年及 2001 年之降雨量皆與往年平均降雨量差異不大，但 2002 年及 2003 年之降雨量較往年少，分別約減少 628 mm 及 840 mm，占年降雨量之 34.8%與 41.3%，且每年雨季 4-9 月之總雨量約占年總雨量之 86.1-91.7%，雨量集中情形明顯。年均溫 23.3°C，一年中以 7-8 月溫度最高(月均溫 29°C)，以 12-2 月溫度最低(月均溫 16.6°C)。

### 二、野外土壤樣本採集

自 2001 年 8 月起持續 2 年於九九峰地區地震崩塌跡地上，每季採集稜線及崖下之特定陽性樹種根圈土壤進行菌根菌孢子分離鑑定。本研究選定南投縣草屯鎮乾溪流域西北方 2 處稜線及 2 處崖下進行調查(圖 1)。稜線上由於地形陡峭，土石容易崩塌或流失，土層淺薄為布滿礫石之壤質砂土，pH 值 4-4.6；而崖下有較厚之土壤化育，為砂質壤土，pH 值 4.5-4.9。樹種則選定白柏(*Sapium discolor*)、烏柏(*Sapium sebiferum*)、血桐(*Macaranga tanarius*)、白匏子(*Mallotus paniculatus*)、山黃麻(*Trema orientalis*)、山鹽青(*Rhus chinensis* var. *roxburghii*)、台灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)等 7 種先驅植

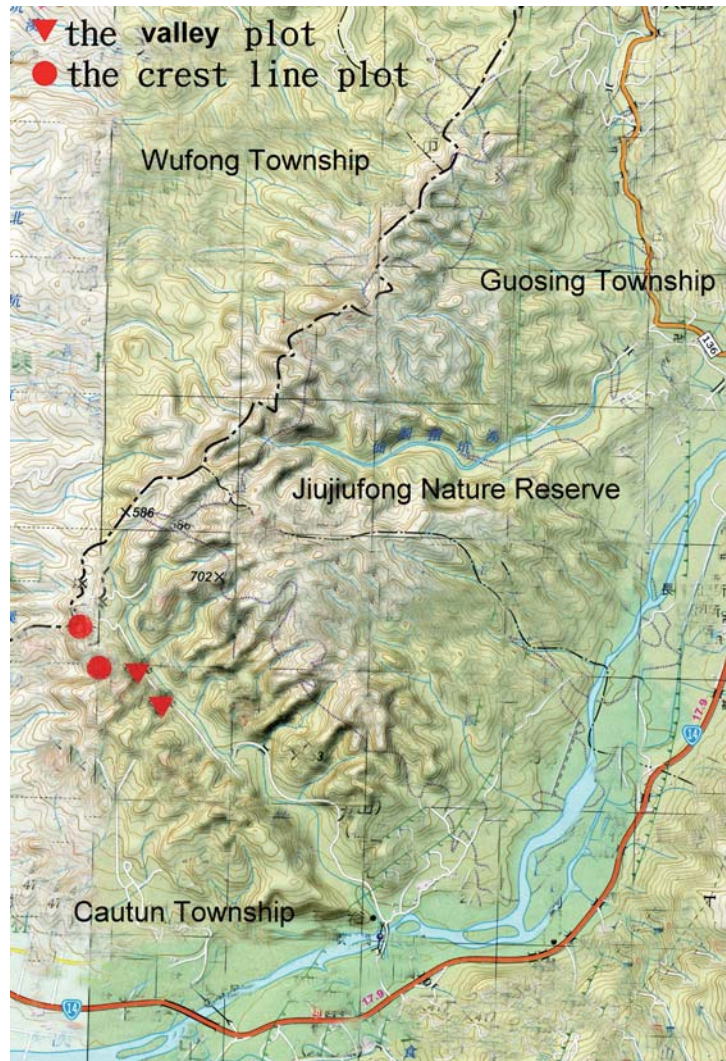


圖 1. 稜線及崖下樣區於九九峰地區位置圖。

Fig. 1. A map showing the study plots at the crest line and valley of Mt. Jiujufong.

物，稜線與崖下樣木皆包含前 6 種植物，而台灣二葉松則僅出現於稜線樣區。每次土壤取樣每 1 樹種取 3 株樣木，樣木之選擇以 1-2 年生的苗木為主，採取 5-15 cm 貼近根系的土壤。

### 三、孢子分離鑑定

野外採集的土壤樣本，秤取 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，以 Polyvinyl alcohol lactophenol glycerol (PVLG)(Koske and Tessier 1983)包埋劑製成半永久玻片，以利於孢子的鑑定與標本之保

存。孢子的鑑定與資料之記錄則採 Schenck and Perez (1990) 所建議的步驟進行。

## 結果與討論

### 一、九九峰地區內生菌根菌組成

本研究調查期間共發現內生菌根菌 3 科 6

屬 13 種，分別為 *Acaulospora mellea*, *A. morrowiae*, *A. tuberculata*, *A. scrobiculata*, *A. koskei*, *A. foveata*, *Entrophospora columbiana*, *Glomus constrictum*, *G. clarum*, *Gigaspora margarita*, *Paraglomus occultum*, *Scutellspora pellucida*, *S. nigra*, 其共生樹種如表 1。以下針對各菌種之性狀予以描述：

表 1. 菌根菌與樹種間之共生關係

Table 1. Symbiosis between the VAMF and pioneer plant species

VAMF species	Plant with VAMF spores
<i>Acaulospora mellea</i>	<i>Sapium discolor</i> , <i>Macaranga tanarius</i> , <i>Mallotus paniculatus</i> , <i>Sapium sebiferum</i> , <i>Trema orientalis</i>
<i>Acaulospora morrowiae</i>	<i>Sapium discolor</i> , <i>Mallotus paniculatus</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Rhus chinensis</i> var. <i>roxburghii</i>
<i>Acaulospora tuberculata</i>	<i>Sapium discolor</i> , <i>Mallotus paniculatus</i>
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	<i>Mallotus paniculatus</i> , <i>Macaranga tanarius</i> , <i>Rhus chinensis</i> var. <i>roxburghii</i>
<i>Acaulospora koskei</i>	<i>Rhus chinensis</i> var. <i>roxburghii</i>
<i>Acaulospora foveata</i>	<i>Rhus chinensis</i> var. <i>roxburghii</i>
<i>Entrophospora columbiana</i>	<i>Pinus taiwanensis</i>
<i>Glomus constrictum</i>	<i>Sapium discolor</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Rhus chinensis</i> var. <i>roxburghii</i>
<i>Glomus clarum</i>	<i>Trema orientalis</i>
<i>Gigaspora margarita</i>	<i>Mallotus paniculatus</i> , <i>Macaranga tanarius</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Rhus chinensis</i> var. <i>roxburghii</i>
<i>Glomus occultum</i>	<i>Trema orientalis</i> , <i>Rhus chinensis</i> var. <i>roxburghii</i>
<i>Scutellspora pellucida</i>	<i>Trema orientalis</i> , <i>Rhus chinensis</i> var. <i>roxburghii</i>
<i>Scutellspora nigra</i>	<i>Pinus taiwanensis</i>

#### (一) *Acaulospora mellea*

厚壁孢子單生於土壤中，顏色為金黃色至棕黃色，呈圓球形至近圓球形，罕呈橢圓形或不規則形，直徑 90-110  $\mu\text{m}$ ，孢子壁厚 4-10  $\mu\text{m}$ ，破裂後成 3 壁群，最外層黃棕色，厚 2-6  $\mu\text{m}$ ，與第 2 層壁不易分離，第 3 層壁呈透明至淺黃色，厚 0.5-1  $\mu\text{m}$ ，第 4 層壁於孢子破裂後呈皺褶狀，厚 0.5  $\mu\text{m}$ ，第 5 層壁與 Melzer

染劑反應後呈淡紫色。

#### (二) *Acaulospora morrowiae*

厚壁孢子單生於土壤中，顏色為半透明至淡黃色，呈圓球形至近圓球形，直徑 70-100  $\mu\text{m}$ ，孢子壁厚 2-4  $\mu\text{m}$ ，最外層壁 0.5-1  $\mu\text{m}$ ，呈透明，第 2 層壁呈淡黃色，厚 1.5-3  $\mu\text{m}$ ，第 3 層壁呈透明，厚 0.5  $\mu\text{m}$ ，最內層壁呈透明膜狀，厚 0.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer 染劑反應後呈褐紫色。

(三) *Acaulospora tuberculata*

厚壁孢子單生於土壤中，圓球形至半圓球形，直徑 260-320×260-340 μm，初期的孢子呈亮黃色至深黃色，而較成熟的孢子則呈黃棕色至深褐色，至完全成熟時則呈紅褐色，孢子表面均勻散布著圓錐狀突起，每個突起 0.7-1.5 μm，基部直徑 1.5 μm，孢子壁 3 層，最外層表面平滑呈黃色，厚 7-12 μm，第 2 層壁厚 1.5-3 μm，呈淡黃色，最內層壁呈透明，厚 1.5-3 μm。

(四) *Acaulospora scrobiculata*

厚壁孢子單生於土壤中，初期的孢子呈半透明狀，隨著成熟逐漸呈橄欖色至亮棕色，呈圓球形至橢圓形，直徑 110-200 μm，孢子表面均勻散布著凹洞紋路，凹洞呈圓形至橢圓形，或有時呈 Y 字型，洞與洞間具有隆起物隔離，最外層孢壁堅硬、有凹洞，呈半透明至淡黃綠色，厚 3-6 μm，第 2、3 層壁光滑、透明，第 4 層壁呈透明，厚 0.2-1 μm，與 Melzer 染劑反應後立即呈深紅色。

(五) *Acaulospora koskei*

厚壁孢子單生於土壤中，橘黃色，呈圓球形至近圓球形，直徑 150-250 μm，產孢菌絲脫落痕(cicatrix)直徑 15-30 μm，孢子表面光滑，最外層壁透明，厚 1-2 μm，易剝落，第 2 層壁淡黃色，厚 1-3 μm，第 3 層壁透明，厚 1.5-3 μm，與 Melzer 染劑反應後呈粉色至淡紅色。第 4 層壁透明，厚 1-1.5 μm，最內層壁透明，厚 1-1.5 μm，與 Melzer 染劑反應後呈粉紅色。

(六) *Acaulospora foveata*

厚壁孢子單生於土壤中，初期呈橘紅色，較成熟之孢子則呈棕褐色，呈圓球形至橢圓形，直徑 190-350×200-400 μm，孢子表面均勻散布圓形至不規則形凹洞，凹洞直徑 5-10×6-15 μm，最外層孢壁厚 10-15 μm，呈黃色至紅棕色。第 2 層壁透明，厚 3-5 μm。第 3 層壁厚 3-5 μm，與 Melzer 染劑反應後呈深紅棕色。

(七) *Entrophospora Columbiana*

厚壁孢子單生於土壤中，初期呈半透明至白色，較成熟之孢子則呈淡黃色至金黃色，直徑 100-120 μm，孢子偶爾與產孢菌絲及殘存的產孢囊泡形成啞鈴形結構。孢壁厚 3-7 μm，最外層壁透明，厚 0.5-2 μm，隨孢子成熟而脫落。第 2 層壁黃色，厚 2-3 μm，第 3 層壁透明，厚 1 μm，第 4 層壁透明，厚 0.5 μm，孢子破裂後呈皺縮狀，第 5 層壁透明，厚 1 μm，與 Melzer 染劑反應後呈深紫色。

(八) *Glomus constrictum*

厚壁孢子單生或鬆散聚生於土壤中，圓球形至近圓球形，直徑 150-280 μm，呈亮棕褐色至亮黑色，孢壁僅 1 層 5-15 μm，棕褐色。產孢菌絲直生或偶爾彎曲，直徑 15-25 μm，連接孢子處常呈收縮狀，收縮處直徑 10-15 μm。

(九) *Glomus clarum*

厚壁孢子單生或鬆散聚生於土壤中，圓球形至近圓球形，直徑 180-250 μm，孢子內含物透明呈多數小油滴狀，孢壁 7-25 μm，初期孢子為透明，老熟孢子則為淡黃色，老熟孢子最外層壁常皺縮狀，第 2 層壁厚 10-15 μm，與 Melzer 染劑反應後呈淡紅紫色，最內層壁厚 5-10 μm。產孢菌絲直徑 15-25 μm，與孢子連接之孔道直徑 3-5 μm。

(十) *Gigaspora margarita*

厚壁孢子單生於土壤中，球形罕不規則形，直徑 250-500 μm，孢子外觀光滑透明，孢壁厚 5-24 μm，隨孢子成熟而增厚，孢子內含物白色呈多數小油滴狀，最外層壁淡黃色，厚 1.5-2.5 μm，內層壁黃色，厚 13-30 μm，隨孢子成熟而增厚，與 Melzer 染劑反應後呈深紅棕色。產孢菌絲末端囊泡淡黃色，直徑 30-60 μm。

(十一) *Paraglomus occultum*

厚壁孢子單生或鬆散聚生，但不形成孢子果，孢子卵圓形或近球形，罕不規則形，直徑 50-100×60-120 μm，外觀呈透明至白色。末端

菌絲單生，長 10-40  $\mu\text{m}$ ，直生偶爾向後彎曲，菌絲與孢子接著處有時有隔板。孢壁 2 層，外層壁厚 2  $\mu\text{m}$ ，隨孢子成熟逐漸變粗糙、加厚，最後表面剝落，內層壁薄膜狀，厚 1.5-3  $\mu\text{m}$ ，不與 Melzer 染劑反應。

#### (十二) *Scutellospora pellucida*

厚壁孢子單生於土壤中，近球形或不規則狀，孢子大小變異大，直徑 60-220  $\mu\text{m}$ 。孢子壁光滑，厚約 6-12  $\mu\text{m}$ ，最外層壁易碎，厚 3-8  $\mu\text{m}$ ，內層壁則具柔軟性，厚 1.5-5  $\mu\text{m}$ ，孢子外觀呈透明，內含物呈氣泡油滴狀。產孢菌絲末端膨大附屬物亦呈透明狀，直徑 10-29  $\mu\text{m}$ ，產孢菌絲亦是透明，內有許多隔板。孢子未經壓破，外表即會與 Melzer 染劑逐漸反應成紅色，為此菌種重要的鑑定特徵。

#### (十三) *Scutellospora nigra*

厚壁孢子單生於土壤中，直徑 300-500  $\mu\text{m}$ ，顏色暗棕至黑色，大多為圓球形，孢壁 2 層，外層壁黑色至暗棕色，表層密布大型紋孔，孔徑 7-10  $\mu\text{m}$ ，內層壁呈透明淺棕色。產孢菌絲末端與孢子接著處膨大呈橢圓形，直徑 40-60 $\times$ 80-120  $\mu\text{m}$ ，棕色，表面光滑常有瘤狀突起。

### 二、稜線及崖下菌根菌消長

崖下樣區之崩塌情形不如稜線樣區嚴重，尚有多數殘存林木供遮蔭，避免陽光直射，使得崖下樣區之環境及植群狀況較無重大變化。調查期間針對崖下與稜線上菌根菌孢子之種類及數量進行比較，崖下樣木根系土壤中，菌根菌孢子之數量及種數明顯少於稜線上之樣木，每 100 g 土壤中孢子平均數量少於 40 個，且種數僅有 4 屬 10 種。2 年的調查期間崖下樣木根系所發現的菌根菌數量並無明顯的變化，反觀稜線上的菌根菌則隨著植群改變而產生種類組成及孢子數量的變化(圖 2)。因此本文即著重於稜線上植群與菌根菌間的消長關係予以論述。

### 三、稜線上植生狀況與菌根菌孢子數量之消長

於 2001 年 8 月起進行野外土壤採樣及孢子分離鑑定，調查之初由於陽性先驅樹種快速入侵且生長良好，共生的內生菌根菌亦蓬勃發展，當年共發現 5 屬 11 種的菌根菌，其中以無柄孢子屬(*Acaulospora*)形成優勢屬(共計 6 種)，孢子之單位密度最高達 350 個 / 100g 土以上(圖 2)，山鹽青根系土壤菌種歧異度最高，單一樣木根系土壤均可發現 5 種以上菌種。而台灣二葉松根系土壤菌種數則最少(表 1)。

於 2002 年之調查期間，由於當年旱季較長，致使之前於稜線發現的山黃麻、血桐、老荊藤(*Millettia reticulata*)等幼苗大量死亡，而由禾本科的紅毛草(*Rhynchelytrum repens*)取代，此時採集植物根系土壤進行分離後，發現菌根菌孢子數量有明顯減少的趨勢，由原本 350 個 / 100g 土減少為 200 個 / 100g 土(圖 2)，這種現象有可能是在棲地遭到嚴重破壞後，草本植物通常最早入侵，由於它們通常都有較短的生活史，並且對水分、養分的競爭力較強，且它們大多不形成菌根，而使得土壤中的菌根菌產生缺乏宿主共生的空窗期，間接造成菌根菌數量減少(Skujins and Allen 1986)，但有關本項推測仍有待後續更多的數據支持。本調查期間發現人工造林的樹種如烏心石(*Michelia formosana*)、台灣欒(*Zelkova serrata*)等的根系亦有形成菌根。而先前(第一年調查)僅發現於崖下的菌種 *Acaulospora tuberculata* 已可在稜線上發現，曾於台灣二葉松根系發現的菌種 *Entrophospora columbiana* 已不復見，然而卻發現另一菌種 *Scutellospora nigra*。

2003 年的調查中我們發現九九峰的原生樹種台灣二葉松在稜線上生長狀況良好，有的甚至已高達 160 cm，成為稜線上的優勢種，而 2002 年於其根系發現的菌種 *S. nigra*，在每一株台灣二葉松樣木根系均可發現。然而我們也發現菌根菌豐富度呈現下降(圖 3)，2001 年隨處可見的 *A. morrowiae* 及 *P. occutum* 等菌種，

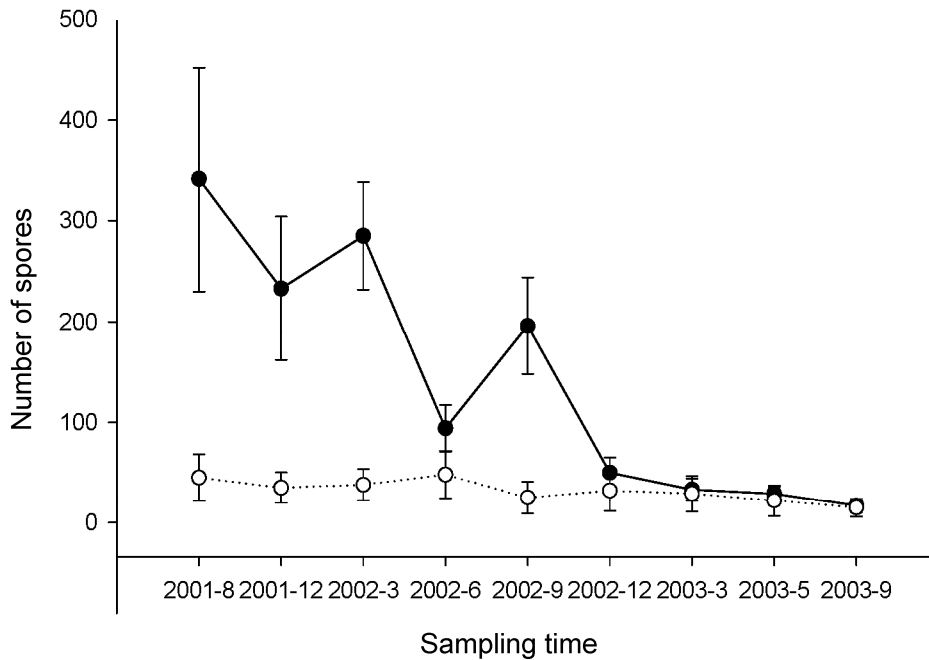


圖 2. 稜線及崖下樣區每 100g 土壤之孢子數量。

**Fig. 2.** The number of spores per 100g soil at the study plots of the crest line (solid circles and solid line) and of the valley (open circles and dotted line)(vertical lines, ranges of the number) at Mt. Jiujiufong, August 2001 to September 2003.

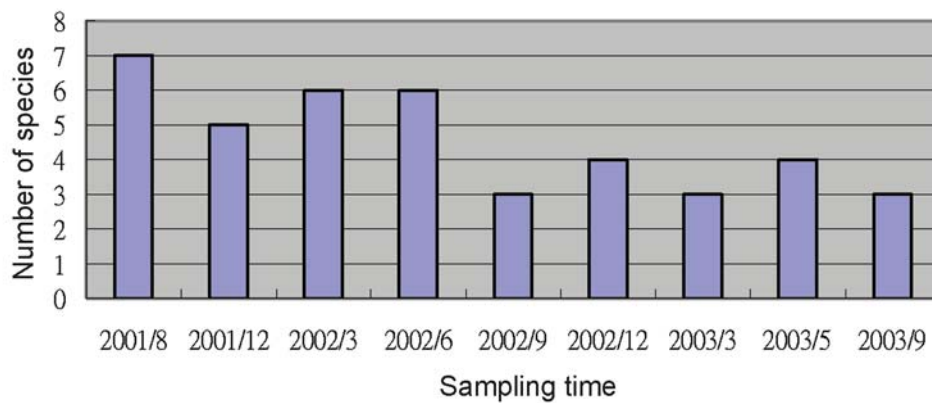


圖 3. 調查期間稜線樣區發現之菌根菌種數。

**Fig. 3.** The number of VAMF species at the study plots of the crest line of Mt. Jiujiufong, August 2001 to September 2003.

2003 年已鮮少發現，即使發現，其數量也由 2001 年的 350 個 / 100 g 土下降至 2003 年的不到 50 個 / 100 g 土(圖 2)。稜線上的優勢種也由 *A. morrowiae*, *P. occutum* 與 *A. mellea* 轉變為 *S. nigra*。從台灣二葉松根部外圍可見的菌氈(fungus mantle)，以及經由染根所見的根內囊泡(intraradical vesicles)及土生囊泡(soil-borne vesicles) (圖 4)等證據看來，本樹種有可能可以同時形成外生與內生菌根。

部分學者認為植群組成決定了土壤微生物的組成與活力(Wardle *et al.* 1997)，另一派學者則認為某些微生物如內生菌根菌決定植群的組成(Hartnett and Wilson 1999；Marler *et al.* 1999)。雖然在本研究中我們無法確認何種理論才是正確的，然而從研究中我們見證了植群與內生菌根菌依存變化的情形。

#### 四、降雨量與內生菌根菌之關係

於本研究中發現稜線上樣區土壤中內生菌根菌孢子數量於 2002-2003 年間呈明顯減少趨勢(圖 2)，而陳(2003)亦指出 2002-2003 年之降雨量較往年分別減少 628 mm 及 840 mm，約占年降雨量之 34.8%與 41.3%，為探討二者間是否互為影響，本研究以距離樣區較近之氣象局草屯雙冬測候站降雨量與當月土壤中孢子數量(表 2)進行相關係數(Pearson's correlation coefficient)分析，得到 r 值為 0.239，並未達到顯著水準，故初步排除內生菌根菌孢子數量受到降雨量之影響。

內生菌根菌孢子數量隨著植群演替而逐漸減少的現象，推測可能因植物隨著植群演替而對內生菌根菌的依賴性逐漸降低有關(Zangaro *et al.* 2000)。

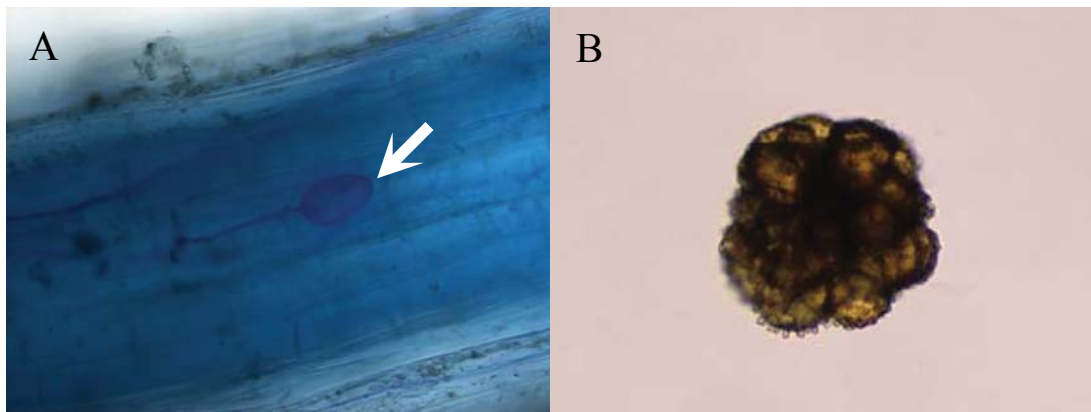


圖 4. 台灣二葉松之根內囊泡(A) 及根系土壤發現之土生囊泡(B)。

Fig. 4. The intraradical vesicles (A) and soil-borne vesicles (B) of *Pinus taiwanensis*.

表 2. 稜線樣區土壤中內生菌根菌孢子數與當月降雨量

Table 2. Amounts of precipitation and VAMF spores at the study plots of the crest line of Mt. Jiujiufong, August 2001 to September 2003

	2001/8	2001/12	2002/3	2002/6	2002/9	2002/12	2003/3	2003/5	2003/9
Precipitation (mm)	374.00	11.00	18.50	250.50	180.50	64.50	55.00	153.50	147.00
Amount of VAMF spores	341.00	233.00	285.00	94.00	196.00	50.00	33.00	29.00	17.00

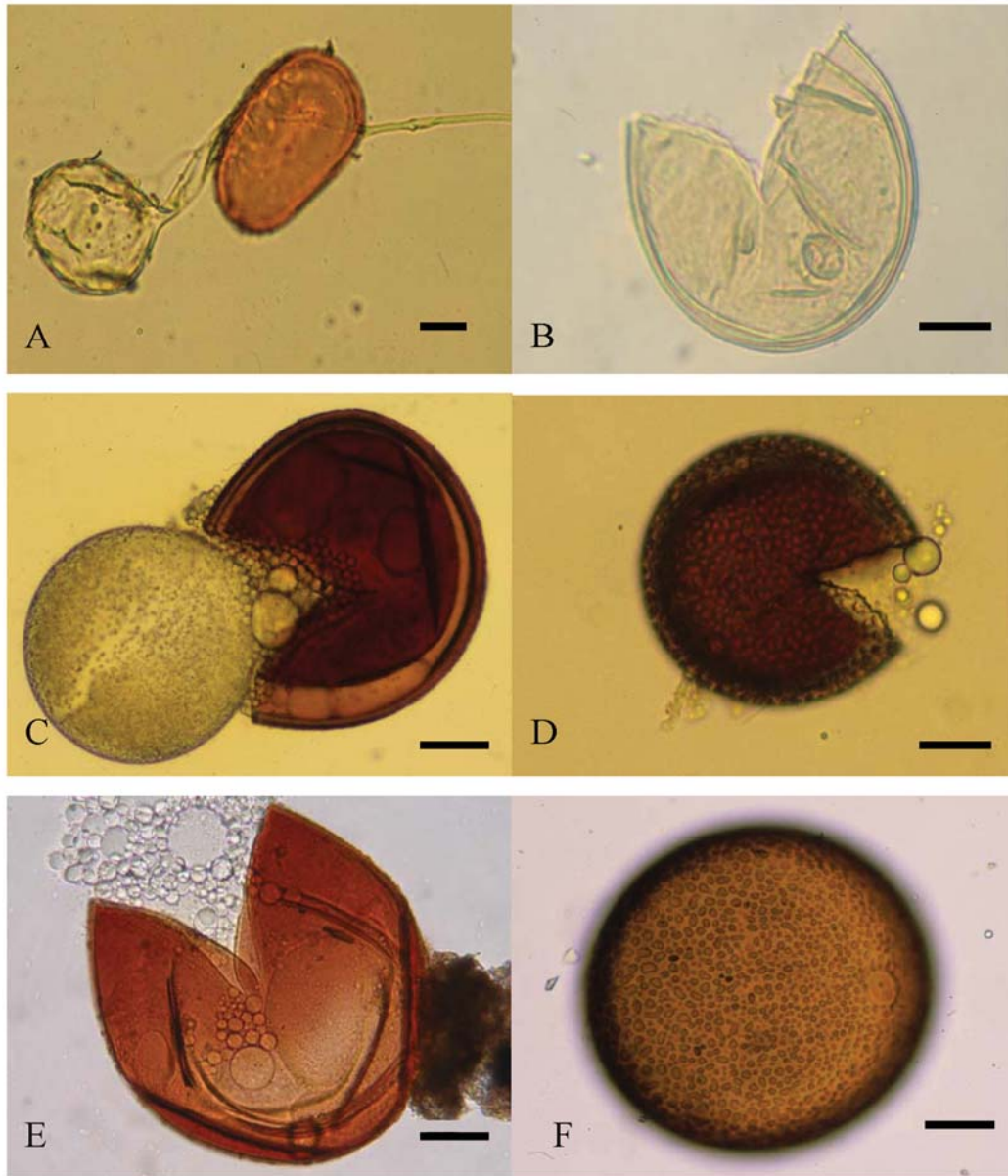


圖 5A-F. 九九峰地區發現之內生菌根菌。

**Fig. 5A-F.** The VAMF species at Mt. Jiujiufong (A, *Acaulospora mellea*, bar=25  $\mu$ m; B, *A. morrowiae*, bar=25  $\mu$ m; C, *A. tuberculata*, bar=80  $\mu$ m; D, *A. scrobiculata*, bar=40  $\mu$ m; E, *A. koskei*, bar=50  $\mu$ m; F, *A. foveata*, bar=70  $\mu$ m).

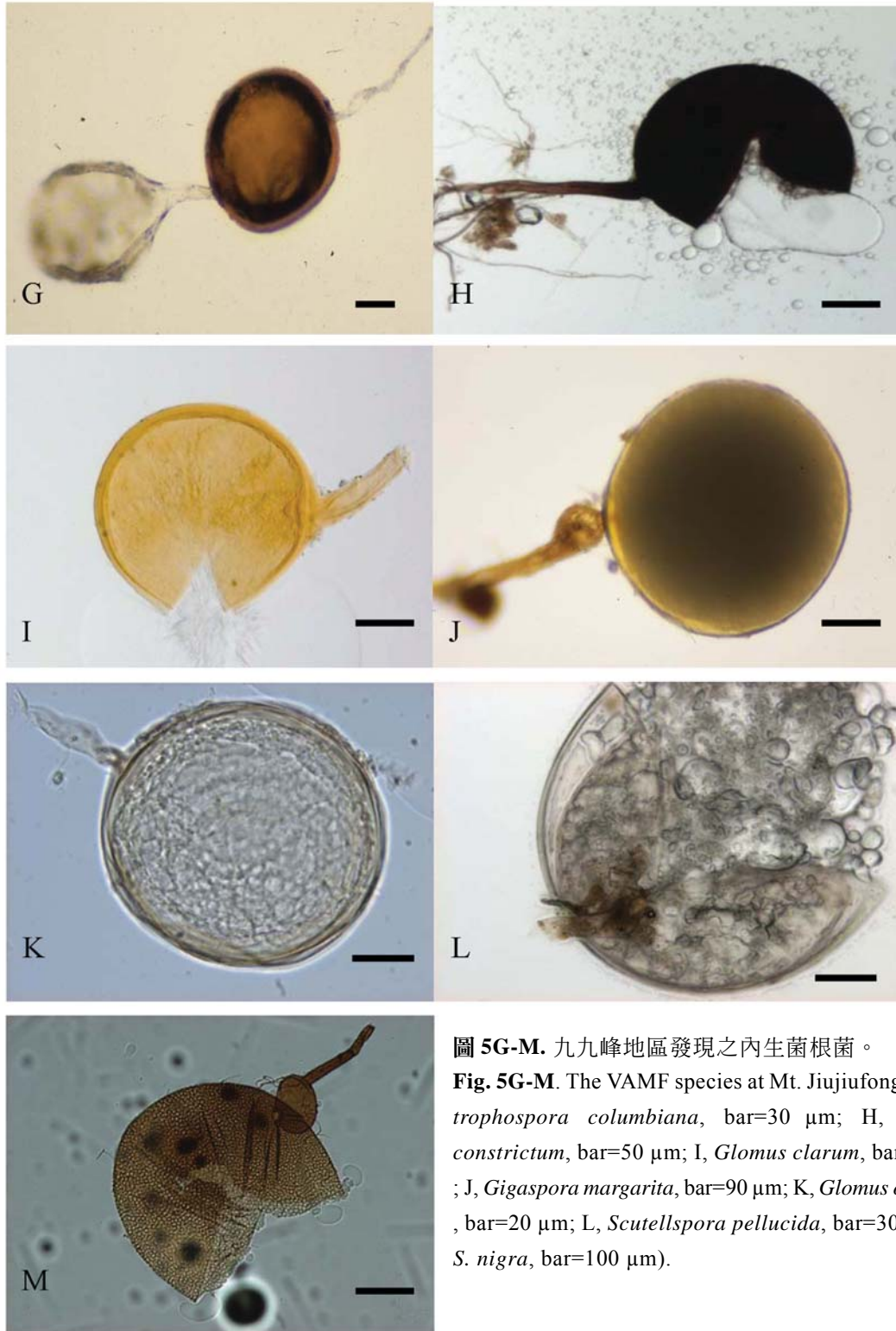


圖 5G-M. 九九峰地區發現之內生菌根菌。

**Fig. 5G-M.** The VAMF species at Mt. Jiujiufong (G, *Entrophospora columbiana*, bar=30  $\mu\text{m}$ ; H, *Glomus constrictum*, bar=50  $\mu\text{m}$ ; I, *Glomus clarum*, bar=60  $\mu\text{m}$ ; J, *Gigaspora margarita*, bar=90  $\mu\text{m}$ ; K, *Glomus occultum*, bar=20  $\mu\text{m}$ ; L, *Scutellspora pellucida*, bar=30  $\mu\text{m}$ ; M, *S. nigra*, bar=100  $\mu\text{m}$ ).

## 結 論

當原本有植群覆蓋之土地受到干擾時，原來之生物社會，可能部分或全部遭到毀滅，在此種地區發生之演替現象，稱為次級演替或二次演替(劉及蘇 1989)。九二一地震後，台灣中部九九峰地區產生嚴重的大規模崩塌即是典型的例子。原有植群因土層崩落而連根拔起或遭到掩埋，新形成的裸化土壤，因陽光直曬，且缺乏遮蔽物，使得土壤含水率驟降，土壤結構也變得不適合植物生長。所幸先驅植物藉由與菌根菌共生，幫助植物吸收不易獲取的養分及水分，使得它能够在惡劣的環境中存活下來(Read 1991)。

植物生長的變化以及植群的組成受到土壤微生物族群動態變化及生態系統機能，如有機質含量及養分循環等影響(Donnison *et al.* 2000)，內生菌根菌是土壤中普遍存在的微生物，它可以和大多數的陸生植物形成共生關係。菌根菌對早期入侵的先驅植物有著關鍵性的影響，它會促進其根系的發展並藉由增加根毛吸收面積來提昇微量元素及水的吸收能力，然而之後的次級演替樹種(secondary successional species)則對菌根菌的依賴性較低，因為這時菌根菌對促進植物之生長能力已較有限(Zangaro *et al.* 2000)。在本研究中我們亦發現了內生菌根菌的種類及數量有隨著植群演替進行而減少的趨勢。

從本研究中我們發現劣化跡地之植生復育不僅在於植生的建立與管理，土壤中微生物與植物間的作用機制也應一併考量。Van der Heijden *et al.* (1998)曾提出內生菌根菌多樣性對於植生復育的重要性。他們認為藉由增加內生菌根菌之多樣性，有助於增加當地植物之種數，他們更認為營造一多樣性的生態系，菌根菌是個不可或缺的重要元素。

## 引用文獻

- 陳樹群。2003。九九峰地震崩坍區棲地及生物多樣性變化之監測—棲地環境監測。九九峰地震崩坍區棲地及生物多樣性變化之監測成果論文集。75-101 頁。
- 廖秋成。1992。南投雙冬火炎山地區植群生態與植物區系之研究。中興大學實驗林研究報告 14(1) : 1-60。
- 劉棠瑞、蘇鴻傑。1989。森林植物生態學。台灣商務印書館。
- 賴國祥、陳添水、林旭宏。2003。應用遙測與地理資訊系統於九九峰植生復舊監測。九九峰地震崩坍區棲地及生物多樣性變化之監測成果論文集。1-10 頁。
- Daniels, B. A. and H. D. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. pp. 20-45. *In*: Schenck, N. C. (ed.). *Methods and principles of mycorrhizal research*. The American Phytopathological Society. St. Paul.
- Donnison, L. M., G. S. Griffith, J. Hedger, P. J. Hobbs and R. D. Bardgett. 2000. Management influences on soil microbial communities and their function in botanically diverse hay-meadows of northern England and Wales. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 253-263.
- Gerdemann, J. W. and J. M. Trappe. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoir* 5: 76.
- Hartnett, D. C. and G. W. T. Wilson. 1999. Mycorrhizae influence plant community structure and diversity in tallgrass prairie. *Ecology* 80: 1187-1195.
- Koske, R. E. and B. Tessier. 1983. A convenient, permanent slide mounting medium. *Newsletter Mycological Society of America* 34: 59.

- Marler, M. J., C. A. Zabinski and R. M. Callaway. 1999. Mycorrhizae indirectly enhance competitive effects of an invasive forb on native bunchgrass. *Ecology* 80: 1180-1186.
- Read, D. J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia* 47: 376-409.
- Redecker, D., J. B. Morton and T. D. Bruns. 2000. Molecular phylogeny of the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus sinuosum* and *Sclerocystis coremioides*. *Mycologia* 92: 282-285.
- Remy, W., T. N. Taylor, H. Hass and H. Kerp. 1994. Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy Sciences* 91: 11841-11843.
- Schenck, N. C. and Y. Perez. 1990. *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi*. INVAM, Gainesville, Florida.
- Skujins, J. J. and M. F. Allen. 1986. Use of mycorrhizae for land rehabilitation. *MIRCEN Journal* 2: 161-176.
- Smith, S. E. and D. J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*, 2nd edn. Academic press, London, UK.
- Van der Heijden, M., J. N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglou, R. Streitwolfengell, T. Boller, A. Wiemken and I. R. Sanders. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69-72.
- Wardle, D. A., K. I. Bonner and K. S. Nicholson. 1997. Biodiversity and plant litter: Experimental evidence which does not support the view enhanced species richness improves ecosystem function. *Oikos* 79: 247-258.
- Zangaro, W., V. R. L. Bononi and S. B. Trufem. 2000. Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in south Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 16: 603-622.