

## 台灣中部地區玉山箭竹林土壤中內生菌根菌調查

# Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (VAMF) in Soils Associated with *Yushania niitakayamensis* in Mountain Forests of Central Taiwan

林子超 \*

Tzy-Chau Lin \*

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

Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

\*通訊作者：super@tesri.gov.tw

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

## 摘 要

玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)在台灣廣泛分布於海拔約1,500-3,600m之山區，此區域為台灣針闊葉混淆林及針葉林床絕對優勢的林下結構，對天然林系統的完整性，以及中高海拔林地的穩定性，擔負無可替代的功能或作用。玉山箭竹的生育環境除了梯度變化大外，往往生長於植物生存不易、風強土薄、岩屑貧瘠之惡地。本研究針對中部地區玉山箭竹生育地土壤中的內生菌根菌進行調查，研究發現玉山箭竹根系土壤樣本經分離鑑定共記錄5屬23種內生菌根菌，其中較具優勢的菌種為 *Acaulospora koskei*、*Acaulospora spinosa*、*Acaulospora tuberculata*、*Acaulospora laevis*、*Glomus claroideum* 及 *Scutellospora pellucida*。本研究並發現4種台灣新紀錄種 *Acaulospora alpina*、*Acaulospora undulata*、*Acaulospora excavata* 及 *Entrophospora schenckii*。

## Abstract

*Yushania niitakayamensis* is distributed in the Central Mountain Range at elevations of

1,500-3,600m in Taiwan. It is a dominant ground-cover plant in coniferous forests and needle broad leaf mixed forests, playing an irreplaceable role in maintaining the integrity and stability of the forest system. *Y. niitakayamensis* lives in infertile areas often inhabitable for other plants. This study investigated the fungus composition in soils of the *Y. niitakayamensis* forests and found 23 species in 5 genera of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (VAMF). Of them *Acaulospora koskei*, *Acaulospora spinosa*, *Acaulospora tuberculata*, *Acaulospora laevis*, *Glomus claroideum* and *Scutellospora pellucida* were dominant, and *Acaulospora alpina*, *Acaulospora undulata*, *Acaulospora excavata* and *Entrophospora schenckii* were new records to Taiwan.

**關鍵詞：**玉山箭竹、內生菌根菌

**Key words :** *Yushania niitakayamensis*, vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (VAMF)

收件日期：98年4月15日

接受日期：98年6月8日

Received: April 15, 2009

Accepted: June 8, 2009

## 緒 言

玉山箭竹【*Yushania niitakayamensis* (Hay.) Keng f.】屬於禾本科(Poaceae)、竹亞科(Bambusoideae)、玉山箭竹屬(*Yushania*)。主要分布於台灣、中國西南以及菲律賓呂宋島之高山地區。在台灣廣泛分布於海拔約1,500-3,600m之山區，此區一般係台灣針闊葉混生林及針葉林床絕對優勢的林下結構(柳1963)，對天然林系統的完整性，以及中高海拔林地的穩定性，具有無可替代的功能或作用。玉山箭竹的生育環境除了梯度變化大外，其往往生長於植物生存不易、風強土薄、岩屑貧瘠之惡地，其必定有其特殊的機制來適應廣泛的海拔高度和不同的生育環境而不滅絕。

內生菌根菌屬於接合菌綱(Zygomycetes)、繡球菌目(Glomales)，菌株沒有明顯的子實體，因而較少人注意到它們的存在，然而它們

卻在生態系扮演重要的角色。它們是一群非常古老的共生菌，可與許多的陸域植物形成菌根(Redecker *et. al* 2000)，包含從苔蘚植物(Parke and linderman 1980)、蕨類植物(Cooper 1976)到裸子、被子植物(Read 1991)。藉由與植物根系共生可幫助植物吸收土壤的微量養分，並與植物交換碳水化合物。以往有關玉山箭竹的研究主要著重於生態(柳 1963；劉等 1984)、生理(郭及張 1984)及族群遺傳變異之探討(Hsiao and Lee 1999；賴等 2000；陳 2002)。本研究擬針對玉山箭竹生育地中共生的內生菌根菌進行調查，以了解不同生育環境中，玉山箭竹與內生菌根菌之關係。

## 材料與方法

### 一、土壤取樣

本研究主要調查區域為中橫公路合歡

山、梨山一帶、新中橫塔塔加大雪山地區，樣點海拔梯度介於2,230-3,260m。自2006年9月起持續2年於調查區域共取樣98個樣點，包括合歡山、梨山地區43個樣點、塔塔加地區33個樣點及大雪山地區22個樣點，每處樣點選取鄰近區域玉山箭竹根系的土壤，以去除表層腐植質後5-15 cm帶根系之土壤為樣本。

## 二、菌種分離及鑑定

於實驗室將野外採集的土壤樣本秤取100g土壤樣本後，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。孢子的鑑定與資料之記錄則採Schenck and Perez (1990)所建議的步驟進行。

## 三、菌種分布及與土壤酸鹼度之相關分析

於98個採樣土壤中選出出現5次以上之菌種，求得其土壤之孢子單位密度與採集地之海拔梯度及土壤酸鹼度之相關係數，進而由所求得之相關係數進行t-test顯著性測驗，藉此了解各菌種土壤孢子單位密度與海拔梯度及土壤酸鹼度有無相關性。

# 結果與討論

## 一、玉山箭竹林土壤中內生菌根菌組成

土壤樣本經分離鑑定共記錄5屬23種內生菌根菌(如附錄1)，98處樣點除11處土壤樣本無發現菌根菌孢子外，其餘87處樣點均有發現內生菌根菌孢子，單一土壤樣本孢子數最少1個/100g土壤，最多55個/100g土壤，單一土壤樣本最多可發現5種內生菌根菌。整體而言玉山箭竹林土壤中較具優勢的菌種為*Glomus*

*claroideum*、*Scutellospora pellucida*、*Acaulospora koskei*、*A. spinosa*及*A. tuberculata*。以下針對各菌種之性狀特徵予以描述：

### (一) *Acaulospora mellea* Spain & Schenck

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  $\mu\text{m}$ 。發芽壁第1層壁透明，厚 1  $\mu\text{m}$ ，第2層壁亦呈透明，厚 2-5  $\mu\text{m}$ ，與Melzer's 染劑反應後呈淡紫色。(圖 1A)

### (二) *Acaulospora morrowiae* Spain & Schenck

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  $\mu\text{m}$ ，最外層壁厚 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  $\mu\text{m}$ 。發芽壁第1層厚 1-1.8  $\mu\text{m}$ ，呈透明，第2層壁呈透明膜狀，厚 0.5  $\mu\text{m}$ ，與Melzer's 染劑反應後呈褐紫色。(圖 1B)

### (三) *Acaulospora tuberculata* Janos & Trappe

厚壁孢子單生於土壤中，圓球形至半圓球形，直徑 260-320×260-340  $\mu\text{m}$ ，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  $\mu\text{m}$ ，基部直徑 1.5  $\mu\text{m}$ 。孢子壁3層，第1層壁呈透明，厚 1-3  $\mu\text{m}$ ，第2層壁黃棕色，含管狀凸起厚 8-11  $\mu\text{m}$ 。發芽壁第1層呈透明，厚 0.5-0.8  $\mu\text{m}$ ，第2層壁呈透明，厚 2-4  $\mu\text{m}$ ，與Melzer's 染劑反應後呈深紅色。(圖 1C)

### (四) *Acaulospora scrobiculata* Trappe

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  $\mu\text{m}$ ，孢子表面均勻散布著凹痕紋路，凹痕呈圓形至橢圓形，或有時連接成線形或Y字形，凹痕間具有隆起物隔離。最外層孢壁堅硬、有凹痕，呈半透明

至淡黃綠色，厚 3-6  $\mu\text{m}$ ，第 2、3 層壁光滑、透明。發芽壁第 1 層壁呈透明，厚 1-1.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑不反應，第 2 層呈透明，厚 2-5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅至深紅色。(圖 1D)

(五) *Acaulospora koskei* Blaszkowski

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  $\mu\text{m}$ ，產孢菌絲脫落痕(cicatix)直徑 15-30  $\mu\text{m}$ 。孢子表面光滑，最外層壁透明，厚 1-2  $\mu\text{m}$ ，易剝落，第 2 層壁淡黃色，厚 1-3  $\mu\text{m}$ ，第 3 層壁透明，厚 1.5-3  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅色。發芽壁第 1 層壁透明，厚 1-1.5  $\mu\text{m}$ ，最內層壁透明，厚 1-1.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅色。(圖 1E)

(六) *Acaulospora alpina* Oehl, Sykorova & Sieverding

厚壁孢子單生於土壤中，橘黃色，呈圓球形至近圓球形，直徑 65-85  $\mu\text{m}$ ，產孢菌絲脫落痕直徑 7-12  $\mu\text{m}$ 。孢壁 3 層，最外層壁透明厚 0.5-1  $\mu\text{m}$ ，隨孢子成熟後即剝落，第 2 層壁黃至橘黃色，厚 2-3  $\mu\text{m}$ ，表面均勻散布短圓錐形凹洞，凹洞直徑 1.5-2.5  $\mu\text{m}$ 、深 1.5-2.5  $\mu\text{m}$ ，於顯微鏡下呈現圓孔中心的黑點，第 3 層壁 0.5-1.3  $\mu\text{m}$ ，與第 2 層壁連生不易觀察到。發芽壁 2 層，第 1 層 0.5-1.2  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑不產生反應，第 2 層 1.2-3  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈淡粉紅色。(圖 1F)

(七) *Acaulospora undulata* Sieverding

厚壁孢子單生於土壤中，透明至半透明，呈圓球形至近圓球形，直徑 55-85  $\mu\text{m}$ 。第 1 層孢壁透明，厚 0.5  $\mu\text{m}$ ，隨孢子成熟後即剝落，第 2 層壁透明，厚 1-1.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈淡黃色，表面均勻散布近圓形凹痕，凹痕直徑 4-9 $\times$ 4-9  $\mu\text{m}$ 、深 1-2.5  $\mu\text{m}$ ，凹痕間之脊寬 1  $\mu\text{m}$ 。發芽壁透明，厚 0.5-1  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈橘紅色。(圖 2A)

(八) *Acaulospora excavata* Ingleby & Walker

厚壁孢子單生於土壤中，淺黃至黃褐色，呈圓球形至近圓球形，直徑 100-160 $\times$ 120-200  $\mu\text{m}$ ，產孢菌絲脫落痕直徑 12-14  $\mu\text{m}$ 。最外層壁黃色，厚 8-11  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑不產生反應，表面均勻散布圓形至橢圓形凹痕，凹痕深 2-6  $\mu\text{m}$ ，直徑 4-20- $\mu\text{m}$ ，凹痕部分相連，部分距離達 9  $\mu\text{m}$ ，第 2 層壁透明膜狀，厚 0.5-1  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑不產生反應。發芽壁厚 1-2  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅色至淡紫色。(圖 2B)

(九) *Acaulospora spinosa* Walker & Trappe

厚壁孢子單生於土壤中，淡黃色，呈圓球形至近圓球形，直徑 140-200  $\mu\text{m}$ ，產孢菌絲脫落痕直徑 9-15  $\mu\text{m}$ 。孢壁 3 層，第 1 層壁於孢子形成後不久即脫落較難觀察到，第 2 層壁厚 6-8  $\mu\text{m}$ ，此壁層由密生的刺狀凸起所組成，刺狀凸起平均寬 0.5-0.7  $\mu\text{m}$ 、高 1-4  $\mu\text{m}$ ，第 3 層壁厚 0.6-1.2  $\mu\text{m}$ ，與第 2 層壁合生或有時分開。發芽壁分為 2 層，第 1 層壁厚約 1  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑不產生反應，第 2 層壁厚約 2-2.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈粉色至紫紅色。(圖 2C)

(十) *Acaulospora laevis* Gerdemann & Trappe

厚壁孢子單生於土壤中，橙黃色至棕黃色，呈圓球形至近圓球形，直徑 140-240  $\mu\text{m}$ ，產孢菌絲脫落痕直徑 9-16  $\mu\text{m}$ 。孢壁 3 層，第 1 層壁呈透明，厚約 1.2-2  $\mu\text{m}$ ，多半隨產孢囊泡脫落而脫落，第 2 層壁厚約 1.5-2.5  $\mu\text{m}$ ，呈棕黃色，與 Melzer's 染劑不產生反應，第 3 層壁厚約 1-1.5  $\mu\text{m}$ ，顏色較第 2 層淡，與 Melzer's 染劑亦不產生反應。發芽壁 2 層，第 1 層厚約 1.5-2  $\mu\text{m}$ ，第 2 層厚約 1-2  $\mu\text{m}$ ，皆不與 Melzer's 染劑反應。(圖 2D)

(十一) *Entrophospora infrequens* (Hall) Ames & Schneider

厚壁孢子單生於土壤中，橘黃色至黃棕色，球形至近球形，直徑 110-160  $\mu\text{m}$ ，平均 120  $\mu\text{m}$ 。孢壁 3 層，第 1 層壁透明，與產孢囊泡合生，隨孢子成熟後即脫落，第 2 層壁厚

3.5-4.5  $\mu\text{m}$ ，第3層壁厚 2.5-6  $\mu\text{m}$ ，呈黃色至黃棕色，此壁層由密生的刺狀凸起所組成，刺狀凸起平均寬 1.3-3.0  $\mu\text{m}$ 、高 2-4.5  $\mu\text{m}$ 。孢子上具有 2 個產孢菌絲脫落痕，分別為孢子由產孢囊泡柄接近囊泡的一端及囊泡柄末稍一端脫落的痕跡。(圖 2E)

(十二) *Entrophospora schenckii* Sieverding & Toro

厚壁孢子單生於土壤中，呈透明，球形至近球形，直徑 50-80  $\mu\text{m}$ ，平均 60  $\mu\text{m}$ 。孢壁 3 層，第 1 層壁透明，厚 <1  $\mu\text{m}$ ，與產孢囊泡合生，與 2、3 層壁明顯分離，第 2 層壁透明，厚 <1  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈黃色，第 3 層壁厚 1.5-3  $\mu\text{m}$ ，呈透明，孢子經壓破後呈彈性皺褶狀。(圖 2F)

(十三) *Glomus chimonobambusae* Wu & Liu

厚壁孢子單生於土壤中，呈半透明至白色，球形至近球形，直徑 120-180  $\mu\text{m}$ ，孢子表面密布疣狀、棍棒狀凸起，凸起物長約 10-12  $\mu\text{m}$ 。第 1 層孢壁含凸起物及片狀層厚 3.5-4.5  $\mu\text{m}$ ，第 2 層壁厚 1.5-2  $\mu\text{m}$ ，與第 1 層壁多合生不分離，第 3 層壁厚 0.5  $\mu\text{m}$ ，與第 4 層壁緊連，第 4 層壁厚 1.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅色。孢子柄寬 8-16  $\mu\text{m}$ ，呈直管狀，與孢子接著處呈些微內縮，表面被疣狀物。(圖 3A)

(十四) *Glomus claroideum* Schenck & Smith

厚壁孢子單生於土壤中，淡黃色，球形至近球形，直徑 90-140  $\mu\text{m}$ ，平均 120  $\mu\text{m}$ 。第 1 層孢壁透明黏膜狀，厚 0.6-1.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅色，第 2 層壁厚 0.5-2  $\mu\text{m}$ ，與第 1 層壁多合生不分離，孢子老熟後 1、2 層壁隨即剝落，於孢子表面形成碎屑狀，第 3 層壁厚 3-6  $\mu\text{m}$ ，呈淡黃色，此壁層由加厚的小層所組成，第 4 層壁厚 1-2  $\mu\text{m}$ 。孢子柄寬 6-8  $\mu\text{m}$ ，呈直管狀或些微喇叭狀。(圖 3B)

(十五) *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann

厚壁孢子單生於土壤中，橘黃色至棕黃色，球形至近球形，直徑 70-160  $\mu\text{m}$ ，平均 130

$\mu\text{m}$ 。第 1 層孢壁黏膜狀，厚 0.6-3.0  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈紫紅色，隨孢子成熟後即脫落，並於孢子表面形成碎屑狀，第 2 層壁厚 4.5-6.5  $\mu\text{m}$ ，此壁層由加厚的小層所組成，呈黃棕色至紅棕色。孢子柄寬 5-10  $\mu\text{m}$ ，呈直管狀或些微喇叭狀。(圖 3C)

(十六) *Glomus geosporum* (Nicol. & Gerd.) Walker

厚壁孢子單生於土壤中，黃棕色，球形至近球形，直徑 140-220  $\mu\text{m}$ ，平均 180  $\mu\text{m}$ 。第 1 層孢壁透明，<1  $\mu\text{m}$  厚，與 Melzer's 染劑不產生反應，隨孢子成熟而剝落，第 2 層壁厚 6-14  $\mu\text{m}$ ，呈黃棕色，此壁層由加厚的小層所組成，第 3 層壁厚 1-2.5  $\mu\text{m}$ ，顏色較第 2 層壁深，於孢子柄處形成凸出之壁層。孢子柄寬 16-30  $\mu\text{m}$ ，直生或偶爾彎曲，與孢子接著處呈些微喇叭狀。(圖 3D)

(十七) *Glomus constrictum* Trappe

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 120-280  $\mu\text{m}$ ，呈亮棕褐色至亮黑色。孢壁僅 1 層，7-15  $\mu\text{m}$  厚，棕褐色，與 Melzer's 染劑不產生反應。產孢菌絲直生或偶爾彎曲，直徑 15-25  $\mu\text{m}$ ，連接孢子處常呈收縮狀，收縮處直徑 10-15  $\mu\text{m}$ 。(圖 3E)

(十八) *Glomus spurcum* Pfeiff, Walker & Bloss

厚壁孢子單生於土壤中，初呈透明隨孢子老熟而呈淡黃色，球形至近球形，直徑 60-120  $\mu\text{m}$ ，平均 80  $\mu\text{m}$ 。第 1 層孢壁厚 0.5-1.2  $\mu\text{m}$ ，表面散布碎屑物，第 2 層壁厚 1.5-4  $\mu\text{m}$ ，具彈性，隨孢子壓碎後皺縮形成皺褶。孢子柄寬 5-8  $\mu\text{m}$ ，壁薄易斷，因此孢子柄較少見。(圖 3F)

(十九) *Glomus tortuosum* Schenck & Smith

厚壁孢子單生於土壤中或偶爾 2-4 個由菌絲包被成孢子果，橘黃色至棕黃色，球形至近球形，孢子直徑 120-220  $\mu\text{m}$ ，平均 180  $\mu\text{m}$ 。僅 1 層孢壁厚 0.5-1.5  $\mu\text{m}$ ，外層被覆菌絲達 10-20  $\mu\text{m}$ 。孢子柄寬 12-15  $\mu\text{m}$ ，與包覆的菌絲混生不易分辨。(圖 4A)

(二十) *Glomus rubiformis* (Gerd. & Trappe)

Almeida &amp; Schenck

厚壁孢子形成孢子果，棕黃色，橢圓形至近球形，直徑 180-400  $\mu\text{m}$ ，孢子單層聚生於中軸呈叢狀，單一孢子棕黃色，呈卵形至橢圓形，直徑 40-125 $\times$ 30-90  $\mu\text{m}$ ，孢壁厚 3-8  $\mu\text{m}$ 。(圖 4B)

(二十一) *Paraglomus occultum* (Walker) Morton & Redecker

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 $\times$ 60-120  $\mu\text{m}$ ，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's 染劑反應。(圖 4C)

(二十二) *Scutellospora fulgida* Koske & Walker

厚壁孢子單生於土壤中，球形至近球形，直徑 150-240  $\mu\text{m}$ 。孢子外觀呈透明至淡黃色，孢壁 2 層，第 1 層壁光滑、堅硬，厚 1-2  $\mu\text{m}$ ，第 2 層壁由多層片狀壁組成，隨孢子老熟而增厚，厚 4-6  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應後呈淡黃至金黃色。發芽壁厚 1-1.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑不產生反應。產孢菌絲末端膨大，附屬物亦呈透明狀，直徑 20-25  $\mu\text{m}$ 。(圖 4D)

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

厚壁孢子單生於土壤中，近球形或不規則狀，孢子外觀呈透明，內含物呈氣泡油滴狀。孢子大小變異大，直徑 110-220 $\times$ 140-240  $\mu\text{m}$ 。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  $\mu\text{m}$ 。發芽壁兩層，第 1 層壁厚 0.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑不產生反應，第 2 層壁厚 1-2.5  $\mu\text{m}$ ，與 Melzer's 染劑反應呈紅色。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's 染劑逐漸反應呈紅色，為此菌種重要的鑑定特徵。(圖 4E)

## 二、菌種之分布

綜合比較合歡山、塔塔加大雪山等 3 處調查區域的菌相組成，合歡山、梨山一帶樣點土壤酸鹼度介於 pH 3.8-6.7，平均 pH 5.4，此地區玉山箭竹林土壤中主要內生菌根菌以 *Acaulospora* 屬的菌種最為優勢，其中又以 *A. koskei*、*A. alpina*、*A. laevis* 及 *S. pellucida* 分布範圍最廣、出現樣點也最多。塔塔加地區樣點土壤酸鹼度介於 pH 4.3-6.3，平均 pH 5.5，此地區玉山箭竹林土壤中主要內生菌根菌也是以 *Acaulospora* 屬的菌種數最多，其中又以 *A. spinosa* 與 *S. pellucida* 分布範圍最廣、出現樣點也最多。大雪山地區樣點土壤酸鹼度介於 pH 3.5-5.2，平均 pH 4.2，此地區玉山箭竹林土壤中主要之內生菌根菌也是以 *Acaulospora* 屬的菌種數最多，其中又以 *A. morrowiae* 與 *A. tuberculata* 分布範圍最廣、出現樣點也最多。

## 三、菌種孢子數與海拔梯度及土壤酸鹼度之相關性分析

合歡山地區採集的樣點出現達 5 次以上的菌種共計有 6 種，分別為 *A. spinosa*、*A. laevis*、*A. koskei*、*A. mellea*、*A. alpina* 及 *S. pellucida*，其孢子單位密度與海拔梯度之相關係數分別為 0.063、0.728、0.534、-0.509、-0.386 及 -0.452，均未達顯著水準，可知此地區的菌根菌孢子單位密度與海拔梯度無明顯相關。而孢子單位密度與土壤酸鹼度之相關係數分別為 -0.284、-0.719、-0.386、-0.548 及 -0.344、-0.391，均未達顯著水準，可知此地區的菌根菌孢子單位密度與土壤酸鹼度無明顯相關。

塔塔加地區採集的樣點出現達 5 次以上的菌種僅有 *A. spinosa*，其孢子單位密度與海拔梯度之相關係數為 0.699 ( $p < 0.05$ ) 達顯著水準，可知此地區的 *A. spinosa* 孢子單位密度隨

海拔梯度上升而增加。而 *A. spinosa* 孢子單位密度與土壤酸鹼度之相關係數為 0.108，未達顯著水準，可知此地區的 *A. spinosa* 孢子單位密度與土壤酸鹼度無明顯相關。

大雪山地區採集的樣點出現達 5 次以上的菌種有 *A. morrowiae* 及 *A. tuberculata*，其孢子單位密度與海拔梯度之相關係數分別為 -0.586 及 0.881 ( $p < 0.05$ )，可知此地區的 *A. tuberculata* 孢子單位密度隨海拔梯度上升而增加。而孢子單位密度與土壤酸鹼度之相關係數分別為 -0.478 及 -0.579，均未達顯著水準，可知此地區的菌根菌孢子單位密度與土壤酸鹼度無明顯相關。

#### 四、新紀錄種

本研究共發現 4 種台灣新紀錄種：*A. alpina*、*A. undulata*、*A. excavata* 及 *E. schenckii*。*A. alpina* 於合歡山及塔塔加兩地區均有發現，合歡山地區 6 處採集紀錄樣點分布介於海拔 2,340-2,810m 間，塔塔加地區 2 處採集樣點海拔分別為 2,630m 及 2,515m。此菌為 Oehl *et al.* (2006) 採集於瑞士阿爾卑斯山的草原，當地海拔 1,800-2,700m，據調查發現此菌種於當地海拔 1,300-1,800m 呈零星分布，1,300m 以下則不曾記錄到。

*A. undulata* 於合歡山及塔塔加兩地區均有發現，合歡山地區 4 處採集紀錄樣點分布介於海拔 2,330-2,550m 間，塔塔加地區僅於海拔 2,500m 的 1 處樣點發現。此菌種最早為 Sieverding (1988) 於非洲剛果 1,700m 所發現，共生植物為金雞納屬(*Cinchona*)的植物。*A. undulata* 孢子表面的紋飾明顯與同屬的其他菌種不同，較易與 *A. scrobiculata* 混淆，但 *A. scrobiculata* 孢子較大(約 110-200  $\mu\text{m}$ )，紋飾的凹痕較小(直徑約 0.6-2  $\mu\text{m}$ )。

*A. excavata* 僅於合歡山地區海拔 2,000m 樣點發現，此菌種為 Ingleby *et al.* (1994) 於非洲象牙海岸 Mopri 森林保留區的欖仁樹屬

(*Terminalia*)植物根系所分離。此菌孢子大小與 *A. scrobiculata* 相近，然而 *A. excavata* 表面紋飾的凹痕較大(直徑約 4-20  $\mu\text{m}$ )，且不會相連接成線形或 Y 字形。

*E. schenckii* 於合歡山及塔塔加兩地區均有發現，合歡山地區 2 處採集紀錄樣點分別位於海拔 2,475m 及 2,591m，塔塔加地區僅於海拔 2,515m 的 1 處樣點發現。此菌種為 Sieverding and Toro (1987) 於南美洲哥倫比亞一處苗圃及甘蔗田分離。此菌種與同屬的其他菌種不論在孢子的顏色及大小均有明顯的差異。同屬的 *E. kentinensis* 雖然孢子顏色與其相近，但孢子直徑較 *E. schenckii* 大，且第 2 層孢壁紋飾層具圓形凹痕，*E. schenckii* 則是光滑 (Wu and Liu 1995)。

## 結 論

玉山箭竹對天然林生態系統的完整性，以及中高海拔林地的穩定性，擔負無可替代的功能或作用。菌根菌與植物所形成的共生關係可促使植物和真菌間的養分成為雙向的循環，也就是植物提供了真菌碳的來源，而真菌則將無機的養分流向植物，因此菌根扮演著植物根系與土壤間重要的連結。在貧瘠的土壤中，植物可藉由菌根菌促進水分及養分吸收，因此形成菌根的植物通常較有競爭力，且較耐環境中的不良條件 (Al-Karaki and Clark 1998; Yen 2000)。本研究調查了不同海拔梯度玉山箭竹內生菌根菌組成，除了可做為各海拔梯度造林苗木選用接種菌種的依據外，菌根菌對環境因子的高度敏感性，亦可做為監測高地草原生態系的指標物種。

中部地區玉山箭竹林土壤中內生菌根菌調查共記錄 5 屬 23 種內生菌根菌，整體而言較具優勢的菌種為 *Acaulospora koskei*、*A. spinosa*、*A. tuberculata*、*A. laevis*、*Glomus claroideum* 及 *Scutellospora pellucida*。

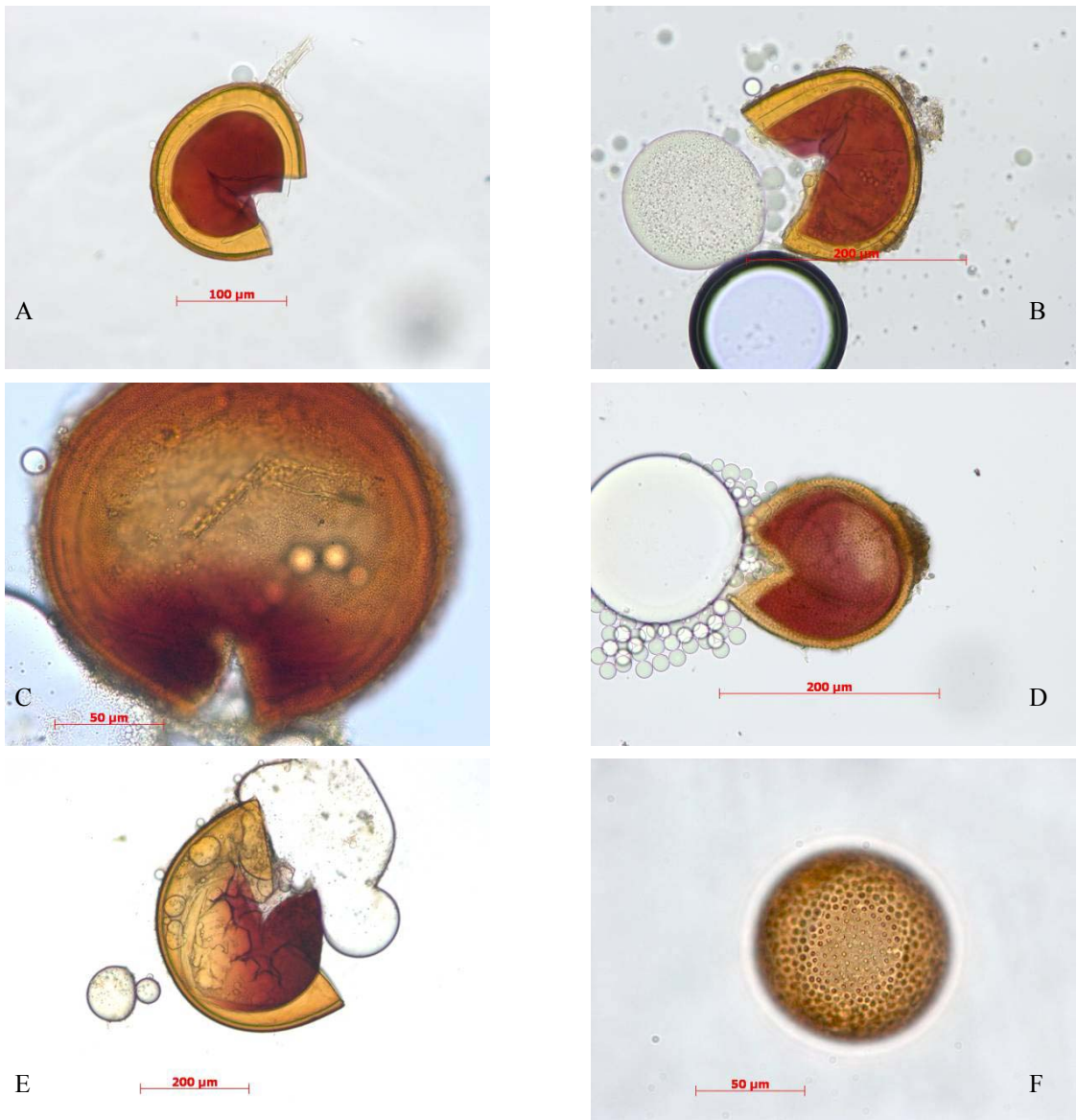


圖 1. 台灣中部地區玉山箭竹林土壤中內生菌根菌。A, *Acaulospora mellea*; B, *Acaulospora morrowiae*; C, *Acaulospora tuberculata*; D, *Acaulospora scrobiculata*; E, *Acaulospora koskei*; F, *Acaulospora alpina*。

Fig. 1. The VAMF species in soils associated with *Yushania niitakayamensis* in mountain forests of central Taiwan: A, *Acaulospora mellea*; B, *Acaulospora morrowiae*; C, *Acaulospora tuberculata*; D, *Acaulospora scrobiculata*; E, *Acaulospora koskei*; F, *Acaulospora alpina*.

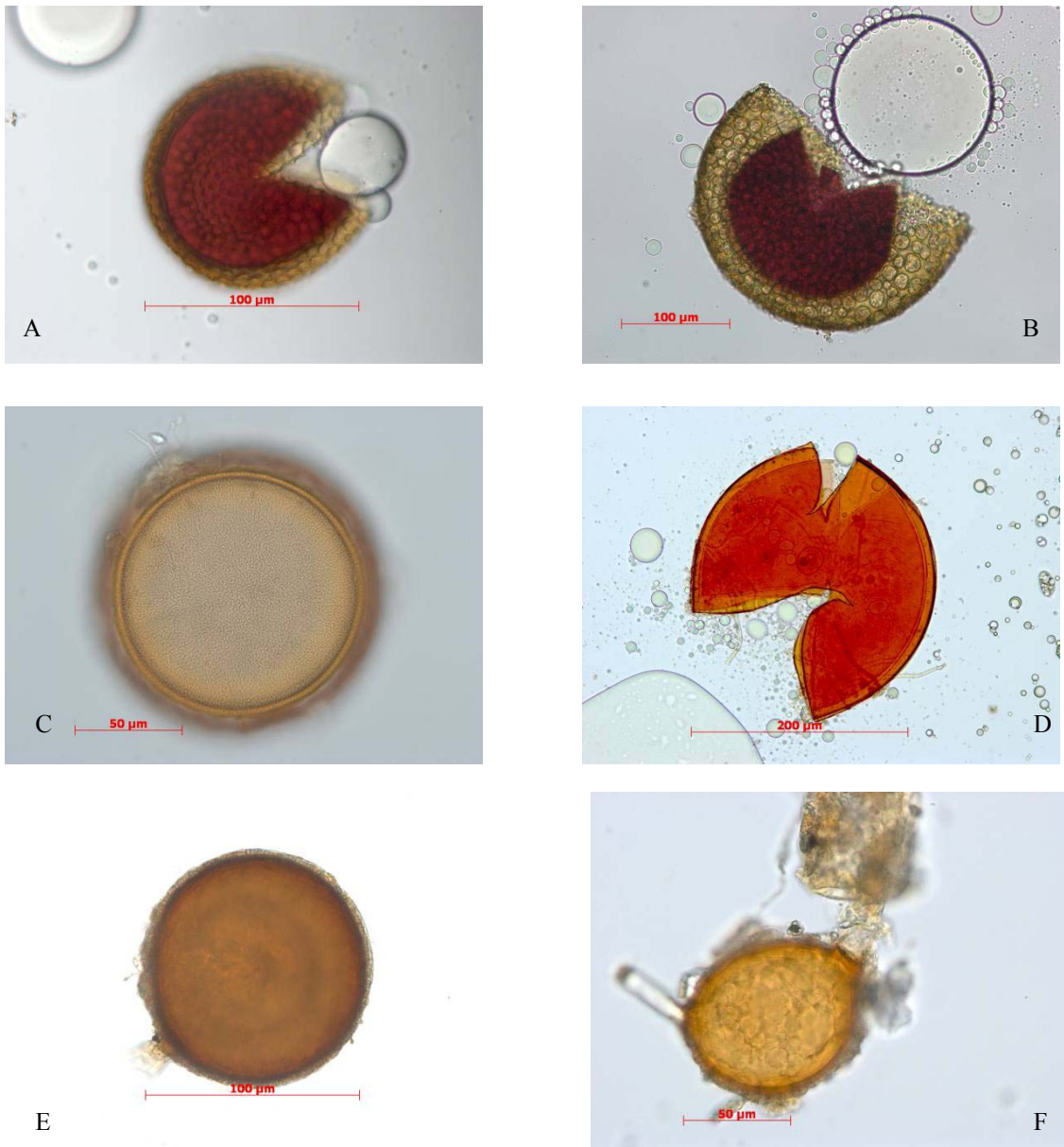


圖 2. 台灣中部地區玉山箭竹林土壤中內生菌根菌。A, *Acaulospora undulata*; B, *Acaulospora excavata*; C, *Acaulospora spinosa*; D, *Acaulospora laevis*; E, *Entrophospora infrequens*; F, *Entrophospora schenckii*。

Fig. 2. The VAMF species in soils associated with *Yushania niitakayemensis* in mountain forests of central Taiwan: A, *Acaulospora undulata*; B, *Acaulospora excavata*; C, *Acaulospora spinosa*; D, *Acaulospora laevis*; E, *Entrophospora infrequens*; F, *Entrophospora schenckii*.

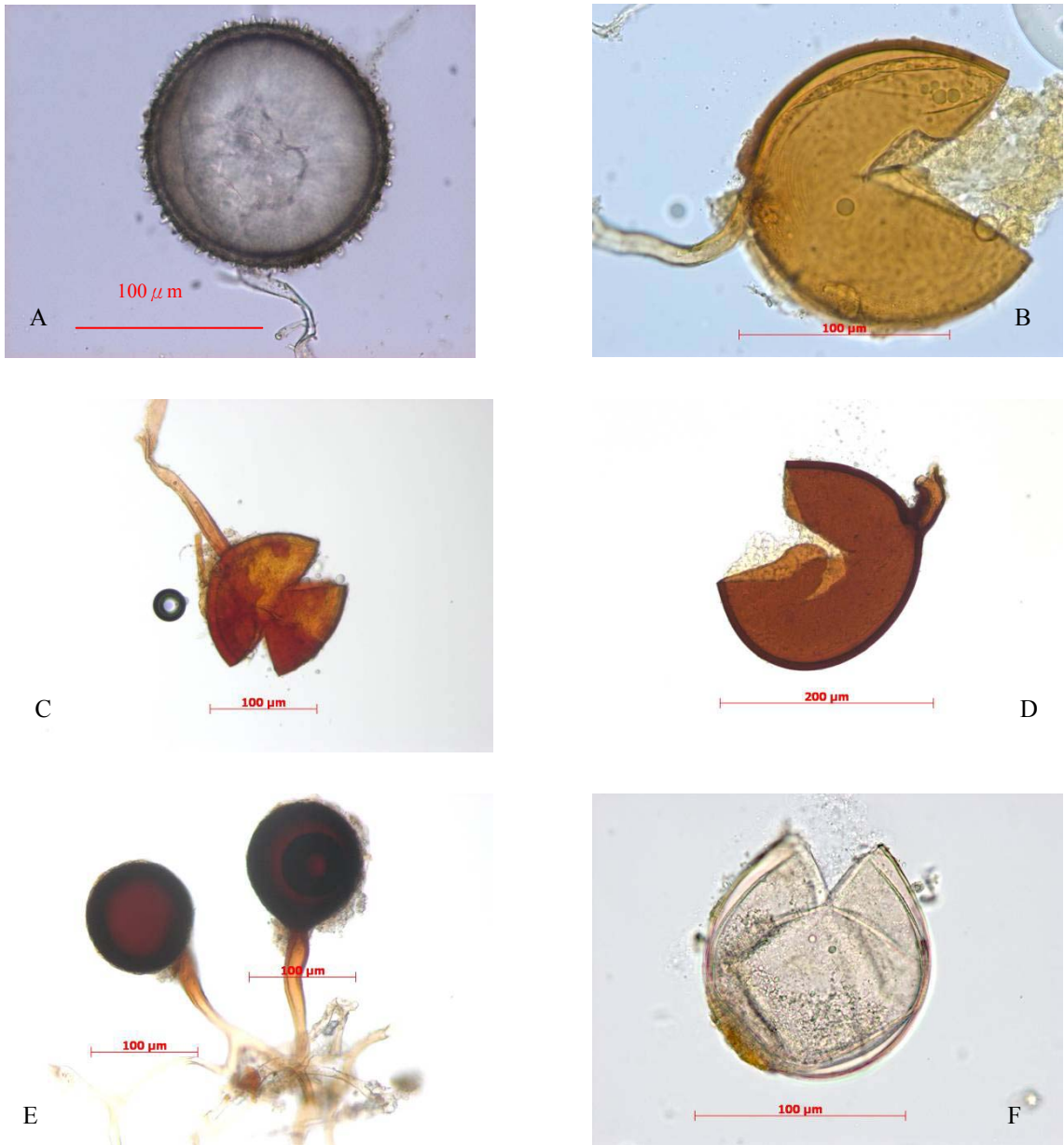


圖 3. 台灣中部地區玉山箭竹林土壤中內生菌根菌。A, *Glomus chimonobambusae*; B, *Glomus claroideum*; C, *Glomus etunicatum*; D, *Glomus geosporum*; E, *Glomus constrictum*; F, *Glomus spurcum*。

Fig. 3. The VAMF species in soils associated with *Yushania niitakayamensis* in mountain forests of central Taiwan: A, *Glomus chimonobambusae*; B, *Glomus claroideum*; C, *Glomus etunicatum*; D, *Glomus geosporum*; E, *Glomus constrictum*; F, *Glomus spurcum*.

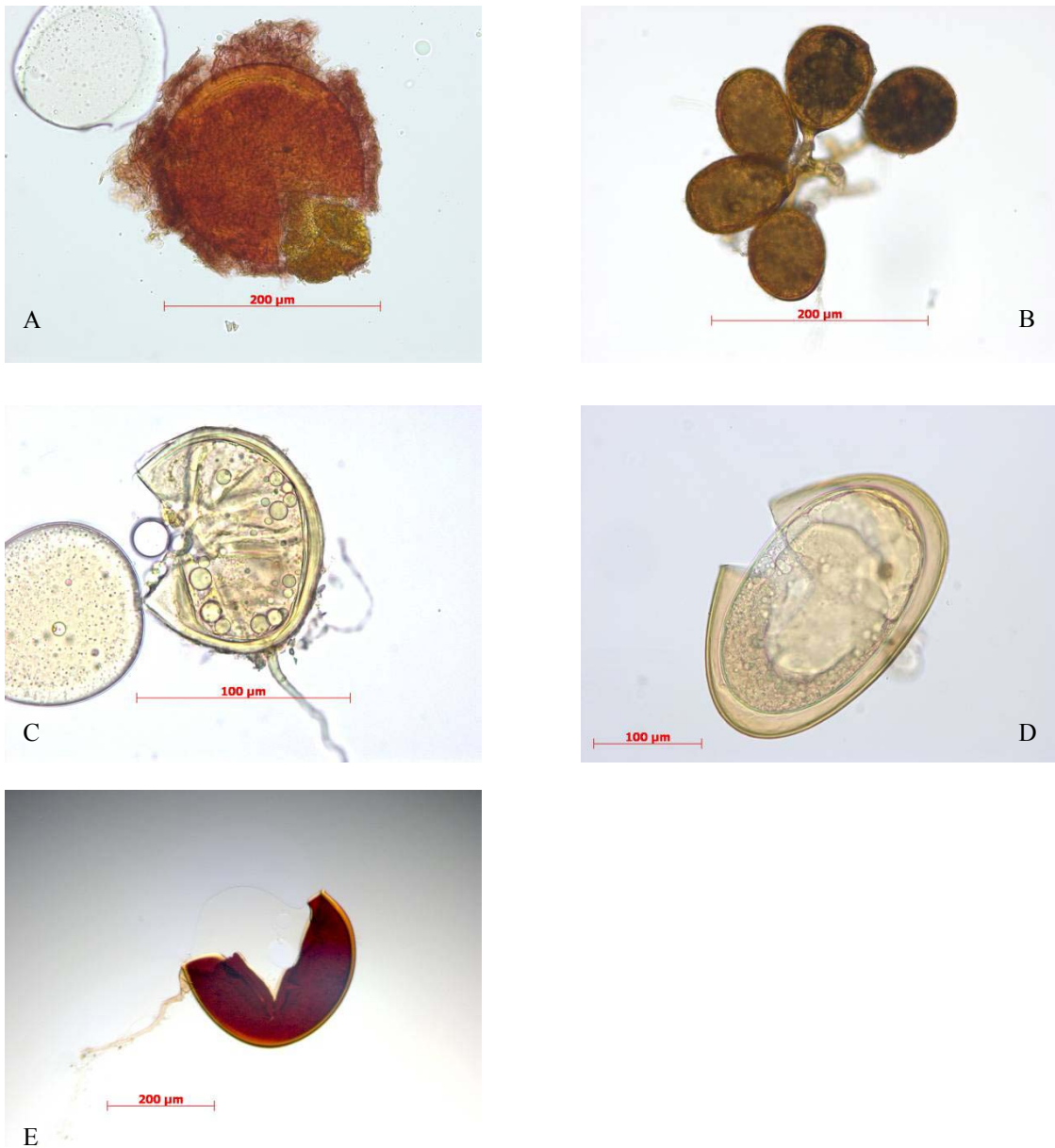


圖 4. 台灣中部地區玉山箭竹林土壤中內生菌根菌。A, *Glomus tortuosum*; B, *Glomus rubiformis*; C, *Paraglomus occultum*; D, *Scutellospora fulgida*; E, *Scutellospora pellucida*。

Fig. 4. The VAMF species in soils associated with *Yushania niitakayamensis* in mountain forests of central Taiwan: A, *Glomus tortuosum*; B, *Glomus rubiformis*; C, *Paraglomus occultum*; D, *Scutellospora fulgida*; E, *Scutellospora pellucida*.

調查發現中部地區玉山箭竹林土壤中內生菌根菌以 *Acaulospora* 屬最爲優勢，可能與海拔梯度有關，Oehl *et al.* (2006)於瑞士進行菌根菌調查時，亦指出 *Acaulospora* 屬的菌根菌於高海拔地區種類相對地豐富。至於各菌種於土壤中的孢子數量與土壤的酸鹼度並無明顯相關性。塔塔加地區的 *A. spinosa* 孢子單位密度隨海拔梯度上升而增加，而大雪山地區的 *A. tuberculata* 孢子單位密度隨海拔梯度上升而增加。

### 引用文獻

- 柳樞。1963。小雪山高山草原生態之研究。林業試驗所報告第 92 號。13 頁。
- 郭寶章、張明洵。1984。玉山箭竹之生態及防除。中華林學季刊 17(1): 33-51。
- 陳致仁。2002。玉山箭竹親緣地理學探討。國立台灣師範大學生物研究所碩士論文。57 頁。
- 劉業經、呂福原、歐辰雄、賴國祥。1984。台灣高山箭竹草生地之植物演替與競爭機制。中華林學季刊 17(1): 1-32。
- 賴裕芳、王亞男、張國楨。2000。塔塔加地區不同生育地玉山箭竹變異性之研究。中華林學季刊 33(4): 457-467。
- Al-Karaki, G. N. and R. B. Clark. 1988. Growth, mineral acquisition, and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. *Journal of Plant Nutrition* 21(2): 263-276.
- Cooper, K. M. 1976. A field survey of mycorrhizas in New Zealand ferns. *New Zealand Journal of Botany* 14: 169-181.
- Daniels, B. A. and H. D. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. pp. 20-45. *In*: N. C. Schenck (ed.). *Methods and principles of mycorrhizal research*. The American Phytopathological Society. St. Paul.
- Gerdemann, J. W. and J. M. Trappe. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoir* 5: 76.
- Hsiao, J. Y. and S. M. Lee. 1999. Genetic diversity and microgeographic differentiation of Yushan cane (*Yushania niitakayamensis*) in Taiwan. *Molecular Ecology* 8: 263-270.
- Ingleby, K., C. Walker and P. A. Mason. 1994. *Acaulospora excavata* sp. nov. - an endomycorrhizal fungus from Cote d' Ivoire. *Mycotaxon* 50: 99-105.
- Koske, R. E. and B. Tessier. 1983. A convenient, permanent slide mounting medium. *Newsletter Mycological Society of America* 34: 59.
- Oehl, F., Z. Sykorova, D. Redecker, A. Wiemken and E. Sieverding. 2006. *Acaulospora alpina*, a new arbuscular mycorrhizal fungal species characteristic for high mountainous and alpine regions of the Swiss Alps. *Mycologia* 98(2): 286-294.
- Parke, J. L. and R. G. Linderman. 1980. Association of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi with the moss *Funaria hygrometrica*. *Canadian Journal of Botany* 58(17): 1898-1904.
- Redecker, D., R. Kodner and L. E. Graham. 2000. Glomalean fungi from the Ordovician. *Science* 289: 1920-1921.
- Schenck, N. C. and Y. Perez. 1990. *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi*. INVAM, Gainesville, Florida.
- Sieverding, E. 1988. Two new species of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in the Endogonaceae from tropical highlands of Africa. *Angewandte Botanik* 62: 373-380.

- Sieverding, E. and S. T. Toro. 1987. *Entrophospora schenckii*: A new species in the Endogonaceae from Colombia. *Mycotaxon* 28: 209-214.
- Wu, C. G. and Y. S. Liu. 1995. Glomales of Taiwan: V. *Glomus chimonobambusae* and *Entrophospora kentinensis*, Spp. Nov. *Mycotaxon* 53: 283-294.
- Yen, C. H. 2000. Effects of mycorrhizal external hyphae on nutrient and water uptake. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 33(3): 313-320.

