

臺灣原始觀音座蓮(*Archangiopteris somai* Hay.)原生育地叢
枝菌根菌調查研究

Arbuscular Mycorrhizal Fungi in *Archangiopteris Somai*
Habitats

林子超 朱恩良 翁韶良*

Tzu-Chao Lin, N-Lian Zu and Shau-Lian Wong*

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

Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

*通訊作者: shaulian@tesri.gov.tw

* Corresponding author: shaulian@tesri.gov.tw

摘 要

臺灣原始觀音座蓮 (*Archangiopteris somai*) 因數量稀少及分布地點狹隘成爲瀕危物種，本研究於其臺灣的兩處生育地進行根圈土壤叢枝菌根菌調查，以瞭解此瀕危物種之共生菌根菌組成基本資料，經調查於兩處生育地共計發現 6 屬 10 種叢枝菌根菌，植株經染根觀察，根內均發現大量菌絲、囊泡與叢枝體，確認臺灣原始觀音座蓮與叢枝菌根菌形成內生菌根。

Abstract

Archangiopteris somai is an endangered species due to its rare population and distribution in narrow habitats. We investigated the arbuscular mycorrhizal fungi in two habitats of *A. somai* in Taiwan in order to understand the symbiosis mycorrhizal fungi composition of this endangered species. The results show that 10 AM fungi species of six genera were found in the two habitats. Abundant intraradical hyphae, vesicles and arbuscules were found in root samples, confirming the formation of mycorrhiza of *A. somai* with AM fungi.

關鍵詞：菌根、叢枝菌根菌、臺灣原始觀音座蓮。

Keywords: mycorrhiza, AM fungi, *Archangiopsis somai*

收件日期：2015 年 03 月 27 日

接受日期：2015 年 09 月 01 日

Received: March 27, 2015

Accepted: September 01, 2015

前 言

臺灣原始觀音座蓮 (*A. somai*) 屬於厚囊蕨綱 (Eusporangiopsida)，觀音座蓮目 (Marattiales)，觀音座蓮舅科 (Marattiaceae)，原始觀音座蓮屬 (*Archangiopsis*) 的蕨類植物 (謝萬權 1981)。本屬植物有 11 種，全世界僅分布於中國雲南、北越及臺灣三地區 (吳兆洪、秦仁昌 1991)，在臺灣有本種及伊藤氏原始觀音座蓮 (*A. itoi*) 兩種，均因數量稀少及分布地點狹隘成爲瀕危物種 (蔡進來 1992)。

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養分循環等影響 (Donnison *et al.*, 2000)，過程中直接受到功能性微生物的影響，因爲不同的養分循環階段，有不同的微生物參與其生物地質化學循環。叢枝菌根菌 (arbuscular mycorrhizal fungi, AM fungi) 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 (Hodge, 2000)。四億多年前植物就與叢枝菌根菌形成了互利共生的關係，直到今日地球上約有 80 % 的植物可與叢枝菌根菌形成菌根。叢枝菌根菌屬於絕對共生性，必須依賴宿主植物提供其生存及繁殖必須的營養源，而宿主與真菌間建立的養分雙

向交換也必須藉由雙方高度協調的機制來進行調控 (Reinhardt, 2007)。

蕨類植物有其特殊的生活史並且在維管束植物的演化史上有其重要的地位，而菌根菌與蕨類植物的關係在化石植物雷尼蕨屬 (*Rhynia*) 及星木屬 (*Asteroxylon*) 植物的根系中早已被發現，這些菌根甚至被認爲是最早被發現的叢枝菌根 (Hass *et al.* 1994; Remy *et al.* 1994)。West (1916) 在觀音座蓮舅科的許多蕨類植物根系內觀察到有內生的真菌，並將此菌正式發表爲 *Stigeosporium marattiacearum*，後來 Butler (1939) 根據 West (1916) 對此菌之叢狀枝 (arbuscule) 與囊泡 (vesicle) 等形態描述，認爲此菌應轉移至 *Rhizophagus* 屬內，直到 1974 年 Gerdemann 與 Trappe (1974) 根據 Dangeard (1896) 對 *Rhizophagus* 屬的描述，認爲 *Rhizophagus* 及 *Stigeosporium* 均爲 *Glomus* 之同物異名。因 West (1916) 發表之 *S. marattiacearum* 並無保留證據標本，且年代久遠已無法得知此菌爲何菌，僅能從文獻中的描述確認此菌屬於 *Glomus* 屬。

雖然蕨類植物與菌根菌的共生關係已歷經了 4 億多年的演化，然而目前在臺灣被列爲瀕危物種的原始觀音座蓮，於原生育地與菌根菌的共生狀況，基本資料相對而言卻是

非常缺乏。本研究於 2003 年針對臺灣原始觀音座蓮，進行原生育地根圈土壤中叢枝菌根菌的分離與鑑定，以建立臺灣原始觀音座蓮共生菌根菌之基本資料，並提供將來物種復育時之參考依據。

材料與方法

一、研究區域氣候環境概述

臺灣原始觀音座蓮於臺灣有兩處主要的生育地，一處位於南投縣魚池鄉蓮華池地區(23°56'N, 120°54'E)，海拔約 700-800 m，年均溫約 21°C，年均降雨量約為 2200mm。另一處則位於新北市烏來區(24°51'N, 121°32'E)，海拔約 400-500 m，年均溫約 17°C，年均降雨量約為 2900mm。成熟孢子體大多出現於有機質豐富之山溝、山谷、溪澗邊陰濕地及林下灌草叢中，幼孢子體則大多出現於蝕溝旁之裸露黃色岩塊或峭面上。棲地以黃褐色森林土壤為主，棲地很少受到陽光直射。

二、生育地土壤取樣與菌種分離及鑑定

2003 年 3 月於蓮華池及烏來兩處台灣原始觀音座蓮生育地，分別選擇 7 株植株，採取根圈土壤樣本，每單一様本秤取 100 g 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。

三、根段取樣及染根觀察

採取土壤樣本時，同時採取各樣本植株少量根系後，浸泡於 50% (v/v) 乙醇中，取樣完成後於 2 天內以 Koske 與 Gemma (1989) 之染根方法，將根系裁切成 1cm 長度後，進行透化、酸化、染色及退染。處理完成之根段，隨機挑取置於載玻片上，使其與玻片長邊平行，於 200 倍倍率下以 McGonigle 等 (1990) 提出的放大倍率交叉線法 (magnified intersection method) 觀察感染情形，計數方法參考 McGonigle 等 (1990) 提出之方式，依交叉線與根段交叉位置分別記錄根段內不同菌根結構，以計算該根系樣本的叢枝感染率 (arbuscule colonization, AC)、囊泡感染率 (vesicle colonization, VC)、菌絲感染率 (hyphae colonization, HC) 及菌根感染率 (percentage of root length colonize, RLC)。

結 果

一、蓮華池與烏來樣區土壤化學性質比較：

蓮華池樣區土壤經分析 pH 值為 4.2，土壤有效磷為 7.1 mg kg⁻¹，含氮量為 0.9 %，可置換性鉀為 54.6 mg kg⁻¹，土壤有機質為 7.3 %；烏來樣區土壤經分析 pH 值為 3.9，土壤有效磷為 6.2 mg kg⁻¹，含氮量為 0.7%，可置換性鉀為 46.7 mg kg⁻¹，土壤有機質為 5.9 %。

二、台灣原始觀音座蓮根圈土壤內生菌根菌組成：

台灣原始觀音座蓮根圈土壤樣本，經分離鑑定共記錄 4 屬 10 種叢枝菌根菌，其中於蓮華池樣區 7 株樣株根圈土壤中，共發現 6 屬 8 種叢枝菌根菌孢子，分別為 *Acaulospora mellea*、*Acaulospora koskei*、*Acaulospora scrobiculata*、*Glomus ambisporum*、*Septoglomus constrictum*、*Claroideoglomus etunicatum*、*Sclerocystis rubiformis* 及 *Paraglomus occultum*，單一土壤樣本孢子數 100 g 土壤為 12±4 個；而烏來樣區 7 株樣株根圈土壤中，共發現 4 屬 5 種叢枝菌根菌孢子，分別為 *Acaulospora morrowiae*、*Claroideoglomus claroideum*、*Claroideoglomus etunicatum*、*Septoglomus constrictum* 及 *Sclerocystis rubiformis* 單一土壤樣本孢子數 100 g 土壤為 9±3 個。

1. *Acaulospora mellea* Spain & Schenck

孢子單生於土壤中，金黃色至棕黃色，呈球形至近球形，罕呈橢圓形或不規則形，直徑 90-110 μm，孢壁厚 4-10 μm，破裂後成 3 壁群，最外層黃棕色，厚 2-6 μm，與第 2 層壁不易分離，第 3 層壁呈透明至淺黃色，厚 0.5-1 μm，發芽壁第 1 層呈透明，厚 1 μm，發芽壁第 2 層亦呈透明，厚 1-2 μm 與 Melzer's 染劑反應後呈淡紫色 (圖 1a)。

2. *Acaulospora koskei* Blaszkowski

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's 染劑反應後呈粉紅色。發芽壁第 1 層壁透明，厚 1-1.5 μm，最內層壁透明，厚 1-1.5 μm，與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅色。(圖 1b)。

3. *Acaulospora morrowiae* Spain & Schenck

孢子單生於土壤中，顏色為半透明至淡黃色，呈球形至近球形，直徑 70-100 μm，孢子壁厚 2-4 μm，最外層壁 0.5-1 μm，呈透明，第 2 層壁呈淡黃色，厚 1.5-3 μm，第 3 層壁呈透明，厚 0.5 μm，發芽壁第 1 層厚 1-1.8 μm，呈透明，發芽壁第 2 層壁呈透明膜狀，厚 0.5 μm，與 Melzer's 染劑反應後呈褐紫色 (圖 1c)。

4. *Acaulospora scrobiculata* Trappe

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 μm，第 2、3 層壁光滑、透明，發芽壁第 1 層壁呈透明，厚 1-1.5 μm 與 Melzer's 染劑不反應，發芽壁第 2 層呈透明，厚 2-3 μm 與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅至深紅色 (圖 1d)。

5. *Claroideoglomus claroideum* (Schenck & Smith)

Walker & Schüßler

孢子單生於土壤中，淡黃色，球形至近球形，直徑 90-140 μm，平均 120 μm。第 1 層孢壁透明黏膜狀厚 0.6-1.5 μm，與 Melzer's 染劑反應後呈粉紅色。第 2 層壁厚 0.5-2 μm，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 μm，呈淡黃色，此壁層由加厚的小層所組成。第 4 層壁厚 1-2 μm。孢子柄寬 6-8 μm，呈直管狀或些微喇叭狀 (圖 1e)。

6. *Claroideoglomus etunicatum* (Becker & Gerdemann) Walker & Schüßler

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 μm，平均 130 μm。第 1 層孢壁黏膜狀厚 0.6-3.0 μm，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 μm ，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 μm ，呈直管狀或些微喇叭狀(圖1f)。

7. *Glomus ambisporum* Smith & Schenck

孢子鬆散聚生於土壤中，孢子呈深棕色至黑色，球形至近球形，直徑85-150 μm 。孢壁3層，第1層壁呈半透明，厚2-3 μm 。第2層深棕色，成片狀增厚約3~14 μm 。第3層壁透明，厚1 μm 。孢子柄寬10-20 μm (圖2a)。

8. *Paraglomus occultum* (Walker) Morton & Redecker

孢子單生或鬆散聚生，但不形成孢子果，孢子橢圓形至近球形，罕不規則形，直徑50-100 \times 60-120 μm ，外觀呈透明至白色。末端菌絲單生，長10-40 μm ，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 μm 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 μm 不與 Melzer's 染劑反應(圖2b)。

9. *Septoglomus constrictum* (Trappe) Sieverding, Silva & Oehl

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 μm ，呈亮棕褐色至亮黑色，孢壁僅1層7-15 μm ，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 μm ，連接孢子處常呈收縮狀，收縮處直徑10-15 μm (圖2c)。

10. *Sclerocystis rubiformis* Gerdemann & Trappe

孢子形成孢子果，棕黃色，橢圓形至近球形，直徑180-400 μm ，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 μm ，孢壁厚3-8 μm (圖2d)。

三、台灣原始觀音座蓮根內菌根菌感染率及形態：

蓮華池樣區7株樣株根系經染根觀察，根內發現大量菌絲、囊泡與叢枝體(圖3)，平均菌根感染率(RLC)為82%，菌絲感染率(HC)為77%，囊泡感染率(VC)為26%，叢枝感染率(AC)為31%；而烏來樣區7株樣株，根系經染根觀察亦發現大量菌絲、囊泡與叢枝體(圖4)，RLC為76%，HC為68%，VC為22%，AC為27%



圖 1. 臺灣原始觀音座蓮根系土壤中之叢枝菌根菌。a, *Acaulospora mellea*; b, *Acaulospora koskei*; c, *Acaulospora morrowiae*; d, *Acaulospora scrobiculata*; e, *Claroideoglossus claroideum*; f, *Claroideoglossus etunicatum*。

Fig. 1. The AM fungi species in soils associated with *Archangiopteris somai*: a, *Acaulospora mellea*; b, *Acaulospora koskei*; c, *Acaulospora morrowiae*; d, *Acaulospora scrobiculata*; e, *Claroideoglossus claroideum*; f, *Claroideoglossus etunicatum*.

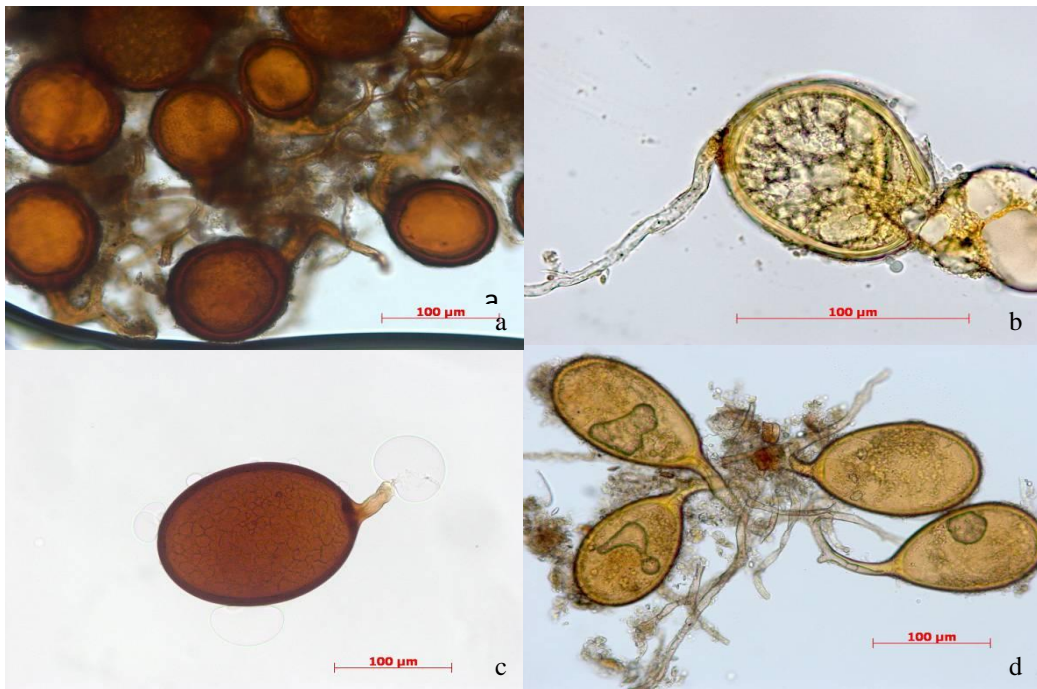


圖 2. 臺灣原始觀音座蓮根系土壤中之叢枝菌根菌。a, *Glomus ambisporum*; b, *Paraglomus occultum*; c, *Septoglomus constrictum*; d, *Sclerocystis rubiformis*。

Fig. 2. The AM fungi species in soils associated with *Archangiopteris somai*: a, *Glomus ambisporum*; b, *Paraglomus occultum*; c, *Septoglomus constrictum*; d, *Sclerocystis rubiformis*.

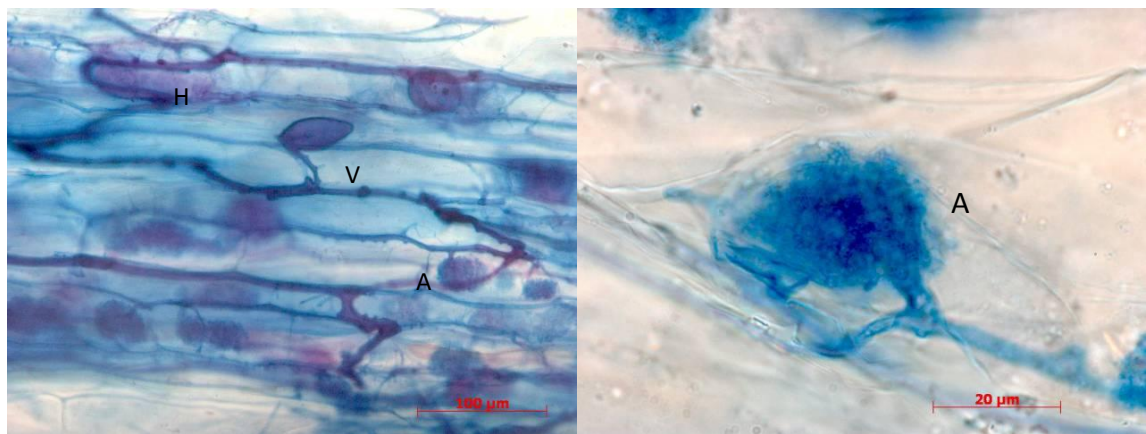


圖 3. 蓮華池樣區之臺灣原始觀音座蓮根系內菌絲 (H)、囊泡 (V)及叢枝體 (A)。

Fig. 3. Intraradical hyphae (H), vesicles (V) and arbuscules (A) in roots of *Archangiopteris somai* in Lian-Hua-Chi.

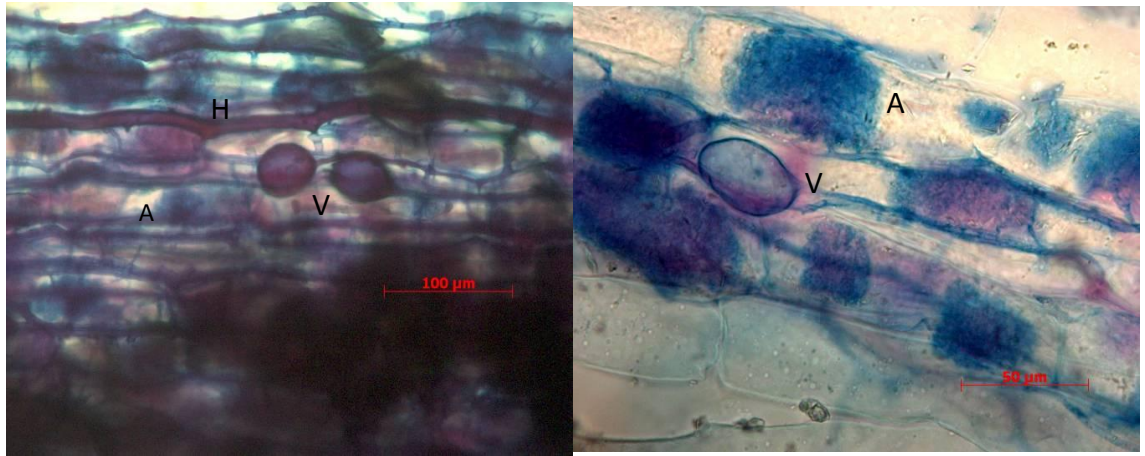


圖 4. 烏來樣區之臺灣原始觀音座蓮根內菌絲 (H)、囊泡 (V)及叢枝體 (A)。

Fig. 4. Intraradical hyphae (H), vesicles (V) and arbuscules (A) in roots of *Archangiopteris somai* in Wulai.

討 論

Boullard (1957) 曾系統性對 420 種蕨類進行菌根菌的調查，結果發現除了田字草科 (Marsileaceae)、槐葉蘋科 (Salviniaceae) 及水韭科 (Isoetaceae) 等水生蕨類外，其餘的蕨類植物均在根部觀察到菌根的構造。Berch 與 Kendrick (1982) 於加拿大安大略省 (Ontario) 南部進行蕨類植物的叢枝菌根調查，結果發現在擬蕨類並無發現叢枝菌根，而在真蕨 (Filicineae) 中所有的厚囊蕨類均發現叢枝菌根。然而，在 Gemma 等 (1992) 於夏威夷調查了 89 種蕨類植物根部的菌根菌，發現其中有 66 種蕨類植物形成菌根，這些蕨類大多屬於薄囊蕨類中的蚌殼蕨科 (Dicksoniaceae)、鱗毛蕨科 (Dryopteridaceae) 與陵齒蕨科 (Lindsaeaceae)，在厚囊蕨中發現菌根的比例反而不高。由這些調查結果顯示蕨類植物在不同的地區與叢枝菌根菌共生的狀

況並不一致。

Zhao (2000) 針對雲南 256 種蕨類進行菌根菌調查。調查結果與 Berch 與 Kendrick (1982) 的研究大致相同，研究人員發現那些俱有肥厚、肉質且少分叉及鬚根的蕨類通常都會形成叢枝菌根，尤其在厚囊蕨類更是明顯。相對而言，那些俱有木質化根部、鬚根叢生的蕨類則較少發現形成叢枝菌根。Zhao (2000) 並將所調查的真蕨物種依 Bower (1959) 提出之孢子囊形成與成熟的方式所歸納出之演化順序來進行分析，發現蕨類植物有隨著演化進行的方向，由最初的絕對共生演化到非絕對性共生，再到不需要共生的現象。

Zhao (2000) 於雲南的調查中發現，蕨類植物形成叢枝菌根的比例較被子植物低。而在蕨類植物中，厚囊蕨類 (eusporangiates) 比起擬蕨類 (fern-allies) 及薄囊蕨類 (leptosporangiates) 有較高的比例會形成叢枝菌根。從藉由與真菌共生的營生方式來看真蕨

類的演化趨勢，研究人員認為二者間的關係由絕對共生到功能性共生再到無共生的狀態。

於本研究中，經由染根發現生長於 2 處不同生育地的原始觀音座蓮，均有很高的根內菌絲感染率，平均達 80%，這與 Zhao (2000) 的研究結果相符。而土壤分析的結果顯示 2 處樣區土壤中的有效磷含量均偏低，由於酸性土壤中磷容易被固定，被固定之磷素，有效性甚低，不易為植物所利用，若無其它物質協助其運移，則磷在土壤之循環極為緩慢，甚或停止(陳明義等 1989)。在熱帶和亞熱帶地區，磷往往成為植物生長、發育之限制因子(林昭遠 1997)。而具有叢枝菌根菌的植物，對磷的吸收速率常較無菌根者為高(陳健忠及張喜寧 1997)。Koide (1991) 之研究亦指出，菌根菌感染植物後能改善植物體內磷缺乏的狀況，也提升了磷的利用率，因此可提高植物在養分競爭之能力，對林木之存活、生長都具有正面之影響。

隨著演化的進行，叢枝菌根仍然被保留在較原始的厚囊蕨類植物中，因此當進行台灣原始觀音座蓮之復育研究時，其與叢枝菌根菌共生之相關生物學因子就必須一併納入考量。

引用文獻

- 吳兆洪、秦仁昌。1991。中國蕨類植物科屬誌。科學出版社，北京。
- 林昭遠。1997。瑞芳地區草地演替停滯因素之探討。中興大學實驗林研究彙刊 19(1)：63-77。
- 陳明義、呂金誠、林昭遠。1989。野火對惠蓀林場杜鵑嶺植群之初期影響。中興大學實驗林森林系所研究報告 10：11-28。
- 陳健忠、張喜寧。1997。叢枝菌根對寄主植物磷吸收之影響。中國園藝 43(3): 175-181。
- 蔡進來。1992。台灣蕨類之資源與研究狀況，87-99 頁。彭鏡毅編，台灣生物資源調查及資訊管理研習會論文集，中央研究院植物研究所專刊第十一期。
- 謝萬權。1981。蕨類植物。國立中興大學植物系。台中。258 頁。
- Berch, S. M. and B. Kendrick. 1982. Vesicular-arbuscular mycorrhizae of southern Ontario ferns and fern-allies. *Mycologia* 74: 769-776.
- Boullard, B. 1957. La mycotrophie chez les Pteridophyte. Sa frequence. Ses caracteres. Sa signification. *Botaniste* 41: 5-15.
- Bower, F. O. 1959. The origin of a land flora – a theory based upon the facts of alternation. Hafner, New York, pp 653-657.
- Butler, E. J. 1939. The occurrences and systematic position of the vesicular-arbuscular type of mycorrhizal fungi. *Transactions of the British Mycological Society* 22: 274-301.
- Dangeard, P. A. 1896. Une maladie du peuplier dans l'ouest de la France. *Botaniste* 5: 38-43.
- 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.
- 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 haymeadows of northern England and Wales. *Soil Biology and Biochemistry* 32:

253-263.

- Gemma, J. N., R. E. Koske and T. Flynn. 1992. Mycorrhizae in Hawaiian pteridophytes: occurrence and evolutionary significance. *American Journal of Botany* 79: 843-852.
- Gerdemann, J. W. and J. M. Trappe. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoir* 5: 76.
- Hass, H., T. N. Taylor and W. Remy. 1994. Fungi from the lower Devonian Rhynie chert: mycoparasitism. *American Journal of Botany* 81: 29-37.
- Hodge, A. 2000. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. *FEMS Microbiology Ecology* 32: 91-96.
- Koide, R. T. 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytologist* 117: 365-386.
- Koske, R. E. and B. Tessier. 1983. A convenient, permanent slide mounting medium. *Newsletter Mycological Society of America* 34: 59.
- Koske, R. E. and J. N. Gemma. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycology research* 92 (4): 486-505.
- Mcgonigle, T. P., M. H. Miller, D. G. Evans, G. L. Fairchild and J. A. Swan (1990) A new method which give an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New phytologist* 115: 495-501.
- Reinhardt, D. 2007. Programming good relations-development of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology* 10: 98-105.
- Remy, W., T. N. Taylor, H. Hass and H. Kerp. 1994. Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91: 11841-11843.
- Schenck, N. C. and Y. Perez. 1990. *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi*. INVAM, Gainesville. Florida.
- West, C. 1916. *Stigeosporium marattiacearum*, gen. et sp. nov. *Annals of Botany* 30 (2): 357-357.
- Zhao, Z. W. 2000. The arbuscular mycorrhizas of pteridophytes in Yunnan, southwest China: evolutionary interpretations. *Mycorrhiza* 10: 145-149.