囊叢枝內生菌根菌應用技術手冊

Technical manual of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi

吳繼光　林素禎　合編

Edited by Chi-Guang Wu and Su-Chen Lin

臺灣省農業試驗所　印行

行政院農業委員會　資助

Published by

Taiwan Agricultural Research Institute

This publication was financially supported by Council of Agriculture, Exective Yuan, Taiwan, R.O.C.

1998

囊叢枝內生菌根菌應用技術手冊

Technical manual of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi

吳繼光　林素禎　合編

Edited by Chi-Guang Wu and Su-Chen Lin

臺灣省農業試驗所　印行

行政院農業委員會　資助

Published by

Taiwan Agricultural Research Institute

This publication was financially supported by Council of Agriculture, Exective Yuan, Taiwan, R.O.C.

1998

封面圖片　叢枝菌根菌孢子(*Glomus* sp.)

囊叢枝內生菌根菌應用技術手冊

Technical manual of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi

目　　錄

1. 貢獻者…… I
2. 誌謝…… II
3. 永續農業發展政策…… 1
4. 日本生物肥料之研發策略與製劑管理…… 23
5. 叢枝內生菌根菌在台灣及東南亞的研究現況及其市場潛力…… 35
6. 台灣內生菌目及繡球菌目之分類學研究…… 41
7. 叢枝內生菌根菌之形態學…… 59
8. 叢枝內生菌根菌在臺灣代表性農地與坡地之分布…… 63
9. 生態環境因子與叢枝菌根形成之關係…… 85
10. 叢枝內生菌根菌孢子分離技術……105
11. 叢枝內生菌根菌生產技術……109
12. 磷酸根離子對囊叢枝內生菌根菌孢子發芽與菌絲生長之影響……119
13. 叢枝內生菌根菌與農藥施用的互動關係……131
14. 叢枝內生菌根菌應用技術……139
15. 叢枝內生菌根染色技術……155
16. 叢枝內生菌根感染長度之測定……157
17. 國際菌根菌種原中心(INVAM) 簡介……159
18. 參考資料……165
19. 附錄1：有效菌種名錄 ……179
20. 附錄2：國際菌根菌種原中心主任Dr. Joe Morton 訪華報告……191
21. 圖片說明……193

貢獻者:

張淑賢　行政院農業委員會國際合作科
臺北市南海路37號

張喜寧　國立臺灣大學園藝系
臺北市10764羅斯福路四段1號

楊秋忠　國立中興大學土壤環境科學系
臺中市國光路250號

趙震慶　國立中興大學土壤環境科學系
臺中市國光路250號

王均琍　國立屏東科技大學農園技術系
屏東縣內埔鄉老埤村學府路1號

林俊義　臺灣省農業試驗所
臺中縣霧峰鄉中正路189號

程永雄　臺灣省農業試驗所嘉義試驗分所
嘉義市600民權路2號

黃山內　臺南區農業改良場
臺南市70125林森路一段350號

徐華盛　桃園區農業改良場土壤肥料股
桃園縣新屋鄉32709後庄村16號

吳繼光　臺灣省農業試驗所農化系土壤微生物室
臺中縣霧峰鄉中正路189號

林素禎　臺灣省農業試驗所農化系土壤微生物室
臺中縣霧峰鄉中正路189號

誌　謝

我國在囊叢枝內生菌根菌的推廣工作已進行十年有餘，其間經由黃山內場長、張淑賢科長、程永雄分所長及張喜寧教授等的積極推動，使得我國在菌根菌的研究工作上深獲國內外的肯定，並應邀赴國外演講。由於囊叢枝內生菌根菌對作物，尤其是瓜類的生長，深獲農友的肯定，臺灣省農業試驗所於民國八十五年六月一日辦理技術轉移給臺灣生研股份有限公司及磊鉅實業股份有限公司進行商業化生產。希望能透過工業界的生產菌種，使得更多的農民能更方便取得並予以應用。又為能讓農友及各農業改良場所的研究人員認識菌根菌的好處與使用技術，臺灣省農業試驗所接受行政院農委會與中華民國永續農業協會之委託，於民國八十六年及八十七年相繼舉辦了三次的訓練班。參加的學員逾150 名(圖2-4)。囊叢枝內生菌根菌的使用有別於傳統的化學肥料。使用化學肥料，農友可就所種作物及地區參考施肥手冊，找出適當的用量，並參考作物的生長勢予以適量的施肥。但是囊叢枝內生菌根菌為具有活性的菌體，所以在使用上需考量較多的因素。諸如化學肥料或有機堆肥的施用量，土壤的酸鹼度，有效磷的含量，作物對磷肥的需求量，以及菌根菌本身的有效性等。本應用手冊是第一本集合我國各界研究菌根菌的重要成果所累積的心得，提供各界在田間運用上的參考。在此要特別感謝農委及國科會在過去十年來的支持與各農業改良單位不眠不休的推動菌根菌的應用研究。

本研究要感謝行政院國家科學委員會(NSC 82-0409-B-055-013，NSC 83- 0409 -B-055-008，NSC 84-2321-B-055-001，NSC 85-2321-B-055-003，NSC 86-2313- B-005-001)，以及行政院農業委員會計畫(82AST-2.4-FAD-22，83AST-2.6-FAD- 57，84AST-2.6-FAD-16，85AST- 1.7-FAD-22，86AST-1.7-FAD-23，87AST- 1.1-FAD-17) 歷年來研究經費的支持。

編者

吳繼光

林素禎

一九九八年六月

永續農業發展政策

摘　要

第二次世界大戰以後，為因應人口急速增加之糧需求及賺取外匯，國內把農業發展列為國家經濟建設之最優先考慮，積極發展農業，以培養工業。但是由於科技的發達，現代農法施用過量的科技產品如化學肥料及農藥等，因此不知不覺污染我們的空氣、土壤及河流，同時所生產的糧食，亦日益深受污染的威脅。為全人類幸福著想，現代農耕法需要調整，使農產品減少污染的機會，使農業能永續發展下去。有鑒於此，近年來世界各國迫切需要建立，不依靠化學肥料及化學農藥及能源低投入的農業生產體系。如此就可以減少成本，產量也可保持穩定，並提高收益，同時減少對環境生態之衝擊問題。

近年來由於國內經濟快速成長，並逐漸採行經濟國際化，貿易自由化政策，使部分國產農產品之市場競爭力衰退，而造成滯銷問題。加以環保意識抬頭，國內外許多有識之士倡導有機農業，即儘量使用可以再生，再利用之有機物為生產資材，避免使用化學肥料及農藥，以兼顧農業生產與生態保育。有鑑於此，行政院農業委員會自民國七十八年起規劃中、長程計畫，以探討有機農業之可行性，該計畫亦由高雄、台南、台中、台東等區農業改良場及茶業改良配合辦理，為期六年。結果顯示，有機農法之有機肥料售價偏高，病蟲及雜草控制困難，其經濟效益尚待考驗，惟部分農民已將有機農法應用於稻米，水果等之生產。此外在生物肥料利用及非農藥之病蟲害防治等技術開發，均已有成功之實例。如毛豆接種根瘤菌、菌根菌在瓜類育苗上之應用、赤眼寄生蜂應用於玉米螟防治等，均有顯著成效。

展望未來，促進農作物增產已不再是農政單位施政之主要目標，因而農作物複種指數將逐年向下調整，使農地有更多休閒時間用以種植綠肥作物，維護土壤肥力。在農業生產方面，應儘量採取適地適作的策略，應用土壤及植物體分析診斷，施用必須之肥料種類與數量，並改進施肥方法，以避免不當使用肥料所造成污染問題之發生。此外，宜加強輪作制度之研究與推廣，以減少病蟲及雜草之為害。

前　言

臺灣農業一向為小農經營制度，在化學肥料、農藥及殺草劑未引進以前，農民多利用自製堆廄肥或種植綠肥作物做為肥料來源，並以物理或機械方式防除病蟲害而達到穩定生產之目的。此種方式增產效果有限，因此無法滿足人口迅速增加之需求。政府為增加糧食供應，在民國40～50年間，採行增產措施，利用現代化科技，如加速品種改良、改進生產技術並大量使用化學肥料、農藥甚至殺草劑，而達成了增產目標，使各種糧食及蔬果等民生必需品得以充份供應，但這些過度採用化學肥料、農藥之生產方式可能造成部份土壤酸化及鹽分累積、土壤及河川遭受污染、農產品農藥殘留影響消費者健康問題。為了挽救這些可能造成之危機，

使有限的水土資源得以永續利用，政府近年來已開始重視並倡導農業生產與生態環境相互調和之農業經營理念，積極利用現代科學技術，如減少或甚至不用化學肥料及農藥、採用有機質肥料、非農藥防治病蟲害技術、循環利用農業廢棄物、實施合理輪作制度，使農業生產兼顧了利潤與農業自然環境之維護、產品之安全性，達成農業永續發展之目標。

臺灣永續農業發展現況

㈠永續農業之定義

永續農業之定義在整個農業生產體系，需作一明確之解釋以免觀念模糊不清。狹義之定義為不使用化學肥料、農藥、生長調節劑及飼料添加物之生產方式即稱為永續農業；但廣義之定義中則為兼顧農民利益，並能建立農業自然生態體系使環境所受衝擊減為最小者。故永續農業之涵義包括 (1)維護自然生態環境，(2)維持土壤之生產力及其易耕性，以充份供給作物之養份，(3)以輪作方式，施用作物殘渣、家畜糞尿、豆科植物綠肥、有機性廢棄物及含有無機養份之岩石，(4) 用機耕法來防治各種雜草及作物病蟲害。換言之，有機農業為尊重自然之農耕法，植物為土壤所培養者，以土壤為所有生物生命之泉源之生態系與土壤之關係為中心之農業。

㈡永續農業發展之背景與經過

行政院農業委員會在1986年邀請專家評估臺灣實施有機農業之可行性，認為技術上可行性很高，遂於1987年由中興大學主持，在高雄、臺南改良場以二種輪作系統，三種耕作法即有機農法、慣行農法及折衷農法進行有機農法之可行性研究，針對作物產量、病蟲害發生情況、雜草控制、土壤理化性之變化及經濟效益進行長期分析，目前進行至第七年。次年臺中場、茶改場、畜試所參加該項研究計畫，後來臺東場、花蓮場也加入該計畫。

1987年中華民國農學團體聯合年會上，學者專家聯合提案建議請政府重視環境生態之平衡並積極推動有機農業，該建議案獲得共識與支持。

1988年10月27～29日臺中區農改場首次召開「有機農業研討會」，會中就各國有機農業實施現況，有機農產品之產銷情況，本省農業生產對環境、土壤、肥料及耕作制度等問題之影響詳加研討並有專集出版。

1992年農委會將「永續性農業之研究與發展」列入國家建設研究會主要討論項目之一，並做為今後積極推動之施政目標。在臺灣省政府農林廳所推行的「臺灣省地區農業發展方案」中亦把有機農業列入施政措施項目之一，並於1993年 4 月 8～10日在台中區農改場召開『永續農業研討會』，會中針對堆肥製作、病蟲害非農藥防治及行銷經營等事項，進行研討，並有專集出版。在民國84年要推行的「臺灣省農業建設方案」亦把加強生態保育，發展永續農業列入之主要施政措施之一。

1993年中華永續農業協會成立，並為世界永續農業協會臺灣分會。1994年11月23～25日，農委會、農林廳、中華永續農業協會、臺中區農業改良場及國際美育自然生態基金會在國立中興大學國際會議廳聯合舉辦永續農業研究與推廣之進展。研討會並就土壤培育、堆肥與廢棄物之利用、作物之永續經營、作物病蟲害之綜合防治、有機農法實務經驗及自然農法實施、

推廣及產銷之事項進行研討，會中除國內從事有機農業之學者外，並邀請日本專家加入研討，會後並有專集出刊。此外永續農業協會為更進一步落實永續農業之推廣工作，於1994年11月28日至12月2日假台中區農改場舉辦『永續農業經營講習訓練』，將永續農業之理念及永續農業之生產技術推廣給農民使用。

㈢政府發展永續農業之策略

1.保育水土資源：合理利用水、土資源，加強造林及水土保持，維護水、土資源免受污染。

2.建立合理輪作制度，維護土壤生產力：配合稻田轉作，建立有效之水旱田輪作制度，適度降低複作指數，獎勵休耕及休閒期種植綠肥，應用作物殘株、綠肥、堆肥及化學改良方法，改進並維護土壤生產力。

3.改進施肥技術：選育肥料利用率高之作物品種，改進施肥技術，並推廣應用土壤及葉片分析營養診斷技術，發展合理施肥技術，提高肥料效率。

4.開發生物性及有機質肥料，以減少或取代化學肥料施用，並保持土壤肥力。

5.循環利用農業廢棄物：嚴格規定農業廢棄物之回收處理，以獎勵有機肥料製造及循環利用避免環境污染。

6.開發替代化學製劑之病蟲害及雜草防治技術：包括物理、耕作及生物防治等方法：如抗病蟲育種、健康種苗繁殖、害蟲誘引及忌避技術、應用天敵及微生物方法、植物相剋、簡易除草道具、輪作體系及混合栽培等方法，以減少或避免化學農藥之使用。

7.加速釐定各類作物病蟲害防治之綜合防治方案。

8.加速應用生物技術於抗病蟲育種、生物性肥料及農藥之開發及農畜產廢棄物處理等之研究。

9.輔導有機農產品之產銷：規範有機農業生產條件並建立有機農產品認證制度，教育消費者選用安全衛生之有機產品。

㈣永續農業研究發展

1.有機農業可行性研究

根據高雄場六年試驗結果顯示有機農法之產量受作物種類與種植季節影響有高低。一般而言需氮肥量大、生育期間較短之作物如秋作之甘藍、蘿蔔、甜玉米、有機農法較慣行農法減產21.2％、25.0％及 6.0％之間；但有機農法春作甜玉米則較慣行農法增產9.5％。需氮肥量少之毛豆，於秋作水稻後作有機法增產25.2％。夏作水稻有機農法於前二輪迴顯著減產但第三輪迴時則與慣行法相近。

比較有機農法與慣行農法之生產成本結構，由於有機質肥料成本及工資偏高，有機農法總生產成本比慣行法高2.0～4.2倍，由於產量較低，成本又偏高，有機農法之年收益變為負值。

供試作物在有機農法管理下，主要病蟲害之危害率比慣行農法高出 2倍以上。春植者比秋植者稍重，蔬菜類又比農藝作物類嚴重。惟各作物除偶有嚴重發生外，其他尚不致達到無法控制之程度。雜草控制方面有機農法通常雜草數高於慣行法1.5～3.6倍，不過有機區可產生較多量水苔層具抑制雜草生長效果可配合田間水位，控制雜草。

有機農法農產品品質比慣行農法略優，如甘藍、蘿蔔與毛豆之品味，甜玉米之甜度及稻米之完整米粒等均比慣行農法表現稍佳，但產品外觀較慣行農法為差。

有機農法區平均每年施用30餘噸堆肥，其所含磷、鉀、鈣、鎂總量高於慣行農法者，故在有機農法實施六年後，土壤中Bray法有效性磷含量、交換性鉀、鈣、鎂含量均較慣行農法增加；土壤有機質含量亦逐年增加，保持土壤水份能力增加，團粒安定度提高，土壤總體密度較低，孔隙率則無顯著差異。整體而言，永續性農耕法連續實施六年後對氮以外之養分供應及土壤性質之改善均有效果而有利於地力之維持。

2.生物肥料之開發與應用

微生物肥料種類甚多，依功能可區分為固氮，增進溶解無效性營養，增進營養吸收、根系生長及有機物分解，改善土壤理化性解毒，增進植物耐抗性，保護根系等等菌類。近年國內開發成功之生物肥料有毛豆根瘤菌由單一菌種發展到目前的複合菌種，已在高屏地區做大面積的推廣，成效顯著。溶磷菌及菌根菌都已完成分離及篩選工作，正進行洋香瓜、花卉、蔬菜之推廣試驗中。經濟豆科作物之根瘤菌之試驗已有結果並將進入推廣階段。

3.非農藥方法防治作物病蟲害技術

作物病害非農藥防治目前在臺灣推廣的有生物防治、土壤添加物防治、抗病育種、無病毒種苗或種薯、交叉保護、甲硫氨酸與核黃素防治瓜類白粉病、「中興一百」防治韭菜銹病及利用絲瓜抗病根砧防治苦瓜萎凋病等。在作物蟲害非農藥防治方面有生物防治、抗蟲育種、昆蟲性費洛蒙應用、黃色粘板誘引害蟲、不孕性昆蟲技術及滅雄處理技術防治東方果實蠅、寶特瓶防治葡萄園扁蝸牛及溫水處理種球防治根蟎等。

4.農產品安全用藥之推廣

農林廳為了推廣農民正確之使用農藥，以保護農作物，及並避免農產品受到農藥殘留，設計農產品安全用藥之標章（吉園圃），於1994年七月開始推廣，此吉園圃之推廣以農林廳輔導所組之產銷班為推廣重點，希望以全體之力量互相鼓勵及監督，目前經輔導及檢測合格者，約為100班。

㈤永續農業示範推廣

1.土壤改良與合理化施肥技術推廣

臺灣強酸性土壤面積廣布，有三分之一耕地土壤之pH值在5.5以下，將限制豆類、蔬、果等作物生產，因此政府推廣施用矽酸爐渣、石灰石粉等石灰資材予以改良，以增進土壤生產力，每年推廣一萬兩千多公頃。另為輔導農民合理施肥，矯正土壤與作物營養缺失並避免不必要之施肥浪費與污染，在十種果作及茶樹推廣應用土壤與葉片營養診斷技術訂定經濟合理施肥種類與用量，每年辦理五千件以上。

2.有機質肥料之使用推廣

臺灣地處熱帶及亞熱帶，高溫多濕，微生物活動大，致使土壤中有機質的轉換率(Turnover rate)高，約為溫寒帶地區的4倍，因此土壤中有機質不易累積，根據農試所調查本省農田土壤肥力測定報告指出全省耕地土壤有機質含量在2％(屬含量低)以下者約佔65％，因此可見本省耕地有機質含量偏低。另一方面，本省每年有大量農牧業有機

廢棄物產出，亟需妥善處理，做成堆肥，回歸農田，以循環利用養分、增進土壤生產力並防止污染。政府有鑑於此，行政院農委會及農林廳遂於1989年開始辦理有機質肥料之使用推廣計畫，從1990～1994五年來共有小面積(每處0.3公頃)示範206處，大面積示範分為長期作物及短期作物，每10公頃一處，短期作物共395處，施用有機質肥料面積3950公頃，長期作物548處施用有機質肥料面積5480公頃，短期作物種類有西瓜、牛蒡、花生、茄子、水稻、甜玉米、冬瓜、紫蘇、草莓等，長期作物有楊桃、木瓜、柚子、文旦、柑橘、葡萄、枇杷、茶樹、龍眼、竹筍、荔技、梅、蘆筍、蓮霧、芒果、棗子、柿子、番石榴、水蜜桃、番荔技、百香果、破布子等，有機質肥料之用量長期作物為每公頃施用8000公斤，短期作物為4000公斤。

3.綠肥作物之栽培與推廣

栽培綠肥作物是維護農田地力最經濟措施之一，政府為兼顧農業生產及地力維護，積極鼓勵農民利用農田休閒期或休耕期間栽培綠肥作物，除可減少後作施氮量外，兼具綠化或美化鄉村景觀，充裕冬季蜜源及疏減冬季蔬菜生產過剩之壓力。因此，農林廳、區改良場及各縣市政府，在農林廳之籌劃下從1990年以來補助綠肥種子，而逐年擴大綠肥栽培面積（表一）。

表一　近年來本省綠肥栽培面積(公頃)

綠肥種類	年度					合計
	1991	1992	1993	1994	1995	
田菁	1670	3886	7431	9900	8740	31627
油菜	7700	9000	16231	26846	33990	93767
埃及三葉草	600	2850	4846	9060	10490	27846
苕子			925	4348	650	11323
合計	9970	15736	29433	50154	59270	164563

五年來田菁栽培面積以臺南縣17,250公頃最多，次為嘉義縣10,148公頃，二縣合計栽培面積為27,398公頃，佔田菁栽培總面積之87％左右，油菜則以雲林縣39,280公頃為最多，臺中縣23,540公頃次之，彰化縣12,416公頃，三縣合計有75,236公頃佔油菜栽培面積之80％，埃及三葉草栽培面積以苗栗縣20,600公頃為最多，彰化縣5,706公頃次之，二縣合計26,306公頃佔埃及三葉草栽培面積94％強，苕子則以彰化縣栽培10,953公頃最多佔苕子栽培總面積94％左右。此四種綠肥作物除田菁雖是以夏作栽培為佳，但南部地區春作或秋作亦可栽培，其餘的油菜、埃及三葉草及苕子則為秋冬裡作農地休閒栽培之綠肥作物，高屏地區水稻－水稻－毛豆(或紅豆)之輪作區，因農地幾無休閒之時，因此無人栽培綠肥作物，但毛豆植株或紅豆殘體回歸田裡，對農地土壤有機質含量之增進極有幫助，但蓮霧園、香蕉園或檳榔園鼓勵農民於夏秋間種植田菁以防土壤表土因下豪雨

沖蝕實值得探討。

4.生物肥料使用推廣

生物肥料是指一些有益的活微生物接種於種子或施用於幼苗、土壤或分解物上，所以可稱為接種劑，生物肥料種類很多，不外乎與營養元素的來源與有效性有關，或作物吸收營養能力及抗病有關。在本省生物肥料較有具體成果的有大豆根瘤菌及內生菌根菌，前者接種於毛豆可使毛豆植株主根之根瘤數及根瘤重明顯增加，因此，吸收及固定空氣中游離氮素之效力大幅提高。在同施等量肥料之情況下有接種大豆根瘤菌者較無接種者可增加根瘤數 10% 以上，根瘤重則增加有14.2%之多，合格莢產量亦可增加12%以上，從1988年春開始生物肥料使用推廣以來，共接種有17,002公頃，茲將七年來毛豆接種大豆根瘤菌之面積及收益情形（表二）。

表二　歷年來毛豆接種大豆根瘤菌之面積及收益情形比較表

年別	期作別	接種面積（公頃）	接種區較農民慣行施肥區增加收益（元／公頃）	接種大豆根瘤菌總收益(元)
1988	春	112	13, 790	1, 544, 480
	秋	760	13, 861	10, 534, 360
1989	春	610	14, 429	8, 801, 690
	秋	1, 220	15, 635	19, 074, 700
1990	春	830	13, 510	11, 213, 300
	秋	1, 840	13, 795	25, 382, 800
1991	春	1, 210	13, 729	16, 609, 670
	秋	1, 890	8, 750	16, 537, 500
1992	春	1, 580	9, 175	14, 496, 500
	秋	1, 930	5, 019	9, 686, 670
1993	春	1, 550	4, 338	6, 723, 900
	秋	1, 980	5, 438	10, 767, 240
1994	春	1, 510	6, 781	10, 239, 310
合	計	17, 002		161, 612, 120

內生菌根菌方面已實際應用於洋香瓜及西瓜之育苗，將內生菌根菌與育苗之介質或泥土混合置於穴盤或育苗袋上，有助於幼苗之成活率且瓜苗健旺根部發育佳，可提早一星期採收，果實品質顯著提高，同時磷肥之施用量亦較不接種菌根菌之處理減少一半以上，生產成本因而降低，每公頃增加收益約 200,000元，1992～1995推廣接種菌根菌面積洋香瓜1415公頃、西瓜 270公頃、苦瓜20公頃，共計1705公頃。

5.有機農業可行性之觀察及經營示範

有機農業經營是一種講求運用現有生物科技，自然生態法則，祛除或儘量少用合成肥料及農藥，以期維護地球環境品質，確保農業持久生產力，為了使有機農業經營示範工作更落實，因此採取如下措施(1)．輔導農民設置簡易堆肥舍，利用自產或鄰近之農畜產有機廢棄物製造堆肥自給自足供農場使用，(2)．輪作中栽培豆科作物或綠肥替代化學肥料之使用(3)．配合生物防治及輪作制度，祛除或儘量少用合成性肥料及農藥，以生產健康自然農業產品並兼顧生態保育之平衡。二年來在全省各區共輔導農民設置簡易堆肥舍1,100坪，作物栽培面積159公頃，作物種類包括有柑桔、水蜜桃、楊桃、梨、荔枝、芒果、文旦、木瓜、鳳梨、茶樹、甜桃、薏苡、水稻、蔬菜，期盼得以逐年擴大栽培面積，使產品能大量供應於市場，供消費者享用。農林廳更預定在1995年7月起擴大有機農業經營示範工作，推廣作物及面積（表三）。

6.農牧廢棄物處理之推廣

目前本省農牧廢棄物主要是以畜產廢棄物佔最大宗，全年總產量近1,500萬公噸(根據鄭健雄、蔡宜峰1995年的概估)，其中以豬糞862萬公噸最多，雞糞508萬公噸次之；其次農產廢棄物全年總計約530萬公噸；菇類廢棄物全年亦有5萬公噸左右。以上這些廢棄物因大部份均未妥善處理，隨意棄置，造成農村生活環境嚴重污染。若從資源回收再利用的立場來看，這些農牧廢棄物大部份為有機質，為一寶貴資源，可回歸農田做為作物生產之有機質肥料，更可做為今後本省實施永續性農業時有機質肥料之主要來源。

近幾年來省農林廳為促進農牧廢棄資源的有效利用，達到農業之永續發展，大力推動地區農牧複合經營，透過「農地利用綜合規劃」的實施，將各地區所產之農牧廢棄資源有效共同處理與利用，相繼輔導設置「農牧廢棄資源處理中心」，目前已設廠生產有機質肥料之農牧廢棄資源處理中心包括台中縣新社鄉、雲林縣崙背鄉、嘉義縣中埔鄉、民雄鄉及台南縣佳里鎮等5處。

(1)崙背牛糞處理中心

該中心位於雲林縣崙背鄉，為本省農牧廢棄資源處理之先驅，民國73年成立迄今，民國84年社員合計46人。民國76年開始辦理農地利用綜合規劃實施計劃，籌設崙背牛糞處理中心，78年正式運轉，79年「崙背牛糞」有機肥料問世。

牛糞處理中心，主要原料以社員飼養之乳牛牛糞為主，目前處理場土地面積1.5公頃左右，處理過程大都以全自動機械操作，現場工作人員則僅負責包裝作業部份。目前該中心每天生產5噸有機質肥料，成品包裝為每包25公斤，平均一天生產200包，年產量約70,000包。

(2)佳里農牧廢棄資源處理中心

該中心位於台南縣佳里鎮，為本省農民共同經營班創設農牧廢棄資源共同處理利用之先例，係由佳里鎮後庄區段農牧共同經營班班員16人共同組成，成立宗旨為解決鄰近鄉鎮及班員所飼養乳牛和菇類生產所產生之廢棄物，造成農村環境嚴重污染問題，並希望將腐朽化為神奇，幫助農地恢復生機，遂於民國八十年辦理，民國83年7月正式運轉，開始生產「佳興牌」高級有機質肥料。

表三　農林廳舉辦之有機農業經營的地區、作物及面積

場所	作物別	面積(公頃)	地點
桃園區農業改良場	水稻	1.0	中壢
	蔬菜（葉菜類）	4.0	桃園、中壢、平鎮、楊梅
	果樹（楊桃、桶柑）	3.0	寶山、卓蘭、峨嵋
台中區農業改良場	水稻	13.0	埤頭、草屯、后里
	蔬菜（葉菜類、草莓）	11.5	埤頭、福興、東勢、新社、國姓
	果樹（楊桃、葡萄、蕃石榴、桃、枇杷）	16.0	員林、大村、新社、社頭、溪洲、東勢、太平
台南區農業改良場	水稻	6.0	莿桐、柳營、虎尾、西螺
	蔬菜（葉菜類）	8.5	西螺、新港、白河、七股、朴子、鹽水
	果樹（文旦、椪柑、柳橙、木瓜）	11.0	古坑、竹崎、山上、玉井
高雄區農業改良場	水稻	1.0	美濃
	蔬菜（葉菜類）	1.6	屏東、澎湖
	果樹（印度棗、蓮霧）	10.0	鹽埔
花蓮區農業改良場	水稻	22.0	富里、玉里
	蔬菜（葉菜類）	0.1	花蓮
	果樹（文旦）	3.0	瑞穗、玉里
台東區農業改良場	水稻	3.0	池上、關山
	果樹（番荔枝）	2.0	大麻里
鳳山園藝試驗分所	果樹（木瓜）	10.0	高樹、旗山、杉林
茶業改良場	茶樹	5.0	楊梅、龍潭、苗栗

中心主要原料為菇類木屑廢包、雞糞、牛糞及蔗渣、米糠，其中菇類太空包廢料免費外，雞糞、牛糞均由處理中心，處理中心佔地約1.5公頃，採半自動作業進行醱酵及翻堆，每星期翻堆一次，均以人工操作機械進行翻堆，每天最大生產量可達25噸，因礙於銷售網未打開，致目前每天僅生產10噸成品，約400包(每包30公斤)。

(3)中埔鄉農牧廢棄資源處理中心

該中心位於嘉義縣中埔鄉社口區，此區為本省重要菇類栽培專業區，產有鮑魚菇、木耳、芹耳、靈芝等菇類為主，於民國81年由經營班班員共同投資設置此處理中心(佔地 1.5公頃)，以回收木屑太空包廢包再添加雞糞、花生粕等原料處理，生產高級有機質肥料並經全體班員一致同意命名為「濟公牌」有機肥料 (1號肥)。

處理中心主要原料來自班員所生產之木耳、鮑魚菇、芹耳等廢包，由班員自行將廢包載送至處理場後，該中心目前產品「濟公牌」1號肥及2號肥 (83年11月開發上市 2號肥) 二種，83年生產28,000包，平均每天 800包，自81年建廠生產至84年業績成長3倍左右。

(4)嘉義縣豬糞有機堆肥集中處理中心

該中心設於嘉義縣民雄西昌村，為嘉義縣農會所經營之農牧廢棄處理中心，中心主要原料來源為嘉義縣養豬場及部份雲林縣養豬場之固形廢棄物，其次為太空包廢棄物 (以嘉義縣境為主要收集區)。

(5)新社鄉農牧廢棄資源處理中心

該中心位於台中縣新社鄉中和區，附屬於中興合作農場，此農場自民國62年成立，為一具歷史性之農場，民國79年配合政府「農地利用綜合規劃計劃」投資籌設現代化農牧廢棄資源處理中心，目的為有效解決該鄉香菇廢包之環境污染，並改良土壤，增進地力進而推動地區農牧複合經營，發展永續農業。民國80 年農牧廢棄處理中心落成啟用，處理中心主要原料為新社鄉一帶之香菇太空包廢包，有機肥料每月最大產能約2萬包(每包25公斤)，銷售主要以台中縣境最多。

永續農業生產技術

現就有關永續農業生產之一些技術略述如下：

㈠土壤培育

在自然界中養份是一種循環作用，但在農業生態系中，養份之循環會因農作物之收穫而損失，為了使農業能永續發展，如何使土壤減少流失、最小之氨的蒸發及減少硝化作用等；又如何增加氮肥如生物性之固氮及施用有機質肥料以增加地力。

(I) 堆肥材料之來源

本省之堆肥材料之來源主要有豬糞、都市廢棄物、稻草、甘蔗葉、玉米稈、禽畜糞、果菜市場廢棄物及其它廢棄物（表四），這些物質是作為有機堆肥很好之材料。

(II)堆肥之製作

將有機廢棄物回歸于農田，已是現今消納有機廢棄物之重要方向之一。有機廢棄物經過適當處理以克服有毒重金屬及有機成分等限制因子後，不僅可以提供作物營養源，且有利於土壤的理化性及生物性之改善。有機質所含化合物成分在土壤中經過微生物之礦化作用釋出無機養分。但堆肥完熟之偵測過程中有下列方式：(1)有機質礦化潛力：有機質礦化潛力即可定義為有機質可利用性養分潛力(PAN, Potentially Available Nutrient)。有機質在土壤中礦化作用受到許多因子影響，如土壤特性(質地、結構、有機質

表四　台灣每年主要廢棄物之種類及數量

Kinds of organic wastes	Production(t/year)x 10^4
Hog manures	600
Municipal wastes	404
Rice straw	260
Manures from other animals	250
Sugarcane leaves	210
Rice hull	60
Wastes from food factories	60
Corn cob	20
Wastes from fruit/vegetable market	9
Bark wastes	5

含量等)、降雨量、土壤環境(溫度、水分、pH值)、有機質本身的特性、施用量及施用時期等。一般有機質必須礦質化後才能釋出養分供作物吸收, 其礦化釋出養分太早、或累積太多、或待作物生長旺期過後才釋出者, 對作物生長及土壤環境皆不利，因此要使有機質肥料有效性發揮最大，必須使有機質肥料的養分礦化速率與作物養分吸收速率互相配合，所以瞭解有機質肥料的礦化速率大小, 才能達到經濟且有效地使用有機質肥料。因此尋求合理迅速的分析方法以估算有機質肥料可利用性養分潛力及礦化速率之大小，將是有機廢棄物處理工作上極為重要的步驟之一。(2)微生物含量之測定:分析 ATP或被固定下來氮之含量來表示。綜合法微生物生質量化的方法有：有(i)消毒培養法(The fumigation-inoculation method) (ii)消毒萃取法(The fumigation-extraction method), (iii)基質誘導呼吸法(The substrate-induced respiration method) 測定生質氮(biomass N)(4)最簡便的方法是測定生質氮，也考量微生物質量的數學模式，以便預估基質與代謝物間的反應，以便預估反應速率及最後的微生物性質。許多堆肥中微生物不能以傳統方法測定，所以應用分子生物學技術測定微生物社會之變化可分析 DNA，測定DNA之重新結合或測定RNA以16S rRNA為探針。這種理論可用於區分混合培養或環境中微生物，此外，這種技巧可用於偵測未知的微生物或基因或不能培養之微生物。因此在有逐次生物反應進行之土壤或開放池溏中參予氮循環之微生物和堆肥中微生物均可用此法測出。

(III)堆肥的穩定化

在探討有機農業之利用中，應該注意堆肥腐熟及穩定化的問題。評估堆肥穩定化之參數極多，有些在描述醱酵過程中由微生物代謝反應所引起的物理性或生化性的變化，如溫度、臭味、吸收率、微生物相等。另外一類則偵測醱酵最終產物之堆肥特性評估指標，如碳氮比、陽離子交換能力等，則會因堆肥基質成份的不同而有所不同，因此，欲僅以一個參數作為堆肥穩定化的指標，實際上是不可能的，應針對不同來源或不同用途的堆肥，提出數個參數，互為補充參考，一起考量作為堆肥穩定化的判斷。即有關堆肥

穩定度的量測指標，沒有單一的參數可以正確的評估，因此確實的標出堆肥的原料、醱酵方式及建議施用的作物及施肥量，來作為管制堆肥品質的可靠方法。至於堆肥穩定度的評估，則必需有多個指標參數，理論上配合作物發芽率試驗，確定堆肥中不具有害物質為較可行的方法。但最簡單的方法是加水保溫後沒有臭味者，表示此為腐熟的堆肥。

(IV)有機質肥料之施用

為了減少化學肥料對土壤之破壞，作物生育期間氮肥之使用可以利用施用有機質肥料來加以補充，不同有機質肥料所含之氮肥比率不同，施用到田間之數量也就不同（表五）；不同的作物對有機肥料之需要量也不同，故必需依靠作物而使用適當量（表六）；適當的使用有機質肥料比使用化學肥料對於作物之生長更有促進的作用（表七、八、九）

表五　在台灣使用堆肥之施用量

Organic fertilizer	Common rate (tons/ha)
Common compost	10-30
Cattle manure	10-30
Municipal compost	10-20
Rice hull	10-20
Swine manure	5-10
Poultry manure with rice hull	4-12
Poultry manure	2-6
Soybean meal	1.5-3
Rice bran	1.5-3
Bone meal	0.5-1

表六　不同作物在不同時期中施用有機質肥料之用量

Table 6 The application stage and amount of organic fertilizers in different crops.

Crop	Application stage (month)	Application amount(t/ha)	Recommended rate(t/ha)
Grape	12-2	6.0	6.0-12.0
Tea plant	10-2	6.0	20.0-25.0
Ornamental plant	10-4	3.0	10.0-20.0
Pear	10-1	10.0	20.0
Citrus	12-2	9.0	20.0
Loquat	4-5	6.0	20.0
Mei (Janpanese apricot)	9-10	9.0	10.0-20.0
Guava	3-4	2.5	20.0
Pineapple	10-12	30.0	15.0
Ginger	10-12	40.0	20.0-30.0
Melon	1-3	3.5	10.0
Vegetable	1-4	3.5	10.0-20.0
Job's tears	1-2	3.0	12.0

Source: Chen and Tsai 1993

表七 施用有機質肥料對玫瑰生育之影響

Table 7 Effects of dairy compost on the cut-flower yield and quality of rose in Tienchung.

Treatment	Cut-flower yield no. x 10^3/ha	Index %	Ist-grade no. x 10^3/ha	2nd-grade no. x 10^3/ha	3rd-grade no. x 10^3/ha
Dairy-compost	168. 4	107. 9	77. 7 (46. 1%)	64. 3 (38. 2%)	26. 4 (15. 7%)
Chemical fertilizer	156. 1	100. 0	65. 1 (41. 8%)	62. 4 (39. 9%)	28. 6 (18. 3%)

Source: Tsai and Chen 1993

表八 施用有機質肥料對唐菖浦生育之影響

Table 8. Effects of dairy compost on the cut-flower yield and quality of gladiolus at Houlee.

Treatment	Cur-flower yield no. x 10^3/ha	Index %	Good-grade no. x 10^3/ha	Not good-grade no. x 10^3/ha
Dairy-compost	138. 8	109. 6	126. 6 (91. 2%)	12. 2 (8. 8%)
Chemical fertilizer	126. 7	100. 0	113. 3 (89. 4%)	13. 4 (10. 6%)

Source: Tsai and Chen 1993

表九 施用有機質肥料對玫瑰生育之影響

Table 9 Effects of dairy compost on the yield of bitter gourd at Tienchung.

Treatment	Yield(ton/ha)	Index(%)
Dairy-compost	35. 9	129. 5
Chemical fertilizer	27. 7	100. 0

Source: Tsai and Chen 1993

㈡病蟲害之非農藥防治

(I)病害非農藥防治

(1)生物防治

從自然界中篩選病原菌之拮抗菌，經人工大量培養後，將它施用於土壤中、作物根部、作物表面或種子上，可以達到病害防治的目的。這些拮抗菌原來已存在於該環境中，只是因數量不夠，未能有效抑制病原菌，若把其數量增加，且可以在自然界建立其族群，則可收到防治病害的效果。另有的拮抗菌原不存在於該環境中，必須以人

為方式引進施用。拮抗菌防治病害之作用因種類的不同而有所不同，有的只是和病原菌競爭營養，即所謂「競生」；有的是分泌抗生素抑制病菌的發芽與生長，即所謂「抗生」；有的則直接寄生於病原菌上，造成病菌的解體死亡，即所謂「重寄生」；另有的則是在作物表面上生長形成保護層，使病原菌無法造成感染。國內屏東農專植保科以木黴菌屬(*Trichoderma* sp.)拮抗菌在田間防治紅豆根腐病，於紅豆植穴中添加約1克之稻穀米糠拮抗菌培養物或以拮抗菌孢子懸浮液包覆紅豆種子上，顯著的增加了紅豆健康植株數14至56%，且每株產量也明顯增加。台大植物病蟲害系將菊花扦插苗以*Bacillus cereus*處理，菊花苗在雖有立枯絲核病菌存在的沙床中，仍然可以生長發育正常，甚至於比用殺菌劑及生長調節劑處理者呈顯著性差異（表十）。

表十　利用枯草桿菌防治菊花根腐病

Table 10 Effectiveness of Bacillus cereus to control chrysanthemum stem rot in filed[1]

Treatment[2]	Length of roots (cm)	Disease[3] index
CK	2.02b[4]	55.4a
B. cereus	3.54a	27.0b
Benomyl+ 0.1% NAA	3.05ab	34.1b

1. The population of *R. solani* in sand bed was 5 propagules/g soil. 1000 cuttings were used for each treatment.
2. CK, chrysanthemun cuttings were treated nothing;Bc and benomyl+0.1% NAA, cuttings were treated with powder-formulated *B. cereus* or benomyl+0.1% NAA.
3. Disease was rated as 0, healthy; 1, one lesion on stem or leaves;...; 4,damping-off or dead. Disease index was calculated as (disease rate × no. of plant in specific related disease catagory/4 × total tested cuttings) × 100%.
4. Data, followed by the same letter in the same column, were not significantly (p=0.05) different analyzed by Duncan's multiple range stest.
5. Reference of Wu (1992)

(2)土壤添加物防治土壤傳播性病害

以土壤添加物防治病害早有報導,但近年來才受到植病專家廣泛的注意和探討。土壤添加物可分有機物添加、無機物添加物或二者混合添加等。最常用的有機添加物如木屑、苜蓿粉、蔗渣、豆科植物、大麥、裸麥及堆肥等,其防病機制為促進土壤中有益微生物的繁殖，因而抑制病原菌的生長與繁殖；另外有機物被微生物分解後，可產生多種作物所需之養分,故能促進作物的生長，一舉兩得。無機物添加則必須研究分析土壤中缺乏何種無機物令作物較易得病，那麼適量添加該無機物到土壤內即可防

治該病害。中興大學植病系研製的S-H土壤添加物對蘿蔔黃葉病、西瓜蔓割病、芥菜根瘤病、胡瓜疫病（表十一）及豌豆根腐病防治效果卓著，頗受國際間重視。該系另一項研究以碳酸鈉及礦灰防治十字花科根瘤病，發現處理的土壤酸鹼值達7.1以上者，發病率只有1～9%。農業試驗所以AR-3土壤添加物防治百合白絹病，也獲良好成果。可見以土壤添加物來防治土傳性病害極具潛力（表十二）。

表十一　S-H土壤添加物對胡瓜立枯病之防治

Table 11　Effcet of S-H soil amandment in the control of damping-off cucumber.

Treatments	No. of oosporeslgisoil (% bait colonized)					Damping off(%)	Yeild (g/plant)
	0	10	20	30	40		
	Days after treatment						
CK1	123(98)	97(100)	68(100)	40(100)	40(100)	57a	33b
CK2	105(92)	76(100)	60(100)	35(100)	38(100)	89a	42b
Urea	112(92)	22(58)	5(58)	7(40)	3(25)	22b	129a
S-H mixture	98(90)	10(48)	10(48)	10(50)	7(50)	13b	121a

1. Significantly different at 5% level by Duncan's range test.
2. Ref: Lin, Y.S. and Lo, C.T. 1988.

表十二　土壤添加1%量苦茶渣對 AR3 防病之影響

Table 12 Effect of AR3 mixture and oil tea dreg on control of lily southern blight in greenhouse

Treatment[z]	Disease severity (%)[y]			
	6wk[x]	7wk	8wk	9wk
AR3	0	5.6	5.6	16.7cw
Oil tea dreg	22.2	44.4	75.0	91.7a
AR3+Oil tea dreg	0	16.7	27.8	50.0b
None (Check)	22.2	30.6	47.2	58.3b

[z] Soil contained 10 sclerotia per 100 cm^3 soil was amended with 1% (w/w) AR3 mixture and incubated for 7 days, then planting.

[y] Disease was divided into 5 scales,0=No yellow,1=1/4part of plant turns yellow, 2=1/2part of plant turns yellow, 3=3/4part of plant turns yellow, 4=plant wilts and dies.
Disease severity= Σ (scale × number of diseased plants at relative scale) /4 × total number of plants

[x] Weeks after planting.

[w] All values are means of four replicates, with 3 plants per replicate. Values followed by the same letter in each column are not significantly different at p=0.05 according to Duncan's multiple range test.

(3)抗病育種

利用抗病或耐病品種來防病永遠是最理想的防治策略,問題是抗病品種的育成頗費時間與人力歐美日各國對重要作物病害皆長期投下巨資，集合病理及育種專家進行抗病育種工作。某些病害一旦抗病品種育成，即可一勞永逸。另有一些病害則因其病原菌容易變異，抗病品種育成推廣後，只能維持若干年，即變為感病，此時必須再推出新的抗病品系對抗，所以育種工作永遠無法停頓。最近在抗病育種上有兩項重大成就；一是香蕉研究所病理專家以組織培養變異苗選育出的香蕉抗黃葉病品系，田間調查顯示抗病品種之黃葉病平均發病率為 4.8％，而北蕉(感病品種)之發病率則高達 9.1％（表十三）。另一是番茄青枯病之抗病育種，已先後育成許多耐熱抗青枯病之品種，如種苗一號、台中亞蔬四號、花蓮亞蔬五號及種苗5112；上述兩者皆已推廣給農民。今後應結合病理及育種專家，針對重要且難以防治之作物病害,進行抗病育種分工合作研究。

表十三　GCTCV-215-1與北蕉黃葉病發病率程度比較

品 種	種　　苗	種植株數	發病率(%)[1]
215-1	組織培養苗	1,538	17.3b[2]
	吸　芽　苗	1,080	10.8a
北 蕉	組織培養苗	673	70.6d
	吸　芽　苗	436	57.3c

1. 組織培養苗在8筆蕉園種植；吸芽苗在5筆蕉園種植之平均值。
2. 不同英文字母表示差異顯著(Duncan's Multiple Range Test,p=0.05)。

(4)無病毒種苗或種薯：

毒素病為系統性植物病害，因病原在植物體內分佈成系統性，甚至可以到達種子，所以不管種子繁殖或無性繁殖，皆可把病傳到下代。這類病害目前尚無法防治，只能靠組織培養繁殖無病種苗或種薯，供應農民種植。國內在馬鈴薯無病毒種薯的供應體系最早建立，其方法乃取生長點培養，所生長出的小植物，在大量繁殖前，事先經過，血清反應、判別植物接種及超高速離心機一系列的分離與電子顯微鏡觀察等三道不同性質的檢查，確定無病毒存在的培養體，即所謂的「基本種原」，才進行大量繁殖，所得之基本種，應用時為了要降低種薯之生產成本，經過原原種、原種及採種三級繁殖制度，每級生長的期間，分初期、中期、後期，經過種子檢查室檢查，最後所得之種薯供農民栽培。百香果由於遭受木質化病毒的普遍感染，產量銳減，品質低劣；農試所植病系試驗証實，應用無病毒百香果苗經由適當栽培時期之選擇，可順利延後病毒病害之發生，提高百香果之產量與品質及果農之收益。另外農試所植病系利用BICMV及CMV病毒之抗血清篩選出無病毒豇豆植株，栽培於網室中採收種子即為無病毒原

原種。嗣後由種苗改良場續以田間網室大量採種，供農民栽培。為了解無病毒種子於田間實際栽培後對病毒病之防治效果，其共進行三次田間試驗，結果証實栽植無病毒豇豆種子確實可以延遲病毒病之發生，因此提高豇豆之產量、品質與農民之收益。

(5)交互保護

交互保護主要用於病害防治, 即作物先行接種輕症系統病毒, 可以避免再遭受強症系統的感染，而收到病害防治的效果，唯目前成功的實例不多。交互保護之利用一般有二個原則：(I)此病害造成嚴重的經濟損失，(II) 缺乏其它較有效之防治方法。交互保護法之研究可分為幾個步驟：(A) 篩選輕症系統病毒，(B) 溫室內初步評估，(C)小區試驗，和(D)大面積區域試驗。以上步驟須依序完成，而且下一步驟之試驗方法是建立在上一步驟之試驗結果上，因此每一步驟之試驗目標與設計，均需經過審慎研究。中興大學及鳳山分所，應用交互保護防治木瓜輪點病獲致成功。雖然其輕症系統未能完全保護木瓜免受強症系統病毒的再感染，但可以延遲發病，增加產量及收益。

(6)甲硫氨酸與核黃素防治瓜類白粉病

中興大學植病系研發的甲硫氨酸與核黃素混合物(簡稱MR)，其光動效應對微生物具有強而廣效性殺生能力，MR對多數病原微生物的快速致死作用，顯示其在防治某些傳染性植物病害甚具潛力，而兩主要成份俱為絕大多數生物所需之營養成分，在使用上不致有污染、殘留及危害生態環境之顧慮。MR光動效應過程中，所產生之強反應性的各種激活態氧衍生物如O_2，O_2^{-1}，H_2O_2與.OH等，為其強殺生作用之主要原因。目前MR已商品化，其商品名稱為「地吉」，推薦在瓜類白粉病的防治。

(7)「中興一百」防治韭菜銹病

利用44公斤甘藍下位葉、10公斤菸葉渣、5公斤氯化鈣、1公斤牛肉煎汁與30公斤S-H混合物，在200公升Hoagland's水溶液中發酵製成的植物營養液「中興一百」(CH100)可以有效抑制韭菜銹病的發生率，並增進植株的發育與提高韭菜的產量約為對照不施用者的1.3倍（表十四）。

表十四　合成植物營養液「中興一百」防治蔬菜病害的效果

Table 14 Effect of a formulated plant nutrition (CH100) on disease severity of vegetabel crops

Plant Pathogen	Crops	(%) Disease Severity CH100	CHECK
Puccinia allii	Leek	0. 85B*	14. 3A
Erwinia carotovora	Potato tuber slices	67. 2B	95. 0A
Erysiphe cichoracearum	Cucumber	14. 4B	34. 2A
Alternaria brassicicola	Chinese cabbage	42. 0A	45. 2A
Phytophthora capsici	Pepper	100. 0A	100. 0A

* Between columns of CH100 and Check for disease severity each pathogen, means(n=4) followed by the same letter are not significantly different at P=0.05 based on student's t-test

(8)利用絲瓜抗病根砧防治苦瓜萎凋病

苦瓜萎凋病在苦瓜栽培田普遍發生，據中興大學植病系研究該病原菌僅危害苦瓜和矮南瓜，其他瓜類作物則具有強抵抗性或免疫性，其中南瓜、扁蒲和絲瓜皆與苦瓜有嫁接親和性，但南瓜嫁接苦瓜的成治率不高，扁蒲根砧易罹患根腐病，而以絲瓜的抗病性強，最適合做為抗病根砧。尤其頂劈長筒型絲瓜嫁接苦瓜蔓穗的成本最低，品質與產量最好。

(9)利用太陽能防治土壤傳播性病害

在夏季利用透明PE塑膠布覆蓋土壤經3～4週強烈的陽光照射，提高土壤的溫度，而將土壤中的病原菌殺死，此方法日光消毒。筆者在本省亦曾利用此方法可減少西瓜蔓割病約為38.8～73.84％，蘿蔔黃葉病約為60.60％，翠菊萎凋約為73.43％左右。在本省的試驗則可增加土溫約9～10℃左右，降低土壤病原茵*Fusarium oxysporum* f. sp. niveum, *Fusarium oxysporum* f. sp. raphani, *Fusarium oxysporum* f. sp. apii及*Fusarium oxysporum*的密度約75～100％。經過覆蓋處理後，除了上述效果外，尚可減少缺株，植株生長良好，此外也可以防治田間雜草（表十五）。

表十五　日光消毒對病害防治之影響

Table 15 Effect of solarization on incidence of plant diseases.

Locality	Disease	Disease incidence(％)	
		Tarped	Nontarped
Pingtung	Fusarial wilt of watermelon	44	72
Fengshan	Fusarial wilt of china aster	11.4	42.9
Taichung	Fusarial wilt of watermelon	23.08	88.24
Shuiching	Radish of yellows	24.12	61.22

（II）蟲害非農藥防治

(1)生物防治：

1.赤眼卵寄生蜂防治玉米螟

玉米螟其幼蟲為害玉米，包括葉片、花蕊、莖桿等部分，以致產量損失高達百分之三十以上。利用赤眼卵寄生蜂防治玉米螟，寄生蜂羽化後會找尋玉米螟卵寄生，成效顯著。

2.釉小蜂防治可可椰子紅胸葉蟲

本省南部栽植椰子達六十萬株，但椰子在生育期間常遭紅胸葉蟲為害，該蟲以幼蟲和成蟲潛伏於心葉內面取食葉肉，使受害心葉無法展開，輕度受害的椰樹生育受阻，結實不良，嚴重受害時則乾枯而死。本省從關島引入其天敵釉小蜂，由於釉小蜂可寄生於紅胸葉蟲蛹體內，使紅胸葉蟲致死，經2～3年之釋放，即有效地將紅胸葉蟲加以

控制下來。

3.捕植蟎防治葉

利用本地產之溫氏捕植蟎 (*Amblyseius womersley* Schicha)、引進加州捕植蟎 (A. *californicus* (McGregor))、法拉斯捕植蟎 (*A. Fallacis* (Garman))、智利捕植蟎 (*Phytoseiulus persimilis* A, H.)曾在草莓、桑、茶、梨及木瓜上進行葉蟎生物防治，成效卓著（表十六）。

表十六　臺灣葉蟎6種捕食性天敵之食量

Table 16 Feeding amount of 6 predators of spideer mites in Taiwan

Predators	Feeding amount		Reference
	Larvae	Adult	
Stethorus sp.	270	780-1260	(7)
Stethorus loi	154	700-900	(21)
Oligota sp. a	300	700-1100	(7)
Oligota sp. b	333	4400	何(未發表資料)[3]
Arthrocnodax sp.	150	---	何(未發表資料)[3]
Mallada basalis	1011	NA	吳(未發表資料)[4]

1. *O. coffeae,* room temperature, multi-generation.
2. *P. citri,* 25-30℃.
3. *T. kanzawai,* 28℃.
4. *Corcyra cephalonica,* 25℃.

4.微生物殺蟲劑的開發

蘇力菌、黑殭菌為微生物殺蟲劑，係生物防治最具成效之一種。蘇力菌為商品化，且使用已久的一種從國外引進之生物製劑。本省已推薦用於蔬菜小菜蛾、菜心螟、大菜螟、紋白蝶、擬尺蠖及茶蠶、松毛蟲等之防治上。而黑殭菌則為近年來本省學者自行發現萃取、提煉、培養研究成功之微生物殺蟲劑，陸續在蔬菜、稻作害蟲上做防治示範工作，為無毒安全且頗具潛力之微生物治蟲工具。

(2)昆蟲性費洛蒙在蟲害管理之應用

性費洛蒙在蟲害管理使用可分為兩大部份，一為作為監測害蟲的工具，另一為像農藥一樣用來防治害蟲。利用在蟲害的監測上，可測報害蟲的發生期，發生量、分布區域及危害程度；要達到準確的監測害蟲，必須建立標準的監測技術，包括決定誘蟲器的類型、誘餌、以及在田間設置的技術等，並且建立誘蟲數與田間害蟲發生量或作物受害率之關係，作為監測害蟲之依據。利用性費洛蒙防治害蟲的方法約可分成三種，即大量誘捕法、交配干擾法及和其它生物藥劑組合使用技術。大量誘捕法為在農田中大量設置性費洛蒙誘蟲器誘殺田間雄蛾，導致田間雄蛾比例嚴重失調，減少雌雄間的交配機率，使

下一代蟲口密度大幅降低。交配干擾法為利用高劑量的性費洛蒙、性費洛蒙類似物或性費洛蒙抑制劑來干擾雌雄間的交配通信聯繫。性費洛蒙和其它生物藥劑合用技術為利用性費洛蒙誘蟲器引誘雄蛾，讓被誘的雄蛾感染病毒、原生動物、或接觸化學不育劑等後返回田間，經由交配感染來達到防治害蟲的目的。台中場在農委會、省農林廳、彰化縣政府、福興鄉農會各方面之配合下，自民國77年至80年連續4年在冬季豌豆上辦理斜紋夜盜及甜採夜蛾之大規模性費洛蒙誘雄工作，防治示範面積自300公頃擴大至1500公頃，誘殺結果相當良好，平均可減少施藥二次，可做為昆蟲性費洛蒙大面積誘雄之典範。另外本省利用性費洛蒙大量誘殺甘藷蟻象，於每分地設置四個性費洛蒙誘蟲器，可有效減少甘藷被害率達55～65%，成效卓著（表十七）。

表十七　茶姬捲葉娥性費洛蒙合成劑田間誘蟲效果

Table 17　Attractiveness of synthetic sex pheromone on the male moths of *Adoxophyes* sp. in the field

Z9-14 : Ac/Z11-14 : Ac E11-14 : Ac/10-Me-12 : Ac 0.1 mg	Total male moths attracted
47 : 50 : 1 : 2	467.3±207.7a*
23 : 25 : 2 : 50	263.3±98.4b
36 : 22 : 3 : 39	88.5±24.4c
Shin Etse	181.5±31.0bc

* Four duplicates. Means in the column followed by the same letter are not significantly differnent (p=5%,Duncan's multiple range test)

(3)黃色粘板誘引害蟲

黃色對潛蠅類、有翅蚜蟲、薊馬、粉蝨之成蟲具有誘引效果。因此將具有黏著性的黃色物質置放於田間，即可誘引上述之害蟲的成蟲前來黏附其上。在斑潛蠅發生地區，利用斑潛蠅對黃色有偏好之習性，於簡易設施內之畦面，每隔二公尺放置黃色黏板一片，自定植起即長期誘殺非洲菊斑潛蠅 (*Liriomyza trifolii* (Burgess))成蟲，經二個月後非洲菊之被害葉率可減少23.8% ，防治效果達37.4% （表十八）。

表十八　黃色粘板與殺蟲劑防治非洲菊斑潛蠅之防治效果比較

處理方式	處理前			處理後第三週			處理後第四週		
	幼蟲/葉	成蟲/掃網	被害度(%)[b]	幼蟲/葉	成蟲/掃網	被害度(%)	幼蟲/葉	成蟲/掃網	被害度(%)
藥劑[a]	3.2	29.2	72.0±10.3	31.9	1.2	57.4±9	41.1	12.7	47.5±10.0
黏板	5.5	22.7	62.1±15.2	29.7	1.7	52.5±9	51.4	22.7	42.0±12.0
藥劑＋黏板	18.5	14.4	73.4± 6.5	27.0	1.6	38.4±15	42.2	13.1	42.0±9.1
對照	6.7	42.5	67.8± 5.7	65.7	2.7	75.6±7.6	70.1	10.8	63.8±7.5

a. 培丹50%水溶性粉劑1000倍稀釋液每週施用一次連續兩次
b. X±SD

(4)不孕性昆蟲技術及滅雄處理技術防治東方果實蠅

東方果實蠅(Dacus dorsalis Handel)能為害多種果樹，使用藥劑防治不但有困難，且效果往往不顯著，對果品亦有殘毒之慮。因此本省對東方果實蠅之防治，於1975年即開始實施不孕性昆蟲技術防治法，當時是將大量繁殖的東方果實蠅蛹，以13Krad之鈷六十作放射處理，使成不孕，而後將羽化之不孕成蟲釋放果園，使其與野生個體交尾而無法產生後代，使果實蠅之後代族群逐漸減少，每年釋放面積自4.1萬～6.8萬公頃。初期採地面釋放，由果農將定點供應之不孕性成蟲攜回果園中釋放，自第四年1978年起改為空中釋放，將不孕性處理後之成蟲以小飛機空投到各主要果樹栽培區；以成蟲發生密度而言，每一測定站，密度已由釋放前之240隻降低為釋放後之100隻；在於防治費用，不孕性果實蠅釋放區較一般農藥防治區，每公頃可節省約3200元，全省減少因該蟲引起損失為3億餘元。1984年起改用含毒甲基丁香油誘殺果實蠅雄蠅之滅雄處理防治法，防治面積涵蓋10.4萬公頃。據估計果實被害率從1985年之2.78% 降為1991年之1.04% ，成效亦相當良好。

(5)套袋防治瓜園瓜蠅及果樹東方果實蠅

在過去已有農民從事不同作物的套袋處理，如瓜類、果樹類，坊間亦售有套袋的資材。目前本省的套袋瓜類有苦瓜、絲瓜，果樹類有葡萄、梨、楊桃、枇杷、蓮霧、水蜜桃等等，而有關機關亦不斷從事該項工作的開發與改進，對於避免農藥殘毒為一大貢獻，在瓜類套袋主要是防治苦瓜、絲瓜的瓜蠅，在果樹上主要是防治東方果實蠅，套袋亦可防治鳥害及風害。

(6)利用寶特瓶防治葡萄園扁蝸牛

葡萄園扁蝸牛係葡萄重要有害動物，傳統防治方法效果不彰。利用寶特瓶法來防治扁蝸牛可達到95～100%的防治效果，以回收的廢棄物寶特瓶改良製作而成。寶特瓶法：是將寶特瓶的底部及頸部剪斷，去頭去尾後並縱向剖開身體部，然後將剖開的寶特瓶套入葡萄莖幹，頸部大小與葡萄莖幹粗細配合，為便於操作，其高度可與人胸部齊高，套上後將寶特瓶從開口處下端再用釘書針釘牢，若瓶口有鬆弛情況時，可酌以膠布黏合或打洞以鐵絲固定，以免空隙過大。因瓶口套住莖幹密合，扁蝸牛從地面沿莖幹底部往上爬時，通過寶特瓶底部開口，到達寶特瓶頸部時，無法通過，全部的扁蝸牛會累積在寶特瓶內呈休眠狀，扁蝸牛全被阻隔無法往上爬，而達到阻蝸效果，蝸牛在日光照射經過一段時日後可陸續死亡或掉落，達到防治的目的。由於寶特瓶阻蝸法製作簡便、使用方便，不但效果良好，減少防治成本，既是利用廢物，又可經年長期使用，且考量到殘毒、節省防治成本和環境保護三方面問題，是一新突破的防治技術，殊值推予葡萄園利用。

(7)溫水處理種球防治根瑚

溫湯處理不僅可以殺死一些昆蟲或瑚類，對某些病原菌也有殺死作用，在國外早被研究和應用著。為減少唐菖蒲及百合種球攜帶根蟎，可於貯藏前後用40℃溫水浸種二小時，或用45℃溫水浸種0.5～1小時，可100% 殺死在種球上之根瑚，比用藥劑處理更有效，又無毒害問題；另外，供溫水處理用之中型恆溫水槽已由台中場開發成功。

有機農業產品之行銷

有機農業為永續農業之一環，有機農產品目前並無任何標章，且因認證機構也未成立，在產品行銷上是一大問題。不過目前有些單位如瑠公基金會、主婦聯盟、展望園、有機世界等等，對於有機農產品有很高之興趣；在農林廳方面亦常舉辦促銷活動，如在1995年12月24日至28日委託桃園場在台北百貨公司舉辦有機農產品展示展售會。

結　語

本世紀由於科學的發展而為人類帶來正面的影響。科技產品如化學肥料與化學農藥等對農業的生產雖也帶來正面的影響，但由於長久的使用及使用不當同時也對環境帶來負面的衝擊。為解決此問題，世界各國近年來普遍推行不用化學肥料及化學農藥的有機農業，替代性農業或永續農業之研究。其內容包括有機質之利用、土壤管理方法、病蟲害之綜合防治方法、省工栽培法、有機農產品之經濟性分析及有機食品對人類之健康等。

永續農業是要農業生產與環境保育相結合，目前社會環境生態保育的意識抬頭，各種環境生態保育民間公益團體紛紛設立，今後永續農業推展可與這些公益團體相互配合將更有助益，甚至可由民間團體去推動，政府以輔導贊助之立場較為可行，可收事半功倍之效。

綠肥在永續農業土壤肥力培育上至為重要，未來推動水旱田利用調整與集團經營，將綠肥作物在各地輪作系統中了以納入，落實農作生產與地利維護工作，是永續農業之一項紮根的工作。

瞻望台灣農業發展的未來，永續性農業的經營趨向，已無可避免，而在此轉型的時刻，要馬上完全不使用農藥，尚有很多困難，農藥在植物保護工作上仍佔著非常重要的地位，而開發更多新的非農藥防治技術，以取代化學防治法及導正合理農藥使用，皆有助於以減少農藥的使用量，是今後植物保護的工作重點。

休間農業是今後農業重要發展方向之一，使農業之生態生活功能發揮更大，永續農業應與休間農業結合發展，人民可在旅遊休閒時享受高品質健康安全的農產品，也建立永續農業發展據點。(本文作者係林俊義博士，現任職於台灣省農業試驗所所長)

日本生物肥料之研發策略與製劑管理

前　言

生物肥料係指土壤中之有益微生物，如固氮菌、溶磷菌、菌根菌、或纖維分解菌等，彼等可將原存於土壤或空氣中作物無法吸收利用之養分型態轉變為有效型態，進而促進作物養分吸收利用及生長，達到節省肥料用量之目的。有關上述土壤有益微生物之研究與應用，早年即有學者著書論述，豆科作物之固氮根瘤菌在田間之接種應用更是行之有年。然而近五十餘年來，隨著現代農耕技術之發展，化學肥料之普及與應用，作物生產所需之各種無機養分均可及時以成分高、肥效快之化學肥料充分供應而確保作物產量。因此，使用效果不甚穩定之生物肥料並未被廣泛應用。惟化學肥料之製造需仰賴不可再生之資源如礦產及天然氣等做為原料或能源，而資源終有匱乏之虞；又過量及不當使用化學肥料，易造成土壤鹽分累積及肥料流失而影響河川或地下水質。為使有限之資源得以永續利用，並維護良好之自然環境，近年來各國莫不致力於開發環境保全型之永續性農耕體系，加強有關如何有效循環利用作物養分之研究，以期減少化學肥料之使用，生物肥料之開發與利用遂成為重要之研究課題之一。此外，由於畜牧業發達產生大量禽畜排泄物所造成之環境負荷，亦亟需妥善處理，因此有關應用微生物於禽畜排泄物處理與利用上之研究亦受到重視。

近年來臺灣地區有關生物肥料之開發利用研究與推廣亦積極進行，而他山之石可以攻錯，日本之農耕制度與我國相近，又有關生物肥料之研究發展亦極為先進，值得學習借鏡，因此行政院農業委員會向日本交流協會提出研習「生物肥料生產技術」之申請，獲接受為一九九五年研修項目，由行政院農業委員會張技正淑賢、台中區農業改良場蔡助理研究員宜峰及台灣省農業試驗所林助理素禎等三人為研修員，自一九九六年七月十七日至八月十日間赴日本東京、筑波、九州等地研習，前後共二十五日。因此本報告將摘述部分研習心得，略述日本有關微生物肥料之研究現況，並嘗試提出我國今後相關之研究策略。

再者，生物肥料係活的資材，接種到作物後能否發揮效果常受到多種因素所影響，因此效果非常不穩定。目前市面上亦充斥各類微生物資材，良莠不齊，其菌種為何? 有效菌數有多少? 適用作物對象及作用機制何在? 如何使用? 生物安全性如何? 等相關問題，均無法給予以規範，使用者必須負擔很大風險，政府實有必要研擬一套管理辦法加以適當規範，本報告亦擬初步提出相關管理問題，就教於各位先進。

土壤微生物之機能

一、土壤微生物之機能有：

(1) 在生態系之物質循環、環境淨化、溫室氣體產生等方面發揮作用。

(2) 在作物生產上具有植物養分供給、土壤物理性改善、病原菌之抑制、植物生長促進等功

能。

二、微生物促進植物養分吸收之機制有：

(1) 物質代謝；(2) 物質之貯藏與釋出；(3) 物質形態轉變；(4) 物質的收集與搬運等。

日本有關生物肥料等之研究現況

日本過去有關土壤肥料之研究以化學肥料和有機肥料使用有關之研究較多，生物肥料則為未來之研究重點之一。微生物在土壤中對於土壤肥力有其影響性，但有部份作用仍屬黑盒子。除固氮菌、菌根菌等已知其作用外，不清楚的地方還很多。但市面上已有很多微生物資材在流通，而公立試驗場對此等資材之效果無法掌握，遂請求國立試驗場所協助，因此試驗研究單位有必要加強研究。以下為若干研究成果

一、固氮菌之研究

1. 亞太地區大豆根瘤菌之分布及利用一橫山正博士

本研究主要在探討大豆根瘤菌之分類及特徵，分別自日本及泰國之大豆根瘤上分離根瘤菌株，應用RFLP法比較根瘤菌之遺傳基因，再以統計分析法加以分類，則所蒐集到之菌株可分成三組：第一組為日本與美國之菌株 *Bradyrhizobium japonicum*；第二組日、美、泰國都有 *B. elkanii*；第三組為泰國菌株，不屬於 *B. japonicum* 及 *B. elkanii*，故認為是新種。上述三類根瘤菌係依氣候帶分布，第三類為熱帶菌株，只分布於泰、馬、印；而 *B. japonicum* 為溫帶菌株，只分布於美、日、中國等地。

以Plasmid PZB32 將Reporter gene導入根瘤菌中，用以檢定Node gene之表現程度，如果將30℃之下Node gene 之表現設為100 ，則當溫度大於30℃時，溫帶菌株 *B. japonicum* 之基因表現即受到抑制；而熱帶菌株則在30℃以上時其基因表現良好。又比較不同日夜溫之下各菌株之競爭優勢，則溫帶菌株在25/25℃ 日夜溫下較具優勢，與宿主作物形成共生之比率較高 ；而熱帶菌株則在33/28℃ 之下較具優勢。

經比較根瘤菌之DNA 後認為熱帶與溫帶根瘤菌株之遺傳質差異係在Node gene之前的Promoter gene， 溫帶菌株在高溫之下， 其Promoter gene 會產生熱休克蛋白而抑制其後之Node gene 之基因表現。因為溫帶菌株 *B. japonicum* 之固氮能力較佳，因此目前正嘗試將其Promoter gene 轉為如耐熱菌株者，使適用於熱帶地區。

2. 大豆根瘤菌之宿主專一性有關研究一赤尾勝一郎博士

固氮根瘤菌具有宿主專一性(Host Plant Specificity)，例如苜宿和大豆之根瘤菌即不相同，無法互相通用，其原因為宿主作物具有宿主專一性基因。知能將該基因選殖並轉移到非豆科作物，則可擴大根瘤菌的寄主範圍，使非豆科作物也能行生物固氮。赤尾先生之研究室主要即在研究根瘤固氮之機制，俾進一步應用基因工程技術改造根瘤。目前已能使油菜強制產生根瘤構造，但還無法使根瘤菌進駐並固氮。*Parasponia andersoni* 係非豆科作物，但可被根瘤菌感染形成根瘤，惟其根瘤形成機制與豆科不同。自營性之固氮菌 *Azospirillum* sp.，其固氮能力僅及根瘤菌之1/10。

根瘤菌之固氮機制和宿主專一性機制如下：

宿主作物有一Nodulin gene (約有20幾個gene codes) ，產生Flavonoid 以刺激根瘤菌的Nod gene表現而產生Nod factors(為一種多醣體)，該多醣體可刺激宿主作物形成根瘤。豆科作物也有不長根瘤者，即可能缺乏Receptor gene，或是所產生的Flavonoid不足所致。

該研究室有一位來自馬來西亞的博士後研究生曾研究發現水稻種子抽出物中有一種植物鹼(Alkaloid)具有如Flavonoid 之訊號物質性質，接著則須找出水稻之Receptor gene。另一位來自美國之研究生則研究根瘤菌菌株競爭力之問題，先誘導根瘤菌產生競爭力低之變異株，找出其突變基因，俾研究該突變基因與競爭力之關係。另一來自東京大學之研究生則誘發大豆產生變異株，使無法形成根瘤，再進一步確認宿主作物基因突變位置，研究該突變基因與根瘤形成之關係。

. 促進根瘤著生之研究一淺沼修一博士

淺沼先生在日本北海道及非洲奈及利亞之試驗顯示，大豆田間接種根瘤菌皆可促進固氮作用，提高大豆產量。然而日本大豆栽培歷史已有三千多年，每克乾重之土壤中土生根瘤菌密度高達十的四次方至五次方，接種根瘤菌之效果常不明顯；而非洲之大豆栽培歷史短，每克乾土中根瘤菌密度只有十的0次方至二次方個，因此接種效果明顯。又部分土生根瘤菌之固氮能力差，北海道十勝地區分離出來的二十二株菌中，有十種比接種菌株之固氮能力差(石井等，1983)。美國中西部地區在接種Serogroup 123 菌株後，該菌株變成土生菌，但此菌株固氮力不高，著生根瘤能力又比其他菌株強，遂造成問題。非洲因土生菌少，此一問題不是很大。此外，接種根瘤菌後，根瘤著生，情形如何？根瘤菌之氮素固定能否配合宿主作物生長所需？又根基部以外之側根上根瘤著生情形及其固氮能力如何？均需加以探究。

常用的根瘤菌接種方法為種子接種法，將菌液加泥炭、或珍珠石粉及黏著劑 (如阿拉伯膠或蔗糖液) 裹被於種子上，或以真空滲入法接種於種皮內。以種子接種法接種，則接種菌株之根瘤大部分著生於主根上，側根則常被土生根瘤菌佔據。由田間之氮肥施用試驗知：開花期每公頃施用十五公斤氮素可增加二十%大豆產量，因此開花期之氮素供應需研究如何以根瘤菌代替化肥。依據淺沼先生之調查，開花後主根上根瘤之固氮能力即大幅減弱，全根系之固氮能力主要來自側根之根瘤，而側根之固氮能力先增加而後下降。側根接種技術之研究有其必要。

在一項接種菌株根瘤佔有率之調查研究結果顯示，在水稻後作種植大豆，則接種菌株 *B. japonicum* 在主根之根瘤佔有率為九五%，側根之佔有率為四二至四八%。但第二年再種植大豆並且不再接種，則該菌株無論在主、側根之根瘤佔有率均只有一〇至二四%。在非洲奈及利亞之試驗結果為第一年種植大豆並接種根瘤菌，休閒兩年後再種大豆並且不接種，則供試之二個大豆品系中有兩個品系接種菌株之根瘤佔有率仍高達九十%以上。

由以上研究知，在一般十的五次方接種密度下，根瘤菌接種之問題有：

・接種菌株之根瘤形成率低

・側根上接種菌株之根瘤佔有率低
・接種第二年起，接種菌株之根瘤形成率低。

為解決這些問題，可採取以下策略:

・提高接種密度至十的十次方
・宿主作物之遺傳質改良
・進行接種根瘤菌株及土生根瘤菌株在土壤中之生態研究

在十聯地方之試驗結果 (東田，1990) 顯示 : 以十的十次方之密度接種A1017 菌株，若根瘤形成率在二五%以上，則大豆氮的吸收量即增加。另外赤尾先生(1990)於大豆播種時以十的八次方接種A1017 菌株，另於培土時再接種十的十次方，效果亦佳。Weaver 及 Frederick(1974) 在Iowa之試驗結果顯示，接種菌株之根瘤形成率要在五〇%以上，則接種密度必須為土生菌密度之一千倍以上。但是接種密度高不經濟，因此想了解根瘤菌在土壤中之生態，以尋求解決辦法。以下說明研究上考慮的重點 :

・根瘤菌Carrier之性質

目前根瘤菌之接種方式，如種子被覆、播種溝接種等，係點的接種，接種菌株之活動範圍僅限於接種部位，而土生菌則存在於土壤各處，因此接種菌株無法競爭。若能將接種方式改為立體式之土壤接種，則結果將可改觀。但必須尋找適當的Carrier，以保護菌株在宿主根長出前能在土壤中存活 ; 或設法使接種菌株能在土壤中存活。

・土生根瘤菌和栽培菌株生理上的不同處

接種菌株都是在人工培養基營養條件良好情形下篩選出來，因此生理上和土生菌株不同，在土壤中之競爭力差。

・在土壤中，接種菌和土生菌存活的地方、存活力、以及土壤性質、營養條件對根瘤菌存活力之影響。
・土壤環境對根瘤形成之影響
・根瘤菌之遺傳基因改造

目前正嘗試將Lux gene(螢光基因) 導入根瘤菌，以方便有關接種菌株在土壤中的追蹤研究，惟尚未成功。目前均使用耐抗生素之變異株 (可耐 Strepto- mycin 、Casugamycin各1000ppm以上)，以便與土生菌株區別 (只耐15ppm)。

土壤中土生根瘤菌之密度係在環控溫室中以 MPN法測定，以PP塑膠袋內襯以牛皮紙袋，經殺菌鍋殺菌後加入定量無氮營養液及定量不同稀釋倍數之土壤溶液。宿主作物之種子經消毒、催芽後移入塑膠袋內，觀察根瘤著生情形。塑膠袋內插入吸管以方便每天加水。

4. 耐酸性或耐鹽分根瘤菌篩選之研究

來自印度之博士後研究生Samir氏曾篩選到耐pH4.3之菌株，並嘗試辨認其遺傳基因所在。渠認該菌株耐酸之機制係可耐高氫離子濃度。

二、溶磷菌之研究

土壤中的生質量 (旱田) 中其菌 占70-80%，細菌 占15-25%，，小動物占 5 %以下。12.5 公分深之土壤 (在歐洲) 中含有生質量大約 1・4噸/公頃，內含氮 108、磷83、鉀70、鈣11公

斤。土壤經消毒、研磨、冷凍後解凍等處理均可使Biomass-p 減少，而有效磷增加。

土壤中的磷只有 5-10%可被植物吸收利用，故有必要進行溶磷菌之研究。在培養基上加入磷酸鈣或磷酸鎂，再接上各種菌株觀察Clear Zone的大小，則土壤細菌中有1%可溶磷，其菌有10%可溶磷，其溶磷機制均為分泌有機酸。細菌中的 *Bacillus*，*Pseudomonas*；真菌中的 *Aspergillus*，*Penicillium*，*Oideoderma* 均可溶磷。培養基添加蔗糖及硫銨可促進難溶性磷之溶解。

有效磷態釋出後必需馬上供給作物吸收利用，否則會再度被固定，故目前有試驗研究溶磷菌加VA菌根菌之試驗。

三、菌根菌研究

1. 菌根菌菌株收集、保存、草地之菌根生態及生化學之研究—齋藤亞典博士

菌根菌有三科：Glomoceae，Acaulosporaceae，Gigasporaceae。

六屬：*Glomus*，*Sclerocystis*，*Acaulospora*，*Entrophospora*，*Gigaspora*，*Scutellospora*。

有些菌根不形成Vesicule，但形成Arbuscule，故應通稱為AMF 菌根菌(Arbuscular Mycorrhizal Fungi，AMF)。

菌根菌對作物生長之功效：

(1) 促進磷酸吸收　(2) 促進微量要素吸收　(3) 耐旱能力強

(4) 對病害之抵抗性提高　(5) 過剩要素之吸收抑制

(6) 利用其菌絲與他種作物連結

菌根菌的宿主專一性不那麼大，同一菌株可以生長在草和豆科上，透過VA菌根菌的菌絲，兩種作物可互相傳遞養分。

在殺菌之火山灰土壤種植草莓和蘋果幼苗，則接種菌根菌均有生長促進功效，特別是施少量磷之情形下。在未消毒之土壤中進行蔥的試驗，該土壤的Troug P 只有30-50ppm，施用360kg P_2O_5/ha，接種效果仍良好。但在殺菌之White Clover及洋蔥園，施少量磷使接種效果提高，但施磷量高時，則接種與否差異不大。植病學家小林先生以小黃瓜進行試驗，則接種菌根菌可抑制立枯病(*Phytophthora*)，若菌根菌加拮抗菌則效果更佳。

2. 土生菌根菌密度和接種策略

	土生菌根菌密度	土生菌根菌之有效性	接種策略
(1)	無	無	接種----效果佳
(2)	低	低	接種
(3)	低	高	設法增加土生菌密度
(4)	高	低	接種
(5)	高	高	維持土生菌密度

3. 土生菌根菌密度之評價

菌根菌密度評估方法有孢子計數法，但很難判定孢子活性。另一種為接種法，以宿主作物接種，調查感染強度，但此法受宿主植物和栽培條件影響很大。

4. AM菌根共生系統機能之評價方法探討

Alkaline Phosphatase activity 只存在於Arbuscule上，可以用a-Naphthyl phosphate做Substrate ，以Azo-dye染色，則發現僅Arbuscule及少數菌絲有染色。 而Arbuscule上有一碳一磷交換系統，如果此一Alkaline Phosphatase 和物質交換有關，則此酵素即可用於評價菌根之活性。此尚在研究證實中。

5. 日本菌根菌資材製造公司有出光興業株式會杜、中央玻璃，大阪瓦斯、技研興業等。

菌根菌的菌種繁殖必需種植宿主作物進行活體繁殖，栽培介質最好用多孔資材。宿主作物可用白花苜宿、高粱、洋蔥．蘆葦等。因菌種繁殖需要時問，故產品價昂，每10公斤 (一分地) 約需 1萬日圓。以 *Gigaspora margarita* 接種草莓之效果最好。

6. 輪作作物對土壤原生菌根菌密度之影響

作物中有20%為非菌根作物，如油菜、甜菜、菠菜及十字花科。因此種過這些作物後，土壤中菌根密度減少，若種植菌根菌依存性強的作物如玉米，則此時接種菌根菌效果良好，而對菌根菌依存度低的作物如小麥，則效果較小。

7. 嘗試用PCR-RFLP法鑑定菌根菌菌種，但尚未成功。

8. 出光興產業株式會杜有關菌根之研究

出光興業是一石油公司，每年營業額高達2億5千兆日圓。為迎向二十一世紀也開發新產品。該公司有研究人員一千五百人。農業微生物部門有研究人員32人、技術員5人。其新產品有機能材料、農業微生物、顯示用材料等產品。

鈴木博士介紹其菌根菌研發成果，其商品為Dr. Kinkon，六年前即已商品化。 目前該公司也開始研究 *Azospirillum*、固氮菌、拮抗微生物等。該公司微生物資材之研究策略為：

1. 選用素性、機能明確之微生物
2. 植物親合性微生物
3. 微生物資材成分單純化

鈴木博士介紹VA菌根菌有六屬150種，但目前在農業上使用最多的只有 *Glomus* 及 *Gigaspora*，他們也曾評價過其他菌根菌。該公司係用燒製過之蒙特石1 -2mm大小之多資材做為carrier。VA菌根菌種類和各種作物之親和性不同 ，因此有不同作物之專用產品。其產品作物對象有小黃瓜、草莓、青椒、蔥專用者，也有共通性接種劑，則含三種菌種可忍受pH4.5～8.0範圍。

在火山灰土壤種蔥，接種區273株，重量41.7公斤，比對照區增產13～14%。青椒增產率在11.1～18.6%。

該公司特別選用耐高磷之菌種，可耐500ppm P。草莓接種 *Gigaspora* sp.菌種者其crown較粗，增產19～35%。

該公司和齋藤先生共同研究土壤磷含量對VA菌之效果，無論在褐色土或黑色土施磷量高(0.5或1.0g P_2O_5/pot)時，對蔥的效果都不好；比較三種菌種則以 *Glomus fasciculatum* 較佳。一般VA菌在70mg/100g P 時即不感染，而彼等篩選到可容忍650mg/100g P者。但就生長促進效果而言 ，在200－300ppm available P_2O_5 以上時生長促進效果即減少。

一般人認為VA菌容易和蕃茄共生，其實不然，在日本蕃茄品種有13種，不同菌種

之感染率均不同，因此商品化就需選擇合適的菌種。

另外該公司也在開發*Azospirillum*，因該菌可產生植物荷爾蒙如LAA，GA，Kinetin等，可促進作物生長達40～50%。

五、禽畜糞尿除臭菌之篩選－齋藤雅典博士

禽畜糞尿惡臭物質有氨、硫化氫、揮發性有機酸及甲硫醇(Methylmercaptain)等。將禽畜糞污泥中之惡臭分子通氣趕入土壤中，行集積培養，土壤亦另通入空氣，故為好氣培養，再由土壤中篩選除臭菌。篩選到的菌株行單株測試其除臭效果，以官能評定之。已篩選到一株可除去硫化氫及揮發性脂肪酸之菌株，將進行回接土壤測試其效果。

六、土壤中蛋白質水解酵素(Protease)產生菌之檢出與鑑定

蛋白質態氮雖僅占土壤中有機態氮之小部分，但因蛋白質之代謝速率(Turnover Rate)很快，因此蛋白質水解酵素產生菌在土壤氮循環扮演重要角色。若能加以了解，將可設法控制氮循環，防止硝酸態氮污染。渡邊克二先生乃進行有關研究。

以Benzyloxycarbonyl-L-Phenylalanayl-L-Leucine及casein分別作為基質(Substrate)，檢測土壤中Z-Flase、Caseinase等Protease活性，結果發現休閒土壤中活性低，而加入禽畜糞污泥之土壤活性最高。

以抗生素Chlorophenical、Cycloheximide區別土壤中Protease活性係來自細菌或真菌，結果發現旱田或水田之酵素活性主要來自真菌*Bacillus* spp.，彼等微生物釋出體外Serine Protease；而加入污泥者以格蘭氏陰性細菌(如*Serratia marcescens*)之活性較強，彼等微生物釋出Metalloprotease。渡邊先生進一步以DNA primers及DNA Probe自土壤中檢出與*Serratia marcesens*細菌相同之*Serratial* metaloprotease DNA。

七、甲烷生成菌之研究

甲烷係溫室氣體之一，水田是甲烷的發生源之一。甲烷由甲烷生成細菌排出，但學者對於甲烷生成菌之種類及生態所知有限，為能控制甲烷之生成，因此淺川晉先生進行有關甲烷產生細菌之研究。目前已從水田分離出兩菌株*Methanobrevibacter arboriphilus*、*Methanosacina mazeii* TMA。這兩種菌株雖非新發現菌株，但卻是第一次證明水田有此二菌種棲息。

甲烷產生菌係絕對嫌氣菌，因此要培養此菌需特殊設備。將空氣通過加熱銅管柱以吸收氧氣再導入培養槽內。研究在夏作水稻－－冬作小麥耕作制度下甲烷產生菌之密度變化，則不同培養基質如氫氣加二氧化碳、或甲醇、或醋酸下，所測得之甲烷密度雖有不同，但土壤中之季節性變化趨勢均相同。甲烷菌雖為嫌氣菌但是在種小麥之旱田狀態下其密度並未減少，其原因未知，但推測甲烷菌可棲息於土壤Microsite內。

在連續三十年之長期試驗田中，比較僅施化學肥料、施十噸稻草、施二十噸堆肥三種處理下甲烷產生量，結果以加稻草者最高，加堆肥者最低。堆肥處理區之碳源雖高於化肥區，但可能因其土壤物理性改善、水分滲漏速率較快而增加氧氣供應，故其甲烷生成量最低。

八、線虫寄生菌*Pasteuria penetran*之研究

本研究由線虫抑制研究室之立石靖先生執行。根瘤線虫*Meloiclogyne incognita*之宿主範圍很廣，瓜類、番茄、甘藷、紅蘿蔔、葡萄、桃子、無花果等均可寄生。該線虫在適溫25℃下，一個月內可完成一個Life Cycle。每隻雌成虫可產生八百個卵，以二齡幼虫侵入寄主作物根內，形成根瘤，影響作物產量及品質。甘藷方面雖已開發抗線虫品種，但尚未實用化，如果使用殺線虫劑如DD(Dichloropropane)則成本高且有污染環境之虞，因此研究用天敵或耕作制度方式來防治線虫。立石先生找到線虫寄生細菌*Pasteuria penetran*。該菌之優點為絕對寄生且宿主僅限於線虫，可抑制根瘤線虫繁殖及其宿主侵入步驟。又該菌之內孢子(endospore)可耐土壤中之不良環境如耐熱、抗旱、及農藥(但不抗溴化甲烷等薰蒸劑)。其缺點為無法立即驟效，且因係絕對寄生大量繁殖不易。

*Pasteuria penetran*鑽入線虫體類內後，在虫體內繁殖，線虫即不產卵並死去，釋出細菌。但細菌無法侵入寄生於宿主根內之線虫。

立石先生於1992年，以罹病甘藷田進行試驗，處理分為對照(種植易感甘藷品種)、種植抗線虫之甘藷品種、種植抗線虫之牧草(*Panicum maxinum* jacq cv Natsukaze)、使用殺線虫劑DD，並配合接種*Pasteuria*與否等處理。結果輪作抗線虫作物或使用DD均可增加地後作易感病甘藷之產量，接種*Pasteuria*均有進一步增產之效果，惟增產幅度不是很大。因為菌種繁殖不易，故該試驗所採用之*Pasteuria*接種量僅為7xl0e9/9me2/plot，係最低有效接種量，若能提高接種量，效果可能更佳。

九、兵庫縣立中央農業技術中心抗蕃茄青枯病之研究

該技術中心有關抗蕃茄青枯病之螢光細菌研究係由研究單位及企業界共同開發之成果。兵庫縣蕃茄栽培面積四百公頃，約有一半面積罹患青枯病，其病原菌為*Pseudomonas solanacearum*，此種細菌並無適當藥劑可以防除，有關該病之防治研究已有五、六十年歷史，迄未發現有效防治方法，因此該研究擬自土壤及根圈篩選拮抗菌。自不同地點土壤中分離到之拮抗菌菌數約為全菌數之六・五至二八・六%。(篩選方法係以含病原菌之培養基接種各種微生物，觀察Clear Zone形成與否)。此結果比過去認為拮抗菌只占全菌數之〇・〇一%高出甚多。此外，調查結果發現拮抗菌菌數和螢光，性*Pseudomonas*菌數呈正相關；又自蕃茄根面分離之全菌數中有二〇%為拮抗菌，其中一O%為螢光性*Pseudomonas*。故以後的研究均以螢光性*Pseudomonas*為對象，並以蕃茄幼苗來篩選拮抗菌。

篩選方法(Cylender-biochamber法)如下：每克土壤接上十的九次方個病原菌，裝在玻璃管內，蕃茄種子接上拮抗菌後置於土壤上並覆土，在30℃ 20,000Lux下栽培十天，則未接種螢光性拮抗菌之蕃茄植株均枯死，而接種拮抗菌者生長良好，其株高甚至比以乾淨土壤種植之對照株為佳。以這種方法十天內可篩選到五百株菌，目前已篩選到三萬株菌。自水稻、大豆、黃瓜、蕃茄、青梗菜、山椒之根面均分離出螢光性*Pseudomonas*拮抗菌，且以後四種作物分離到較多。

上述螢光性*Pseudomonas*拮抗菌依其抗病能力、抗病機制及其他生狀可分成三類：

駄A型(*Pseudomonas putida*)：係根面菌，只著生於根表面。因根面菌需與土壤中各類微生物競爭養分，並受到肥料等影響，故其菌數要增殖到足以抑制病原菌之菌數並不容(一般每克土壤中病原菌密度約十的四次方至五次方即發病，而拮抗菌需為病原菌之一千倍，即十的

七至八次方才有抑制病菌之效果)，因此A型菌在實驗室內有效，在田間應用則效果不是很好。目前很多研究者篩選到的都是這類型的螢光菌。

該菌以 Ampicilline、Streptomycine 兩種抗生素處理誘變出耐抗生素之變異株，以方便進行該拮抗菌存活率之研究。將蕃茄種子接種拮抗菌，在盆栽盆種植一個月後，將土壤分成三層，分別計數各層之拮抗菌數，以測定該菌之移動性，結果發現下層土壤雖菌數較少，但仍有該菌存在，表示該菌之移動性很好。進一步研究該菌之性質發現，在含病原菌之培養基分別添加1、10、100ppm 之三價鐵離子，接種該拮抗菌觀察 Clear Zone 大小，則發現該菌之拮抗能力隨鐵離子濃度增加而遞減，在100ppm 鐵離子濃度下拮抗能力完全消失。又如果以 Nirtosoguanicine 改變其遺傳基因，則抑病能力也消失。 A型菌之抗菌物質係一分子量四千左右之 Sugar-peptidyl 化合物。A型菌也促進蕃茄植株生長的效果。

込B型：係根內菌，可進入根內靠近表皮部分。B型拮抗菌全在菌著根圈產生一種結晶性螢光物質，此物質在 1 ug/ml 濃度下即有 Inhibition Zone 產生。該物質經以 NMR、C-12NMR 光譜法鑑定係 2,4- diacetyl-fluoroglycinol。以該菌之螢光性抗血清該拮抗菌可進入根內。

莽C型：亦為根內菌，且可進入根的各部分。本類拮抗菌在培養基純粹培養時並不會對病原菌產生抑制效果(無 Clear Zone)，但是接種到蕃著的根後即可產生 Clear zone。C型菌可進入蕃茄根內，但不會移動到地上部。蕃茄接種該拮抗菌後，植株地上部較未接菌者矮小，但根部生長則差不多。移植到田間後，接種株抗病效果佳，蕃茄植株罹病率僅六%，而未接種者高達六三%。又蕃茄收穫時(接種後135天)，可自五八%根系分離到該拮抗菌。

C型螢光菌之抗病機制在於，拮抗菌侵入蕃茄根內，蕃茄植株即產生 phytoalechecine，該物質可抑制蕃茄青枯病病原菌生長，而C型拮抗菌可分解該物質，病原菌則需一星期才可產生分解該物質之酵素，因此接種C型菌後一星期即無抑病效果。

在三種型態之拮抗菌間以C型拮抗菌防治青枯病之效果最好，B型次之，A型最差。因此相野先生開發產品係將B型和C型菌分別以蕃茄根接種，再將根段接入 White medeium 培養，再接種至蕃茄根繁殖至相當濃度後，才分別接種在蛭石(混有燒製紅土)內，使用時再將兩者等量混合，直接以該蛭石育苗。蛭石內該菌之濃度為每克十的八次方個。每克蕃茄根需具有十的七次方到八次方個菌時才有抑制青枯病之效果。

相野先生之研究室目前也發現螢光性 *Pseudomonas* 可抗稻熱病，其抑病原理同C型拮抗菌，拮抗菌進入水稻根部，使植株根、莖、葉均產生Phytoaleche- cine而抑制稻熱病病原菌。

十、岡野正豪博士介紹一有用根圈細菌之利用一研究成果

岡野先生之研究主要在篩選及鑑定甘藍菜之根圈有益細菌、包括生長促進菌(PGPR)及病害抑制菌。自各種根瘤病發病程度之菜園之甘藍根面及根內分離出二六〇株菌株，再接種到甘藍幼苗根上，以盆栽(20%黑色腐植土加80% 市售培養土及適量三要素肥料) 觀察其對甘藍地上部生長之促進情形。試驗結果發現，自土壤有機質含量少之10號菜園之健全甘藍根部分離之菌株，以生長促進菌較多，而自土壤有機質含量多之160號菜園之罹病株根部分離之菌株，則以生長阻害菌居多。特別是自根內分離之螢光性Pseudomonas 具有此一傾向。

菌種鑑定非常困難，在日本鑑定一株菌要一百萬圓。岡野先生以脂肪酸組成鑑定菌種，其Data Base 已近完成。以美國MIOI公司方法抽取脂肪酸：四O克菌體以NaOH-MeOH、HCl、

MeOH、Hexamethane 等系列溶劑萃取後，以GC-Mass 分離測定。上述菌株經鑑定結果有 *Agrobacterium*、*Enterobacteria*、*Xanthomonas*、*Comamonas*、*Pseudomonas* 等菌屬。*Enterobacteria*大部分為生長抑制菌，160 號菜園此菌較多。對甘藍而言，以 *Pseudomonas+ Xanthomonas* + *Comamonas* 三種菌混合之生長促進效果較佳。本試驗還待繼續以達實用化。目前學者篩選拮抗菌之焦點多為螢光性 *Pseudomonas*，但某些作物根內並無 *Psudomonas*，若僅篩選 *Pseudomonas*，則其結果可能失敗。如大黃瓜、冬瓜、南瓜根內均無 *Pseudomonas* 生長。但以南瓜砧木接上小黃瓜接穗，南瓜根內即有該菌屬生長。岡野先生認為篩選根內菌，未來在田間之應用較無困難。其根內菌之篩選法係將甘藍根部以70%EtOH殺菌一分鐘，再用1%NaOCl殺菌二分鐘後，以YG培養基培養仍可長出者。

筆者問這些根內菌促進作物生長之機制為何? 岡野先生答以由觀察知，對照株之根部較黑而小，土壤中有 *Rhizoctonia*，*Pythium*等黴菌，若接上根內菌則可抑制病菌，根較白。筆者再問，如土壤中無不良菌相，則接種這些根內菌之效果是否較小? 岡野先生答亦是如此。

十一、以土壤微生物性作為輪作體系評價基準之研究

比較不同作物輪作系統下，土壤及根圈細菌對甘藍種子發根之影響，結果發現，無論是甘藷、大豆、甘藍連作之下發根抑制菌數之比率均高於輪作者；而輪作區發根促進菌株比率則高於連作區。在甘藍發根促進菌中篩選到促進效果最強的菌株 *Brucella abotrus*，惟該菌卻為豬的病原菌，因此無法應用。

十二、禽畜糞處理利用研究小組之研究成果一原田靖生博士

禽畜糞尿之處理利用在日本是重要研究課題之一。日本畜牧業發達，每年由進口飼料中輸入之氮素總量約55萬噸，相當於全日本所消耗之化學肥料氮素量。大量產生之禽畜排泄物帶來環境污染問題，特別是氮素可能以硝酸態氮形式污染地下水。農業研究中心在網際網路WWW設有Home page，介紹日本禽畜糞處理利用有關資訊及該中心之研究成果。目前該中心已開發一軟體計算全日本各地禽畜糞尿排放所帶來之環境氮素負荷量，係由飼料之質與量、及肉和牛奶之產出量估算排出之要素量，再除以各地之耕地面積而來。例如次城縣之平均氮素負荷量在 100公斤，而九州、鹿兒島則在 300公斤左右，宮崎縣內300公斤以上地區占三分之一，鹿兒島則占80%。為減輕環境負荷，希望儘量使禽畜糞尿排放量高的地方將排泄物製成堆肥，再流通到其他地方使用。此外，該軟體亦可計算全球氮素平衡，由食物及飼料之進出口量來估算，則日本是氮素輸入最大國，丹麥是輸出量最大國，因此全球有氮素分布不平衡之問題。原田先生認為要解決日本高氮素輸入量帶來之環境問題，可能的辦法有：(1) 提高飼料自給率，減少進口；(2)將禽畜糞尿製成堆肥以循環利用其養分，並將堆肥輸出至其他國家；(3) 將部分氮素以微生物行脫氮作用轉化為氮氣排入大氣中；(4) 排泄物用於焚化發電，但焚化產生之氮氧化物須先還原成氮氣後才可排放。

該研究小組亦研究堆肥製造技術與堆肥品質判定問題。在關東地區進行一項堆肥製造與使用調查結果顯示：該地區製造很多堆肥，但流通有問題，因使用者不知道那裡有堆肥，該小組乃印製關東地區之堆肥中心或製造廠之連絡電話與住址名冊、及農民最希望使用之堆肥種類，以促進資訊流通。根據其調查結果，製作堆肥時添加微生物者占22%，但添加微生物

與否對堆肥品質之影響不大。也有廠商宣稱其微生物可除臭，但未有實驗證實其效果。

堆肥在日本不算商品，因此並無品質標準。一般而言，顆粒大、無臭味之堆肥價格高，但價格高低與品質無關。因此，該小組希望研究制定一套堆肥品質判定標準，目前正開發以近紅外線測定堆肥腐熟度，由不同堆積時間之堆肥樣品測試結果良好，正進一步以各地搜集到之堆肥樣品測試中。

原田先生表示，堆肥長期施用必須注意三要素平衡問題。在各種堆肥中，農民喜歡用牛糞堆肥，因其土壤改良效果佳。但牛糞含鉀量較高，如果以牛糞供應作物生長所需鉀素，則氮、磷必須以化學肥料補充；反之，豬糞含磷量較高，就必須補充氮鉀肥。目前該小組正和仲谷先生合作研究堆肥如何配合化學肥料施用問題。

十三、微生物資源之有效利用‥滿江紅(Azola)在水田之應用

滿江紅可和固氮藍綠藻共生，在水稻移植時每平方米接種二〇至四〇克之滿江紅，兩週後在水面形成覆蓋，可抑制雜草生長，五週時每平方米滿江紅鮮重可增加至二公斤，含氮量四至五克 (即每公頃有四〇至五〇公斤氮素)，此時如果排水，滿江紅乾掉後可做為水稻之追肥。十七年前臺灣省農業試驗所亦曾做過滿江紅之應用試驗，但因化學肥料價廉，未能推廣應用。在今日強調環境保全型之農業生產體系，應可重新評估滿江紅在水稻有機栽培上之利用及做為休耕田之水生綠肥之可能性。

十四、EM菌之田間效果測試

經在水稻、蔬菜、蘿蔔、菊花等作物進行試驗，添不添加EM菌對於堆肥品質及作物產量均無影響，因此認為EM並無其所宣傳之效果。

十五、島本微生物農法

島本先生的父親自五十年前即開始研究用鋸木屑做堆肥並添加有益微生物幫助醱酵。島本先生五十年前即已開始重視有機質在土壤中的重要性，而堆肥可使土壤生態系好轉、理化性改善、及養分供應增加。他認為肥料的好壞影響微生物相，微生物中腐生性者很重要，日本因化肥使用過多，土壤中腐生菌愈來愈少，而寄生性微生物愈來愈多。

島本先生係用好氣性微生物來製作堆肥，選擇鋸木屑為材料係因其纖維質、木質素含量高、可增加土壤有機質含量。他用三類微生物：細菌(主要為*Bacillus*)、酵母菌、及真菌。這些微生物自低溫至高溫菌都有，可分泌高力價的水解酵素，將纖維質等水解為葡萄糖、醣醇(Sugar Alchohol)，蛋白質則水解為胺基酸，分解過程也會產生核酸、各種維生素、植物生長調節劑等。葡萄糖、醣醇及胺基酸等可直接被作物吸收利用，並促進放線菌生長，而土壤中放線菌、腐生菌增長後可抑制病原菌生長，減少病虫害發生及農藥使用。木屑中所含的單寧酸、油脂、樹脂等均有害作物，因此必需在醱酵過程中與以去除。又木屑C/N ratio很高，故需添加氮源。因其所用微生物含Bacteria，Yeast，及Mold，故產品稱BYM Food。其產品係乾燥孢子體，密度為10的6至7次方每克，加水後可增殖至10的9次方，每5公斤售價為5000至5800日圓。但五公斤加入100公斤米糠醱酵24小時後再使用，可增殖15-20倍，降低成本。

其堆肥槽係用有縫隙的水泥磚砌成，便於通氣。材料為木屑800公斤．乾雞糞或米糠120公斤，調整水分至65%，24小時內溫度就達到50-60℃，但不會超過65℃，堆積時間一共

四個月，期間需翻堆四次，分別於第一、三、六及十週時翻堆。醱酵過程不會發臭，醱酵完成時有甜味。

生物肥料製劑管理

目前市售微生物資材種類繁多，是否有效，多數缺乏科學上的證明，因此其標示尚無法管制，日本及我國皆然。但隨者科學進步，目前已有數種微生物已證明其效果，因此日本農水省認為可對此等微生物進行標示管理，有關之管理辦法正擬定中。例如VA菌根菌及*Pasteuria penetrans*(一種線虫寄生菌)均在考慮其管理中。農委會目前亦正考慮相關管理辦法中。(本文作者係張淑賢博士，現任職於行政院農委會國際合作科科長)

叢枝內生菌根菌在臺灣及東南亞的研究現況及其市場潛力

近年來隨著經濟情況的改善，國民的飲食習慣及對農產品的要求也跟著改變。由於過去的農業政策為期減輕農民的負擔，因此對化學肥料的價格一直有所補貼，其目的是希望能降低肥料售價，讓農民能廣汎使用並進而提高農作物的產量。四十多年來，化學肥料及農藥的使用，以及相關農業科技的進步，確曾為我國農業上創造前所未有的成就。然而時代的變遷，如今的農業已非昔比。過去生活困苦時，追求產量的提升是我們的主要目標。但是，在現在的自由經濟導向下，產量過多反而造成農民的負擔。產量過高，反而壓制了售價。我們經常可以見到農民因作物產量過多，價格不敷採收工資而任其作物在田間荒蕪的窘境。此外，消費者對於農產品品質的要求也日漸提高。因為有越來越多的消費者注意到過多的化學肥料與農藥的使用，將會影響農產品的品質、自然生態環境與消費者的健康。因此，近年來推動永續性農業的觀念已廣汎受到各先進國家的重視。如何減少化學肥料及農藥的施用，而又能兼顧農業生產的品質，已被視為未來二十一世紀農業研究的新方向。微生物肥料的使用，不但能符合上述的要求，且可降低農業的生產成本，提高農民的收益。因此，微生物肥料的觀念，便在這種環境因子與社會的潮流下逐漸的崛起。

叢枝內生菌根菌是微生物肥料的一種。叢枝內生菌根菌係與植物共生之真菌，由於這類真菌在感染植物之根部後會向根外延伸出長達8至10公分長的根外菌絲。這些根外菌絲有如根毛一般，因此有助於增加植物根部的吸收面積，特別是對於磷肥的吸收，效果尤其顯著(Abbott and Robson, 1984; O'keefe and Sylvia, 1990)。此外，叢枝內生菌根菌對於幫助作物抵抗逆境(Sieverding, 1981, 1986; Nelsen, 1987)、土生病害、線蟲等的研究(Bagyaraj, 1984; Graham, 1986; Price et al., 1990; Caron, 1989)，也倍受肯定。在花卉方面，促進早花，增大花朵，及延長切花在花瓶的插花壽限等第(張，1992；鄭・張，1991)。

臺灣研究概況

自從美國奧瑞岡州立大學Oregon state University教授Dr. James Trappe應臺灣省林業試驗所之邀請於民國六十五年訪問我國並介紹有關菌根菌的研究技術與知識後，我國在菌根菌方面的研究便因此而蓬勃發展起來(圖 5)。迄今，我國在囊叢枝內生菌根菌的研究已累積有二十年的經驗，研究的單位包括臺灣大學陳瑞青教授、胡弘道教授、張喜寧教授等；師範大學簡秋源教授；中興大學楊秋忠教授、趙震慶副教授等；屏東技術學院王均琍副教授等；臺灣省農業試驗所吳繼光副研究員、林素禎助理、嘉義試驗分所程永雄分所長等；台灣省種苗繁殖場文季鑾助理、孫永偉助理、蕭芳蘭助理研究員等。在應用推廣方面有以下單位與人員參與，桃園區農業改良場徐華盛先生；臺中區農業改良場蔡宜峰副研究員；高雄區農業改良場洪阿田先生；花蓮區農業改良場彭德昌先生。

各單位研究概況:

1. 臺灣大學：陳瑞青及胡弘道教授其研究以外生菌根菌為主，如松茸(*Tricholoma matsutake*)，塊菌(Truffle)等。但也曾指導研究生從事內生菌根菌的生態研究 (Hu,1978, 1988; Wong, 1981; Wu, 1983)。目前陳教授已屆退休年齡，胡教授則兼任溪頭實驗林之行政業務。園藝系張喜寧教授則是以內生菌根菌為研究的專業領域。範圍很廣，包括細胞學、生理學的基礎及應用方面的研究。目前從事的研究主要探討菌根菌接種對園藝作物(如蘆筍、甜椒、蕃茄、西瓜等)、花卉(如菊花、萬壽菊、大理菊、非洲菊、瓜葉菊、聖誕紅等)的生長與產量方面的影響為主(張，1992; 呂等，1995; 文・張，1995; 陳・張，1996a，1996b，1996c，1996d，1996e)。
2. 師範大學：簡秋源教授是我國最早從事囊叢枝內生菌根菌研究的學者之一(Wang, 1982)。早期指導研究生從事於內生與外生菌根的基礎研究，目前則集中於結合菌(毛黴菌目)的分類及菌種收集等研究。
3. 中興大學：楊秋忠教授與趙震慶教授，八年前曾就內生菌根菌與大豆根瘤菌的複合接種(Young et al, 1988)，研究對大豆的產量的影響。趙教授也曾指導研究生從事於重金屬污染土壤的菌根菌生態研究(Chao and Wang, 1991; Wang et al., 1995)。目前楊教授的研究主要集中於根瘤固氮菌兼具溶磷效果的篩選及溶磷菌溶磷機制上的研究。
4. 屏東技術學院：王均琍副教授係畢業於中興大學植物系，以"紅豆內生菌根之生理研究"為其博士論文。目前研究以本土化氣霧式菌根菌之生產及熱帶花卉、果樹等接種內生菌根菌對其生長的影響等為主。
5. 臺灣省農業試驗所：程永雄分所長從事於菌根菌的推廣工作已有多年，是位頗具田間經驗的推廣人才。其主要的業務是以沙耕法，生產限量的菌種，供農民使用做為示範推廣之用(Cheng and Chuang, 1994; Cheng et al., 1993)。程分所長在洋香瓜菌根菌的推廣工作上甚獲農友的肯定, 並於民國85 年獲省府頒發二等獎章。吳繼光副研究員主要以基礎研究為主，包括菌根菌種的調查、收集、繁殖技術的開發與其它根圈有益微生物結合的複合配方的開發等(Wu et al., 1995a, 1995b, 1995c; Wu, 1994; Wu and Sylvia, 1993; Wu, 1993a, 1993b; Wu and Chen, 1993; Wu and Chen, 1987)。目前臺灣省農業試驗所已成功研發囊叢枝內生菌根菌氣霧式繁殖法，使得菌根菌得以在無土的氣霧環境中產孢，且產孢量可達70,000顆孢子/每克乾根重。產孢量的多寡取決於菌種、宿主作物、生長期的不同而有所差異。以目前接種孢子量每株100~200顆孢子的濃度計算，每克的氣霧菌根量將可用於接種超過300株的作物苗。目前有關囊叢枝內生菌根菌產孢技術已經由農委會『農業專利暨著作權益委員會』於八十五年一月二十二日第十一次委員會審核通過，並於二月十六日以85農糧字第5020109A號函公告。本案已於八十五年六月一日簽約正式辦理技術轉移給臺灣生研股份有限公司及磊鉅實業股份有限公司進行商業化生產(圖 6-8)。目前臺灣省農業試驗所正進行目前最先進的根器官培養技術的開發工作。林素禎助理的研究工作主要集中於複合微生物肥料的開發，微生物肥料與植物營養的變化，以及在不同土系中，菌根菌與其它根圈微生物的族群分布的調查等。林素禎助理利用菌根菌、溶磷菌、游離性固氮菌等共同接種於文旦柚、百合、番茄、百日草、洋桔梗等，發現此種複合配方較單一菌根菌接種有較佳的表現。目前除了開發複合配方外，並進行複合菌劑的攜帶介質的研發。

6. 台灣省種苗繁殖場：該場目前在菌根菌方面的研究工作主要集中於如何應用菌根菌於促進健康種苗的培育上。目前該場最大的興趣在於應用菌根菌於球根花卉如百合、金花石蒜等的種球增大試驗。
7. 桃園區農業改良場：該場的土壤肥料股與園藝股主要是以菌根菌接種於西瓜與蕃茄上並觀察其在田間的表現。有關菌根菌在西瓜的試驗上，該場於民國86年在新屋鄉所做的試驗成果十分獲得肯定。所有接種菌根菌和溶磷細菌的瓜苗皆能抵抗因多雨所造成的缺氧現象，而不致於枯萎腐爛。
8. 臺中區農業改良場：該場的土壤肥料股與植物保護股合作，主要是以菌根菌接種於草莓與滿天星等花卉上並觀察其在田間的表現。
9. 高雄區農業改良場：該場的土壤肥料股主要是以菌根菌接種於苦瓜上並觀察其在田間的表現。
10. 花蓮區農業改良場：該場的土壤肥料股與園藝股合作，主要是以菌根菌接種於西瓜上並觀察其在田間的表現。

囊叢枝內生菌根菌種在臺灣之使用現況：

1. 張喜寧教授: 目前有 *Glomus mosseae, G. etunicatum, G. fasiculatum*?, *G. occultum, Gigaspora gigantea*等菌種。這些菌種已分送中興大學楊秋忠教授、嘉義分所程永雄分所長、屏東技術學院王均琍副教授、臺灣生研公司的陳泰安先生、臺灣省種苗場的文紀鑾助理研究員等。
2. 程永雄分所長: 由於以沙耕法進行菌種繁殖，容易造成菌種的不穩定。因此該分所所生產的菌種時有不同的菌種混雜。目前所檢視的菌種係 *Glomus mosseae, G. etunicatum, G. intraradices, Acaulospora scrobiculata* 等的混合。

東南亞國家囊叢枝內生菌根菌的研究概況

日本：菌根的研究早期較集中於外生菌根的研究，特別是松茸菌根。但漸漸有較多的人注意到內生菌根的重要性，可惜研究的人員仍然十分有限。菌根菌在日本是以土壤添加劑的方式在市面上販售，日本政府對於此種產品並無約束力。除非它們是以一種肥料或殺菌劑或殺蟲劑的方式出現，日本政府可以肥料管制法及農業化學藥物管制法來管理。目前含菌根菌在內的微生物土壤添加劑已超過200種以上，在品質管理上確實不易。針對此一現象，日本土壤科學與植物營養學會於1995年成立了微生物土壤添加劑特別委員會，希望透過此一委員會能對於市面上的微生物製劑提供一客觀的評估的參考。日本於1986年起，有約20家私人的微生物添加劑製造公司成立所謂的"應用生物活性於有機肥料的技術研究學會"，從事於相關技術的開發研究計畫。目前這些計畫是經由農林水產省予以補助。每一研究階段為期五年 (Kimura, 1996)。政府方面，目前有東京筑波大學、國立農業環境科學研究所(NIAES)、國立草地試驗所(NGRI)、千葉大學、北海道農業試驗場等機構，從事於菌根菌的應用及生態研究。有關菌根

菌的推廣工作，在日本則尚未進行。目前日本的出光興業株式會社已有Dr. Kinkon的菌根菌商品販售(如表一)(圖 9)，其菌種主要為 *Glomus mosseae/ G. etunicatum* 的混合體，另輔以 *Gigaspora*，*Scutellispora* 等的菌種。此外，尚有中央玻璃公司及大阪天然氣公司亦有生產(Nishio, 1996; 齋藤雅典，私人通訊)。中央玻璃公司所生產的菌根菌產品，內含菌種是以 *Gigaspora* 為主。日本的VA菌根菌產品與加拿大或美國的菌種不同，生產方式也不一樣，自然售價也略有不同(表二)。日本係以盆栽法，利用蒙特石(或膨賬性黏土)為介質，所生產的接種原。美國的Endotech Symbiotics Co.係以氣霧式栽培法生產接種原。菌種包括 *Glomus etunicatum, G. deserticola, G. mosseae, G. intraradices* 等。加拿大的Premier Tech公司則是以根器官培養技術生產菌根菌產品(圖 10)。其產品係以風乾的菌根片段，混合泥炭土及珍珠石而成，可直接當作盆栽介質使用。

韓國：研究人員不多，大多集中於漢城的林業研究所及教育大學。其研究以生態調查為主(Eom et al., 1992; Koo et al., 1992)，有關應用方面的報告較為缺乏。

泰國：由1995年在我國舉行之亞太地區適量施肥研討會上(Osotsapar, 1995)，泰國代表的報告顯示，泰國農部與曼谷的卡謝查大學均有從事菌根菌的應用研究及推廣計畫(Nobamornbodi, 1993; Mala, 1995)。

中國大陸：目前大陸方面研究菌根菌的學者不多。就最近的1993年全國菌根學術會議出席人數有55人，其中內生菌根菌論文佔菌根論文總數的5/7，可見內生菌根在中國大陸所受的重視(汪・張，1994)。研究內生菌根菌較有名的研究者，包括中國農科院土壤肥料研究所汪洪鋼研究員，張美慶研究員、中國科學院南京土壤研究所吳鐵航副研究員，山西棉花研究所潘幸來研究員，以及廣東的林科院徐大平等人。目前這些學者大多與澳洲合作。茲就大陸的內生菌根研究細部情形略述於后。

a. 資源調查：在80年代初期，大陸僅進行VA菌根樹種及孢子數的調查。所進行的省份大多集中於南部七省，山東及新疆等。90年代後已逐漸擴展到黃河流域及東北地區。

b. 菌根菌鑑定：大陸的VA菌根菌鑑定工作從1984年後才開始。迄今所發表的菌種將近40種。其中一種 *Glomus citriocolum* 為新種， *G. albidium var. Quianjiang* 為一新變種。

c. 生態分布：根據張美慶的調查發現某些屬及種的菌根菌其分布具有地域性，它們的分布和土壤pH、土壤有機質含量與產地海拔高度密切相關。按照不同種對環境、宿主的適應性和地域的分布狀況，將VA菌根菌分為"廣譜生態型"及"窄譜生態型"。

d. 菌根菌生態學：當土壤有效磷含量過低時，VA菌根感染率降低。適量施磷肥能顯著提高侵染率，但土壤含磷量過高時抑制菌根侵染。但薛炳鏵發現土壤中有效磷高過112 ppm時，桃樹幼苗仍受感染。

e. 菌根生理學：唐振堯等於1980年用32P研究VA菌根對柑橘磷素的吸收作用，指出經接種菌根菌50天後，菌根植株放射強度是對照的2.15～7.52倍，100天後是1.16～2.16倍。汪洪鋼等，唐振堯等、和李慧荃等分別報導了植物在北方石灰性土壤和南方酸性紅壤中對磷礦粉的吸收效果顯著。菌根菌不只提高作物產量，且改善了某些植物的品質，如提高西瓜糖份含量，增加藥用曼陀羅、荊芥等的藥用成份含量、提高蘆筍中人體必

需氨基酸含量等。趙士杰等發現接種VA菌根菌的韭菜在低溫上細胞膜受害程度較輕，增強了植株抗凍的能力。

f. 菌根菌的應用：大陸方面已陸續進行了，糧食作物如小麥、大麥、玉米等；經濟作物如棉花、綠豆、花生、西瓜等；綠肥作物如桕麻、三葉草、紫雲英、蠶豆等；果樹如中國櫻桃、柑桔、蘋果等；蔬菜如蘆筍、番茄、青椒、辣椒等的應用研究。

g. 菌種劑的生產與應用：張玲等發現以0.1%甲醛來進行沙耕盆栽介質的滅菌效果最好。目前大陸所進行的菌種繁殖係以沙耕法為主要方式。

我國未來發展菌根菌的方向

我國在叢枝內生菌根菌的應用研究上，過去較重視菌根菌接種作物後，對於產量或生長所造成的影響。1996年在臺灣省農業試驗所舉行的"國際微生物肥料暨對肥製造研習會"上，日本的講員Dr. M. Nishio就曾提出他的看法。他認為有關菌根菌對於作物促進生長的效益方面，截至目前為止，世界各國已提出足夠的論文來印證它的好處，我們的確相信叢枝內生菌根菌是一群有益的微生物。現在我們所最關心，也是最期待知道的是，如何掌握應用叢枝內生菌根菌的環境因子並使之有效發揮功用。我們相信在田間試驗上，仍有許多試驗失敗或接菌效果反而比對照組差的結果。在這些負面的結果中，反而隱含著更多值得我們去進一步探求解答與為往後應用更成功鋪路的契機。這項看法與國際菌根菌種原中心主任Dr. Joseph Morton於今年訪問臺灣省農業試驗所菌根菌種原中心時, 所做的結論是相同的。他們一致認為我國既然已將菌根菌種原的生產技術轉移給工業界, 那麼就應由工業界來負責提供種原給農友的任務。有關商業化菌根菌產品的品質(諸如菌種的純度與含量等)則可交由政府單位來把關。研究單位可以將研究人力與經費轉移到解決菌根菌實際應用上所面臨的難題。諸如篩選具有應用潛力的菌根菌，菌根菌在不同土系的分布調查，菌根菌與有機質肥料添加量的評估，菌根菌與化學肥料添加量的評估，菌根菌與殺草劑使用量的互動關係，菌根菌與殺菌劑(特別是土生病害的系統性農藥)的互動關係等等。此外，在未來發展分子生物學的研究上，根器官培養技術的開發是一關鍵點。該技術能生產完全無雜菌污染的純系孢子，可供抽取DNA及其它抽出物的分析研究。由於目前該技術在國際上成功培養的菌種仍十分有限，我國若能趁著現在氣霧式栽培技術領先各國的機會，加緊腳步積極開發根器官技術，將來在菌種生產技術上超越其它國家，實非夢想。

表一：日本菌根菌商品價格及包裝

生產者	品牌		包裝	用量	價格/包
Idemitsu Industries	Dr. Kinkon	for general use	1 kg	1-2 g/plant	¥12,000
	Dr. Kinkon	for leek	10 kg	10 kg/10 a	¥9,500
	Dr. Kinkon	for sweet pepper	2 kg	2 g/plant	¥9,500
Central Glass	Sera-Kinkon		3 kg	2-3 g/plant	¥9,500

表二：加拿大及美國菌根菌商品售價及包裝

生產者	品牌	包裝	用量	含孢量	價格/包
Endotech Symbiotics Corp.	Endotech*	20 g		100,000	US$ 30
	Endotech	100 g		500,000	US$ 80
	Endotech	200 g		1,000,000	US$ 150
Premier Tech	Mycorise RS**	30 L	100 L/ha.	2100/ Liter	CA$ 17
	Mycorise HX**	30 L	10-250 ml/plant	2100/ Liter	CA$ 17

* 氣霧式生產技術

**根器官生產技術

臺灣內生菌目及繡球菌目之分類學研究

前　言

菌根 (Mycorrhiza) 一詞係由德國植物學家 Albert Bernard Frank (1885)所創，Myco- (mush-room), 真菌的意思，rhiza- (root), 根的意思，意指植物根部與真菌共生的結合體。菌根大體上可分為外生(ectomycorrhiza) 與內生菌根(endomycorrhiza) 兩大類(Harley and Smith, 1983) (表一)。內生菌根的主要特徵在於其菌絲會進入植物細胞內，以菌絲捲 (hyphal coil) 或叢枝 (arbuscule) 構造等方式與植物細胞有較緊密的接觸。外生菌根的主要特徵在於植物根端外圍有菌絲纏繞而成的菌氈 (hyphal mantle) 包裹，菌根的菌絲並不侵入植物細胞內；但在根的橫切面上可看到表皮與皮層細胞間有由菌絲組成的哈氏網 (Hartig net) 的構造。有些菌根因具有內生與外生菌根的構造，而被稱為內外生(ectendomycorrhiza)。

所謂囊叢枝內生菌根 (vesicular-arbuscular mycorrhiza，簡稱 VAM)，係指植物根部受囊叢枝內生菌根菌感染後，菌絲因在根部皮層細胞內形成細小雙叉分支的叢枝體 (arbuscule)，以及在菌絲末端或中段膨大形成囊泡 (vesicle) 而得名。近年來由於並非所有的菌根菌 (如 Gigaspora, Scutellospora)皆可於根內形成上述兩種構造，因此國外已有不少學者改稱此種菌根為叢枝菌根(arbuscular mycorrhiza, 簡稱 AM)。Gigaspora 和 Scutellospora 兩屬的菌根菌，其囊泡 (soil- borne vesicle; auxilliary cells) 是產生於根外土壤中。

囊叢枝內生菌根菌在分類地位上，早期是與內生菌屬(*Endogone*) 共同置於內生菌目(Endogonales)、內生菌科(Endogonaceae)中。由於內生菌屬(*Endogone*)並不形成叢枝內生菌根，因此最近已將該屬獨立出來，與 *Sclerogone, Youngiomyces, Peridiospora* (Wu and Lin, 1997)等屬，歸於內生菌目(Morton and Benny, 1990; Wu and Lin, 1997)，並將可形成叢枝內生菌根者，另設立繡球菌目(Glomales)，屬於接合菌綱 (Zygomycetes)，下分三個科 (Glomaceae, Acaulosporaceae, Gigasporaceae)，總共包含有六個屬 (*Glomus, Sclerocystis, Acaulospora, Entrophospora, Gigaspora, Scutellospora*)，一百四十餘種 (Morton and Benny, 1990; Schenck and Perez, 1990) (圖 11)。囊叢枝內生菌根菌，可與許多的植物形成菌根。從苔蘚植物 (Parke and Linderman, 1980)，蕨類植物(Cooper, 1976)，裸子植物到被子植物 (Janos, 1988)。從一般陸生植物，耐鹼植物，水生植物到旱生植物。而根據德國斯爾丁教授 (Sieverding, 1991)的估計，在熱帶植物中，約有13.4%為非菌根植物，70.9%為囊叢枝內生菌根植物，15.7%為其它菌根植物。在已知非菌根植物中，包括莧科 (Amaranthaceae)、十字花科 (Cruciferae)、石竹科 (Caryophyllaceae)、藜科 (Chenopodiaceae)、鴨趾草科 (Commelinaceae)、玉蕊科 (Lecythidaceae)、馬齒莧科 (Portulaceae)、山欖科 (Sapotaceae)、蒺藜科 (Zygophyllaceae)等。有些植物不但可形成囊叢枝內生菌根，也可與其它真菌形成外生菌根，例如胡桃科 (Juglandiaceae)，田麻科 (Tiliaceae)，楊梅科 (Myrtaceae)，楊柳科 (Salicaceae)，殼斗科 (Fagaceae)，蘇木科(Caesalpiniaceae) (Gerdeman, 1975)。此外，根據傑諾司(Janos, 1988)的定

義，菌根植物對菌根菌的依賴度，可分為兩類：一為絕對菌根植物 (obligately mycorrhizal plant)，另一為非絕對菌根植物 (facultatively mycorrhizal plant)。當植物在非常肥沃的土壤中，若無菌根菌與其共生，則仍然無法正常生長者，稱為絕對菌根植物。如酪梨、牛豆、咖啡、芒果、*Genipa americana*, 筆花豆 (*Stylosanthes guianensis* (Aub.) Sw.), *Andropogon gayanus* Kunth等。若植物可與菌根菌形成菌根，但在適當肥力的土壤中，雖無菌根菌與之共生，仍能正常生長者，稱之為非絕對菌根植物。如 豌豆, 玉米, 水稻, 高粱, 棉花, 木瓜, 蘆筍, *Clitoria fairchildiana, Jacaranda caucana, Tabebuia chrysantha, T. rosea* 等 (表二)。

臺灣研究繡球菌目與內生菌目的簡史

臺灣在菌根方面的研究始於民國六十五年。當時美國奧瑞岡州立大學翠琵教授 (Prof. J. Trappe) (圖 5) 應林業試驗所之邀請來華訪問，並舉辦討論會，介紹菌根學 (Mycorrhiza) 給我國的研究者。早期臺灣的研究者，似乎對外生菌根較感興趣；而有關囊叢枝內生菌根菌方面的研究，則是由國立師範大學的簡秋源教授 (Chien, 1976) 首先開始。

目前在臺灣被用於研究內生菌根的植物大多偏於農、園藝方面且研究之重點也多集中於菌根菌接種對植株的生理反應上，如香蕉、木瓜 (張, 1992; 林, 1986)，洋香瓜 (程・莊・杜, 1993)，柑橘 (Huang, 1979; Tzean and Huang, 1980)，玉米 (程・杜・林, 1984; 楊・趙・張, 1986; 趙・王, 1990)，蘆筍 (Chen, 1981; 呂, 1985; 林, 1986; 張, 1990; 彭, 1991)，蔥 (You, 1980)，大豆 (程・杜・林, 1984; Kuo and Huang, 1982; Young *et al.*, 1986; 趙・王, 1991)，矮性四季豆 (Chen, 1982)，紅豆 (王, 1989)，豌豆 (Toun, 1982)，茶 (曾・陳, 1984)，百日草 (鄭・張, 1991 a)，萬壽菊 (鄭・張, 1991b)，菊花 (邱, 1995)，非洲菊 (文・張, 1994, 1995)，孔雀草 (鄭・張, 1991b)，金盞花 (邱, 1995)，矮牽牛、百合 (王, 1983; 江, 1994; 呂・張, 1995)，一串紅、西洋櫻草、霍香薊、大理菊、繁星花、馬櫻丹、蜘蛛菊、雪茄花 (Chen, 1996)。在林木方面之研究則較少，紅檜 (Hu, 1978; 1980; Wong, 1981)，臺灣杉、巒大杉、臺灣扁柏 (Hu, 1988; Wong, 1981)，楓香 (Wang, 1982; You, 1980)，柳杉、小葉南洋杉 (Chien, 1976; Kan, 1977)，相思樹 (張, 1983, 1984)等。此外，菌根菌與其它動物(如線蟲)間的研究則又更少(程・杜, 1982; 鄭, 1983)。

在臺灣有關繡球菌目分類學的研究開始於1983年(Wu, 1983; Wu and Chen, 1986)，當時係調查臺大溪頭實驗林孟宗竹及其地被植物的菌根菌分布。在該調查中除了發現孟宗竹並非形成叢枝內生菌根外，首度描述了 *Glomus formosanum, Sclerocystis pachicaulis* 兩新種，並登錄了 *Acaulospora foveata, Entrophospora infrequens, G. caledonium, S. coremioides* 等新記錄種。*Sclerocystis pachicaulis* 在稍後的研究中，被認為係 *S. rubiformis* 的同種異名(Wu, 1993a)。吳繼光和陳瑞青接著發表了兩種 *Sclerocystis* 屬的新種(*S. taiwanensis, S. liquidambaris*)，分別在溪頭的桂竹林與臺北陽明山國家公園的楓香林內發現(Wu and Chen, 1987)。稍後，臺灣大學森林系及林業試驗所也進行了林木菌根菌的調查工作(胡, 1988; Chou *et al.*, 1991)。在杉木與臺灣杉的菌根菌調查中，報導了兩個新種 *Acaulospora taiwania, Sclerocystis cunnighamia* (胡, 1988)。其中 *S. cunnighamia* 係 *S. liquidambaris* 的同種異名。周文能等人(Chou *et al.*,

1991)在海岸防風林首次對 *Gigaspora* 屬及 *Scutellospora* 屬進行調查研究，共報導了三種新記錄種，*Gigaspora decipiens, S. coralloidea, S. erythropa* 與一新種 *G. alboauranthiaca*。該新種的描述與 *G. margarita* 的特徵相同，判係同種異名。

我國有系統的調查並收集繁殖囊叢枝內生菌根菌則是開始於1992年。當時在行政院國家科學委員會的補助下，開始進行繡球菌目的專誌性調查。在國科會第一年補助計畫中完成Sclerocystis屬觀念的修定(Wu, 1993a)。此外也完成Sclerocystis 屬的圖鑑 (Wu, 1993b) 以及修定 *Sclerocystis sinuosa* 種的觀念的論文，並於同年刊登於日本真菌學會會刊(Wu, 1993c)。在1994年除了繼續進行菌根菌資源調查外，並從事氣霧式(aeroponic culture)菌根菌產孢技術的研究。在1994 年中，在墾丁國家公園及溪頭實驗林發現兩種世界新種，*Entrophospora kentinensis, Glomus chimonobambusae* (Wu et al., 1995a)。其中 *E. kentinensis* 經測試可耐重金屬銅的污染達233ppm，且可成功地在氣霧式栽培箱中產孢。這是世界上 *Entrophospora* 屬首次在無土環境中產孢的記錄 (Wu *et al.*, 1995b)。此外，在國科會與農委會計畫支持下，也在玉山國家公園發現兩個世界新屬(*Jimtrappea, Peridiospora*)。*Jimtrappea* 屬，是叢枝內生菌根菌的第七個屬，其孢子係直接產生於產孢母囊泡(sporiferous saccule)內，無接著菌絲且在孢子表面有一環形接著點痕跡。*Jimtrappea* 屬孢子外型與 *Acaulospora* 屬及 *Entrophospora* 屬相似。但 *Acaulospora* 和 *Entrophospora* 屬的孢子係產生於產孢母囊泡菌絲柄的側面或菌絲柄內，與 *Jimtrappea* 屬不同。我國囊叢枝內生菌根菌種類已累計至七屬六十餘種，佔全世界已發現總數的43% (表三) 另本次所發現的 *Peridiospora* 屬是接合菌綱，內生菌目的第四個屬。這是內生菌目首次在臺灣發現的記錄。*Peridiospora* 屬的特徵在於其結合孢子果只包含單一個結合孢子。孢子有顏色且包裹著一層菌絲層 (Wu and Lin, 1997)。該兩新屬的發現對於菌根菌的產孢方式、細胞學以及親緣演化關係的了解提供了進一步研究的材料。

繡球菌目(囊叢枝內生菌根菌)之分類學

繡球菌目係由Morton and Benny在1990年所設置，用以收容可與植物共生產生(囊)叢枝內生菌根的真菌，原共有六個屬(*Glomus, Sclerocystis, Acaulospora, Entrophospora, Gigaspora, Scutellospora*)。古繡球孢子屬(*Glomites*)係1995年才發表的新屬(Taylor et al., 1995)，它主要是用以描述一種已絕種的化石叢枝菌根菌。此種化石早在四億年前已存在於地球上，它與另一原始植物化石(雷尼蕨)共生。另一為翠皮氏屬(*Jimtrappea*)，是在我國發現的第七屬非化石叢枝內菌根菌 (Wu and Lin, in preparation)。(圖 12)

古繡球孢子屬(GLOMITES)

Glomites Taylor, Remy, Hass & Kerp

Etymology: The generic name *Glomites* underscores the similarity to the extant genus *Glomus*; the ending ites is used to designate a fossil taxon, as discussed by Pirozynski and Weresub (1979). The specific epithet *rhyniensis* denotes the Rhynie chert collecting locality. Extraradical, aseptate hyphae up to 25 μ m in diam, occasionally occurring in bundles, hyphal

wall two-parted, rarely branched; intraradical hyphae of two types, one consisting of aseptate hyphae 8-14 μ m in diam, thin-walled, extensively branched in hypodermis, branches produced in acute angles of 30-60°, occasionally with slight projections representing former site of deteriorated hyphae; other narrower hyphal branches produced at more right angles, narrow (5 μ m) and giving rise to solitary, occasionally multiple, terminal globose-elongate spores ranging from 50-80 μ m; spore wall multilayered with inner layer continuous with subtending hypha, basal septum absent; other narrow hyphal branches penetrate cortical cell wall to form highly branched arbuscules, arbuscule with basal stalk approximately 2 μ m m in diam, and forming fine distal tips, sometimes slightly swollen; arbuscules confined to narrow (one to four cells wide) outer cortical zone beneath hypodermis.

根外無隔版菌絲周徑可達25 μ m，偶而會聚集成束，菌絲壁兩層，少有分叉；根內菌絲分成兩大類，一類由無隔版菌絲組成，周徑 8-14 μ m, 薄壁, 在根表皮下層具有廣汎分叉，分叉的角度在 30-60°，菌絲偶有因分叉菌絲萎縮脫落所形成的突起；另一類由較窄菌絲組成，分叉的角度約在900，周徑約5 μ m，在菌絲末端常可形成單一，偶而較多的圓型或長圓型孢子周徑在50-80 μ m；孢壁多層，內層與接著菌絲相連，不具隔版；此外有些較窄的菌絲會穿過皮層細胞壁形成高度分枝的叢枝體，叢枝體其基幹周徑約2 μ m，並形成末端細緻分叉，有時末端會稍稍膨大；叢枝體形成於下表皮下方約一至四層細胞的外皮層內。

翠皮氏屬(JIMTRAPPEA) (圖 13)

Jimtrappea Wu & Lin

Etymology: Latin, *Jimtrappea* (Jim Trappe), in honor of Dr. J. Trappe, Oregon State University, in recognition of his contribution to our knowledge of mycorrhizal fungi.

Sporocarps unknown. Spores produced singly in the soil and formed directly within the sporiferous saccules. Sporiferous saccules formed at terminal or intercalary part of hypha. Walls of hypha expanded to accomodate spore, forming a clear outer layer tightly appressed to the spore. Stalk of sporiferous saccule degenerated, leaving circular attachment(s). Spore germination by growing germ tube through spore wall and producing vesicular structures in the end of germinating hyphae.

孢子果未知。孢子單獨形成於土壤中且獨自形成於產孢囊泡內。產孢囊泡形成於菌絲的末端或菌絲的中段。當產孢囊泡膨大時，囊泡壁會與形成於其中的孢子緊貼。產孢囊泡的柄會在孢子形成後與囊泡分離並留下一至數個圓型的痕跡。孢子發芽採發芽管穿過孢壁的方式並於發芽菌絲的末端形成圓形的囊泡。

繡球孢子屬(GLOMUS)

Glomus Tulasne & Tulasne

Etymology: Latin, *glomus* (a ball of yarn), possibly in reference to the sometimes

rounded and cottony appearance of the species for which the Tulasnes erected the genus. Chlamydospores borne terminally on single (rarely two) undifferentiated, nongametangial hyphae in sporocarps or individually in soil. Spore contents at maturity separated from attached hyphae by a septum or occluded by spore wall thickening.

*Glomus*屬是分布最普遍的囊叢枝內生菌根菌，全世界約有七十多種。臺灣已有記錄的菌種有二十七種。本屬的特徵在於其孢子具有一(或二或三或多支)接著菌絲 (attached hypha)。孢子在形成初期，是呈薄壁囊泡狀 (thin- walled vesicle)。當孢子成熟時，囊泡壁逐漸加厚而成厚壁孢子(Chlamydospore)。孢子體與接著菌絲間的交會孔道，可經由孢壁直接加厚而封閉或形成隔板 (septum)。孢子大多單獨產生於根圈土壤中，但也有一些種類直接產孢於根內，如 *Glomus intraradices*， *G. manihotis*等。此外，當孢子形成時聚集成一團狀構造，我們稱之為孢子果 (sporocarp)。孢子果可能只是一鬆散的孢子堆，或是被菌絲組成的包被 (peridium) 所包圍而成一緊密的構造。孢子發芽的方式，主要是發芽管經由接著菌絲而直接向外延伸。但也有一些種類，如 *G. scintillans*， *G. chimonobambusae* (Wu *et al.*, 1995a) (圖 14)，它們發芽時發芽管是直接穿透孢壁而向外生長。這種發芽方式與 Gigaspora 屬相同。較常出現在本省農田的 Glomus 屬囊叢枝內生菌根菌種，有*G. clarum, G. mosseae, G. etunicatum, G. geosporum, G. manihotis, G. occultum,* 等。

硬囊實果屬(SCLEROCYSTIS) (圖 15)

Sclerocystis Berkeley & Broome

Etymology: Greek, *sclero-* (hard) and *-kystis* (bladder), referring to the small, very hard, rounded sporocarps of the type species.

Chlamydospores arranged side by side in a single layer, elongated, radiating out from a central plexus of hyphae.

Sclerocystis Berkeley & Broome emend. Wu

Sporocarps globose or subglobose or hemispherical, enclosed by a peridium or naked, with a multihyphal stipe or monohyphal stalks; Chlamydospores arranged side by side in a single layer, radiating out from a central plexus of hyphae; Central plexus composed of a broad, stellate thick -walled cell or interwoven hyphae; Development of chlamydospores within sporocarps synchronous or asynchronous; Sidephores frequently producing from the base of chlamydospores, becoming spores or intersporal hyphae.

*Sclerocystis*屬的內生菌根菌在臺灣也是分布很廣汎的，只可惜本屬至目前為止，尚無法在盆栽內以砂耕法 (pot culture) 繁殖成功。全世界目前已被接受的命名有六種，這六種全可在臺灣找到它們的蹤跡。其中兩種 *Sclerocystis liquidambaris, S. taiwanensis*，是首次在臺灣發現的菌種且這兩種已先後在菲律賓及韓國(Eom *et al.*, 1992; Koo *et al.*, 1992)等西太平洋國家被發現。本屬的特徵主要在於其產生圓形，橢圓形或半圓形的孢子果。孢子果可能是裸露或為包被所包圍。孢子係由孢子果中心菌絲 (plexus hypha) 產生，並以輻射狀向外排列成扇形或圓形 (Gerdeman and Trappe, 1974; Wu, 1993a, 1993b)。孢子果發芽的方式(以S. sinuosa

為例)，主要是在孢子果周圍形成發芽囊泡(Almeida and Schenck, 1990)。在本屬中，以S. coremioides 和S. sinuosa 分布最廣，前者多分布於農田及柑橘園土壤中而後者則出現在海岸防風林(Wu, 1993c)和一般農田土壤中。其它如*S. rubiformis, S. liquidambaris*，*S. taiwanensis*，則大多出現在自然林地的土壤中。

內柄生孢子屬(ENTROPHOSPORA) (圖 16)

Entrophospora Ames & Schneider

Etymology: Greek, *en* (within), *trophos* (nourished or reared), and *spora* (spore), referring to the spore being reared within the vesicular stalk.

Azygospores produced singly in soil by expansion within the stalk of the mother vesicle. Mother vesicle thin walled, dense white, becoming empty as contents are transferred to developing spore. Walls of vesicular stalk expand to accommodate spore, forming a clear outer membrane tightly appressed to the spore. Spore wall continuous except for funnel-shaped protion which extends into the mother vesicle and is closed by a thickened plug.

Entrophospora Ames & Schneider emend. Wu Spores produced singly in soil. Sporogenesis started inside the stalk of a sporiferous saccule by the formation of a septum in the lower channel of the stalk. The cytoplasm within the saccule seemed the major source for the spore formation. When the cytoplasm flowed downward, the central part of stalk swelled and tiny vacuoles were formed at the periphery of saccule. As the primordial spore was differentiated inside the stalk, another septum was formed right below the saccule. After spores mature, the terminal vesicles of saccules and the lower hyphal stalks degenerate and leave two scars.

Entrophospora 屬的囊叢枝內生菌根菌，與 *Acaulospora* 屬類似。它們都可形成產孢用的囊泡 (sporiferous saccule)。只是本屬的主要特徵是在於其孢子是形成於產孢囊泡的柄內。初期囊泡內會聚集濃密的細胞質，並於囊泡柄內形成一隔板。稍後，囊泡內的細胞質向下移動進入柄內，細胞質經轉化沉積而形成孢子。產孢囊泡和囊泡柄在孢子成熟後會萎縮脫落，因此在孢子外壁上會留下一大一小的兩個圓形痕跡。這是辨識本屬菌的重要依據。本屬的孢子一般較常出現在酸性土壤中，目前全世界只發現四種。其中的一種 (*E. kentinensis*) 是首次在臺灣墾丁國家公園發現的(Wu *et al.*, 1995a)。*Entrophospora kentinensis* 可出現在微鹼性，含高濃度鹽類的土壤中，且可耐銅污染。目前臺灣省農業試驗所已將 *E. kentinensis*，以氣霧式無土栽培方式繁殖成功(Wu *et al.*, 1995b)。

無柄孢子屬(ACAULOSPORA)

Acaulospora Gerdemann & Trappe emend. Berch

Etymology: Greek, a-(without), *caulos* (stem), and *spora* (spore), referring to the sessile spores.

Spores produced in soil or in sporocarps that may attain several cm in length; spores globose,

subglobose, ellipsoid, or broadly fusiform, with oily contents; borne laterally on the sbutending hypha of large, terminal relatively thin-walled, sporogenous saccule. Terminal sporogenous saccule may be up to twice the size of spore; contents transferred to developing spore. Spore composed of essentially two distinct, separable wall groups; at least part of outer is continuous with wall of subtending stalk, may be pigmented, laminated or composed of distinct walls, and variously ornamented; inner is composed of one or more walls that are usually membranous, hyaline, may be laminated, ornamented, and stalk that subtends spore is occluded by part og the outer spore wall group.

Acaulospora 屬的囊叢枝內生菌根菌，產孢方式與 *Entrophospora* 類似。所不同的是孢子著生於產孢囊泡的柄外。當孢子成熟後，產孢囊泡萎縮脫落並在孢子外壁上留下一個圓形的疤痕，這單一的圓形疤痕是與 *Entrophospora* 區別的重要依據。*Acaulospora* 和 *Entrophospora* 兩屬的孢子發芽方式皆相當類似，它們在發芽時會先在內層胞壁內形成螺旋形的發芽盾 (germ shield)，然後才會穿透孢子長出發芽管。本屬的孢子也是常出現在酸性的土壤中。在我國農作田中，本屬的孢子如 *A. spinosa, A. scrobiculata , A. laevis, A. foveata* 等通常可在旱作植物 (如花生、甘薯、玉米、茶樹等) 的根圈土壤中分離出來，但在水稻田則鮮少出現。

大孢子屬(GIGASPORA)

Gigaspora Gerdemann & Trappe emend. Walker & Sanders

Etymology: Greek, *giga-* (giant) and *-spora* (spore), referring to the exceptionally large spores typically produced by members of the genus.

Spores produced singly in soil, large variable in shape, usually globose or subglobose but often ovoid, pyriform or irregular, especially when constrained during formation, borne on a bulbous suspensor-like cell, usually with a narrow hypha extending from one or more peg-like projections towards the spore. Spore wall structure of a single wall group, lacking flexible (membranous or coriaceous) walls. One or more germ tubes produced directly through the spore wall near the base. Thin-walled, echinulate or finely papillate auxiliary cells borne in osil, on straight or coiled hyphae, formed singly or in clusters. Forming endomycorrhizae with arbuscules and hyphal coils, but without vesicles.

Gigaspora 屬的囊叢枝內生菌根菌全世界目前有七種。*Gigaspora* 屬和 *Scutellospora* 屬的產孢方式相似。菌絲在產孢時，先在頂端形成小的囊泡(suspensor-like cell)，然後自囊泡的末端再向外膨大形成厚壁孢子。初期厚壁孢子與小囊泡間有一小管道聯接，以供細胞質自菌絲流入孢子內。當孢子成熟後，由於孢壁的逐漸加厚而最後將此管道封閉。本屬孢子的孢壁構造較簡單，只含有單一壁群 (wall group)，內由一至二層孢壁組合而成。當孢子發芽時，發芽管直接穿透胞壁而向外生長。本屬與 *Scutellospora* 屬的菌絲皆不在根內形成囊泡 (intraradical vesicles)，取而代之的是在根域土壤中。我們稱之為土生囊泡 (soil-borne vesicles)，或副細胞 (auxiliary cells)。本屬的土生囊泡具有乳頭狀或刺狀突起 (projections)。本省較常見的菌種有 *G. margarita, G. gigantea* 等。

盾蓋孢子屬(SCUTELLOSPORA) (圖 17-18)

Scutellospora Walker & Sanders

Etymology: Latin, *scutellum-* (small shield) and *spora,* (spore), referring to the production of germination shields in spores of members of the genus.

Spores produced singly in soil (or rarely in cortical cells of roots), large, variable in shape, usually globose or subglobose, but often ovoid, obovoid, pyriform or irregular especially when constrained during formation; borne on a bulbous suspensor-like cell, usually with a narrow hypha extending from one or more peg-like peg-like projections towards the spore. Spore wall structure of at least two wall groups, with one or more flexible membranous or coriaceous walls in the inner group or groups. Germination by means of one or more germ tubes produced near the spore base from a germination shield formed upon or within a flexible inner wall. Thin-walled, knobby or broadly papilate auxiliary cells borned in soil, on straight or coiled hyphae, formed singly or in clusters. Forming endomycorrhizas with arbuscules and hyphal coils, but without vesicles.

Scutellospora 屬的囊叢枝內生菌根菌，目前全世界約有二十三種，大多分布於沿海沙灘的植物根圈內，但在一般農田之中特別是旱作田內亦時有發現。本屬與 *Gigaspora* 屬最大的區別，在於其孢壁的構造與發芽方式。本屬孢子的孢壁經輕微擠壓破裂後，孢壁會分離成二或更多的壁群，其中在內壁群定含有一或多層的薄膜壁 (membraneous wall) 或皮革壁 (coriaceous wall)。這種壁群構造是在 *Gigaspora* 屬所沒有的。此外，本屬孢子發芽時，會先在最內層壁群中或最內層壁上形成發芽盾，然後再產生發芽管向外延伸。本省農作田內較常見的菌種有 *S. calospora*，*S. gilmorei* 等。

繡球菌目科屬檢索表
KEY TO FAMILIES AND GENERA IN GLOMALES

1. Spores produced on the apex of a sporiferous saccule of a fertile hypha; auxiliary cells formed ; only arbuscules formed in mycorrhizal roots……Gigasporaceae (2)
孢子行成於產孢囊泡的頂端；在根圈土壤中產生輔助細胞；但在根內只形成叢枝菌根…大孢子科(2)

1'. Spores produced directly within a sporiferous saccule of a fertile hypha or formed laterally on or within the hyphal stalk of a sporiferous saccule; auxiliary cells not formed; arbuscules and vesicles formed in mycorrhizal roots ……3
孢子形成於產孢囊泡內、囊泡柄的側面或裡面者；在根圈土壤不產生輔助細胞；在根內形成囊叢枝菌根 ……3

2. Germ tubes produced directly through spore wall; inner flexible wall group absent; auxiliary cells finely papillate or echinulat…… *Gigaspora*
發芽管直接穿過孢子壁而形成；孢子沒有柔軟的內壁層；輔助細胞具有細乳頭狀突起或刺

狀突起…… 大孢子屬

2. Germ tubes from germination shield; inner flexible wall group always present; auxiliary cells knobby, broadly papillate, or smooth.…… *Scuetllospora*
孢子先形成發芽盾後，發芽管才自發芽盾穿過孢子壁延伸出來；孢子具有柔軟的內壁層；輔助細胞具有粗鈍型乳頭狀突起或平滑表面……盾蓋孢子屬

3. Spores directly produced within sporiferous saccule; spores attached with one or more subtending hyphae; spore wall continuous with subtending hypha…… *Glomaceae* (4)
孢子直接形成於產孢囊泡內；孢子具有一到多枝的接著菌絲；孢壁與接著菌絲壁相連接……繡球孢子科(4)

3'. Spores directly produced within sporiferous saccule or produced from or within a hyphal stalk of a sporiferous saccule; spores without subtending hyphae; if attached, spore wall not continuous with subtending hyphae; spores always ornamented with scar(s)…… *Acaulosporaceae* (5)
孢子直接形成於產孢囊泡內，或自產孢囊泡柄的側面或裡面產生孢子；孢子沒有接著菌絲；假如有菌絲相連，孢壁必不與與接著菌絲壁相連接；孢子表面總是鑲有一至數個圓形或橢圓行痕跡……無柄孢子科(5)

4. Sporocarps enclosed by a peridium or naked, with a multihyphal stipe or monohyphal stalks; spores arranged side by side in a single layer, radiating out from a central plexus of hyphae; central plexus composed of a broad, stellate thick-walled cells or interwoven hyphae; sidebranches frequently produced from the base of spores, becoming spores or intersporal hyphae…… *Sclerocystis*
孢子果被菌絲包裹或無；具有一或多枝的菌絲柄；孢子自孢子果中心向外呈輻射狀排列；中央菌絲由粗大，呈多角型的厚壁菌絲組成；孢子底部常形成側絲，可轉化成孢子或孢間菌絲……硬囊實果屬

4'. Sporocarps not formed as above; spores produced singly or in loose or tight aggregates in soil, less common in roots…… *Glomus*
孢子果形成方式與上者不同；孢子單獨產生或形成疏鬆或緊密的孢子果；若是行成孢子果其孢子呈不規則排列；孢子偶而產生於根內……繡球孢子屬

5. Spores produced directly within sporiferous saccule; without sbutending hyphae; if attached with an emptied hypha, spore wall not continuous with subtending hypha; spores with one or more cicatrices…… *Jimtrappea*
孢子直接形成於產孢囊泡內；沒有接著菌絲；假如有，其菌絲壁必不與孢子壁相連續；孢子具有一至數個圓形或橢圓形痕…… 翠皮氏屬

5'. Spores produced laterally on or directly within the hyphal stalk of a sporiferou saccule; spores normally with one or more scars …… 6
孢子形成於產孢囊泡的菌絲柄內或側面；孢子具有一至數個接著痕跡……6

6. Spores produced laterally on a hyphal stalk of a sporiferous saccule; spores with one scar……
…… *Acaulospora*

孢子形成於產孢囊泡柄的側面；孢子具有單一接著痕跡……無柄孢子屬

6'. Spores produced within a hypha stalk of a sporiferous saccule; spores normally with two scars ; spores connected with sporiferous saccule by an interconnecting hypha having a dumbbell-shaped configuration……*Entrophospora*

孢子形成於產孢囊泡的菌絲柄內；孢子一般具有兩個接著痕跡；孢子因與囊泡柄及囊泡相連，因此外型呈亞玲狀……內柄生孢子屬

內生菌目之分類學

內生菌目經Morton and Benny (1990)修定後，下有一內生菌科(Endogonaceae)共包括有Endogone (Gerdemann and Trappe, 1974), *Sclerogone* (Warcup, 1990), *Youngiomyces* (Yao et al., 1995), *Peridiospora* (Wu and Lin, 1997) 四個屬。*Endogone* 屬係內生菌科的模式屬，生活方式主要以腐生或似外生菌根的共生型式存在於自然界。由於本群真菌並不形成囊叢枝內生菌根且產生結合孢子，因此Morton and Benny才主張將本目與繡球菌目分開。

內生菌屬(ENDOGONE) (圖 19)

Endogone Link ex Fries

Etymology: Greek, *endo*-(inside) and -gone (reproductive organs): "with reproductive organs inside."

Zygospores formed in sporocarps by budding from the tip of the larger of two gametangia, or if the gametangia equal or subequal, spores generally bud from the top of the point of union. Spores randomly distributed in sporocarps or formed in rows radiating from the base.

內生菌屬的結合孢子係由配對的配子體中較大者的頂端突出形成或自配子體的結合處直接形成。結合孢子散亂的分布在孢子果中或自孢子果底部呈輻射狀成行排列。本屬的孢子果常可在苔類的頂端或地表枯木上找到。

硬實生菌屬(SLEROGONE)

Sclerogone Warcup

Etymology: Greek Sclero- (hard) and -gone (reproducive organs). In reference to the sclerotoid sporocarps.

Sporocarps minute, hypogeous, brown, hard, not aggregate. Peridium and gleba of compacted interwoven thick-walled hyphae. Zygospores (Zygosporangia) generally few, hyaline, suspensor cells evanescent.

硬實生菌屬是在澳洲首先發現，孢子果較小(＜0.5 mm)，褐色，堅硬。孢子果的包被及內部產孢菌絲皆由厚壁菌絲組成。結合孢子數量不多(2-12)，配子體易凋落。本屬經接種試驗，可與多種植物形成外生菌根。

楊氏菌屬(YOUNGIOMYCES)

Youngiomyces Yao

Etymology: named after Dr. T. W. K. Young who is gatefully acknowledged for his generous assistance during the preparation of the senior authors's Ph.D. thesis.

Sporocarps hypogeous and epigeous, variously shaped, with or without a peridium. Zygosporangia sporocarpic, in clusters or randomly dispersed, formed from the fusion of two, sometimes three or rarely four elements (gametangia?); sporangiothecium (zygosporangial wall) usually tightly appressed to the eusporium (zygospore wall), in continuity with and having two or sometimes three, rarely four, openings to the gametangial elements. Zygospore single, filling the zygosporangium; eusporium continuous, without opening. Gametangial elements parallel to opposite, equal or subequal, attaching to the zygosporangium at more than one site, discrete from each other with sporangiothecium in between, wall thick or thin, continuous with and tapering from the sporangiothecium when thick. Suspensors evanescent, usually collapsed in the fully developed zygosporangium. Mycorrhizal association-forming ectomycorrhizas and possibly also saprobic.

孢子果地下生或地上生，形狀不規則，包被有或無。在孢子果內的結合孢子囊，成串或散亂分布在孢子果內，由2或3，甚至4個配子體結合後形成。結合孢子囊壁與結合孢子壁緊密相鄰，與配子體間有2或3，甚至4個孔連通。結合孢子囊內有一結合孢子，結合孢子壁呈連續，沒有任何孔洞與其其它構造連通。配子體呈平行或相對位置，等大小或略等大小地與結合孢子囊相連結，配子體與配子體間相互分離。配子體在結合孢子囊形成後期，易消失或凋落。可形成外生菌根或行腐生生活。

絲被孢子屬(PERIDIOSPORA) (圖 20-21)

Peridiospora Wu & Lin

Etymology: Latin, peridio- (peridial) and -spora (spore): a spore enclosed by hyphal peridium.

Zygosporocarps produced singly or in aggregates in soil or on roots. Zygosporocarps contain one zygosporangium. Zygosporangia enclosed by a hyphal peridium. Gametangia ephemeral, uniting at or near their tips with the zygosporangium budding the point of union or from one of the two gametangia.

結合孢子果單一或成群形成於土壤或根段上。結合孢子果只含一個結合孢子囊。結合孢子囊有菌絲包裹。配子體易消失或凋落。結合孢子囊自配子體的結合處或自其中的一個配子體上產生。

內生菌科各屬檢索表
Key to the genera of Endogonaceae

1. Sporocarps with multiple zygospores; zygospores hyaline or variously colored, peridial hyphae present or absent.....2
1. 孢子果含有多個以上的結合孢子；結合孢子呈透明或具有顏色；包被菌絲有或無.....2
1'.Sporocarps with one zygospore; zygosporangia and attached gametangia colored, enclosed by loosely interwoven peridial hyphae.....*Peridiospora*
1'.孢子果只含有一個結合孢子；結合孢子囊與結合配子體具有顏色；結合孢子囊有疏鬆之包被菌 絲包裹.....絲被孢子屬
2. Sporocarps <0.5 mm, brown, hard, not aggregated; zygosporangia hyaline, enclosed by compacted interwoven thick-walled hyphae.....*Sclerogone*
2. 孢子果小於0.5mm，褐色，較結實；結合孢子囊呈透明；包被菌 絲由厚壁菌絲交結而成.....硬實生菌屬
2'. Sporocarps mostly >0.5 mm, variously colored.....3
2'. 孢子果大於0.5mm以上；結合孢子囊呈透明或具有顏色.....3
3. Zygosporangia with discrete gametangial elements attached to the sporangio- thecium when a zygospore is developed.....*Youngiomyces*
3. 結合孢子囊具有分離的配子體附著.....楊氏菌屬
3'. Zygosporangia developed from only one attaching site of paired gametagia and enclosed by or lacking a hyphal mantle.....*Endogone*
3'. 結合孢子囊是由配對的配子體中或自其中一配子體發育而成；結合孢子囊有包被菌絲包裹或無.....內生菌屬

表一：菌根的類型
Table 1: Types of mycorrhizae

Main Types	Subtypes	Characteristic Structures	Fungal Partners	Host Plants (general)
Ecto- mycorrhiza 外生菌根		Hyphal mantle around root; Hartig net	Basidiomycetes; Ascomycetes; Phycomycetes	Trees, Gymnospermae and Angiospermae
Endo- mycorrhiza 內生菌根	**Ectendo-** mycorrhiza 內外生菌根	Hyphal mantle; Hartig net; Hyphal coil	Basidiomycetes; Ascomycetes	Trees; Gymnospermae and Angiospermae
	Arbutoid mycorrhiza 楊梅菌根	Hyphal mantle; Hartig net; Hyphal coil	Basidiomycetes	Only Ericales
	Monotropoid mycorrhiza 錫杖菌根	Hyphal mantle; Hartig net; unbranched haustroria	Basidiomycetes	Only Monotropaceae
	Ericoid mycorrhiza 杜鵑菌根	Hyphal coils	Ascomycetes (Basidiomycetes)	Only Ericales
	Orchid mycorrhiza 蘭科菌根	Hyphal coils	Basidiomycetes	Only Orchidaceae
	Vesicular-arbuscular myorrhiza 囊叢枝內生菌根	Hyphal coils; Arbuscules; Vesicles	Glomales, Zygomycetes	Trees; Gymnospermae Angiospermae; lower plants

表二： 植物種類與菌根合成的關係。

Table 2： Plant species in different mycorrhizal association

NON-MYCORRHIZAL PLANTS 非菌根植物	OBLIGATELY MYCORRHIZAL PLANTS 絕對菌根植物	FACULTATIVELY MYCORRHIZAL PLANTS 非絕對菌根植物
Amaranthaceae 莧科 **Cruciferae** 十字花科 **Caryophyllaceae** 石竹科 **Chenopodiaceae** 藜科 **Commelinaceae** 鴨趾草科 **Lecythidaceae** 玉蕊科 **Portulaceae** 馬齒莧科 **Proteaceae** 山龍眼科 **Sapotaceae** 山欖科 **Zygophyllaceae** 蒺藜科	**Cassava** 樹薯 **Cowpea** 牛豆 **Coffee** 咖啡 **Avacado** 酪梨 **Mango** 芒果 ***Genipa americana*** ***Stylosanthes guianesnsis*** ***Andropogon gayanus***	**Bean** 豆類 **Maize** 玉米 **Rice** 水稻 **Sorghum** 高粱 **Cotton** 棉花 **Papaya** 木瓜 **Asparagus** 蘆筍 **Onion** 洋蔥 ***Clitoria fairchildiana*** ***Jacaranda caucana*** ***Tabebuia chrysantha*** ***Tabebuia rosea***

表三：台灣產繡球菌目菌根菌名錄
Table 3: Inventory for species recorded in Taiwan

Acaulospora 無柄孢子屬
Acaulospora elegans Trappe & Gerdemann
A. foveata Trappe & Janos
A. gedanensis Blaszkowski
A. laevis Gerdemann & Trappe
A. mellea Spain & Schenck
A. morrowiae Spain & Schenck
A. myriocarpa Spain, Sieverding & Schenck
A. scrobiculata Trappe
A. spinosa Walker & Trappe
A. taiwania Hu
A. trappei Ames & Linderman
A. tuberculata Janos & Trappe
A. undulata Sieverding

Entrophospora 內柄孢子屬
Entrophospora columbiana Spain & Schenck
Ent. infrequens (Hall) Ames & Schneider
Ent. kentinensis Wu & Liu sp. nov.
Ent. microspora Wu & Lin sp. nov.
Ent. Macrospora Wu & Lin sp. nov.

Gigaspora 大孢子屬
Gigaspora gigantea (Nicol. & Gerd.) Gerdemann & Trappe
Gi. decipiens Hall & Abbott
Gi. magarita Becker & Hall
Gi. rosea Nicolson & Schenck

Sclerocystis 硬囊實果屬
Sclerocystis rubiformis Gerdemann & Trappe
Scl. coremioides Berk. & Broome
Scl. clavispora Trappe
Scl. sinuosa Gerdemann & Bakshi emend. Wu
Scl. liquidambaris Wu & Chen
Scl. taiwanensis Wu & Chen

表三：台灣產繭球菌目菌根菌名錄(續)

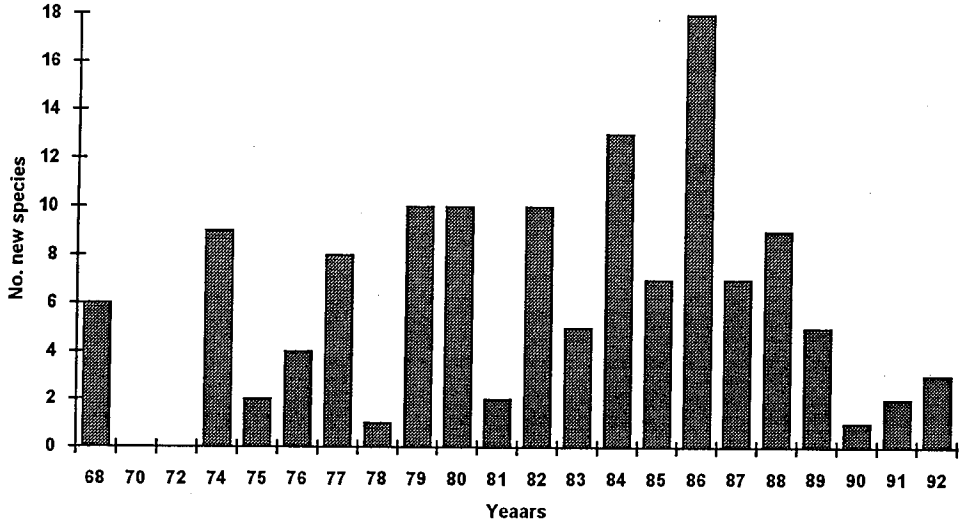
Table 3. Inventory for species recorded in Taiwan (cont'd)

Glomus 繭球孢子屬
Glomus aggregatum Schenck & Smith emend. Koske
Gl. clarum Nicolson & Schenck
Gl. caledonium (Nicol. & Gerd.) Trappe & Gerdemann
Gl. chimonobambusae Wu and Liu sp. nov.
Gl. constrictum Trappe
Gl. diaphanum Morton & Walker
Gl. etunicatum Becker & Gerdemann
Gl. fasiculatum (Thaxter) Gerd. & Trappe emend. Walker & Koske
Gl. formosanum Wu & Chen
Gl. fragile (Berk.& Broome) Trappe & Gerdemann
Gl. geosporum (Nicol. & Gerd.) Walker
Gl. globiferum Koske & Walker
Gl. intraradices Schenck & Smith
Gl. invermaium Hall
Gl. lacteum Rose & Trappe
Gl. leptotichum Schenck & Smith = *A. gerdemannii* Schenck & Nicolson
Gl. macrocarpum Tul. & Tul.
Gl. manihotis Howeler, Sieverding & Schenck
Gl. microaggregatum Koske, Gemma & Olexia
Gl. microcarpum Tul & Tul.
Gl. monosporum Gerdemann & Trappe
Gl. mosseae (Nicol. & Gerd.) Gerdemann & Trappe
Gl. multicaule Gerdemann & Bakshi
Gl. occultum Walker
Gl. pallidum Hall
Gl. pulvinatum (P. Henn.) Trappe & Gerdemann
Gl. radiatum (Thaxter) Trappe & Gerdemann
Gl. scintillans Rose & Trappe
G. tortuosum Schenck & Smith
Gl. versiforme (Karsten) Berch
Gl. vesiculiferum (Thaxter) Gerdemann & Trappe

表三：台灣產繭球菌目菌根菌名錄 (續)

Table 3. Inventory for species recorded in Taiwan (cont'd)

Scutellospora 盾蓋孢子屬
Scutellospora calospora (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders
Scut. cerradensis Spain & Miranda
Scut. coralloidea (Trappe, Gerd. & Ho) Walker & Sanders
Scut. fulgida Koske & Walker
Scut. gilmorei (Trappe & Gerd.) Walker & Sanders
Scut. gregaria (Schenck & Nicol.) Walker & Sanders
Scut. nigra (Redhead) Walker & Sanders
Scut. pellucida (Nicol. & Schenck) Walker & Sanders
Scut. reticulata (Koske, Miller & Walker) Walker & Sanders



Genus	World species	Taiwan species	Diversity %
Acaulospora	28	12 (1)	43
Entrophospora	4	3 (1)	75
Gigaspora	7	4	57
Glomus	73	27 (2)	37
Sclerocystis	6	6 (2)	100
Scutellispora	23	8	35
Total	**141**	**60**	**43**

圖11：囊叢枝內生菌根菌的種數與自一九六八年來，各年發表新種的數量。
Figure 11: Number of new species descriptions of VA mycorrhizal fungi per year since 1968.

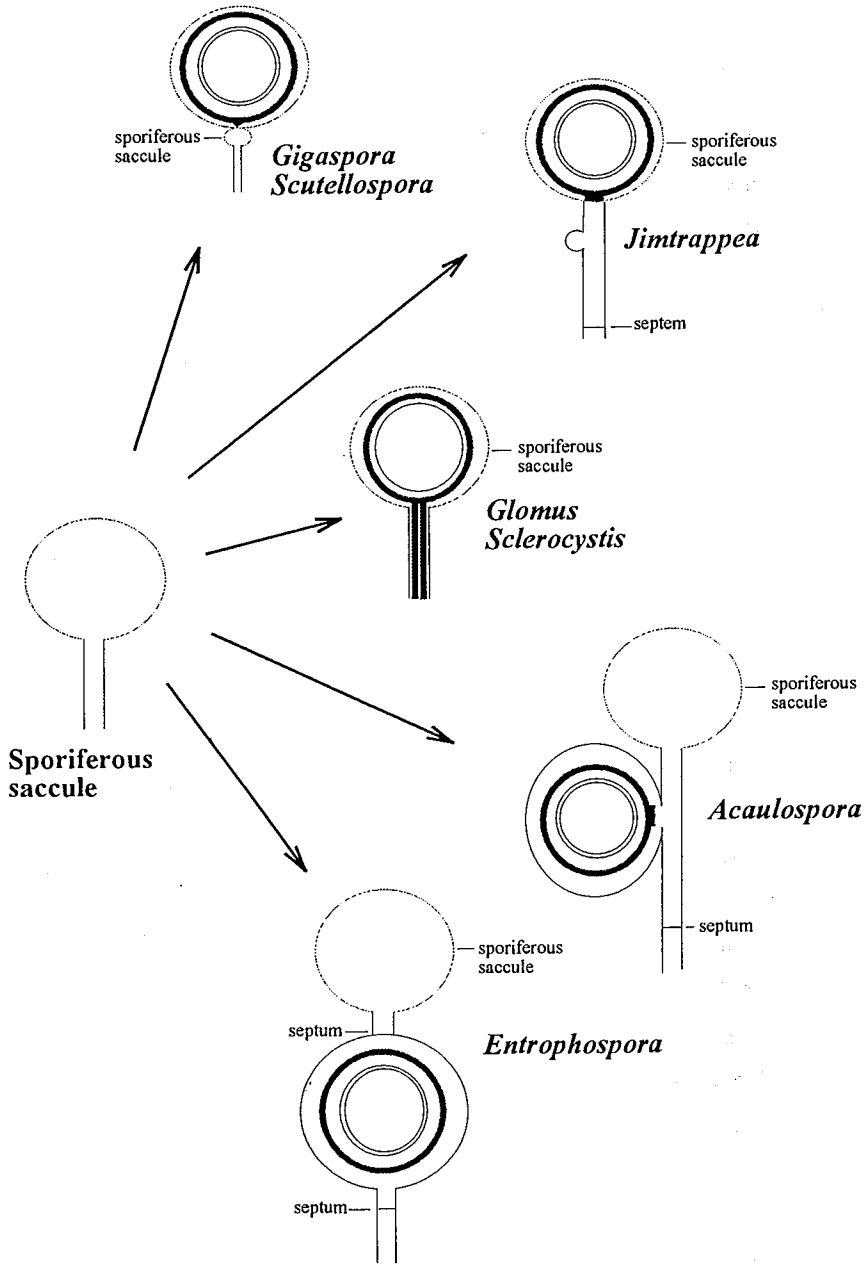


圖12：繡球菌目的產孢類型。

Figure 12: Spore ontogeny in Glomales. V: sporiferous saccule S: spore

囊叢枝內生菌根菌之形態學

什麼是菌根? 什麼是菌根菌?

菌根菌經過政府這十年來的推廣後，已有不少農民知道或聽過菌根菌這個名詞。但是菌根菌到底是什麼? 什麼是內生菌根? 又什麼是外生菌根? 蘭花的菌根到底是屬於那一類型的菌根呢? 有許多的問號存在大家的心中。菌根 (Mycorrhiza) 一詞係由德國植物學家福琅克 (Albert Bernard Frank)於西元1885所創，Myco- (mushroom), 真菌的意思，rhiza- (root), 根的意思，意指植物根部與真菌共生的結合體。 這種共生的現象早在四億年前的化石中便發現植物根內充滿了菌絲與孢子。 這是由於生命起源於水中，水中的植物由於攝取水份與養份相當容易，因此植物體的構造也比較簡單。可是，當水中植物演化到陸地時，植物所面臨的第一個困難，便是如何取得水份及養份。這種為適應陸地生活所造成的天擇壓力，便自自然然篩選出與菌根菌共生的植物出來。因為菌根菌可以幫忙植物解決它們在陸地上所面臨的乾旱以及養份不足的難題。

菌根大體上可分為外生(ectomycorrhiza) 與內生菌根 (endomycorrhiza) 兩大類。內生菌根的主要特徵在於其菌絲會進入植物細胞內，以菌絲捲(hyphal coil) 或叢枝體 (arbuscule) 構造等方式與植物細胞有較緊密的接觸。依此定義，蘭花菌根、杜鵑花科菌根與囊叢枝菌根都屬於內生菌根。 蘭花菌根的根內皮層細胞，充滿菌絲捲，根內菌絲有隔版，這種菌根菌是屬於擔子菌的不完全世代的*Rhizoctonia*類的真菌。 杜鵑菌根的根內皮層細胞，也充滿菌絲捲且根內菌絲有隔版，這種菌根菌是屬於子囊菌類的真菌。囊叢枝菌根菌一般無法與蘭科或杜鵑花科植物共生，菌絲通常不具隔版，在根內皮層細胞中形成叢枝體，是屬於結合菌 (Zygomycetes)。

外生菌根的主要特徵在於植物根端外圍有菌絲纏繞而成的菌氈 (hyphal mantle) 包裹 (圖22)，菌根的菌絲並不侵入植物細胞內；但在根的橫切面上可看到表皮與皮層細胞間有由菌絲組成的哈氏網 (Hartig net) 的構造。形成外生菌根的真菌皆有隔版，是屬於擔子菌或子囊菌。大家耳熟能詳的松茸(Matsutake)以及歐洲人趕著豬或狗在森林中邊嗅邊尋找的塊菌 (Truffle)，都是屬於外生菌根的真菌所產生的子實體。有些植物如赤楊(Alder) (*Alnus* spp.), 不但可形成外生菌根, 也可以形成叢枝內生菌根。 甚至於也會與其它微生物如固氮放線菌 Frankia形成根瘤 (圖23-24) 。不同型式菌根的合成相信必與其植被生態的建立有關。

各種不同型態的菌根，會隨著土壤中有機質含量、山的高度、植物相以及土壤肥份的不同而有所更替。一般而言，高山背陽面，有機質含量較高的土壤，其形成外生菌根或杜鵑菌根的機會較大。隨著坡度的降低，VA 菌根出現的比例便增多。但是，這並不是絕對的結論。例如，我國阿里山的紅檜、紅豆杉、牛樟等，便是囊叢枝內生菌根的植物。在美國加州與奧瑞岡州的紅木林(*Sequoia sempervirens*)中，其土壤的有機質含量甚高，可是也形成囊叢枝內生菌根菌根。

什麼是囊叢枝內生菌根?

所謂囊叢枝內生菌根 (vesicular-arbuscular mycorrhiza，簡稱 VAM)，係指植物根部受這類菌根菌感染後，菌絲因在根部皮層細胞內形成細小雙叉分支的叢枝體 (arbuscule)，以及在菌絲末端或中段膨大形成囊泡 (vesicle) 而得名。近年來由於並非所有的囊叢枝內生菌根菌 (如 *Gigaspora, Scutellospora*) 皆可於根內形成上述兩種構造，因此國外已有不少學者改稱此種菌根為叢枝菌根(arbuscular mycorrhiza, 簡稱 AM)。

囊叢枝內生菌根菌的生活史：

囊叢枝內生菌根菌是一種與植物根部共生的微生物, 因此這種微生物無法在人工配方的培養基上做單相培養。

囊叢枝內生菌根菌的繁殖體(propagule)可能是根外菌絲(external hyphae)、菌根根段(mycorrhizal sections)、或厚壁孢子(chlamydospores)。當其中的任何一種繁殖體發芽或開始感染根部時, 便會在根毛或根外表皮細胞上或表皮細胞間形成附著器(appresorium)。然後再由此形成所謂的感染菌絲(infecting hyphae), 侵入根內組織 (圖 25-27)。這些侵入根內組織的菌絲系統(hyphal system)包括菌絲捲(hyphal coil)、胞內菌絲(intracellular hyphae)、胞間菌絲(intercellular hyphae), 最後會在靠近內皮層處形成雙叉分枝，像樹枝狀的的叢枝體(arbuscules) (圖28-29), 以及皮層中的胞內(intercellular vesicles)或胞間囊泡 (intracellular vesicles) (圖30)。根內的菌絲系統在適當的紫外光照射下在釋放螢光 (圖27)。菌絲系統一般會在根部分化與延長較為旺盛的根段生長, 在根的尖端生長點或側根的分生點不會有菌根菌感染菌絲的出現。根內菌絲(intraradical hyphae)會再向外延伸長出所謂的根外菌絲(external hyphae)及根外囊泡(external vesicles)。根內囊泡(intraradical vesicles)或根外囊泡(extraradical vesicles)皆有可能在囊泡壁加厚後而轉變成厚壁孢子(chlamydospore)。大孢子屬(*Gigaspora*)或盾蓋孢子屬(*Scutellospora*)的囊泡是長在植物根圈土壤中, 稱之為土生囊泡(soil-borne vesicles)或輔助細胞(auxilliary cells) (圖31-32)。

孢子 (Spore)：孢子是一種具有厚壁的繁殖體。孢子在形成之前，一般先產生產孢囊泡。產孢囊泡由菌絲的末端膨大後所形成。不同屬的叢枝內生菌根菌, 其在產孢囊泡上形成孢子的位置各有不同(詳請參考菌根菌之分類學)。

菌絲 (Hypha)：菌絲是一種細長的絲狀構造。囊叢枝菌根的菌絲鮮少有隔版, 且常呈雙叉分支(dichotomous brach)。囊叢枝內生菌根菌的菌絲具有所謂的單邊角突起 (unilateral projection)，這是分辨叢枝內生菌根菌菌絲的重要依據 (圖 33)。有關單邊角突起的形成過程與相關文獻，可參考 Wu and Chen (1985)。在鏽球孢子科 (Glomaceae) 與無柄孢子科 (Acaulosporaceae)的菌根菌絲具有繁殖的能力；反之，在大孢子科(Gigasporaceae)的菌絲則無法當做接種原使用。(圖 34-35)

叢枝體(Arbuscule)：叢枝體是囊叢枝菌根菌菌絲進入內皮層細胞後所形成的樹枝狀構造。由於其菌絲的分枝細膩可達0.1 μm直徑以下，且菌絲的四週包圍著植物細胞的細胞膜，因此被認為是菌根菌與植物間交換養份的地方。叢枝體出現的細胞，一般細胞質會較濃且多; 同時細胞核也較其它細胞為大。當植物細胞的磷濃度降低時，細胞的半透性也跟著降低，因此

有許多的養份會滲出細胞。此時有利於菌根菌的入侵與建立叢枝體。可是當植物細胞的磷濃度提高時，植物便會將其細胞膜的半透性關閉，因此菌根菌便會因得不到養份而枯竭，最後終難逃被植物細胞分解的命運。叢枝體在單一植物細胞內的存活週期約在4~15天之間。(圖 28)

囊泡體(Vesicle)：囊泡體是在菌絲的末端或中段膨大的構造 (圖 30)。因內部常有巨大油滴出現，所以被認為是一種儲存養份的器官。囊泡可能出現在根內部或根圈土壤中 (圖 34)。囊泡在百合的根內常與叢枝體共存 (圖 29)。當在根內部形成時，可能是在根細胞內(intracellular)或細胞間(intercellular)的位置。*Gigaspora* 和 *Scutellospora* 兩個屬的菌根菌並不形成所謂的根內囊泡，它們所產生的囊泡全在根外土壤中。甚至於這兩個屬的孢子在發芽時，也會產生像葡萄串般的囊泡體。繡球菌科(Glomaceae)和無柄孢子科(Acaulosporaceae) 的孢子在發芽時，會在發芽菌絲中產生小的單一囊泡構造；但與 *Gigaspora* 和 *Scutellospora* 兩個屬所形成的葡萄串般的囊泡體不同。前者的囊泡突起常呈尖刺狀, 但後者則呈鈍狀 (圖 31-32)。繡球菌科 (Glomaceae) 和無柄孢子科 (Acaulosporaceae) 的囊泡可作為繁殖體，但是 *Gigaspora* 和 *Scutellospora* 兩個屬所形成的葡萄串囊泡體並不具有繁殖的作用。

囊叢枝內生菌根菌在臺灣代表性農地與坡地之分布

前　言

囊叢枝內生菌根菌有益於作物生長的作用在過去研究甚多且已是無庸置疑的事實，然本項研究在田間應用上卻經常遭逢試驗結果不穩定的現象，這主要是因為囊叢枝內生菌根菌的生物本質，生物容易受到環境因子的影響，要使囊叢枝內生菌根菌的效果充分發揮，就必須瞭解影響其生長之環境因子。根據Sutton(1973)描述囊叢枝內生菌根菌的形成過程包括三個階段，1.囊叢枝內生菌根菌孢子的發芽，菌絲的生長，以及菌絲開始侵入植物根細胞，2.菌絲在根皮層細胞內拓展，同時菌絲亦向根外拓展，侵入其他根細胞，3.植物根感染菌根菌的比率達到穩定狀態。影響囊叢枝內生菌根菌形成過程的環境因子包括土壤理化性質，土壤微生物，植物，以及影響植物生長的氣候因子，本章就土壤理化性質加以討論。

影響囊叢枝內生菌根菌生長的土壤理化性質主要為土壤溫度，土壤含水量，土壤pH值，有機質含量，土壤氮、磷含量，化學藥劑的處理，以及重金屬的污染等。

土壤溫度：囊叢枝內生菌根菌孢子發芽隨菌種種類不同，各有其適合之溫度，例如分離自佛羅里達州的*Gigaspora coralloidea*與*Gigaspora heterogama*，其最適合發芽的溫度為34℃，分離自華盛頓的*Glomus mosseae*最適合發芽的溫度為20℃，而菌根菌*Glomus epigaeus*，其最適合發芽的溫度為18~25℃(Daniels and Trappe，1980；Schenck et al.,1975)。*Glomus mosseae*，*Glomus clarum*，*Glomus etunicatum*孢子最適合發芽的溫度在28℃，而*Glomus fasciculatum*孢子最適合發芽的溫度在20 ℃與24℃(王,1992)。同一種菌種分離自不同地區，孢子最適合發芽之溫度亦不同，例如密西根州所分離之*Glomus fasciculatum*適合的發芽溫度為25℃，但在馬來西亞分離之*G. fasciculatum*適合的發芽溫度為25-35℃(Siqueira et al.,1985)。土壤溫度亦會影響菌根菌的拓展，例如：Smith and Bowen (1979)發現在澳洲南部的土壤(溫帶地區)，增加土壤溫度可增加作物的菌根感染率，最適合的溫度為16~25℃。Schenck and Schroder (1974)報導從佛羅里達州分離的菌根菌*Gigaspora* sp.在30~33℃有最高的菌根感染率。

土壤含水量：囊叢枝內生菌根菌孢子的發芽以潮濕為宜，*Glomus epigaeus*與*Gigaspora gigantea*均以田間容水量或稍高的水分含量下發芽最佳(Daniels and Trappe, 1980；Koske, 1981)。Elias and Safir (1987)發現*G. fasciculatum*在-4至-6bar之間有最高之發芽率。不同的水分含量，亦會影響菌絲的拓展，而同一種菌種分離自不同地區，其最高的菌根感染率之水分含量亦不相同，例如分離自伊利諾州的*Glomus mosseae*，在水分含量為10~14 %時，菌根感染率最高，為32%，在水分含量為2~8 %時，菌根感染率最低，只有13%；分離自加州的*Glomus mosseae*，在水分含量為10~14 %時，菌根感染率為42%，在水分含量為5~10 %時，菌根感染率為40%，在水分含量為2~8 %時，菌根感染率只有1%；而分離自科羅拉多的*Glomus mosseae*，在水分含量為10~14 %時，菌根感染率為29%，在水分含量為5~10 %時，菌根感染率最高50%，在水分含量為2~8 %時，菌根感染率亦可達45 % (Stahl and Christensen,

1991)。

土壤pH值：囊叢枝內生菌根菌菌種不同，孢子適合發芽的土壤pH值亦不相同。*Gigaspora coralloide*孢子最適合發芽的pH值為5~6(Green et al.,1976)。*Gigaspora margarita*在pH＝6.0時，孢子的發芽率最高，菌絲生長最好(Siqueira et al.,1982)。*Glomus heteragama*孢子發芽最適宜的pH值為6.0，*Glomus Coralloidea*孢子發芽最適宜的pH值為5.0，*Glomus mosseae*孢子發芽最適宜的pH值為7.0~8.0，*Glomus epigaeum* (=*Glomus versiforme*)孢子發芽最適宜的pH值為7.0~7.4(Green et al.,1976; Daniels and Trappe, 1980)。Hayman and Mosse(1971)發現*Glomus mosseae*在pH=5.6 與pH=7.0的兩種土壤中可感染並促進Coprosma robusta的生長，但在pH=3.3到4.4 的酸性土壤中則沒有感染，將酸性土壤的pH值以石灰調至pH值6.5後，菌根菌又可感染，且多可促進生長。Skipper and Smith (1979)則發現在酸性土壤中(pH=5.1)，*Gigaspora gigantea*與*Glomus mosseae*皆可感染大豆，且感染率差不多，但只有*Gigaspora gigantea*對大豆生長有促進作用，當土壤以石灰提高pH值至6.2 後，則兩種菌根菌皆可促進大豆生長。同屬的菌根菌菌種可分布在pH值差異很大的土壤中，例如：在陽明山國家公園硫磺口，土壤pH值為2.7，可發現*Entrophospora columbiana;*在溪頭臺大實驗林區土壤pH值3.11，可發現*Entrophospora infrequens*，而在墾丁國家公園土壤pH值7.94，可發現*Entrophospora kentinensis* (Wu et al., 1995)。

有機質含量：有機質影響土壤構造，pH值，養分與保水力，可直接或間接影響菌根菌的拓展與接種效果。根據Sheikh等人(1975)報導，在巴基斯坦的土壤中，囊叢枝內生菌根菌孢子數與有機質的含量有密切的相關，最大孢子數在有機質含量為1~2%，有機質小於0.5%的土壤中，孢子數很少；而根據Gianinazzi-Pearson的報導，在溫帶的土壤中，有機質含量2~13%，菌根菌的孢子數與有機質含量沒有明顯相關(Gianinazzi-Pearson and Diem,1982)。

土壤氮、磷的含量：Hayman(1975)指出，在溫帶土壤添加氮肥(188kg-N/ha,as Nitro-chalk)，對菌根菌的拓展有負面的影響，在未施氮肥區菌根菌孢子的數量比施氮肥區多2~7倍，而未施氮肥區之菌根感染率亦比施氮肥區多2~4倍。Hayman認為氮肥對菌根菌負面的影響比磷肥更明顯。Menge等人(1977)發現加州土壤中磷的含量與菌根菌的孢子數成反比。在不施磷肥的土壤中，Faba bean菌根感染率為47%，而施用45kg-P/ha後，Faba bean的菌根感染率下降為15%，在施肥區土壤中，菌根菌的孢子數為30個/100g soil，在未施肥區土壤中，菌根菌的孢子數為65個/100g soil (Kucey and Paul,1983)。

化學藥劑的處理：農民常用的化學藥劑包括土壤燻蒸劑、殺菌劑、殺蟲劑、殺草劑等。這些藥劑大多對菌根菌並沒有負面的影響，但是有少數則有抑制菌根菌發芽或感染植株，以及促進產孢或感染的兩極化的影響(Menge, 1982; Ratnayake et al, 1978)。免賴得(Benomyl)、腐絕 (Thiabendazole)、甲基多保淨 (Topsin)、三得芬(Calixin)、賽福寧 (Triforine)、三泰芬 (Triademifon)、Imugan、Banrot等，不只是影響菌根菌孢子的發芽與感染植物根部而已，這些藥劑甚至會減少菌根菌菌絲在根內部的發展。然而，氯乃普(Demosan)、福賽得 (Fosetyl-Al)、滅達樂 (Ridomil)、依得利 (Terrazole)等殺菌劑不但會增加菌根菌的感染率，甚而提高在根圈土壤中的產孢量。

重金屬的污染：目前臺灣受到重金屬污染的土壤，主要是因工業廢水排放不當所致。根

據趙與王(1990)報導，砂耕玉米播種後接種 *Glomus mosseae*，並立即加入不同濃度的重金屬銅，鋅，鎘，發現隨著重金屬濃度的增加，玉米菌根感染率下降，例如：不加重金屬之玉米，其菌根感染率為77.8 % ；銅濃度為0.3 μ g/ml時，玉米菌根感染率為58.9 %，銅濃度為30 μ g /ml時，玉米菌根感染率為40.6 %，銅濃度為300 μ g/ml時，玉米植株死亡；鋅濃度為0.5 μ g /ml時，玉米菌根感染率為55.4 %，鋅濃度為500 μ g/ml時，玉米菌根感染率為36.2 %；鎘濃度為0.01 μ g/ml 時，玉米菌根感染率為61.3 %，鎘濃度為10.0 μ g/ml時，玉米菌根感染率為30.3 %。而在長期受重金屬污染的土壤中，亦可發現菌根菌，王等人(1995)報導，在重金屬污染長達10年以上的三種土壤(桃園蘆竹，彰化芬園，臺南市二仁溪)中皆可發現菌根菌，且菌根菌孢子數與重金屬濃度無明顯關係，例如，在桃園蘆竹中興系土壤，含高量的鎘(24mg /kg)與鋅(25mg/kg)之土壤中，菌根菌孢子數量為126 ± 48個/g，而含低量的鎘(5mg/kg)與鋅(7mg/kg)之土壤中，菌根菌孢子數量為52 ± 18個/g。

囊叢枝內生菌根菌接種前須先瞭解試驗土壤中原有的菌根菌種類與數量，臺灣省農業試驗所曾調查臺灣四個生態保護區(陽明山國家公園，臺大溪頭實驗農場，墾丁國家公園，太魯閣國家公園)之菌根菌分布(吳, 1994)，但對於臺灣農耕地之菌根菌分布則尚無報導。本章內容乃探討臺灣代表性農地與坡地土壤中，囊叢枝內生菌根菌孢子的種類與數量，以及土壤理化性質與菌根菌分布之相關性。

材料與方法

供試土壤之採集：供試土壤之採集主要是根據國立中興大學與臺灣省農業試驗所出版之各縣土壤調查報告書，並參考蔡等人所整理之臺灣基標土系(蔡・陳・許・郭，1998)，選擇母質、pH值及質地等土壤性質差異大且具代表性之農地與坡地。採樣時間在水稻收割後，約在7~8月與1~2月間。採樣位置為表土30公分，採樣後記錄採樣點之植生，其採樣地點、座標、母質與土壤分類詳列於表1, 2。

土壤理化性質分析：採集之土壤樣品置於通風處自然風乾後，磨碎過2mm篩，經充分混合後，儲存於塑膠罐中，供作各種土壤理化性質分析，所分析之土壤理化性質如下：

1. pH值：土壤與水以1:1(w/w)之比率混合，間斷攪拌數次，一小時後以pH meter 測定。
2. 機械分析：採用比重計法測定，並依美國農部之土壤質地分類三角圖予以命名。
3. 有機質：試驗土壤樣品過1mm篩網， 採用比色法測定，利用重鉻酸鉀與濃硫酸來氧化土壤中有機物。
4. 有效磷：採用奧爾遜氏法(Olsen's sodium bicarbonate method)。
5. 陽離子交換能量：採用修正醋酸銨法測定。
6. 交換性鉀、鈉、鈣、鎂：取過2mm篩網土壤10g，加100 ml 1N醋酸銨(pH=7.0)，振盪一小時後，以Whatman no.42濾紙過濾，濾液以ICP測定鉀、鈉、鈣、鎂含量。

內生菌根菌孢子之分離與鑑定：分離內生菌根菌孢子可利用下列之步驟：

1. 土壤風乾、過篩、混勻後取100 ml，四重複，置於5L量杯中。
2. 以強勢水流沖洗。

表 1：供試土壤之土系、採樣地點及植生

Table 1. Soil series, sampling location and vegetation of the soils studied.

編號 Soil No.	土 系 Soil Series	採樣地點 Sampling Location	地點座標 Location	植 生 Vegetation
1	淡水系 Tansui(TTs)	台北縣淡水忠烈祠	N:25°10'51" E:121°25'16"	禾本科雜草
2	平鎮系 Pinchen(Pc)	桃園縣中壢市	N:24°59'05" E:121°10'51"	水稻
3	銅鑼圈系 Tunglochuan(Tc)	桃園縣龍潭三林村	N:24°51'12" E:121°12'59"	相思樹
4	坡堵系 Potu(Pu)	桃園縣中壢市崙坪	N:24°59'50" E:121°08'33"	水稻
5	湖口系 Hukou(Hk)	桃園縣新屋鄉赤欄村	N:25°58'56" E:121°04'00"	通泉草
6	湖口系 Hukou(Hk)	桃園縣中壢龍潭公路 113 甲路邊	N:24°53'19" E:121°13'07"	芒果園雜草
7	龍崗系 Lungkang(Lk)	桃園縣中壢市大崙	N:24°59'30" E:121°10'40"	水稻
8	龜山系 Kueishan(Ks)	桃園縣新屋鄉東明村	N:25°58'39" E:121°04'07"	水稻
9	大肚系 Tatu(TTq)	台中縣大肚鄉新興村	N:24°08'25" E:120°32'12"	水稻
10	社腳系 Chechiao(TCo)	台中縣霧峰鄉舊正村	N:24°01'48" E:120°40'36"	甘蔗
11	社口系 Shekou(TSk)	台中縣龍井鄉三德村	N:24°12'35" E:120°30'55"	水稻
12	南屯系 Nantun(TNt)	台中縣龍井鄉田中村	N:24°11'42" E:120°31'59"	水稻
13	大埔美系 Tapumei(CTf)	南投縣民間鄉中正村	N:23°50'26" E:120°41'16"	玉米
14	翁子系 Wengtzu(TWz)	南投縣竹山鎮集山路	N:23°46'59" E:120°42'14"	茶園
15	陳厝寮系 Chentsoliao(CCe)	南投縣名間鄉新光村	N:23°51'13" E:120°39'55"	茶園
16	吳厝系 Wutso(TWt)	南投縣名間鄉	N:23°51'38" E:120°41'08"	苔子
17	栗林村系 Lilintsun(TLb)	彰化縣芬園鄉田厝子	N:24°00'23" E:120°39'04"	水稻
18	二林系 Erhlin(Eh)	彰化縣二林鎮東華里	N:23°53'46" E:120°25'45"	水稻
19	外三塊系 Waishankuai(Wk)	彰化縣埔心鄉芎蕉村	N:23°56'49" E:120°30'43"	水稻
20	平和系 Pingho(Ph)	彰化縣二林鎮舊社	N:23°53'47" E:120°20'30"	花生
21	路上厝系 Lushantseu(Ls)	彰化縣大成鄉五間寮	N:23°53'03" E:120°18'22"	美人樹
22	員林系 Yuanlin(Yu)	彰化縣二林鎮七戶子	N:23°54'10" E:120°23'16"	葡萄
23	二水系 Erhshui(Es)	彰化縣大村鄉擺塘村	N:23°59'20" E:120°33'11"	水稻
24	蓮花池系 Lienhuachi(Li)	彰化縣花壇鄉橋頭村	N:24°01'46" E:120°32'05"	水稻
25	鹿港系 Lukang(Lu)	彰化縣 員林鎮大明里	N:23°55'31" E:120°34'43"	水稻

表 1：供試土壤之土系、採樣地點及植生(續)

Table 1. Soil series, sampling location and vegetation of the soils studied.(Continued)

編號 Soil No.	土系 Soil Series	採樣地點 Sampling Location	地點座標 Location	植生 Vegetation
26	花壇系 Huatan(Hn)	彰化縣花壇鄉北口村	N:24°03'11" E:120°31'46"	美人樹、雜草
27	將軍系 Chengchung(Cf)	台南縣將軍鄉長榮村	N:23°11'28" E:120°09'14"	雜草
28	岸內系 Annei(An)	台南縣學甲鎮大灣	N:23°12'55" E:120°10'40"	豆子
29	佳冬系 Tsochia(Ts)	台南縣官田鄉隆田	N:23°12'26" E:120°18'18"	田菁
30	佳冬系 Tsochia(Ts)	台南縣六甲鄉龜仔港	N:23°15'06" E:120°17'31"	水稻
31	下中系 Hsiachung(Hk)	台南縣佳里鎮佳里興	N:23°11'54" E:120°10'10"	水稻
32	仁德系 Jente(Je)	台南縣新市鄉道爺農場	N:23°05'53" E:120°16'12"	甘蔗
33	柳營系 Liuying(Ly)	台南縣柳營鄉小腳腿(南 81 號路旁)	N:23°16'45" E:120°21'15"	西瓜
34	林鳳營系 Linfengying(Lh)	台南縣六甲鄉林鳳營	N:23°15'02" E:120°18'22"	禾本科雜草
35	臺南系 Tainan(Tn)	台南縣善化鎮嘉拔里(178 號路旁)	N:23°07'42" E:120°19'9"	田菁
36	善化系 Shanhua(Sk)	台南縣官田鄉烏山頭(165 號路旁)	N:23°12'26" E:120°20'30"	水稻
37	鹽埕系 Yenchen(Yl)	台南縣仁德鄉保安村保安宮後	N:22°55'36" E:120°13'39"	禾本科雜草
38	太康系 Taikang(Tk)	台南縣柳營小腳腿重溪國小旁	N:23°17'19" E:120°21'23"	田菁
39	官田系 Kuantien(Kt)	台南縣官田鄉官田村	N:23°11'22" E:120°20'30"	雜草
40	弧山系 Hushan(Ht)	台南縣官田鄉角秀村台糖鐵路旁	N:23°12'53" E:120°19'46"	禾本科雜草
41	麻豆系 Matou(Ma)	台南縣麻豆鎮埤頭里	N:23°12'07" E:120°13'18"	玉米
42	西畔系 Hsipan(Hp)	高雄縣美濃鎮下九寮	N:22°51'10" E:120°31'07"	椰子樹、雜草
43	下水埔系 Shashuipu(Sp)	高雄縣美濃鎮獅山里	N:22°53'24" E:120°33'20"	雜草
44	大崎頂系 Tachiting(Tcs)	高雄市楠梓中里鹽埕鄰	N:22°42'55" E:120°21'19"	荔枝
45	太康系 Taikang(Tk)	高雄縣岡山	N:22°47'39" E:120°18'55"	甘蔗
46	洲子系 Choutzu(Cj)	屏東縣里港	N:22°46'07" E:120°29'00"	棗子、雜樹
47	舊冬腳系 Chiutungchiao(Ci)	屏東縣萬丹鄉廣安村廣安重劃區	N:22°37'06" E:120°28'34"	毛豆
48	加興村系 Chiahsing(Ca)	屏東縣萬丹鄉上村村	N:22°36'29" E:120°28'06"	洋香瓜
49	老埤系 Laopi(Lo)	屏東縣內埔鄉中林村	N:22°39'57" E:120°36'47"	鳳梨
50	五魁寮系 Wukueiliao(Wl)	屏東縣潮州鎮莲菜	N:22°33'13" E:120°31'23"	雜草

表 1：供試土壤之土系、採樣地點及植生(續)

Table 1. Soil series, sampling location and vegetation of the soils studied.(Continued)

編號 Soil No.	土 系 Soil Series	採樣地點 Sampling Location	地點座標 Location	植 生 Vegetation
51	過溪子系 Kuochitzu(Kc)	屏東縣崁頂鄉越溪村	N:22°30'15" E:120°28'21"	香蕉
52	老佛山系 Laofosham(Lfs)	屏東縣滿州鄉里德	N:22°01'19" E:120°50'55"	雜木
53	豐樂系 Fenglo(Fl)	台東縣關山鎮	N:23°02'38" E:121°09'16"	甘蔗
54	瑞穗系 Juisui(Js)	台東縣關山鎮	N:23°00'49" E:121°08'29"	雜地
55	初鹿系 Chulu(Cl)	台東縣初鹿	N:22°51'25" E:121°05'08"	玉米
56	鹿野系 Luyeh(Ly)	台東縣初鹿	N:22°51'19" E:121°05'24"	雜地
57	三台系 Santai(St)	台東縣都蘭村	N:22°50'32" E:121°10'50"	銀合歡
58	水璉系 Shuilien(Sl)	台東縣都蘭村	N:22°52'56" E:121°13'26"	雜地
59	永豐系 Yungfeng(Yf)	花蓮縣池上	N:23°08'30" E:121°13'56"	雜地
60	壢坵系 Likyu(Hlk)	花蓮縣池上	N:23°09'57" E:121°07'49"	玉米
61	大農村系 Taluntsun(Tlt)	花蓮縣豐濱	N:23°36'13" E:121°30'35"	雜草、檳榔
62	枕頭山系 Chentoushan(Ct)	宜蘭縣頭城	N:24°50'39" E:121°47'06"	水稻
63	六結系 Liuchieh(Lc)	宜蘭縣三星	N:24°41'12" E:121°38'42"	水稻
64	淇武蘭系 Chiwulan(Ca)	宜蘭縣蘇澳鄉冬山村	N:24°38'20" E:121°46'28"	水稻
65	大元社系 Tayuanshe(Tys)	宜蘭縣員山鄉再連村	N:24°43'02" E:121°39'32"	桔子
66	棲蘭山系 Chilanshan(Cls)	宜蘭縣員山鄉內城村	N:24°43'32" E:121°43'33"	野牡丹、禾本科雜草
67	百韜系 Paitao(Pta)	宜蘭縣大同鄉英士村	N:24°36'45" E:121°30'03"	腎蕨、颱風草、桑樹
68	土場系 Tuchang(Tcg)	宜蘭縣大同鄉盆盆山下	N:24°37'36" E:121°31'51"	腎蕨、倒地蜈蚣、禾本科雜草
69	南方澳系 Nanfangao(Nfa)	宜蘭縣大同鄉松羅村	N:24°39'26" E:121°34'39"	芒草

表 2：供試土壤之母質與分類

Table 2. Soil parent material and taxonomy of the soils studied.

母質 Parent material		編號	美國土壤分類 (Soil survey staff, 1992)
片岩	老沖積土	53	Epiaquept
		55	Udorthent
	新沖積土	54	Udorthent
石質土	板岩崩積化育而成	67	Udorthent
		68	Udorthent
	粘板岩崩積化育而成	66	Udorthent
砂頁岩沖積土	石灰性新沖積土	27	Udifluvent
		28	Endoaquept
		31	Udipsamment
		41	Udifluvent
	老沖積土	35	Haplaquent
	含石灰結核新沖積土	33	Haplaquent
		37	Udifluvent
	非石灰性老沖積土	9	Epiaquept
		10	Udipsamment
		14	Epiaquent
		17	Epiaquept
	非石灰性新沖積土	11	Epiaquept
		12	Haplaquept
		29	Udifluvent
		30	Udifluvent
		32	Haplaquent
		39	Haplustalf
		40	Haplaquent
砂頁岩黃壤		52	Haplochrept
紅壤	安山岩	1	Paleudult
		2	Hapludox
		3	Paleudult
		4	Paleudult
		5	Rhodudult
		6	Rhodudult
		7	Paleudult
		8	Plinthaqualf
		13	Rhodudult
		15	Paleudult
		16	Paleudult
		49	Haplustox
		56	Paleudult

表 2：供試土壤之母質與分類(續)

Table 2. Soil parent material and taxonomy of the soils studied.(Continued)

母質 Parent material		編號	美國土壤分類 (Soil survey staff,1992)
崩積土	板岩、千枚岩等變質岩崩積化育而成	60	Dystrochrept
	板岩崩積化育而成	65	Udorthent
	泥岩、砂頁岩崩積化育而成	61	Udorthent
	砂頁岩崩積化育而成	44	Udorthent
	粘板岩崩積化育而成	69	Udorthent
粘板岩沖積土	石灰性新沖積土	19	Udifluvent
		23	Udifluvent
		24	Haplaquept
		43	Udipsamment
	老沖積土	26	Epiaquept
		46	Epiaquept
		47	Epiaquept
		48	Epiaquept
		50	Endoaquept
		51	Epiaquept
		62	Udorthent
		64	Haplaquept
	含石灰結核老沖積土	18	Epiaquept
		20	Plinthaquept
		21	Udifluvent
		22	Epiaquept
		25	Epiaquept
	新沖積土	42	Udipsamment
		63	Udorthent
黑色土	火成集塊岩沖崩積物	58	Hapludoll
	石灰質棕色泥岩沖崩積物	59	Hapludert
	安石岩、質集塊岩及石灰質泥岩之沖崩積物	57	Hapludoll
臺灣粘土	含石灰結核	34	Endoaquept
		36	Endoaquept
		38	Endoaquept
		45	Undoaquent

3. 靜置20秒後，將上層懸浮物倒入篩網內(篩網分上、中、下三層，上層孔徑250 μm，中層孔徑125 μm，下層孔徑37 μm)。

4. 反覆步驟2-3二至三次。
5. 將上、中層濾篩物洗入小燒杯內。
6. 在立體顯微鏡(Dissecting microscope) 下檢視濾篩物中是否有孢子或孢子果(sporocarp) 存在，若有孢子或孢子果，則利用PVLG(polyvinyl alcohol lactic glycerol) (Koske and Tessier, 1983)與Melzer's碘液(Hawksworth et al.,1995)作成半永久片，在穿透式顯微鏡下鑑定菌根菌種類。
7. 將下層濾篩物，洗入另一小燒杯內。
8. 下層濾篩物移入離心管中，以水加至離心管對稱等重後，離心3 min(1700 × g)。
9. 將上層液倒棄，加入40%糖液至離心管對稱等重後，離心2 min(1700 × g)。
10. 將上層液倒入篩網(37 μm) 內，濾篩物以水洗入小燒杯中。
11. 在立體顯微鏡(Dissecting microscope) 下檢視濾篩物中是否有孢子或孢子果存在，若有孢子或孢子果，則利用PVLG與Melzer's碘液作成半永久片，在穿透式顯微鏡下鑑定菌根菌種類。

結　果

供試土壤之理化性質

供試土壤之理化性質如表3，表中土壤之編號係按縣市依序編排。69個供試土壤其pH值在3.53~8.10之間，其中11個土壤之pH值小於5 (16%)，42個土壤之pH值5~7 (61%)，17個土壤之pH值大於7 (25%)。

黏粒含量，以紅壤較高，片岩與砂頁岩較低，而紅壤中以淡水系(編號1)含量最高(70%)。

有機質含量在0.3%~6.8%之間，母質為石質土(平均5.3%)、黏板岩(平均3.9%) 與崩積土(平均3.8%)之含量較高，臺灣黏土(平均2.5%)與砂頁岩(平均2.6%)較低。

陽離子交換容量(CEC)在2.6~18.9 cmol(+)/kg之間，以母質為黑色土較高(平均14.1 cmol(+)/kg)，片岩較低(5.87 cmol(+)/kg)。

土壤有效磷含量(Olsen-P)，以母質為崩積土(平均11 ppm)與石質土(平均13.4 ppm)較低，黏板岩(平均66.5 ppm)、紅壤(平均44.2 ppm)與砂頁岩(平均40.6 ppm) 較高。土壤有效磷含量與施肥有關，母質為崩積土與石質土之土壤為山坡地，非一般耕地，因無人為施肥，有效磷含量大多在20 ppm以下；而一般耕地常因施肥而使土壤有效磷含量提高。

表 3：供試土壤之理化性質

Table 3：Physical and chemical properties of the soils studied.

Soil no.	pH H_2O(1：1)	Particle-size analysis (%)			Texture	O.M. (%)	CEC (cmol(+)/kg)	Olsen-P (ppm)
		clay	sand	silt				
1	6.22	70	7	24	C	0.3	13.1	10.7
2	5.16	30	12	58	SiCL	3.7	11.9	202.4
3	4.37	23	37	40	L	5.4	18.9	7.1
4	5.41	22	12	66	SiL	3.6	9.9	36.5
5	5.11	15	15	70	SiL	5.2	11.4	8.8
6	4.97	7	12	81	Si	4.6	10.0	54.8
7	5.04	25	11	63	SiL	4.7	12.1	26.7
8	4.81	10	40	50	L/SiL	4.5	10.0	44.1
9	5.87	9	35	56	SiL	3.5	10.1	29.9
10	6.32	6	47	47	L/SL	1.7	6.7	15.5
11	5.60	21	12	67	SiL	4.8	15.4	4.9
12	5.40	17	21	62	SiL	4.5	14.9	9.7
13	4.75	30	23	47	CL	1.0	7.4	16.1
14	4.24	2	62	36	SL	1.8	6.2	193.4
15	5.09	23	37	40	L	1.2	6.9	60.7
16	5.64	16	33	51	SiL	1.8	6.6	92.4
17	5.02	12	26	62	SiL	3.8	9.6	34.2
18	6.91	7	22	71	SiL	5.1	10.1	22.7
19	7.41	17	11	72	SiL	4.3	9.7	32.8
20	7.45	10	41	49	L	2.4	5.2	51.3
21	7.39	5	73	22	SL	1.5	4.8	24.2
22	6.91	12	34	54	SiL	3.5	8.9	162.9
23	7.05	15	14	71	SiL	5.0	11.2	67.9
24	6.40	21	11	68	SiL	4.9	15.6	30.1
25	7.44	23	6	71	SiL	4.5	11.7	50.3
26	5.41	17	14	69	SiL	3.2	13.4	38.4
27	6.40	7	43	48	L	1.5	10.2	31.7
28	7.28	11	29	60	SiL	3	13.9	48.7
29	6.91	18	30	53	SiL	0.4	6.5	14.7
30	5.49	9	43	48	L	3.2	9.8	10.7
31	6.85	10	45	46	L	2.4	10.1	47.5
32	7.96	10	50	40	L	1.1	9.0	14.2
33	5.13	20	22	58	SiL	1.1	5.0	23.4
34	5.41	7	68	25	SL	1.4	7.5	11.9
35	3.73	7	48	45	L	2.4	6.5	68.5
36	6.00	15	32	54	SiL	3.5	10.6	30.7
37	7.15	9	59	32	SL	2.1	6.8	15.5
38	5.39	18	22	61	SiL	2.9	9.8	24.8
39	5.10	18	27	56	SiL	2.1	9.8	37.3
40	8.08	23	14	64	SiL	2.6	14.5	10.8
41	8.10	19	19	63	SiL	2	10.1	155.5
42	7.84	6	63	31	SL	2.2	6.6	54.2
43	5.90	9	43	48	L	2.6	6.8	82.0
44	4.30	7	70	23	SL	2.2	4.9	12.3
45	7.95	27	18	55	SiL	2.3	10.7	8.1
46	7.75	18	7	76	SiL	4.8	10.3	163.2
47	7.04	22	6	73	SiL	4.6	15.4	65.2
48	7.21	18	8	75	SiL	3.4	9.7	73.5
49	3.53	43	9	48	SiC	4	10.4	13.4
50	6.26	16	15	70	SiL	3.4	8.0	44.9

表3：供試土壤之理化性質(續)

Table 3：Physical and chemical properties of the soils studied.(Continued)

Soil no.	pH H_2O(1：1)	Particle-size analysis (%)			Texture	O.M. (%)	CEC (cmol(+)/kg)	Olsen-P (ppm)
		clay	sand	silt				
51	6.04	16	21	64	SiL	5	13.5	221.5
52	5.58	21	22	58	SiL	4.6	14.4	5.4
53	5.13	8	18	73	SiL	2.7	5.0	20.4
54	7.56	6	43	52	SiL	1.9	2.6	41.7
55	5.68	23	11	67	SiL	5.3	10.0	5.9
56	5.68	6	53	41	SL	1	8.1	1.2
57	7.99	21	31	49	L	3.2	13.8	15.5
58	6.04	11	51	39	L	3.9	14.7	30.6
59	5.17	17	28	55	SiL	3.6	13.8	20.9
60	5.32	6	70	25	SL	3.2	4.7	8.6
61	5.41	22	24	55	SiL	4.6	17.8	23.8
62	5.58	8	40	52	SiL	5.5	9.0	26.7
63	6.54	18	13	69	SiL	3.2	7.0	18.2
64	5.44	20	2	78	SiL	4.3	9.6	33.3
65	4.55	32	26	43	CL	3.5	10.4	5.6
66	4.31	32	13	56	SiCL	5.1	15.7	15.8
67	6.07	9	55	36	SL	6.8	14.9	18.5
68	4.85	7	59	35	SL	3.9	8.2	5.9
69	5.06	8	57	35	SL	5.4	10.8	4.7

內生菌根菌在不同類型土壤之分佈

由顯微鏡鏡檢之菌根菌種類與數量詳列於表4，由表4可知，在69種試驗土壤中有19個土壤(28%)找不到內生菌根菌孢子，有48個土壤(70%)之孢子數少於10 個/100 g soil ，孢子數超過100個/100 g soil之土壤只有5個(7%)，分別為南投縣之大埔美系土壤(編號13) 118.5個/100 g soil，宜蘭縣之大元社系土壤(編號65) 119 個/100 g soil，彰化縣之路上厝系土壤(編號21) 769.75個/100 g soil，彰化縣之花壇系土壤(編號26) 1546個/100 g soil，與花蓮縣之永豐系土壤(編號59) 2212個/100 g soil 。

在69種試驗土壤中，菌根菌之孢子數與土壤有機質含量無明顯相關，其相關係數為-0.03，從菌根菌孢子數與土壤有機質含量之關係圖(圖 38)可知，在有機質含量小於5.5%的土壤中，皆可發現菌根菌。而菌根菌之孢子數與土壤磷(Olsen-P) 含量亦無明顯相關，其相關係數為-0.07，從菌根菌孢子數與土壤磷含量之關係圖 (圖37)可知，菌根菌多分佈於土壤磷小於50ppm之土壤中。69種試驗土壤的pH值與菌根菌的孢子數如圖 39，由圖39可知，菌根菌孢子數較多之土壤，其土壤pH值大多在6.0以下。

在69種試驗土壤所出現之內生菌根菌菌種共有14種，這14種菌根菌在69 種試驗土壤中出現之次數與總孢子數列於表5與圖36。由表5可知，出現最多次(13 次)之菌根菌菌種為 *Acaulospora morrowiae* (AMRW)，其次為 *Glomus claroideum* (LCLR) (11次)， *Glomus mosseae* (LOMS) (10 次)， *Acaulospora mellea* (AMLA) (9 次)， *Glomus occultum* (LOCT) (9 次)， *Acaulospora scrobiculata* (ASCB) (8次)，與 *Glomus spurcum* (LSPC) (5次)。而孢子數量最多之菌根菌菌種為 *Glomus spurcum* (LSPC) 2090.5個/100g soil與 *Acaulospora morrowiae* (AMRW) 1634.5個/100g soil。

表 4：試驗土壤之菌根根種類與數量

Table 4: Species and number of VAM in the tested soil.

Soil no.	VAM species (no./100 ml soil)														Total spore no.
	AMLA	LOCT	ECLB	LMOS	LCLR	ASCB	GMGR	AMRW	LSPC	LMNH	SPLC	LETC	AKKI	LMCC	
1															0
2															0
3														36.5	36.5
4					13.5										13.5
5										7.75					7.75
6															0
7					2										2
8															0
9															0
10															0
11															0
12						1.25									1.25
13								118.5							118.5
14								8	13.25						21.25
15								42.25							42.25
16	5.5							72.25							77.75
17															0
18		6.5													6.5
19	1														1
20															0
21						769.75									769.75
22						1									1
23								10.5							10.5
24								1.5							1.5
25															0
26	391	7						1148							1546
27				1.75	3										4.75
28					4.75	1.25									6
29								2							2
30				2.75											2.75
31															0
32						3									3
33			2.25												2.25
34				15											15
35			25.5												25.5
36				2.25								4.25			6.5
37						5.25	0.75								6
38		1													1
39															0
40		9		3	1.5										13.5
41															0
42															0
43					3		4.75								7.75
44	25.75														25.75
45		10.5													10.5
46				0.75	0.25										1
47				1											1
48				2.5	0.25										2.75
49	75														75
50				4.25	0.25										4.5

表 4：試驗土壤之菌根根種類與數量(續)

Table 4: Species and number of VAM in the tested soil. (Continued)

Soil no.	VAM species (no./100 g soil)													Total spore no.
	AMLA	LOCT	ECLB	LMOS	LCLR	ASCB	GMGR	AMRW	LSPC	LMNH	SPLC	LETC	AKKI	LMCC	
51															0
52						1.8									1.8
53												6.5			6.5
54												6.8			6.8
55									3.8						3.8
56		3.0													3.0
57															0
58	3.25					0.75									4.0
59								133.5	2055.0	9.0	14.5				2212.0
60									9.5						9.5
61								4.8						39.5	44.3
62															0
63				2.0	5.8				9.0						16.8
64															0
65		107.75								11.25					119.0
66	15.5	9.25						31.75					3.5		60.0
67															0
68	4.5	46.0			2.0		3.5	17.5							73.5
69	12.5							44.0					6.3		62.8

表 5：內生菌根菌在69個試驗土壤出現之次數與數量

Table 5：The number of soils and the total spore no. in the 69 soils which were found have the VAM species.

VAM species	AMLA	LOCT	ECLB	LMOS	LCLR	ASCB	GMGR	AMRW	LSPC	LMNH	SPLC	LETC	AKKI	LMCC
No. of soil	9	9	2	10	11	8	3	13	5	3	1	3	2	2
Total pore no.	534.0	200.0	27.8	35.3	36.3	784.0	9.0	1634.5	2090.5	28.0	14.5	17.5	9.8	76.0

選出出現次數5次以上之菌種7種，將其採樣點之植生與採樣土壤之理化性質列於表6至表12。

由表6可知，在發現有 *Acaulospora mellea* (AMLA)菌種之土壤有9個，其Clay 含量7~43 %，有機質含量(O.M.) 1.8~5.4%，磷含量(Olsen-P) 4.7~92.4 ppm，交換性鉀含量19.9~198.0 cmol (+)/kg，交換性鈉含量7.3~313.0 cmol(+)/kg，交換性鈣含量1.3~5740.5 cmol(+)/kg，交換性鎂含量0~346.6 cmol(+) /kg。*Acaulospora mellea* 孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量之相關係數分別為0.11，-0.18，0.10，-0.43，0.94，0.07，0.43，由相關係數顯著性測試(P=0.05)(葉樹藩，1990)得知，*Acaulospora mellea* 孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈣、鎂含量相關性不顯著，只有 *Acaulospora mellea* 孢子數與交換性鈉含量明顯相關，成正相關(r=0.94)。由表6可知，在發現有 *Acaulospora mellea* 菌種之土壤pH值為3.53~7.41，而pH值大於7的土壤只有一個，其孢子數為1個/100g soil，其

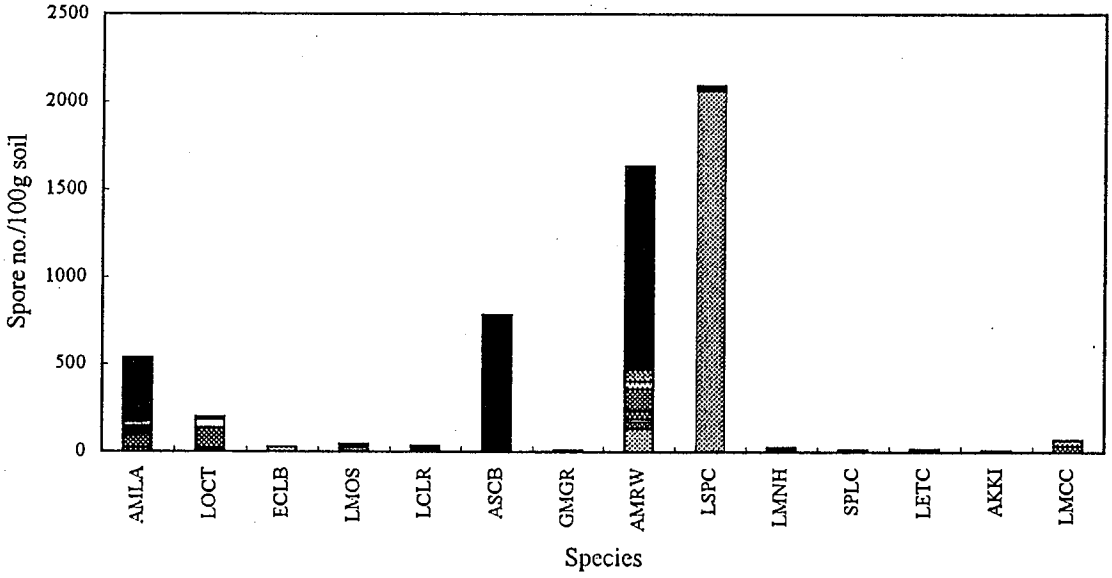


Figure 36. Species diversity of VAMF generally found in Taiwan
圖36. 台灣常見之叢枝菌根菌及孢子數量

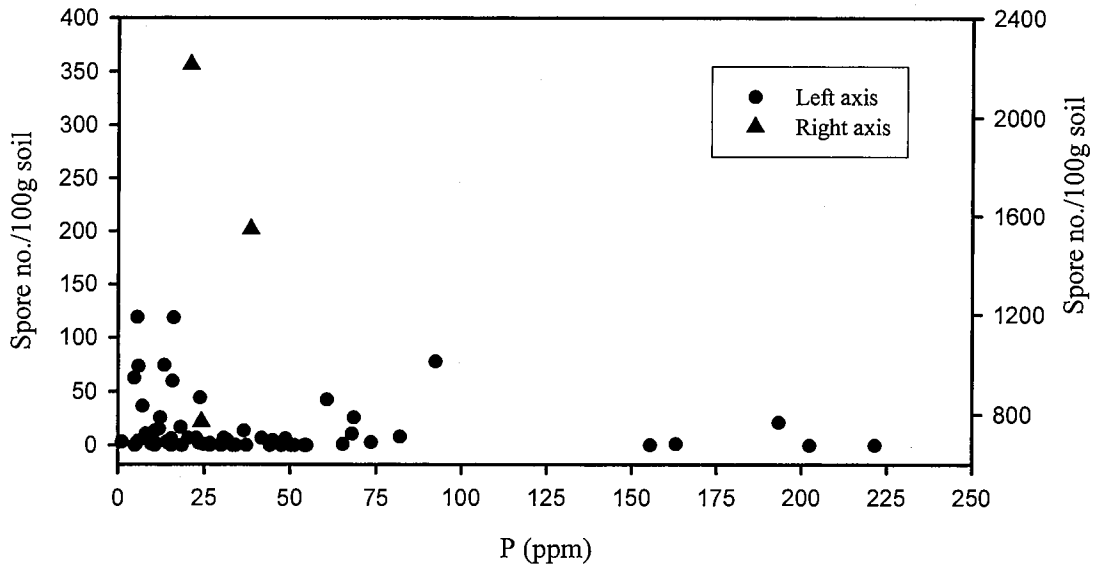


Figure 37. Distribution of spore of VAMF versus available P in the soil.
圖37. 叢枝菌根菌孢子數量與土壤中磷含量之分布關係

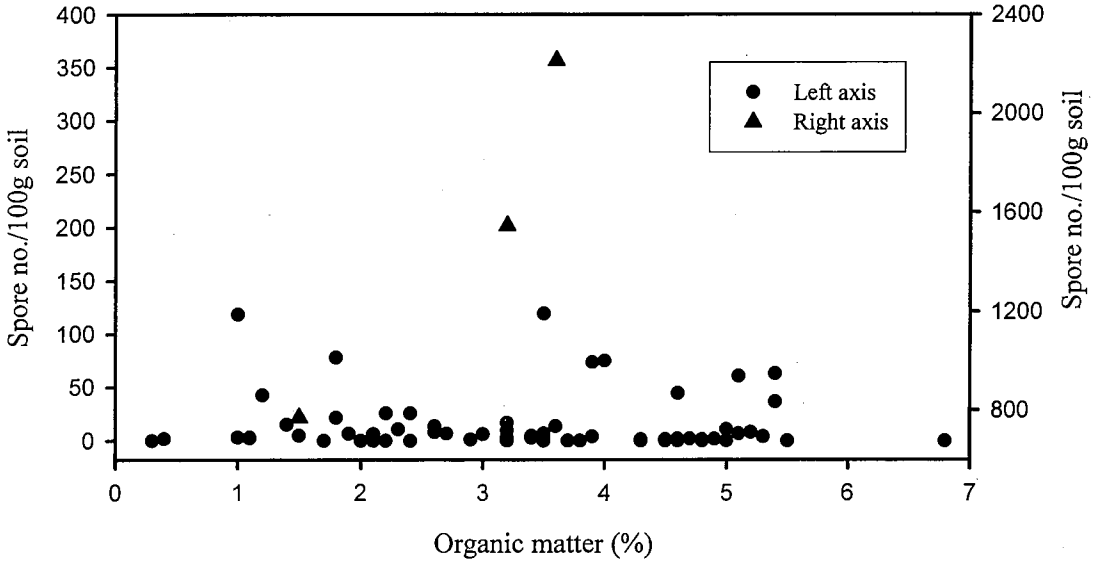


Figure 38. Distribution of spore of VAMF versus organic matter in the soil.

圖38. 叢枝菌根菌孢子數量與土壤中有機質含量之分布關係

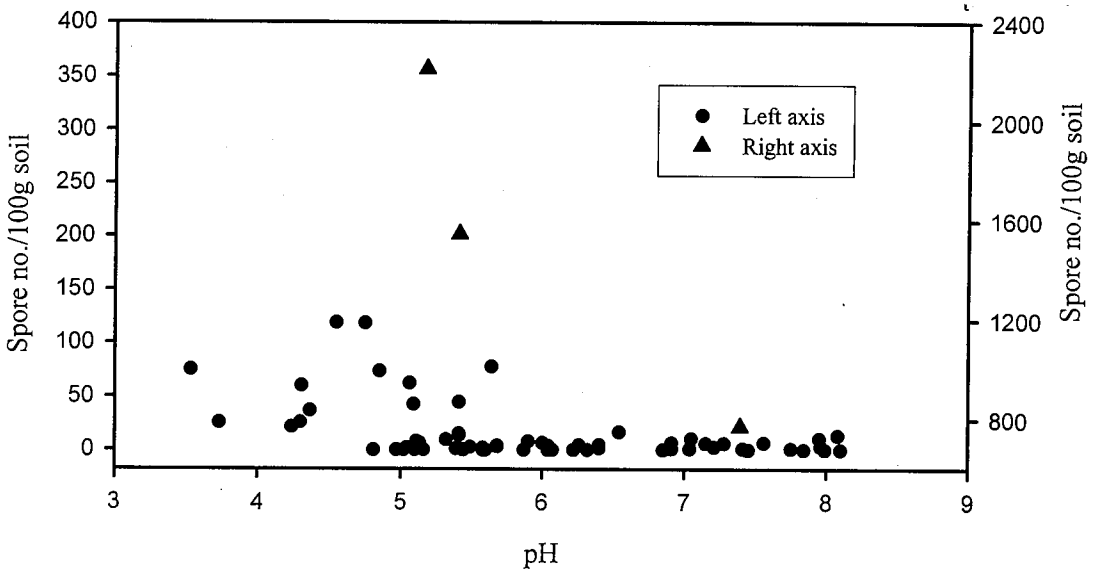


Figure 39. Distribution of spore of VAMF versus pH in the soil.

圖39. 叢枝菌根菌孢子數量與土壤酸鹼值之分布關係

他皆出現在酸性土壤，由此可知，*Acaulospora mellea* 較常出現於酸性土壤。孢子數最多的土壤(孢子數為391個/100g soil，編號26)，其土壤pH值為5.41，為彰化縣花壇系土壤，其植生為美人樹(*Chorisia speciosa*)、雜草，土壤之有機質含量為3.2 %，磷含量38.4 ppm。

表 6：出現菌根菌 *Acaulospora mellea* (AMLA)之土壤理化性質與植生

Table 6 ：Physical and chemical properties and vegetation of the soils which were found have the *Acaulospora mellea*(AMLA).

Soil no.	Spore no. of AMLA	Clay (%)	pH H_2O(1:1)	O.M (%)	Olsen-P (ppm)	EX-K (cmol(+)/kg)	EX-Na (cmol(+)/kg)	EX-Ca (cmol(+)/kg)	EX-Mg (cmol(+)/kg)	Vegetation
16	5.5	16	5.64	1.8	92.4	196.7	14.9	681.4	137.9	甘子
19	1.0	17	7.41	4.3	32.8	198.0	93.6	5740.5	346.6	水稻
26	391.0	17	5.41	3.2	38.4	46.0	313.0	1677.0	286.7	美人樹、雜草
44	25.8	7	4.30	2.2	12.3	19.9	7.3	27.2	5.1	荔枝
49	75.0	43	3.53	4.0	13.4	30.7	24.6	1.3	0	鳳梨
58	3.3	11	6.04	3.9	30.6	101.3	10.3	300.5	60.9	雜地
66	15.5	32	4.31	5.1	15.8	114.8	27.7	33.7	16.8	野牡丹、禾本科雜草
68	4.5	7	4.85	3.9	5.9	135.7	15.2	277.3	70.9	腎蕨、倒地蜈蚣、禾本科雜草
69	12.5	8	5.06	5.4	4.7	76.7	11.0	416.5	122.0	芒草
與孢子數之相關係數(R)		0.11	---	-0.18	0.10	-0.43	0.94	0.07	0.43	---

由表7可知，在發現有 *Glomus occultum* (LOCT)菌種之土壤有9個，其Clay 含量為6~32 %，有機質含量(O.M.) 1.0~5.1%，磷含量(Olsen-P) 1.2~38.4 ppm，交換性鉀含量5.6~155.0 cmol (+)/kg，交換性鈉含量3.7~313.0 cmol(+)/kg，交換性鈣含量20.0~5659.5 cmol(+)/kg，交換性鎂含量5.2~505.4 cmol(+) /kg。*Glomus occultum* 孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量之相關係數分別為0.34，0.15，-0.40，0.40，-0.22，-0.28，-0.33，由相關係數顯著性測試(P=0.05) 得知，*Glomus occultum* 孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量相關性不顯著。在發現有 *Glomus occultum* 菌種之土壤pH值為4.31~8.08，孢子數最多的土壤(孢子數為107.75個/100g soil，編號65)，為宜蘭縣大元社系土壤，pH值4.55，為山坡地，其植生為桔子、雜草，土壤之有機質含量為3.5%，磷含量5.6 ppm。

由表8可知，在發現有 *Acaulospora scrobiculata* (ASCB)菌種之土壤有8個，其Clay含量為5~21 %，有機質含量(O.M.) 1.1~4.6%，磷含量(Olsen-P) 5.4~162.9 ppm，交換性鉀含量12.8~548.1 cmol(+)/kg，交換性鈉含量10.3~184.9 cmol(+)/kg，交換性鈣含量139.4~3544.5 cmol(+)/kg，交換性鎂含量29.6~414.7 cmol(+) /kg。*Acaulospora scrobiculata* 孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量之相關係數分別為-0.58，-0.47，-0.12，-0.14，-0.23，-0.09，-0.03，由相關係數顯著性測試(P=0.05)得知，*Acaulospora scrobiculata*

孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量相關性不顯著。出現*Acaulospora scrobiculata*之土壤其pH值為5.40~7.96，孢子數最多的土壤(孢子數為769.75個/100g soil，編號21)，其土壤pH值為7.39，孢子數次多的土壤(孢子數為5.25個/100g soil，編號37)，其土壤pH值為7.15，而pH值大於7的土壤有四個，pH值小於7的土壤亦有四個，但孢子數皆小於2個/100g soil。孢子數最多之土壤(孢子數為769.75 個/100g soil，編號21)，為彰化縣路上厝系土壤，其植生為美人樹，土壤之有機質含量為1.5%，磷含量24.2 ppm。

表 7：出現菌根菌 *Glomus occultum* (LOCT) 之土壤理化性質與植生

Table 7：Physical and chemical properties and vegetation of the soils which were found have the *Glomus occultum* (LOCT).

Soil no.	Spore no. of LOCT	Clay (%)	pH H_2O(1:1)	O.M (%)	Olsen-P (ppm)	EX-K (cmol(+)/kg)	EX-Na (cmol(+)/kg)	EX-Ca (cmol(+)/kg)	EX-Mg (cmol(+)/kg)	Vegetation
18	6.5	7	6.91	5.1	22.7	72.5	104.4	2518.0	376.8	水稻
26	7.0	17	5.41	3.2	38.4	46.0	313.0	1677.0	286.7	美人樹、雜草
38	1.0	18	5.39	2.9	24.8	18.9	9.3	207.3	36.1	田菁
40	9.0	23	8.08	2.6	10.8	155.0	37.6	5659.5	505.4	禾本科雜草
45	10.5	27	7.95	2.3	8.1	22.6	40.1	1015.1	208.7	甘蔗
56	3.0	6	5.68	1.0	1.2	5.6	3.7	20.0	5.2	雜地
65	107.8	32	4.55	3.5	5.6	105.5	19.2	63.1	23.7	桔子
66	9.3	32	4.31	5.1	15.8	114.8	27.7	33.7	16.8	野牡丹、禾本科雜草
68	46.0	7	4.85	3.9	5.9	135.7	15.2	277.3	70.9	腎蕨、倒地蜈蚣、禾本科雜草
與孢子數之相關係數(R)		0.34	---	0.15	-0.40	0.40	-0.22	-0.28	-0.33	---

表 8：出現菌根菌 *Acaulospora scrobiculata* (Ascb)之土壤理化性質與植生

Table 8：Physical and chemical properties and vegetation of the soils which were found have the *Acaulospora scrobiculata* (ASCB).

Soil no.	Spore no. of ASCB	Clay (%)	pH H_2O(1:1)	O.M (%)	Olsen-P (ppm)	EX-K (cmol(+)/kg)	EX-Na (cmol(+)/kg)	EX-Ca (cmol(+)/kg)	EX-Mg (cmol(+)/kg)	Vegetation
12	1.3	17	5.40	4.5	9.7	74.1	105.5	2026.0	329.9	水稻
21	769.8	5	7.39	1.5	24.2	54.3	30.7	702.1	138.9	美人樹
22	1.0	12	6.91	3.5	162.9	548.1	184.9	3544.5	414.7	葡萄
28	1.3	11	7.28	3.0	48.7	40.8	38.0	384.9	79.6	豆子
32	3.0	10	7.96	1.1	14.2	12.8	23.4	485.1	36.3	甘蔗
37	5.3	9	7.15	2.1	15.5	34.0	165.4	139.4	29.6	禾本科雜草
52	1.8	21	5.58	4.6	5.4	56.6	15.2	164.9	88.9	雜木
58	0.8	11	6.04	3.9	30.6	101.3	10.3	300.5	60.9	雜地
與孢子數之相關係數(R)		-0.58	---	-0.47	-0.12	-0.14	-0.23	-0.09	-0.03	---

由表9可知，在發現有 *Acaulospora morrowiae* (AMRW)菌種之土壤有13個，其Clay含量2~32 %，有機質含量(O.M.) 0.4~5.4%，磷含量(Olsen-P) 4.7~193.4 ppm，交換性鉀含量10.5~280.1 cmol(+)/kg，交換性鈉含量4.6~424.9 cmol(+)/kg，交換性鈣含量33.7~5845.5 cmol(+)/kg，交換性鎂含量16.8~758.2 cmol(+) /kg。*Acaulospora morrowiae* 孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量之相關係數分別為0.03，-0.05，-0.06，-0.27，0.40，0.08，0.14，由相關係數顯著性測試(P=0.05)得知，*Acaulospora morrowiae* 孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量相關性不顯著。出現*Acaulospora morrowiae* 菌種之土壤pH值為4.24~7.05，孢子數最多的土壤(孢子數為1148個/100g soil，編號26)，其土壤pH值為5.41，孢子數次多的土壤(孢子數為133.5個/100g soil，編號59)，其土壤pH值為5.17，而pH值大於7的土壤只有一個，孢子數為10.5個/100g soil，由此可知，*Acaulospora morrowiae* 菌種較喜歡偏酸土壤。孢子數最多之土壤(孢子數為1148個/100g soil，編號26)，為彰化縣花壇系土壤，其植生為美人樹、雜草，土壤之有機質含量為3.2%，磷含量38.4 ppm。

表9：出現菌根菌 *Acaulospora morrowiae* (AMRW)之土壤理化性質與植生

Table 9：Physical and chemical properties and vegetation of the soils which were found have the *Acaulospora morrowiae* (AMRW).

Soil no.	Spore no. of AMRW	Clay (%)	pH H_2O(1:1)	O.M (%)	Olsen-P (ppm)	EX-K (cmol(+)/kg)	EX-Na (cmol(+)/kg)	EX-Ca (cmol(+)/kg)	EX-Mg (cmol(+)/kg)	Vegetation
13	118.5	2	4.75	1.0	16.1	126.5	10.9	181.2	33.4	玉米
14	8.0	23	4.24	1.8	193.4	242.2	23.6	402.8	51.5	茶園
15	42.3	16	5.09	1.2	60.7	196.7	14.9	681.4	137.9	茶園
16	72.3	12	5.64	1.8	92.4	150.5	4.6	217.0	19.3	甘子
23	10.5	15	7.05	5.0	67.9	280.1	278.9	5845.5	758.2	水稻
24	1.5	21	6.40	4.9	30.1	98.4	424.9	2975.0	402.9	水稻
26	1148.0	17	5.41	3.2	38.4	46.0	313.0	1677.0	286.7	美人樹、雜草
29	2.0	18	6.91	0.4	14.7	10.5	54.5	149.4	46.3	田菁
59	133.5	17	5.17	3.6	20.9	36.5	9.1	211.3	44.3	雜地
61	4.8	22	5.41	4.6	23.8	50.3	10.4	111.2	39.3	雜草、檳榔
66	31.8	32	4.31	5.1	15.8	114.8	27.7	33.7	16.8	野牡丹、禾本科雜草
68	17.5	7	4.85	3.9	5.9	135.7	15.2	277.3	70.9	腎蕨、倒地蜈蚣、禾本科雜草
69	44.0	8	5.06	5.4	4.7	76.7	11.0	416.5	122.0	芒草
與孢子數之相關係數(R)		0.03	---	-0.05	-0.06	-0.27	0.40	0.08	0.14	---

由表10可知，在發現有 *Glomus spurcum* (LSPC)菌種之土壤有5個，其Clay 含量為2~23 %，有機質含量(O.M.) 1.8~5.3%，磷含量(Olsen-P) 5.9~193.4 ppm，交換性鉀含量13.1~155.0 cmol(+)/kg，交換性鈉含量6.0~77.8 cmol(+)/kg，交換性鈣含量132.9~5659.5 cmol(+)/kg，交換

性鎂含量21.2~505.4 cmol(+) /kg。*Glomus spurcum*孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量之相關係數分別為0.24，0.07，-0.19，-0.13，-0.25，-0.17，-0.10，由相關係數顯著性測試(P=0.05) 得知，*Glomus spurcum*孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量相關性不顯著。在發現有*Glomus spurcum*菌種之5個土壤，其土壤pH 值為4.24~6.54，土壤pH值皆小於7，由此可知，*Glomus spurcum*較喜歡酸性土壤。孢子數最多的土壤(孢子數為2055個/100g soil，編號59)，其土壤pH值為5.17，為花蓮縣永豐系土壤，為休耕地，其植生為雜草，土壤有機質含量為3.6 %，磷含量20.9 ppm。

表10：出現菌根菌*Glomus spurcum* (LSPC) 之土壤理化性質與植生

Table 10：Physical and chemical properties and vegetation of the soils which were found have the *Glomus spurcum* (LSPC).

Soil no.	Spore no. of LSPC	Clay (%)	pH H_2O(1:1)	O.M (%)	Olsen-P (ppm)	EX-K (cmol(+)/kg)	EX-Na (cmol(+)/kg)	EX-Ca (cmol(+)/kg)	EX-Mg (cmol(+)/kg)	Vegetation
14	13.3	2	4.24	1.8	193.4	126.5	10.9	181.2	33.4	茶園
55	3.8	23	5.68	5.3	5.9	6.7	15.0	134.6	5.5	玉米
59	2055.0	17	5.17	3.6	20.9	36.5	9.1	211.3	44.3	雜地
60	9.5	6	5.32	3.2	8.6	8.2	2.8	66.8	0.4	玉米
63	9.0	18	6.54	3.2	18.2	63.9	48.0	1153.0	218.0	水稻
與孢子數之相關係數(R)		0.24	---	0.07	-0.19	-0.13	-0.25	-0.17	-0.10	---

由表11可知，在發現有*Glomus mosseae* (LMOS)菌種之土壤有10個，其Clay 含量為7~23 %，有機質含量(O.M.) 1.4~4.8%，磷含量(Olsen-P)10.7~163.2 ppm，交換性鉀含量13.1~66.2 cmol(+)/kg，交換性鈉含量6.0~77.8 cmol(+)/kg，交換性鈣含量132.9~5659.5 cmol(+)/kg，交換性鎂含量21.2~505.4 cmol(+) /kg。*Glomus mosseae*孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量之相關係數分別為-0.51，-0.62，-0.38，-0.15，-0.22，-0.14，-0.12，由相關係數顯著性測試(P=0.05) 得知，*Glomus mosseae*孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量相關性不顯著。在發現有*Glomus mosseae*菌種之10個土壤，其土壤pH 值為5.41~8.08，土壤pH值大於7的土壤有4個，pH值小於5的有2個，由此可知，*Glomus mosseae*較喜歡微酸至中性土壤。10個土壤所發現之*Glomus mosseae*孢子數皆不高，孢子數最多為15個/100g soil(編號34)，其土壤pH值為5.41，為臺南縣林鳳營系土壤，其植生為禾本科雜草，土壤有機質含量為1.4 %，磷含量11.9 ppm。

由表12可知，在發現有*Glomus claroideum* (LCLR)菌種之土壤有11個，其Clay 含量為7~25 %，有機質含量(O.M.) 1.5~4.8%，磷含量(Olsen-P)5.9~163.2 ppm，交換性鉀含量21.7~179.7 cmol(+)/kg，交換性鈉含量6.0~92.0 cmol(+)/kg，交換性鈣含量214.5~5659.5 cmol(+)/kg，交換性鎂含量21.2~505.4 cmol(+) /kg。*Glomus claroideum*孢子數與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量之相關係數分別為0.16，-0.09，-0.27，0.19，0.42，-0.08，0.16，由相關係數顯著性測試(P=0.05)得知，*Glomus claroideum*孢子數與Clay含量，

有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量相關性不顯著。在發現有 *Glomus claroideum* 菌種之11個土壤，其土壤pH值為4.85~8.08，土壤pH值大於7的土壤有4個，pH 值小於5的有4個，由此可知，*Glomus claroideum* 菌種分布的土壤pH值較寬，從酸性至鹼性土壤皆可發現。11個土壤所發現之 *Glomus claroideum* 孢子數皆不高，孢子數最多為13.5個/100g soil(編號4)，其土壤pH值為5.41，為桃園縣坡堵系土壤，其植生為水稻，土壤有機質含量為3.6 %，磷含量36.5 ppm。

表11：出現菌根菌 *Glomus mosseae* (LMOS) 之土壤理化性質與植生

Table 11：Physical and chemical properties and vegetation of the soils which were found have the *Glomus mosseae* (LMOS).

Soil no.	Spore no. of LMOS	Clay (%)	pH H_2O(1:1)	O.M (%)	Olsen-P (ppm)	EX-K (cmol(+)/kg)	EX-Na (cmol(+)/kg)	EX-Ca (cmol(+)/kg)	EX-Mg (cmol(+)/kg)	Vegetation
27	1.75	7	6.40	1.5	31.7	21.7	18.1	214.5	46.8	雜草
30	2.75	9	5.49	3.2	10.7	29.2	15.9	189.1	37.1	水稻
34	15	7	5.41	1.4	11.9	17.8	9.6	132.9	44.4	禾本科雜草
36	2.25	15	6.00	3.5	30.7	66.2	77.8	1372.0	240.4	水稻
40	3	23	8.08	2.6	10.8	155.0	37.6	5659.5	505.4	禾本科雜草
46	0.75	18	7.75	4.8	163.2	30.3	6.0	635.2	35.6	桑子、雜樹
47	1	22	7.04	4.6	65.2	13.1	19.5	592.1	43.3	毛豆
48	2.5	18	7.21	3.4	73.5	22.5	7.7	389.4	22.3	洋香瓜
50	4.25	16	6.26	3.4	44.9	30.4	10.7	188.2	21.2	雜草
63	2	18	6.54	3.2	18.2	63.9	48.0	1153.0	218.0	水稻
與孢子數之相關係數(R)		-0.51	---	-0.62	-0.38	-0.15	-0.22	-0.14	-0.12	---

表12：出現菌根菌 *Glomus claroideum* (LCLR) 之土壤理化性質與植生

Table 12：Physical and chemical properties and vegetation of the soils which were found have the *Glomus claroideum* (LCLR).

Soil no.	Spore no. of LCLR	Clay (%)	pH H_2O(1:1)	O.M (%)	Olsen-P (ppm)	EX-K (cmol(+)/kg)	EX-Na (cmol(+)/kg)	EX-Ca (cmol(+)/kg)	EX-Mg (cmol(+)/kg)	Vegetation
4	13.5	22	5.41	3.6	36.5	114.5	52.3	720.2	164.2	水稻
7	2	25	5.04	4.7	26.7	179.7	92.0	640.8	128.6	水稻
27	3	7	6.40	1.5	31.7	21.7	18.1	214.5	46.8	雜草
28	4.75	11	7.28	3	48.7	40.8	38.0	384.9	79.6	豆子
40	1.5	23	8.08	2.6	10.8	155.0	37.6	5659.5	505.4	禾本科雜草
43	3	9	5.90	2.6	82.0	73.8	14.1	583.4	76.0	雜草
46	0.25	18	7.75	4.8	163.2	30.3	6.0	635.2	35.6	桑子、雜樹
48	0.25	18	7.21	3.4	73.5	22.5	7.7	389.4	22.3	洋香瓜
50	0.25	16	6.26	3.4	44.9	30.4	10.7	188.2	21.2	雜草
63	5.75	18	6.54	3.2	18.2	63.9	48.0	1153.0	218.0	水稻
68	2	7	4.85	3.9	5.9	135.7	15.2	277.3	70.9	腎蕨、倒地蜈蚣、禾本科雜草
與孢子數之相關係數(R)		0.16	---	-0.09	-0.27	0.19	0.42	-0.08	0.16	---

討　　論

本調查中發現，在69種試驗土壤中有19個土壤(28%)找不到囊叢枝內生菌根菌孢子，有48個土壤(70%)之孢子數少於10個/100g soil ，此調查結果若與加拿大安大略州的玉米田之內生菌根菌孢子數 (900~7000個/100g dry soil)(Sutton and Barron, 1972)相比較，臺灣代表性農地與坡地土壤中囊叢枝內生菌根菌孢子數顯然偏低，實有接種菌根菌之需要。

在69種試驗土壤中，孢子數最多的三個土壤，其植生為美人樹(*Chorisia speciosa*)與雜草，土壤較少翻動。而種植水稻的19個土壤，其中有9個土壤找不到孢子，孢子數最高為16.8個/100g soil，平均為3.3個/100g soil。根據Kucey and Paul (1983) 之調查，在未翻動土壤與鄰近的耕作土壤之菌根菌數量，以未翻動土壤中菌根菌之孢子數較多，未翻動土壤中菌根菌之孢子數為耕作土壤之1.1~33.5倍(平均4.8倍)，Kucey and Paul認為耕作會減少菌根菌宿主之根密度，亦會減少孢子的數量。除了翻動土壤會造成菌根菌數量減少之外，農藥的使用及水稻的種植應也是重要的因素之一，本試驗土壤採樣時間多在水稻收割後而尚未翻動之前，土壤中之菌根菌在經過一季之生長後，應可重新建立族群，但事實不然，根據臺灣省農試所長期追蹤調查不同的輪作制度對菌根菌族群的影響發現，不論是水稻連作區，水稻玉米輪作區，其菌根菌孢子的數量逐年在減少(吳，未發表)，而在試驗過程中，為了讓作物不受蟲害與病害之影響，以及雜草的防制，施用很多的化學藥劑，這可能是造成臺灣農地土壤菌根菌數量減少之主要原因。

在69種試驗土壤中，囊叢枝內生菌根菌之孢子總數與土壤有機質含量、土壤磷含量無明顯相關；本調查結果與Kucey and Paul (1983)調查相符。在本調查中，出現機率較高的7種菌根菌中，*Acaulospora mellea*的孢子數與交換性鈉含量有明顯之相關外，相關係數r=0.94，而兩者之相關性何以如此之高，有待進一步研究。*Acaulospora mellea*的孢子數與土壤的Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈣、鎂含量相關性不顯著，其他六種菌種與Clay含量，有機質含量，磷含量，交換性鉀、鈉、鈣、鎂含量相關性亦不顯著。菌根菌孢子的數量受環境中很多因子的影響，本試驗中所測定之土壤理化性質，並非影響菌根菌孢子之主要因子，至於是何因子影響菌根菌孢子的數量，尚待進一步的探討。

出現機率較高的7種菌根菌中，*Acaulospora mellea*與*Glomus occultum*在酸性與鹼性土壤中皆可發現，但似乎較喜歡酸性土壤。*Acaulospora morroiae*與*Glomus spurcum*較喜歡酸性土壤。*Acaulospora scrobiculata*與*Glomus mosseae*在微酸性至鹼性土壤中皆可發現。而*Glomus claroideum*在酸性與鹼性土壤中皆可發現。瞭解菌種出現之pH值範圍，可使菌根菌更有效的發揮。

結　　論

1. 本調查中發現，在69種試驗土壤中有19個土壤(28%)找不到囊叢枝內生菌根菌孢子，有48個土壤(70%)之孢子數少於10個/100g soil ，臺灣代表性農地與坡地土壤中囊叢枝內生菌根菌孢子數顯然偏低，實有接種菌根菌之需要。

2. 在69種試驗土壤所出現之內生菌根菌菌種共有14種，而這14種菌根菌出現5次以上的有7種，分別為 *Acaulospora morrowiae*，*Glomus claroideum*，*Glomus mosseae*，*Acaulospora mellea*，*Glomus occultum*，*Acaulospora scrobiculata* 與 *Glomus spurcum*。孢子數量最多之菌根菌菌種為 *Glomus spurcum* 2090.5個/100g soil與 *Acaulospora morrowiae* 1634.5個/100g soil。

生態環境因子與叢枝菌根形成之關係

前　言

近三十年來對叢枝菌根菌(Arbuscular mycorrhizal fungi)之研究日益增多，證實本類真菌廣佈陸生生棲系土壤中，能與大多數植物根系形成菌根(mycorrhizae)，菌絲並由根面向外延伸生長，因而擴展根系吸收難移動性植物養分之範圍，如磷、銨及銅等元素。此種現象可由圖一所示而瞭解，以磷之吸收為例，即由根系向外延伸之菌絲，跨越過根毛能吸收到的磷缺乏區，增加根系吸收養分土壤體積，使植物吸收養分較非菌根植物為多，增加植物生長與作物產量。同時因菌絲之伸展而擴大植株取得水分量，或因菌絲增加根系吸收水分之管道而增加移植苗之存活率(Nelsen, 1989)。另有不少報告(Linderman, 1994； Sylvia 與 williams, 1992)指出，形成菌根之作物；可增進其抗病力，抗旱力；抗鹽力。

叢枝菌根菌對作物生長之優點，早已眾所週知，國內近十餘年來，在農委會與國科會支持下，眾多學者、專家全力將叢枝菌根研究成果，由試驗室推展至田間，應用到作物生產上，已有極好的成績，尤其是在園藝作物上的成果最為豐碩，但仍有部份試驗，缺乏對土壤生態環境之瞭解而未能得到接種叢枝菌根菌之效益。本報告就土壤生態環境因子對叢枝菌根生成之影響、分項簡述於后，疏漏誤解之處，尚所各位先進多多包涵與指正。

生物因素

1.宿主與真菌

叢枝菌根菌能與苔蘚植物、蕨類植物、裸子植物及被子植物等等植物形成叢枝菌根，包括水生、旱生及耐鹼植物。在目前已知非菌根植物包括十字花科(Cruciferae)等科植物不能形成叢枝菌根(表1)。另有部份植物需依賴菌根始可生長良好，稱之為絕對菌根植物(Obligately mycorrhizal plant)，如木薯、豇豆等作物。植物與真菌形成菌根，需在土壤低至中養分狀況下始具增進生長之功能、高至中養分雖無菌根共生，仍能正常生長者稱之為非絕對菌根植物，如豌豆等作物(表一，圖1)。一般而言，植物具粗，分岐少及根毛少的根系(如柑桔，洋蔥)對菌根形成之依賴性大於細、分枝多及根毛多的根系。張等(1984)曾調查全省各地所收集13科30種蔬菜中，共有大蒜、芹菜、竹筍等21種作物具有共生的叢枝菌。另有9 種作物未能發現。

目前證據顯示叢枝菌根菌與宿主之間，並無類似根瘤菌(Rhizobia)與豆科作物間共生特性，但不同菌株或分離株之間對宿主之感染力仍然相異。林等(1994)觀察十一株叢枝菌根菌對玉米等作物之感染率，部份資料如表2所示，其中90061號分離株感染五種植物效果最佳，但90004僅蘇丹草與三葉草較佳。Van Nuffelen 與 Schenck(1984)觀測六種叢枝菌根菌對大豆的感染率，因菌種與觀測期而異。在各次觀測期中，*Glomus intrardices*之感染率大致上均優於其他菌種，而 *Glomus mosseae* 且比30天觀測時，感染率高於60天觀測值。其次不同作物

表1. 植物種類與叢枝菌根菌的關係

非菌根植物	絕對菌根植物	非絕對菌根植物
莧科	木薯	豌豆
十字花科	豇豆	玉米
石竹科	咖啡	水稻
藜科	犁	高粱
鴨趾草科	芒果	棉花
玉蕊科	酒味果屬	木瓜
馬齒莧科	筆花豆屬	蘆筍
山欖科		洋蔥
蒺藜科		韭

摘自吳繼光(1994)

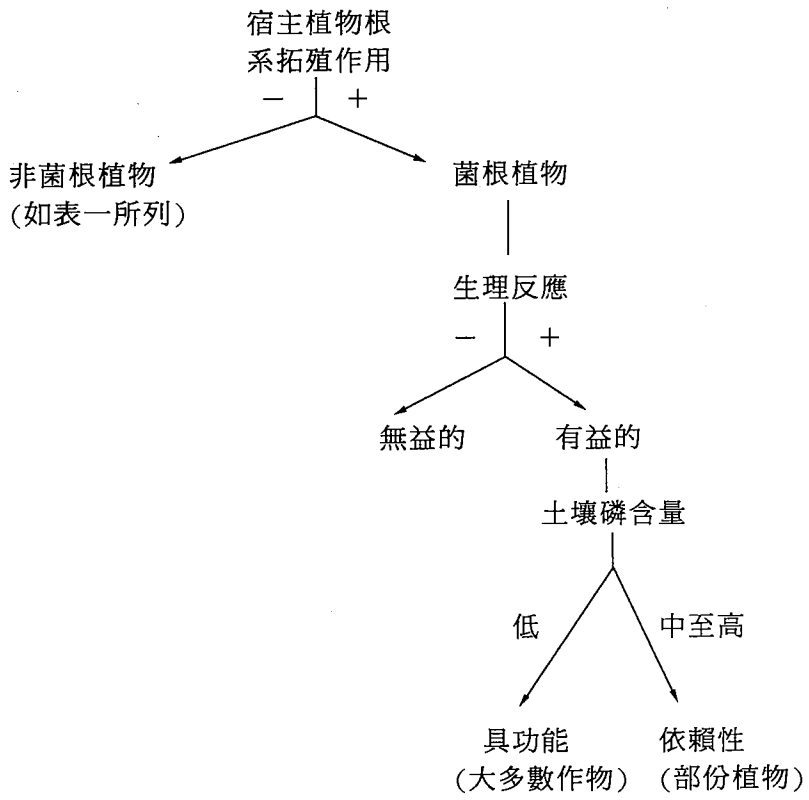


圖1. 作物接種叢枝菌根菌之效益
(摘自 Miller 等，1986)

表2. 菌根真菌接種不同作物六週之感染率

分離株	玉米	綠豆	蘇丹草	三 草	韮 蔥
			%		
90007	49 ab	48 bc	40 ab	49 a	55 ab
90061	46 ab	67 a	33 ab	56 a	65 a
90107	35 bc	38 c	23 c	33 b	43 b
90089	26 c	53 b	31 b	46 ab	40 b
90004	29 c	51 b	40 ab	45 ab	41 b

1.平均值後所附英文字母如相同，表示差異不顯著($P \leq 0.05$ Duncan's 測定)
2.摘自林先貴等(1994)

表3. 六種叢枝菌根菌對大豆拓殖作用(colonization)與根瘤形成作用之影響

菌 種	根瘤數 /植株	試 驗 1 植後30天	試 驗 1 植後60天	試 驗 2 植後30天	試 驗 2 植後60天
		%			
對照	90.7 b	0.0 c	0.0 e	0.0 d	0.0 d
Glomus etunicatum	38.8 c	1.1 c	10.1 cd	1.6 c	12.4 c
Gigaspora heterogama	121.2 a	3.2 bc	36.0 a	2.8 b	22.4 ab
Glomus intraradices	77.4 b	3.6 b	33.7 a	4.2 a	25.2 a
Gigaspora margarita	78.4 b	0.2 bc	12.6 c	0.3 d	9.6 c
Glomus mosseae	128.4 a	8.4 a	22.9 b	3.1 ab	20.1 b
Entrophospora sp.	34.8 c	0.0 c	8.6 d	0.0 d	8.1 c

栽培品系(cultivars)對同一菌株的反應亦不相同，例如 *G. mosseae* 與 *G. gilmore* (E3) 可增進兩個豇豆栽培品系，而 *G. epigaeum* 僅對其中58-185栽培品系具有功能。Brown crowder 豇豆品系接種 *G. fasciculatum* 能顯著增加莖乾物量及固氮酵素活性，而 Bush Purple Hull 且無接種效益(Miller等，1986)。

在田間條件下，常常單一根系棲息一種以上的菌根菌，亦往往會觀測到兩種不同宿主植物根系間由同一種叢枝菌的菌絲相連繫。不僅大多數的菌根菌能與廣泛植物宿主共生，同時各宿主亦不會僅限於一菌種，或一菌屬之菌根菌可感染。因此事先選擇優勢拓殖菌株，而後接種作物，植於田間則可得到較佳的效果，但菌種與宿主之間的最佳組合，應先預以測定。或使用混合菌種接種劑，以確保效益。

2.與根圈微生物之交互作用

叢枝菌根菌係棲身於植物根系，當菌根菌感染植物根系後，不但改變根系形態，同時根系生理亦明顯改變。如植物激素之生成，增進光合作用，養分吸收增加及根分泌物種類與量

之改變等。此均影響到根圈土壤中微生物族群或群落組成之改變，目前將菌根所影響到的根圈特別命名為菌根根圈(mycorrhizosphere, Linderman, 1992)。

叢枝菌根菌與土壤中微生物之交互作用有正有負，此為土壤生態環境之特性，基於本報告並非完全僅探討此種交互作用，而依 Linderman (1992)與 Bagyaraj (1984)所述摘要報告如下：

(1)增進作用(Stimnlation)

Glomus epigaeus (=*Glomus versiforme*)在殺菌土垠中，其孢子不能發芽，但在未殺菌土中則無此種現象。將此菌孢子表面所附的細菌完全排除，發芽率低於未殺菌孢子。經分離純化此類細菌，全為 *Pseudomonas* 與 *Corynebacterium* 等等菌屬的細菌，可加強孢子發芽率及發芽管生長與分支，同時對宿主之感染亦具有增進功能。土壤微生物亦會影響到叢枝菌根外伸菌絲，雖宿主供應能量給菌絲始具生長能力，但土壤中菌絲網之形成深受土壤微生物之影響。

(2)抑制作用(Inhibition)

叢枝菌根菌在土壤中孢子數減少主因子之一，即土壤動物吞噬作用，例如吞噬真菌性線蟲(mycophagous nematode) *Aphelenchus avenae* 存在，大幅減少大豆莖與根之重量。可能係因線蟲吞噬VAM根外菌絲而減少養分之輸送。其他吞噬性真菌的生物如彈尾蟲(springtails)，亦以真菌菌絲為食而減少 VAM之效益。

(3)其生固氮作用(Symbiotic nitrogen fixers)

叢枝菌根之形成能否幫助根瘤菌在豆科植物上之固氮活性，需視土壤養分狀況而異，特別是土壤中磷素之有效性，主因固氮作用所需之能量的傳遞者係以磷為其主要構成元素。盆栽大豆接種 *G. fragilis* 與 *G. fasciculatus* 於四種土壤中，對其生固氮作用因不同土壤及菌根菌種而異(楊等，1984)。在田間以大豆根瘤菌與及 *Glomns* spp. 接種大豆觀測在不同施用氮肥量(0, 40 kg N ha^{-1})之效應，對 C_2H_2 還原活性與豆粒產量均因兩種接種劑同時使用而顯著高於單一接種及對照處理(Young 等, 1990)。趙與王(1991)於粘板岩沖積土之二林系壤土(pH 7.8)，砂頁岩沖積土之大里系壤土(pH 6.5)及紅壤類之平鎮系粘質壤土(pH 4.2)，同時接種 *Glomus mosseae* 與 *Bradyrhizobium joponica*，可顯著增加根瘤形成數，乾瘤重及乙炔還原活性。Van Nuffelen 與 Schenck(1984)指出叢枝菌根對其生固氮作用之效應，因叢枝菌根種類而異，如表3所示，*Gigaspora heterogama* 與 *Glomus mosseae* 具有增進根瘤生成能力，而 *Glomus etunicatum* 與 *Entrophospora* sp.反而降低根瘤生成能力。

(4)游離固氮菌(Free-living nitrogen fixers)

眾多游離固氮菌類中，對 Azospirillum spp. 之報導較多。其中 *A. brasilense* 可增進 VAM 在小米、玉米及黑麥草根系上形成，但未能增加固氮作用，高粱在低有效性氮與磷的條件下，接種 *G. fasciculatum* 與 *A. brasilense* 均有助作物生長，同時接種兩種菌作物生長更佳。然此兩種菌發生對作物有益的功能時，均需消耗植物光合作用所生成的能量，同時接種勢必更加深對能量之需求，可能造成競爭作用而得不償失。

(5)增進植物生長細菌

增進植物生長根圈細菌(plant growth promoting rhizobacteria，簡記為 PGPR)，如 *Psendomonas putida* 與叢枝菌根菌同時接種到三葉草，有益作物生長，主因增加植體中養分含量。將 *Glomus* spp. 與格氏陰性溶磷菌同時接種至銀合觀(*Leucaena leulocephala*)，種植在含有效性磷為1.99, 3.14及95.36 μ g pg^{-1} 土之盆栽土壤中，雙重接種均優於單獨接種之處理，部份土壤差異達顯著性(Young 等, 1990)。

(6)生物防治(biocontrol)

形成叢枝菌根的作物，通常均可減少作物被真菌與線蟲的為害，如表4所示。近年來相關回顧性文獻頗多，如 Linderman (1994)，Hooker 等(1994)及Azcon-Aguilar與Barea (1996)。由目前資料顯示抗病的證據是(a)AMF拓殖於根系可提供對抗土棲病原真菌之保護，(b) 因根系被 AMF 拓殖後、降低線蟲的感染，(c)植物葉片養分因AMF之形成而濃度增加，增加葉片抗病性。

表4. 叢枝菌根拓殖作用對真菌病害與線蟲感染之影響

微 生 物	宿主植物	效應
病原真菌		
Aphanomyces eutieches	豌豆	−
Fusarium oxysporum	洋蔥	−
Phytopthora	柑桔	+
Fusarium solani	大豆	−
Sclerotium rolfsii	花生	−
線蟲		
Rotylenchus renifoumis	蕃茄	−
Paratylenchus brachyurus	棉花	−
Meloidogyne hapla	洋蔥	−

1. "−"表示減少病害；"+"表示增加病害

2. 摘自Hooker等, 1994

三、土壤因子

1.土壤養分與施肥

叢枝菌根大多在土壤肥力較低的土壤中，易於發生增進作物生長與吸收難移動性養分，而土壤肥力過高或者過低，前者如施用高劑量的化學磷肥與氮肥的土壤抑制菌根形成，後者如新裸露之紅壤底土，養分不足供植物吸收利用，根系生長不良，均將導致菌根形成率大幅減少或單位體積栽培介質中孢子數減少。此外根系的感染率除受菌種與土壤肥力之影響外，同時與根系生長速率有關，而且不同作物的根系，各有其生長最快速的生理期，因欲比較不同宿主植物之感染率時，應注意此種差異。有關土壤肥力或肥料對叢枝菌根之形成，近年有

不少的回顧性報告，如 Miller等(1986)，Hayman(1987)及 John 與 Pfleger(1992)等，本文所述大部份來自此三篇報告。

表5. 土壤肥力對VA菌根真菌孢子數和感染率的影響

宿主	肥力	樣品數	有機質 kg^{-1}	有效性磷 P_2O_5 mg kg^{-1}	孢子數 個 kg^{-1}	感染率 %
甘蔗	高	2	19.5	90.0	350	38
	中	2	12.8	57.7	390	42
	低	2	12.6	37.9	480	65
狼尾草	高	3	28.5	59.1	2333	80
	中	2	14.8	10.9	460	88
	低	3	11.1	3.9	807	93

摘自牛家琪(1994)

表6. 不同叢枝菌根菌與肥料量(三要素緩效肥料)對蘇合香(*Liquidambar styraciflua*)幼苗感染率之效應

菌株	施肥量 gl^{-1} 0	1.1	2.2	4.5	9.0	LSD(P=0.05)
	感染率(%)					
	52.3	77.4	59.1	39.4	18.4	
Glomus etunicatus	8.4	57.0	49.6	50.9	13.4	
G. claroideum	18.6	16.0	14.3	15.0	10.8	
G. fasciculatus	13.9	15.7	18.5	16.8		
LSD (P=0.05)						

1. 緩效性肥料 N：P：K=18：6：12，(8-9個月釋放速)
2. 摘自 Kiernan 等(1693)

土壤肥力為影響叢枝菌根形成與發育的主因素，在調查不同肥力的土壤種植甘蔗與狼尾草時，兩作物根系之感染率皆以肥力低的土壤高於肥力高的土壤，而孢子數僅種植甘蔗的土壤呈現此種現象，此兩類叢枝菌根形成之特徵與土壤中有效性磷量成負效應(表5.)於蒸氣殺菌之砂土混合基質中，施用不等量之緩效性肥料(18-6-12=N：P：K，8-9個月內釋放 18N-2.6P-10K)，接種三種叢枝菌根菌種植蘇合香(*Liquidambar styraciflua*)，植株根系感染率以施用4.5gl^{-1}以下之各處理較佳(表6)。以三菌株而言，*Glomus etunicatus*對蘇合香之感染率最高，而以*G. fasciculatus*最低。

移植後十週的盆栽作物，將^{32}p標示的磷酸鹽液注入各生長盆中間土層，注入^{32}p三天後測^{32}p活性。菌根根系含高量^{32}p，被菌根植物吸收^{32}p最遠距離為根面外了至6公分處，菌

根感染植物葉片部份亦含高量放射活性，顯示菌根吸收^{32}p快速移至植株地上部。以不同用量磷酸一鈣於洋蔥殺菌土盆栽，不施磷時土壤中菌根植物較非菌根植物大數倍，於每公斤土施用0.5或1g 磷酸一鈣之非菌根植株與不施磷菌根植物的處理相似。

很多研究顯示菌根植物能利用或溶解土壤中無效性磷，例如形成菌根的蕃茄對骨粉中磷之利用性，相當於對非菌根植物增施16倍骨粉所得結果。楊等(1986)於酸土中種植玉米，施用不等量之磷礦石粉，另以過磷酸鈣為對照，接種叢枝菌根菌，顯示兩種磷礦石粉用量的處理，植物根系的感染率皆高於施用過磷酸鈣之處理，以不施磷肥之處理感染率最低(表7)。此種現象在中或鹼性土壤中效應較差。

表7. 不同形式磷肥對菌根菌感染玉米根系之比較

磷肥處理 g 盆$^{-1}$	菌根菌接種	感染率	
		后里紅壤	萬巒酸土
		%	
0	−	52.0 b(1)	40.0 cd
	+	60.0 b	60.0 b
磷礦石粉			
16.5	−	77.3 ab	25.3 d
	+	78.3 ab	64.0 a
33.0	−	77.3 ab	49.3 b
	+	84.0 a	77.3 a
過磷酸鈣	−	73.3 ab	38.7 cd
16.5	+	69.3 ab	61.3 b

1.同行平均值後所附英文字相同表示差異不顯著($p < 0.05$， Duncan's 測定)
2.摘自楊等(1986)

於相同的磷源與土壤下，以^{32}p標示有效性磷測洋蔥形成菌根與否之吸收^{32}p活性，菌根植物磷流入根速為非菌根植物之3至16倍。但菌根並不能增加土壤中易利用性磷。同時磷在菌絲中傳送速率為植物根之十倍。在菌絲中的磷係傳送至叢枝體而進入根部。

土壤中高濃度磷量抑制菌根之形成，可能是因抑制菌根特殊鹼性磷酸鹽(mycorrhizal-specific alkaline phosphate)之轉形作用，而抑制菌根拓殖作用之進行。或者是低磷狀況下，根系缺少有效性磷脂質之供應，而增加細膜之滲漏性。以致胞內醣類與氨基酸外逸量較高磷狀況下的細胞膜為多，而增加叢枝菌根菌之感染與拓殖。

砂耕栽培豇豆接 *G. fasciculatum* 施用 13,23,33 及43 mg P/L，最佳菌根效應係在施用23mg P/L之處理。近期報告顯示，種植柑桔作物，接種 *G. fasciculatum* 時，土壤中有效性磷量以0.5M $NaHCO_3$ 萃取時，臨界量為每克土壤含34 μg，另一報導是酸桔在土壤以$NaHCO_3$萃取磷量為556 $\mu g\ g^{-1}$ 土時始不產生孢子，但 citrage 且在56 $\mu u\ g^{-1}$ 土時即不生成孢子。這些報導均顯示土壤含磷量高時會阻礙菌根形成，但究竟多少磷量始產生抑制菌根形成，視萃取法，土壤性質及作物種類等等因素而異。基於對環境具有適應(adaptation)能力，在長期施用高磷

肥土壤，應可找到耐高濃度磷的菌種，期用在施磷肥的田間作物或供苗床育苗用。

氮肥對菌根之生成具有負效應，於粘土或輕質土壤種植小麥，施用 $NH4NO_3$ 均會降低叢枝菌根孢子之形成。Kruckelmann (1975)指出施氮量為224 kg ha^{-1}時抑制根孢子之形成。但施用低量氮肥，且能增加根系形成孢子。可能係因土壤肥力與施氮量相異所致。種植結球萵苣施用不同磷肥時並接種 *Glomus mosseae*，菌根生成量隨施用磷量增加而下降，然而在所有施磷處理中，均因施用硝酸鹽而增加菌根菌之拓殖作用。顯示菌根的拓殖作用是否受到抑制，因氮與磷之比而異，並非單單受限於土壤中含磷量。總之土壤含高磷與氮是會造成菌根拓殖作用下降，磷之抑制作用係因高土壤磷導致根內含磷高所致，但氮素抑制菌根菌之拓殖作用，相關機制尚不明瞭。總之，施用高量磷與氮肥或者殘效均會降低叢枝菌根菌對宿主作物之感染，特別是常常施肥種植蔬菜的土壤，土壤殘存氮、磷量高而叢枝菌根拓殖作用易受到抑制。

以動物廄肥代替化學肥料之施用，大玫上亦受施用量增加而叢枝菌根感染率下降，牛家琪(1994)調查廣東省砂岩沖積土，施用不等量之牛糞種植狼尾草，表8顯示施用量高之處理孢子數僅為施用低量土之三分之一。惜未能注明單位面積施用量。相似的情形，如表9所示，連續19年施用不等量的豬與牛糞種植黑麥草，另以施用化肥與否做為對照，均因施用大量廄肥而增加土壤中 Olsen 磷量，以致減少感染率及叢枝體生成數，豬糞抑制力較強之原因，可能係因有效性磷較高，或使用過量廄肥所致。

表8. 不同牛糞用量對狼尾草土壤孢子數的影響

施用牛糞量	.樣品數	孢子數 個kg^{-1}
高	5	327
中	2	460
低	4	980

摘自牛家琪(1994)

表9. 長期施用不同既肥對黑麥草感染叢枝菌根之效應

	化肥		豬糞液			牛糞液			SE
	施用	未施用	50	100	200	50	100	200	
					m^3 ha^{-1} yr^{-1}				
感染率(%)	83.3	65.8	76.8	57.8	34.8	83.3	65.6	43.2	4.16
感染強度 (叢枝體數)	1.37	1.12	1.36	0.82	0.38	1.46	0.89	0.53	0.089
Olsen P mg kg^{-1}土	26	17	31	77	121	18	29	67	2.7

1.化肥用量每年每公頃200kg N，32kgP及160 KgK。
2.所有數據均為連續施肥19年後之測值。
3.摘自 Christie 與Kilp atrick (1992)。

2.土壤 pH

土壤 pH 對叢枝菌根菌拓殖作用之效應，因很多土壤化學性質隨土壤 pH 而變動，以致不易單獨評估。例如土壤中金屬離子濃度測受土壤 pH 之效應，例如鋁，需在土壤 pH 5.0 以下，始形成有效性形態供作物吸收。此外土壤 pH 測定如沒用根圈土壤，往往不足以表示菌根菌在作物根系上所受到 pH 之影響。在人工培養上觀測不同 pH對孢子發芽之效應，*G. mosseae* 與 *Gigaspora heterogama* 最適 pH依次為5與6。 *G. epigaeus* 孢子發芽最適 pH 為6至8。 *Acaulospora laevis* 孢子在土壤中最適發芽pH為4至5 (112.5，0.01M $CaCl_2$ 液)。雖有不少的報導比較不同菌種對宿主在廣泛範土壤 pH 下之拓殖能力，但仍不足以瞭解土壤 pH孢子發芽或叢枝菌根之拓殖作用之效應。據近期報告顯示，在 pH 9.2及2.7的土壤上生長的植物均可形成叢枝菌根，亦即表示叢枝菌根菌在植物根系上的拓殖作用(包括孢子發與感染)所能忍受在pH 範圍極廣。例如三葉草被 *G. fasciculatum* 感染率在土壤 pH 5.3至7.0 (0.01M $CaCl_2$ 液)無差異。在夏威夷種植銀合歡(*Leucaena leucocephala*)接種 *G. aggregatum*，在土壤 pH (1：2 =土、水)5.6至8.3的感染率可達70至90％。

土壤 pH 原為4.5之土壤，經施用石灰19年後，調升 pH至5.5，6.5及7.5 (表10)，種植燕麥與馬玲薯，兩試區均顯示施用多量石灰使土壤pH上升至6.5以上時孢子數大幅增加，而在pH 4.5的土壤中未能測得孢子，這些土壤中 Olsen 磷量隨 pH上升而增加至25至38 mg P kg^{-1}，同時長期施用石灰調 pH後，雖所植作物相同，但土壤中所分佈之菌種部份相異。

表10. 長期施用石灰調節成不同 pH 之土壤中叢枝菌根菌孢子數

地點	pH 值			
	4.5	5.5	6.5	7.5
	孢子數 kg^{-1}			
Rothamsted	0	109±27(1)	707±92	621±70
Woburn	0	93±20	527±68	577±66

1. 平均值(n=6)±SE
2. 原土壤pH為4.5，自1962年開始施石灰調pH為5.5至7.5，持續到1981年採樣。
3. 摘自 Wang 等(1993)。

3.重金屬

土壤中重金屬之來源除來自礦物外，常隨灌溉水與肥料而進入土壤。目前本省受到重金屬污染之土壤，主因工業廢水排放不當所致。其次土壤因施用化學肥料如過磷酸鈣所含之硫酸，或氮素肥料之轉形作用生成硝酸態氮，均會造成土壤pH之下降而增加土壤重金屬之有效性。例如銅在 pH 5.3以下時，每下降1單位pH，有效性濃度增加100倍，鋁、鎘及鋅亦有類似情形。

在人工培養基上叢枝菌根菌孢子發芽率，因培養基中所含重金屬濃度增加而降低。此種抑制作用所需重金屬之濃度視所用培養基成分，pH，重金屬種類及菌種而異。

至於叢枝菌根在砂耕作物根系形成菌根後，再施用銅等六種重金屬，菌根繼續進行之拓殖作用均受到抑制(表11)，玉米以鋅、鎳及鎘在台灣放流水標準中最高限量下，抑制力大於銅、鉻及鉛。大豆且以鉻、鎘及鉛之抑制力較強。

於砂耕玉米插種時，接種 *G. mosseae*，立即施用不同濃度之重金屬(如表12)，顯示重金屬濃度越高，叢枝菌根菌所形成之拓殖作用越低，即使重金屬濃度低於台灣省排放水標準中所含重金屬量10倍，仍造成砂耕玉米被 *G. mosseae* 之拓殖率降低。

表11. 重金屬對已形成菌根的砂耕大豆與玉米感染根長之抑制作用

作物(1)	未施重金屬	銅(2)	鋅	鎳	鉻	鎘	鉛	LSD 5%
玉米	73.2	69.0	53.1	61.0	73.2	52.0	72.0	10.9
大豆	93.6	88.6	89.6	89.2	78.8	81.2	80.0	4.7

1.作物接種 *Glomus* spp.生長三週後感染根長，大豆約為79.2%，玉米為71.4%，再施用含重金屬之植物營養液，共植七週後供試。

2.重金屬濃度 3.0 μg Cu mL^{-1}，5.0 μg Zn mL^{-1}，0.1 μg Cd mL^{-1}，1.0 μg Pbm L^{-1}，2.0 μg Ni mL^{-1}及0.5 μg mL^{-1} 鉻。

3.摘自趙與王，1988。

表12. 不同濃度銅、鋅及鎘對 *Glomus mosseae* 感染砂耕玉米根系之效應。

重金屬種類	濃度(μg mL^{-1})	感染根長(%)
對照	0.0	77.8
Cu	0.3	58.9
	3.0	68.7
	30.0	40.6
	300.0	n.d(1)
Zn	0.5	55.4
	5.0	61.8
	50.0	58.1
	500.0	36.2
Cd	0.01	61.3
	0.10	54.2
	1.00	43.3
	10.00	30.3

(1)n.d植株死亡無法觀測

(2)自播種至收穫共植六週

(3)摘自趙與王, 1990

分別選用三種不同母質所發育成之土壤，施用不同濃度重金屬，預經平衡後盆栽觀測重金屬對叢枝菌根菌感染大豆的效應。由感染根長來看(表13)，大致而言，感染率隨重金屬濃度增加而下降，被抑制之幅度因土壤與重金屬種類而異。未接種處理亦顯示不同感染率，表示施用重金屬會抑制菌根之形成，但在施用重金屬四週後，土壤中仍殘存叢枝菌根菌繁殖體能感染宿主，顯示土壤中叢枝菌根菌對重金屬之忍受力各異或為土壤膠體物質對菌根菌提供保護機制，尚待日後再觀測。

表13. 不同土壤與重金屬對叢枝菌根菌感染大豆根系之效應

重金屬種類	添加量 mg kg-1土	二林系壤土		大里系壤土		平鎮系粘壤土	
		I(1)	N	I	N	I	N
		%					
對照	0	90.3	45.1	77.3	34.1	83.5	61.3
Cd	5	46.9	18.1	50.5	48.1	52.5	17.0
	25	40.4	28.6	41.4	47.8	41.5	19.1
	125	40.0	13.4	31.6	31.5	32.2	N D(2)
Cu	10	25.7	19.4	58.0	32.4	60.0	30.8
	50	48.8	18.7	31.6	22.4	45.7	44.9
	250	19.5	9.8	29.6	6.3	29.3	N D
Zn	20	38.3	27.9	96.6	40.3	34.3	15.9
	100	52.0	32.7	54.7	33.1	24.2	0
	500	28.2	9.0	63.1	N D	N D	N D
LSD 5%		17.2		16.3		15.2	

1. I.接種 *Glomus mosseae.* (9個孢子g^{-1}接種劑×20g)； N.未接種
2. N.D 根系太小無法觀測。
3. 二林系埔土，為粘皮岩沖積土，pH 7.8，有效性磷24.3 mg P kg^{-1}土，有機質17.4 g kg^{-1} 土；大里系埔土，為砂頁岩沖積土，pH 6.5，有效性磷31.0 mg P kg^{-1} 有機質13.0 g kg^{-1}；平鎮系粘埔土 pH4.2，有效性磷30.0 mg P kg^{-1}土，有機質13.6g kg^{-1}土。
4. 摘自趙與王(1991)。

調查受金屬污染較嚴重土壤中叢枝菌根菌孢子數，結果(表14)顯示，土埔中重金屬濃度並非決定叢枝菌根菌孢子數的主控因子，在受重金屬污染達十餘年的土埔中，單位土體中植物根系長度為決定因子，於十餘年中土壤所含叢枝菌根菌已呈現耐重金屬能力，只要植物根系能生長，其即可感染宿主而在土壤中繁殖，而土埔中根系越多，生成之孢子量亦隨之增加(王等，1995)。

由上述報導顯示金屬叢枝菌根菌之抑制作用，始自孢子發芽直到於根系內進行拓殖作用均受到影響，然叢枝菌根菌對重金屬具適應性，在長期(十年以上)受到高濃度重金屬之誘導下，會產生耐重金屬菌株，而感染能在高濃度重金污染土壤中生長之植物根系。

表14. 重金屬污染土壤中孢子密度與植物根系長度

	鋅鎘污染地		鋅、鉛污染地		銅污染地	
地點	桃園、蘆竹		彰化、芬園		台南市二仁溪土系	
	中奧系		陳厝寮系		岩內系	
質地	Sic		SiCL		SiL	
pH(H_2O)	4.6-5.1		3.3-3.7		5.7-7.1	
污染程度	高	低	高	低	高	低
重金屬種類與濃度 mg kg-1	Cd 24 Zn 25	5 7	Pb 1562 Zn 210	354 89	Cu 158	56
孢子密度 個g^{-1}土	126±48	52±18	4±2	7±2	23±11	39±14
根長 cw g^{-1}土	21±5	14±3	0.8±0.4	2.3±0.8	12±3	17±4

1.摘自王等，1995a

4.土壤水分

沼澤地或旱漠土，在此種極端乾燥或永遠浸水的土壤，因不易有叢枝菌根菌能共生之宿主，菌根菌往往未能發現，然叢枝菌根菌能適應的土壤水分量之範圍極廣，往往只要宿主植物能生存，就會有此種菌存在與之共生。林等(1992)栽植白花三葉草於不同田間容水量下，接種叢枝菌根菌，分於播種後30天，50天及70天觀測根系感染率，顯示土壤水分為田間容水量之40-60%，感染率最佳。高水分量或浸水土壤則明顯下降，但在浸水條件下，在植後50 天與70天時亦形成少量的菌根。盆栽種植 *Kheya grandifoliola*，水分處理如表16所示，種植35週，顯示水分狀態影響菌根之形成與孢子之數目，在植物生長最好的水分狀況下，菌根孢子數亦最高，反之，孢子數亦大幅減少。種植洋蔥並接種 *Glomus etunicatum*，在乾旱逆境下植體乾重下降68%，而孢子數亦減少61%，此種水分效應主因植物生長不良而非僅因土埌水分含量。

表15. 土壤水分對叢枝菌根感染白三葉草之影響

佔田間容水量	叢枝菌根量(%)		
%	30天	50天	70天
20	14.3	27.8	25.6
40	22.0	37.9	26.3
60	18.8	37.8	25.7
80	6.3	14.5	21.3
浸水	0	8.8	15.0

摘自林等，(1992)

表16. 有效性水分對接種 *Endogone* 孢子之 *Khaya grandifoliola* 植物生長與孢子生成之影響。

水分狀況	植物乾重(g)	菌根孢子數/25ml土
每週一次	23	7
每週二次	31	16
每二天一次	62	27
每天一次	57	62
每天二次	45	17
LSD 5%	-	33.3

摘自 Nelsen, 1987。

土壤水分含量，直接影響土壤中氧氣濃度與鹽分之累積。叢枝菌根菌為好氧性真菌。土壤長期浸水孢子數即會偏低，環境中缺氧為主因子之一。*Glomus mosseae* 孢子發芽與隨後菌絲生長，均因氧氣張力下降而不良。但孢子在有氧情況下發芽後，其菌絲之伸展可耐至 O_2 濃度在3%以上。此或許顯示浸水土埌上根系感染而減少菌根之生成，主因為孢子發芽受到抑制。其次，NaCl 對叢枝菌根感染率及孢子數之效應如表17所示。顯示長期施用 NaCl，將導致感染率下降，孢子數在接種後60天及120天時亦因添加 NaCl 而顯減少。此種現象之發生，主因鹽分增加而宿主植物生長不良所致。

表17. 添加NaCl 對叢枝菌根菌拓殖作用與孢子數之效應

接種後天數	處　　理	拓殖作用(%)	孢子數/10g土
30	AM	33±0.88(1)	7±1.24
	AM+NaCl (1%)	27±1.28	11±1.86
	AM+Nacl (5%)	18±1.13	9±1.14
60	AM	68±1.23	11±0.57
	AM+NaCl (1%)	56±1.71	8±1.37
	AM+Nacl (5%)	32±1.05	6±1.54
120	AM	100±0.00	39±1.62
	AM+NaCl (1%)	90±1.33	27±1.74
	AM+Nacl (5%)	35±1.66	15±1.29

1. 平均值±SE
2. 種植花生盆栽、NaCl 液在每兩天用一次，共3個月
3. 摘自 Gupta 與 Krishnamurthy (1996)。

四、其他因子

1. 溫度

盆栽結果顯示叢枝菌根之發育與生長，溫度為主控因子之一，此種現象多見於溫帶土壤，而氣溫炎熱的熱帶氣候如本省氣溫，四季相差不多，溫度影響效應較小。

表18. 溫度對不同菌種感染根系之影響

特 徵	溫度	*Glomus fasciculatum*	*Glomus intraradices*	*Glomus macrocarpum*	LSD p<0.05
根拓殖率(%)	20	27.0	12.8	37.2	4.4
	25	28.0	27.4	57.6	9.9
	30	21.2	20.4	64.0	9.5
拓殖根長(cm/株)	20	1160	330	2760	720
	25	1920	710	18950	3960
	30	890	490	21210	2850

1. 鈣質土，pH8.3， Bray NO.1 P 3.65 μg g-1土，蒸氣殺菌，生長箱中生長種植48天。
2. 摘自 Raju 等，(1990)

不同的叢枝菌根菌對宿主根系之拓殖作用或拓殖根長，受溫度的影響各異，Raju 等(1990)以高粱接種 *Glomus fasciculatum, Glomus intraradices* 及 *Glomus macrocarpum* 三種菌，培育在20℃，25℃及30℃下，各菌在根系拓殖率與拓殖根長受溫度之效應如表18。結果顯示 *Glomus fasciculatum*，*Glomus intraradices* 均以25℃下培育優於20℃與30℃下培育，而 *Glomus macrocarpum* 則以30℃最佳。溫度高而增進叢枝菌根菌對宿主感染力的增加，原因未明，以 *Glomus mosseae* 在15℃下即會降低感染率，可能是因菌絲生育所需磷之供應下降所致。

表19. 於不同溫度下六種叢枝菌根菌對每克已拓殖大豆根的平均孢子數

菌 種	18℃	24℃	30℃	36℃
Glomus claroideum	1032a	1057a	706a	320a
Gigaspora pellucida	0c	358ab	159b	102a
Gl. clarum	66bc	103ab	40b	48a
Gl. mosseae	-	23c	107b	18ab
Gi. gregaria	33c	78bc	48b	5ab
Acaulospora laevis	0c	13d	75c	3b

1. 同行平均值後所附英文字母相同，表示差異不顯著 (Duncan's 測定，p=0.05)
2. 摘自Schenck 與 Smith (1982)

Glomus claroideum， *Gigaspora pellucida*， *Glomus clarum*， *Glomus mosseae*， *Gigaspora gregaria* 及 *Acaulospora laevis* 等六種叢枝菌根菌，與大豆形成菌根後，在18℃，24℃，

30℃及36℃下的孢子形成作用，結果顯示(表19)，每克己拓殖的根系所生成的孢子數，*Glomus claroideum*， *Glomus clarum*， *Gigaspora pellucida* 及 *Gigaspora gregaria* 等四種菌在24℃時，孢子生成量較其他溫度為高。而 *Glomus mosseae* 與 *Acanlospora laevis* 且在30℃時達最高量，與最高拓殖率所需溫度相異(Schenck 與 Smith，1982)。

叢枝菌根菌因所存在的環境平均溫度之不同，對溫之適應性各異，由美國南方所分得之Glomus 分離株的孢子，最佳發芽溫度為34℃，而由北方華盛頓州所分得同一菌屬的分離株的孢子最佳發芽溫度為20℃(Bagyaraj 與 Varma，1995)。

總之，各叢枝菌根菌與根系建立共生關係，各有其適宜溫度，而此溫度可能與其原棲息地的年均溫有關，因而由溫帶國家所篩選之優良菌種，是否適合本省氣溫與土溫，值得探討。

2. 光照

菌根菌均為異營真菌，尤其是叢枝菌根菌所需碳與能源均來自宿主植物，因而宿主植物於光照充裕的情形下，菌根菌所獲得宿主供應碳與能量物質，相對的亦可較宿主植物照光時間不足所得較多，菌根內菌絲之伸展或孢子之形成均有增加之趨勢。Daft 與 E1-G iahmi (1978)觀測照光時間與強度對 *Glomus mosseae* 感染砂耕玉米之效應，結果顯示(表20)，在其所用的照光強度與時間下，叢枝菌根菌感染率隨照光時間與強度增加而上升。Ferguson 與 Menge (1982)以砂質土埌種植蘇丹草(sudan grass)，並接種 *Glomus fasciculatus*，遮光量為0至90%，結果顯示(表21)，菌根菌感染率與孢子生成量皆隨遮光率增加而顯著減少。但亦有相反之報導，洋蔥接種 *Gigaspora calospora* 後，菌根之拓殖作用在低光照時快於高光照量(Miller 等，1986)。

表20. 照光時間與強度對 *Glomus mosseae* 感染砂耕玉米之效應

光照時間	光源強度	菌根感染率
hr	Wm^{-2}	%
18	26.1	81
12	26.1	65
6	26.1	27
12	26.1	62
12	19.7	40
12	6.7	21

摘自 Daft 與 E1-Giahmi (1978)

表21. 蘇丹草(sudan grass)接種 *Glomus fasciculatus* 於不同遮光量下對根系感染作用與孢子生成之影響

遮光度 %	感染率 %	孢子生成量 g^{-1}土
自然光	85v	45w
30	74vw	26x
55	59wx	8y
73	50xy	0z
90(1)	0	0

1. 主因植株枯死，存活者感染率低於1%
2. 平均值後所附英文字母相同，表示差異不顯著(Duncan's 測定， $p<0.05$)
3. 摘自Ferguson 與 Menge (1982)

雖然光照強度(intensity)增加而增加拓殖作用比率，較長的光照時間亦可增加拓殖作用。事實上光照時間之長度對根系拓殖作用之提升較光照強度更為重要。但是，如果最適光照時間確定後，增加光照強度將可繼續增加菌根菌之拓殖作用。雖低光照強度會明顯減少根系上的拓殖作用，但對孢子生成作用影響較小。目前的研究多偏向室內試驗，田間情況如何尚待研究，其次光照對菌根的作用似乎因宿主植物光感敏性(photosensitivity)相關。部份作物需要在遮陰下生長，如咖啡是否因遮陰而減少菌根之拓殖作用，尚待觀測。

3. 季節

季節主控雨量，溫度及日照，均為影響植物生長之主因子，而叢枝菌根依賴植物而生長繁殖，複受溫度與水分之效應，本類菌自然間接受到季節更替之影響。因此在各自然生態系內，叢枝菌根菌的繁殖體數之變化與分佈，均與該生態系中植物種類，族群及生長期而異。在溫帶紅埌中叢枝菌根的孢子數(表22)夏與秋高於冬與春，吳等(1994)認為此種現象可能因越冬後植物根系剛開始活動，而影響孢子數，或因地區春季降雨量大，佔全年的42-53%，土埌潮濕不利孢子殘存或形成。而冬季低溫不適孢子形成。在台灣三處長期受重金屬污染土埌中，叢枝菌根菌孢子數之變動(表23)，顯示孢子數之變動受植生之效應高於季節之變動，大多以夏季較高，冬季較低，各季節間土壤中孢子數差異不明顯(王等，1995b)。依據目前所得資料顯示，土埌中孢子密度或繁殖體數，於冬季節中變動，主因宿主植物生長勢與根系量外，同時亦受濕度與雨量等氣候因子之影響。

表22. 叢枝菌孢子數在紅壤中季節之變動

利用公式	冬	春	夏	秋	冬－春
	91, 12	92. 4	92. 7	92. 10	93. 2
	孢子數 100 g^{-1}土				
茶　園	40	80	195	200	42
株　地	25	65	170	210	32

摘自吳等, 1994。(採樣地點，江西省余江縣)

表23. 台灣地區土埌中叢枝菌根菌孢子數之季節變化

地點	植生	春	夏	秋	冬
		孢子數 g^{-1}土			
彰化	鳳梨	4. 1±2. 7(1)	7. 0±4. 0	4. 1±2. 3	2. 6±1. 6
台南	野草	56±17	72±15	79±15	43±10
桃園	野草	30±18	61±42	91±79	309±206

1. 平均值±標準差

2. 摘自王等, 1995b

表24. 殺草劑對小麥已形成叢枝菌根拓殖作用之影響

殺草劑	對照	感　染　率 %		
		G. geosporum	*G. monosporum*	*G. mosseae*
未施用	0	31	10	36
Ceridor	0	23	8	36
Dicurane	0	37	9	35
Harrier	0	46	14	32
Avenge	0	26	12	33

1. *G.* 均表 *Glomus* spp.

2. *G. geosporum* 各農藥處理間差異顯著(p=0.05，為8.0)，其餘二菌農藥處理無差異。

3. 殺草劑於植後107天，依田間推荐量施用，於146天收穫期取樣測定，栽種於durite基質中，盆栽。

4. 摘自Dodd 與 Jeffries (1989)

4. 農藥

近代農業多依賴農藥之施用以維持作物之生長，尤其是介於亞熱帶與熱帶氣候區之間的台灣，於現代耕作法下，農藥為生產上不可缺少之材質，甚至為求高產量與外觀品質，經常會超量使用各式各樣的農藥，包括法令上已禁用的農藥。農藥種類繁多，包括土壤燻蒸劑，殺菌劑，殺草劑，殺蟲劑，及殺線蟲劑等等，其中殺草劑尚影響宿主植物的生理，經常因宿主植物受到傷害，亦使菌根生長與繁殖受到不利的影響。

表25. 殺菌劑噴施於形成叢枝菌根小麥葉面14-21天後感染率

殺 菌 劑	感染率	殺 菌 劑	感染率
Non	50	Fenpropimorph	54
Diclobutrazol	46	Triforine	62
Propiconazol	10*	Pyrazophos	70*
Triadimefon	64*	Carbendazim	42
Prochloraz	17*	Efhirimol	62

1. * P≦0.05　　2. 摘自 Von Alten 等 (1993)

表26. 農藥對叢枝菌根孢子形成作用之效應

農　藥	施　用　量	宿　主	對孢子形成之效應
殺菌劑			
Benomyl	0.12-44.8 kg/ha	柑桔、小麥、玉米	0, +, −
Captan	0.6-9 kg/ha	柑桔、豌豆、小麥	0
Maneb	0.8-31.4 kg/ha	柑桔、小麥	0, −
Thiabendazde	2.2-22 kg/ha	柑桔、敏豆、小麥	0, −
殺草劑			
Diuron	2.1-67.2 kg/ha	柑桔、小麥	0
Paraguat	0.28-2.2 kg/ha	柑桔、胡桃	0, −
Trifluralin	1.1-9 kg/ha	柑桔、大豆	0, −
殺蟲劑			
Aldicarb	4.5-6 kg/ha	玉米	0, +
Carbofuran	3.4-22 kg/ha	花生	0, −
Heptachlor	4 kg/ha	玉米	0, +
Phorate	1.65 kg/ha	玉米	+

摘自 Trappe 等,　1984

(1)殺草劑

依其性質，殺草劑是設計用為抑制植物生長而非真菌。因此，很多報告顯示殺草劑對叢枝菌根菌無不利之效應，如表24所示，施用 cerdor, dicurane, harrier 及 avenge 等四種殺草劑，對 *Glomus monosporum* 與 *Glomus mosseae* 在小麥上已形成叢枝菌根的拓殖作用無影響。但對 *Glomus geosporum* dicurane 與 harrier 具有增進拓殖作用的潛力，而cerdor 與 avenge 具有抑制力(Dodd與 Jeffries,1989)。 Diuron, paraquat 及 trifluralin 對叢枝菌根真菌孢子之形成具抑制力與否視作物而異(表26；Trappe 等,1984)。其次施用量之不同，往往所發生之敘應亦相異。例如在低使用濃度或推荐濃度下，如 chlorprophan, sulfallafe 及 phenmedipham 不會降低苜蓿(*Medicago sativa* L.)或小麥被 *Glomus mosseae* 之感染，然施用量高於推荐量後，則會降低 *G. mosseae* 之活性。再者溫室盆栽試驗結果往往與田間測試結果相異。以 paraquat 為例，在田間施用量為推荐量之15倍，並沒影響到叢枝菌根菌在土壤中的孢子數。相同的，連續五年在柑桔園中施用 paraquat 與 simazine 對菌根菌之拓殖作用無影響，但在溫室內施用 paraquat 與 simazine 即明顯降低 *G. etunicatum* 對柑桔之拓殖作用。

(2)殺菌劑

種類繁多，對叢枝菌根菌之作用模式(modes)與效應各異。常見結果相反的報導。例如，dicarboximides 系列中的 Captan 與 captafol 可用於葉面噴施或處理種子進入土埌，結果各不同的報告顯示， dicarboximides 對 AM 真菌的效應為傷害，或無影響，到可增進。 Von Alten 等(1993)將9種殺菌劑噴施於已形成 AM 的小麥葉面上14-21天後，所得感染率如表25所示，不同殺菌劑對感染率之效應相異，正、負或無影響均有測得。 Trappe 等(1984)所示三種殺菌劑之效益為"0"或"一"(表26)。 Manjunath 與 Bagyaraj(1984) 測試五種殺菌劑對 *Glomus fasciculatum* 感染洋蔥之效應亦如上述。菌根真菌不同生長期對殺菌劑之敏感性各異，例如 captafol 會降低 *G. etunicatum*， *G. monosporum* 或 *A. laevis* 對酸桔根之拓殖，但對孢子之生成無影響(Johnson 與 Pfleger, 1992)。

四群置換芳香烃的殺菌劑， bortan, chlorothalonil, lanstan 及 quintozene 均具抑制叢枝菌之能力，這些殺菌劑係用以控制 *Alternaria* spp, *Botrytis* spp. *Rhizoctonia* spp. *Pythium* spp. 及 *Sclerotium* spp., 以田間推荐量使用即減少菌根菌之拓殖作用。另一類 Benzimidazole 殺菌劑，如 benomyl, carbendazim, thiabendazole, thiophanate 及 thiophanate-methyl 亦具抑制叢枝菌根發育、生長及孢子生成之能力，無論是噴施於葉面，包被於種子外或直接用於土壤，均對叢枝菌根造成傷害。然而 metalaxyl 對菌根發育有益或無傷害。殺菌劑對叢枝菌根有益之原因有兩種機制(mechanisms)。第一，農藥增進宿主根分泌物的量。第二，農藥降低對菌根菌有競爭性或頡抗性土棲性菌。

(3)殺蟲劑

有機磷殺蟲劑如 chlorfenvinphos, carbary, diazinon, malathion 及 parathion,對叢枝菌根無傷害力或略具傷害力。Carbamate 系列殺蟲劑如 aldicarb, carbofuran 對菌根具有利效應，或無影響，或略有抑制如(表26)。例如 carbofuran 對叢枝菌根菌在田間與溫室花生根系的拓殖作用均具抑制力。但使用推荐量一半時，對 *G. fasciculatum* 在根系拓殖力與孢子生成力均具有增進之功能。殺線蟲劑 DBCP 能加強菌根菌拓殖作用，應屬減少競與吞菌之故。

(4)農藥選擇效應

某些農藥僅對部份叢枝菌具毒害力，因而造成叢枝菌根群落之發展不均衡，如殺草劑 oxadiazon 抑制 *Glomus* spp, 而增加 *Gigaspora* 與 *Sclerocystis* spp。此種群落中因用農藥而造成之族群之變動，尚待更多之研究。

(本文作者：趙震慶教授；任教於國立中興大學土壤環境科學系)

囊叢枝內生菌根菌孢子分離技術

囊叢枝菌根菌孢子之分離是研究菌根菌的基本技術 (圖 40)。所分離的孢子可供鑑定或繁殖以建立種原供田間應用或其它研究之用。

採土：土樣的採集應以植株根圈土壤為佳。若是將適當菌根植株連根拔起，附著在根上的土壤有較多的機會，可分離到菌根菌的孢子。若是做較精確的分析，可以採土器採取表土以下二十公分的土壤。依土壤深度每五公分，分為一個次樣品 (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm)。同一樣區所採得的次樣品可再予以混合。

孢子分離：在混合樣品中, 稱取100克土後，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) 或Hoyer's 包埋劑製成半永久片，以利於孢子的鑑定與標本之保存。新鮮篩取的孢子，可以百喜草或其他適當的宿主，在溫室中培養繁殖以供進一部研究其對作物的生產效益。

濕篩傾倒法原理：囊叢枝菌根菌的孢子因含有油滴，所以比重較土壤中的砂粒為小。因此，當土壤樣品在強勁水流的沖洗下，孢子可在劇烈晃動的水液中懸浮較久的時間；砂粒則因為比重較大而迅速地沉降到燒杯底部。我們利用孢子還懸浮在水液上層的時候，將上層液傾倒入篩網組合中。篩網組合因由具有不同網孔大小的篩網組成，因此它們可以將不同大小的孢子或孢子果篩取出來(圖41-46)。本法雖然可以將孢子篩洗出來, 但是由於土壤中包含太多複雜的有機物，其比重與孢子類似，因此本法所獲得的篩出物並不盡然是菌根菌的孢子。還有許多是動物的卵，例如線蟲的卵等，有待進一步的純化。

糖液離心法：以蔗糖所調配的40~50%糖液，由於其比重與孢子相當，因此可以進一步讓孢子懸浮在糖液中，而與其它雜物分離。在進行糖液離心前，一般先以清水離心一次。其目的在於將一些比重比水輕的雜物去除。這些雜物大多會附著於離心管壁上，可在離心後，以Kim wipe紙或面紙擦除。

基本設備：

篩網組：篩網I (250 μ m; 60 mesh)
篩網II (125 μ m; 120 mesh)
篩網III (60 μ m; 230 mesh)
篩網IV (37 μ m; 400 mesh)
2公升燒杯一個
40~50% 蔗糖液
解剖顯微鏡壹台 (倍率 7.5X ~ 70X)
培養皿
微量吸管 (micropipette) 或 玻璃滴管

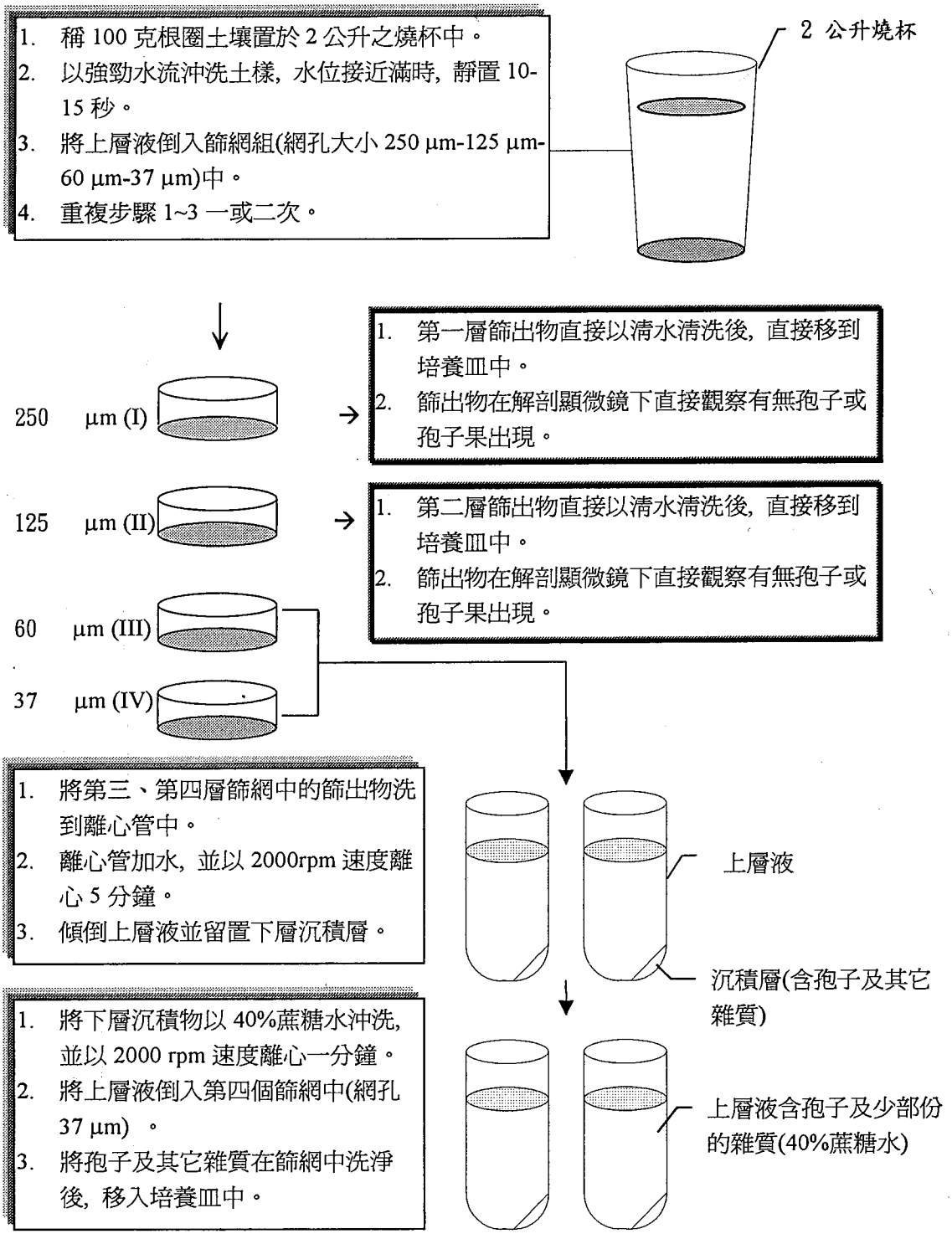


圖40. 分離及純化繁殖菌根菌操作流程

Figure 40. Protocol for spore isolation and purification of VA mycorrhizal fungi.

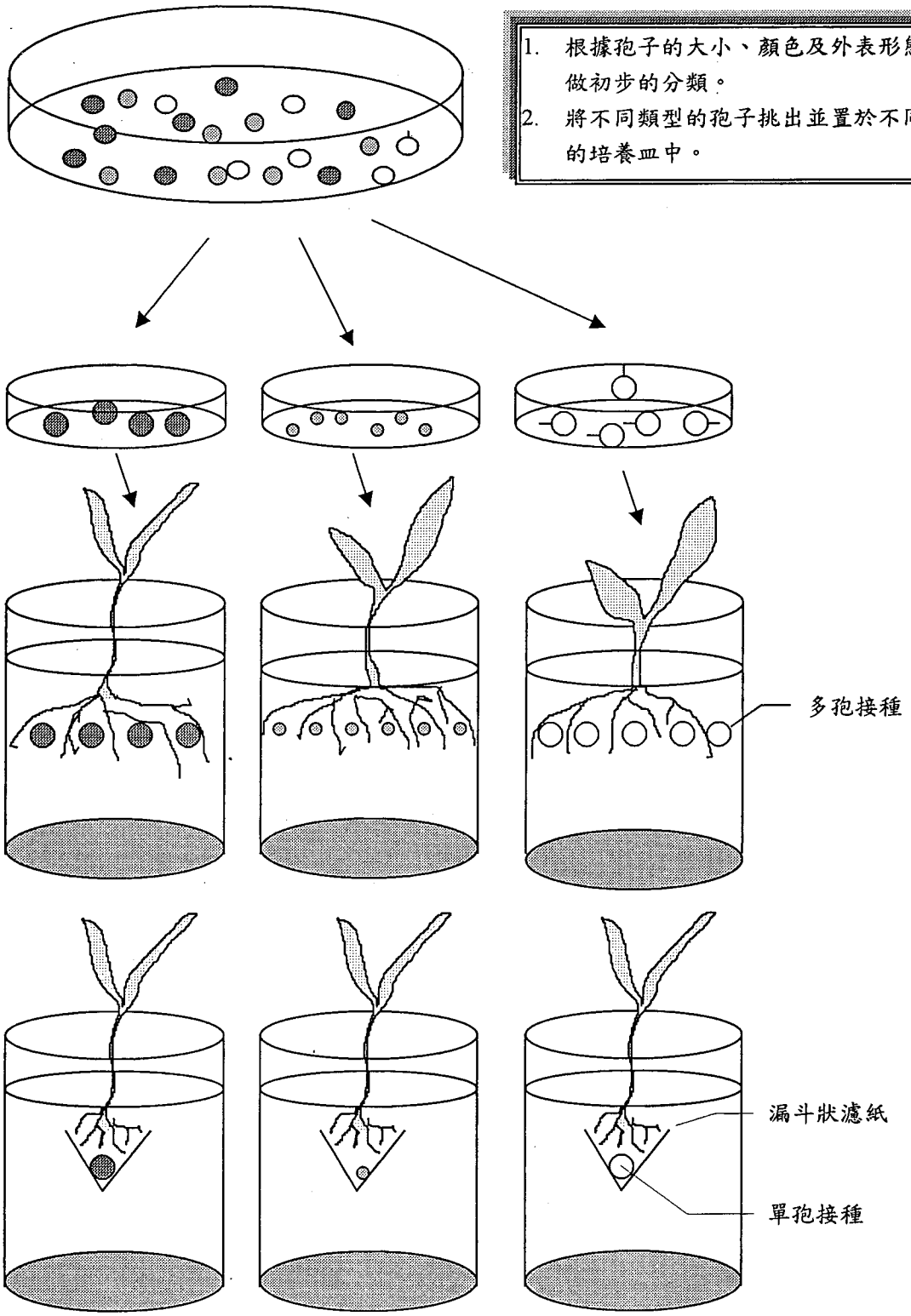


圖40. 分離及純化繁殖菌根菌操作流程 (續)

Figure 40. Protocol for spore isolation and purification of VA mycorrhizal fungi. (cont'd)

囊叢枝內生菌根菌種原生產技術

傳統式盆栽菌根菌種原繁殖技術

傳統式的盆栽法，係將盆栽用的沙土予以高溫(80-90℃)消毒後，將菌根菌孢子與宿主植物的幼苗置於盆中，而達到接種繁殖的目的。若要利用此法生產種源，所需的時間較長，且所得的種源數量與密度均不易掌握。此外，使用沙土為培養介質，菌土較重且所需人力亦多，不符合工業化大量生產的經濟原則。但是若將介質改為質量輕而且乾淨的珍珠石、蛭石、蒙特石、保水膠體(品名:STA- WET，POLYSORB公司)等其它介質時，本法的普遍性與適用性便大大提升。日本方面的菌根菌產品Dr. Kinkon，便是以蒙特石為介質混入活性碳等所生產的生物性肥料。

誘導繁殖技術：

囊叢枝內生菌根菌的繁殖體包括菌絲(hypha)、菌根的根段(mycorrhizal section)、土生囊泡(auxilliary cell)，以及孢子(spore)。每一種菌根菌的繁殖體將因菌種的不同而有所不同。例如繭球屬(*Glomus*)的菌種可以不用孢子，而使用一段根外菌絲就可達到繁殖菌種的目的。但以大孢子屬(*Gigaspora*)或盾蓋孢子屬(*Scutellospora*)而言，就非得用孢子來繁殖不可了。由於在自然界下大多數的植物的根部常有兩種到十五種以上的叢枝菌根菌棲息於根內。若要將這些菌種純化出來，就得使用誘導繁殖技術。所謂的誘導繁殖技術是將植株的根部連同附著於根上的土壤，自野外採集回來後，將之切成若干段落，做成接種源。這些接種源與消毒過的河沙或其它乾淨的介質，以固定比例混合均勻後，置於盆栽中，並播以百喜草種子。經過二到三個月後，可以採集部份的根圈土壤檢視孢子生產情形。若是尚未產孢，則可以將地上部剪除後，重新撒上種子再觀察其產孢情況。有些菌種可能要經3-4次的撒種生長後，方能促其產孢。本法所獲得的菌種一般皆為混合菌種，需經進一部的純化(如單孢接種或多孢接種等)，方能獲得單一的菌種。

單孢繁殖技術：

所謂的單孢繁殖意即挑取單一孢子作為繁殖體來繁殖菌種的技術。此種技術需在解剖顯微鏡的幫助下來操作。由於菌根菌的孢子很小平均在100 μm (0.1mm)左右與許多土壤中的線蟲的卵類似，若非訓練有素的技術人員，實在很難在顯微鏡下將之區分開來。所挑取的菌根菌單一孢子可以放在以濾紙摺成的單一漏斗中(圖 41) 然後安放在盛有殺菌的培養介質(如河沙、珍珠石、蛭石、保水膠體等)中，並於覆上介質後，撒滿百喜草或其它適合作物的種子(圖 42)。此外，亦可以將單一孢子於濾膜(Millipore membrane)或水膠(Water agar)上讓其發芽後,將發芽孢子連同發芽菌絲一齊移接到作物的根上以提高接種之成功率。

多孢繁殖技術：

在顯微鏡下挑取孢子大小與顏色相似的孢子約100~500個，以吸管吸取後，傾注於百喜

草、高粱或玉米的根部，然後將植株移植於盆栽中(圖 43)。作為菌根菌種原繁殖的作物應避免豆科植物，因為豆科植物對於線虫較為敏感，引進溫室後可能會造成限蟲為害的困擾。

氣霧式叢枝內生菌根種原生產技術

氣霧式菌種繁殖法，係在氣霧栽培箱內，將營養液打成霧狀後，經接種的植株懸浮於箱內，而直接產孢於空氣中。氣霧式栽培法培養的宿主，可在無土的情況下大量生產菌根種源，且在老根採收後，新根又繼續生長，造成種源生產既快速又不中斷的生產線。氣霧式栽培法所生產的菌根經採收風乾後，質量輕可以直接郵寄或混合其它介質，直接變為商品。由於氣霧式培養法所生產的菌種遠較砂耕法來得乾淨且少污染，因此，本培養法的研究將有助於提升我國菌根菌無土介質繁殖技術的開發，甚至能突破根器官培養法目前所面臨的瓶頸。

氣霧式栽培

選取適當的菌種, 以甕菜(*Ipomoea reptans* (L.) Poir, 甘薯(*Ipomoea batatas* (L.) Lam. var. *Edulis* Mak.), 百喜草(*Paspalum notatum* Flugge)等植物為宿主於溫室內做接種試驗 (圖 44-45)。兩週後經由染根，確定有菌根菌感染者，移株至氣霧式培養箱(圖 46-47)，觀察其產孢情形，並記錄箱內溫濕度以及營養液的水溫及酸鹼值的變化。營養液每二週更換一次，其配方及各種養分的含量如表1~3。經三至四個月後採收，計算產孢數量 (圖 48)。將植株根部採收陰乾後，收藏於攝氏4℃之冷藏庫內。

表 1.氣霧用營養液母液配方

Table 1. Nutrient stock solutions for aeroponic culture of VAM fungi

Stock solution	Pure chemical compound ($g\ L^{-1}$)
0.01 M KH_2PO_4	1.36
1 M KNO_3	101.11
1 M $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	236.15
0.1 M NaFeEDTA	36.70
0.1 M NaCl	5.84
1 M $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246.48
Micronutrients (combined in one solution)	
H_3BO_3	2.86
$MnCl_2.4H_2O$	1.81
$ZnSO_4.5H_2O$	0.22
$CuSO_4.5H_2O$	0.80
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.016

表 2.爲配一公升營養液，各種母液的取用量

Table 2. Preparation for 1 liter of nutrient solution

Stock solution	$mL\ .\ L^{-1}$
0.01 M KH_2PO_4	0.3
1 M KNO_3	1.5
1 M $Ca(NO_3)_2$	1.5
0.1 M NaFeEDTA	0.3
0.1 M NaCl	0.45
1 M $MgSO_4$	0.6
Micronutrients	0.3

表 3: 氣霧式培養液各種元素之最後濃度

Table 3. Final concentration of elements in aeroponic culture solution

Element	Concentration (ppm)
Nitrogen	62.8
Phosphorus	0.0927
Potassium	58.7
Calcium	60.1
Magnesium	14.5
Surfur	19.2
Chorine	1.79
Sodium	1.72
Iron	1.6
Boron	0.15
Manganese	0.15
Zine	0.015
Copper	0.006
Molybdenum	0.0018

氣霧式產孢研究

本技術臺灣省農業試驗所於民國82年與美國洪玲玲博士 (圖 49)合作引進氣霧式繁殖技術, 經改良後共成功培養 *Glomus aggregatum* Schenck & Smith, *G. mosseae, G. geosporum* (Nicol. & Gerd.) Walker, *G. intraradices, G. manihotis* Schenck *et al.*, *G. microaggregatum* Koske *et al.*, *G. pansihalos* Berch & Koske, *Acaulospora morrowiae* Spain & Schenck, *Entrophospora kentinensis* Wu & Liu 等九種菌種 (圖 50-51)。這些菌種在盆栽中的最大繁殖菌數如表4所列。茲將農試所已進行之十四次氣霧式菌根生產結果如表5。 以產孢量而言利用百喜草所繁殖的 *Glomus microaggregatum/G. intraradices* 最多可達每克乾根重達71,283個孢子。 由表5中可見百喜草的產孢能力較其它宿主如甕菜及甘藷為佳。 在屏東科技大學的研究中也得到類似結論， 百喜草的產孢量優於蕃茄或玉米。 就相同菌種如 *G. mosseae* 而言，以百喜草所生產的菌根孢子數是甕菜所生產的0.7~4.3 倍。 就 *Entrophospora kentinensis/G. intraradices* 的複合菌種而言，百喜草為宿主的產孢量是甕菜的1.7倍。 就相同菌種如 *G. mosseae* 而言，百喜草每一克的乾根重在氣霧式生長箱所生產的菌種量相當於砂耕法1700 ml的介質的總生產量(比較表4及表5)。

本研究中氣霧生長箱已能生產如 *Acaulospora* (圖 50) 和 *Entrophospora* (圖51)屬的菌種。由於目前世界上以氣霧式生長箱所生產的菌種,只限於 *Glomus* 屬。因此，本所所成功培養的這兩屬孢子,是目前世界上首次成功的先例。其中有關 *E. kentinensis* 的產孢研究已於1995年發表於美國Mycologia期刊。

有關氣霧箱之生態環境因子如酸鹼值及溫濕度變化結果如圖60及表6。營養液的酸鹼值經兩週宿主的生長後呈略為上昇的現象。有關培養箱內營養液的溫度，在冬季約在12~30℃之間，在夏季則約在26~35℃之間。培養箱內的濕度則在大多數時間內維持在100%。

表4. 不同囊叢枝內生菌根菌種在溫室盆栽內之最高產孢情形

Table 4. Maximal spore production of VA mycorrhizal fungi in pot cultures

Species	Maximal spore number in 50 ml medium* (=28 gm)
Entrophospora kentinensis	905 (252±195)**
G. mosseae	1100 (514±480)
G. intraradices	271 (132±106)
G. aggregatum	1933 (1004±1020)
G. geosporum	1243 (349±386)
G. pansihalos	637 (299±242)
G. mosseae/Acaulospora morrowiae	4530 (1020±1730)
Acaulospora morrowiae	4650 (1374±1355)

*Medium: Vermicultie, Pearlite, and Peat moss. Host plant: Bahia grass.

** The number in parenthesis is the average of spore production per 50 ml medium in 6 duplicates.

表5. 各種叢枝內生菌根菌與不同宿主在氣霧式生長箱內之產孢情形

Table 5. Spore production of VA mycorrhizal fungi with different host plants.

Sample no/ Species	Host plant	Growth period (mo.)	Harvest date	Total weight (g)	Spore no./ sec. cm	Spore no./ gm dry root
1. LMOS*	I. R.**	3	10/22/93	22.57	18.74±9.1	15616±6589
2. EKTN/LITR	P. N.	3	10/22/93	13.2	63.04±30.2	52533±19801
3. LGSP	I. R.	3	10/22/93	10.39	3.56±1.5	2967±1356
4. LMAG/LITR	P. N.	3	10/22/93	3.96	85.48±41.2	71283±41204
5. LITR	P. N.	3	02/16/94	1.82	38.64±14.2	32200±17803
6. LMOS	I. R.	3.5	02/21/94	9.3	6.54±3.2	5450±3505
7. EKTN/LITR	I. R.	3.5	02/23/94	24.04	36.34±15.9	30283±17801
8. AMRW/LMOS	I. B.	3	05/23/94	12.18	7.7±3	6416±2891
9. LMOS	P. N.	4	07/07/94	36.94	27.94±11.3	23283±10521
10. LITR/LMNH	P. N.	3	09/02/94	38.18	76±44	54542±31764
11. LAGG	P. N.	3	11/04/94	48.14	6.15±3	2795±1295
12. LPSH	P. N.	3	06/26/95	31.47	1.99±1.3	1432±815
13. LMAG/LITR	P. N.	2	09/25/95	8.44	7.52±4.6	7520±4639
14. AMRW	P. N.	3	12/23/95	8.17	24.05±11.2	17260±13110

* AMRW: *Acaulospora morrowiae*, LMOS: *Glomus mosseae*, LITR: *Glomus intraradices*, EKTN: *Entrophospora kentinensis*, LGSP: *Glomus geosporum*, LAGG: *Glomus aggregatum*, LMNH: *Glomus manihotis*, LPSH: *Glomus pansihalos*, LMAG: *Glomus microaggregatum*

** I. R.: *Ipomoea reptans*, I. B. : *Ipomoea batatas*, P. N.: *Paspalum notatum*

表6. 氣霧式菌根菌生長箱營養液溫度及酸鹼值變化記錄

Table 6. Changing of pH and temperature in nutrient solution

Treatments*		pH change		Day Temperature change	
Test 1: 93.7.22	N.S.C. #	0 Day	14 Day	0 Day	14 Day
Host plant: I. R	1	6.53	7.18	27	29.4
Species: LMOS	2	6.53	6.55	26.5	27.5
	3	6.52	6.53	28.5	27.7
	4	6.45	6.68	27.3	26.9
	5	6.49	6.83	26	25.2
Average		6.50±0.03	6.75±0.27	27.06±0.94	27.34±1.51
Test 2: 93.7.22	1	6.49	7.12	28	29.9
Host plant: I. R.	2	6.47	7.02	26.2	28.2
Species: LGSP	3	6.54	6.89	27.3	28.3
	4	6.5	6.95	26.1	27.5
	5	6.5	6.99	26	26
Average		6.50±0.03	6.99±0.09	26.72±0.89	27.98±1.40
Test 3: 93.11.9	1	6.51	6.84	28.5	19.6
Host plant: I. R.	2	6.56	6.46	21	27.6
Species:	3	6.48	5.65	23.1	16.3
LMOS/EKTN	4	6.52	7.41	21.7	20
	5	6.43	6.51	21.9	17.5
	6	6.58	6.46	19.6	19.6
		6.51±0.05	6.56±0.57	22.6±3.1	20.1±3.9
Test 4: 93.11.9	1	6.55	6.54	25.9	19.6
Host Plant: P. N.	2	6.47	7.72	22.7	27
Species: LITR	3	6.51	7.47	23	14.8
	4	6.56	6.96	20.2	20.5
	5	6.59	6.03	22.5	21.5
Average		6.54±0.05	6.94±0.69	22.9±2.0	20.7±4.4
Test 5: 94.2.16	1	6.51	6.8	20.6	16.6
Host plant: I. B.	2	6.46	6.77	19.8	18.1
Species: LMOS/A.sp.	3	6.56	6.64	19.7	20
	4	6.49	6.99	22	28.1
	5	6.52	6.77	25.5	25.3
	6	6.5	6.47	27	28.8
Average		6.51±0.03	6.74±0.17	22.4±3.1	22.8±5.3

表 6: 氣霧式菌根菌生長箱營養液溫度及酸鹼值變化記錄 (續)

Table 6. Dynamics of pH and temperature in nutrient solution (cont'd)

Treatments*		pH change		Day Temperature change	
Test 6: 94.3.2	N.S.C. #	0 Day	14 Day	0 Day	14 Day
Host plant: P. N.	1	6.57	6.69	20.5	18.9
Species: LMOS	2	6.51	6.76	20.9	22
	3	6.52	7.39	22.5	30.1
	4	6.5	6.85	26	29.2
	5	6.54	6.34	27	28.1
	6	6.49	6.79	25.8	32
	7	6.51	6.82	21.6	34.2
Average		6.52±0.03	6.80±0.30	23.5±2.7	27.8±5.5
Test 7: 94.6.3	1	6.53	7.32	26.1	32.8
Host plant: P. N.	2	6.45	6.91	26.4	33.9
Species:LITR/LMNH	3	6.47	6.76	28.3	35
	4	6.51	6.59	27	27.2
	5	6.56	6.24	26.4	29.3
Average		6.50±0.04	6.76±0.40	26.8±0.9	31.6±3.3
Test 8: 94.7.21	1	6.52	6.79	27.1	29.9
Host plant: P. N.	2	6.52	6.8	26.2	27.5
Species: LAGG	3	6.46	6.72	27.8	27.2
	4	6.57	6.63	26.4	24.7
	5	6.54	6.66	26.1	24.5
Average		6.52±0.04	6.72±0.08	26.7±0.7	26.8±2.2
Test 9: 94.9.2	1	6.57	7.31	26.6	26.7
Host plant: I. B.	2	6.62	6.94	25.7	24
Species: ASCB	3	6.47	6.66	26.5	25
Average		6.60±0.10	6.97±0.33	26.3±0.5	25.2±1.4
Test 10: 95.3.24	1	6.55	6.58	29.7	22.3
Host plant: P. N.	2	6.5	6.63	25.3	26
Species: LPSH	3	6.62	6.54	24.4	24.3
	4	6.51	6.7	26.1	25.6
	5	6.51	6.98	24	29.3
Average		6.54±0.05	6.69±0.17	25.9±2.3	25.5±2.6
Test 11: 95.4.8	1	6.6	6.67	29.9	27
Host plant: P. N.	2	6.52	6.61	25	25.9
Species:LMOS/LGSP	3	6.49	7.21	25.2	26
	4	6.52	7.34	25	30.8
Average		6.53±0.05	6.96±0.37	26.3±2.4	27.4±2.3

N.S.C.#: Change no. of nutrient solution

* same as in Table 5.

內柄生孢子屬(*Entrophospora*)的產孢研究 (圖 50)

Entrophospora kentinensis Wu et Liu 是首次在南臺灣墾丁國家公園內的本地植物狗尾草(*Setaria viridis* (L.) Beauv.)的根域土壤中發現的囊叢枝內生菌根菌。在稍後的調查中發現本種的分佈很廣 到處可發現它的蹤跡且土壤酸鹼值在5.71 至7.94之間。*Entrophospora kentinensis* 甚至可在銅污染達233ppm的土壤中發現。*Entrophospora kentinensis* 可以用百喜草或甘藷以氣霧式栽培法培養並形成典型的囊叢枝內生菌根。孢子可在宿主植物移植於氣霧式生長箱六週後開始產孢。產孢囊泡可在根外菌絲或根內形成。初期囊泡內會聚集濃密的細胞質，並於囊泡柄內形成一隔板。 稍後，囊泡內的細胞質向下移動進入柄內， 細胞質並轉化沉積而形成孢子。 產孢囊泡和囊泡柄在孢子成熟後會萎縮脫落，因此在孢子外壁上會留下兩個一大一小的圓形痕跡(圖12)。

無柄孢子屬(*Acaulospora*)的產孢研究 (圖 51)

Acaulospora 屬的囊叢枝內生菌根菌， 產孢方式與 *Entrophospora* 類似。 所不同的是孢子著生於產孢囊泡的柄外。 本研究以無柄孢子屬的孢子(*Acaulospora morrowiae*)經接種於百喜草或甕菜的根部後，移植於氣霧式培養箱內。菌根菌先於根部表面形成厚約70~80 μm的菌絲層後(約六週後)開始產孢。產孢前先形成半透明囊泡體(vesicle)，亦即產孢囊泡(sporiferous saccule)。此時，有一隔板形成於囊泡柄的下方，阻斷了囊泡內細胞質往下流動的通路。由於產孢囊泡內形成的壓力，迫使細胞質向囊泡柄的側面吹出而膨大形成孢子。當孢子成熟後， 產孢囊泡萎縮脫落並在孢子外壁上留下一個圓形的疤痕 (圖12)。 這單一的圓形疤痕是與 *Entrophospora* 區別的重要依據。

氣霧式菌根菌種儲藏時限

將氣霧式培養法所生產的菌根切成一公分的段落後，儲存於4℃的冷藏庫中，定期取出做接種試驗，觀察其對百喜草的感染能力。百喜草種子經消毒後，於生長箱內發芽育苗。取0.1克的乾燥菌根作為接種原，放置於植株幼苗的下方，進行感染試驗。根部有菌根菌感染者，表示菌種仍具有活力。

茲以測試的複合菌種 *Entrophospora kentinensis/Glomus intraradices* 為例，目前本研究室在氣霧箱所生產的菌根，經風乾後，於4℃冷藏24個月後，其活力不受影響。有關其儲藏時限測試仍在繼續進行中。美國佛羅里達大學所做的試驗顯示於4℃冷藏可達22個月。

根器官培養法

根器官培養法是利用農桿菌(*Agrobacterium rhizogenes*)誘導胡蘿蔔或其它植物，使之產生轉型根 (圖 52)。在人工培養基上，將已消毒且發芽的菌根菌孢子，移至長有轉型根的培養皿中與根共生，而達到產孢的目的。雖然本法可以生產無雜菌之純種菌源，但是目前只有三或四種菌根菌(*Glomus intraradices* Schenck & Smith, *G. mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe, *Gigaspora margarita* Becker & Hall, *G. gigantea* (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe)培養成功，而未達實用的階段。本培養法所面臨的最大瓶頸是在於很難獲得無菌或較乾淨的孢子，

以及產孢條件的掌握等。但是在大量生產菌源的前提下，根器官菌根菌培養技術仍有它值得開發研究的遠景，因為此技術可以在很小的空間內(培養皿及生長箱)進行更大規模的菌源生產，且不需投入目前的沙耕或氣霧耕法所需要的溫室及人力。加拿大方面目前以此技術生產 *G. intraradices*，為一種生物性肥料"Mycorise"，本產品係泥炭苔、珍珠石及菌根菌混合而成。售價為每30公升16~18元加幣，保證孢子含量為2100孢子/公升。目前臺灣省農業試驗所已初步在 *Scutellospora nigra* 的根器官培養技術上獲得突破, 並已能在人工環境下完成菌根的合成 (圖 53-56)。

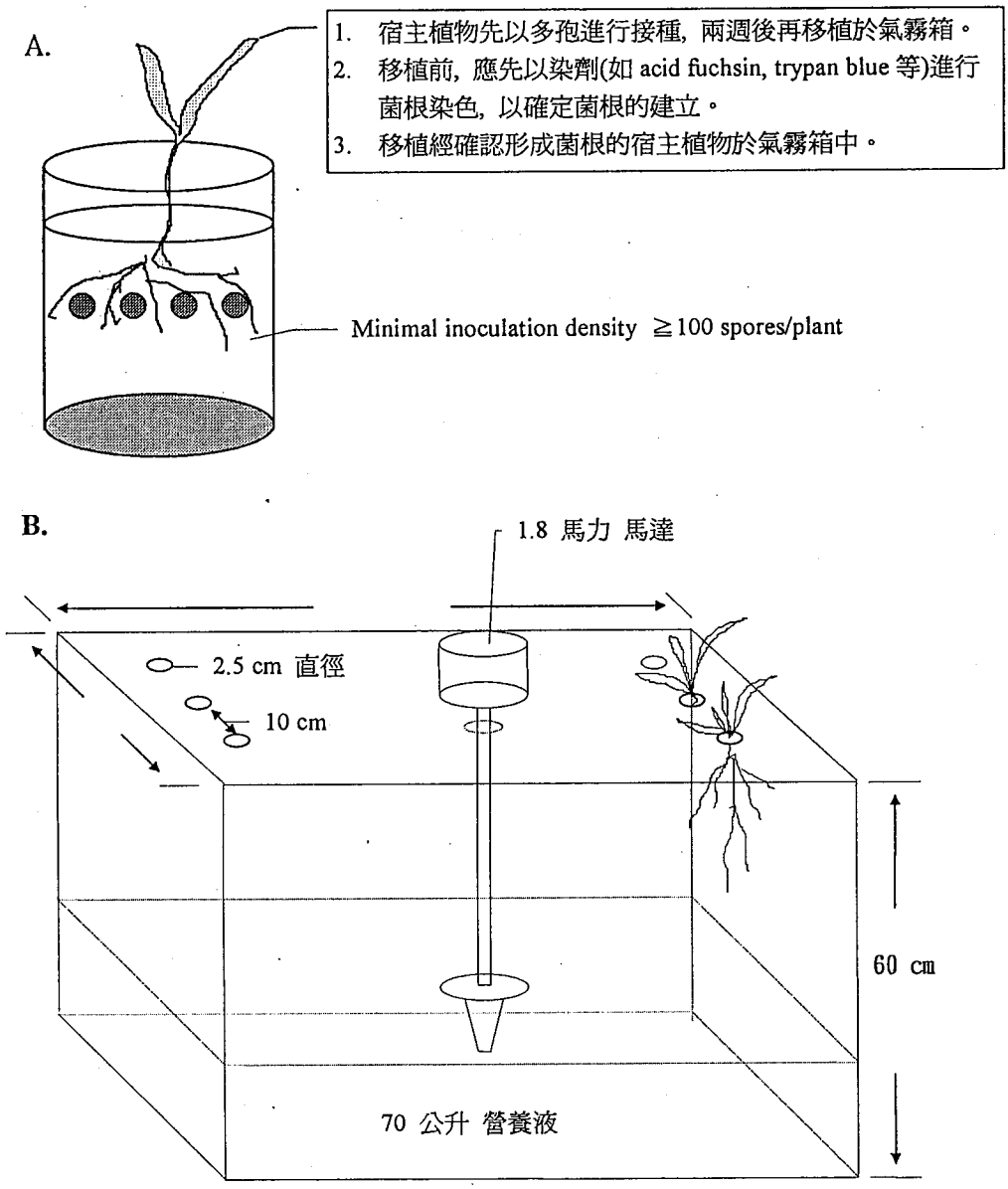


圖51. 氣霧式培養叢枝內生菌根菌流程

圖51. Propagation of VA mycorrhizal fungi by aeroponic system

C. 以空氣壓縮機爲動力的氣霧生長箱

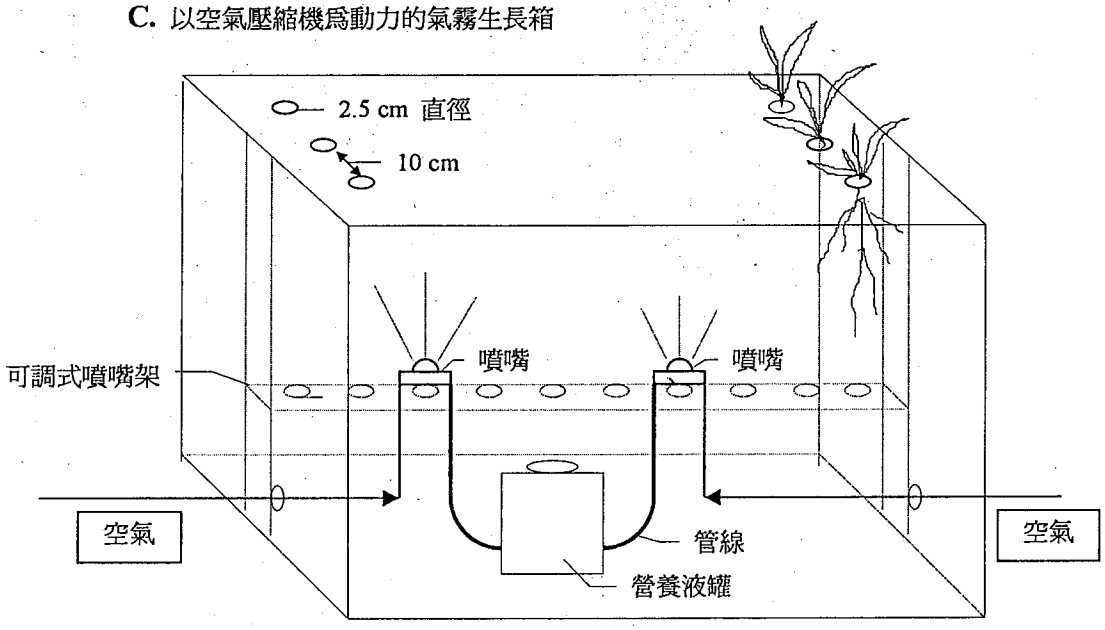
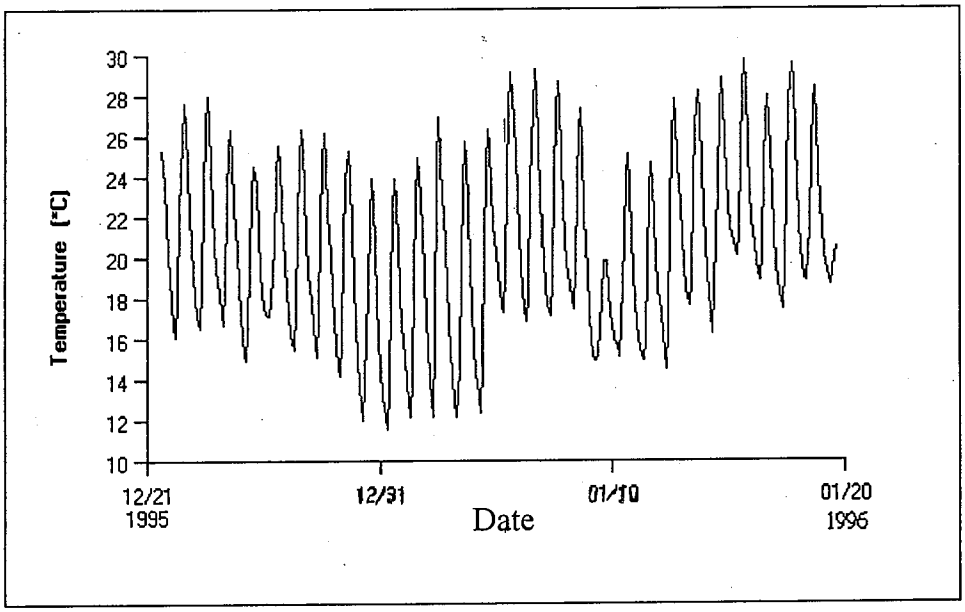


圖51. 氣霧式培養叢枝內生菌根菌流程(續)

圖51. Propagation of VA mycorrhizal fungi by aeroponic system (cont'd)



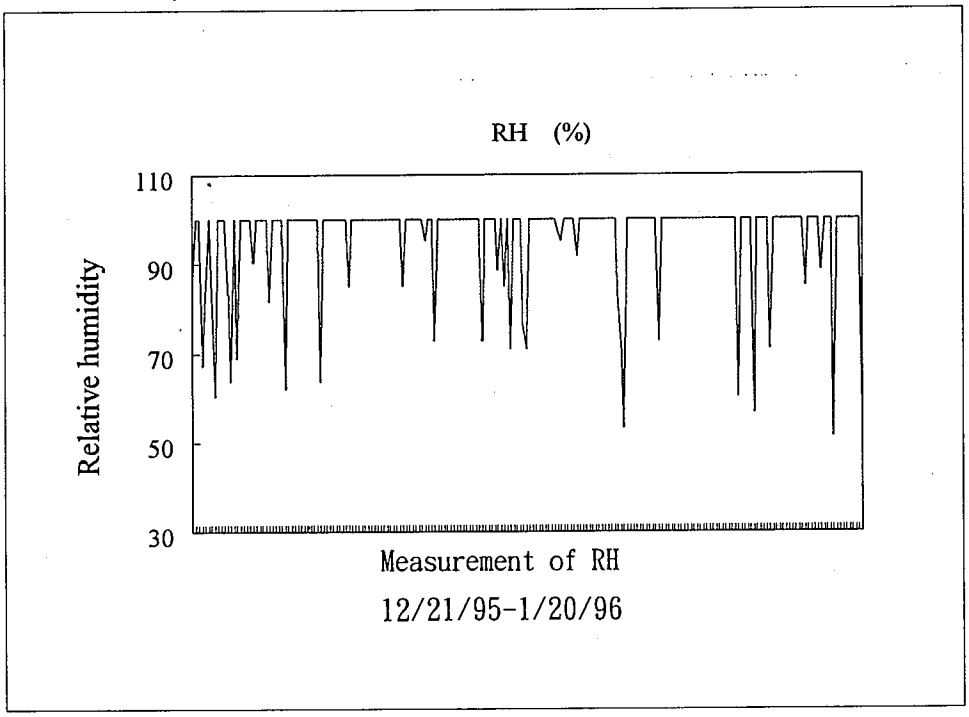


圖60. 氣霧箱內日夜溫濕度變化情形

Fig. 60. Humidity change in the aeroponic chamber

磷酸根離子對囊叢枝內生菌根菌孢子發芽與菌絲生長之影響

前　言

磷肥的施用常造成植物菌根的感染率下降及菌根菌孢子數量減少，例如：呂等人(1995)發現每週施用一次1/4磷量的Johnson solution (15ppm-P)，番茄的菌根感染率為73.4%，每週施用一次1/2磷量的Johnson solution (31 ppm-P)，番茄的菌根感染率下降為55.5%，每週施用一次全磷量的Johnson solution (62ppm-P)，番茄的菌根感染率更降為24.2%。Menge等人(1977)發現加州土壤中磷的含量與菌根菌的孢子數成反比。Kucey and Paul (1983)亦報導，在不施磷肥的土壤中，Faba bean菌根感染率為47%，而施用45kg-P/ha後，Faba bean的菌根感染率下降為15%，在施肥區土壤中，菌根菌的孢子數為30個/100g soil，在未施肥區土壤中，菌根菌的孢子數為65個/100g soil。

造成菌根菌感染率下降及菌根菌孢子數量減少，主要是因土壤中磷之改變，抑或植體磷濃度之影響？許多研究者對此提出不同之看法。Miranda等人(1989)報導，土壤磷直接影響菌根菌的拓展，而較明顯的時期在囊叢枝內生菌根菌早期的根外菌絲拓展時。Miranda and Harris (1994) 接著發現，菌根菌孢子在soil-agar plate上發芽時，囊叢枝內生菌根菌 *Glomus etunicatum* 與 *Scutellospora heterogama* 孢子的發芽率與菌絲的生長受到不同土壤磷添加量的影響，當磷添加量為0時，*Glomus etunicatum* 與 *Scutellospora heterogama* 孢子的發芽率分別為53%，57%，菌絲的長度分別為0.93 mm/spore，1.55 mm/spore，當磷添加量為250 μ g/g soil時，*Glomus etunicatum* 與 *Scutellospora heterogama* 孢子的發芽率分別為31%，33%，菌絲的長度分別0.44 mm/spore，0.66 mm /spore，孢子的發芽率與菌絲生長，因磷肥的添加而明顯受到抑制。這個試驗結果，支持了菌根菌孢子早期在土壤中拓展時是受到土壤磷濃度的影響之假說。在另一方面，Mosse (1972) 發現苜蓿植體磷含量超過0.4%時，就無法感染囊叢枝內生菌根菌。Sanders (1975) 以葉面施用磷肥的方法，使洋蔥地上部磷含量增加，這使得接種菌根菌(*Glomus mosseae*)之洋蔥菌根感染率下降，減少根外菌絲的重量，並使得原由菌根菌供應給植株之磷量下降。Menge等人 (1978) 以〝分根〞(split root) 的方法，發現當蘇丹草 (*Sorghum vulgare* Pers.) 植體磷含量低時，即時土壤磷含量高達600 ppm，菌根菌 *Glomus fasciculatus*的感染率與孢子數均未減少；而當植體磷含量高時，即時土壤磷含量只有6ppm，菌根菌的感染率與孢子數皆明顯下降。此試驗結果驗證了Sanders (1975) 的說法。

由Menge等人 (1978) 的試驗中可知菌根菌 (*Glomus fasciculatum*) 在土壤含磷量600 ppm時，孢子尚可正常發芽，且菌絲生長不受影響，但，是否每一種菌根菌皆可在600 ppm的土壤中正常發芽與生長？由於直接在田間土壤中測試孢子的發芽與生長不容易做到，故研究孢子的發芽與生長多在實驗室中進行。Mosse (1959) 設計了孢子發芽皿 (soil-agar plate)，使菌

根菌 (Endogne) 孢子在3~4天時，發芽率可達80%以上。Hepper (1983) 利用Difco Bacto agar加入磷酸鹽(KH_2PO_4與K_2HPO_4)，探討磷酸根離子濃度對菌根菌孢子發芽與菌絲生長之影響，發現兩種不同來源之*Glomus mosseae*孢子，當磷濃度在30mM (930 ppm)時，兩種孢子之發芽仍高達70與90%，當磷濃度達40mM (1240 ppm)時，則發芽率降低50%以上；菌絲長度則在磷濃度20mM (620 ppm)時，下降為低磷濃度5mM (155ppm)之1/3，當磷濃度達40mM (1240 ppm)時，菌絲無法生長。而另一種菌根菌*Glomus caledonium*在磷濃度30mM (930ppm)時，兩種不同來源之*Glomus caledonium*孢子，其發芽率皆在60%以上，磷濃度達40mM (1240 ppm) 時，孢子發芽率下降至20%以下；菌絲長度在磷濃度10mM (310 ppm)時，菌絲生長不受影響，當磷濃度在30mM (930 ppm)時，菌絲長度平均為磷濃度10mM 時之1/2。Koske (1981)發現*Gigaspora gigantea*在磷濃度達500 ppm時亦可正常發芽。呂 (1994)發現*Gigaspora gigantea*在磷濃度達310 ppm時，孢子發芽率可達77%且菌絲生長不受影響，而當磷濃度達620 ppm時，孢子發芽率下降為43%，且菌絲生長也受影響。

菌根菌對磷濃度的敏感度因種類不同而異，本章主要探討本省土壤中較常見的幾種菌根菌，在不同的磷酸根離子濃度下，孢子的發芽率與菌絲的生長。

材料與方法

試驗菌種：本試驗所使用之囊叢枝內生菌根菌菌種為一般較常見之菌種，共有七種，分屬於三個屬，這七種菌根菌為*Golmus mosseae*，*Acaulospora scrobiculata*，*Acaulospora morrowiae*，*Entrophospora kentinensis*，*Glomus spurcum*，*Glomus occultum*，*Glomus versiforme*。七種囊叢枝內生菌根菌菌種皆以百喜草(*Paspalum notatum* Flugge)當宿主，百喜草種在以砂為介質的盆栽中，百喜草收穫時，將根與砂一起採收，檢查菌根菌純度及密度，根與砂風乾後以塑膠袋密封，置於冷房4℃中保存，此即為菌土。本試驗所使用之囊叢枝內生菌根菌菌種乃由菌土分離而得，而菌土在冷房中保存了6~18個月。利用濕篩法與糖度離心法(Daniels and Skipper, 1982)分離囊叢枝內生菌根菌孢子，以Polyvinyl alcohol lactophenol glycerol (PVLG) (Koske and Tessier, 1983)與Melzer's (Hawksworth et al., 1995)製成半永久片，在穿透式光學顯微鏡下鑑定菌根菌菌種種類。試驗用之孢子乃挑選形狀大小相當，顏色相同，有油滴，具有活力之年輕孢子。

磷酸鹽緩衝液之配製：磷酸鹽緩衝液(pH=7.0)母液之配製，乃以61 ml的0.4M K_2HPO_4加39 ml的0.4M KH_2PO_4配製而成(Gomori, 1955)，此為12400ppm-P，以去離子水稀釋為含磷1240，620，310，124，62，31，12.4，6.2 ppm之水溶液。

對照溶液硫酸鉀之配製：上述磷酸鹽緩衝液母液所含鉀離子的濃度為0.644M，此為25116 ppm-K。以硫酸鉀56g/L (25116 ppm-K)為母液(Hepper, 1983)，以去離子水稀釋為含鉀2512，1256，628，251.2，125.6，62.8，25.0，12.5 ppm之水溶液。

孢子發芽試驗：在無菌的塑膠培養皿(100×15mm)中，放入60g石英砂(10~18 mesh)，石英砂之前處理為：以自來水洗淨，以3N H_2SO_4浸泡2天，以自來水洗至pH=7，以蒸餾水洗三次，105℃24hr烘乾放涼備用。以藥勺抹平石英砂，加入配好的磷酸鹽溶液或硫酸鉀溶液

19 ml，19ml的溶液可使石英砂完全浸潤而有一層薄薄水膜。接著放入一張濾紙(TOYO ADVANTEC 5A)，在濾紙上放入4張1/4大小47mm濾膜(milipore, ADVANTEC MFS, Inc., 0.2 μm)，濾紙與濾膜使用前先經高壓殺菌(121℃，45 min)。以微量吸管吸取已挑選好之孢子，滴在濾膜上，每張濾膜20或50個孢子。孢子移入後，蓋上培養皿上蓋，以石蠟膜(parafilm)密封，再以鋁箔紙包住，在培養箱中25℃黑暗培養。

孢子發芽率、囊狀體個數與菌絲總長之調查：孢子發芽皿在培養箱中25℃黑暗培養28天後，取出濾膜，以改良式乳酸甘油(Modified Lactoglycerin)染色劑染色(Koske and Gemma，1989)，過夜，以去色劑去色，在立體顯微鏡下觀察，計算孢子發芽率、囊狀體個數(vesicle or saccule no.)與菌絲總長。孢子發芽之認定為，孢子發芽管生長的長度超過5 μm，則視為已發芽(Tommerup, 1983)。菌絲總長的計算採格子線交叉法(Gridline intersect method)(Giovannetti and Mosse，1980)，在顯微鏡的接目鏡放入畫有10×10格之正方型方格鏡片，以測微尺測定不同觀察倍數時小方格之邊長(h)，在顯微鏡下計數菌絲與方格之交叉點數(n)，利用下列方程式計算菌絲總長：$R = \pi A \times n / (2H)$，R為菌絲總長，A為菌絲分佈之面積($A = (10h)^2$)，n為菌絲與方格之交叉點數，H為方格線全長($H = 10h \times 10 \times 2$)。

結果與討論 (表1-14)

本試驗中用來進行孢子發芽試驗之七種囊叢枝內生菌根菌孢子，孢子表面皆未經殺菌處理，未經表面殺菌的孢子，其發芽情形較接近土壤中孢子之發芽。早期的孢子發芽試驗，孢子皆先經殺菌處理(Mosse,1959; Mosse, 1962 ; Hepper and Smith, 1976)。Koske (1981)發現，表面不經殺菌處理的孢子之發芽率，與表面經過殺菌處理的孢子之發芽率，沒有明顯之差異。Mayo等人(1986)發現*Glomus versiforme*孢子發芽時，若孢子表面不經殺菌處理，則孢子發芽率比經表面殺菌處理之孢子之發芽率高，高1.5~2.2倍。Willson等人(1989)亦發現，孢子表面經殺菌處理後，孢子發芽率降低45%。

在七種囊叢枝內生菌根菌孢子的發芽試驗中，*Glomus mosseae*孢子發芽率最高可達85.8%，菌絲長度最長可達14.29 mm/spore，*Glomus occultum*孢子發芽率最高可達73.4%，菌絲長度最長可達9.93 mm/spore，由此可知，本試驗所使用之發芽條件適合這兩種菌種。*Entrophospora kentinensis*孢子發芽率最高可達90.0%，但菌絲長度最長為0.40 mm/spore，孢子發芽率很高，但菌絲長度不算長，本試驗之發芽條件尚需進一步研究。*Acaulospora scrobiculata*孢子發芽率最高為63.8%，菌絲長度最長為4.6 mm/spore，發芽率應可再提高。根據前一章的調查結果可知，*Acaulospora scrobiculata*孢子在微酸性至鹼性土壤中皆可發現，本試驗所採用的pH值為7.0，故pH值應該不是造成孢子發芽率偏低的原因，至於是何因子，尚待進一步探討。*Acaulospora morrowiae*孢子發芽率最高為58.5%，菌絲長度最長為2.09 mm/spore，根據Hepper (1984)報導，*Acaulospora laevis*最適合發芽的土壤pH值為4~5，發芽率可達70 ~80%。根據前一章的調查結果可知，*Acaulospora morrowiae*孢子分布在土壤pH值7.1以下，較喜歡酸性土壤，而本試驗所採用的pH值為7.0，若降低溶液的pH值，應可提高發芽率與菌絲生長。*Glomus versiforme*孢子發芽率最高為45.5%，菌絲長度最長為12.89 mm/

spore，根據Daniels and Trappe(1980) 報導，適合 *Glomus versiforme* 孢子發芽的條件為18~25℃，水份在30%以上，pH值在7.0~ 7.4，發芽率可達80%。本試驗所使用之發芽條件皆符合上述條件，而發芽孢子的菌絲長度夠長，但發芽率只有45.5%，造成發芽率偏低的原因，可能是孢子本身的問題，非生長條件不適合。*Glomus spurcum* 孢子發芽率最高為19.7%，菌絲長度最長為0.65mm/spore，顯然本試驗所使用之發芽條件不適合 *Glomus spurcum*，而有關 *Glomus spurcum* 之研究報告尚未發現，*Glomus spurcum* 孢子最適合發芽之條件尚待進一步研究。

Glomus mosseae，*Entrophospora kentinensis* 與 *Glomus occultum* 這三種菌種，在磷濃度6.2ppm時，發芽率皆不高，分別為6.0%，7.5%，28%，這可能跟養分的競爭有關。本試驗所使用之孢子因未經表面殺菌，故在孢子周圍亦有細菌與真菌之分布，而當磷濃度為12.4ppm時，*Glomus mosseae*，*Entrophospora kentinensis* 與 *Glomus occultum* 這三種菌種，孢子之發芽率提高為82.2%，90.0%，73.4%，發芽率已大大提高。Wilson等人(1989) 亦有類似之報導，在不殺菌的土壤中添加60ppm的磷後，可明顯促進 *Glomus etunicatum* 與 *Glomus mosseae* 的發芽率。

在 *Glomus occultum* 的孢子發芽試驗中發現，*Glomus occultum* 菌絲不易被染色劑染色，這種特殊現象已有研究者提出(Morton,1998, http//:invam. caf. wvu. edu)，但原因尚不清楚。

囊叢枝內生菌根菌孢子若能在高磷的環境中順利發芽，菌絲正常生長，則土壤磷含量就不會阻礙菌根菌的拓展，可應用的範圍就比較大。由孢子的發芽試驗可知，*Acaulospora scrobiculata*，*Acaulospora morrowiae*，*Entrophospora kentinensis*，*Glomus mosseae* 與 *Glomus versiforme* 在磷濃度124ppm以下，菌根菌可順利的拓展；而 *Glomus occultum* 對磷較敏感，在磷濃度12.4ppm以下，菌根菌可順利的拓展，磷濃度31ppm以上，則菌根菌發芽率明顯下降。囊叢枝內生菌根菌孢子在磷酸鹽溶液中之發芽率與菌絲生長，雖不能與孢子在土壤中之發芽情形劃上等號，但亦可作為篩選菌根菌之參考。從69種試驗土壤中可知，磷濃度超過100ppm (Olsen-p) 的土壤只有6個，約佔試驗土壤的9%，若以此標準而言，本試驗所用的七種菌種，有五種可在大部分的試驗土壤(90%以上)順利發芽，並感染適當的植株根部。

結　　論

1. *Glomus mosseae* 孢子在磷濃度310 ppm時發芽率依然很高(71.8%)，但菌絲總長已明顯下降，菌絲生長受抑制，在磷濃度620 ppm時，孢子發芽率降為17.3 %，大部分的孢子已不能順利發芽，而磷濃度1240 ppm時，*Glomus mosseae* 孢子已全數無法發芽。
2. *Acaulospora scrobiculata* 孢子在磷濃度≦124ppm，孢子皆可正常發芽，磷濃度310 ppm時，*Acaulospora scrobiculata* 孢子發芽率與菌絲生長已明顯受影響，在磷濃度620 ppm時，大部分的孢子已不能順利發芽，而磷濃度1240 ppm時，*Acaulospora scrobiculata* 孢子已全數無法發芽。
3. *Acaulospora morrowiae* 孢子在磷濃度≦124ppm，孢子皆可正常發芽，菌絲生長良好，磷濃度310 ppm時，*Acaulospora morrowiae* 孢子發芽率雖然下降不明顯，但菌絲生長已明顯

受抑制，在磷濃度620 ppm時，孢子發芽率明顯下降，而磷濃度1240 ppm時，*Acaulospora morrowiae*孢子已全數無法發芽。

4. *Entrophospora kentinensis*孢子在低磷濃度6.2 ppm 時，發芽率不高(7.5 %)，菌絲總長不長(0.03 mm/spore)，磷濃度12.4~310 ppm 時，*Entrophospora kentinensis*孢子可正常發芽，菌絲生長不受影響，磷濃度≧620 ppm時，*Entrophospora kentinensis*孢子則全數不發芽。*Entrophospora kentinensis*菌絲長度最長為0.40 mm/spore，孢子之發芽條件尚待改進。
5. *Glomus occultum*孢子在8種磷濃度中，最適合孢子發芽之磷濃度為12.4 ppm，當磷濃度≧31 ppm時，*Glomus occultum*孢子發芽率與菌絲生長明顯下降，在磷濃度31~620 ppm時，主要是磷濃度影響孢子之發芽率，而當磷濃度達1240 ppm時，離子強度應是影響孢子發芽之主要原因。
6. *Glomus versifome*孢子最適合之磷濃度為124 ppm，而當磷濃度≧310ppm 時，*Glomus versifome*孢子發芽率與菌絲總長明顯降低。

表1. 不同磷濃度對 *Glomus mosseae* 孢子發芽的影響

Table 1. Effect of the different phosphorus level on the spore germination of *Glomus mosseae*.

Phosphorus conc. (ppm)	6.2	12.4	31	62	124	310	620	1240
germination rate (%)	6.0 ^{bc*}	82.2 ^{a}	84.7 ^{a}	85.8 ^{a}	79.0 ^{a}	71.8 ^{a}	17.3 ^{b}	0 ^{c}
hyphal length (mm/spore)	0.12 ^{d}	13.05 ^{a}	14.29 ^{a}	6.36 ^{b}	6.39 ^{b}	3.07 ^{c}	0.09 ^{d}	0 ^{d}
vesicle no. per spore	0 ^{d}	0.53 ^{bc}	1.27 ^{a}	1.08 ^{a}	0.99 ^{ab}	0.27 ^{cd}	0 ^{d}	0 ^{d}

* ：Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表2. 不同鉀濃度對 *Glomus mosseae* 孢子發芽的影響

Table 2. Effect of the different potassium level on the spore germination of *Glomus mosseae*.

Potassium conc. (ppm)	12.5	25.0	62.8	125.6	251.2	628	1256	2512
germination rate (%)	13.8 ^{a*}	0 ^{b}	1.2 ^{b}	2.5 ^{b}	3.8 ^{b}	1.3 ^{b}	0 ^{b}	0 ^{b}
hyphal length (mm/spore)	0.03 ^{a}	0 ^{b}	0.01 ^{b}	0.01 ^{b}	0.01 ^{b}	0 ^{b}	0 ^{b}	0 ^{b}
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0	0	0

* ：Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表3. 不同磷濃度對 *Acaulospora scrobiculata* 孢子發芽的影響

Table 3. Effect of the different phosphorus level on the spore germination of *Acaulospora scrobiculata*.

Phosphorus conc. (ppm)	6.2	12.4	31	62	124	310	620	1240
germination rate (%)	61.5 ^{a*}	63.8 ^{a}	50.0 ^{a}	56.8 ^{a}	49.7 ^{a}	25.4 ^{b}	7.8 ^{c}	0 ^{c}
hyphal length (mm/spore)	3.18 ^{a}	4.46 ^{a}	3.26 ^{a}	3.32 ^{a}	4.6 ^{a}	0.96 ^{b}	0.04 ^{b}	0 ^{b}
vesicle no. per spore	0.4 ^{abc}	0.78 ^{a}	0.38 ^{abc}	0.30 ^{bc}	0.65 ^{ab}	0 ^{c}	0 ^{c}	0 ^{c}

* ： Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表4. 不同鉀濃度對 *Acaulospora scrobiculata* 孢子發芽的影響

Table 4. Effect of the different potassium level on the spore germination of *Acaulospora scrobiculata*.

Potassium conc. (ppm)	12.5	25.0	62.8	125.6	251.2	628	1256	2512
germination rate (%)	27.8 ^{ab*}	52.6 ^{a}	52.3 ^{a}	41.6 ^{ab}	22.2 ^{ab}	31.5 ^{ab}	20.0 ^{b}	15.9 ^{b}
hyphal length (mm/spore)	0.37 ^{c}	1.16 ^{ab}	1.55 ^{a}	0.62 ^{bc}	0.44 ^{bc}	0.45 ^{bc}	0.25 ^{c}	0.13 ^{c}
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0	0	0

* ： Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表5. 不同磷濃度對 *Acaulospora morrowiae* 孢子發芽的影響

Table 5. Effect of the different phosphorus level on the spore germination of *Acaulospora morrowiae*.

Phosphorus conc. (ppm)	6.2	31	62	124	310	620	1240
germination rate (%)	58.5 ^{a*}	44.3 ^{ab}	44.3 ^{ab}	51.3 ^{ab}	39.3 ^{b}	20.0 ^{c}	0 ^{d}
hyphal length (mm/spore)	2.09 ^{a}	1.60 ^{ab}	1.17 ^{b}	1.21 ^{b}	0.47 ^{c}	0.30 ^{c}	0 ^{c}
vesicle no. per spore	0.59 ^{a}	0.41 ^{b}	0.25 ^{c}	0.31 ^{bc}	0.08 ^{d}	0.02 ^{d}	0 ^{d}

* ：Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表6 不同鉀濃度對 *Acaulospora morrowiae* 孢子發芽的影響

Table 6. Effect of the different potassium level on the spore germination of *Acaulospora morrowiae*.

Potassium conc. (ppm)	12.5	62.8	125.6	251.2	628	1256	2512
germination rate (%)	35.8 ^{bc*}	53.5 ^{a}	46.3 ^{ab}	48.5 ^{ab}	36.0 ^{bc}	23.0 ^{c}	7.0 ^{d}
hyphal length (mm/spore)	0.84 ^{cd}	1.79 ^{a}	1.02 ^{bc}	0.80 ^{cd}	0.52 ^{cde}	0.21 ^{de}	0.02 ^{e}
vesicle no. per spore	0.12 ^{bc}	0.41 ^{a}	0.39 ^{a}	0.35 ^{a}	0.25 ^{ab}	0.10 ^{bc}	0 ^{c}

* ：Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表7. 不同磷濃度對 *Entrophospora kentinensis* 孢子發芽的影響

Table 7. Effect of the different phosphorus level on the spore germination of *Entrophospora kentinensis*.

Phosphorus conc. (ppm)	6.2	12.4	31	62	124	310	620	1240
germination rate (%)	7.5 ^{c*}	90.0 ^{a}	73.8 ^{ab}	45.3 ^{b}	73.3 ^{ab}	79.3 ^{a}	0 ^{c}	0 ^{c}
hyphal length (mm/spore)	0.03 ^{b}	0.29 ^{ab}	0.30 ^{ab}	0.37 ^{a}	0.30 ^{ab}	0.40 ^{a}	0 ^{b}	0 ^{b}
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0.21	0	0

* : Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表8. 不同鉀濃度對 *Entrophospora kentinensis* 孢子發芽的影響

Table 8. Effect of the different potassium level on the spore germination of *Entrophospora kentinensis*.

Potassium conc. (ppm)	12.5	25.0	62.8	125.6	251.2	628	1256	2512
germination rate (%)	82.5 ^{ab*}	65.5 ^{ab}	66.5 ^{ab}	90.0 ^{a}	60.5 ^{b}	70.0 ^{ab}	0 ^{c}	0 ^{c}
hyphal length (mm/spore)	0.35 ^{b}	0.18 ^{b}	0.30 ^{b}	0.82 ^{a}	0.18 ^{b}	0.05 ^{b}	0 ^{c}	0 ^{c}
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0	0	0

* : Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表9. 不同磷濃度對 *Glomus spurcum* 孢子發芽的影響

Table 9. Effect of the different phosphorus level on the spore germination of *Glomus spurcum*.

Phosphorus conc. (ppm)	6.2	12.4	31	62	124	310	620	1240
germination rate (%)	19.7 [a*]	11.8 [a]	5.2 [a]	15.8 [a]	3.3 [a]	7.2 [a]	0 [a]	3.4 [a]
hyphal length (mm/spore)	0.65 [a]	0.45 [a]	0.08 [a]	0.21 [a]	0.11 [a]	0.19 [a]	0 [a]	0.06 [a]
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0	0	0

* ：Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表10. 不同鉀濃度對 *Glomus spurcum* 孢子發芽的影響

Table 10. Effect of the different potassium level on the spore germination of *Glomus spurcum*.

Potassium conc. (ppm)	12.5	25.0	62.8	125.6	251.2	628	1256	2512
germination rate (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
hyphal length (mm/spore)	0	0	0	0	0	0	0	0
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0	0	0

表11. 不同磷濃度對 *Glomus occultum* 孢子發芽的影響

Table 11. Effect of the different phosphorus level on the spore germination of *Glomus occultum*.

Phosphorus conc. (ppm)	6.2	12.4	31	62	124	310	620	1240
germination rate (%)	28.0 ^{b*}	73.4 ^{a}	21.0 ^{bc}	14.4 ^{bc}	13.2 ^{bc}	6.8 ^{c}	7.2 ^{c}	2.7 ^{c}
hyphal length (mm/spore)	0.31 ^{b}	9.93 ^{a}	0.21 ^{b}	0.32 ^{b}	0.20 ^{b}	0.18 ^{b}	0.05 ^{b}	0.01 ^{b}
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0	0	0

* ：Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表12. 不同鉀濃度對 *Glomus occultum* 孢子發芽的影響

Table 12. Effect of the different potassium level on the spore germination of *Glomus occultum*.

Potassium conc. (ppm)	12.5	25.0	62.8	125.6	251.2	628	1256	2512
germination rate (%)	43.2 ^{b*}	25.7 ^{b}	44.9 ^{b}	40.7 ^{b}	36.1 ^{b}	68.3 ^{a}	45.9 ^{b}	2.6 ^{c}
hyphal length (mm/spore)	0.20 ^{cd}	0.13 ^{cd}	0.51 ^{ab}	0.34 ^{bc}	0.34 ^{bc}	0.68 ^{a}	0.49 ^{ab}	0.01 ^{d}
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0	0	0

* ：Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表13. 不同磷濃度對 *Glomus versiforme* 孢子發芽的影響

Table 13. Effect of the different phosphorus level on the spore germination of *Glomus versiforme*.

Phosphorus conc. (ppm)	6.2	12.4	31	62	124	310	620	1240
germination rate (%)	8.8 ^{c*}	23.3 ^{b}	27.5 ^{b}	45.5 ^{a}	35.5 ^{ab}	8.75 ^{c}	0 ^{c}	0 ^{c}
hyphal length (mm/spore)	4.03 ^{cd}	6.27 ^{bc}	6.32 ^{bc}	8.02 ^{b}	12.89 ^{a}	1.35 ^{de}	0 ^{e}	0 ^{e}
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0	0	0

* ： Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

表14. 不同鉀濃度對 *Glomus versiforme* 孢子發芽的影響

Table 14. Effect of the different potassium level on the spore germination of *Glomus versiforme*.

Potassium conc. (ppm)	12.5	25.0	62.8	125.6	251.2	628	1256	2512
germination rate (%)	6.3 ^{a*}	2.1 ^{ab}	0 ^{b}	0 ^{b}	1.2 ^{ab}	1.3 ^{ab}	3.8 ^{ab}	0 ^{b}
hyphal length (mm/spore)	0.39 ^{a}	0.03 ^{a}	0 ^{a}	0 ^{a}	0.01 ^{a}	0.01 ^{a}	0.48 ^{a}	0 ^{a}
vesicle no. per spore	0	0	0	0	0	0	0	0

* ： Mean separation in raw by Duncan's multiple range test, 5% level.

菌根菌與農藥施用的互動關係

前　言

中華永續農業協會在今年舉辦的兩期叢枝內生菌根菌的訓練班中，有許多的學員問到農藥的使用是否會影響叢枝內生菌根菌的接種成功率以及影響日後田間的表現等問題，因此藉著本次年會以及"有益微生物在農業上的應用研討會" 的召開，將國內外有關叢枝內生菌根菌與農藥的互動關係的研究，做一概括性的整理報告，與會友們分享。

由於叢枝內生菌根菌沒有葉綠素無法行光合作用，因此有關賴以維生的碳水化合物便需依賴植物來獲得。相對地，菌根菌為了與植物維持良好的關係，以便繼續得到食物，菌根菌便會協助植物從根圈土壤中吸收磷肥等重要元素來供給植物生長之用。這是一種典型的共生關係 (圖66)。

當土壤中的叢枝內生菌根菌孢子發芽以後，其菌絲便會穿入植物的根部，在根組織內穿梭生長。首先菌根菌在皮層內先形成如茶樹般的叢枝體(arbuscules)，這是菌根菌與植物進行養份交換的地方。然後在菌絲的末端或中間部位形成氣球般的囊泡體 (vesicles)，這是菌根菌儲存養份如脂肪的地方。叢枝內生菌根菌的囊泡體，除了 *Gigaspora* 屬與 *Scutellospora* 屬產生囊泡體於根圈土壤外，其餘各屬均形成於根細胞內或細胞間的空隙中。菌根菌不只是在根內形成菌絲網，它們也會向根外四處延生長達10公分長的菌絲網。這些管路大幅提高了與土壤團粒或養份接觸的機會，因此有助於增加植物根部的吸收面積。目前在我國已由試驗證實菌根菌在促進瓜類(如:西瓜、絲瓜、苦瓜、胡瓜、洋香瓜等)，花卉(菊花、百合、聖誕紅等)，果樹(木瓜、蘋果、梨子、桃子、柑橘、文旦柚等)，蔬菜(蕃茄、蘆筍、洋蔥、甘薯、蒜頭等)的育苗及田間的生長發育，減少磷肥的用量、提高作物產量，增強抵抗環境逆境的能力，增加花朵數、提早開花與延長插花壽命等方面均有相當不錯的表現。

在本報告中，所謂農藥將包括土壤薰蒸藥劑、非系統性殺菌劑、系統性殺菌劑、殺虫劑、殺草劑等五大類。

土壤燻蒸劑

土壤燻蒸劑(表一)的使用，其主要目的是在於消滅或降低病原菌或害虫的族群數量，進而達到提高作物產量的目標。可是由於此類藥劑的使用，也往往造成土壤中有益微生物如叢枝內生菌根菌的大量消失，間接地導致植株矮小或生長不良的現象。近來已有以太陽能取代燻蒸藥劑來進行殺菌而又不傷害菌根菌的的研究報告發表(Afek et al., 1991)，這不失為一種合乎環保要求又能達到病害防治兩全齊美的策略。土壤燻蒸藥劑的施用固然會與菌根菌產生互動的影響，但是同一種藥劑在不同的土壤類型或其它環境條件下，也會對菌根菌有不同程度的影響(圖68)。在砂質壤土中，由於透氣性佳，溴化甲烷可以穿入土層達137公分深且

抑制菌根菌的效果可長達13個月以上。但是，在黏質壤土中施用溴化甲烷的效果不及六個月，顯然不如砂質壤土(Menge, 1982)。

表一 燻蒸藥劑對叢枝內生菌根菌的影響

農業藥物	作物	對菌根菌感染的影響	對菌根菌產孢的影響
Chloropicrin 氯化苦	棉花	−	−
Chloropicrin 氯化苦	柑橘	−	−
Formaldehyde (Formalin) 福馬林	小麥		−
Formaldehyde (Formalin) 福馬林	柑橘		−
Methyl Bromide 溴化甲烷	楓香	−/±	
Methyl Bromide 溴化甲烷	樹苗	−	−
Methyl Bromide 溴化甲烷	豆類		±
Methyl Bromide 溴化甲烷	柑橘	−	
Methyl Bromide 溴化甲烷	蘇丹草	−	−
50% 溴化甲烷/50 %氯化苦	棉花	−	
67% 溴化甲烷/33 %氯化苦	樹苗		−
67% 溴化甲烷/33 %氯化苦	桃子	−	
75% 溴化甲烷/25 %氯化苦	柑橘	−	
Mylone (Dazomet) 邁隆	玉米	−	
Mylone (Dazomet) 邁隆	豆類	−	
Mylone (Dazomet) 邁隆	大麥	−/±	−/±
Vapam (Metham sodium) 斯美地	玉米	−	

+: 促進; −: 抑制; ±: 沒有影響

非系統性殺菌劑

非系統性殺菌劑(表二)如：大克爛 (botran)、得恩地 (thiram)、錳乃普(maneb)、益發靈(euparen)、四氯異苯晴(daconil)、 sodium azide、氯乃普(demosan)、lanstan、波爾多等對於真菌病害的防治機制，因成份不同而有差異。例如：得恩地和錳乃普，其主要成份是ethylenethiuram disulfide，會干擾病原真菌內的酵素系統。大克爛則是以抑制蛋白質合成為其主要反應機制。儘管如此，這些殺菌劑中有些對菌根菌具有明顯的抑制作用如得恩地、大克爛等；有些則影響不大，甚至於有促進的正面意義，如:sodium azide、demosan等。 Demosan殺菌劑不但會增加菌根菌的感染率，甚而提高在根圈土壤中的產孢量。由於菌根菌也是真菌的一種，為何這些非系統性殺菌劑對於菌根菌有如此的差異，其可能的反應機制尚未完全明白。有些藥劑如波爾多等含有金屬元素(如:鋅、銅、錳、鐵等)會抑制菌根菌孢子的發芽與感染根部的過程(Graham et al., 1986)。另Nemec(1980)也曾推論，由於外生菌根菌對於azide具有抗性，因此內生菌根菌可能對於sodium azide藥劑也具有類似反應。由於非系統性農藥會延遲菌根菌感染根部的時間，但菌絲一旦進入根內後則影響較少，因此這類藥劑對於菌根

菌的傷害也較為輕微。

表二 非系統性殺菌藥劑對叢枝內生菌根菌的影響

農業藥物	作物	對菌根菌感染的影響	對菌根菌產孢的影響
Botran (Dicloran) 大克爛	玉米	−	
Copper Sulfate 波爾多	豆類		±
Copper Sulfate 波爾多	柑橘	±	±
Daconil 2787 (Chlorothalonil) 四氯異苯睛	柑橘		±/−
Demosan (Chloroneb)	柑橘		±
Demosan (Chloroneb)	萵苣	+	
Euparen (Dichlofluanid) 益發靈	小麥	−	−
Lanstan	玉米	−	
Maneb 錳乃普	小麥	±	±
Maneb 錳乃普	柑橘		±/−
Sodium azide	花生	±/−	
Sodium azide	大豆	±	±
Sodium azide	柑橘	±/+	−/±
Thiram (Arasan) 得恩地	玉米	−	
Thiram (Arasan) 得恩地	豆類	±/−	
Thiram (Arasan) 得恩地	小麥	−	
Thiram (Arasan) 得恩地	小米	−	

+: 促進; −: 抑制; ±: 沒有影響

系統性殺菌劑

系統性殺菌劑(表三)中有些對菌根菌有抑制作用，有些則影響不大。例如: 免賴得(benomyl)、腐絕(thiabendazole)、甲基多保淨(topsin)、三得芬(calixin)、賽福寧(triforine)、三泰芬(triademifon)、imugan、banrot等，不只是影響菌根菌孢子的發芽與感染植物根部而已，這些藥劑甚至會減少菌根菌菌絲在根內部的發展。免賴得、甲基多保淨等殺菌劑的主要反應機制是在於其分解產物benzimidazole-2-yl carbamate，對於真菌的細胞分裂具有抑制作用(Lyr, 1977)。有趣的現象是這些系統性殺菌劑(benomyl, topsin等)當初是針對用來防治高等子囊真菌(ascomycetes)所造成的病害用的，對於結合真菌(zygomycetes)則沒有作用。可是在分類上，囊叢枝內生菌根菌卻是結合真菌的一種。為何內生菌根菌對於這些藥劑具有如此敏感的反應，其中的玄機如何，值得我們去探討。

在針對小麥的種子及葉片施加系統性殺菌劑的試驗中，發現免賴得在使用量2.5mg/100 g seed，遠低於推薦量(150 mg/100 g seed)的情形下，便能對小麥根內菌根菌的感染有明顯的抑制；尤其是對第九週大的幼苗菌根，其抑制作用特別明顯(Jalali and Domsch, 1975)。在葉面噴灑系統性殺菌劑如免賴得、賽福寧等，也對根部菌根菌的感染造成負面的影響，甚至減少孢子的形成達50%以上。

表三 系統性殺菌劑對叢枝內生菌根菌的影響

農業藥物	作物	對菌根菌感染的影響	對菌根菌產孢的影響
Aliette (Fosetyl Al) 福賽得	洋蔥	−	
Aliette (Fosetyl Al) 福賽得	萵苣	±/+	
Banrot (Terrazole+Cercobin methyl)	豌豆		±/−
Benomyl 免賴得	棉花	±	
Benomyl 免賴得	小麥	−	±
Benomyl 免賴得	豆類	−	
Benomyl 免賴得	洋蔥	−	
Benomyl 免賴得	苜蓿	−	
Benomyl 免賴得	大豆	−	
Benomyl 免賴得	大麥	−/±	−/±
Benomyl 免賴得	柑橘		−
Calixin (Tridemorph) 三得芬	小麥	−	−
Cela W524 (Triforine) 賽福寧	小麥	−	−
Imugan (Chloraniformethan)	小麥	−	−
Ridomil (Metalaxyl) 滅達樂	棉花	+	
Ridomil (Metalaxyl) 滅達樂	洋蔥	+	
Ridomil (Metalaxyl) 滅達樂	青椒	+	
Ridomil (Metalaxyl) 滅達樂	玉米	+	±
Ridomil (Metalaxyl) 滅達樂	大豆	+	±
Ridomil (Metalaxyl) 滅達樂	柑橘	+/±	±
Terrazole (Etridiazole) 依得利	萵苣	±/−	
Terrazole (Ethazole) 依得利	蘇丹草	+	+/±
Thiabendazole 腐絕	小麥	−	
Thiabendazole 腐絕	豆類	−	
Thiabendazole 腐絕	柑橘	+/−	±/−
Thiabendazole 腐絕	馬鈴薯	±	−
Topsin (Thiophanate) 甲基多保淨	小麥	±	−
Topsin (Thiophanate) 甲基多保淨	苜蓿	±	−
Topsin (Thiophanate) 甲基多保淨	洋蔥	−	
Topsin (Thiophanate) 甲基多保淨	草莓	−	
Triademifon 三泰芬	小麥	−	−
Triademifon 三泰芬	萵苣	−	
Triadimefon 三泰芬	洋蔥	−	

+: 促進; −: 抑制; ±: 沒有影響

對於有些系統性殺菌劑如:福賽得 (fosetyl-Al)、滅達樂 (ridomil)、依得利(terrazole)等，則反而增加菌根菌的感染率。由於這些藥劑的施用無論是土壤澆灌或葉面噴灑都會造成這種抑制或促進的現象，因此可能的機制是在於這些藥劑會造成作物生理代謝機能的改變，例如對於根分泌量多寡的影響(Ratnayake et al, 1978)。促進根分泌的化學藥劑，能間接提高菌根菌的感染率；反之，降低根分泌量者，則減少菌根菌的感染程度。但是由於殺菌劑的使用，造成土壤中或葉面病原菌的減少，進而增加菌根菌對土壤中或自葉片傳送下來的養份的競爭力，也是可以用來解釋這種現象。

殺 蟲 劑

本部份所討論的殺蟲劑主要是以非燻蒸藥劑為主(表四)。殺蟲劑的使用似乎與殺草劑一樣對於菌根菌的影響不大(Johnson and Pfleger, 1992)。但是所用劑量的不同，對某一特定作物而言，卻也能造成不同程度感染的影響。例如：在推薦量下的加保伏(carbofuran)，該殺虫劑對於花生菌根菌的感染有抑制作用。反之，在使用半量的推薦量時，則對於菌根菌的產孢與根感染率有促進的作用。此外，有些殺線蟲的藥劑施用於低溫潮濕而又富含有機質的土壤時，由於抑制了土壤內硝化細菌的生長，阻礙了硝化作用的進行，以致於間接造成了土壤中氨態氮的累積並改善了田間作物的產量。

表四 殺蟲劑對叢枝內生菌根菌的影響(Johnson and Pfleger, 1992)

農業藥物	用量	作物	對菌根菌感染的影響	對菌根菌產孢的影響
Carbaryl 加保利			±	
Diazinon 大利松	2.4 kg/ha	大豆	±	
Ethoprop 普伏松	3.4 kg/ha	花生	±	
Malathion 馬拉松			±	
Carbofuran 加保扶	22 kg/ha	馬鈴薯	±	±
Carbofuran 加保扶	3.4 kg/ha	花生	−/+*	−/+*
Oxamyl 歐殺滅			±	

+: 促進; −: 抑制; ±: 沒有影響; *: 濃度低時產生促進作用

殺 草 劑

殺草劑(表五)的使用設計是針對植物的控制而非菌根菌，因此殺草劑對於菌根菌的影響應是相當輕微的。只有當施用劑量超過推薦量時，才會產生負面的影響。不過也有例外的情形，如:達有龍(diuron)， chlorotoluron等殺草劑則是在較高劑量施用時，對於菌根菌在土壤根圈中產生孢子有正面促進的效果。最近在美國奧瑞岡州立大學針對菌根菌與殺草劑的共同使用，來研究對大豆與羊帶來雜草的影響指出，菌根菌搭配殺草劑Bentazon來防治羊帶來雜草時，只要將殺草劑的推薦使用量降低到原來的一半，便能達到最佳的效果(Bethlenfalvay

et al, 1996)。在本試驗中菌根菌可以同時感染羊帶來與大豆。菌根菌對植物而言，它具有將碳水化合物送達根部的吸引力，因此對於殺草劑較敏感的羊帶來一旦被噴灑殺草劑後，碳水化合物便會迅速自葉部傳送到根部，然後透過根外菌絲再傳導至大豆根內(圖 67)。有關養份的傳送，奧瑞岡州立大學將具有放射性(N15)的硝酸銨噴到羊帶來的葉面，結果經噴灑殺草劑後，放射性的氮元素竟可以在大豆植體內發現。本試驗更進一步證實菌根菌的根外菌絲可以扮演運輸橋樑的角色。有關菌根菌的接種可以減少殺草劑的施用等研究，對於環境保護與提升農產品的安全性均有相當的貢獻，實值得我們深入的探討。

表五 殺草劑對叢枝內生菌根菌的影響

農業藥物	用量	作物	對菌根菌感染的影響	對菌根菌產孢的影響
Alachlor 拉草	2-4 kg/ha	大豆	−/±*	
Atrazine 草脫淨	1,2 g/g	楓	±/+	
Bentazon 本達隆	1.12 kg/ha	牛蒡	−	
Bentazon 本達隆	1.12 kg/ha	大豆	−/±	
Bromacil 克草	0.5-1.8 kg/ha	柑橘	±	±
Chlorotoluron	2 kg/ha	大麥	−	+
2,4-D 二四地	10 g/g on foliage	蘋果	±	
Diallate	2.1-70.4 kg/ha	小麥	±/+	±/+*
Dichlofopmethyl	1,2 g/g	楓	±	
Diphenamid	1,2 g/g	楓	±	
Diquat	6.8 kg/ha	小麥	±	
Diuron 達有龍	2.1-67.2 kg/ha	柑橘	±	
Diuron 達有龍	0.5-67.2 kg/ha	小麥		+
Napropamide 滅落脫	1-6.8 kg/ha	楓	±	
Oxadiazon 樂滅草	1,2 g/g	楓	±	
Paraquat 巴拉刈	0.28-2.2 kg/ha	柑橘	±*	
Paraquat 巴拉刈	0.5-6.8 kg/ha	小麥		±*
Phenmedipham	0.05-5 mg/ha	小麥	±	
PPG884	0.56-2.24 kg/ha	柑橘	−	
Prodiamine	1,2 g/g	楓	±/−*	
Simazine 草滅淨	1-5.4 kg/ha	玉米	±/+*	
Simazine 草滅淨	1.8-10.7 kg/ha	柑橘		±
Triallate	2.1-67.2 kg/ha	小麥	±	
Triallate	2.1-67.2 kg/ha	小麥		±
Trifluralin	1.1-9 kg/ha	大豆	±/−	
		柑橘		
Trifluralin	2-64 kg/ha	柑橘		±
		小麥		

+: 促進; −: 抑制; ±: 沒有影響; *: 濃度高時產生抑制作用

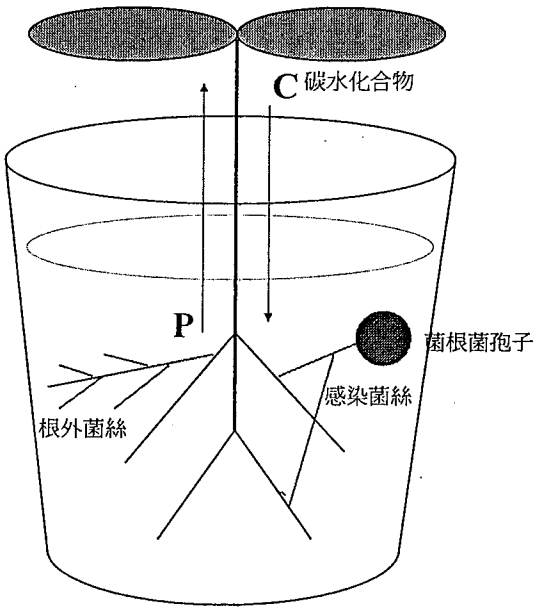


圖66 叢枝內生菌根菌是與植物共生的真菌。 菌根菌孢子在土壤中發芽後，經由感染菌絲進入植物體內。經過一段時間後，菌根菌從根內皮層組織向外延伸根外菌絲達十公分，顯著增加植物對根圈養份的吸收能力。植物的光合作用產物經由維管束組織送往根部供菌根菌使用；另菌根菌透過根外菌絲，自根圈土壤中將磷等有效元素送往植物體內以爲交換。

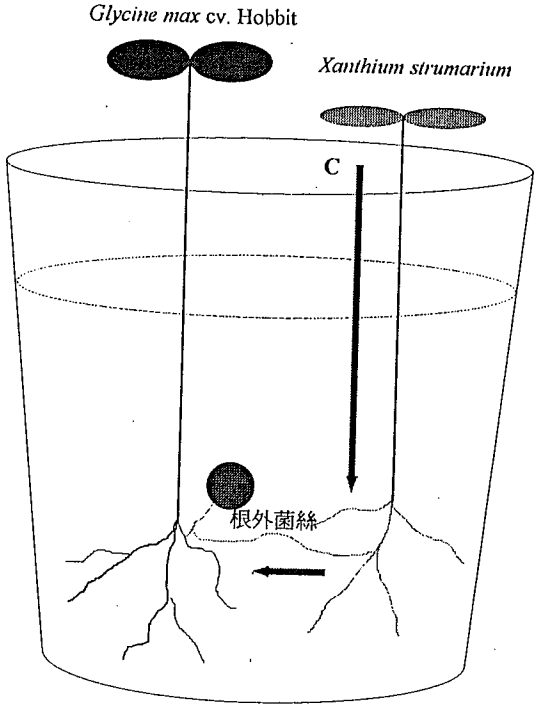


圖67:殺草劑(本達隆)施用於大豆(*Glycine max* cv. Hobbit)與羊帶來(*Xanthium strumarium*)時，造成植株養份傳送的變化。大豆對於本達隆殺草劑具有抗性，可是羊帶來卻對本達隆敏感。當噴灑殺草劑時，羊帶來的植體因對藥物敏感而造成黃化枯萎，養份轉移到根部。此時若是兩種植株均被菌根菌感染，那麼敏感植株的養份便會經由根外菌絲，傳送到對殺草劑具有抗性的植株上。

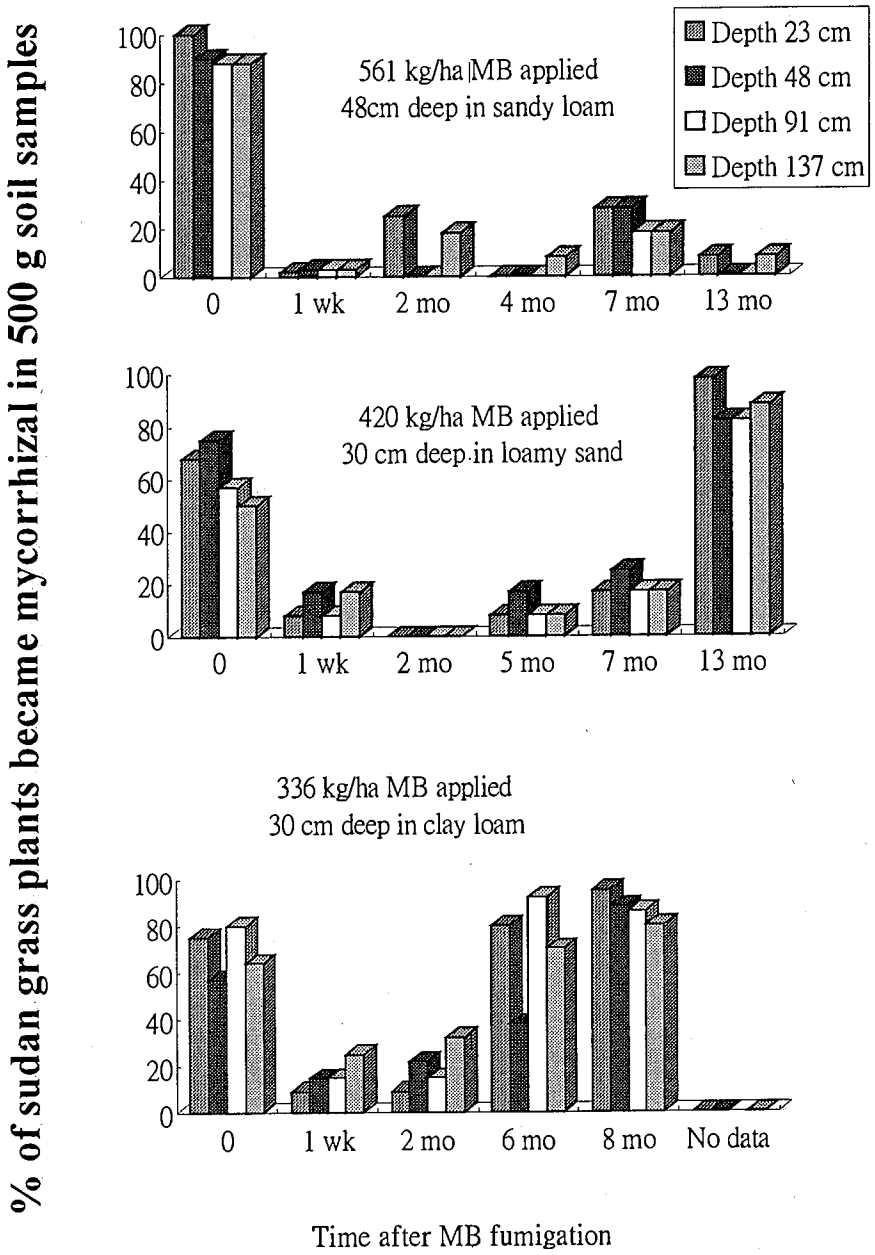


圖 68. 在不同類型的土壤中(砂質壤土 sandy loam，壤質砂土 loamy sand，黏質壤土 clay loam)施用溴化甲烷(MB)，對菌根菌在蘇丹草內感染的影響(Menge, 1982)。

叢枝內生菌根菌之應用技術

前言－微生物肥料的定義

近幾年來由於永續農業或有機農業的觀念逐漸受到消費者與生產者的重視，微生物肥料(Microbial fertilizer)或生物肥料(biofertilizer)這個名詞對大家而言，已不是一個陌生的字眼。但究竟什麼才是微生物肥料?市面上到處可見到這類的產品，但那些才是真正的微生物肥料呢？相信大家都感到好奇，想多了解一些這方面的資訊。根據生物技術開發中心江晃榮先生的"微生物肥料之市場調查"一書對微生物肥料所下的定義，是指含有某種活微生物或酵素的粉狀或液狀製劑，施用在種子、幼苗或土壤上，可加強營養素之有效性或增加土壤中營養份，補充土壤中有益微生物數量，使土壤維持在良好生態環境下發揮功能。微生物肥料根據其作用基本上可分為固氮菌、溶磷菌、菌根菌、促進植物生長之根圈微生物(plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)、分解菌、有機聚合物產生菌等。印度農業研究所的舒伯勞博士(Dr. N. S. Subba Rao)對微生物肥料所下的定義與上述江先生的說法極為類似，所不同的是他強調微生物肥料應是一種含有活的或呈休眠狀態微生物的製劑。在廣義的微生物肥料的解釋裡，有機質或堆肥也被認為是微生物肥料的一種，因為這些物質經微生物的分解或經微生物-植物的相互作用而分解後，也能釋出養份供作物生長。微生物肥料的定義在如此分岐的情況下，難怪農友或消費者對這類產品，有疑惑而分不清楚的現象發生。筆者認為農友應針對您自已的需要，來選購適當的產品。若您想購買的是固氮菌，那麼在購買產品時，就應挑選含有該固氮作用的菌體的產品，而不是挑選含有氮肥的非菌體產品。可是就技術層面來說，消費者很難就含有菌體和不含菌體的兩種產品來區分，因為兩種產品對作物都有提供養份的作用。大體上來說，真正含有微生物菌體的產品，在施加到土壤或作物根圈後，需要一段時間的活化、生長後，方能表現出它的功效來。而大多數的化學肥料在添加後，短時間內便能表現出正面的生長效果來。因此，微生物肥料的使用就好比是吃中藥一般，藥效雖較難立竿見影，可是療效卻與日俱增；反之，化學肥料所表現出來的效果，就好比是吃西藥一般，藥效立即可見，可是藥效卻不持久。

囊叢枝內生菌根菌的接種方法

囊叢枝內生菌根菌的菌種已經由台灣省農業試驗所技術轉移給台中地區兩家公司, 進行商業化生產。因此，農友已可以經由上述公司自由取得菌種進行田間接菌。菌根菌的菌種使用量，依上述生產公司的推薦量添加即可。

使用方法：

(1)菌種可與使用介質混合後(圖 69-70)，農友直接將種子放置於介質上，略為覆蓋些介質即可。在育苗階段所使用的菌種量最少，效果也最顯著，因此我們推薦農友在育苗時，使用

菌根菌最為經濟。

(2)菌種與介質混合後(或是以一層介質為底層，中層為菌土，上層為覆蓋介質的三明治方式)，將扦插枝條直接插入介質中，待新根發出約10~14天後，即可將扦插苗移到田間(圖 52)。

(3)若是以穴植盤所育出的小苗，可在小苗的底部沾些菌土後，移到田區種植；並於苗的四周加上菌土，以確保接種的成功率。北部地區有許多的農民購買來自南部地區的瓜苗，這些瓜苗所用的栽培介質大多含有高量的化學肥料，若在此幼苗上再行接種恐效果不彰。

(4) 然而有許多的果樹早在十數年前就已種植，在這種情形下菌根菌的使用量會較苗期時來得多。此時可在淺盤中育一批接種菌根菌的百喜草苗，約二~三週後移植到兩行陳年果樹的中間地帶。由於百喜草是一種多年生的禾本科植物，根會向下發展，所以感染菌根菌的百喜草根，便會向下延伸與果樹的根接觸，間接造成菌根的形成。

菌根菌在田間或園藝作物上之應用

矮牽牛：栽培介質為蛭石、真珠石與泥炭苔之混合物(體積比6：3：1)。泥炭苔為pH值近於6，無添加養份之商品。磷礦石粉與栽培介質一起混合，其添加量為每升的介質加 24 g，每盆栽培介質的量為1.5升。磷礦石粉P2O5含量為32~33%，由臺灣肥料公司購得。栽培介質不添加米糠，接種菌根菌(VA)可明顯促進矮牽牛生長，在接菌處理93天後，接種菌根菌之處理，植株地上部乾重(1.31g/plant)，約為不接種處理(0.21g/plant)之6倍。栽培介質添加米糠後(米糠添加量為每升介質12g，米糠含磷量為1.7 7 %)，矮牽牛之生長，比不加米糠不接種之處理(CK)與不加米糠接種菌根菌之處理(VA)好。添加米糠後再接種菌根菌，對矮牽牛植株之生長無明顯差異。矮牽牛在栽培介質養分少(磷低於20ppm)時，接種菌根菌可明顯促進植株生長，但當栽培介質養分多時(磷高於200ppm)，植株所需之養分，由植株根吸收就足夠供應植株生長，接種菌根菌與其他有益微生物，對植株生長已無明顯影響。此結果說明矮牽牛對菌根菌的依賴性為非必要性，當栽培介質養分足夠時，矮牽牛的根便能吸收足夠之養分供應植株生長。在這種情況下，即使接種菌根菌對植株生長亦無幫助。(台灣省農業試驗所提供資料) (圖 71-72) (表 1)

紅豆：高雄三號紅豆品系接種叢枝內生菌根菌在地上部與地下部鮮重均顯著大於對照組。一般而言，紅豆接種菌根菌與不接菌間之生長差異，以不施磷肥者大於施半磷肥者(過磷酸鈣150kg/公頃)，又大於施全磷肥者(過磷酸鈣300kg/公頃)；但是不管接菌組與非接菌組，因為滅菌混合介質磷含量不高，所以施全磷肥者生長最優，施半磷肥者次之，不施磷肥者則最差。(滅菌混合介質含有效磷11ppm；秋作田土含有效磷26ppm)。(屏東科技大學 王均琍教授提供) (表 2)

洋蔥：國立屏東科技大學以苗床及穴盤培育洋蔥苗，並進行接種菌根菌之試驗。結果顯示於育苗期不論苗之頸粗，鮮重與葉片數，均以苗床苗優於穴盤苗組。接種菌根菌組優於未接菌組。移植於田間後之產量，以苗床苗組優於穴盤苗組；接種菌根菌組優於未接菌組。苗床苗組中，接菌施半量追肥者，產量最高(蔥球平均鮮重378克/個)，其次依序為接菌施全量追肥者(339克)，接菌不施追肥者(241克)。穴盤苗組中，接菌施半量追肥者產量最高(蔥球

表 1. 矮牽牛(珍品)於介質中添加米糠並接種不同微生物製劑對生質量與植體磷之影響
Table 1. Effect of rice bran and inoculation of different microbial inocula on the dry weight and P contents of *Petunia hybrida*.

Treatments	Shoot Dry weight (g/plant)	Shoot P (%)	Shoot Total P (mg/plant)
B	2.43 a*	0.31 b	7.5 a
VA+B	2.16 a	0.34 ab	7.3 a
PS+B	2.15 a	0.31 b	6.7 a
NF+B	2.56 a	0.34 ab	8.7 a
VA+ PS+B	2.22 a	0.37 ab	8.2 a
VA+ NF+B	2.42 a	0.35 ab	8.5 a
VA+PS+NF+B	2.11 a	0.38 a	8.0 a

B: rice bran; VA: *G. mosseae* and *G. geosporum*; PS: phsphate-solubilizing bacteria; NF: free-living nitrogen-fixing bacteria.

*: Means separation in columns with the same letters are not significantly different. Duncan's multiple range test, 5% level.

表 2. 不同內生菌根菌及磷肥量對秋作紅豆植株鮮重之影響
Table 2. Effects of different VAM fungi and phosphorous levels on the fresh weight of fall crop adjuki bean

菌種 Ihnocula	地上部鮮重 Top fresh wt.(g)			地下部鮮重 Root fresh wt.(g)		
	磷肥量 hosphorous amount					
	P^0	$P^{1/2}$	P^1	P^0	$P^{1/2}$	P^1
滅菌混合介質 (Sterilized minxer)						
Uninoculated	1.9 c(1)	2.7 de(1)	3.2 d(1)	3.0 g(1)	3.4 g(1)	4.7 g(1)
G. mosseae	8.9 a(4.7)	8.4 a(3.1)	8.1 a(2.5)	17.9 bcd(6)	18.5 bcd(5.4)	19.6 bc(4.2)
G. etunicatum	6.2 c(3.3)	6.8 bc(2.5)	6.8 bc(2.1)	12.2 f(4.1)	12.7 ef(3.7)	15.8 de(3.4)
G. fasciculatum	7.9 ab(4.2)	8.3 a(3.1)	8.1 a(2.5)	16.7 cd(5.6)	21.2 a b(6.2)	23.1 a(4.9)
田土 (unsterilized field soil)						
Uninoculated	12.4 ab	10.3 ab	4.2 c	15.4 abc	13.7 abc	5.8 d
G. mosseae	8.5 b	9.7 ab	11.2 ab	8.6 cd	14.2 abc	16.7 a
G. etunicatum	12.1 ab	11.0 ab	10.6 ab	10.9 bcd	11.9 a-d	16.4 ab
G. fasciculatum	12.6 ab	11.6 ab	13.5 a	11.4 a-d	14.3 abc	14.0 abc

* 表列數字爲五重覆平均值
Each value is the mean of 5 replicates

** 表列英文字母相同者係 Duncan's 多變域法測得 (P=0.05) 不顯著。
Column means followed by the same letter are not significantly different (P=0.05) at Duncan's multiple-range test.

平均鮮重245克/個)，其次依序為接菌不施追肥者(228克)，接菌施全量追肥者(227 克)。本研究顯示育苗方式現階段以苗床育苗法優於穴盤育苗法。(圖 73) (表 3)

表 3. 接種菌根菌不同施肥量對洋蔥產量與產植之影響
Table 3. The effects of 3 level top dressing fertilizer on the yield and value of non-mycorrhized and mycorrhized onion bulbs.

處　理 treatment	平均球重 g/bulb	0.1 公頃產量 kg/0.1ha	產量指數% yield index	產植/元 value/0.1ha	增減收益 元/0.1 公頃
穴盤苗			(plug seedling)		
MTD 0	238	7140	-78	71400	-20700
MTD 1/2	245	7350	-80	73500	-18600
NTD 1	227	6810	-74	68100	-24000
NTD 0	209	6270	-68	62700	-29400
NTD 1/2	198	5940	-64	59400	-32700
MTD 1	205	6150	-67	61500	-30600
苗床苗			(nursery seedling)		
MTD 0	313	9390	102	93900	+1800
MTD 1/2	378	11340	123	113400	+21300
NTD 1	339	10170	110	101700	+9600
NTD 0	272	8160	-89	81600	-10500
NTD 1/2	280	8400	-91	84000	-8100
MTD 1	307	9210	100	92100	0

*M:接種 VAMF，inoculated with VAMF；N:未接種 VAMF，non-inoculated
*TD　0 ：不施追肥，without top dressing fertilizer
* TD 1/2：施半量追肥，Half amount of top dressing fertilizer
TD　1：施全量追肥,，whole amount of top dressing fertilizer
*每 0.1 公頃種植 3 萬株，採收之洋蔥球外銷時價每公斤 10 元。 30,000 seedlings per 0.1ha were planted, bulbs per Kg cost NT $10 dollars at harvest.

蘆筍：接種三種 *Gloms* spp. 皆可顯著促進台南選1號、2號、3號蘆荀幼苗之生長，其中以 *G. etunicatum* 及 *G. fasciculatum* 對盆栽蘆荀生長之促進優於 *G. mosseae* (圖 74) (表4)。穴植盤育蘆荀苗時，添加洋菇栽培用之稻草堆肥，加上VAMF之接種，對其生長頗為有利 (表5)。台灣大學園藝系曾報導磷肥濃度對蘆荀幼苗菌根依賴度%「(菌根植株總乾重／非菌根植株總乾重) x100」之影響，且又探討四種與磷代謝相關的酵素，如酸性磷酵素一般不存在於高等植物中，特性是可分解有機磷而成無機磷，現已證實叢枝體根內及根外菌絲皆有高酵素活性，顯然是由真菌所具有。而植物根部之澱粉，常因形成菌根而迅速分解消失，加上菌根對磷的吸收與利用大有幫助，因此推斷必與澱粉解酵素有關，此外菌根中另有高的ATPase活性，也證實菌根中有較多能量之來源。其中澱粉磷解酵素係以多株抗體作成之酵素定位螢光反應，此酵素為國人自行研究之成果。難能可貴的是供測試的澱粉磷酵素多株抗體係由新

竹食品研究所之張長泉博士所自行研製而成。

表 4. 三種台南選系蘆荀幼苗接種 Glomus spp.菌根菌後之菌根依賴度（%）

Glomus spp.	台南選 1 號	台南選 2 號	台南選 3 號
Etunicatum	1119 a	642 a	633 a
Fasciculatum	1069 a	576 b	621 a
Mosseae	995 b	451 b	468 b
非菌根對照	100 c	100 c	100 c

(Chang, 1986)

表 5. 三個月大穴植盤育成之蘆荀幼苗生長受 *Gloms etunicatum* 及生長介質之影響 x,y

接種及生長介質	植物高度(cm)	莖數	根數	乾物重(g) 地上部	乾物重(g) 根部	菌根感染率%
A. 非菌根對照						
z 介質(1)	22.55 e	2.13 d	3.13 b	0.22 a	0.14 a	—
介質(2)	65.74 a	8.50 a	19.25 a	1.52 a	0.83 a	—
介質(3)	47.36 c	4.00 cd	10.00 b	0.45 a	0.52 a	—
B. Glomus etunicatum 接種						
z 介質(1)	36.89 d	4.88 c	5.25 b	0.27 a	0.22 a	27
介質(2)	66.29 a	8.13 a	19.25 a	1.62 a	0.94 a	25
介質(3)	52.79 b	6.13 b	13.25 b	0.44 a	0.76 a	22

種植日期：1987 年 9 月 8 日至 12 月 8 日

x：所用穴植盤每穴 2x2 吋，75ml 體積，蘆荀爲台南選三號

y：每週施一次 NPK :160:50:120 (mg/l)

z:介質(1)=泥炭苔:蛭石=1:1 (v/v);介質(2)=洋菇用稻草堆肥:泥炭苔:蛭石= 1:1:1 (v/v/v)；介植(3)＝稻穀堆肥：泥炭苔：蛭石= 1:1:1 (v/v/v)

(張, 1990)

蘆荀菌根已證實確有實用價值，使用穴植盤培育而成之菌根蘆荀苗移入田土後，移植存活率高，生長整齊，甚少缺株，且分枝較多，生長迅速，已在嘉義六腳鄉田土試驗獲得證實。另組織培養苗之移植存活率可藉VAMF在移出管外時進行接種而提高20%以上，配合生長介質之選擇，管內發根培養基之選用及移出管外後水份、溫度等之控制，試管蘆荀之移植存活率已可達近100%。

蕃茄：根據台灣大學與桃園區農業改良場合作進行的蕃茄菌根苗的研究顯示，適當控制穴植盤育苗條件可成功地大量生產蕃茄菌根苗。有效的育苗條件為在穴植盤種類選擇上，以128格優於30格，72格及288格育苗盤，能兼顧植株生長及形成相當的菌根感染率。在介質種類上，以BVB四號介質或BVB四號：蛭石 (1:1 v/v)混合介質進行接種效果最好；在接種量控制上，128格穴植盤每格至少需接種2克接種源(或至少50顆孢子)，始能有穩定的菌根感染率；在接種位置的考量上，介質表面覆砂式接種所形成的感染效果較差，而以接種於介質中央或

是將孢子土混在介質中能有較多的菌根形成。在肥料的調配上，磷施用濃度在15ppm左右有最好的感染效果。在栽培品種上，以"台中亞蔬四號"品種的菌根促進效果最佳；在栽培季節上，則以秋作接種效果最佳，以"亞蔬四號"而言，接種繡球屬菌種平均可增產30%。

台灣省農業試驗所以農友301蕃茄經田間直接接種囊叢枝內生菌根菌後，意外發現未接菌之對照組感染細菌性青枯病(*Pseudomonas solanacearum*)後的存活率為2.7%。接種SM- 3 (*Glomus etunicatum*)菌根菌組，其存活率為22.6%。而接種SM-3和SM-4(*Glomus geosporum*) 兩種菌種的蕃茄苗，其存活率為45.1%。

洋香瓜：洋香瓜的推廣工作首推臺灣省農業試驗所嘉義試驗分所的程永雄分所長。他在嘉義和台南等地所做的推廣工作甚獲好評。嘉義分所係以馬糞紙育苗杯裝培養土河砂與雞糞堆肥(4:1)約八分量(肥料分析不詳)，澆水濕潤後，接種囊叢枝內生菌根菌培養土(約含50個孢子)，播種經催芽處理之洋香瓜種子後，再行覆土並放置於溫網室中培養14天。在簡易溫網室及PE塑膠布隧道式之洋香瓜生產上，囊叢枝內生菌根菌植株生長快速整齊, 與對照組比較，可提早七天開花結果與採收; 並提高果品品質。經濟效益分析，囊叢枝內生菌根菌應用在簡易溫網室洋香瓜生產上，每0.1公頃可增加淨收益約22700元。在PE塑膠布隧道式之洋香瓜生產上，每0.1公頃則可增加淨收益約16300元。在簡易溫網室栽培洋香瓜，由於囊叢枝內生菌根植株根群發育健康，配合後續營養之供給及栽培技術之改進，使洋香瓜宿根栽培成功。(圖 75-76) (表 6-7)

木瓜：以台農二號木瓜所進行之接種菌根菌育苗試驗。接種時採用菌根菌*Glomus mosseae*及*G. etunicatum*混合菌種孢子土, 接種原密度為每株植株150個孢子。介質為市售滿地王3 號(全磷含量約65mg/L)、穴盤為82格塑膠穴盤。在四種不同育苗環境下育苗, 溫網室＋50% 遮蔭、簡易溫網室、隧道式白紗網及全日照。試驗結果顯示在滿地王介質下接種菌根菌之木瓜苗感染率為52.7%，其株高、莖徑、葉片數、地上部鮮重、根鮮重、葉面積皆比未接菌者為優，顯示菌根菌能顯著促進木瓜苗之生長 (表 8)。在不同生長環境下, 接菌木瓜苗莖徑、葉片數、地上部鮮重、根鮮重、葉面積以簡易溫網室之生長情形較優，次為溫網室＋50%遮蔭，再其次為隧道式白紗網。雖然溫網室＋50%遮蔭之株高為11.0公分，高於其他三種生長環境，但因其他性狀沒有相對增長，顯然有突長現象。在全日照的生長環境下菌根感染率為41.66%，其次為隧道式白紗網，再其次為簡易溫網室與溫網室＋50%遮蔭。唯全日照環境育苗有感染毒素病與雨害之慮。綜合以上之試驗顯示簡易溫網室之感染率雖非最高，但其生長情形比其他三種生長環境好，且可兼具防雨、防寒、防病蟲害之功能。此外接種菌根菌木瓜苗定植於田間之成活率達92.05%，比未接種者84.75% 為高。(國立屏東科技大學與種苗場屏東分場及高屏地區木瓜育苗場提供資料) (表 9) (圖77)

西瓜：台灣省農業試驗所與桃園區農業改良場於1997年在桃園縣新屋鄉合作進行新冠西瓜品系的接菌試驗。兩種不同栽培介質，一種為市面銷售的商品TKS1 (N：P_2O_5：K_2O= 100-250：100-250：100-250)，約含磷76 mg/L；另一為推薦介質(珍珠石：蛭石：泥炭土(TKS1): 河砂= 1:1:1:1 v/v/v/v)，約含磷19 mg/L。在本試驗中發現所有處理包括對照組和接溶磷細菌組皆顯示有菌根菌感染34~47%。本發現證實試驗地點土壤中的菌根菌(*Glomus manihotis*), 在本試驗中所施用肥料量(氮：磷：鉀=200：200：200)下，仍能有效感染西瓜根部。當地

表6. 內生菌根菌對隧道式洋香瓜生產效益之評估(溪口鄉示範觀察區)

Table 6. Estimation of vesicular−arbuscular mycorrhizal fungi on economical efficiency of muskmelon production in PE sheet tunnel cultivation (Hsikou field trial)

農戶 Farmer	處理* Treatments	面積(公頃) Area (ha)	生產成本[1] Production costs: 種苗費(元) seedlings (NT$)	肥料(元) Fereilizer (NT$): 有機 organic	肥料(元): 化學 chemical	農藥(元) pesticide (NT$)	設施資材 equipment material	包裝材料及運費手續費 packing and transportation	工資(元) labor cost (NT$)	合計(元) Grand total(NT$): 總計 total	合計(元): 0.1公頃 0.1ha	產值(元)[2] Products value (NT$): 總計 total	產值(元): 0.1公頃 0.1ha	純收益(2-1)(元) Net income (2-1) (NT$)	處理間純收益之比較(M-CK)(元) Comparison of net income between treatments(M-CK) (NT$)
陳銘森	M	0.44	26,975	10,515	5,980	37,400	53,215	73,773	46,720	254,578	57,858	428,222	97,323***	39,465	+22,705
	CK	0.02	1,348	478	371	1,740	2,416	2,460	2,124	11,825	59,125	15,177	75,885***	16,760	

*：種植天蜜洋香瓜，M—內生菌根菌接種區；CK—對照區。

Cultivation of Ten−Me muskmelon,M−Seedlings inoculated with vescular−arbuscular mycorrhizal fungi;CK−check.

**：工資：包括整地、作畦、施肥、噴藥、摘心、疏果、採收、架設設施及清理等費用。

Labor costs：Included costs of plow、furrow、fertilization、pesticide application、pinching、thinning、harvest、makeup and clean et.al.

***：M: 每0.1公頃果品特優級398.4公斤×65元／公斤，優級1028.2公斤×45.3元／公斤及良級700公斤×35.5元／公斤之產值。

M：Products value was 398.4kg×65NT$／kg for super good quality,1028.2kg×45.3NT$／kg for good quality,and 700kg×35.5NT$／kg for fine quality per 0.1ha.

CK：每0.1公頃果品特優級170公斤，優級820公斤及良級780公斤之產值。

CK：Production price was 170kg×65NT$／kg for super good quality,820kg×45.3NT$／kg for good quality,and 780kg×35.5NT$／kg for fine quality per 0.1ha.

本生產成本調查資料由農會協助提供。

Data of production costs contributed by local farmers association.

表7. 內生菌根菌對隧道式洋香瓜生產效益之評估 (臺南市示範觀察區)

Table 7. Estimation of vesicular−arbuscular mycorrhizal fungi on economical efficiency of muskmelon production in PE sheet tunnel cultivation (Tainan field trial)

農戶 Farmer	處理* Treatments	面積 (公頃) Area (ha)	生產成本[1] Production costs: 種苗費 (元) seedlings (NT$)	肥料 (元) Fereilizer (NT$): 有機 organic	肥料 (元) Fereilizer (NT$): 化學 chemical	農藥 (元) pesticide (NT$)	設施資材 equipment material	包裝材料及運費手續費 packing and transportation	工資 (元) labor cost (NT$)	合計 (元) Grand total (NT$): 總計 total	合計 (元) Grand total (NT$): 0.1公頃 0.1ha	產值 (元)[2] Products value (NT$): 總計 total	產值 (元)[2] Products value (NT$): 0.1公頃 0.1ha	純收益 (2-1) (元) Net income (2-1) (NT$)	處理間純收益之比較(M-CK) (元) Comparison of net income between treatments(M-CK) (NT$)
1.林文龍	M	0.7	13,992	14,000	6,272	9,000	22,820	57,106	107,650	230,840	32,977	466,100	66,585	33,308	+16,000
	CK	0.05	1,200	1,000	448	700	1,630	4,079	7,689	16,746	33,492	25,400	50,800	17,308	
2.林妙勢	M	0.85	26,000	15,260	4,032	11,000	9,690	37,416	107,775	211,173	24,843	437,631	51,486	26,643	+11,857
	CK	0.05	1,725	897	240	750	570	2,200	6,325	12,707	25,414	20,100	40,200	14,786	

*：種植蜜世界洋香瓜，M—內生菌根菌接種區；CK—對照區。

Cultivation of honey−world muskmelon, M−Seedlings inoculated with vesicular−arbuscular mycorrhizal fungi; CK−check.

**：工資：包括整地、作畦、施肥、噴藥、摘心、疏果、採收、架設設施及清理等費用。

Labor costs: Included costs of plow、furrow、fertilization、pesticide application、pinching、thinning、harvest、makeup and clean et.al.

本生產成本調查資料由農會協助提供

Data of production costs contributed by local farmers association.

表8. 木瓜種子接種菌根菌苗期生育調查結果

處理＼調查日期	株高 (cm)	莖徑 (cm)	葉片數 (片)	地上部鮮重 (g)	根鮮重 (g)	葉面積 (cm^2)	感染率 (%)
接菌	5.94 a	2.479 a	7.50 a	0.389 a	0.312 a	19.99 a	52.70
未接菌	3.89 b	1.995 b	5.85 b	0.213 b	0.156 b	7.81 b	1.66

※直行相同英文字母表經鄧肯氏多變域測驗，差異不顯著（p=0.05）。

註 1.播種地點：屏東分場。

2.播種日期：85/8/14。

3.調查日期：85/9/18。

表9 木瓜不同育苗環境生育性狀比較

	株高 (cm)		莖徑 (mm)		葉片數 (枚)		地上部鮮重 (公克)		根鮮重 (公克)		葉面積 (cm^2)		感染率 (%)	
	接菌	未接菌	接菌	未接菌	接菌	未接菌	接菌	未接菌	接菌	未接菌	接菌	未接菌	接菌	未接菌
溫網室+50%遮蔭	a 11.0	a 8.6	b 3.0	a 2.9	a 6.8	a 6.4	b 1.3	a 1.2	b 0.8	a 0.8	a 47.1	a 42.7	25.00	1.66
簡易溫網室	b 9.7	b 6.8	a 3.7	a 3.0	a 7.2	b 5.4	a 1.5	b 0.9	a 1.1	ab 0.8	a 50.2	b 28.6	26.00	1.66
隧道式白紗網	c 5.8	c 4.9	c 2.4	b 2.3	b 6.3	b 5.4	c 0.6	c 0.5	c 0.6	bc 0.5	b 18.8	c 15.7	38.33	6.66
全日照	c 5.8	d 4.0	c 2.6	b 2.1	b 6.1	b 5.1	c 0.7	c 0.3	c 0.7	c 0.4	b 19.7	c 10.3	41.66	3.00

※直行相同英文字母表經鄧肯氏多變域測驗，差異不顯著（p=0.05）。

註：1.播種地點：種苗改良繁殖場屏東分場。

2.播種日期：87/3/27。

3.調查日期：87/4/30

一菌種(*Glomus manihotis*)易與台灣省農業試驗所提供之菌種(*G. versiforme*)有所區別，因為前者會在根內產孢；而後者不會。本項接種菌根菌與溶磷細菌的試驗中，發現菌根菌的感染有助於西瓜克服多雨淹水的逆境。(圖 78-79)

瓜葉菊：台灣大學園藝系對瓜葉菊蛇目品系(Cineraria, *Senecio cruentus* DC. cv. Snake Eyes) 所做的最佳育成菌根苗的生長條件為 (1)每穴格接種75粒以上之鏽球屬混合菌種(*G. etunicatum, G. mosseae,* and *G. fasiculatum*)，(2)採用蛭石、珍珠石及BVB #4 (佔介質總體積1/2~1/3)之混合無土介質, (3)每週施用一次含1/8及1/4磷強生溶液(Johnson)，(4)栽植於20/15℃ (日夜溫)的環境下, 可得到生長反應及菌根感染情形較佳的菌根苗。又瓜葉菊鴻巢品系(Cin-

eraria, *Senecio cruentus* DC. cv. Kounosu)栽植於15/13℃下接種鏽球屬混合菌種者，有最佳的地上部及地下部鮮重, 且與每週施1/4磷強生溶液未接種組之間已達顯著差異，其生長量亦高於施全磷未接種組。在四吋盆中以BVB#2介質：蛭石：真珠石 1：1：1(v：v：v) 為介質生長之植株，接種可使之提早開花6-9天，且明顯提高植株開花數0.5-1倍左右，其中又以接種鏽球屬混合菌種者花朵數最多。栽植於20/15℃可比15/13℃者提早開花一週到二週左右, 而栽植於15/13℃之下可比20/15℃明顯增加單株花朵數0.5倍左右。提高磷肥施用量可增加兩品種之植株花朵數, 但藉由接種可達到相同或更好之效果，接種可減少磷肥用量約達正常用量(62 ppm)的3/4。(圖 80) (表 10)

表10 栽植於簡易溫室中叢枝內生菌根對瓜葉菊植株開花之影響 (84.11.04~85.03.27)
Table 10 Effect of VAM on flowering of cinneraria (cv. Kounosu and Snake Eyes) in plastic hoouse.

Cultivar	Johnson solution	Inoculum	Flower no.	Days to flower
Kounosu	Full P	-VA	200a	125a
	1/4P	-VA	150c	122a
	1/4P	GM	202a	118b
	1/4P	*Gigaspora gigantea*	180b	119b
Snake Eyes	Full P	-VA	105a	133a
	1/4P	-VA	87b	132a
	1/4P	GM	106a	127b
	1/4P	*Gigaspora gigantea*	91b	130ab

4 replicates for each treatments
GM: Mixture of *G. etunicatum, G. mosseae*, and *G. fasiculatum.*
Medium: BVB #2: pearlite: vermiculite=1:1:1 (v/v/v) with 16ppm P.
Full P (62ppm), 1/4 P (15.5ppm) of Johnson solution.
Means followed by different letters are significantly different at 5% level by Duncan's Multiple Range Test.

試管苗之移植：試管蘆荀、香蕉、非洲菊及春香草莓 (表11) 等小苗可藉著VAMF之接種而提高移植存活率，且能促進其生長。其中組織培養香蕉苗沒有移植存活率低的問題。但其他三種作物移出管外，多少都會感染黴菌而死亡，或許此時VAMF係扮演著交叉保護的效果。菌根春香草莓試管苗可生產近乎加倍的走莖小苗，且這些小苗之草莓果實產量約可增加20%以上，更可發現菌根草莓植株可比非菌根者有10% 提早1-4週開花結果之功效，通常早生草莓可為農戶帶來不少利潤 (圖 81-82) (表 11-12)。

表11. 組織培養春香草莓苗移到缽中，以土：沙 (1:1 v/v) 或根基旺爲生長介質，及接種 Glomus spp. 與否之移植存活率(%)

處　　理	生長介質	
	土：沙 (1:1 v/v)	根基旺 x
非菌根對照	65 b	78 b
Glomus etunicatum	85 a	98 a
Glomus fasciculatum	86 a	95 a
Glomus mosseae	89 a	93 a

x：已商品化，由泥炭苔：蛭石：珍珠石：雞糞= 4:4:2:1 v/v 之混合介質
(張, 1992)

表12. 組織培養春香草莓苗移出管外種植5個月受Gloomus spp. 接種與栽培方法影響之走莖生產量

處　　理	缽植(土：沙＝1:1 v/v 混合物)	田土栽培
非菌根對照	5.0 b	27.0 b
Glomus etunicatum	4.5 b	42.1 a
Glomus fasciculatum	7.5 a	46.6 a
Glomus mosseae	4.3 b	23.2 b

表13. 缽植春香草莓菌根與非菌根之產果量[x]

處　　理	產果量				總鮮果重 (g)	平均每粒果鮮重	產果指數
	4月	5月	6月	總數			
非菌根對照	71	32	11	114	686	6.02	100
Glomus etunicatum	75	61	23	159	876	5.51	139
Glomus fasciculatum	107	47	23	177	1049	5.93	155
Glomus mosseae	65	44	29	138	880	6.38	121

x：每處理有30株植株，且每株種在以根基量爲介質之5吋盆中
(張, 1990)

囊叢枝內生菌根菌與其它根圈微生物的複合接種效應

由於有越來越多的研究指出菌根菌與其它根圈微生物複合接種的效果較菌根菌單一接種來得好。在台灣省農業試驗所與台南區農業改良場以及花蓮區農業改良場合作，進行溫室及田間微生物肥料複合接種試驗的研究，發現以囊叢枝內生菌根菌，配合以根圈或根表面之

有益微生物，如溶磷菌、固氮菌等共同接種於瓜類(如西瓜、苦瓜、洋香瓜等)，花卉(菊花、百合等)，果樹(柑橘、柚子等)，蕃茄等的植株幼苗之根域時，可以明顯促進作物之生長及產量。將菌根菌與其它根圈有益微生物搭配使用，將是未來使用微生物肥料的一大趨勢。茲將菌根菌以及複合微生物製劑接種於苗木的實例，介紹於后。

文旦柚：本項試驗係由台灣省農業試驗所與花蓮區農業改良場合作進行之文旦柚接種複合微生物製劑的試驗。栽培介質為河砂與蛭石之混合物 (1：1 v/v)。花蓮縣瑞穗鄉以北之河砂多為鹼性，其pH值約9.0。磷礦石粉與栽培介質一起混合，其添加量為每升的介質加 24 g。磷礦石粉P_2O_5含量為32~33%，由臺灣肥料公司購得。米糠之添加量為每升24g，米糠氮含量1.95%，磷含量為1.91%。在鹼性的栽培介質中，單獨接種菌根菌對苦柚生長幫助不大，磷礦石粉在鹼性與中性的土壤中，很難被植物吸收利用，即使是菌根植物亦無法利用。添加米糠後，明顯促進苦柚之生長，米糠是一種很好的營養來源，除了明顯提高栽培介質磷的含量外，亦可降低栽培介質之pH值，使營養元素之有效性提高。文旦柚之砧木(苦柚)經接種菌根菌、溶磷菌、固氮菌等之複合微生物肥料八個月後，可以明顯促進株高，比對照組高29公分。此外，對於葉面積及葉數亦有明顯的增大及增多的效果。(圖 83)

百合：自亞洲型吉百合(Elite)鱗片所發育之小鱗莖，移植於簡易栽培介質內(蛭石：石英砂=1：1 v/v) 並與一般農民所用之泥炭土做比較，發現經接種上述之複合微生物肥料五個月後，於簡易栽培介質內，球莖之周徑可達7.5cm，較對照組4.6cm，明顯有促進球莖增大的效果。但是，若與泥炭土介質做比較，則在種球大小上並無顯著差異。該批種球種植於生育調查後繼續種於原介質中，四個月後，繼續觀察其株高、葉數、開花率等發現，以百合種球添加米糠後再接種溶磷菌之處理(PS+B)，百合株高33.1cm，葉數35.8 葉，花朵數0.6朵，開花率55.6%，百合生長勢與添加米糠之處理(B)無明顯差異。添加米糠後再接種固氮菌之處理(NF+B)，百合株高37.5cm，葉數37.3葉，花朵數0.3朵，開花率33.3%，百合生長勢與添加米糠之處理(B)無明顯差異。添加米糠後再複合接種菌根菌與溶磷菌之處理(VA+PS+B)，百合株高57.4cm，葉數52.0葉，花朵數1.2朵，開花率80.0%，百合生長勢明顯比只添加米糠不接菌之處理(B)好。(圖 84)

表14. 不同磷肥濃度對囊叢枝菌根菌感染蘆荀幼苗比率之影響

Table 14. Influence of different P (phosphorus) concentration on the mycorrhizal infection percentage of asparagus

Fertilizer	Seedling age			
N:P:K (mg/l)	30 days (%)	45 days (%)	55 days (%)	150 days (%)
160:0:120	24	76	83	—
160:20:120	24	58	79	—
160:40:120	17	42	74	—
160:60:120	0	0	2	50

* Medium: soil:sand = 1:1.

** "—": not determined.

洋桔梗：由台灣省農業試驗所進行之複合微生物肥料開發試驗中發現矮性洋桔梗經接種菌根菌等微生物後,可促進開花與生長等效果。栽培介質為蛭石、真珠石與泥炭苔之混合物(體積比6：3：1)。泥炭苔為 pH 值近於6，無添加養份之商品。磷礦石粉與栽培介質一起混合，其添加量為每升的介質加 24 g，每盆栽培介質的量為3升。磷礦石粉P_2O_5含量為32~33%，由臺灣肥料公司購得。在栽培介質中添加12g的米糠(212.4mg- P/L)，接種菌根菌亦可感染，在接菌116天後，菌根感染率可高達77%，且接種菌根菌與不接菌之對照組比較，可明顯增加洋桔梗地上部與根之乾重，地上部乾重增加17%，根重增加56%，花朵數亦增加，但不顯著。矮性洋桔梗接菌的六個處理皆比未接菌的對照組(B)提早10天以上開花。接種菌根菌，可明顯增加洋桔梗地上部與根之乾重，地上部乾重增加17%，根重增加56%，花朵數亦增加，但不顯著。接種菌根菌後再接種溶磷菌之處理，與單獨接種菌根菌之處理無明顯差異。接種菌根菌後再接種固氮菌，在接菌116天後與不接菌之對照組比較，可明顯增加洋桔梗之地上部與根之乾重，地上部乾重增加42%，根重增加53%，花朵數亦明顯增加，每株花朵數增加2.2朵，而接種菌根菌後再接種固氮菌之處理，與單獨接種菌根菌之處理比較，可明顯增加洋桔梗地上部之乾重22%，花朵數亦明顯增加，每株花朵數增加1.5朵，根之乾重則無明顯差異。接種菌根菌後再接種固氮菌與溶磷菌，在接菌116天後與不接菌之對照組比較，可明顯增加洋桔梗之地上部與根之乾重，地上部乾重增加39%，根重增加56%，花朵數亦明顯增加，每株花朵數增加3朵，而接種菌根菌後再接種固氮菌與溶磷菌之處理，與單獨接種菌根菌之處理比較，洋桔梗地上部與根之乾重則無明顯差異，但花朵數明顯增加，每株花朵數增加2.3朵。(圖 85-92)

表15. 不同磷肥濃度對四月大栽植於殺菌介質中接種及不接種菌根蘆荀幼苗之生長影響

Table15. Influence of different P (phosphorus) concentration on the growth response of 4-month-old mycorrhizal and nonmycorrhizal asparagus seedlings grown in sterilized medium

Fertilizer N:P:K (mg/l)	Stem No.	Root No.	Shoot dry Wt. (g)	Root dry Wt. (g)	Plant dry wt. (g)
Non-inoculated					
160:0:120	3.8^{c}	4.8^{d}	0.050^{d}	0.142^{d}	0.192^{e}
160:20:120	4.6^{c}	7.4^{d}	0.336^{d}	0.280^{d}	0.616^{e}
160:40:120	7.8^{b}	15.6^{c}	2.464^{e}	1.170^{c}	3.634^{d}
160:60:120	9.0^{a}	24.4^{b}	4.352^{b}	2.396^{b}	6.748^{e}
Inoculated					
160:0:120	9.4^{a}	27.6^{ab}	6.386^{a}	3.510^{ab}	9.896^{b}
160:20:120	10.4^{a}	32.2^{a}	6.744^{a}	3.316^{ab}	10.060^{b}
160:40:120	11.4^{a}	26.2^{b}	6.748^{a}	2.948^{b}	9.696^{b}
160:60:120	110.6^{a}	32.6^{a}	7.648^{a}	4.264^{a}	11.914^{a}

* Medium: soil:sand = 1:1

** Sterilization condition: 121 C, 15 psi for 40 min.

叢枝內生菌根菌在推廣工作上所遇到的難題

政府在過去十年來積極推廣菌根菌給農友，並配合減量施肥的措施，期能達到永續農業經營的理念。在過去的十年中，農業試驗所嘉義分所以及若干農業改良場曾辦理過許多菌根菌接種於洋香瓜、西瓜、苦瓜、蕃茄等的田間試範觀模等活動，菌根菌在田間的表現也深受農友的肯定，因此筆者相信有許多的農友聽過或知道菌根菌這個名詞。但是，農友如何取得或到何處購買囊叢枝內生菌根菌種，卻一直是我國菌根菌推廣工作上所面臨的最大難題。在過去，推廣工作所需的菌種大都由嘉義試驗分所程永雄分所長提供，但是該單位的人力及空間有限，因此生產的菌種量一直無法突破400公頃的推廣面積。所幸行政院農委會已於八十五年六月一日正式將叢枝內生菌根菌種源的生產技術轉移給禾豐集團的磊鉅實業股份有限公司(台中市工業區工業十路9號)和臺灣生研股份有限公司(台中市崇德路一段154-6號1樓)兩家廠商進行生產，相信今年的夏季將可見到菌根菌產品的上市。

菌根菌在溫室育苗或田間的應用上需注意的事項

(1)作物是否可接種菌根菌?

囊叢枝內生菌根菌，可與許多的植物形成菌根。從苔蘚植物，蕨類植物，裸子植物到被子植物。從一般陸生植物，耐鹼植物，水生植物到旱生植物。而根據德國斯爾丁教授(Sieverding)的估計，在熱帶植物中，約有13.4%為非菌根植物，70.9%為囊叢枝內生菌根植物，15.7%為其它菌根植物。在已知非菌根植物中，包括莧科、十字花科、石竹科、藜科、鴨趾草科、玉蕊科、馬齒莧科、山欖科、蓼藜科等。有些植物不但可形成囊叢枝內生菌根，也可與其它真菌形成外生菌根，例如胡桃科, 田麻科, 楊梅科, 楊柳科, 殼斗科, 蘇木科。因此，在一般十字花科的葉菜類種苗，莧科的莧菜等就無法來接種菌根菌了。但大多數其它的作物如瓜果類(木瓜，洋香瓜，草莓等)、疏菜類(胡瓜(喜燕、鳳燕、瑞綠、萬綠), 茄科(蕃茄(台中亞蔬四號)、青椒、甜椒、茄子等)、豆科(大豆，矮性四季豆，紅豆，豌豆等)、菊科(萬壽菊，菊花(黃秀鳳、湯匙粉、中崙紅)，非洲菊，孔雀草，霍香薊、大理菊、蜘蛛菊，金盞花等)、香蕉、柑橘，玉米，蘆筍，蔥，茶，百日草，矮牽牛、百合，一串紅、西洋櫻草、繁星花、馬櫻丹、雪茄花等不勝枚舉，皆可接種叢枝內生菌根菌(圖93- 94)。在森林苗木方面如銀杏、紅檜，臺灣杉、巒大杉、紅豆杉、牛樟、臺灣扁柏，楓香，柳杉、小葉南洋杉，相思樹等也是可形成囊叢枝內生菌根。

(2)菌種的孢子濃度

每種叢枝內生菌根菌用來接種苗木的孢子濃度不一樣。根據仙克(N. C. Schenck)博士的"菌根研究理論與方法"一書所記載，一般情況下，以沙為例，每一克的介質所需的菌種量為0.6~1個孢子即可。以色列方面以青椒所做的試驗結果，則推薦每毫升的介質含有1個孢子的濃度，是讓青椒在以沙為介質的盆栽育苗中能充分感染的基本需求量。臺灣省農業試驗所嘉義試驗分所所做的的試驗研究指出洋香瓜接種菌根菌 *Glomus clarum*，基本需要之孢子濃度為50孢子/株苗。臺灣大學園藝系張喜寧教授則推薦100孢子/株苗。基本上，

較大的孢子如 *Glomus mosseae, Gigaspora* sp., *Scutellospora* sp.等經冷藏打破休眠後，發芽率較高，因此所需的基本接種濃度也會跟著降低。

(3)介質或土壤的酸鹼值

囊叢枝內生菌根菌在臺灣的分布，受到土壤條件、耕作制度，地理位置等因素的限制。以菌種的種類來說，土壤的酸鹼值可能是一決定性的因子。以強酸性土壤而言，如生長在陽明山國家公園硫磺口的五節芒其土壤酸鹼值2.7，在它的根圈中發現有 *Entrophospora columbiana*；又如在溪頭臺大實驗林區的竹林中(酸鹼值3.11)，發現 *Entrophospora infrequens*。*Entrophospora* 屬的菌根菌似乎較喜愛酸性土壤，但在墾丁國家公園的雜草根圈發現的 *Entrophospora kentinensis*，對於土壤的酸鹼性卻有較寬的容忍度。以不同輪作制度而言，水稻連作的田區，其土壤酸鹼值變化較穩定，在5.5到6.5之間。水稻根圈土壤中主要的內生菌根菌種以 *Gomus mosseae* 為主。在中部地區近兩年的調查結果顯示，此一菌種與水稻的親合性十分穩定，且產孢高峰期在二月至四月間。在玉米連作田中，土壤的酸鹼值較低，在4.5~5.5之間，主要的菌種是 *Gl. manihotis, Acaulospora tuberculata* 等。Acaulospora屬的菌根菌大多存在於酸性土壤中，但 *A. scrobiculata* 則常在鹼性土壤(海濱地帶或離島地區)中發現。常在鹼性土壤中所發現的菌種還有 *G. pansihalos*。該菌種在東部太魯閣國家公園及東部的河岸邊雜草根圈十分常見。同樣為嗜酸性土壤的菌根菌(*Glomus fasciculatum, Acaulospora laevis*)，但前者的最佳適應值為pH5.8；後者為pH4.8。因此，在接種菌根菌於育苗介質前，農友宜先了解所配製的介質及所使用的菌種的適應酸鹼值。

(4)介質或土壤的有效磷濃度

菌根菌與磷肥的關係，在過去一向是被菌根菌學者研究的主要題材之一。我們相信過多的有效性磷肥對菌根菌的接種及產孢是有不利的影響。但是，是不是所有的菌根菌種類皆有如此的傾向，以及在我國的土壤條件下，不同的作物在不同有效性磷肥的濃度下，會對菌根菌產生不同的接種效應，則有待我們來找出答案。但經由上述的接菌試驗結果顯示，不同作物對於土壤或介質中有效磷濃度的反應各有不同。有些作物對於磷的需求較低(或吸收能力較強)，例如矮牽牛，百日草等。而有些作物如百合，文旦柚，洋桔梗等，卻是對磷需求較高(或是吸收能力較弱)。因此所謂的低磷或高磷情況是相對的，因植物所需的磷肥強度以及當時種植土壤的磷肥含量而定。

有關施加磷肥量與菌根菌感染植株的研究，我國過去可供參可的研究報告不多。以台灣大學園藝系所做的蘆筍試驗中顯示，蘆筍幼苗接種 *G. etunicatum* 並以60毫克/公升磷肥處理55天時，根部感染率只有2%。4或5個月後，則有50%的感染率。而其它中低磷肥濃度處理者，僅需55天其感染率便可達70%以上。以完全不施用磷肥之接種菌根菌蘆筍而言，較施以60毫克/公升磷肥之未接種菌根菌蘆筍生長量多了約50% (表14-15)。

英國的亞斯瑪(A. E. Asmah)在兩種酸性土壤(pH. 5.3 & 4.7)種植玉米所得的研究結果顯示在上述的土壤中施加過磷酸鈣550公斤/公頃時，對於菌根菌的感染並沒有影響。當施加量降低到275公斤/公頃時，菌根菌的感染率有顯著的增加，但對於玉米乾重量則不顯著。此種現象顯示半量的磷肥供應仍超過玉米所需的基本量。

(5)介質或土壤中有機質的含量

有機農法的觀念，目前在民間極為流行。甚而有農民及消費者誤認為只要添加有機堆肥或以此為介質所種出來的蔬果即為有機蔬菜或有機水果。事實不然，大量的使用堆肥或其它有機質，並非對作物生產有利。反而，生物性肥料如菌根菌的使用，在有機農法中將會逐漸受到農民的重視。但是菌根菌的施用與堆肥用量的多寡有密切的關係。不完熟的堆肥或過多的堆肥都足以讓菌根菌無法發芽或產孢，而無法發揮功用。德國斯爾丁所做的堆肥施用量與菌根菌接種效應的研究中指出堆肥施用量在5噸/公頃時，對於產量與菌根的感染率皆有正面的影響。但是根據布雷雪爾(A. Brechelt)所做的研究指出，若添加不完熟的堆肥且添加量由5噸/公頃增加到30噸/公頃時，則對菌根菌的感染則有負面的影響。可能的原因是堆肥所釋出的氨氣所致。臺灣省農業試驗所在盆栽中所做的試驗顯示河沙與豬糞堆肥以9:1的混合比例下，苜蓿無法被囊叢枝內生菌根菌感染。此外，堆肥或其它有機質如泥炭土等在製作的過程中是否添加化學肥料等，也可能影響菌根菌的接種。台灣省農業試驗所與台南區農業改良合作的試驗顯示聖女小蕃茄於不同比例混合的泥炭土與珍珠石之介質並接種菌根菌後，泥炭土含量越高(65%)對菌根菌接種效果越差，反之泥炭土含量降至35%，珍珠石含量提高到65%時，菌根菌之接種效果越顯著 (圖 95-97)。

(6)田間或溫室的管理包括農藥、殺草劑等的使用。

田間的化學藥劑包括土壤燻蒸劑、殺菌劑、殺蟲劑、殺草劑等。這些藥劑大多對菌根菌並沒有負面的影響，但是有少數則有抑制菌根菌發芽或感染植株，以及促進產孢或感染的兩極化的影響。免賴得(Benomyl)、腐絕 (Thiabendazole)、甲基多保淨(Topsin)、三得芬(Calixin)、賽福寧 (Triforine)、三泰芬 (Triademifon)、Imugan、Banrot等，不只是影響菌根菌孢子的發芽與感染植物根部而已，這些藥劑甚至會減少菌根菌菌絲在根內部的發展。使用土壤燻蒸藥劑如溴化甲烷, 或水蒸氣等來消毒土壤後, 因為會殺死大多數土壤中的有益微生物包括菌根菌, 因此我們建議農友使用菌根菌來幫助作物生長或是種植接有菌根菌的幼苗, 來克服可能面臨生長停滯的困境。然而，氯乃普(Demosan)、福賽得 (Fosetyl-Al)、滅達樂 (Ridomil)、依得利(Terrazole)等殺菌劑不但會增加菌根菌的感染率，甚而提高在根圈土壤中的產孢量。由於農業用藥的推陳出新，這些新的藥物與菌根菌的相互影響的研究，則有待我們的研究人員再接再厲的努力了。

(7)叢枝內生菌根菌之宿主專一性 (Host specificity)

叢枝內生菌根菌並沒有宿主專一性。同一種植物可以和不同的囊叢枝內生菌根菌形成菌根。囊叢枝內生菌根菌是否會感染植株，主要是受限於植物本身。只要是植物本身可以形成囊叢枝內生菌根，那麼宿主便會與當時適當的菌種結合形成菌根。

(8)叢枝內生菌根菌之菌種的儲存

根據臺灣大學園藝系所做的菌根菌孢子發芽試驗，顯示 *G. mosseae* 和 *G. etunicatum* 兩種菌種經儲存4℃三個月後，在濾膜上28℃，可於一週內得到最高之發芽率。

叢枝內生菌根染色技術

簡易設備:

- 水鍋 (或高壓殺菌斧)
- 固定液FAA
- 1%HCl
- 10% KOH
- 鹼性雙氧水
- 01% Acid Fuchsin-Lactic acid溶液

步驟:

1. 將根洗淨後，固定於FAA1溶液。
2. 取出固定後的根段， 置於10% KOH溶液中過夜，或經高壓殺菌斧加熱十分鐘。
3. 以自來水洗淨KOH溶液後， 加入1% HCl溶液3~4分鐘。
   ** 若根段為暗色(如褐色或黑色)， 則先以鹼性雙氧水2處理，直到根的顏色漂白為止。 漂白後的根段，待洗淨雙氧水後， 再加入1% HCl溶液酸化根段3~4分鐘。
4. 倒出1% HCl溶液後，加入0.01% Acid Fuchsin-Lactic acid溶液3靜置四小時或經高壓殺菌斧加熱十分鐘。
5. 倒出Acid Fuchsin-Lactic acid溶液，並以不含Acid Fuchsin的Lactic acid-Glycerol 溶液洗去染劑後，在顯微鏡下觀察。

註:

FAA：Formalin-Aceto-Alcohol溶液係福馬林、冰醋酸及50%的酒精，以90:5:5 (V/V/V)的比例混合。

鹼性雙氧水：3ml NH_4OH + 30 ml 10% H_2O_2 + 567 ml tape water

0.01% Acid Fuchsin-Lactic acid 溶液: 875 ml Lactic acid + 63 ml Glycerol + 63 ml tape water + 0.1 g Acid Fuchsin.

囊叢枝菌根(VAM)之煮根染色法 (台大 張喜寧教授提供)

A. 藥品製備

1. 2.5% KOH
2. 3% H_2O_2 or alkaline H_2O_2 (3ml 20% NH_4OH + 30 ml 3% H_2O_2)
3. 1% HCl

4. 染色劑：acidic glycerol solution (500ml glycerol + 450 ml H_2O +50ml 1% HCl + 0.5g Aniline blue)
5. 去色液：acidic glycerol (500ml glycerol +450ml H_2O +50ml 1% HCl)

B. 方法及步驟

1. 用清水將根洗淨。
2. 將根放入試管中，加入2.5%KOH (淹過根頂部)，以水浴法90℃ 煮10~20分鐘。(視材料根之軟硬而增減時間)
3. 倒出KOH，並以清水沖洗三次
4. 加入3% H_2O_2 or alkaline H_2O_2 浸三分鐘
5. 以1後HCl ，酸化五分鐘
6. 倒出HCl，加入染色劑，以水浴法90℃煮10~15分鐘或過夜。
7. 倒出染色劑，加入去色液。
8. 在顯微鏡下觀察。

舊法：

A. 透明：10% KOH (時間方法同前)

B. 漂白：3% H_2O_2 or Alkaline H_2O_2 (將3ml NH_4OH加入30ml 10% H_2O_2 ，再加入567ml H_2O

C. 酸化：1% HCl

D. 染劑：a. 乳酸甘油 (Lactoglycerin)

0.5g Aniline blue or Trypan blue溶於875ml Lactic acid, 63ml Glycerin, 62ml H_2O

b. 改良式乳酸甘油(Modified Lactoglycerin)

0.5g Aniline blue or Trypan blue溶於386ml Lactic acid, 354ml Glycerin, 230ml H_2O

*Lactophenol毒性強，最好不用

附註：Koske, R. E. and J. N. Gemma, 1989. A modified procedure staining roots to detect VA mycorrhizas, Mycol. Res. 92(4):486-488.

叢枝內生菌根感染長度之測定

建立植物根系被叢枝菌根菌 (Arbuscular mycorrhizal fungi) 感染之長度，有很多的方法可以利用，詳見 Kormanik 與 McGraw (1982) 所述。格子線交叉法 (The gridlineintersect method) 為一較便利的方法，可同時建立所觀測根系總長度與受感染之根長 (G iovannetti 與 Mosse，1980) , 可進一步於測數感染根系數時，同時觀測菌絲著生強度 (intensity)，評估根系內菌絲量。於 15 × 15cm^2 的透明膜(通常用完全透光的塑膠膜)上畫0.5英吋之方格備用。另將已染色的根系置入培養皿內，將格子線透明膜置放在培養皿之下方，置顯微鏡上觀測。觀測時培養皿之上與左緣務必與格子線相截，而後由上而下，而左而右，測數根系與格子線交叉點的數目，記錄總觀測之點數 (a) 及其中被菌絲感染之點數 (b) 。或用 10 × 20倍之顯微鏡更詳細觀測根內菌絲密度，依根內菌絲量分成五級 (Christie 等，1978) 即未感染為 [0]，感染面積佔根面積25% 以下為[1]，26-50%為[2]，51-75%為[3]，越過75%則為[4]。計算方法如下：

A. 感染率 = b/a × 100%

B. $$\text{感染強度} = \frac{0.V + 1.W + 2.X + 3.Y + 4.Z}{V + W + X + Y + Z}$$

V. 於交點上不含菌絲之根段數。

W. X.Y.Z 依次為交叉點上所觀測到的根段，菌絲所佔之面積為25%以下，26-50%，51-75%及75%以上。

參考文獻

1. Christie，P., E. I. Newman, and R. Campbell. 1978. The influence of neighbouring grassland plants on each others endomycorrhizas and root-surface microorganisms, Soil Biol. Biochem. 10：521-527.
2. Giovannetti, M., and B. Mosse. 1980. An evaluation of technigues for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84：489-500.
3. Kormanik, P. P., and A. C. McGraw. 1982. Quantification of vesicular- arbuscular mycorrhizal in plant roots. *In:* Methods and principles of mycorrhizal vesearch, N. C. Schenck (Ed.). Am. Phytopathol. Soc., St. Paul, USA. Pp.37-45.

國際菌根菌種原中心(INVAM)簡介

前　言

囊叢枝內生菌根菌是土壤中的有益微生物。由於菌種的種類很多,在不同的土壤條件下有不同的菌種出現，這些生態條件對於在田間的接種試驗有重大的影響。因此，菌種的鑑定與繁殖技術是菌根菌的生態及應用研究上所不可或缺的。但由於菌根菌是一種共生性的真菌，培養不易，有關這方面的研究直到本世紀末才逐漸受到重視，因此我們人類對菌根菌的了解仍相當有限。菌根菌的分類觀念到目前為止仍在不斷的進步與改進中，因此有許多早期所發表的菌種名稱或描述大多與目前的分類觀念不相吻合，往往造成研究人員的混淆。同時目前仍有許多所發表的菌種是根據田間所分離的孢子逕行鑑定後所描述的，這些菌種經繁殖成功，且再次鑑定後，常有令人意想不到的結果發生。其中不乏許多權威者所描述的菌種與先前已發表的菌種是相同的。例如 *Glomus fistulosum* 和 *G. fragillistratum* 是由丹麥研究者所發表的新種，可是這兩種經由盆栽繁殖後竟然是 *Glomus claroideum* 和 *G. mosseae*。由此可知，菌種的繁殖工作的重要性。若無活的菌種做比較，而只是一昧的以土壤中所分離的孢子鑑定，可能會造成研究者日後更多的困擾。臺灣地區的菌根菌資源相當豐盛。此次由台灣省農業試驗所吳繼光博士帶往國際菌根菌種原中心來自臺灣的菌根菌種經與Dr. Morton 討論後，證實有一世界新屬與兩種世界新種的發現。同時這新屬將為目前的菌根菌分類觀念帶來新的影響。

臺灣雖然面積只有36000平方公里，但是我國卻擁有海拔4000公尺的高峰與從溫帶到亞熱帶各種不同的生態環境。在這種特殊的天然條件下，蘊育出不少世界上珍奇的生物。近年來臺灣土地的高度開發以及農民使用化學肥料與農藥的結果，有許多的生物都在瀕臨於絕種的邊緣。對於土壤中有益的菌根菌，若能成立菌根菌種原中心予以保存繁殖，這些資源不僅可供我國及鄰近的亞洲國家開發生物性肥料並鼓勵農民減少肥料及農藥的使用，共同維護地球村的永續發展外，並可以透過國際網路的建立將本菌種中心的收藏與美國國際菌根菌種原中心(INVAM)及法國歐洲菌根菌種原庫(BEG)聯線進行種原交換與繁殖技術的交流。

國際菌根菌種原中心介紹

美國國際菌根菌種原中心(International Culture Collection Center of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi)(簡稱: INVAM) 首先是由美國佛羅里達大學植物病理系教授Dr. Norman Schenck於1985年所創立的，所收集的菌種來自世界五大洲。稍後因為Dr. Norman Schenck的退休，而於1990 年10月將該中心轉往西維及尼亞大學由Dr. Joseph B. Morton接手。當時經由Dr. Norman Schenck所移交的菌種共有270個保存於液態氮的分離株

及57個乾燥菌種。西維吉及亞大學目前有超過1043個菌株，67種菌根菌及44種尚未命名的新菌種。這些菌株共來自37個國家或地區。所收藏的菌株種類佔目前已發表的50%以上。為避免因天然災害或不可抗拒之因素而造成收藏菌種的毀滅，另以保存於液態氮之複製菌株存放於明尼蘇答大學Dr. Frank Pfleger的實驗室中。IVAM目前有工作人員七名。中心主任由Dr. Joseph B. Morton擔任，下有一副主任(博士後研究)，負責整個中心業務的推動 他是由美國國家科學基金會所資助的研究人員 另有技術助理一人，Mr. Bill Wheeler負責菌種的分離繁殖與保存等工作。其它人員均為博士班或碩士班研究生。INVAM整個機構設在美國西維吉尼亞州，摩根城，西維吉尼亞大學的植物病理及環境微生物系大樓內(Brooks Hall)。(圖 98)

INVAM的溫室及實驗室等位於第四及第五樓層中(圖 99-103)。硬體部份包括一間密閉式溫室，佔地約5.6坪，內部以冷暖氣進行溫度調控(24-31℃)；一間工作室(Headhouse)，即位於溫室旁，佔地約3坪，是分離孢子與置放消毒過的盆缽之處；一間室內生長房(Growth Room)約五坪大，室內以冷氣空調及植物生長燈照明，用以繁殖一些對溫度及光照較敏感和來自其它國家需要檢疫的菌種；兩間冷藏庫各佔面積約1.5和4.5坪，溫度維持在4℃，用以儲存乾燥菌種；兩台4℃低溫生長箱，用以保存來自溫帶地區的菌種；另來自熱帶或亞熱帶地區的菌種則儲存於20℃的庫房內；一間佔地16坪的實驗室，用以進行菌種鑑定，菌根染色等研究，內有Nikon Optiphot干涉位相差(DIC)及表面螢光(epifluorescence)顯微鏡兩部，五台解剖顯微鏡並配備照相系統，五部個人電腦，三台雷射印表機，一套錄影影像處理系統。這套錄影影像處理系統可直接自顯微鏡補捉影像後，直接印製成相片或存儲於電腦中，並透過國際網路製成電子網頁，供各國研究人員查詢。

INVAM的經費主要來自美國國家科學基金會(National Science Foundation)的支援。自1991年到1996年的研究經費約1000萬元新台幣，這些經費主要是支付中心副主任(博士後研究)的薪資，研究生的獎助金及一般消耗性器材等。為設立國際電腦網路及INVAM的獨立網站(web site)，美國NSF於1995~1996年另支援約140萬元新台幣。該國際網站目前不只提供菌種繁殖的技術資訊，並提供線上查詢37種菌種的鑑定資料與圖片。這些資料並在不斷的增加中。該網站的網址是: invam.caf.wvu.edu。在未來的五年(1996~2001)，INVAM的研究經費為1500萬新台幣。國際菌根菌種原中心的設立主要是為了能提供菌根菌種原(germ plasm)，印證標本，菌根菌分類與繁殖技術之資訊，與訓練課程給研究人員從事菌根菌研究之用。自1991年迄今，已有50位訪者前往該中心研習，其中36位為專業研究者，另14位為研究生。

INVAM菌根菌菌種保存費用之成本，以單一菌種而言，每一公升約需美今380元，折合臺幣約10，000元。這項費用包括了(I)生長介質，盆缽，生長架等(US$ 10)。(II)接種原的準備及誘導菌種的設置等(US$ 10)。(III)菌種(混合)保存120 天(US$ 90)。(IV)菌種(混合)的採收與保存工作之手續費用(US$ 10)。(V)孢子分離與鑑定 (US$ 50)。(VI)孢子之準備與單一菌種的設置 (US$ 25)。(VII) 單一菌種之保存120天 (US$ 60)。(VIII)菌種(單一)採收與保存之手續費 (US$ 10)。(XI) 菌種之放大量產(US$ 90)。(X)資料建立與印證標本的準備等(US $ 25)。

INVAM的菌種收費與INVAM研習者的收費標準: 每株菌株收費美金40 元。每一菌株共

175毫升，包括了孢子，菌絲，根，介質等。該項費用含蓋了手續費與郵資等。若菌種之申請人曾寄存菌種於該中心，則本項費用可以扣除。亦即寄存一株，可以穫得一株免費的交換菌株。對於赴該中心研習菌根菌技術者，需事先以書面向該中心申請並約定前往的時間。若是專業的研究者，因為無需提供資詢與講授的時間，因此免費提供研究材料與設備。在學的研究生，或任何沒有使用該中心的菌種或印證標本者，停留時間在1~5天內者免收費。其餘的訪者，在該中心研習1~5天者，每天收費美金100元。十天以內者，每天收費美美金75元。二十天以內者，每天收費美金60元。超過一個月以上者，每月收費美金1000元。基本上，研習收費可以因特殊情況或因經費不足而事先協商。此次，訪問INVAM，因Dr. Morton認為我是專業研究人士，所以在訪問期間並無收費。對於在訪問期間，該中心提供所有的設備與菌種標本供本人研究，在此要特別致謝。

菌種中心作業流程:

1. 菌種分離與繁殖流程:

a. 菌種分離: 在西維吉尼亞州由於緯度的關係，植物生長較慢。目前INVAM所使用的作物是蘇丹草及高粱，繁殖菌種的週期是四個月 (圖 102)。自野外所採的土壤樣品或溫室繁殖的菌種以濕篩傾倒法將上層液倒入篩網(500 μm及45 m 孔徑)後，再以20%及60%糖液篩取孢子。INVAM所使用的篩網係根據不同大小的樣品。篩網有三種不同尺寸 (4cm，8cm，25cm直徑)。這樣的分離方法雖與我國目前所用的方式大同小異，但只使用兩個篩網的好處是可以同時觀察孢子，孢子果與菌根內的產孢情形。此外，美國目前所用的兩種糖液濃度來分離孢子的做法與我國只使用40~50%濃度的方法並無多大的差異。分離出來的孢子除了用作繁殖外，有部份用來作玻片標本，以供鑑定之用，其餘的孢子則保存於0.05% Sodium Azide的溶液中。這些玻片標本和孢子液就是所謂的印證標本 (voucher specimen)。

b. 菌種繁殖用介質: INVAM所用的介質的pH大多調在6.2，這些介質主要是砂壤，係採自摩根城附近西維吉尼亞大學園藝農場的百合花圃，pH5.9，含磷量8ppm，有機質含量<1%。砂壤先以4mm孔徑的篩網過篩後儲存。於使用前，砂壤再以1:2的比例混合石英砂，經以石灰調整pH後，以95℃蒸氣消毒兩次，每次一小時，間隔為24小時。消毒後的介質經儲放30天後即可使用。

c. 菌種繁殖與種原建立: 經檢視含有孢子的菌土約200毫升，混合足量以蒸氣消毒過的砂壤，然後填入500毫升的長筒(Deepot)或1200毫升15公分直徑的圓盆中(Pot) (圖 103)。盆缽上灑以蘇丹草的種子，繁殖三個月後，再取約50～100 毫升的菌土檢視其產孢情形。若已產孢，則於第四個月後，讓盆栽靜置於室內約7～14天乾燥後，即可將蘇丹草地上部剪除，收於約4公升的封口袋中。若是尚未產孢，但是根部有菌根的感染構造，則將地上部剪除後，重新再灑上蘇丹草的種子，經四個月的繁殖再觀察其產孢情況。一般說來，菌土中的菌種種類豐富，但這些菌種都對植物根部的感染程度輕微的情況下，大多數的菌種都能在2～3 代的繁殖後產孢。若是菌土中的菌種變異度及根部的感染程度在中～強度的情形下，只有最具侵略性的菌種才會產孢，且在2～3代的繁殖後，變成單一菌種的菌株 (Monospecific culture)。如此作法稱為誘導繁殖法(Trap culture)。在誘

導繁殖法中常可得到多種菌種同時出現在同一盆缽的情形。為進一步獲得純的單一菌種，可將上述的孢子在顯微鏡下予以分類挑取後，將孢子(50～100顆)接種到高粱的根部。繁殖細節與誘導法相同。只是所用的盆缽可採用多重複且較小的長筒，約150毫升。選用高粱的原因是因為高粱根的生質量大，孢子與根的接觸機會較多，所以繁殖成功率較高。

2. 菌種分類觀念與鑑定:

我們人類對於囊叢枝內生菌根菌的具體認識是開始於本世紀的初期。哈佛大學於1922年由Dr. R. Thaxter 出版了第一本菌根菌的圖鑑。當時的分類受到研究設備及對於菌類基本觀念的不足，對於菌根菌的歸屬依據，僅限於外表的形態而已。在1974年由Dr. J. W. Gerdemann及Dr. James M. Trappe共同出版了另一本圖鑑，The Endogonaceae in the pacific Northwest。在該圖鑑中Dr. Gerdemann 和Dr. Trappe提出了若干對於屬的新分類觀念。基於產孢方式的不同，Gerdemann和Trappe另成立 *Gigaspora, Acaulospora* 等新屬。因此，在當時的Endogonaceae中，共包括了 *Endogone, Glomus, Acaulospora, Gigaspora, Sclerocystis, Modicella, Glaziella*等屬。在稍後的研究中，因為 *Modicella* 是腐生性的接合菌，以及 *Glaziella*是子囊菌的緣故，這兩個屬已被排除在Endogonaeae 之外。在1990年，由於內生菌屬(*Endogone*)並不形成叢枝內生菌根，因此Dr. J. Morton 和Dr. G. Benny已將該屬獨立出來，與 *Sclerogone*， *Youngiomyces* 等屬，歸於內生菌目 (Endogonales)，並將可形成囊叢枝內生菌根者，另設立繭球菌目(Glomales)，屬於接合菌綱 (Zygomycetes)，下分三個科 (Glomaceae, Acaulosporaceae, Gigasporaceae)，共包含有六個屬 (*Glomus, Sclerocystis, Acaulospora, Entrophospora, Gigaspora, Scutellospora*)，一百四十餘種(附件4)。有關菌根菌在種的分類，主要是依據其孢子壁的構造。這種對於菌根菌種的描述方法，在1983年經由英國Dr. Christopher Walker提出後，才逐漸為各國研究者所接受。在1988年美國的Dr. Joe Morton提出另一新的孢壁名稱，amorphous wall。目前共有10種不同的孢壁構造。不同的菌種其孢壁的組合也不同，因此根據壁群(wall group)及孢壁構造(wall structure)的不同，研究者可用以做為分類的基礎。由於這種分類的方法是在1983年才逐漸盛行，因此早期的菌種描述便產生許多描述不清或錯誤的情形。更有甚者，有許多新菌種的描述由於沒有活的菌種(live culture)做根據，產生了許多不必要的同種異名。例如丹麥在1989 年所描述的兩個新種 *Glomus fistulosum, G. fragilistratum,* 經由INVAM繁殖後證實為 *G. claroideum*， *G. mosseae*，並非新發現的菌種。另經由菌種的繁殖與比較研究後發現，*Acaulospora longula*， *A. rugosa* 其實就是 *A. morrowiae*。另 *A. dilatata* 經繁殖比較後也證實就是 *A. mellea*。諸如此類的結果還有 *A. appendiculata* = *A. gerdemannii. G. fecundisporum* = *G. leptotichum, Scutellospora gilmorei* = *S. pellucida*。經由上述的發現後，更令人相信菌根菌種原繁殖的重要性。編者在INVAM訪問期間 (圖 104)，恰逢Dr. Morton向Drs. R. Koske, C. Walker, Oregon State University Herbarium, Farlow Herbarium 借出所有的命名模式標本，因此得以有機會一睹這些菌種的原始風貌。經由這些菌種的比對後，發現有許多當年被菌根菌的權威人士所命名的菌種，其孢壁構造與原發表之論文描述完全不相符。因此，Dr. Morton 正積極將正確的菌種描述及圖鑑透過國際網路的方式，讓所有的

研究者能重新更正。可惜因人力的不足，及全球目前研究菌根菌分類學者的嚴重缺乏，使得這項工作進行緩慢。

目前INVAM在菌根菌的分類研究上，特別著重於孢子壁構造的形成過程。所有孢子的壁群區為兩大部份，一為孢子壁(spore wall)，另一為彈性內壁(flexible inner wall)。所謂孢子壁係指孢子於初期形成時，由產孢菌絲所直接轉化而成，一般係由兩層壁(layer)組成。當孢子繼續成熟時，在孢子壁的內層將陸續由內在的細胞質轉化成具有彈性的內層，稱之為彈性內壁。截至目前為止，似乎*Gigaspora, Glomus, Scutellospora*等屬的孢子均循此形成有規律的孢子壁構造。有關其它兩個屬的孢壁型成的研究，目前由Dr. Morton的博士班研究生Mr. Sydney Sturmer積極進行當中。

3. 菌種保存技術:

INVAM目前所使用的保存菌種的方法包括(i) 乾燥法。(ii)冷藏法。(iii)液態氮保存法。溫室繁殖的菌種經四個月的生長後，在室溫下讓其自然乾燥。若是該菌種是來自熱帶或亞熱帶地區，則將菌種保存於室溫20℃的儲藏庫中，是為乾燥法。若是來自溫帶的菌種，則存放於4C的冷藏庫中，即為冷藏法。若將乾燥的菌土，置於安瓶中，浸存於液態氮中，是為液態氮保存法。此次訪問INVAM，本人也帶了些來自臺灣的菌種前往。這些菌種是經由冷凍乾燥處理的。Dr. Morton對此方法，頗感興趣，並親自將我帶去的孢子接種於蘇丹草的盆栽中，若是能順利感染並產孢，該中心將跟進使用本項技術進行菌根菌的孢子保存。

美國國際菌根菌種原中心將與台灣共同合作並協助台灣成立菌根菌種原中心

根據Dr. Joe Morton所提供的資料顯示，目前世界上正在從事菌根菌種原收集工作的機構有 (i)歐洲菌根菌種原庫(Bank of European Glomales) (簡稱: BEG)，這是由歐盟的科學家們所組成的一個非正式組織，目前所擁有的菌種約50株，而可提供外界研究的菌株只有七株。(ii)印度塔塔能原研究所(Tata Energy Research Institute)，由Dr. Alok Adholeya 所負責，該中心聲稱擁有60株菌株。(iii)西澳洲大學 (Unviersity of West Australia)，由Dr. L. K. Abbott 所負責，目前擁有約100株菌株。(iv)國際熱帶農業研究中心(Centro Internacional de Agricultura Tropical) (簡稱: CIAT)，位於哥倫比亞，目前約有100菌株，但這些菌種大多來自INVAM。臺灣省農業試驗所目前擁有556株菌株，其規模應可名列於世界第二大的菌根菌種原保存中心 (圖 105)。經由本次的訪問，Dr. Morton 對於臺灣菌根菌資源的潛力極與肯定，已於1998年4月來台演講並進一步協商菌根菌種原交換與協助本所建立種原中心與國際網路的事宜。

誌　　謝

此次編者得以赴國際菌根菌種原中心研習主要感謝行政院國家科學委員會之資助，在此特別致謝。此次訪問收穫良多，不只與該中心主任Dr. Joseph Morton 有許多受益的討論，同時也藉此機會讓他了解臺灣在菌根菌方面的研究情形。

參考資料

網路資訊:

* INternational Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM):
http://invam.caf.wvu.edu
* Taiwan Agricultural Research Institute (TARI)
http://tari.tpg.gov.tw

引用文獻:

Abbott, L. K. and A. D. Robson. 1984. The effect of mycorrhizae on plant growth. *In*: VA mycorrhiza, C. L. Powell and D. J. Bagyaraj (eds.). CRC Press, Boca Raton, pp. 113-130.

Almeida, R. T. and N. C. Schenck. 1990. A revision of the genus *Sclerocystis* (Glomaceae, Glomales). Mycologia 82:703-714.

Azcon-Aguiler, c., and J.M.Barea. 1996. Arbuscular mycorrhizas and biological control of Soil-borne plant pathogens – an overview of the mechanisms involved. Mycorrhiza 6 : 457-464.

Bagyaraj, D. J. 1984. Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. *In*: VA mycorrhiza, C. L. Powell and D. J. Bagyaraj (Eds.). CRC Press, Boca Raton, pp. 131-153.

Bagyaraj, D. J., and J. A. Menge. 1978. Interaction between a VA Mycorrhiza and *Azotobacter* and their effects on rhizosphere microflora and plant growth. New Phytol. 80: 567-573.

Becard, G. and Y. Piche. 1992. Establishment of vesicular-arbuscular mycorrhiza in root-organ culture: Review and proposed methodology. *In*: Techniques for mycorrhizal research, J. R. Norris, D. Read and A. K. Varma (Eds.), Academic Press, Toronto, pp. 549-568.

Caron, M. 1989. Potential use of mycorrhizae in control of soil-borne disease. Can. J. Plant Pathol. 11:177-179.

Chabot, S., G. Becard, and Y. Piche. 1992. Life cycle of *Glomus intraradix* in root organ culture. Mycologia 84(3):315-321.

Chao, C. C. and Y. P. Wang. 1991. Effects of heavy metals on vesicular-arbuscular mycorrhizae and nitrogen fixation of soybean in major soil groups of Taiwan. J. Chinese Agric. Chem. Soc. 29:290-300.

Chen, J.-T. 1996. Effects and potential use for vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) on the growth and flower production of some ornamental plants. Master's thesis, National Taiwan University.

Chen, S. C. 1982. Effect of endotrophic mycorrhizal fungi on the growth, root structure, phosphate uptake and enzymatic reaction of *Phaseolus vulgaris* var. *humilis,* Alef. Master's thesis,

National Taiwan University.

Chen, Y. L. 1981. Effect of endomycorrhizal inoculation on the morphology and growth of asparagus seedlings. Master's thesis, National Taiwan University.

Cheng, Y. H. and M. F. Chuang. 1994. Development of mass production of VAMF inoculum by sand culture. Taiwan Agric. Res. Inst. No. 44:157-164.

Cheng, Y. H., M. F. Chuang, andC. C. Tu. 1993. An estimate of VA mycorrhizal fungus-*Glomus clarum* on muskmelon production. J. Agric. Res. China 42;74- 84.

Chien, C. Y. 1976. Some natural mycorrhizae of gymnosperms and its variation in Taiwan. *In:* Proceedings for Annual Meeting of Chinese Botancial Society.

Chou, H.-F. 1985. Inoculum resproduction of endomycorrhizal fungi. M.S. thesis, National Taiwan University, Taipei, p.118.

Chou, W.-N., C.-H. Yen, and H.-H. Chung. 1991. Species of *Gigaspora* and *Scutellospora* (Endogonaceae) in Taiwan. Trans. Mycol. Soc. R.O.C. 6:1-17.

Christie, p., and D.J. Kilpatrick. 1992. Vesicular-arbnscular mycorrhiza infection in cut grassland following long-term slurry application, Soil Biol. Biochem. 24 : 325-330.

Cooper, K. M. 1976. A field survey of mycorrhizas in New Zealand ferns. New Zealand J. Bot. 14:169-181.

Daft, M.j., and A.A. El-Giahmi. 1978. Effect of arbuscular mycorrhiza. on plant growth VIII. Effects of defoliation and light on selected hosts. New Phytol. 80 : 365-372.

Daniels, B. A., and J. M. trappe. 1980. Factors affecting spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus Epigaeus.* Mycologia 72: 457- 471.

Daniels, B. A. and H. D. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of progagules from soil. *In:* Methods and principles of mycorrhizal research, N. C. Schenck (Ed.), The American Phytopathological Society, St. Paul. Pp. 20-45.

Dodd, J.C., and P. Jeffries. 1989. Effects of herbicides on three vesicular-arbuscular fungi associafed with winter wheat (*Triticum aestivum* L.)Biol. ertil. Soils 7 : 113-119.

Elias, K. S., and G. R. Safir. 1987. Hyphal elongation of *Glomus fasciculatus* in response to root exudates. Appl. Environ. Microbiol 53: 1928-1933.

Eom, A.-H., S.-K. Lee, and S.-S. Lee. 1992. Five sporocarpic species of *Glomus* found in Korea. Korean Mycol. 20: 85-94.

Ferguson, J.J., and J.A. Menge. 1982. The influence of light intensity and artifically extended photoperiod upon infection and sporulation of *Glomus fasciculatus* on sudan gross and on root exudation of sudan gress. New Phytol. 82 : 183-191.

Francis, R. and D. J. Read. 1994. The distributions of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. *In:* Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry, A. D. Robson, L. K. Abbott & N. Malajczuk (Eds.), Pp. 11-25.

Frank, A. B. 1885. Uber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernahrung gewisser Baume durch

unterirsische Pilze. Ber. Deut. Bot. Gesell. 3:128-145.

Gerdemann, J. W. 1975. Vesicular arbuscular mycorrhizae. *In*: The development and function of roots. J. C. Torrey and D. T. Clarkson (Eds.), Academic Press, London. Pp. 575-591.

Gerdemann, J. W. and J. M. Trappe. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoir No. 5, 76p.

Gianinazzi-Pearson, V., and H. G. Diem. 1982. Endomycorrhizae in the tropics. *In*: Microbiology of tropical soils and plant productivity, Y. R. Dommergues. and H. G. Diem (Eds). Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague/Boston/London.

Giovannetti, M., and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84: 489-500.

Gomori, G. 1955. Preparation of buffers for use in enzyme studies. *In* :Methods in Enzymology I. S. P. Colowick & N. O. Kaplan (Eds.), Academic Press, New. York. Pp.138-146.

Graham, J. H. 1986. Citrus mycorrhizae: Potential benefits and interactions with pathogens. HortScience 21:1302-1306.

Green, N. E., S. O. Graham, and N. C. Schenck. 1976. The influence of pH of the Germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. Mycologia 68: 929- 934.

Gupta, r., and K.V.Rrishnamurthy. 1996. Response of mycorrhizal and nonmycorrhizal Arachis hypogaea to Nacl and acid stress. Mycorrhiza 6 : 145- 149.

Harley, J. L. and S. E. Smith. 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, London.

Hawksworth, D. L., P. M. Kirk, B. C. Satton, and D. N. Pegler. (Eds.) 1995. Dictionary of the fungi. Eighth edition. University Press, Canbridge. p.437.

Hayman, D. S. 1975. The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility. *In:* Endomycorrhizas, F. E., Sanders, B. Mosse, and P. B. Tinker (Eds.), Academic Press, Condon. Pp.495-509.

Hayman, D. S. and B. Mosse. 1971. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. I. Growth of *Endogone*-inoculated plants in phosphate-deficient soils. New phytol 70:19-27.

Hayman, D.S. 1987. VA mycorrhizas in field crop systems. *In:*Ecophysiology of VA mycorrhizal plants, G. R. Safir (Ed.), CRC Press, Inc., Florida, USA. Pp. 171-192.

Hepper, C. M. 1983. Effect of Phosphate on Germination and Growth of Vesicular- arbuscular Mycorrhizal Fungi. Trans. Br. mycol. Soc. 80: 487-490.

Hepper, C. M. 1984. Regulation of spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Acaulospora laevis* by soil pH. Trans. Br. Mycol. Soc. 83(1):154-156.

Hepper, C. M., G. A. Smith. 1976. Observation's on the germination of *Endogone* spores. Trans. Br. Mycol. Soc. 66(2):189-194.

Hetrick, B.A.O. 1984. Ecology of VA mycorrhizal fungi. *In:*VA mycorrhiza, C. L. Powell and D. J. Begyaraj. (Eds.) CRC Press, Inc., Florida, USA. Pp.35-55.

Hooker. J.E. M.Jaizme-Vega. and D. Atkinson. 1994. Biocontrol of plant pathogens using

arbuscular mycorrhizal fungi. *In:* Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable ogriculture and natural ecosystems, S. Gianinazzi and H. Schuepp (Eds), Birkhauser Verlag Basel, Switzerland. Pp.191-200.

Hu, H.-T. 1978. Effects of endomycorrhizal inoculation on the growth of Taiwan red cypress seedlings. Natl. Sci. Counc. Month 6:1064-1077.

Hu, H.-T. 1980. Scanning electron microscope studies of VA endomycorrhizae in *Chamaecyparis formosensis* matsum. N.S.C.M. 8(12):1141-1147.

Hu, H.-T. 1988. Study on the endomycorrhizae of China fir (*Cunnighamia lanceolata* Hooker) and Taiwania (Taiwania cryptomerioides Hay.). Q. J. China For. 21:45- 72.

Huang, R. S. 1979. Effects of potting mixes on seedlings growth of the rangpar lime (*Citrus limonia* O'sbeck)-Observations on VA mycorrhizal citrus roots. Master's thesis, Nation Taiwan Unviersity.

Hung, L. L. and D. M. Sylvia. 1988. Production of vesicular arbuscualr mycorrhizal fungus inoculum in aeroponic culture. App. Environ. Microbiol. 54: 353-357.

Hwang, S. C., and W. H. Ko. 1988 Mutants of Cavendish banana resistant to race 4 of Fusarium oxysporum f.sp. cubense. Plant Prot. Bull. (Taiwan, R.O.C.) 30: 386- 392.

Janos, D. P. 1988. Mycorrhiza applications in tropical forestry: Are temperate-zone approaches appropriate? *In*: Trees and Mycorrizha, F. S. P. Ng (Ed.) Forest Research Institute Malaysia, Kuala Lumpur. Pp. 133-188.

Jenkins, W. R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. Plant Dis. Rep. 48: 692.

Johnson,N.C., and F.L.Pfleger. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural Stresses. *In:* Mycorrhizae in sustainable agriculture, G. J. Bethlenfalvay, and R. G. Linderman (Eds.), Soil Sci. Soc. Amer., Inc. Wisconsin, USA.

Kan, J. P. 1977. Studies on natural mycorrhizal variations and its synthesis of some gymnosperms in Taiwan. Master's thesis, National Taiwan Normal University.

Kiernan, J. M., J. W. Hendrix, and D. M. Maronek. 1983. Fertilizer induced pathogenicity of mycorrhizal fungi to sweetgum seedings. Soil Biol. Biochem. 15 : 257-262.

Kimura, R. 1996. Microbial fertilizers and their basic research in Japan. *In:* Country Report, International Training Workshop on Microbial Fertilizers and Composting, Taichung, Taiwan.

Koo, Chang-Duck, T. -H. Kim, C. -K. Yi, W. -K. Lee, C. -H. Kang, B.-C. Lee, and S.-K. Lee. 1992. Sporocarp-forming arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus* spp. in forest soils of Korea. Korean Mycol. 20:29-36.

Koske, R. E. 1981. *Gigaspora Gigantea*: observations on spore germination of a VA- mycorrhizal fungus. Mycologia 73: 288-300.

Koske, R. E., and B. Tessier. 1983. A convenient, permanent slide mounting medium. Newsletter

Mycol. Soc. Amer. 34:59.

Koske, R. E., and J. N. Gemma. 1989. A modified procedure staining roots to detect VA mycorrhizas. Mycol. Res. 92(4):486-488.

Kruckelmann, H. W. 1975. Effect of fertilizers, Soils, soil tillage, and plant species on the freguency of Endogone chlamydospores and mycorrhzal infection in arable Soils. *In:* Endomycorrhizas, F. E. Sanders et al (Eds.) Academic, London. Pp.511- 525.

Kucey, R. M. N., and E. A. Paul. 1983. Vesicular arbuscular mycorrhizal spore populations in various saskatchewan soils and the effect of inoculation with *Glomus mosseae* on faba bean growth in greenhouse and field trials. Can. J. Soil. Sci. 63: 87-95.

Kuo, C. G. and R. S. Huang. 1982. Effect of VA mycorrhizae on the growth and yield of rice-stubble cultured soybean. Plant and Soil 64:325-330.

Leu, S. W., C. C. Wang, and D. C. N. Chang. 1995. Observation on sporulation and mycorrhizal morphology of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in hydrogel. Mem. Coll. Agric., Nat'l Taiwan Univ. 35(2):171-178.

Leu, S. W., S. T. Lian, and Doris C. N. Chang. 1994. *In vitro* sporulation of vesicualr- arbuscular mycorrhizal fungi, *Gigaspora gigantea* and *Glomus mosseae,* by dual culture with carrot Ri T-DNA ransformed root and tomato root culture. Mem. Colleg. Agric. Natl. Taiwan Univ. 34:21-32.

Leu, S.-W. 1985. Growth response, enzymatic histochemistry and structural change of asparagus mycorrhiza. M.S. thesis, National Taiwan University, p. 112.

Lin, Su-Chen. 1998. Ecological study of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and its application in Taiwan. Doctoral dissertation of National Taiwan University.

Linderman; R. G. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microoial interactions. *In:* Mycorrhizae in sustainable ogriculture, G. J. Bethlenfalvay and R. G. Linderman (Eds.), Soil Sci. Soc. Amer., Inc., Wiscosin, USA. Pp.45-70.

Linderman, R. G. 1994. Role of VAM fungi in biocontrol. *In:* Mycorrhizae and plant health. F. L. Pfleger and R. G. Linderman (Eds.), Aps press, Minnesote, USA. Pp.1-28.

Mala, T. 1995. Response of maize to VAM inoculation as affected by different rates of rock phosphate. Annual Report of NRCT-DFG Project, Department of Soils, Kasetsart University, Bankok, Thailand.

Mayo, K., R. E. Davis., And J. Motta. 1986. Stimulation of germination of spores of Glomus versiforme by spore-associated bacteria. Mycologia. 78(3):426-431.

Menge, J. A. 1982. Effect of soil fumigants and fungicides on vesicular-arbuscular fungi. Phytopathology 72:1125-1132.

Menge, J. A. 1984. Inoculum production. *In* : VA mycorrhiza. C. L. Powell and D. J. Bagyaraj (Eds.) CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. Pp. 187-203.

Menge, J. A. S., N. M. Davis, and V. Minassian. 1977. Mycorrhizal fungi associated with Citrus

and their Possible interactions with pathogens. Proc. Int. Soc. Citriculture 3:872-876.

Miller, J.C.Jr., S. Rajapokse, and R.K. Garber. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in vegetable crops. Hort Sci. 21 : 974-984.

Manjunath, A., and D. J. Bagyaraj. 1984. Effect of fungicides on mycorrhizal colonizateion and growth of onion. Plant and Soil 80 : 147-150.

Miranda, J. C. C. DE, P. J. Harris, and A. Wild. 1989. Effects of soil and plant phosphorus concentrations of vesicular-arbuscular mycorrhiza in sorghum plants. New Phytol. 112:405-410.

Miranda, J. C. C. DE., and P. J. Harris. 1994. Effects of soil phosphorus on spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol. 128: 103-108.

Morton, J. B. and G. L. Benny. 1990. Revised classification of arbuscualr mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. Mycotaxon 37:471-491.

Mosse. 1959. The regular germination of resting spores and some observations on the growth requirements of an *Endogone* sp. causing vesicular mycorrhiza. Trans. Brit. mycol. Soc. 42: 273-286.

Mosse, B. 1962. The establishment of vesicular-arbuscular mycorrhiza under aseptic conditions. J. Gen. Microbiol. 27:509-520.

Mosse, B. 1972. Growth of *Endogone* mycorrhiza in agar medium. Rep. Rothamsted Experimental Station. 1971, p93.

Mosse, B. 1988. Some studies relating to "independent" growth of vesicular- arbuscular endophytes. Can. J. Bot. 66: 2533-2540.

Mugnier, J. and B. Mosse. 1987. Vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in transformed root-inducing T-DNA roots grown axenically. Phytopathology 77:1045-1050.

Nelsen, C. E. 1987. The water relations of vesicular-arbuscular mycorrhizal systems. *In:* Ecophysiology of VA mycorrhizal plants, G. Safir (Ed.). CRC Press, Boca Raton, pp. 71-91.

Nishio, M. 1996. Microbial fertilizers in Japan. In: Proceedings of International Training Workshop on Microbial Fertilizers and Composting, Taichung, Taiwan.

Nobamornboodi, O. 1993. Application of VA mycorrhiza in sustainable and environmentally sound agriculture development. Proceeding of Annual Meeting in Soil Science 1993. Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand, Pp.115 -130.

O'keefe, D. M. and D. M. Sylvia. 1990. Mechanisms of the vesicular-arbuscular mycorrhizal plant -growth response. *In:* Handbook of Applied Mycology, Vol. 1, D. K. Arora, B. Rai, K. G. Muderji, and G. R. Knudsen (Eds.). Marcel Dekker, New York, Pp. 35-54.

Osotsapar, Y. 1995. Fertilizer use in Thailand. Country Report, Proceedings of APO- FFTC Seminar on Appropriate Use of Fertilizers, Taichung, Taiwan.

Parke, J. L. and R. G. Linderman. 1980. Association of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi with the moss *Funaria hygrometrica*. Can. J. Bot. 58:1898- 1904.

Pirozynski, K. A. and L. K. Weresub. 1979. The classification and nomenclature of fossil fungi. Pp. 653-688. *In*: The whole fungus, the sexual-asexual synthesis. Vol.2. B. Kendrick(Ed.), Proc. 2nd Int. Mycol. Conf., Univ. Calgary, Kananaski, Alberta. Natl. Mus. Nat. Sci., Natl. Mus. Canada and Kananaskis Foundation, Ottawa, Canada.

Price, N. S., R. S. Hussey, and R. W. Roncadori. 1990. Tolerance of cotton to *Meloidogyne incognita* as influenced by phosphorus fertilizer and a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus. Ann. Appl. Biol. 115:461-467.

Raju, P.S., R.B. Clark, J.R. Ellis and J.W.Maranville. 1990. Effects of spcies of VA- mycorrhizal fungi on growth and mineral uptake of sorghum at different temperatures. Plant and Soil 121 : 165-170.

Ratnayake, M., R. T. Leonard, and J. A. Menge. 1978. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal formation. New Phytol. 81: 543-552.

Sanders, F. E. 1975. The effect of foliar-applied phosphate on the mycorrhizal infection of onion roots. *In:* Endomycorrhizae, F. E. Sanders, B. Moss & P. B. Tinker, (Eds.), Academic Press, London. Pp. 261-276.

Schenck, N. C. and Y. Perez. (Editors) 1990. Mannual for the identification of VA mycorrhizal fungi. INVAM, Gainesville, Pp. 1-241.

Schenck, N. C., and Schroder, V. N. 1974. Temperature response of Endogone mycorrhiza on soybean roots. Mycologia 66:600-605.

Schenck, N. C., N. A. Sheikh, S. R. Saif, and A. G. Khan. 1975. Ecology of Endogone. II. Relationship of Endogone spore population with chemical soil factors. Islamabad J. Sci. 2: 6-9.

Schenck, N. C., and G. S. Smith. 1982. Responses of six species of vesicular-arbuscular mycorrrhizal fungi and their effects on soybean at four soil temperature. New Phytol. 92 : 193-201.

Sieverding, E. 1981. Influence of soil water regimes on VA mycorrhiza. I. Effect on plant growth, water utilization, and development of mycorrhiza. J. Agron. Crop Sci. 150:400-411.

Sieverding, E. 1986. Influence of soil water regimes on VA mycorrhiza. IV. Effect on root growth and water relations of Sorghum bicolor. J. Agron. Crop Sci. 157:36- 42.

Sieverding, E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammernarbeit (GTZ) GmbH, Germany. P. 371,

Siqueira, J. O., D. H. Hubbell, and N. C. Schenck. 1982. Spore germination and germ tube growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus in vitro. Mycologia 74: 952.

Siqueira, J. O., D. M. Sylvia, J. Gibson, and D. H. Hubbell. 1985. Spore germination and germ tubes of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Can. J. Microbiol. 31: 965-975.

Skipper, H. D., and G. W. Smith. 1979. Influence of soil pH on the soybean- endomycorrhiza sym-

Wu, C.-G. and Z. C. Chen. 1986. The Endogonaceae of Taiwan I. A preliminary investigation on Endogonaceae of bamboo vegetation at Chi-tou areas, Central Taiwan. Taiwania 31:65-88.

Wu, C.-G., Y. S. Liu, S.-Y. Chien, and T. W. Tan. 1995. Microbial succession in different rotation cropping systems. J. Agric. Res. China 44(2): 114-125.

Wu, C.-G., Y.-S. Liu, L. L. Hung. 1995. Spore development of *Entrophospora kentinensis* in an aeroponic system. Mycologia 87: 582-587.

Wu, C.-G., Y.-S. Liu, Y.-L. Hwung, Y.-P. Wang and C.-C. Chao. 1995. Glomales of Taiwan: V. *Glomus chimonobambusae* and *Entrophospora kentinensis,* spp. nov. Mycotaxon 53: 283-294.

Wu, W. S. 1992. The application of bioagents to control *Rhizoctonia solani* and other soilborne plant pathogens. Plant Pathol. Bull 1:1-12.

Yao, Y.-J., D. N. Pegler and T. W. K. Young. 1995. *Youngiomyces,* a new genus in Endogonales (Zygomycotina). Kew Bulletin 50:349-357.

Yeh, S. D., and D. Gonsalves. 1984. Evaluation of induced mutants ofpapaya ringspot vius for control by cross protection. Phytopathology 74:1006-1091.

You, Shwu-Mey. 1980. Studies on the distribution and germination of vesicular- arbuscular mycorrhizal spores (Gigaspora spp.). Master's thesis, National Taiwan University.

Young, C. C., T. C. Juang and C. C. Chao. 1988. Effects of *Rhizobium* and VA mycorrhizal inoculations on nodulation, symbiotic nitrogen fixation, and yield of soybean in subtropical -tropical fields. Biology and Fertility of Soils 6:165- 169.

Young, C. C., T. C. Juang, and H. Y. Guo. 1986. The effects of inoculation with vesicualr-arbuscular mycorrhizal fungi on soybean yield and mineral phophorus utilization in subtropical-tropical soils. Plant and Soil 95:245-253.

Young, C. C., C. L. Chen, and C. C. Chao. 1990. Effect of *Rhizobium,* Vesicular-arbuscular mycorrhiza and phosphate solubilizing bacteria on yield and mineral phosphorus uptahe of crop in subtropical-tropical soils. Transactions of 14th Icss iii：55-60.

文紀鑾・張喜寧・1995・溫度與繡球屬菌根菌對組織培養非洲菊生長與切花品質之影響。臺大農學院研究報告 35: 75-91。

文紀鑾・張喜寧・ 1994・ 繡球屬菌根對組織培養非洲菊幼苗生長之影響。國立台灣大學農學院報告34:97-110。

方敏男・1989・不同套袋材質防治瓜實蠅危害苦瓜及絲瓜之研究。台中區農業改良場研究彙報 25: 3-12。

牛家琪・1994・廣東省 VA 菌根真菌資源調查和應用研究。土壤學報31：54-63。

王也珍・1983・幾種大孢菌屬的萌發與接種對百合內生菌根形成的研究。國立師範大學生物所碩士論文。

王西華・1993・ 堆肥製造之管理。永續農業研討會專集，台中區農改良場編印 63-68。

王均琍・ 1989・ 內生菌根對紅豆生長及產量之影響。中華農學會報148:67-80。

王均琍・ 1992・ 紅豆內生菌根生理之研究。國立中興大學植物所博士論文。 65頁。
王清玲・林鳳琪・1992・黃色黏板誘捕非洲菊斑潛蠅(*Liriomyza trifolii* (Burgess))之效果測定。中華農業研究 41(1)：61～69。
王博仁・盧耀村・1973・感染毒素病馬鈴薯組織培養治療法。中國生物科學2：19- 24。
王銀波・黃衍龍・趙震慶・1995・重金屬污染土埌中 VA 菌根菌繁殖體數之季節性變化。中國農業化學會誌 33：459-467。
王銀波・吳繼光・黃衍龍・趙雲慶. 1995. 污染土壤中囊叢枝菌根菌族群對重金屬耐性之研究. 中華農學會報。 新169：55-69.
台中區農業改良場・1989・番茄FMTT22育成經過及歷年試驗成績 台中亞蔬 4 號命名審查資料。
江婉祺・1994・囊叢枝內生菌根對矮牽牛與百合生長開花之影響. 國立台灣大學園藝所碩士論文，91頁。
何琦琛・羅幹成・1992・葉蟎之生物防治技術 病蟲害非農藥防治技術研討會專刊15～29 中華植物保護學會。
吳繼光・ 1994・ 台灣內生菌根菌資源調查與種源開發。 微生物肥料之開發與利用研討會專刊， 131-156頁。
吳鐵航・郝文英・林先貴・施亞琴・1994・VA菌根真菌在某些紅埌中的分布和數量變化，土壤學報 31：71-78。
呂斯文・ 1985・ 蘆筍菌根之生長反應酵素組織化學及構造變化。 國立台灣大學園藝所碩士論文。
呂斯文・ 1994・ 囊叢枝菌根菌之無土介質接種，接種源生產及菌種篩選研究。 77 頁。 國立臺灣大學園藝學研究所博士論文.
呂斯文・張簡秀容・張喜寧・1995・利用穴植盤培育番茄菌根苗及其田間生長之反應。中國園藝 41(1):54-67。
呂斯文・張喜寧・1995・百合接種囊叢枝菌根菌之感染率模式及菌根形態觀察。國立台灣大學農學院報告 35: 285-293.
李平全・侯豐男・1989・ 黑殭菌培養及大量生產之研究。植保會刊 31:10-20。
汪洪鋼・張美慶・1994・八十年代以來我國內生菌根研究概況。土壤學報 (增刊) 31:11-20。
周桃美・ 1987・ 蘇力菌防治小菜蛾之研究 中興大學昆蟲所碩士論文 44pp。
林先貴・郝文英・吳鐵航・施普琴・1994・11種 VA 菌根真菌生物學特性的研究。土壤學報 31：114-121。
林先貴・郝文英・施亞琴・1992・ VA 菌根對植物耐旱，能力的影響。土壤學報 24(3)：142 -145。
林俊義・陳盛義・1982・番茄耐熱抗青枯病育種 (1) 種苗1號之育成。台灣農業19(6):40-46。
林秋惠・ 1986・ 三種繡球屬內生菌根菌對香蕉及蘆筍組織培養苗生長之影響。國立台灣大學園藝所碩士論文， 117頁。
林益昇・宋曉清・黃家興・1992・利用絲瓜抗病根砧防治苦瓜萎凋病。病蟲害非農藥防治技

術研討會專刊，中華植物保護學會， 251-258。
林益昇・羅朝村・1987・土壤添加物防治豌豆萎凋及根腐病之研究。中華農業研究36: 435-444。
林富雄・1995・台灣永續農業發展策略。永續農業第三期 5-12。
林鳳琪・王清玲・1989・非洲菊斑潛蠅之田間偵側。中華昆蟲特刊第四號，蔬菜害蟲綜合防治研討會 59～69頁。
花蓮區農業改良場・1990・番茄FMTT3育成經過及歷年試驗成績。花蓮亞蔬5號命名審查資料。
邱郁月・1995・囊叢枝菌根對菊花生長與開花之影響。國立台灣大學園藝所碩士論文。93頁。
邱瑞珍・賴博永・陳仁昭・蕭榮福・1985・可可椰子紅胸葉蟲寄生蜂(*Tetrastichus btontispae*)之引進繁殖與釋放試驗。中華農業研究34(2):213-222。
邱瑞珍・錢景秦・1985・玉米螟之生物防治。植保會刊 27: 299-316。
孫守恭・黃振文・1983・土壤添加物防治西瓜蔓割病之研究。植保會刊 25:127- 137。
高清文・1989・作物病害非農藥防治法。有機農業研討會專集，台中區農改良場編印 135-140。
張清安・林惠嘩・張福炘・1991・無病毒長豇豆種子生產模式之建立及於田間栽培後對控制病毒病之效果評估。植保會刊 33：425-426。
張清安・林瑩達・林惠嘩・1989・百香果無病毒苗生產模式之建立及其於田間應用之效果評估。植保會刊 31:141。
張喜寧・陳裕良・鄭穹翔・1984・台灣蔬菜受內生菌根感染之初步調查。台大學院研究報告 24(1)：74-84。
張喜寧・1990・蘆筍苗之穴植生產與菌根利用。中國園藝36:149-155。
張喜寧・1992・台灣園藝囊叢枝內生菌根之研究與展望。科學農業40:45-52。
張焜標・1983・熱帶植物菌根之功能。森林學會會報 25:27-37。
張焜標・1984・外來種相思樹之固氮作用與內生菌根之效應。國立台灣大學森林所碩士論文，126頁。
陳仁昭・1992・可可椰子紅胸葉蟲生物防治。病蟲害非農藥防治技術研討會專刊，中華植物保護學會 31～41。
陳玉麟・1977・東方果實蠅誘引劑之研究。東方果實蠅研討會論文集 2-8。
陳武揚・陳慶忠・黃玉瓊・劉達修・方敏男・黃金助・柯忠德・1992・豌豆害蟲調查及防治。台灣農業28(3):74～81。
陳健忠・1983・赤眼卵寄生蜂(*Trichogramma* spp.)在植物保護上之利用。科學農業31：237～241。
陳健忠・張喜寧・1996a・溫度及GA3對瓜葉菊生長與開花之影響。國立台灣大學農學院報告36:143-150。
陳健忠・張喜寧・1996b・溫度及囊叢枝菌根對大理菊生長與開花之影響。國立台灣大學農學院報告42:354-360。

陳健忠・張喜寧・1996c・瓜葉菊接種 *Glomus etunicatum* Beker & Gerd.之菌根形態觀察。國立台灣大學農學院報告36:143-150。

陳健忠・張喜寧・1996d・七種觀賞植物接種五品種囊叢枝內生菌根菌之生長反應。國立台灣大學農學院報告36:87-98。

陳健忠・張喜寧・1996e・囊叢枝菌根對兩品種瓜葉菊生長與開花之影響。國立台灣大學農學院報告36:99-111。

陳培昌・1988・馬鈴薯無病毒種薯繁殖技術。園藝種苗產銷技術研討會專集，41- 68。

章加寶・1989・作物害蟲非農藥防治法。有機農業研討會專集 183～192，台中區農業改良場編印。

彭坤火・1991・蘆筍之微體繁殖與菌根利用。國立台灣大學園藝所碩士論文，104 頁。

曾方明・陳際松・1984・茶園菌根之初步探討。台灣茶業研究彙報3:107-113.

曾清田・1974・田間釋放玉米卵寄生蜂防治玉米螟效果試驗。 玉米中心研究彙報10:40-51。

曾清田・吳炎融・1990・超甜玉米螟蟲綜合防治。植保會刊 32:177-183。

曾德賜・1988・甲硫氨酸與核黃素之光動效應及其在植物病害與其他有害生物防治上之應用。植保會刊30：87-100。

曾顯雄・1985・菌根菌之最近研究發展。「真菌學之最近發展」曾聰徹、陳瑞青主編，國科會生物科學研究中心專刊第十二集. Pp 45-70。

程永雄・杜金池・1982・大豆內生菌根菌及其與寄生性線蟲關係之調查。台南區農業改良場研究彙報16:45-859。

程永雄・杜金池・林晉卿・1984・內生菌根菌對大豆、玉米增產效果。台南區農業改良場研究彙報18:29-38。

程永雄・莊明富・杜金池・1993・內生菌根菌 *Glomus clarum* 應用在洋香瓜生產上之效益評估。中華農業研究 42:74-84。

黃振文・孫守恭・1991・影響 S-H 混合物防治西瓜蔓割病的因子。植保會刊33:231-238。

黃振文・陳美杏・楊尚勳・1992・合成植物營養液對防治韭菜銹病的連鎖效應。植保會刊 34(4)：257-265。

黃振聲・洪巧珍・1992・利用性費洛蒙防治甘藷蟻象。病蟲害非農藥防治技術研討會專刊，中華植物保護學會 81～94。

楊秋忠・莊作權・郭鴻裕・1984・接種內生菌根對大豆生長、生產、固氮作用及礦物磷利用之效應。中華農學會報 新128：29-42。

楊秋忠・趙震慶・張永輝・1986・台灣酸性土埌接種菌根菌及施用磷礦石粉對玉米生長之影響。中華農學會報 新136：15-24。

楊慶鴻・謝文瑞・1985・土壤添加物對十字花科蔬菜根瘤病之防治效果。植保會刊27:225-231。

葉樹藩・1990・試驗設計學。第一部分 生物統計學 166-170頁。國立台灣大學農學院生物統計研究室，大興圖書印製有限公司印刷。

趙震慶・王銀波・1988・重金屬－菌根菌－作物之關係，I. 重金屬對已形成菌根的砂耕作物

生質量及菌根生長之影響。中國農業化學會誌 26：495-502。

趙震慶・王銀波・1990・重金屬對內生菌根及砂耕玉蜀黍生長之影響。中華農學會報 新 152：34-45。

趙震慶・王銀波・1991・重金屬於台灣主要土類之土埌中對囊叢枝菌根與大豆固氮作用之影響。中國農化會誌 29：290-300。

劉玉章・1992・利用引誘劑防治東方果實蠅。病蟲害非農藥防治技術研討會專刊中華植物保護學會 95～98。

劉達修・王玉沙・1992・非洲菊斑潛蠅 (*Liriomyza trifolii* (Burgess)) 之藥劑篩選及黃色黏板在防治上之應用。台中區農業改良場研究彙報 36:7～16。

劉顯達・1991・利用拮抗菌 *Trichoderma koningii* 對紅豆根腐病之生物防治。土壤病原生態與防治研討會專刊63-71。

蔡呈奇・陳尊賢・許正一・郭鴻裕・1998・台灣地區農地與坡地代表土壤的選定與其相關資料庫的建立。土壤與環境 1(1)：73-88。

蔡宜峰・莊作權・黃裕銘・1993・一般有機質在土壤中礦化潛能及礦化速率之估算。永續農業研討會專集，台中區農改良場編印 69-77。

蔡勇勝・高穗生・高清文・侯豐男・1992・數種殺蟲劑對黑殭菌感染甜菜夜蛾之影響。植保會刊34：216-226。

鄭仁祥・1983・內生菌根對根瘤線蟲之拮抗關係。台南區農業改良場年報 71:56- 57.

鄭淑芬・張喜寧・1991a・繡球屬囊叢枝內生菌根菌對百日草生長與發育之影響。國立台灣大學農學院報告 31:11-21。

鄭淑芬・張喜寧・1991b・繡球屬囊叢枝內生菌根菌對萬壽菊及孔雀草生長之影響。國立台灣大學農學院報告 37:212-218。

鄧耀宗・黃伯恩・1993・台灣永續農業之現況與展望。永續農業研討會專集 1-8，台中區農改良場編印。

謝廷芳・杜金池・蔡武雄・1990・溫濕度對百合白絹病發生之影響。中華農業研究39：315-324。

謝順景・1993・世界各國永續農業研究與推廣。永續農業研討會專集 19-45，台中區農改良場編印。

顏耀平・黃振聲・洪巧珍 陳浩琪 賴貞秀 1988 甜菜夜蛾(*Spodoptera exigua* Hub-ner)性費洛蒙之合成及其誘蟲之效果。植保會刊 30:303-309。

Valid Species in Glomales 02-May-98

有效菌種名錄(依菌名、命名者、期刊作者名、年份、期刊名、冊數、頁數等排列)

Acaulospora appendicula Spain, Sieverding & Schenck

Schenck, N. C., Spain, J. L., Sieverding, E., and Howeler, R.H. 1984. Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. Mycologia 76:685-699

Acaulospora bireticulata Rothwell & Trappe

Rothwell, F.M. and Trappe, J.M. 1979. Acaulospora bireticulata sp.nov. Mycotaxon 8:471- 475

Acaulospora capsicula Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1990. Polish Endogonaceae. VII. Acaulospora capsicula sp. nov. Mycologia 82(6):794 -798

Acaulospora cavernata Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1989. Acaulospora cavernata (Endogonales) - a New Species from Poland with Pitted Spores. Crypt. Bot. 1:204-207

Acaulospora delicata Walker, Pfeiffer & Bloss

Walker, C., Pfeiffer, C.M., and Bloss, H.E. 1986. Acaulospora delicata sp. nov. - an endomycorrhizal fungus from Arizona. Mycotaxon 25:621-628

Acaulospora denticulata Sieverding & Toro

Sieverding, E. and Toro, S.T. 1987. Acaulospora denticulata sp. nov. and Acaulospora rehmii sp. nov. (Endogonaceae) with ornamented spore walls. Angewandte Botanik 61:217- 223

Acaulospora dilatata Morton

Morton, J.B. 1986. Three new species of Acaulospora (Endogonaceae) from high aluminum, low pH soils in West Virginia. Mycologia 78:641-648

Acaulospora elegans Trappe & Gerdemann

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoir 5:1-76

Acaulospora excavata Ingleby & Walker

Ingleby, K., Walker, C., and Mason, P.A. 1994. Acaulospora excavata sp. nov. - an endomycorrhizal fungus from Cote d' Ivoire. Mycotaxon 50 :99-105

Acaulospora foveata Trappe & Janos

Janos, D.P. and Trappe, J.M. 1982. Two new Acaulospora species from tropical America. Mycotaxon 15:515-522

Acaulospora gedanensis Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1988. Four new species of Endogonaceae (Zygomycotina) from Poland. Karstenia 27: 37- 42

Acaulospora gerdemannii Schenck & Nicolson

Nicolson, T. H., and Schenck, N. C. 1979. Endogonaceous mycorrhizal endophytes in Florida. Mycologia 71: 178-198

Acaulospora koskei Blaszkowski

J. Blaszkowski. 1995. Acaulospora koskei, a new species in Glomales from Poland. Mycol. Res. 99: 237-240

Acaulospora lacunosa Morton

Morton, J.B. 1986. Three new species of Acaulospora (Endogonaceae) from high aluminum, low pH soils in West Virginia. Mycologia 78:641-648

Acaulospora laevis Gerdemann & Trappe

Gerdemann, J.W., and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoir 5:1-76

Acaulospora longula Spain & Schenck

Schenck, N.C., Spain, J.L., Sieverding, E., and Howeler, R.H. 1984. Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. Mycologia 76:685-699

Acaulospora mellea Spain & Schenck

Schenck, N.C., Spain, J.L., Sieverding, E., and Howeler, R.H. 1984. Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. Mycologia 76:685-699

Acaulospora morrowiae Spain & Schenck

Schenck, N.C., Spain, J.L., Sieverding, E., and Howeler, R.H. 1984. Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. Mycologia 76: 685-699

Acaulospora myriocarpa Spain, Sieverding & Schenck

Schenck, N.C., Spain, J.L., and Sieverding, E. 1986. A new sporocarpic species of Acaulospora (Endogonaceae). Mycotaxon 25:111-117

Acaulospora nicolsonii Walker, Reed & Sanders

Walker, C., Reed, L.E., and Sanders, F.E. 1984. Acaulospora nicolsonii, a new endogonaceous species from Great Britain. Trans. Br. Mycol. Soc. 83:360-364

Acaulospora paulineae Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1988. Three new vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Poland. Bull. of the Polish 36:10-12

Acaulospora polonica Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1988. Four new species of Endogonaceae (Zygomycotina) from Poland. Karstenia 27: 37- 42

Acaulospora rehmii Sieverding & Toro

Sieverding, E., and Toro, S.T. 1987. Acaulospora denticulata sp. nov. and Acaulospora rehmii sp. nov. (Endogonaceae) with ornamented spore walls. Angewandte Botanik 61:217-223

Acaulospora rugosa Morton

Morton, J.B. 1986. Three new species of Acaulospora (Endogonaceae) from high aluminum, low pH soils in West Virginia. Mycologia 78:641-648

Acaulospora scrobiculata Trappe

Trappe, J.M. 1977. Three new Endogonaceae: Glomus constrictus, Sclerocystis clavispora, and Acaulospora scrobiculata. Mycotaxon 6:359-366

Acaulospora spinosa Walker & Trappe

Walker, C., and Trappe, J.M. 1981. Acaulospora spinosa sp. nov. with a key to the species of Acaulospora. Mycotaxon 12: 515-521

Acaulospora splendida Sieverding, Chaverri & Rojas

Sieverding, E., Chaverri, A., and Rojas, I. 1988. Acaulospora splendida, a new species in the Endogonaceae from Costa Rica. Mycotaxon 33:251-256

Acaulospora sporocarpia Berch

Berch, S.M. 1985. Acaulospora sporocarpia, a new, sporocarpic species of the genus Acaulospora (Endogonaceae, Zygomycotina). Mycotaxon 23:409-418

Acaulospora taiwania Hu

Hu, H.T. 1988. Study on the endomycorrhizae of China fir (Cunninghamia lanceolata Hooker) and taiwania (Taiwania cryptmerioides Hay). Q. Jour. Chin. For. 21:45-72

Acaulospora thomii Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1988. Four new species of Endogonaceae (Zygomycotina) from Poland. Karstenia 27: 37- 42

Acaulospora trappei Ames & Linderman

Ames, R.N., and Linderman, R.G. 1976. Acaulospora trappei sp. nov. Mycotaxon 3:565-569

Acaulospora tuberculata Janos & Trappe

Janos, D.P., and Trappe, J.M. 1982. Two new Acaulospora species from tropical America. Mycotaxon 15: 515-522

Acaulospora undulata Sieverding

Sieverding, E. 1988. Two new species of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in the Endogonaceae from tropical highlands of Africa. Angewandte Botanik 62:373-380

Acaulospora walkeri Kramadibrata & Hedger

Kramadibrata, K., and Hedger, J.N. 1990. A new species of Acaulospora associated with cocoa in Java and Bali (Indonesia). Mycotaxon 37:73-77

Entrophospora colombiana Spain & Schenck

Schenck, N.C., Spain, J.L., Sieverding, E., and Howeler, R.H. 1984. Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. Mycologia 76: 685-699

Entrophospora infrequens (Hall) Ames & Schneider

Ames, R.N., and Schneider, R.W. 1979. Entrophosphora, a new genus in the Endogonaceae. Mycotaxon 8:347-352

Entrophospora kentinensis Wu & Liu

Wu, C.-G. and Liu, Y.-S. 1995. Glomales of Taiwan: V. Glomus chimonobambusae and Entrophospora kentinensis, spp. nov. Mycotaxon 53:283-294

Entrophospora schenckii Sieverding & Toro

Sieverding, E., and Toro, S.T. 1987. Entrophospora schenckii: a new species in the Endogonaceae from Colombia. Mycotaxon 28:209-214

Gigaspora albida Schenck & Smith

Schenck, N.C., and Smith, G.S. 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycologia 74:77-92

Gigaspora decipiens Hall & Abbott

Hall, I.R., and Abbott, L.K. 1984. Some Endogonaceae from South Western Australia. Trans. Br. Mycol. Soc. 83:203-208

Gigaspora gigantea (Nicol. & Gerd.) Gerdemann & Trappe

Gerdemann, J.W., and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoir 5: 1-76

Gigaspora margarita Becker & Hall

Becker, W.N., and Hall, I.R. 1979. Gigaspora margarita, a new species in the Endogonaceae.

Mycotaxon 4:155-160

Gigaspora rosea Nicolson & Schenck

Nicolson, T.H., and Schenck, N.C. 1979. Endogonaceous mycorrhizal endophytes in Florida. Mycologia 71:178-198

Glomus aggregatum Schenck & Smith emend. Koske

Schenck, N.C. and Smith, G.S. 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycologia 74:77-92

Glomus albidum Walker & Rhodes

Walker, C. and Rhodes, L.H. 1981. Glomus albidus: A new species in the Endogonaceae. Mycotaxon 12: 509-514

Glomus ambisporum Smith & Schenck

Smith, G.S. and Schenck, N.C. 1985. Two new dimorphic species in the Endogonaceae: Glomus ambisporm and Glomus heterosporum. Mycologia 77:566-574

Glomus antarticum Cabello

Cabello, M., Gaspar, L., and Pollero, R. 1994. Glomus antarticum sp. nov., a vesicular- arbuscular mycorrhizal fungus from Antartica. Mycotaxon 51:123-128

Glomus arborense McGee

McGee, P.A. 1986. Further sporocarpic species of Glomus (Endogonaceae) from South Australia. Trans. Br. Mycol. Soc. 87:123-129

Glomus australe (Berkeley) Berch

Berch, S.M. and Fortin, J.A. 1983. Lectotypification of Glomus macrocarpum and proposal of new combinations: Glomus australe, Glomus versiforme, and Glomus tenebrosum (Endogonaceae). Can. J. Bot. 61:2608-2617

Glomus boreale (Thaxter) Trappe & Gerdemann

Thaxter, R. 1922. A revision of the Endogoneae. Proc. Amer. Acad. Arts. S 57: 291-350

Glomus botryoides Rothwell & Victor

Rothwill, F.M. and Victor, B.J. 1984. A new species of Endogonaceae: Glomus botryoides. Mycotaxon 20:163-167

Glomus brazilianum Spain & Miranda

Spain, J. L. and J. C. de Miranda 1996. Glomus brazilianum: an ornamented species in the Glomaceae. Mycotaxon 60:137-142

Glomus caledonium (Nicol. & Gerd.) Trappe & Gerdemann

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoirs 5:76

Glomus callosum Sieverding

Sieverding, E. 1988. Two new species of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in the Endogonaceae from tropical highlands of Africa. Angewandte Botanik 62:373-380

Glomus canadense (Thaxter) Trappe & Gerdemann

Thaxter, R. 1922. A revision of the Endogoneae. Proc. Amer. Acad. Arts 57:291-350

Glomus cerebriforme McGee

McGee, P.A. 1986. Further sporocarpic species of Glomus (Endogonaceae) from South Australia. Trans. Br. Mycol. Soc. 87:123-129

Glomus chimonobambusae Wu & Liu

Wu, C.-G. and Liu, Y.-S. 1995. Glomales of Taiwan: V. Glomus chimonobambusae and Entrophospora kentinensis, spp. nov. Mycotaxon 53:283-294

Glomus citricola Tang & Zang

Tang, Z. and Zang, M. 1984. Additions to the key of Endogonaceae and a new species of mycorrhizal fungus: Glomus citricolus. Acta Botanica Yunnanica 6:295-304

Glomus claroideum Schenck & Smith

Schenck, N. C. and Smith, G.S. 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycologia 74:77-92

Glomus clarum Nicolson & Schenck

Nicolson, T.H. and Schenck, N.C. 1979. Endogonaceous mycorrhizal endophytes in Florida. Mycologia 71:178-198

Glomus clavisporum (Trappe) Almeida & Schenck

Trappe, J. M. 1977. Three new Endogonaceae: Glomus constrictus, Sclerocystis clavispora, and Acaulospora scrobiculata. Mycotaxon 6:359-366

Glomus constrictum Trappe

Trappe, J. M. 1977. Three new Endogonaceae: Glomus constrictus, Sclerocystis clavispora, and Acaulospora scrobiculata. Mycotaxon 6:359-366

Glomus convolutum Gerdemann & Trappe

Gerdeman, J. W. and J. M. Trappe. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia MemoirsNo. 5:76 pp.

Glomus coronatum Giovannetti

Giovannetti, M., Avio, L. and Salutini, L. 1991. Morphological, cytochemical, and ontogenetic characteristics of a new species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Canad. J. Bot. 69:161-167

Glomus corymbiforme Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1995. Glomus corymbiforme, a new species in Glomales from Poland. Mycologia 87: 732-737

Glomus delhiense Mukerji, Bhattacharjee & Tewari

Mukerji, K. G., Bhattacharjee, M., and Tewari, J. P. 1983. New species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Trans. Br. Mycol. Soc. 81:641-643

Glomus deserticola Trappe, Bloss & Menge

Trappe, J.M., Bloss, H.E. and Menge, J.A. 1984. Glomus deserticola sp. nov. Mycotaxon 20:123-127

Glomus diaphanum Morton & Walker

Morton, J.B. and Walker, C. 1984. Glomus diaphanum: a new species in the Endogonaceae common in West Virginia. Mycotaxon 21:431-440

Glomus dimorphicum Boyetchko & Tewari

Boyetchko, S.M. and Tewari, J.P. 1986. A new species of Glomus (Endogonaceae, Zygomycotina) mycorrhizal with barley in Alberta. Can. J. Bot. 64:90-95

Glomus dominikii Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1988. Four new species of the Endogonaceae (Zygomycotina) from Poland. Karstenia 27:37-42

Glomus etunicatum Becker & Gerdemann

Becker, W.N. and Gerdemann, J.W. 1977. Glomus etunicatus sp. nov. Mycotaxon 6:29-32

Glomus fasciculatum (Thaxter) Gerd. & Trappe emend. Walker & Koske

Walker, C. and Koske, R.E. 1987. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: IV. Glomus fasciculatum redescribed. Mycotaxon 30:253-262

Glomus fecundisporum Schenck & Smith

Schenck, N.C. and Smith, G.S. 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycologia 74:77-92

Glomus fistulosum Skou & Jakobsen

Skou, J.P. and Jakobsen, I. 1989. Two new Glomus species from arable land. Mycotaxon 36:273-282

Glomus flavisporum (Lange & Lund) Trappe & Gerdemann

Lange, M. and Lund, E.M. 1955. The genus Endogone in Denmark. Friesia 5:90-95

Glomus formosanum Wu & Chen

Wu, C.-G. and Chen, Z.-C. 1986. The Endogonaceae of Taiwan: I. A preliminary investigation on Endogonaceae of bamboo vegetation at Chi-Tou areas, central Taiwan. Taiwania 31:65-88

Glomus fragile. (Berk. & Broome) Trappe & Gerdemann

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoirs 5: 76 pp.

Glomus fragilistratum Skou & Jakobsen

Skou, J. P. and Jakobsen, I. 1989. Two new Glomus species from arable land. Mycotaxon 36:273-282

Glomus fuegianum (Spegazzini) Trappe & Gerdemann

Thaxter, R. 1922. A revision of the Endogoneae. Proc. Amer. Acad. Arts 57:291-350

Glomus fulvum (Berk. & Broome) Trappe & Gerdemann

Thaxter, R. 1922. A revision of the Endogoneae. Proc. Amer. Acad. Arts 57 :291-350

Glomus geosporum (Nicol. & Gerd.) Walker

Walker, C. 1982. Species in the Endogonaceae: A new species (Glomus occultum) and a new combination (Glomus geosporum). Mycotaxon 15:49-61

Glomus gerdemannii Rose, Daniels & Trappe

Rose, S., Daniels, B.A. and Trappe, J.M. 1979. Glomus gerdemannii sp. nov. Mycotaxon 8:297-301

Glomus globiferum Koske & Walker

Koske, R.E. and Walker, C. 1986. Glomus globiferum: a new species of Endogonaceae with a hyphal peridium. Mycotaxon 26:1333-142

Glomus glomerulatum Sieverding

Sieverding, E. 1987. A VA-mycorrhizal fungus, Glomus glomerulatum sp. nov., with two hyphal attachments and spores formed only in sporocarps. Mycotaxon 29:73-39

Glomus halonatum Rose & Trappe

Rose, S. L. and Trappe, J. M. 1980. Three new endomycorrhizal Glomus spp. associated with actinorrhizal shrubs. Mycotaxon 10:413-420

Glomus heterosporum Smith & Schenck

Smith, G. S. and Schenck, N. C. 1985. Two new dimorphic species in the Endogonaceae: Glomus ambisporum and Glomus heterosporum. Mycologia 77:566-574

Glomus hoi Berch & Trappe

Berch, S.M. and Trappe, J.M. 1985. A new species of Endogonaceae, Glomus hoi. Mycologia 77:654-657

Glomus intraradices Schenck & Smith

Schenck, N.C. and Smith, G.S. 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycologia 74:77-92

Glomus invermaium Hall

Hall, I.R. 1977. Species and mycorrhizal infections of New Zealand Endogonaceae. Trans. Br. Mycol. Soc. 68:341-356

Glomus laccatum Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1988. Three new vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Poland. Bull. Pol. Acad. Sc. Biol.36:No. 10-12

Glomus lacteum Rose & Trappe

Rose, S.L. and Trappe, J.M. 1980. Three new endomycorrhizal Glomus spp. associated with actinorrhizal shrubs. Mycotaxon 10:413-420

Glomus lamellosum Dalpe, Koske & Tews

Dalpe, Y., Koske, R.E., and Tews, L.L. 1992. Glomus lamellosum sp. nov.: a new Glomaceae associated with beach grass. Mycotaxon 43:289-293

Glomus leptotichum Schenck & Smith

Schenck, N.C. and Smith, G.S. 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycologia 74:77-92

Glomus liquidambaris (Wu & Chen) Almeida & Schenck

Wu, C.-G. and Chen, Z.-C. 1987. The endogonaceae of Taiwan II. Two new species of Sclerocystis from Taiwan. Trans. Mycol. Soc. Rep. of China 2:73-83

Glomus macrocarpum Tulasne & Tulasne

Berch, S.M. and Fortin, J.A. 1983. Leptotypification of Glomus macrocarpum and proposal of new combinations: Glomus australe, Glomus versiformme, and Glomus tenebrosum (Endogonaceae). Can. J. Bot. 61:2608-2617

Glomus maculosum Miller & Walker

Miller, D.D.and Walker, C. 1986. Glomus maculosum sp. nov. (Endogonaceae): an endomycorrhizal fungus. Mycotaxon 25:217-227

Glomus magnicaule Hall

Hall, I.R. 1977. Species and mycorrhizal infections of New Zealand Endogonaceae. Trans. Br. Mycol. Soc. 68:341-356.

Glomus manihotis Howeler, Sieverding & Schenck

Schenck, N.C., Spain, J.L. Sieverding, E. and R.H. Howeler, R.H. 1984. Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. Mycologia 76:685-699

Glomus melanosporum Gerdemann & Trappe

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoirs No. 5:76 pp.

Glomus microaggregatum Koske, Gemma & Olexia

Koske, R.E., Gemma, J.N., and Olexia, P.D. 1986. Glomus microaggregatum, a new species in the Endogonaceae.. Mycotaxon 26:125-132

Glomus microcarpum Tulasne & Tulasne

Berch, S. M. and Fortin, J. A. 1984. A lectotype for Glomus microcarpum (Endogonaceae, Zygonycetes). Mycologia 76:190-193

Glomus monosporum Gerdemann & Trappe

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoirs No. 5:76 pp.

Glomus mortonii Bentivenga & Hetrick

Bentivenga, S.P. and Hetrick, B.A.D. 1991. Glomus mortonii sp. nov., a previously undescribed species in the Glomaceae isolated from the tallgrass prairie in Kansas. Mycotaxon 42:9-15

Glomus mosseae (Nicol. & Gerd.) Gerdemann & Trappe

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia MemoirsNo. 5:76 pp.

Glomus multicaule Gerdemann & Bakshi

Gerdemann, J.W. and Bakshi, B.K. 1976. Endogonaceae of India: two new species. Trans. Br. Mycol. Soc. 66:340-343

Glomus multisubstensum Mukerji, Bhattacharjee & Tewari

Mikerji, K. G., Bhattacharjee, M. and Tewari, J. P. 1983. New species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Trans. Br. Mycol. Soc. 81:641-643

Glomus nanolumen Koske & Gemma

Koske, R.E. and Gemma, J.N. 1989. Glomus nanolumen (Endogonaceae), a new species from Hawaii. Mycologia 81:935-938

Glomus occultum Walker

Walker, C. 1982. Species in the Endogonaceae: A new species (Glomus occultum) and a new combination (Glomus geosporum). Mycotaxon 15:49-61

Glomus pallidum Hall

Hall, I.R. 1977. Species and mycorrhizal infections of New Zealand Endogonaceae. Trans. Br. Mycol. Soc. 68:341-356

Glomus pansihalos Berch & Koske

Berch, S. M. and Koske, R. E. 1986. Glomus pansihalos, a new species in the Endogonaceae, Zygomycetes. Mycologia 78:832-836

Glomus przelewicensis Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1988. Three new vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Poland Bul. Pol. Acad. Sc. Biol. 36:No. 10-12

Glomus pubescens. (Sacc. & Ellis) Trappe & Gerdemann

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoirs No. 5:76 pp.

Glomus pulvinatum (Henn.) Trappe & Gerdemann

Tandy, P.A. 1975. Sporocarpic species of Endogonaceae in Australia. Aust. J. Bot .23:849-866

Glomus pustulatum. Koske, Friese, Walker & Dalpe

Koske, R.E., Friese, C., Walker, C. and Dalpe, Y. 1986. Glomus pustulatum: a new species in the Endogonaceae. Mycotaxon 26:143-149

Glomus radiatum (Thaxter) Trappe & Gerdemann

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia

Memoirs No. 5:76 pp.

Glomus reticulatum Bhattacharjee & Mukerji

Bhattacharjee, M. and Mukerji, K.G. 1980. Studies on Indian Endogonaceae. II. The genus Glomus. Sydowia (Annales) 39:14-17

Glomus rubiforme (Gerd. & Trappe) Almeida & Schenck

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae of the Pacific Northwest. Mycologia Memoirs 5:1-76

Glomus scintillans Rose & Trappe

Rose, S. L. and Trappe, J. M. 1980. Three new endomycorrhizal Glomus spp. associated with actinorrhizal shrubs. Mycotaxon 10:413-420

Glomus segmentatum Trappe, Spooner & Ivory

Trappe, J.M. 1979. Glomus segmentatus sp. nov. Trans. Br. Mycol. Soc.73:362-363

Glomus sinuosum (Gerd. & Bakshi) Almeida & Schenck

Gerdemann, J.W. and Bakshi, B.K. 1976. Endogonaceae of India: two new species. Trans. Br. Mycol. Soc. 66:340-343

Glomus sterilum Mehrotra and Baijal

Mehrotra, V. S. and Baijal, U. 1992. Glomus sterilum, a new species of VA- mycorrhiza isolated from potato roots. Phil. J. Science 121:305-316

Glomus taiwanense (Wu & Chen) Almeida & Schenck

Wu, C.-G. and Chen, Z.-C. 1987. The endogonaceae of Taiwan II. Two new species of Sclerocystis from Taiwan. Trans Mycol. Soc. Rep. of China 2:73-83

Glomus tenebrosum (Thaxter) Berch

Berch, S.M. and Fortin, J.A. 1983. Leptotypification of Glomus macrocarpum and proposal of new combinations: Glomus australe, Glomus versiforme, and Glomus tenebrosum (Endogonaceae). Can. J. Bot. 61:2608-2617

Glomus tenerum Tandy emend. McGee

McGee, P.A. 1986. Further sporocarpic species of Glomus (Endogonaceae) from South Australia. Trans. Br. Mycol. Soc. 87: 123-129

Glomus tenue (Greenhall) Hall

Hall, I.R. 1977. Species and mycorrhizal infections of New Zealand Endogonaceae. Trans. Br. Mycol. Soc.68:341-356

Glomus tortuosum Schenck & Smith

Schenck, N.C. and Smith, G.S. 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. Mycologia 74:77-92

Glomus trimurales Koske & Halvorson

Koske, R.E. and Halvorson, W.L. 1989. Scutellospora arenicola and Glomus trimurales: two new species in the Endogonaceae. Mycologia 81:927-933

Glomus versiforme (Karsten) Berch

Berch, S.M. and Fortin, J.A. 1983. Leptotypification of Glomus macrocarpum and proposal of new combinations: Glomus australe, Glomus versiforme, and Glomus tenebrosum (Endogonaceae). Can. J. Bot. 61:2608-2617

Glomus vesiculiferum (Thaxter) Gerdemann & Trappe

Gerdemann, J. W. and Trappe, J. M. 1974. Endogonaceae of the Pacific Northwest. Mycologia

Memoirs5:76 pp.

Glomus viscosum Nicolson

Walker, C., Giovannetti, M., Avio, L., Citernesi, and Nicolson, 1995. A new fungal species forming arbuscular mycorrhizas: Glomus viscosum. Mycol. Res. 99:1500-1506

Sclerocystis coremioides Berk. & Broome

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae of the Pacific Northwest. Mycologia Memoirs 5:1-76

Scutellospora alborosea (Ferr. & Herr.) Walker & Sanders

Ferrer, R.L. and R.A. Herrera 1980. El genero Gigaspora Gerdemann et Trappe (Endogonaceae) en Cuba. Revista Jardin Botanico 1 :43-66

Scutellospora arenicola Koske & Halvorson

Koske, R.E. and Halvorson, W.L. 1989. Scutellospora arenicola and Glomus trimurales: two new species in the Endogonaceae Mycologia 81:927-933

Scutellospora armeniaca Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1992. Scutellospora armeniaca, a new species in Glomales (Zygomycetes) from Poland. Mycologia 84:939-944

Scutellospora aurigloba (Hall) Walker & Sanders

Hall, I.R. 1977. Species and mycorrhizal infections of New Zealand Endogonaceae. Trans. Br. Mycol. Soc. 68:341-356

Scutellospora biornata Spain, Sieverding & Toro

Spain, J. L., Sieverding, E. and Toro, S. 1989. Scutellospora biornata: a new species in the Endogonaceae from the Llanos Orientales of Colombia. Mycotaxon 35:219-227

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

Koske, R.E. and Walker, C. 1986. Species of *Scutellospora* (Endogonaceae) with smooth-walled spores from maritime sand dunes: two new species and a redescription of the spores of S. pellucida and S. calospora. Mycotaxon 27:219-235

Scutellospora castanea Walker

Walker, C., Gianinazzi-Pearson, V. and Marion-Espinasse, H. 1993. Scutellospora castanea, a newly described arbuscular mycorrhizal fungus. Cryptogamie, Mycol. 14(4):279-286

Scutellospora cerradensis Spain & Miranda

Spain, J. L. and J. C. de Miranda. 1996. Scutellospora cerradensis: an ornamented species in the Gigasporaceae (Glomales) from the cerrado region of Brazil. Mycotaxon 60:129-136

Scutellospora coralloidea (Trappe, Gerd. & Ho) Walker & Sanders

Koske, R.E. and Walker, C. 1985. Species of Gigaspora (Endogonaceae) with roughened outer walls. Mycologia 77:702-720

Scutellospora dipapillosa (Walker & Koske) Walker & Sanders

Koske, R.E. and Walker, C. 1985. Species of Gigaspora (Endogonaceae) with roughened outer walls. Mycologia 77:702-720

Scutellospora dipurpurascens Morton & Koske

Morton, J.B. and Koske, R.E. 1988. Scutellospora dipurpurescens, a new species in the Endogonaceae from West Virginia. Mycologia 80:520-524

Scutellospora erythropa (Koske & Walker) Walker & Sanders

Koske, R.E. and Walker, C. 1984. Gigaspora erythropa, a new species forming arbuscular mycorrhizae.

Mycologia 76:250-255

Scutellospora fulgida Koske & Walker

Koske, R.E. and Walker, C. 1986. Species of *Scutellospora* (Endogonaceae) with smooth-walled spores from maritime sand dunes: two new species and a redescription of the spores of S. pellucida and S. calospora. Mycotaxon 27:219-235

Scutellospora gilmorei (Trappe & Herd.) Walker & Sanders

Gerdemann, J.W. and Trappe, J.M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoirs No. 5:76 pp.

Scutellospora gregaria (Schenck & Nicol.) Walker & Sanders

Koske, R.E. and Walker, C. 1985. Species of Gigaspora (Endogonaceae) with roughened outer walls. Mycologia 77:702-720

Scutellospora heterogama (Nicol. & Gerdemann) Walker & Sanders

Nicolson, T.H. and Gerdemann, J.W. 1968. Mycorrhizal Endogone species. Mycologia 60:313-325

Scutellospora minuta (Ferr. & Herr.) Walker & Sanders

Ferrer, R.L. and Herrera, R.A. 1980. El genero Gigaspora Gerdemann et Trappe (Endogonaceae) en Cuba. Revista Jardin Botanico 1:43-66

Scutellospora nigra (Redhead) Walker & Sanders

Nicolson, T.H. and Schenck, N.C. 1979. Endogonaceous mycorrhizal endophytes in Florida. Mycologia 71: 178-198

Scutellospora nodosa Blaszkowski

Blaszkowski, J. 1991. Polish Glomales VIII. Scutellispora nodosa, a new species with knobby spores. Mycologia 83(4):537-542

Scutellospora pellucida (Nicol. & Schenck) Walker & Sanders

Koske, R.E. and Walker, C. 1986. Species of *Scutellospora* (Endogonaceae) with smooth-walled spores from maritime sand dunes: two new species and a redescription of the spores of S. pellucida and S. calospora. Mycotaxon 27:219-235

Scutellospora persica (Koske & Walker) Walker & Sanders

Koske, R.E. and Walker, C. 1985. Species of Gigaspora (Endogonaceae) with roughened outer walls. Mycologia 77:702-720

Scutellospora reticulata (Koske, Miller & Walker) Walker & Sanders

Koske, R.E., Miller, D.D., and Walker, C. 1983. Gigaspora reticulata: a newly described endomycorrhizal fungus from New England. Mycotaxon 16:429-435

Scutellospora savannicola (Ferr. & Herr.) Walker & Sanders

Ferrer, R.L. and Herrera, R.A. 1980. El genero Gigaspora Gerdemann et Trappe (Endogonaceae) en Cuba. Revista Jardin Botanico 1:43-66

Scutellospora scutata Walker & Diederichs

Walker, C. and Diederichs, C. 1989. Scutellospora scutata sp. nov., a newly described endomycorrhizal fungus from Brazil. Mycotaxon 35:357-361

Scutellospora tricalypta (Herr. & Ferr.) Walker & Sanders

Ferrer, R.L. and Herrera, R.A. 1980. El genero Gigaspora Gerdemann et Trappe (Endogonaceae) en Cuba. Revista Jardin Botanico 1:43-66

Scutellospora verrucosa (Koske & Walker) Walker & Sanders

Koske, R.E. and Walker, C. 1985. Species of Gigaspora (Endogonaceae) with roughened outer walls.

Mycologia 77:702-720

Scutellospora weresubiae Koske & Walker

Koske, R.E. and Walker, C. 1986. Specie of *Scutellospora* (Endogonaceae) with smooth-walled spores from maritime sand dunes: two new spp. & a redescription of the spores of S. pellucida and S. calospora. Mycotaxon 27:219-235

附錄2：國際菌根菌種原中心主任Dr. Joe Morton訪華報告

Report on visit to Taiwan, April 13-24, 1998

Joseph B. Morton, Professor, West Virginia University

My visit to Taiwan was highly productive as well as instructive. I met administrators, scientists, staff and business leaders with a wide range of interests and expertise; toured research facilities at TARI, the experiment stations of Chia-Yi and the Endemic Species Research Center; and observed first-hand research projects being conducted on mycorrhizal fungi and their application to agriculture. I spent one day touring the WuChi Township Farmers' Association in Taichung City and another day visiting with representatives of the Taiwan Biological Research Corporation and Rhe-Chu Co., two commercial enterprises with projects to produce mycorrhizal inoculum. At Rhe-Chu, I also presented a seminar on the biological and ecological properties of mycorrhizal fungi which apply to inoculum production methods and storage. At TARI, I presented another seminar on coevolutionary trends in the arbuscular mycorrhizal symbiosis and their significance in present-day interactions with plant communities. Both seminars were well attended, with more questions than I have received in any previous seminar *anywhere*. I also was escorted through two of the major parks on the island and to Sun-Moon Lake, during which I observed beautiful landscapes and exotic vegetation and I saw the nature, breadth, and diversity of agricultural crop production on the island.

My host for this trip was Dr. Chi-Guang Wu, who previously had visited my lab and with whom I had become acquainted at several international conferences. Dr. Wu clearly has been in the forefront of mycorrhizal research in Asia, and his interest in promoting a regional culture collection of the fungi provided the impetus for my visit to Taiwan. Accordingly, I devoted much of my time with Dr. Wu working in his laboratory and discussing his mycorrhizal research program and the mechanisms and benefits of future mutual collaboration. During this trip, we made immediate progress in developing an outline for a publication with joint authorship which compares various culturing regimes of which each of us has unique expertise. This manuscript will provide an outlet for unpublished data accumulated by each of us at our respective insitutions. We also have immediately begun the exchange of selected fungal isolates that will lead to other joint manuscripts reevaluating their taxonomy and their biological properties. In the longer term, we will begin collaborations to merge culturing procedures, especially as they pertain to trapping and recovery of fungi from native habitats and the establishment of monospecific cultures for inoculum production or application. We will integrate procedures for culture development, maintenance and storage, especially those applying directly to culture collection goals. Dr. Wu has made considerable progress in his collection that makes this process significant, with over 600 isolates (INVAM has approx. 1300, but from world-wide input over a 5 year period). We also will establish strong cross-linkages in our respective internet sites, share information, and begin to work on a world-wide network of communication with other small collections (BEG in Europe, one in Australia, and one in India). As work progresses, we expect to accumulate considerable data on the nature and complexity of fungal communities associated with plants in Taiwan and merge those data with knowledge already accumulated of plant-fungal associations in temperate climates of North America and elsewhere.

It is clear that everyone at TARI and branch experiment stations are highly mission oriented in solving problems of Taiwan agriculture, with the expectation that these results will be

transferred to the business sector or "extension unit" for implementation. There appear to be inconsistencies in these goals, however, especially in the arena of inoculum production and marketing. At the Chia-Yi station, dramatic growth responses in muskmelons and Lufa have been obtained with local production and application of mycorrhizal inoculum. Much of this technology also has been transferred to the Taiwan Biological Research Corporation and Rhe Chu Co. Concurrent goals by government-subsidized research and by independent businesses is likely to cause serious problems in the near future. At Chia-Yi, inoculum is provided at no cost, so farmers are not likely to purchase it from commercial sources, thus inhibiting new business ventures. I am surprised that work at Chia-Yi has not shifted from the production arena to other pertinent applied research that will assist and promote business ventures in the long term, such as: (1) research to determine the causes for the dramatic responses observed and thus assess the predictability of such responses in other fields and other crops, (2) research to develop quality control procedures for inoculum quality, purity, viability after storage, etc., (3) research to define certification guidelines so that a uniformly quality product is consistently available to farmers and growers, and (4) research to trap and grow native fungi adapted to specific habitats that might require "special" fungi (such as extremely low pH soils, soils with heavy metals, highly alkaline soils, etc.). Based on meetings being at held at the WuChi Township Farmers' Association on sustainable agriculture, it is apparent that efforts are being made to balance traditional methods with others which are ecologically sound. Farmers appear to be anxious to try new methods to maximize crop production and quality, so the efforts being made in the mycorrhizal inoculum production industry can bear fruit and fluorish if they are not undermined by lack of basic knowledge of Taiwan plant-fungal interactions or a variable product.

At TARI, I was most impressed with the breadth of activities and the successes that have been obtained. There also appears to be considerable opportunity for cross-collaboration to make even greater strides, but much of this has yet to be explored or implemented. Among the researchers with whom I visited, there seemed to be strong efforts to study basic questions as long as they contributed to the applied goals of each program and to publish results in international journals. I think this approach is highly commendable because it provides international as well as national recognition to the program and has the potential to attract scientists and funds from other countries.

After travelling from northern to central Taiwan, I was continually amazed by the diversity in geography, climate, types of crops grown, farming practices, levels of affluence, etc. It made me aware of how many different problems are likely to exist and the complexity of finding all the appropriate solutions. The number of scientists involved on the island seems so small by comparison! In this regard, it seems that there is too much focus on only one aspect of mycorrhizal research (inoculum production) and that all of the other aspects are not considered. This is not a problem in the short term, but it retards the development of a comprehensive program with consistent growth and stability. One solution is to establish a "division of labor" wherein scientists tailor their goals and responsibilities to their expertise to tackle a wider range of problems for more comprehensive solutions. There is a great deal left to do, but I think cooperation between government, businesses and growers has been exemplary thus far and indicates a good start!



圖2. 菌根菌訓練班合影。



圖3. 菌根菌訓練班實習上課情形。

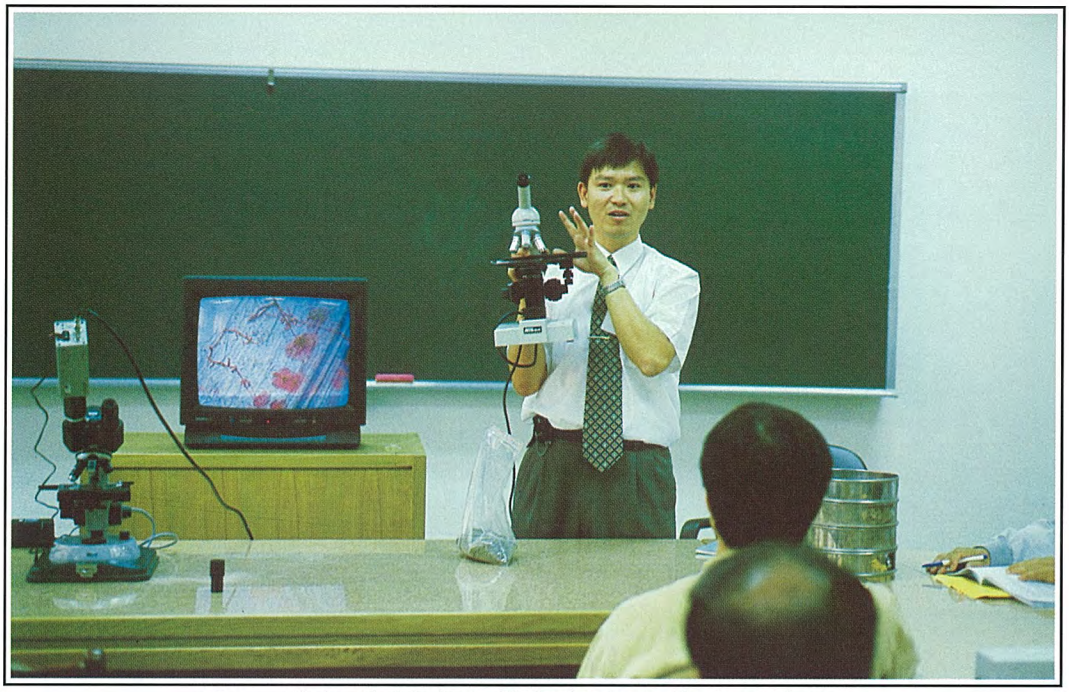


圖4. 菌根菌訓練班講師解顯微鏡使用情形。

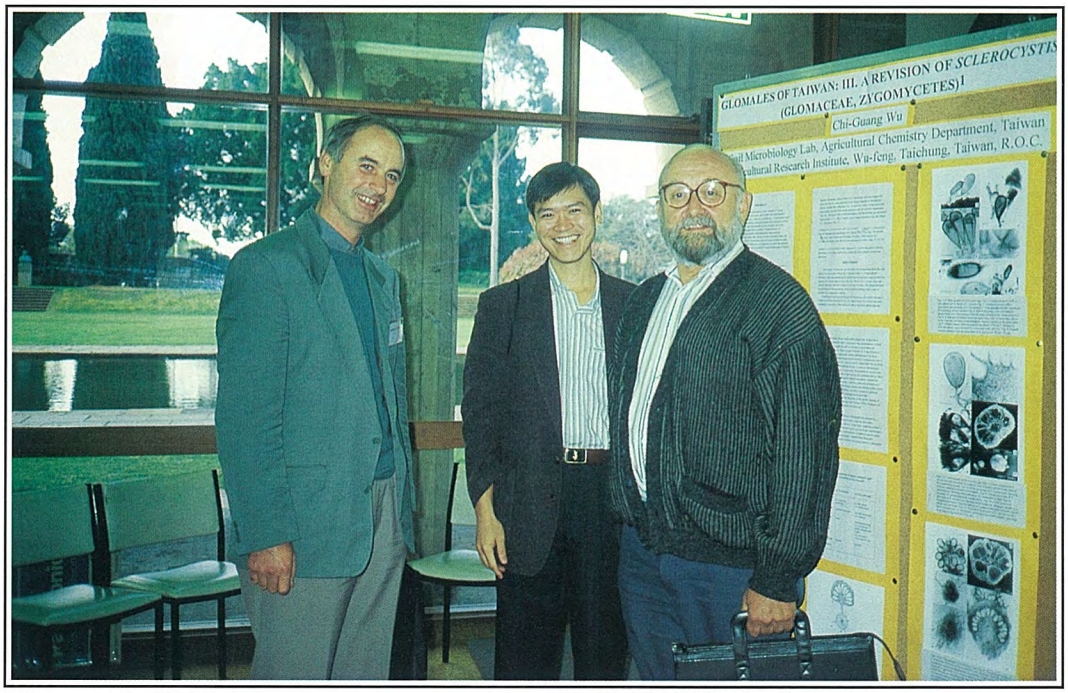


圖5. 編者與Dr. James Trappe (右一)於澳洲國際會議上合影。



圖6. 我國自行生產叢枝菌根菌商品之一，Mycovam (根特旺)。



圖7. 我國自行生產叢枝菌根菌商品之一，愛根好。



圖8. 我國工業界生產叢枝菌根菌用之溫室。



圖9. 日本叢枝菌根菌商品之一， Dr.Kinkon (菌根博士)。

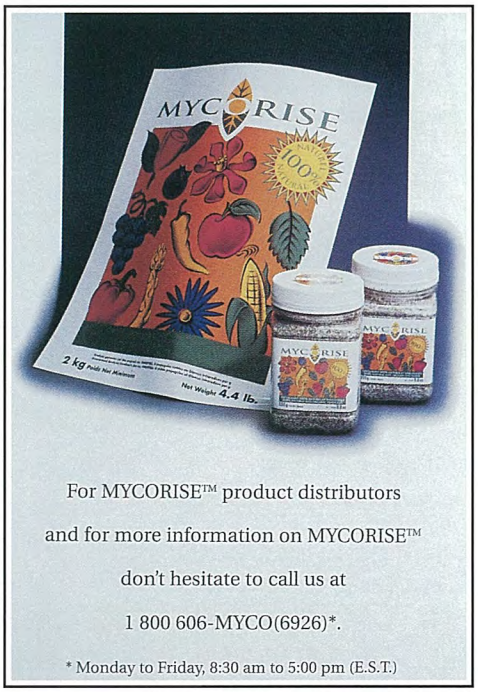


圖10. 加拿大叢枝菌根菌商品之一 , *Mycorise*。



圖13. 我國發現的繡球菌目之新屬 *Jimtrappea* , *(J. macrospora)*。



圖14. 我國發現的繡球菌目之新種，*G. chimonobambusae*。



圖15. *Sclerorcystis clavispora*之孢子果。



圖16. *Entrophospora coloumbiana*之孢子。

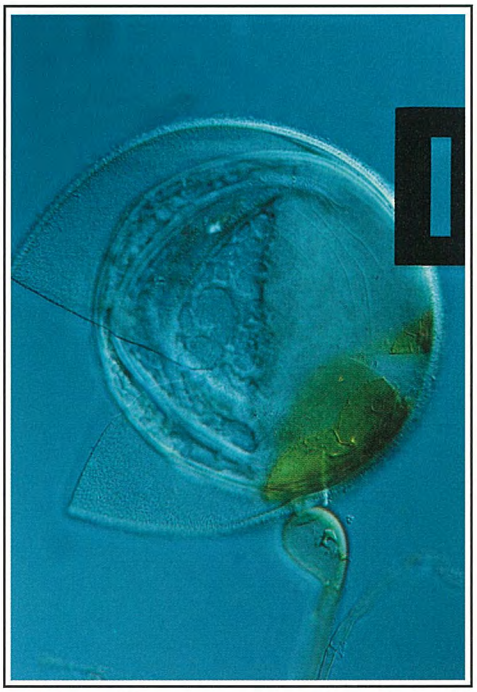


圖17. *Scutellospora cerradensis*之孢子。

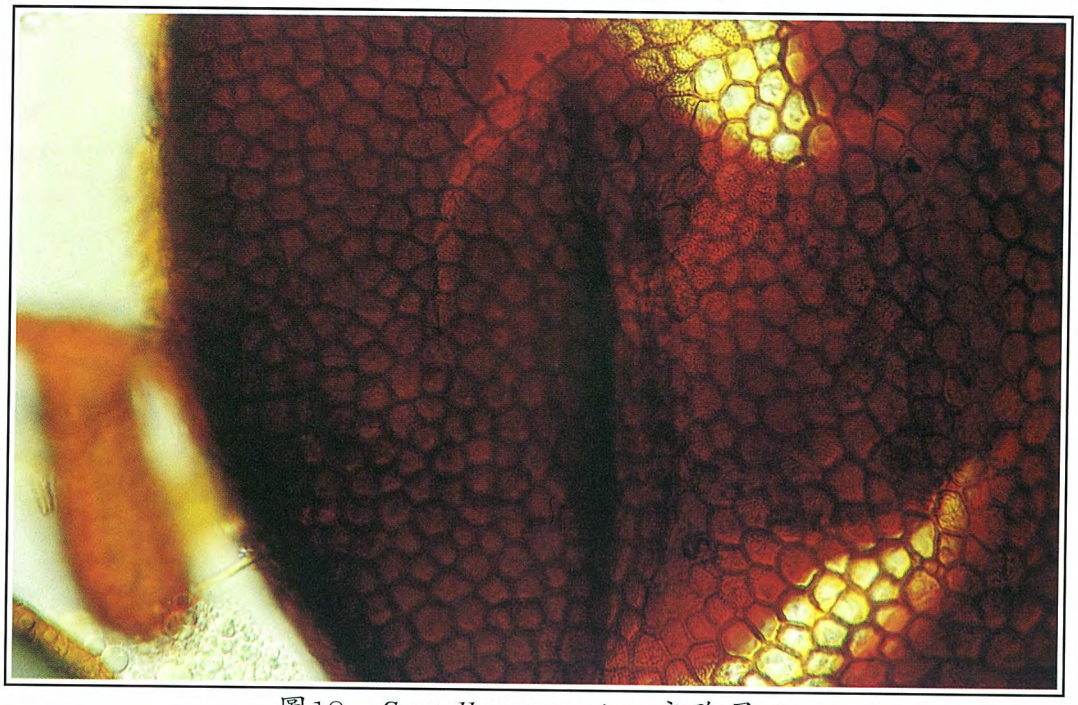


圖18．*Scutellospora nigra*之孢子。



圖19．*Endogone pisiformis*的結合孢子(zygospore)。

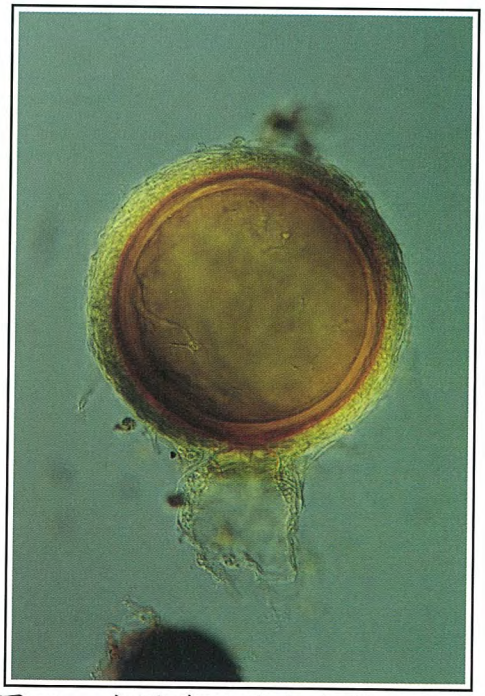


圖20．我國發現的內生菌目之新屬*Peridiospora* , (*P. tatachia*)。