

# 微生物肥料在合理化施肥之應用

林素禎<sup>1</sup> 吳繼光<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 行政院農業委員會農業試驗所

<sup>2</sup> 亞洲大學生物科技與生物資訊學系

## 前言

近年來隨著台灣經濟情況的改善，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。這四十多年來，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，如今的農業跟過去相比較，已有許多不同的地方。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質與量，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受到社會大眾的重視。

台灣目前常用之微生物肥料可分為兩大類，一為固氮菌，一為溶磷菌，茲分述於下：

### 一、固氮菌

固氮菌可分為三類，第一類為共生性固氮菌，第二類為附著性固氮菌，第三類為游離性固氮菌。

### (一) 共生性固氮菌

共生性固氮菌可與植物根系共生而固定氮素，共生性固氮菌又可細分為三種，第一種為豆科根瘤菌，可與大豆、花生等豆科作物共生，目前已有大豆、花生、綠豆與紅豆等專用根瘤菌，此類菌種有專一性，接錯菌種是無效的。第二種為非豆科根瘤菌，可與赤楊木等樹種共生之佛氏放線菌(*Frankia* spp.)，此類菌主要用於森林苗木育苗栽培。第三種為藍綠藻，藍綠藻可與蛇蕨共生，蛇蕨又稱滿江紅，水稻田種植滿江紅可節省氮肥 40~50kg/ha，而滿江紅繁殖力強，可遮蔽水田表面，對抑制雜草生長有良好的效果。這三種共生性固氮菌之固氮能力較強，每一作物生長季每公頃土壤約可固定氮素 30~350kg，視作物種類而異 (簡, 1999; 趙, 1999)。

### (二) 附著性固氮菌

附著性固氮菌附著在作物根系或四週的土壤，由土壤中有機質或從根分泌物中獲得碳源，作為固氮之能量，每一作物生長季固氮量為每公頃 5~25kg 的氮素。(趙, 1999)

### (三) 游離性固氮菌

游離性固氮菌廣泛存在土壤中，利用土壤中之有機質轉換為有效性碳時獲得能量而固定氮素。*Azotobacter* 屬之游離性固氮細菌消耗 1g 的碳，可同化 10~30g 的氮素 (Mishustin and Shil nikova, 1971)。游離性固氮細菌可固氮或產生植物生長促進物質，幫助作物生長，增加作物產量。游離性固氮細菌 (*Azospirillum*) 產生的植物生長促進物質，如 IAA，gibberellin 和類似 cytokinin 的物質。作物接種 *Azospirillum* 後，側根增加，側根上的根毛亦增多 (Okon and Kapulnik, 1986)。接種 *Azospirillum* 可增加玉米的地上部與根重，玉米收穫時，接種 *Azospirillum* 之玉米每穗種子數約為未接種之 3 倍，其種子之乾重為未接種之 1.59 倍；不施氮肥但接種 *Azospirillum* 的玉米，其產量與不接菌但每公頃施用尿素 60 公斤的玉米之產量沒有明顯差異 (Fulchier, and Frioni, 1994)。

第二類與第三類固氮菌國內目前尚無商品上市，僅在研究階段。

## 二、溶磷菌

溶磷菌可分為兩類，第一類為共生性溶磷菌，第二類為非共生性溶磷菌。

### (一) 共生性溶磷菌

共生性溶磷菌主要為菌根真菌，簡稱菌根菌。由於菌根菌的根外菌絲可以延伸至根外八公分甚或更長的距離，所以它能幫助宿主廣泛地吸收土壤中的養分特別是磷肥，進而對作物有促進生長的效用。也因為如此，菌根菌被認為是一種生物肥料。除外，菌根菌對作物的好處還有很多，譬如提高植物幼苗移植的存活率，加速健康種苗的生長，提早開花，增加花朵數及花朵大小，延長切花的插花壽命，幫助植物抵抗逆境等。

### (二) 非共生性溶磷菌

非共生性溶磷菌可分為三類，即溶磷細菌、溶磷真菌與溶磷放線菌，真菌對磷酸鈣與磷礦石的溶解力比細菌強，且真菌在多次繼代培養之後仍可保有溶磷能力，而很多細菌在繼代培養之後喪失溶磷能力(Kucey, 1983)。油菜施用磷礦石 (20 mg/kg soil) 並接種溶磷真菌 (*Penicillium bilaji*)，其磷吸收量與不接菌而施用等量的磷酸銨處理者之磷吸收量相當(Kucey and Leggett, 1989)。小麥接種溶磷真菌後，其植株之乾物重可增加16%，磷總吸收量增加14% (Asea *et al.*, 1988)。Bajpai and Sundara Rao 在小麥的盆栽試驗中發現，接種溶磷細菌可幫助小麥吸收磷，使小麥乾物重增加19%。

臺灣目前微生物肥料中以菌根菌的研究最多，現已有商品上市，且效果較為明顯穩定，有關菌根菌在溫室育苗或田間的應用上需注意的事項有(1)作物是否可接種菌根菌 (2)菌種的孢子濃度 (3)介質或土壤的酸鹼值 (4)介質或土壤的有效磷濃度 (5)介質或土壤中有機質的含量 (6)田間或溫室的管理包括農藥、殺草劑等的使用。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遠較菌根菌單一接種來得好。此種複合接種的方式，也是未來菌根菌在田間應用上的一大方向。

## 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。筆者擬在此就以上的疑問做一綜合的說明。

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 (Taylor *et al.*, 1995)。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(Harley and Smith, 1983)。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，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。

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 (Francis and Read, 1994)。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)。

囊叢枝內生菌根菌在分類地位上，歸於繡球菌目 (Glomales)，屬於接合菌綱 (Zygomycetes) (Morton and Benny, 1990)，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)。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 (Portulacaceae)、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。

### 叢枝內生菌根菌對作物生長有那些好處?

由於囊叢枝內生菌根菌的根外菌絲 (external mycelium) 可以延伸至根外八公分甚或更長的距離 (Sieverding, 1991)，所以它能幫助宿主 (host plant) 廣泛地吸收土壤中的養分特別是磷肥，進而對作物有促進生長的效用 (Harley and Smith, 1983)。也因為如此，囊叢枝內生菌根菌被認為是一種生物肥料。除此之外，叢枝內生菌根菌對作物的好處還有很多，譬如提高植物幼苗移植的存活率，加速健康種苗的生長，提早開花，增加花朵數及大小，延長切花的插花壽命，幫助植物抵抗逆境等 (文·張, 1994, 1995; 張, 1992; 程·莊·杜, 1993; Harley and Smith, 1983)。

### 臺灣菌根菌研究二十年回顧

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崔琵教授 (Prof. J. Trappe) 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, 1995)，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, 1991a)，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、蟛蜞菊、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)間的研究論文，則又更少(程·杜, 1982; 鄭, 1983)。

### 我國土壤中的叢枝內生菌根菌數量夠多嗎？

經調查我國六十九個不同土系的叢枝內生菌根菌族群數後，發現我國農作田中的菌根菌數普遍偏低，總平均數為每 100ml 的土壤中含 66 個孢子。但這些樣品中，只有 5 個樣品在每 100 毫升的土壤中超過 200 個孢子。其中有 28% 的樣品已找不到任何菌根菌(林, 1998; 林、洪、吳, 2000)。這種族群數量，若與加拿大安大略省玉米田所含孢子數 (4000-7000 孢子/100 毫升土) 相比較 (Sutton and Barron, 1972)，我國農作田中的菌根菌數量則明顯偏低，實有添加菌根菌種或延長休耕期以增加菌根菌數並減少化學肥料施用的必要 (Wu *et al.*, 1995a)。

## 叢枝內生菌根菌的使用需考量它生態上的特性

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世界新種 *Entrophospora kentinensis*，對於土壤的酸鹼性有較寬的容忍度 (Wu *et al.*, 1995b)。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 5.0 到 6.0 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。水稻與玉米輪作的田區，在根圈土壤中可發現主要內生菌根菌種為 *Gl. mosseae*, *Gl. geosporum* 和 *Gl. manihotis*。其中 *Gl. geosporum* 和 *Gl. manihotis*，主要與玉米有關。這點可從玉米連作田區的根圈土壤中找到這兩種優勢菌種而獲得證實。此外，*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。

## 未來叢枝菌根菌研究之展望

目前我國在囊叢枝內生菌根菌的應用研究上有待發展的方向，包括 (1)菌種中心的成立與菌種的供應，(2)菌種生產技術的開發，(3)菌根菌與化學肥料(磷肥)施用量的互動關係，(4)菌根菌與堆肥施用量的互動關係，(5)菌根菌與田間化學藥劑(燻蒸劑、殺菌劑、殺蟲劑、殺草劑等)的相互影響，(6) 菌根菌與休耕雜草的生態研究。

### (1)菌種中心的成立與菌種的供應

我國在菌根菌的研究人力非常有限。過去二十年來菌種使用的種類一直侷限於 *Glomus mosseae*, *G. etunicatum*, 和 *G. fasciculatum* 等 (Chen, 1981; Chou, 1985; 呂, 1985; Wang, 1992)。我國若能早日成立亞洲第一座菌根菌種中心，並與美國的國際菌根菌種源中心(International Culture Collection Center of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi,



INVAM) 及法國的歐洲菌根菌種源中心(Bank of Glomalean Fungi, BEG) 聯線，進行菌種的交換與資訊的交流等，將有助於我國研究人員取得菌種進行更廣泛的研究，諸如研發各主要作物花卉或土壤類型的專用菌株等。

## (2) 菌種生產技術的開發

農民如何取得或購買囊叢枝內生菌根菌種，一直是我國菌根菌推廣工作上所面臨的最大難題。利用盆栽法或氣霧耕法來繁殖菌根菌種源的技術，雖已有禾豐集團的磊鉅實業股份有限公司和臺灣生研股份有限公司兩家廠商取得技術轉移並進行生產，但是這些技術皆需要付出較高的生產成本，諸如溫室或簡易設施的架設，佔用較大的生產空間等。目前最進步的根器官培養法是利用農桿菌(*Agrobacterium rhizogenes*)誘導胡蘿蔔的根，使之產生轉型根後，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。本法雖然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。可是目前只有十二種菌根菌培養成功，尚未達實用的階段。因此，如何突破本項生產技術的瓶頸，甚至開發人工配方的完全培養基，取代根器官的雙相培養法是未來我們需要努力解決的另一劃時代的考驗。

## (3) 菌根菌與化學肥料(磷肥)施用量的互動關係

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(Marschner and Dell, 1994)。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，有效性磷肥的濃度在多少的情形下才會對菌菌產生負面的影響，則有待我們來找出答案。此外，在我國長期不當使用化學肥料的情況下，土壤中的菌根菌是否已被誘導出抗高磷的基因，則有待將來與INVAM及BEG進行菌種交換，選取同種的菌根菌進行比較試驗後，答案即可揭曉。

## (4) 菌根菌與堆肥施用量的互動關係

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。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。因此，堆肥的施用量與菌根菌的接種彼此間的互動關係，也值得我們一齊來了解。

#### (5) 菌根菌與田間化學藥劑的相互影響

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(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，氣乃普(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。

#### (6) 菌根菌與休耕雜草的生態研究

菌根菌在休耕期間的族群數量較作物種植期間有顯著的不同，不只是休耕期間土壤中菌根菌的孢子總數增多且種類也增加不少。根據農試所於1992~1996年所做的調查研究指出水稻與玉米輪作田在一~二月的休耕期間，菌根菌的種類及數量均有明顯的增加(Wu *et al.*, 1995a; Wu, unpublished data)。有關休耕期間，耕作田內雜草的種類與菌根菌族群變化的影響，以及休耕期的長短、作物的產量高低與是否可減少施肥量等問題，也是一項能實際替農民解決問題的研究方向。

### 參考文獻

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。

文紀鑾、張喜寧。1995。溫度與繡球屬菌根對組織培養非洲菊生長與切

- 花品質之影響。國立台灣大學農學院報告35:75-91。
- 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。
- 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。
- 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、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。
- 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。
- 林素禎。1998。臺灣囊叢枝內生菌根菌之生態與其應用之研究。國立台灣大學農業化學研究所博士論文。
- 林素禎、洪崑煌、吳繼光。2000。囊叢枝內生菌根菌在臺灣代表性土壤中之分布。中華農業研究 49(4):65-80。
- 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。
- 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。
- 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。
- 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。1995。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。
- 楊秋忠、趙震慶、張永輝。1986。臺灣酸性土壤接種菌根菌及施用磷礦石粉對玉米生長之影響。中華農學會誌，新136: 15-24。
- 趙震慶。1999。土壤微生物之類別與角色。農業世界雜誌 191 期，10-15。
- 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。中華農學會誌，新152:34-45。
- 趙震慶、王銀波。1991。重金屬於臺灣土類之土壤中對囊叢枝菌根與大豆固氮作用之影響。中國農業化學會誌，29:290-300。
- 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。991a。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。991b。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。
- 簡宣裕。1999。微生物資材的選擇。農業世界雜誌 191 期。16-21。

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.

- Chien, C. Y. 1976. Some natural mycorrhizae of gymnosperms and its variation in Taiwan. *In*: Proceedings for Annual Meeting of Chinese Botanical Society.
- Chou, H.-F. 1985. Inoculum reproduction of endomycorrhizal fungi. M.S. thesis, National Taiwan University, Taipei, p.118.
- Cooper, K. M. 1976. A field survey of mycorrhizas in New Zealand ferns. *New Zealand J. Bot.* 14:169-181.
- 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. Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Ber. Deut. Bot. Gesell.* 3:128-145.
- Gerdemann, J. W. 1975. Vesicular arbuscular mycorrhizae. *In*: Torrey, J. C. and D. T. Clarkson (eds.) The development and function of roots. Pp. 575-591, Academic Press, London.
- Harley, J. L. and S. E. Smith. 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, London.
- 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 (*Cunninghamia 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 University.

- Janos, D. P. 1988. Mycorrhiza applications in tropical forestry: Are temperate-zone approaches appropriate? *In*: Trees and Mycorrhiza, Ed. F. S. P. Ng. Pp. 133-188. Forest Research Institute Malaysia, Kuala Lumpur.
- Kan, J. P. 1977. Studies on natural mycorrhizal variations and its synthesis of some gymnosperms in Taiwan. Master's thesis, National Taiwan Normal University.
- 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.
- Marschner, H. And B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Pp. 89-102. *In*: Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Ed. A. D. Robson, L. K. Abbott, and N. Malajczuk, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Menge, J. A. 1982. Effect of soil fumigants and fungicides on vesicular-arbuscular fungi. *Phytopathology* 72:1125-1132.
- Morton, J. B. and G. L. Benny. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37:471-491.
- 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.
- 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.
- Schenck, N. C. and Y. Perez. (Editors) 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. INVAM, Gainesville, Pp. 1-241.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. P. 371, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Germany.

- Sutton, J. C. And G. L. Barron. 1972. Population dynamics of *Endogone* spores in soil. *Can. J. Bot.* 50:1909-1914.
- Taylor, T. N., W. Remy, H. Hass, and H. Kerp. 1995. Fossil arbuscular mycorrhizae from the early Devonian. *Mycologia* 87: 560-573.
- Toun, Shu-Chin. 1982. The observation of three species of *Glomus* endomycorrhizal fungal spores germination and its effects on the growth and root structure of pea *Pisum sativum* L. Master's thesis, National Taiwan University.
- Tzean, S. S. and Y. S. Huang. 1980. The occurrence and formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae of citrus and maize. *Bot. Bull. Acad. Sinica* 21:119-134.
- Wang, C.-L. 1992. Physiological characteristics of endomycorrhizae Adzuki bean infected with *Glomus* species. Ph.D. dissertation, National Chung Hsing University, p. 121.
- Wang, M. C. 1982. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi stimulate the growth of sweetgum seedlings. Master's thesis, National Taiwan Normal University.
- Wong, J.Y. 1981. Studies on the endomycorrhizae of *Taiwania cryptomerioides*, *Chamaecyparis formosensis* & *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*. Master's thesis, National Taiwan University.
- Wu, C.-G., S.-Y. Chien, and T. W. Tan. 1995a. Microbial succession in different rotation cropping systems. *J. Agric. Res. China* 44: 114-125.
- Wu, C.-G., Y.-S. Liu, Y.-L. Hwung, Y.-P. Wang and C.-C. Chao. 1995b. Glomales of Taiwan: V. *Glomus chimonobambusae* and *Entrophospora kentinensis*, *spp. nov.* *Mycotaxon* 53: 283-294.
- 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 H. Y. Guo. 1986. The effects of inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on soybean yield and

mineral phosphorus utilization in subtropical-tropical soils. *Plant and Soil* 95:245-253.