

微生物肥料(叢枝菌根菌)之應用實務

吳繼光^{1*} 林素禎²

1. 台中縣霧峰鄉 台中健康暨管理學院生物科技系
2. 台中縣霧峰鄉 行政院農委會農業試驗所農化系

摘要

本文將著重在叢枝菌根菌的應用實務，但也同時將其他微生物製劑的應用一併討論。行政院農委會農業試驗所菌根菌微生物製劑之開發研究在1996年六月開始陸續技術移轉給三家廠商(禾豐集團的磊鉅實業股份有限公司、台灣生研股份有限公司、台鹽實業股份有限公司)，正式將菌根菌進行商業化的生產。台灣是繼日本之後，在亞洲生產菌根菌生物製劑的國家。我國目前在沙耕法、氣霧耕法、根器官培養法等菌根種原生產技術上，已獲得各國的肯定，但在未來的應用研究上，仍有許多值得積極開拓的地方。微生物肥料的管理辦法目前仍在制定當中，因此有關產品的品質、價值及實際應用效果，消費者應提高警覺，明辨並選擇最適合之產品。

關鍵詞：叢枝內生菌根菌，磷肥，微生物肥料，接種原。

前言

近來原油價格不斷高漲同時也造成化學肥料及其他石化產品價格的攀升。微生物肥料在目前這個時段似乎有其特殊而潛在的商機。目前市面上可以購得的大宗微生物肥料包括：枯草桿菌、放線菌及菌根菌等。

國在菌根菌方面的研究是自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，開始蓬勃發展起來。迄今，我國在叢枝內生菌根菌的研究已累積逾三十年的經驗。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^(7,26)。此外，叢枝內生菌根菌對於幫助作物抵抗逆境^(25,29,30)、土生病害、線蟲等的研究^(8,11,13,27)，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^(4,6)。

臺灣叢枝菌根菌的生態研究

在開發叢枝菌根菌微生物製劑之前，首先需要了解叢枝菌根菌在台灣本土的環境中的族群數量以及種類等生態資料。行政院農委會農業試驗所在過去的調查中發現⁽¹⁾，在 69 種具代表性土壤中有 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省的玉米田之內生菌根菌孢子數 (900~7000 個/100g dry soil)⁽³²⁾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。此外，在農業試驗所試驗田所做的長期(1995~1997)田間觀察也發現，連續三年經水稻-玉米輪作之後，試驗前土壤中每 50 克土壤所含的平均孢子數為 221.2 (範圍: 99~358.5)，經過三年的試驗後土壤的孢子數已下降到 13.1(範圍: 5.3~24.9) (圖 1)。圖一顯示菌根菌在玉米 (C) 種植過後，菌根菌族群數增加；但在水稻 (R) 種植後菌數又再次下降。輪作過程中的所有休耕 (F) 均有利於菌根菌族群數量的上升，只可惜在三年的長期輪作下休耕仍無法挽回菌數持續下降的趨勢。由於孢子數逐年遞減的現象發現在在各種處理上，即使對照組也不例外。可能的因子包括水稻淹水或者因施用其它化學製劑所導致。由於農業試驗所#35 試驗田內細分為七處理，四重複，每一處理小區均以田埂 0.2M 寬做分隔，另每重複的四周又以 1M 寬的田埂再做大分隔。根據計算所有田埂的面積約佔總面積的十分之一強。目前田間的雜草防治以噴灑殺草劑年年春，巴拉刈，龍無草為主。由於分隔用田埂的面積遠較一般農田為高，其單位面積土壤所承受的殺草劑量自然為高。叢枝菌根菌孢子數的驟減，雖然有人認為是因為水稻種植，淹水所致，但根據本所對另一長期輪作試驗田(#68)的調查，發現水稻連作田內菌根菌的孢子數較玉米-水稻輪作及玉米連作田為高⁽¹⁶⁾。顯然菌根菌的族群有逐年降減的現象，可能是在種植期間所使用的殺草劑過量所引起。為了進一步證實殺草劑對於菌根菌族群的影響，農業試驗所自 1998~2001 年連續三年在田間長期觀察殺草劑(年年春)對於田間雜草紫花藿香薊菌根感染率的變化以及根圈中菌根菌孢子數的變化。在第一年的試驗中雖然殺草劑年年春對於菌根菌孢

子的形成，在統計上沒有顯著的抑制作用，但在第二年的調查發現殺草劑的施用確實對於孢子數的減少有明顯的作用（圖 2）。年年春、巴拉刈、龍無草等殺草劑的施用對於田間的菌根菌的種類並不會產生改變。在第三年的試驗中，乃利用根器官培養技術就殺草劑對孢子發芽及菌絲生長的抑制進行評估。試驗結果發現，年年春在處理期間完全抑制 *Gigaspora albida* (表 1, 2), *Glomus mosseae*, *Scutellospora fulgida* 與 *Acaulospora tuberculata* 四種菌根菌孢子之發芽，發芽率皆為零。巴拉刈在處理期間亦完全抑制 *Gl. mosseae*, *S. fulgida* 與 *A. tuberculata* 三種菌根菌孢子之發芽，對 *Gi. albida* 孢子發芽與菌絲生長也有顯著之抑制作用，在試驗處理 18 天時，發芽率為 7.2%，對照組為 47.2%，菌絲長度為 7.8 mm，對照組為 72.0 mm。龍無草在處理期間對 *Gi. albida* 與 *S. fulgida* 兩種菌根菌孢子之發芽率無明顯之影響，但對其菌絲生長皆有顯著之影響。龍無草對 *Gl. mosseae* 與 *A. tuberculata* 兩種菌根菌之孢子發芽與菌絲生長皆有明顯之抑制作用。

叢枝菌根菌量產技術

目前台灣之叢枝菌根菌量產技術無論是沙耕法、氣霧耕法，乃至於根器官的培養技術均已有了不錯的研發成果⁽¹⁾。在沙耕法方面，本法係將盆栽用的沙土予以高溫(80-90°C)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可大大提升。

氣霧耕法，係在氣霧栽培箱內，將營養液透過傳動馬達打成霧狀後，將已接種的植株懸浮於箱內，植株的根部經由霧氣吸收養份後而直接產孢於空氣中。氣霧式耕法培養的宿主，可在無土的情況下大量生產菌根種源，產孢量可達 70,000 顆孢子/每克乾根重，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。本法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。氣霧耕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。由於氣霧耕法所生產的菌種遠較砂耕法來得乾淨且少污染，因此可用於生產高濃度高品質的菌根菌產品。目前本項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。陸續技術移轉給三家廠商(禾豐集團的磊鉅實業股份有限公司、台灣生研股份有限公司、台鹽實業股份有限公司)，正式將菌根菌進行商業化的生產。

根器官培養法是目前最先進的菌根菌種原生產技術，首先利用農桿菌 (*Agrobacterium rhizogenes*) 誘導胡蘿蔔或其它植物，使之產生轉型根 (圖 3)。然後在人工培養基上，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，而達到感染、菌絲生長，以及產孢的目的。根器官培養法可以培養的菌根菌種類已有許多的突破包括 *Glomus*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Sclerocystis*, *Acaulospora* 等屬，可以在培養基上成功生產無雜菌之純種菌源^(1,10,15)。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。

已開發的菌種:

在學術界，目前台灣所使用的菌株包括 *Glomus mosseae*, *G. etunicatum*, *G. fasciculatum*, *G. occultum*, *Gigaspora gigantea* 等。這些菌株先後在台灣大學張喜寧教授、中興大學楊秋忠教授、嘉義分所程永雄分所長、屏東科技大學張崑標教授和王均琍教授、種苗場的文紀鑾助理研究員等單位進行試驗。

在工業界方面，目前台鹽實業股份有限公司、台灣生研股份有限公司及凱將實業股份有限公司(前磊鉅實業股份有限公司)所生產的菌株包括 *G. mosseae*, *G. etunicatum*, *G. versiformis*, *G. intraradices* 等。

菌根菌在溫室育苗或田間的應用上需注意的事項:

在田間的應用上所面臨的最大問題仍是在於接種效果不穩定的現象居多。接種效果不穩定的可能原因很多-(I) 菌根菌與磷肥含量較高的介質混拌，(ii) 菌根菌與系統性農藥混用，(iii) 菌根菌因田間淹水時間過長造成缺氧，(iv) 菌根菌與不完熟的堆肥混用，造成菌絲無法感染等。此外，還應留意以下幾點:

(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(E. 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、鴨跖草科、玉蕊科、山欖科、蒺藜科等。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類（木瓜，洋香瓜，西瓜、苦瓜、絲瓜等）、茄科（蕃茄、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，非洲菊，孔雀草，霍香薊、大理菊、蟛蜞菊，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。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、木麻黃、羅漢松、火鶴花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(12)。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。行政院農委會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世界新種 *Entrophospora kentinensis*，對於土壤的酸鹼性有較寬的容忍度。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 *Glomus 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 elegans* 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。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，使用者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。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 (2) 發現每週施用一次 1/4 磷量的 Johnson solution (15mg/kg-P)，番茄的菌根菌感染率為 73.4%，每週施用一次 1/2 磷量的 Johnson solution (31 mg/kg-P)，番茄的菌根菌感染率下降為 55.5%，每週施用一次全磷量的 Johnson solution (62 mg/kg -P)，番茄的菌根菌感染率更降為 24.2%。Menge 等人 (22) 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 (14) 亦報導，在不施磷肥的土壤中，Faba bean 菌根菌感染率為 47%，而施用 45kg-P/ha 後，Faba bean 的菌根菌感染率下降為 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。各種不同的菌根菌其對於磷濃度的敏感度也不同。在農業試驗所所做的鉀-磷酸鹽溶液的發芽試驗中，發現 *Glomus mosseae*，*Entrophospora kentinensis*，*G. versiforme* 與 *G. occultum* 這四種菌種，

在磷酸根離子濃度 0.2 mM 時，其發芽率分別為 6.0%，7.5%，8.8%，28%，當磷酸根離子濃度提高為 0.4 mM (12.4 mg/kg-P) 時，這四種菌種孢子之發芽率分別提高為 82.2%，90.0%，23.3%，73.4%。Wilson 等人(22) 亦有類似之報導，在不殺菌的土壤中添加 60 mg/kg 的磷後，可明顯促進 *G. etunicatum* 與 *G. mosseae* 的發芽率。

(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。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。

(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。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，則有待研究人員再接再厲的努力了。

我國未來發展菌根菌的方向

1. **菌根菌基因標示的開發**：為鼓勵菌根菌的專利申請，以保護具商業生產價值的菌株，研發單位實有必要進行菌根菌 DNA 特定序列的比對，在不嵌入新的基因片段的前題下，開發足以辨別菌株身份的新技術。
2. **菌根菌液劑的開發**：可用於多年生的果樹或林木進行地下深層的灌注接種。本項產品可透過氣霧耕法或根器官培養法大量繁殖菌絲體及孢子後，進行無菌封裝後完成。目前台灣已開發的技術足以生產此類產品，但是生產成本太高，市場不大是主要的障礙。
3. **種原生產技術的改進**：目前菌根菌的種原生產仍以沙耕法及氣霧耕法為主；但在未來無菌的液劑產品的量產上，仍有賴於密閉式生物反應器的開發。
4. **作物的飽和磷需求量的探討**：Mosse⁽²⁴⁾ 發現苜蓿植體磷含量超過 0.4% 時，就無法感染叢枝內生菌根菌。Sanders⁽²⁸⁾ 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(*G. mosseae*)之洋蔥菌根菌感染率下降而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⁽²³⁾ 以“分根”(split root) 的方法，發現當蘇丹草 (*Sorghum vulgare* Pers.) 植體磷含量低時，即使土壤磷含量高達 600 mg/kg，菌根菌 *G. fasciculatum* 的感染率與孢子數均未減少；而當植體磷含量高時，即使土壤磷含量只有 6mg/kg，菌根菌的感染率與孢子數皆明顯下降。根據農業試驗所⁽³⁾ 以同等施肥量的栽培介質（添加米糠 12 克，ca. 210 mg/L- P）進行不同植物接種菌根菌的試驗，發現對照組矮牽牛的乾重反而較菌根菌或溶磷細菌的接菌處理為重，且植體磷的濃度並沒有因接種該菌種而增加。在這種情況下，菌根菌或溶磷細菌的接種可能會造成碳源的消耗，進而成為該作物的負擔⁽³¹⁾。但在相同或更多肥份的栽培介質(ca. 210 mg/L- P or 420 mg/L- P)下，作物如文旦柚，百合，洋桔梗等，由於該施肥量仍不能滿足該植株生長所需(可能是因為根系粗短或吸收能力不良所致)，接種菌根菌及其它有益微生物對植株之生長就有顯著的差異。因此，在調整植株磷的濃度使之適合菌根菌的成功接種是在應用菌根菌技術上重要的關鍵。
5. **菌根生理的研究**：不同植物對菌根菌的親和性不同，也形成許多不同型態的

叢枝菌根。大多的叢枝菌根屬於 *Arum*-type，出現在大多數的農作物根內，其根內菌絲以胞內(intracellular)或胞間(intercellular)生長，但在形成叢枝體時則由胞間菌絲穿入細胞後，不斷進行雙叉分枝後形成。這種叢枝體的形成方式是在菌絲末端且是非連續性的。近來在研究百合的菌根時，意外發現其菌根的感染形態是屬於另一類型的叢枝菌根 *Paris*-type，其根內菌絲的分化程度是以前所從未發現的。菌絲經由根毛或表皮細胞進入以後，以胞內生長的方式(intracellular growth)在外皮層(hypodermis)的細胞內形成分叉狀的錨構造(anchor-like structure)，菌絲進入皮層內層細胞後，先形成交叉生長的菌絲串(sympodial structure)，然後自該菌絲串延伸形成菌絲捲。細小的分叉菌絲不定點的再自菌絲捲向外伸長，形成複生的叢枝體(compound arbuscule)。此種叢枝體可自原菌絲串長出新菌絲並向鄰近細胞穿入，按上述模式形成新的叢枝體，因此這類型的叢枝體是屬於連續性生長(successive)。更特殊之處是在於該根內的菌絲系統可以由原菌絲軸的錨狀構造及叢枝體處再次長出細小的再生菌絲及囊泡。此類型菌根的囊泡可出現在根毛、表皮及內皮層細胞內。經由碘液染色，發現被菌絲盤據的細胞內有澱粉類堆積。為何百合的叢枝菌根其型態與其它植物有這麼多的區別，可能在生理上有不同的反應所致？試想為何百合的菌根菌絲要直接侵入細胞內，以獲得其生長所需的碳源；而其它植物的菌根菌卻可以透過胞間生長的方式，即可獲得其生長所需的碳源？

6. **益根細菌 (Mycorrhiza helper bacteria) 的開發：**植物複合接種菌根菌與游離性固氮菌後，其根圈內的細菌與放線菌的數目比單一接種者多。番茄根部接種游離游離性固氮菌 (*Azotobacter chroococcum*) 後，菌根菌 (*Glomus fasciculatus*) 之感染率及產孢量增加，複合接種的番茄，其乾物重明顯比對照組重⁽⁹⁾。在農業試驗所所做的諸多試驗中也多證實了根圈有益微生物對於菌根菌促進作物生長的加成作用⁽¹⁾。
7. **菌根菌在生物防治領域的拓展：**過去，叢枝菌根菌大多給人生物肥料的印象。但是菌根菌在田間所表現出來效果卻不僅是如此。例如：在蕃茄的接種試驗中發現，菌根菌在預防青枯病上就有很顯著的效果(表三)。接種菌根菌後，45%以上的植株可以免於青枯病的感染。此外，菌根菌在防治根瘤線蟲上也有不錯的成績。其作用的機制在於改變作物(寄主)的生理的狀況，

番茄植株可能因菌根菌感染而改變根部的碳水化合物比例，使根部的澱粉比例增加而糖減少；同時也由於磷增加而改善根部細胞之通透性，降低根滲漏的糖；因而降低根部對根瘤線蟲的誘引，造成線蟲的侵入減少。由於菌根菌感染有助於維持根系及細胞功能，因而減少線蟲造成的系統性傷害及受損程度。若配合其他栽培管理方法、適合的菌種及栽種品種組合、有效的拮抗物等，在有機農法中可以兼顧生長產量及病害防治的效果⁽⁵⁾。

結語

生物肥料等資材的應用實務中最重要的是選取正確的產品，但往往這是一般消費者(農友)最弱也是最無助的地方。個人認為微生物資材應符合下列三個基本標準，(1)產品中應含活菌，(2)菌數應充足，(3)產品內的菌種應與標示吻合。由於農民缺乏專業知識及設備，因此對於微生物產品真假的分辨能力十分薄弱，這點有待政府立法加強微生物肥料產品的管理來保障農民的權益。由於大多數細菌或放線菌的發酵過程中，若不是使用密閉的發酵設備來量產，在產製過程中極容易發生污染甚或含病原菌的情況，因此選擇優良廠商及經嚴格品管的製品才是較佳的選擇。1996年，在農業試驗所舉行的“國際微生物肥料暨對肥製造研習會”上，日本的講員 Dr. M. Nishio 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。

引用文獻

1. 吳繼光、林素禎. 1998. 囊叢枝內生菌根菌應用技術手冊 臺灣省農業試驗所印行 Pp. 232.
2. 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。

3. 林素禎。1998。台灣囊叢枝內生菌根菌之生態與其應用之研究。國立台灣大學農化系博士論文，165 頁。
4. 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(1-2): 45-52。
5. 黃春惠。2003。叢枝菌根菌及南方根瘤線蟲於蕃茄根內相互作用之探討。國立台灣大學植物學研究所碩士論文，45 頁。
6. 鄭淑芬·張喜寧。1991。繡球屬囊叢枝菌根菌對萬壽菊及孔雀草生長與開花之影響。中國園藝 37:212-218。
7. 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.
8. 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.
9. Bagyaraj, D. J., and J. A. Menge. 1978. Interaction between a VA mycorrhiza and *Azotobacter* and their effects on rhizosphere microflora and plant growth. *Nea Phytol.* 80:567-573.
10. 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.
11. Caron, M. 1989. Potential use of mycorrhizae in control of soil-borne disease. *Can. J. Plant Pathol.* 11:177-179.
12. Feruguson, J. J. and Woodhead, S. H. 1982. Production of endomycorrhizal inoculum. *IN*: Methods and principles of mycorrhizal research. (Schenck, N. C.), The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. Pp. 47-54.
13. Graham, J. H. 1986. Citrus mycorrhizae: Potential benefits and interactions with pathogens. *HortScience* 21:1302-1306.

14. 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.
15. Leu, S. W., S. T. Lian, and Doris C. N. Chang. 1994. *In vitro* sporulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, *Gigaspora gigantea* and *Glomus mosseae*, by dual culture with carrot Ri T-DNA transformed root and tomato root culture. *Mem. Colleg. Agric. Natl. Taiwan Univ.* 34:21-32.
22. 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.
23. Menge, J. A., D. Steirle, D. J. Bagyaraj, E. L. V. Johnson, and R. T. Leonard. 1978. Phosphorus concentration in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection. *New Phytol.* 80:575-578.
24. Mosse, B. 1972. Growth of *Endogone* Mycorrhiza in Agar Medium. 93 pp. Rothamsted Experimental Station Annual Report for 1971.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. Sanders, F. E. 1975. The effect of foliar-applied phosphate on the

- mycorrhizal infection of onion roots. pp. 261-276. In :
Endomycorrhizae. (Sanders, F. E., B. Moss ,and P. B. Tinker, eds.).
Academic Press, London.
29. 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.
 30. 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.
 31. Stribley, D. P., Tinker, P. B. and Rayner, J. H. 1980. Internal phosphorus concentration and carbon loss in plants infected by vesicular-arbuscular mycorrhiza. J. Soil Sci. 31:655-672.
 32. Sutton, J. C. and Barron, G. L.. 1972. Population dynamics of *Endogone* spores in soil. Can. J. Bot. 50: 1909-1914.
 22. Wilson, G. W. T., B. A. Daniels Hetrick, and D. Gerschefske Kitt. 1989. Suppression of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus spore germination by nonsterile soil. Can. J. Bot. 67:18-23.
 16. 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.

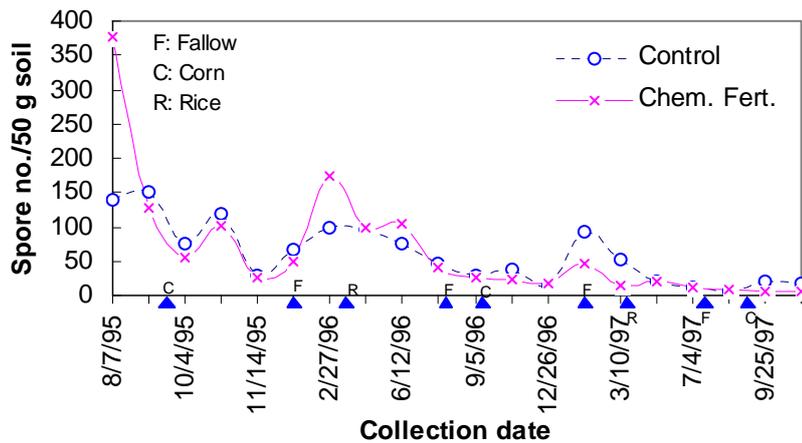


Figure 1. Succession of VAMF in the treatments of control and chemical fertilizer.

圖一、叢枝菌根菌族群在不施肥的對照組(control)及施化學肥料的處理(Chem. Fert.)間變化之情形。

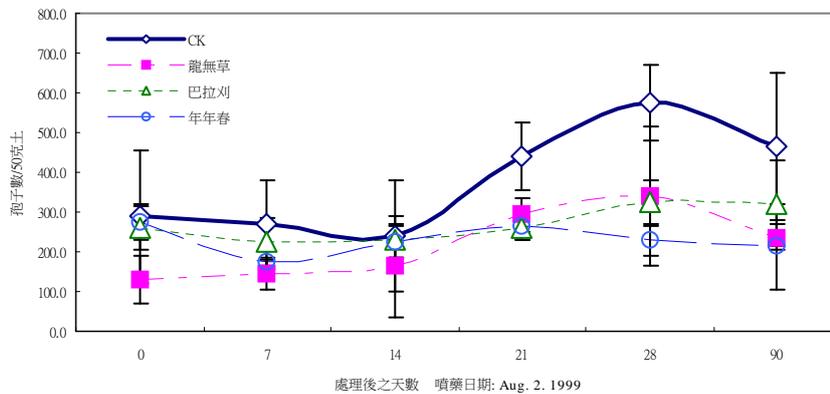


Figure 2. Spore population change of VA mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *A. houstonianum* after 1 year herbicide treatment.

圖二、紫花藿香薊經不同殺草劑處理一年後菌根菌孢子數之變化

Table 1. Spore germination of *Gigaspora albida* in different treatments of herbicides.

表一、不同殺草劑對 *Gigaspora albida* 孢子發芽率之影響

Unit : %

處理 ^z	Days after treatment				
	3	7	10	14	18
對照組	40.8 ^a	41.2 ^a	44.0 ^a	46.4 ^a	47.2 ^a
龍無草	30.4 ^b	40.8 ^a	44.0 ^a	44.8 ^a	44.5 ^a
巴拉刈	4.8 ^c	5.2 ^b	6.0 ^b	6.8 ^b	7.2 ^b
年年春	0 ^c	0 ^b	0 ^b	0 ^b	0 ^b

^z Means in each column with the same letter are not significantly different by T-test at 5% level.

Table 2. The length difference in germinating hyphae of *Gigaspora albida* at different herbicide treatments.

表二、不同殺草劑對 *Gigaspora albida* 孢子發芽菌絲長度之影響

Unit : mm

處理 ^z	Days after treatment				
	3	7	10	14	18
對照組	10.3 ^a	35.3 ^a	53.2 ^a	70.2 ^a	72.0 ^a
龍無草	5.8 ^b	21.6 ^b	26.7 ^b	34.6 ^b	37.7 ^b
巴拉刈	1.0 ^c	4.9 ^c	6.2 ^c	6.9 ^c	7.8 ^c
年年春	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c	0 ^c

^z Means in each column with the same letter are not significantly different by T- test at 5% level.

Table 3. Survival rate of VA inoculated tomato plants after the infection of bacterial wilt.

表三、番茄(農友301)接種內生菌根菌後，對青枯病的罹病及存活情形。

	Treatments		
	Control	SM-3	SM-3 + SM-4
Total weight (g)	2470	25500	47420
Plant no.	73	62	71
Survival no.	2	14	32
Survival %	2.7	22.6	45.1
Soil pH	4.65	4.96	4.72

VA inoculation date: August 24, 1994. Transplanting date: October 29, 1994.

SM-4: *Glomus geosporum*; SM-3: *Glomus etunicatum*