

# 叢枝菌根菌在作物生長效益之回顧

林素禎<sup>1,2</sup>、吳繼光<sup>3</sup>、簡宣裕<sup>4</sup>

## 摘要

叢枝菌根菌在過去有益於作物生長的報告發表甚多，但在田間應用上卻不一定能發揮效果，本篇論文整理了植物的種類與品種、叢枝菌根菌的種類以及土壤磷含量對叢枝菌根菌在作物生長效益之影響，探討影響叢枝菌根菌在作物生長效益之因子，期能使作物在生產上得到叢枝菌根菌最大的助益。由前人研究中可知，栽培種作物對叢枝菌根菌的依賴度低於野生種作物；陸生品系與野生品系對叢枝菌根菌的依賴度比高產量的品系高，現代栽培品系比原始品系對叢枝菌根菌的依賴度低；不同叢枝菌根菌種類與品系對作物的生長效益亦受到作物種類與品種之影響；在低磷含量的栽培介質中，叢枝菌根菌可促進作物生長，磷含量越高，作物對叢枝菌根菌的依賴度降低。現代育種模式所選育出的品種或品系大多對叢枝菌根菌依賴度低，無法充分利用叢枝菌根菌的優勢，未來應在低養分與逆境下進行品種與品系的選育，才能選出與叢枝菌根菌親合性高的作物，使叢枝菌根菌在作物的生長效益達到最大。

**關鍵詞：**叢枝菌根菌、作物品種、作物品系、磷

## 前言

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 1991) 的估計，在熱帶植物中，約有 13.4% 為非菌根植物，70.9% 為叢枝內生菌根植物，15.7% 為其它菌根植物。農作物如瓜類 (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、螞蟥菊、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、火鶴花、海芋等不勝枚舉，皆可與叢枝內生菌根菌共生。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叢枝內生菌根。叢枝菌根菌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，

---

<sup>1</sup> 通訊作者：[linmay@tari.gov.tw](mailto:linmay@tari.gov.tw)

<sup>2</sup> 農委會農業試驗所農業化學組助理研究員。台灣。台中市。

<sup>3</sup> 農委會農業試驗所農業化學組前副研究員。台灣。台中市。

<sup>4</sup> 農委會農業試驗所農業化學組研究員。台灣。台中市。

此外，叢枝菌根菌可提高植物幼苗移植的存活率，加速幼苗的生長，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(吳與林 1998)。台灣目前市面上雖有數家廠商有菌根菌商品出售，但僅有 1 家廠商向農糧署申請登記證。

叢枝菌根菌有益於作物生長的作用在過去研究甚多，然叢枝菌根菌在田間應用上，卻不一定能發揮效果，這主要是因為叢枝菌根菌會受到環境因子的影響，如：植物的種類、植物的品種、叢枝菌根菌的種類與土壤的環境，土壤的環境包括土壤質地、土壤有機質、土壤 pH、氮肥施肥量、磷肥施用量、土壤微生物等，另外，乾旱、浸水與病害等逆境，皆會影響叢枝菌根菌的促進效益。本篇論文整理有關叢枝菌根菌對作物生長效益之研究，期能使作物在生產上得到叢枝菌根菌最大的助益。

### 一、不同植物種類與品種對叢枝菌根菌依賴度之影響

根據Schüßler等人 (2001) 報導指出，陸生植物有80%與叢枝菌根菌共生，叢枝菌根菌可幫助植物吸收更多土壤營養元素，特別是磷以及微量元素，例如：銅與鋅 (Smith and Read 1997)。菌根菌對植物生長的促進效益會受到植物種類、菌根菌種類，以及土壤環境的影響。Baylis (1975) 首先報導木蘭科植物Magnolioid對菌根菌的依賴度很強，藉由菌根菌的共生，可幫助Magnolioid吸收磷，但若Magnolioid的種類不同，菌根菌幫助其吸收磷的效益亦不相同。Gerdemann (1975) 對菌根菌依賴度 (mycorrhizal dependency, MD) 定義為：在特定的土壤肥力下，植物與菌根菌共生可產生的最大生長或最大產量。Plenchette等人 (1983) 對菌根菌依賴度的定義如下：

$$\text{Mycorrhizal dependency (\%)} = [(\text{dry weight of mycorrhizal plant} \\ - \text{dry weight of non-mycorrhizal plant}) / \text{dry weight of mycorrhizal plant}] \times 100$$

Plenchette等人 (1983) 所創的菌根依賴度 (Mycorrhizal dependency) 被後來的研究人員廣為使用。Hetrick等人 (1992) 以無菌根植物乾重取代菌根植物乾重作為上述方程式之分母，稱為生長反應 (growth response)，其方程式如下：

$$\text{Growth response (\%)} = [(\text{dry weight of mycorrhizal plant} \\ - \text{dry weight of non-mycorrhizal plant}) / \text{dry weight of non-mycorrhizal plant}] \times 100$$

Tawaraya (2003) 整理了前人報導過的250種植物對菌根的依賴度，Tawaraya (2003) 根據植被種類與土地利用將這些植物分為田間植物群 (field crop group)、飼料作物群 (forage crop group)、野草群 (wild grass)、非禾本科植物群 (forb group) 與林木群 (tree group)，這250種植物對菌根的依賴度平均為56%，在這些文獻報導中，土壤磷濃度是主要的植物生長限制因子，若還有其他生長限制因子，如微量元素、土壤含水量等因子存在，則菌根的依賴度會比較高。在上述五個植物群中，田間植物群 (field crop group) 的菌根依賴度最低 (44%)，而林木群 (tree group) 的菌根依賴度最高 (79%)，飼料植物群 (forage crop group) 的菌根依賴度為 (56%)，野草群 (wild grass) 與非禾本科植物群 (forb group) 的菌根依賴度為 (70%)。

在田間植物群 (field crop group) 中，網紋瓜 (*Cucumis melo*)、燕麥 (*Avena sativa*) 與小麥 (*Triticum spp.*) 的菌根依賴度為負值。由這些整理的資料中顯示：栽培種植物對菌根的依賴度比野生種植物低。在同一類群植物中，不同植物種類，其菌根依賴度亦不相同，例如：田間植物群 (field crop group) 中，韭蔥 (*Allium porrum*) 在土壤磷為100 mg/kg時之菌根依賴度為96%，而在相同的土壤磷濃度下，燕麥 (*Avena sativa*) 的菌根依賴度為-22%。

同種植物不同品種，其菌根依賴度亦有差異。Hetrick等人(1992)調查小麥 (*Triticum aestivum*) 23個品種，其菌根依賴度最大為50，最小為-15%，平均為17%。野生品系(wild lines)、原始品系(primitive lines)與現代栽培品系(modern cultivated lines)的小麥，其菌根依賴度是不同的(Kapulnik and Kushnir 1991)，以小麥*Triticum aestivum*現代的栽培品系與原始品系比較，在1950年以前釋出的栽培品系對菌根的依賴度比在1950年以後釋出的栽培品系高(Hetrick et al. 1993, 1995)，有些小麥品系對菌根的依賴度為負值或沒有反應(Hetrick et al. 1996)。小麥陸生品系與野生品系對菌根的依賴度比高產量品系的小麥高 (Manske 1989)。Zhu等人(2001)報導指出，小麥現代栽培品系接種菌根菌後其地上部磷含量比同樣是接種菌根菌的原始品系低，顯示現代育種模式已降低小麥對菌根的依賴度。

有關水稻對叢枝菌根菌接種後的生長反應很少有研究學者報導，因為水稻生長在厭氧的水田環境下，叢枝菌根菌是否存在依然是有爭議的。在研究室的試驗中，於浸水的狀態下，叢枝菌根菌的感染率會降低，但在排水的情況下，水稻的菌根感染率很高 (Vallino 2009)。Suzuki等人 (2015) 研究64個水稻品種對叢枝菌根菌*Funneliformis mosseae*的生長反應，試驗在玻璃溫室中進行，水稻接種叢枝菌根菌生長4週後，64個品種對叢枝菌根菌的生長反應 (mycorrhizal growth response) 從-4.4%~118.9%，ARC5955品種水稻(indica rice)的菌根生長反應最高(118.9%)，Nipponbare品種水稻 (japonica rice)的菌根生長反應為18.7%。在植體營養元素含量方面，接種叢枝菌根菌可明顯ARC5955與Nipponbare兩個品種水稻地上部與根部的磷含量，且可降低地上部與根部銅與鋁的含量。叢枝菌根菌可明顯促進水稻品種ARC5955生長，但對Nipponbare品種則無明顯的促進效果。上述結果可提供水稻育種與水稻增產上新的思維與觀點。

## 二、叢枝菌根菌種類對作物生長效益之影響

同一種植物接種不同菌根菌種類，亦會影響其菌根依賴度。Sanders 等人 (1977) 以洋蔥接種4個不同的叢枝菌根菌，試驗結果顯示 *Glomus mosseae* Gerd. & Trappe, *G. macrocarpus* var. *geospora* Gerd. & Trappe與*Gigaspora calospora* Gerd. & Trappe 這3個菌種可促進洋蔥生長，而*G. microcarpus* Tul. & Tul.對洋蔥生長無促進效果。

Pedersen 等人 (1991) 以蘆筍接種5個不同的叢枝菌根菌 (*Glomus clarum*, *G. intraradices*, *G. monosporum*, *G. versiforme* and *G. vesiculiferum*)，試驗結果顯示*G. intraradices* 在溫室與田間試驗中皆可顯著的增加蘆筍的乾重。接種菌根菌之組織培養苗在移栽田間14個月後，其存活率是對照組的兩倍。在另一個試驗中，蘆筍從種子開始育苗並在溫室中以泥炭土為介質，分別接種三種菌根菌(*G. fasciculatum*, *G. intraradices*, *G. vesiculiferum*)，並分別給予不同的磷肥 (0, 50, 100, 150 ppm)，在第13週及第17週進行採收。接種*G. intraradices*及*G.*

*vesiculiferum* 菌根菌的植體乾重顯著高於對照組及 *G. fasciculatum* 接菌組。在本次試驗中發現植體乾重與菌根感染率呈正相關。菌根感染率在種植後第13週因磷肥的添加量增加而略微降低，但在第17週則不受影響。本試驗結果顯示菌根作物的增長與植體內磷濃度增加無關，因為添加磷肥並未產生生長效應，接種菌根菌作物的植體內磷濃度低於未接菌的對照組。

Sylvia 等人 (1993) 評估六種不同品系的菌根菌 (*Glomus etunicatum*) 以及不同菌根菌菌種 (*G. claroides*, *Entrophospora columbiana*) 於美國東部六個州八個合作單位共同進行比較試驗，這些菌種分別在相同的土壤與不同地區的不同土壤中接種大豆與高粱，42-57天後評估其生長效應，試驗結果顯示：菌根菌的品系在決定其生長效應的有效性上，較土壤或宿主植物來得重要。在不同州不同地點相同的土壤上發現 *Glomus etunicatum* (GE329和GENPI) 對大豆可產生最大的植體乾重效益；對於高粱，則除了上述兩株菌外，還有 *G. etunicatum* (GE312品系) 也有相同的促進效應。在不同州不同地區土壤的試驗上，發現GE329和GENPI 兩個品系對於高粱與大豆一樣可產生較佳的生長效應，其中土壤的可溶性磷濃度在  $10\text{mg kg}^{-1}$  時最佳。對大豆而言，根感染長度與菌根的生長效應無關；但高粱則呈正相關。

Graham與Abbott (2000)原認為小麥在低磷的土壤中菌根菌應可大量的感染小麥根部；在高磷的情況下應該也是如此，只是無法提供更多的磷肥吸收效益，同時造成植株矮小。Graham與Abbott兩人利用澳洲小麥生產帶所分離的10種不同菌株，在溫室中以壤砂土(loamy sand)進行小麥接種試驗。小麥分別給予低於適量與高於適量的磷肥。磷肥添加低於適量時，小麥生長受到限制。所有菌根菌分離株在小麥發芽14天後開始感染根部，第42天根部感染率在50~89%的分離株被歸類為具侵略性(aggressive)菌株，若感染率在1~19%者則被歸類為非侵略性(non-aggressive)菌株。添加高於適量的磷肥可增加幼苗的生長2-3倍，但卻減少了根的感染長度。侵略性菌株即使在高磷的條件下仍比其他菌株有較高的感染根長度。在低磷的條件下，與對照組相較，只有 *Scutellospora calospora* 的兩個分離株可促進小麥的生長；其他侵略性菌株與非侵略性菌株皆降低了小麥的生長。在高磷的條件下，所有侵略性菌株皆抑制了小麥的生長。在低磷的條件下，侵略性菌株可提升植體的磷濃度；然而在高磷的條件下，植體磷濃度則不受菌株的影響。侵略性菌株對小麥所產生的生長抑制現象與降低根部蔗糖濃度有關。

綜合來說，不同的菌根菌對於相同作物所展現的不同菌根依賴度，其差異主要在於不同菌根菌其根外菌絲的拓展能力不同，同時，不同的菌根菌所形成的根外菌絲對於磷的吸收能力也有差異所致 (Dickson *et al.* 1999; Smith *et al.* 2000)。

### 三、土壤磷含量對叢枝菌根菌在作物生長效益之影響

植物之菌根菌依賴度受到許多土壤因子的影響，其中土壤養分，特別是可溶性磷的濃度。糧食作物樹薯 (*Manihot esculenta*)，豆科植物，柑橘類 (Graham and Eissenstat 1994)，大麥 (*Hordeum vulgare*)，大豆 (*Glycine max*) 等的菌根依賴度會隨著土壤中磷濃度的增加而降低。呂等人 (1995) 發現每週施用一次1/4磷量的Johnson solution ( $15\text{mg/kg-P}$ )，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 ( $31\text{ mg/kg-P}$ )，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 ( $62\text{ mg/kg -P}$ )，番茄的菌根菌感染率更

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，蠶豆的菌根菌感染率為47%，而施用45kg-P/ha後，蠶豆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。

林與吳 (2002) 探討磷酸根離子對叢枝菌根菌孢子發芽與菌絲生長之影響，試驗菌種有六種，*Acaulospora scrobiculata*, *A. morrowiae*, *Entrophospora kentinensis*, *Glomus mosseae*, *G. occultum* 與 *G. versiforme*。試驗結果發現，*E. kentinensis*, *G. mosseae* 這兩種菌根菌孢子，當磷酸根離子濃度在 0.4~10 mM 時，孢子發芽率最高，分別為 73.3~90.0%，71.8~85.8%。但當磷酸根離子濃度增加至 20mM 時，這兩種菌根菌孢子之發芽率皆降至 20% 以下，當磷酸根離子濃度達 40 mM 時，這兩種菌根菌孢子之發芽率皆為 0。*A. morrowiae* 與 *A. scrobiculata* 在磷酸根離子濃度 4 mM 以下時，孢子發芽率較高，分別為 44.3~58.5% 與 49.7~63.8%。*G. versiforme* 在磷酸根離子濃度 2 mM 時，孢子發芽率最高為 45.5%。*G. occultum* 對磷最敏感，當磷酸根離子濃度在 1 mM 以上，則菌根菌發芽率與菌絲生長明顯下降。*E. kentinensis* 在磷酸根離子濃度 0.4~10 mM 時，菌絲長度為 0.3~0.5 mm/spore，當磷酸根離子濃度在 20 mM 以上時，孢子全數不發芽。*G. mosseae* 在磷酸根離子濃度 2 mM 時，發芽率不受影響，但菌絲生長長度開始明顯下降。*A. morrowiae*, *A. scrobiculata* 與 *G. versiforme* 這三種菌根菌孢子，當磷酸根離子濃度在 10 mM 以上時，菌絲生長明顯受抑制。

Abdullahi與Sheriff (2013) 研究叢枝菌根菌與化學肥料用量對洋蔥生長之影響，化學肥料氮肥與磷肥用量有6個等級，每公頃氮-磷用量分別為 00-00, 40-20, 60-30, 80-40, 100-50 與120-60公斤，鉀肥用量固定為每公頃50公斤，叢枝菌根菌菌種為*Glomus intraradices*，試驗地土壤質地為砂質壤土，其土壤pH值為6.8。試驗結果顯示：在洋蔥苗移植田間8週後，未接種的洋蔥苗生長隨著肥料施用量增加而增加，而接種叢枝菌根菌之洋蔥苗以肥料施用量為 60-30-50 kg ha<sup>-1</sup> (N-P-K) 之生長最好，與未接種菌根菌但施用化學肥料120-60-50 kg ha<sup>-1</sup> (N-P-K) 之對照組生長勢無明顯差異。但隨著肥料用量繼續增加，洋蔥苗的生長效益逐漸降低。

在土壤磷濃度相當高的條件下，無形成菌根的作物，其生長與形成菌根的相同作物相當，甚或超越。這種現象顯示菌根菌與宿主植物之間存在某種寄生關係的結合。在相當高磷的土壤條件下，光靠植物的根部就可獲得足夠的磷；植物不須藉由菌根的菌絲來吸收磷，但這些菌根菌卻需要自宿主植物的體內獲得碳源。為了避免產生這種寄生的結合關係，當土壤中磷濃度高時，植物本身會抑制菌根的感染率是可能的。在日本洋蔥 (*Allium cepa*) 與青蔥 (*Allium fistulosum*) 的田間土壤的有效性磷濃度很高，因此藉由菌根的形成來促進作物的生長是很難預期的 (Kato *et al.* 1985)。在日本所選育出來的青蔥品種與其他外國的品種相較，是不可能對菌根菌有高度依賴的 (Tawaraya *et al.* 2001)。

## 結語

在低投入的永續農業中，可藉由叢枝菌根菌持續利用土壤中的磷肥，在相同的吸收面積下，菌絲對磷的吸收量是根部的100倍 (Harley 1989)，但現代育種模式所選育出的品種或品系大多對叢枝菌根菌依賴度低，無法充分利用叢枝菌根菌的優勢，未來應在低養分與逆境下進行品種與品系的選育，才能選出與叢枝菌根菌親合性高的作物，使叢枝菌根菌在作物上的生長效益達到最大。

## 引用文獻

- 吳繼光、林素禎。 1998。囊叢枝內生菌根菌技術應用手冊。臺灣省農業試驗所出版。台灣。台中。ISBN: 957-02-1767-7。
- 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 41：54-67。
- 林素禎、吳繼光。 2002。磷酸根離子對叢枝菌根菌孢子發芽與菌絲生長之影響。中華農業研究。51(3):20-30。
- Abdullahi, R. and H. H. Sheriff. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and chemical fertilizer on growth and shoot nutrients content of onion under field condition in northern Sudan savanna of Nigeria. *IOSR J. Agri. Veter. Sci. (IOSR-JAVS)* 3(5): 85-90.
- Alguacil, M. D. M., Z. Lozano, M. J. Campoy, and A. Roldán. 2010. Phosphorus fertilization management modifies the biodiversity of AM fungi in a tropical savanna forage system. *Soil Biol. Biochem.* 42:1114–1122.
- Baylis, G. T. S. 1970. Root hairs and phycomycetous mycorrhizas in phosphorus- deficient soil. *Plant Soil* 33:713-716.
- Chan, K.Y., C. G. Dorahy, S. Tyler, A. T. Wells, P. P. Milham, and I. Barchia. 2007. Phosphorus accumulation and other changes in soil properties as a consequence of vegetable production. *Aust. J. Soil Res.* 45:139–146.
- Colla, G., Y. Roupahel, M. Cardarelli, M. Tullio, C. M. Rivera, and E. Rea. 2008. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. *Biology and Fertility of Soils* 44(3):501-509.
- Gerdemann, J. W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhiza. *In* The development and function of roots, eds. J. G. Torrey and D. T. Clarkson. p. 575-592. Academic Press, London.
- Graham J. H. and D. M. Eissenstat. 1994. Host genotype and the formation and function of VA mycorrhizae. *Plant Soil* 159:179-185.
- Harley, J. L. 1989. The significance of mycorrhiza. *Mycol. Res.* 92: 129-139.
- Hetrick, B. A. D., G. W. T. Wilson, and T. C. Todd. 1996. Mycorrhizal response in wheat cultivars: relationship to phosphorus. *Can. J. Bot.* 74: 19-251.
- Hetrick, B. A. D., G. W. T. Wilson, and T. S. Cox. 1992. Mycorrhizal dependence of modern wheat varieties landraces and ancestors. *Can. J. Bot.* 70: 2032-2040.
- Hetrick, B. A. D., G. W. T. Wilson, and T. S. Cox. 1993. Mycorrhizal dependence of modern wheat cultivars and ancestors-A synthesis. *Can. J. Bot.* 71: 512-518.

- Hetrick, B. A. D., G. W. T. Wilson, B. S. Gill, and T. S. Cox. 1995. Chromosome location of mycorrhizal responsive genes in wheat. *Can. J. Bot.* 73: 891-897.
- Kapulnik, Y. and U. Kushnir. 1991. Growth dependency of wild, primitive and modern cultivated wheat lines on vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi. *Euphytica* 56: 27-36.
- Kato, H., N. Oka, and T. Motojima. 1985. Availability and nature of phosphorus in fields. I. Phosphorus accumulation in onion field soils. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 56:279-284.
- 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.
- Manske, G. G. B. 1989. Genetical analysis of the efficiency of VA mycorrhiza with spring wheat. *Agric. Ecosyst. Environ.* 29: 273-280.
- 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.
- Pedersen, C. T., G. R. Safir, S. Parent, and M. Caron. 1991. Growth of asparagus in a commercial peat mix containing vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and the effects of applied phosphorus. *Plant Soil* 135: 75-82.
- Ping, X. U., L. Z. Liang, X. Y. Dong, J. Xu, P. K. Jiang, and R. F. Shen. 2014. Response of Soil Phosphorus Required for Maximum Growth of *Asparagus officinalis* L. to Inoculation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Pedosphere* 24(6):776-82.
- Plenchette, C., J. A. Fortm, and V. Furlan. 1983. Growth response of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant Soil* 70:199- 209.
- Sanders, F. E., P. B. Tinker, R. L. B. Black, and S. M. Palmerley. 1977. The development of endomycorrhizal root systems. I. Spread of infection and growth-promoting effects with four species of vesicular-arbuscular endophyte. *New Phytol.* 78: 257-268.
- Schüßler, A., D. Schwarzott, and C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105:1413–1421.
- Shukla, A., A. Kumar, A. Jha, Ajit, D. V. K. N. Rao. 2012. Phosphorus threshold for arbuscular mycorrhizal colonization of crops and tree seedlings. *Biology and Fertility of Soils* 48(1):109-116.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. P. 371, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Germany.
- Smith, S. E. and D. J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*, Academic Press, London.
- Suzuki, S., Y. Kobae, T. Sisaphaithong, R. Tomioka, C. Takenaka, and H. Shingo. 2015. Differential growth responses of rice cultivars to an arbuscular mycorrhizal fungus, *Funelliformis mosseae*. *J. Horti.* 2: 142.
- Tawaraya, K. 2003. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. *Soil Sci. Plant Nutr.* 49(5): 655-668.
- Tawaraya, K., K. Tokairin, and T. Wagatsuma. 2001. Dependency of *Allium fistulosum* cultivars on the arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*. *Appl. Soil Ecol.* 17:119-124.
- Vallino, M., D. Greppi, M. Novero, P. Bonfante, and E. Lupotto. 2009. Rice root colonisation by mycorrhizal and endophytic fungi in aerobic soil. *Ann. Appl. Biol.* 154: 195-204.

# Review of arbuscularmycorrhizal fungi on the crop growth response

Su-Chen Lin<sup>1,2</sup> Chi-Guang Wu<sup>3</sup> Shiuan-Yuh Chien<sup>4</sup>

## Abstract

In the past few decades, there were numerous publications related to the inoculation effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the plant growth; however, the report from field trials seemed not consistent. In this review, three key factors influencing mycorrhizal dependency (MD) to the crops were discussed, i.e. plant species and crop cultivars, various arbuscular mycorrhizal fungal isolates, and soil P levels. Through previous publications, the MD of most cultivated crops was lower than wild species. The MD of terrestrial lines and wild cultivars was higher than those with high yield phenotypes. The MD of latest breeding lines was lower than original parent lines. The difference in the isolates of arbuscular mycorrhizal fungi could result in different inoculation effect. The difference of crop cultivars may show different growth response to arbuscular mycorrhizal fungi as well. Most the successful inoculation effect came out of the cultivation medium or soil with low P level. The higher P level in the medium, the MD of crop decreased. In the modern breeding system, most of the breeding lines are selected from the fields with chemical fertilizers and these cultivars show low MD trait. In order to promote the use of arbuscular mycorrhizal fungi, we suggest to select new cultivars under the field background with low nutrient and environment stress.

**Key words** : Arbuscular mycorrhizal fungi, Crop cultivar, Crop line, Phosphorous

---

<sup>1</sup> Corresponding author, e-mail: [linmay@tari.gov.tw](mailto:linmay@tari.gov.tw)

<sup>2</sup> Assistant Researcher, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup> Former Associate Researcher, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute , Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>4</sup> Researcher, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute , Taichung, Taiwan, ROC.