

應用微生物改善作物栽培土壤地力研究

林素禎^{1*}、張秀月²、蔡耀賢³、劉書好⁴

¹ 農業部農業試驗所農業化學組副研究員。

² 農業部農業試驗所農業化學組前計畫助理。

³ 農業部農業試驗所農業化學組助理研究員。

⁴ 福壽實業股份有限公司農業資材事業部業務專員。

* linmay@tari.gov.tw

摘 要

臺灣坡地柑橘果園由於水源不足，抗旱能力低落，在柑橘果實發育期與肥大期，若逢乾旱可能引起落花、落果與小型果比率高，嚴重影響柑橘之果實產量與品質。本文將介紹叢枝菌根菌*Rhizophagus clarus*在提高柑橘砧木(酸桔)與椪柑嫁接苗之耐旱能力及施肥效益，並探討叢枝菌根菌*R. clarus*在改善栽培土壤地力之潛力。試驗結果顯示：(1) 酸桔苗接種*R. clarus*可減少澆水量20%，(2) 酸桔苗接種*R. clarus*可減少施肥量50%，(3) 酸桔苗接種*R. clarus*可顯著($P < 5\%$)增加植體氮含量21-41%，(4) 椪柑嫁接苗接種*R. clarus*可減少施肥量33%，(5) 椪柑嫁接苗接種*R. clarus*在全量施肥量、2/3施肥量及1/2施肥量處理下，皆可顯著增加其葉片氮含量與鉀含量，(6) 椪柑嫁接苗接種*R. clarus*可使其栽培土壤之無機態氮含量、有效性鉀含量、有機質含量及土壤含水量提高，*R. clarus*具有改善栽培土壤地力之潛力。

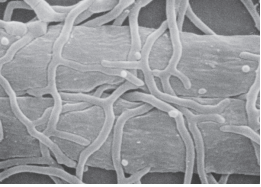
關鍵字：柑橘、叢枝菌根菌、乾旱、土壤地力

前 言

柑橘是臺灣地區坡地常見的主要栽培作物之一，2023年柑橘類作物(包含椪柑、桶柑、文旦柚、白柚、柳橙、檸檬、其他雜柑類)的栽培面積為24,263公頃(農業統計年報)。多數坡地的柑橘園沒有灌溉設施，在柑橘果實發育期與肥大期，若逢乾旱可能引起落花、落果與比率高的小型果，嚴重影響柑橘之果實產量與品質。

根據Schüßler等人(2001)報導指出，在植物界裡有80%的科的陸地植物可與叢枝菌

根菌(arbuscular mycorrhizal fungus, AMF)共生。AMF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 & Read, 1997)。AMF的根外菌絲可以延伸至根外10cm或更長的距離，擴大植物根部吸收面積；由於菌絲比植物根更細，可吸收根所不能到達的孔隙內之水分與養分，對作物生長，尤其是幼苗階段接種效果更為明顯(吳與林, 1998；林等人, 2000b；邱與王, 2013；Davis & Menge, 1981；Graham & Egel, 1988；Kleinschmidt & Gerdemann, 1972)。Cheng等人(2022)報導指出，接種



AMF可改善柑橘生長及改變根分泌物組成，可顯著增加土壤中球囊蛋白 (glomalin) 含量，促進土壤大團粒 (2-4 mm) 的形成，提高土壤團粒穩定度與磷酸酶活性，進而減輕了乾旱損害。Wu 等人 (2008) 研究顯示，Bradford反應性土壤蛋白質濃度、AMF菌絲長度密度與土壤穩定性團粒 (>2 mm, 1-2 mm, >0.25 mm) 有正相關性，作者認為透過球囊蛋白可增加土壤團粒穩定度，使土壤保有較多的水分，增強了乾旱逆境下植物的生長。此外，AMF在幫助作物克服逆境與病蟲害防治的效果也已獲得普遍之肯定 (Whipps, 2004)，Youpensuk等人 (2012) 報導指出，接種AMF可顯著降低柑橘褐腐病 (*Phytophthora parasitica* Dastur) 的危害 (Youpensuk *et al.*, 2012)。AMF 植物的根部酸性磷酸酶 (ACP) 和鹼性磷酸酶 (ALP) 活性高於非 AMF 植物，透過增強 ACP 和 ALP 活性可提高有機質肥料的利用率，促進磷的吸收、增加光合作用並改善植物生長 (Amaya-Carpio *et al.*, 2009)。

臺灣酸性耕地土壤面積在1982年已調查的80萬公頃耕地土壤中，pH6.5以下的土壤面積占62.1%，而pH 5.5以下的強酸性土壤面積占38.2%。此外，山地農牧局在1984年至1986年調查海拔100公尺以上，1,000公尺以下之山坡地共88萬9千5百公頃中，pH 5.5以下之強酸性土壤面積占76%，可見酸性土壤在臺灣的山坡地更為普遍 (連, 1991)。在酸性土壤中植物容易產生鋁與錳毒害，使根部生長受阻，且磷和鉬等營養元素的溶解度低。另外，在高氫離子濃度下，鎂、鈣與鉀離子等營養元素含量低，且吸收受阻。由於鋁對根系生長的抑制，導致植物根系短淺，影響營養元素與水的吸收能力，增加植物乾旱逆境的風險 (Marschner, 1991)。

臺灣目前市售AMF微生物肥料有3個，

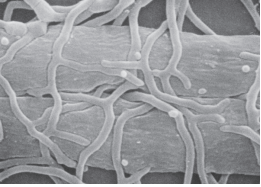
其菌種皆為 *Funneliformis mosseae*。根據 Hayman & Mosse (1971) 研究指出，在pH 5.6與7.0 土壤中接種*F. mosseae* 可促進粗壯雁果 (*Coprosma robusta*)生長，但在pH 3.3與4.4土壤中則無促進作用；Ouzounidou等人 (2015) 研究指出，在鹼性砂質壤土(pH8.2)中接種*F. mosseae*可促進艾歐鼠尾草(*Salvia hispanica*)生長，但在中性壤土(pH7.1)及酸性砂質黏壤土(pH5.1)中則無促進作用。林等人 (2000a) 調查臺灣代表性土壤AMF孢子的種類與數量，研究顯示 *F. mosseae* (= *Glomus mosseae*) 分布在微酸性至中性土壤中。Green等人 (1976) 研究指出，*F. mosseae* (= *G. mosseae*) 孢子發芽最適宜的pH值為7.0-8.0。由上述研究可知，叢枝菌根菌*F. mosseae*在pH 5.5以下的強酸性土壤中對作物生長較無促進效果，所以需要開發適合於強酸性土壤中可促進作物生長之叢枝菌根菌菌種。

農業試驗所從南投縣鹿谷鄉山坡地土壤中篩選出*Rhizophagus clarus* (= *Glomus clarum*) 菌株，該菌種已進行以下試驗：(1) 張 (2003) 研究顯示，甜椒接種叢枝菌根菌*G. clarum*可促進植株生長並降低疫病 (*Phytophthora capsici*)的罹病率40%。(2) 黃 (2003) 研究顯示，番茄接種叢枝菌根菌*G. clarum*可顯著降低根瘤線蟲的根瘤數與根圈二齡幼蟲之數量。(3) 林等人(2012) 研究顯示，香蕉接種叢枝菌根菌*G. clarum*在定植田區158天後，其株高比對照組高16 cm，而葉數比對照組多2.4葉，且接種AMF處理之香蕉其黃葉病發病率顯著 ($P < 0.05$) 比對照組低21%。本文將介紹叢枝菌根菌*R. clarus*在提高柑橘砧木(酸桔)與椪柑嫁接苗之耐旱能力及施肥效益，並探討叢枝菌根菌*R. clarus*在改善栽培土壤地力之潛力。

材料與方法

- 一、試驗地點：盆栽試驗於農業試驗所67號溫室內進行。
- 二、試驗期間：2019年1月至2020年12月。
- 三、試驗作物：酸桔(*Citrus sunki* Hort.)種子取自農業試驗所關西工作站種原保存區酸桔樹；椪柑(*Citrus poonensis*)一年生嫁接苗購自嘉義梅山合作農場。
- 四、叢枝菌根菌種原製備：本試驗所採用之菌株來自農業試驗所農業化學組土壤微生物實驗室，使用的菌種為*Rhizophagus clarus*，本菌種分離自南投縣鹿谷鄉山坡地土壤，本菌種以百喜草為宿主，以河砂為栽培介質，在溫室中種植1年後，將百喜草地上部剪除，百喜草根部分與河砂以塑膠封口袋密封，置於冷藏庫4°C中保存。本試驗所使用之菌土在冷藏庫中保存了3個月，試驗前先檢測菌土中孢子種類及數量，確定菌種純度與孢子數後備用。
- 五、試驗前與柑橘苗採收後土壤理化性質分析：土壤理化性質包括土壤pH值、電導度(EC)、質地、有機質含量、有效性氮、磷、鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅及硼含量。土壤pH值測定方法為水土比1:1(g/g)，土壤EC值測定方法為水土比5:1(g/g)，以酸鹼測定儀及電導度測定儀檢測之。土壤質地以粒徑分析儀分析。有機質以總有機碳分析儀測定後換算為有機質含量。有效性氮含量先用2M KCl抽出後以自動分析儀測定。有效性磷、鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅、硼含量以 Mehlich-3 method (Mehlich, 1984) 抽出後，以感應耦合電漿分析儀(Inductively coupled plasma spectrometry, ICP) 測定。

- 六、叢枝菌根菌(AMF)感染率檢測：柑橘苗接菌組與對照組各取5株進行感染率檢測，在根部洗淨後，每株柑橘苗各取100條根段進行染色，每條根段長1-2 cm，在10% KOH溶液中90°C煮約10 min，冷卻後水洗3次，再將根段完全浸入3% H₂O₂中進行脫色，待根段褪色至淡黃色時，倒掉H₂O₂，水洗3次，取適量1% HCl，將根段完全浸入1% HCl中，浸泡約1小時，然後倒掉1% HCl，重覆以1% HCl浸泡3次，再以0.5% Aniline blue 染劑(Glycerin 500 ml, Distilled water 450 ml, 50 ml 1% HCl, Aniline blue 0.5 g) 染色6小時，再以脫色劑(Glycerin 500 ml, Distilled water 450 ml, 50 ml 1% HCl) 脫色。脫色後每株取50條根段在顯微鏡下觀察，若根段內有叢枝體、菌絲或囊泡產生，則視為有感染，感染率=感染根段數÷總根段數×100% (吳與林, 1998)。
- 七、柑橘栽培土壤中叢枝菌根菌孢子之分離與鑑定：椪柑嫁接苗在不同施肥量處理一年後採收植株，檢測栽培土壤中AMF孢子數與種類。每處理各3個重複，每重複各一盆，將每盆盆栽栽培土壤各自混勻，每盆各取50 g土壤樣品。利用濕篩法與糖度離心法 (Daniels & Skipper, 1982) 分離AMF孢子，以PVLG (polyvinyl alcohol lactic glycerol) (Koske & Tessier, 1983) 與Melzer's 碘液 (Hawksworth *et al.*, 1995) 作成半永久片，在光學顯微鏡下計數AMF孢子數並根據孢子的孢壁構造及其他形態特徵鑑定AMF種類 (Schenck & Perez, 1990)。
- 八、椪柑嫁接苗接種叢枝菌根菌後之耐旱能力評估：椪柑一年生嫁接苗買來後進行換盆，換盆後的盆子為直徑與高度皆30



cm的塑膠栽培盆，換盆時，栽培盆先填裝1/3試驗用土壤，對照組栽培盆放入椪柑嫁接苗後繼續填裝試驗用土壤至八分滿，盆內共裝12 kg試驗用土壤(濕土重)。接菌組先填裝1/3試驗用土壤後，將AMF菌土放入盆內，每盆接種1,000個AMF孢子，然後放入椪柑嫁接苗，菌土施用位置在椪柑嫁接苗根部正下方，放入椪柑嫁接苗後繼續填裝試驗用土壤至八分滿，盆內試驗用土壤亦為12 kg(濕土重)。盆栽土壤先充分澆水，待表面土壤自然乾燥後，測試盆栽每日澆水需要量(500 ml/pot)，以做為後續不同澆水量處理之依據。在椪柑嫁接苗接種AMF 176天後，再進行不同澆水量處理。試驗處理有不接菌的對照組與接種AMF接菌組，在上述兩種處理下再各細分為5種不同的澆水量處理，5種澆水量處理如下：(1) 100%澆水量，(2) 80%澆水量，(3) 60%澆水量，(4) 40%澆水量，(5) 20%澆水量。每處理3重複，每重複各種5盆，試驗設計為CRD。100%澆水量為每盆每天500 ml。椪柑嫁接苗不同澆水量處理40天後採收進行生育調查。

九、叢枝菌根菌接種與不同施肥量處理對椪柑嫁接苗生長之影響：本試驗用椪柑嫁接苗換盆後的盆子亦為直徑與高度皆30 cm的塑膠栽培盆，盆內裝12 kg試驗用土壤(濕土重)。試驗處理有不接菌對照組與接種AMF接菌組，在上述兩種處理下再各細分為4種不同的肥料處理：(1) 全量Modified Hoagland solution (MHS)，(2) 2/3 MHS，(3) 1/2 MHS，(4) 1/3MHS。每處理3重複，每重複各種5盆，試驗設計為CRD。AMF接種在換盆時進行，接種方法如上所述。椪柑嫁接苗先接種AMF 176天後，再進

行不同施肥量處理。Modified Hoagland solution中主要營養成分如下：N 252 mg/kg，P 16 mg/kg，K 126 mg/kg，Ca 126 mg/kg，Mg 25.2 mg/kg。藥品種類及用量如下： $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.396 g/L， KNO_3 0.326 g/L， NaNO_3 0.21 g/L， $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.258 g/L， K_2HPO_4 0.18 g/L， $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.743 g/L。微量元素用量如下：Fe-EDTA 80.6 g/L， $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 15.4 g/L， $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.79 g/L， $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2.2 g/L， H_3BO_3 28.6 g/L， $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.25 g/L，上述微量元素使用前需經稀釋5000倍後再使用。每週澆灌1次，每盆澆灌500 ml。椪柑嫁接苗經不同肥料施用量處理一年後採收進行生育調查，葉片在80°C烘箱48 hr烘乾後磨粉，分析營養元素含量。上述8個處理在椪柑嫁接苗採收後各取3盆盆栽，共24盆，每盆盆栽土壤各自混勻後取樣進行理化性質分析及AMF孢子之分離與鑑定。剩餘之盆栽土壤分為接菌組與對照組，各自陰乾後混勻、過篩，做為後續酸桔苗移植後之栽培土壤。

十、酸桔育苗時期接種叢枝菌根菌後之耐旱能力評估：先將酸桔種子播種在蛭石中，待發芽後進行接菌處理，叢枝菌根菌 *R. clarus* 菌土與育苗介質混拌，每盆接種 150 個AMF孢子，育苗介質為泥炭苔與珍珠石之混合物(體積比 3:1)。接菌處理 63 天後檢測AMF感染率，確定AMF感染後進行移植，移植後之栽培介質為椪柑嫁接苗種植一年採收後之栽培介質。栽培盆高度37 cm，盆口寬度10 cm，每盆栽培土壤3.2 kg(濕土重)。酸桔苗移植後，盆栽土壤先充分澆水，待表面土壤自然乾燥後，測試盆栽每日澆

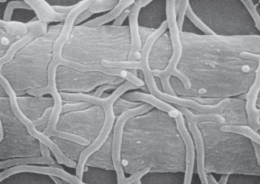
水需要量(60 ml/pot)，以做為後續不同澆水量處理之依據。在酸桔苗定植 47 天後進行不同澆水量處理，接菌組處理與不接菌之對照組處理各有 5 個澆水量處理：(1)100%澆水量，(2)80%澆水量，(3) 60%澆水量，(4) 40%澆水量，(5) 20%澆水量。上述每處理各3重複，每重複各種5盆，共150盆。100%澆水量為每盆每天60 ml。不同澆水量處理92天後採收進行生育調查，將酸桔苗根部洗淨，地上部與根部在80°C烘箱48 hr烘乾後磨粉，分析植體營養元素含量。

十一、酸桔育苗時期接種叢枝菌根菌後之肥效評估：如上所述，酸桔苗接菌處理 63 天後檢測菌根菌感染率，確定菌根菌感染後進行移植，移植後之栽培介質亦為椪柑嫁接苗種植1年採收後之栽培介質。栽培盆高度37 cm，盆口寬度10 cm，每盆栽培土壤3.2 kg。待酸桔定植 70 天後進行不同施肥量處理：(1) 全量施肥量(Modified Hoagland solution, MHS)，(2) 2/3 MHS，(3) 1/2 MHS。Modified Hoagland solution 中主要營養元素含量如下：N 250 mg/kg，P 25 mg/kg，K 200 mg/kg，Ca 200 mg/kg，Mg 40 mg/kg，藥品種類如上所述，微量元素種類與用量亦如上所述。每 3 週澆灌 1 次，每盆澆灌 60 ml。每處理 6 重複，每重複各種 1 盆，試驗設計為CRD。不同施肥量處理93 天後酸桔苗採收進行生育調查。

結 果

一、椪柑嫁接苗試驗前與採收後之栽培土壤理化性質：椪柑嫁接苗試驗前土壤質地為砂質壤土，土壤pH值為4.8，電導度(EC)為32 μ S/cm，有機質含量為7 mg/

kg，無機態氮含量為7 mg/kg，有效性磷含量為3 mg/kg，有效性鉀含量為62 mg/kg，有效性鈣含量為460 mg/kg，有效性鎂含量為328 mg/kg。椪柑嫁接苗採收後，未接菌之對照組(CK)在4個施肥量處理下其土壤pH值為5.0-5.1，接菌組(AMF)為4.6-4.8，接菌組的土壤pH值較對照組低。如表一所示，對照組在4個施肥量處理下其土壤電導度(EC)為129-155 μ S/cm，接菌組為143-209 μ S/cm，接菌組的土壤電導度比對照組高。對照組在4個施肥量處理下其土壤有機質含量(OM)為5-7 g/kg，而接菌組為12-17 g/kg，接菌組的有機質含量在4個施肥量處理下皆顯著比對照組高。對照組在4個施肥量處理下其土壤無機態氮含量(N)為2.3-3.2 mg/kg，接菌組為2.8-4.7 mg/kg，接菌組的無機態氮含量在4個施肥量處理下皆比對照組高。對照組在四個施肥量處理下其土壤有效性磷含量(P)為9-12 mg/kg，接菌組為6-9 mg/kg，接菌組與對照組的土壤有效性磷含量皆很低，此乃因試驗前土壤的磷含量只有7 mg/kg，而每週澆灌的營養液中全量施肥量磷含量16 mg/kg，對1年生椪柑嫁接苗來說是不足的，後續的酸桔試驗將提高營養液磷含量，以利作物生長。對照組在4個施肥量處理下其土壤有效性鉀含量(K)為47-71 mg/kg，接菌組為62-87 mg/kg，接菌組的土壤有效性鉀含量在4個施肥量處理下皆比對照組高。對照組在4個施肥量處理下其土壤有效性鈣含量(Ca)為688-822 mg/kg，接菌組為708-793 mg/kg，接菌組的土壤有效性鈣含量在全量施肥量處理下顯著比對照組低，但在其他3個施肥量處理下則無顯著差異。對照組在4個施肥量處理下其土壤



表一、椪柑嫁接苗試驗前與採收後之栽培土壤理化性質

Table 1. Physical and chemical properties of cultivation soil before test and after harvesting of ponkan scion seedlings

Treatment	pH (1 : 1)	EC ¹ (μ S/cm)	OM ¹ (g/kg)	N ¹ (mg/kg)	P ¹ (mg/kg)	K ¹ (mg/kg)	Ca ¹ (mg/kg)	Mg ¹ (mg/kg)
Before test	4.8	32	7	7.0	3	62	460	328
MHS ² -CK ²	5.1 a ³	155 a	5 b	3.2 b	12 a	71 a	822 a	389 a
MHS-AMF ²	4.6 b ³	209 a	16 a	4.6 a	7 b	87 a	708 b	342 a
2/3 MHS-CK	5.0 a	147 a	6 b	2.9 b	9 a	53 a	728 a	351 a
2/3 MHS-AMF	4.7 a	164 a	17 a	4.7 a	9 a	71 a	734 a	367 a
1/2 MHS-CK	5.0 a	129 a	5 b	2.3 a	10 a	55 a	735 a	355 a
1/2 MHS-AMF	4.8 a	153 a	12 a	2.8 a	6 b	62 a	727 a	372 a
1/3 MHS-CK	5.1 a	134 a	7 b	3.0 a	9 a	47 a	688 a	333 a
1/3 MHS-AMF	4.8 a	143 a	13 a	4.6 a	9 a	67 a	793 a	364 a

¹ EC : Electrical conductivity ; OM : Organic matter content ; N : Inorganic nitrogen content ; P : Available phosphorus content ; K : Available potassium content ; Ca : Available calcium content ; Mg : Available magnesium content.

² MHS : Modified Hoagland solution ; CK : No inoculation, control ; AMF : Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi.

³ Means within each two rows between CK and AMF in different concentration of MHS followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

有效性鎂含量 (Mg) 為333-389 mg/kg，接菌組為342-372 mg/kg，接菌組的土壤有效性鎂含量在4個施肥量處理下與對照組無顯著差異。

二、叢枝菌根菌感染率檢測：椪柑嫁接苗在採收時檢測AMF感染率，未接菌的對照組AMF感染率為54-90%，接菌組AMF感染率為67-90%，對照組與接菌組感染率無顯著差異(P>0.05)。椪柑1年生嫁接苗原盆栽土壤與試驗用土壤中已存在AMF孢子，且AMF感染率很高，這可能會影響後續AMF接菌的效益。為使AMF可以順利進入柑橘苗根內與作物共生，後續將使用柑橘砧木(酸桔)種子，在育苗過程中，使用人工介質(泥炭苔與珍珠石之混合物)，使對照組無AMF共生，

以利評估AMF接種對酸桔苗生長之效益。

三、柑橘栽培土壤中叢枝菌根菌孢子之分離與鑑定：椪柑嫁接苗在採收後檢測栽培土壤中AMF孢子數與種類，如表二所示，對照組在4個施肥量處理下50 g栽培土壤中AMF的孢子數為5-21個，接菌組為12-38個，接菌組栽培土壤中的AMF孢子數顯著比對照組多。對照組栽培土壤中的AMF種類有*Acaulospora morrowiae*、*A. scrobiculata*、*Paraglomus occultum*、*Septogloium constrictum*，接菌組的AMF種類有*A. kentinensis*、*A. scrobiculata*、*Funneliformis geosporum*、*F. mosseae*、*R. clarus*、*S. constrictum*。由表二可知，接菌組所使用的菌種 (*R.*

表二、椪柑嫁接苗採收後其栽培土壤中叢枝菌根菌孢子數與種類

Table 2. Species of arbuscular mycorrhizal fungi and their spores in the cultivated soil of ponkan scion seedlings after harvest

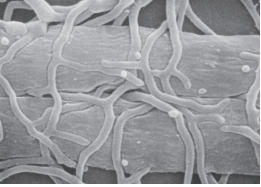
Treatment	AMF spores in rhizosphere soil (spores /50g soil)	AMF species in rhizosphere soil
MHS ¹ -CK ¹	5 b ²	<i>Acaulospora morrowiae</i> , <i>A. scrobiculata</i> , <i>Septoglopus constrictum</i>
MHS-AMF ¹	12 a ²	<i>Rhizophagus clarus</i> , <i>Septoglopus constrictum</i>
2/3 MHS-CK	21 b	<i>A. morrowiae</i> , <i>S. constrictum</i>
2/3 MHS-AMF	38 a	<i>A. kentinensis</i> , <i>A. scrobiculata</i> , <i>Funneliformis mosseae</i> , <i>F. geosporum</i> , <i>R. clarus</i> , <i>S. constrictum</i>
1/2 MHS-CK	8 b	<i>A. morrowiae</i> , <i>A. scrobiculata</i> , <i>S. constrictum</i>
1/2 MHS-AMF	15 a	<i>A. scrobiculata</i> , <i>F. mosseae</i> , <i>F. geosporum</i> , <i>R. clarus</i> , <i>S. constrictum</i>
1/3 MHS-CK	5 b	<i>A. morrowiae</i> , <i>Paraglopus occultum</i>
1/3 MHS-AMF	13 a	<i>F. mosseae</i> , <i>R. clarus</i> , <i>S. constrictum</i>

^{1,2} The same legends as Table 1 .

clarus) 在4個施肥量處理的栽培土壤中皆有出現，而對照組在4個施肥量處理的栽培土壤中皆出現*Acaulospora morrowiae*。另外，接菌組栽培土壤中出現的*A. kentinensis*、*F. geosporum*、*F. mosseae*、*R. clarus*4個菌種皆未在對照組的栽培土壤中出現，而在對照組栽培土壤中出現的*A. morrowiae*、*P. occultum*也未在接菌組的栽培土壤中出現。由上述結果可知，椪柑嫁接苗接種*R. clarus*會影響栽培土壤中AMF的孢子數量與菌種種類。

四、椪柑嫁接苗接種叢枝菌根菌後之耐旱能力測試：椪柑嫁接苗先接種AMF 176天再進行不同澆水量處理40天，其生育調查如表三所示，(1) 在20-100%澆水量處理下，對照組之椪柑嫁接苗株高為131-138 cm，接菌組為137-145 cm，接菌與不接菌處理間無顯著差異(P>0.05)。(2)在20-100%澆水量處理下，對照組之椪柑嫁接苗總乾重依序為187，213，

231，250，254 g/plant，而接菌組總乾重依序比對照組多10%，14%，16%，18%，11%，但處理間皆未達顯著差異。(3) 對照組之椪柑嫁接苗在20%澆水量處理下其總乾重比100%澆水量處理少26%，已達顯著差異(P<0.05)；而對照組之椪柑嫁接苗在40-80%澆水量處理下其總乾重比100%澆水量處理依序少16%，9%，2%，皆未達顯著差異。(4) 接菌組之椪柑嫁接苗在20%澆水量處理下其總乾重比100%澆水量處理少18%，已達顯著差異；而接菌組之椪柑嫁接苗在40%，60%澆水量處理下其總乾重比100%澆水量處理依序少14%，5%，皆未達顯著差異。另外，接菌組之椪柑嫁接苗在80%澆水量處理下其總乾重比100%澆水量處理多4%，亦未達顯著差異。由以上結果可知，在20%澆水量處理40天後已可顯著降低椪柑嫁接苗總乾重，而接種AMF處理雖可增加椪柑嫁接苗株高及植株總乾重，但尚未達顯著差異。



表三、叢枝菌根菌接種與不同澆水量處理對椪柑嫁接苗生長之影響

Table 3. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and different watering amounts on the growth of ponkan scion seedlings

Watering volume (mL)	Plant height (cm)	Total plant fresh weight (g/plant)	Total plant dry weight (g/plant)	Relative total plant dry weight (%)
100% WV ¹ – CK ²	134 a ³	686 a	254 a	100
100% WV-AMF ²	145 a	765 a	283 a	111
80% WV- CK	136 a	676 a	250 a	100
80% WV-AMF	137 a	800 a	296 a	118
60% WV- CK	138 a	625 a	231 a	100
60% WV-AMF	138 a	725 a	268 a	116
40% WV- CK	131 a	562 a	213 a	100
40% WV-AMF	138 a	638 a	242 a	114
20% WV- CK	132 a ³	457 a	187 a	100
20% WV-AMF	141 a	501 a	205 a	110

¹ Watering volume (WV) : The maximum watering amount of ponkan scion seedlings per pot is 500 mL/day (=100% WV).

^{2,3} The same legends as Table 1 .

五、椪柑嫁接苗在不同施肥量下接種叢枝菌根菌對其生長之影響：椪柑嫁接苗先接種AMF 176天後，再進行不同施肥量處理，試驗結果如表四：(1) 椪柑嫁接苗在全量施肥量、2/3施肥量、1/2施肥量、1/3施肥量下，接種AMF可增加椪柑嫁接苗之株高依序為5%，5%，2%，4%，但未達顯著差異 (P>0.05)。另外，椪柑嫁接苗在全量施肥量、2/3施肥量、1/2施肥量下，接種AMF可增加椪柑嫁接苗之植體總乾重依序為8%，3%，9%，但亦未達顯著差異；而在1/3施肥量下，接種AMF則降低椪柑嫁接苗之植體總乾重1%，也未達顯著差異。由上述結果可知，在上述4種施肥量處理一年後，接種AMF對椪柑嫁接苗之株高、植體總乾重皆與對照組無顯著差異。

六、椪柑嫁接苗在不同施肥量下接種叢枝菌

根菌對其葉片營養元素含量之影響：椪柑嫁接苗在上述4種施肥量處理一年後，接種AMF對椪柑嫁接苗葉片營養元素含量之影響如表五：(1)在全量施肥量下，接種AMF可顯著增加椪柑嫁接苗之葉片氮含量 18%及鉀含量22%，但接種AMF的椪柑嫁接苗之葉片磷含量與對照組無顯著差異。(2)在2/3施肥量下，接種AMF可顯著增加椪柑嫁接苗之葉片氮含量 19%及鉀含量21%，但接種AMF的椪柑嫁接苗葉片之磷含量與對照組無顯著差異。(3)在1/2施肥量下，接種AMF可顯著增加椪柑嫁接苗之葉片氮含量 16%及鉀含量20%，但接種AMF的椪柑嫁接苗之葉片磷含量與對照組無顯著差異。(4)在1/3施肥量下，接種AMF的椪柑嫁接苗之葉片氮、磷、鉀含量皆與對照組無顯著差異。由上述結果可知，在全量

表四、叢枝菌根菌接種與不同施肥量處理對椪柑嫁接苗生長之影響

Table 4. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and different fertilization amounts on the growth of ponkan scion seedlings

Treatment	Plant height (cm)	Total plant Fresh weight (g/plant)	Total plant dry weight (g/plant)	Relative total plant dry weight (%)
MHS1-CK1	123 a ²	540 a	215 a	100
MHS-AMF1	129 a	584 a	235 a	109
2/3 MHS-CK	120 a	557 a	217 a	100
2/3 MHS-AMF	126 a	568 a	224 a	103
1/2 MHS-CK	125 a	556 a	217 a	100
1/2 MHS-AMF	127 a	596 a	235 a	109
1/3 MHS-CK	119 a	507 a	198 a	100
1/3 MHS-AMF	124 a	483 a	196 a	99

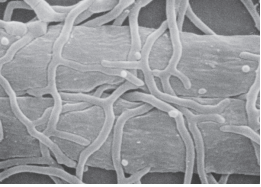
^{1,2} The same legends as Table 1.

表五、叢枝菌根菌接種與不同施肥量處理對椪柑嫁接苗葉片營養元素含量之影響

Table 5. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and different fertilization amounts on the nutrient element content of ponkan scion seedlings

Treatment	Nitrogen content of leaf (g/plant)	Phosphorus content of leaf (g/plant)	Potassium content of leaf (g/plant)	Relative nitrogen content (%)	Relative Phosphorus content (%)	Relative potassium content (%)
MHS ¹ -CK ¹	1.50 b ²	0.11 a	1.05 b	100	100	100
MHS-AMF ¹	1.77 a ²	0.11 a	1.28 a	118	100	122
2/3 MHS-CK	1.22 b	0.10 a	1.07 b	100	100	100
2/3 MHS-AMF	1.45 a	0.09 a	1.29 a	119	89	121
1/2 MHS-CK	1.10 b	0.10 a	1.05 b	100	100	100
1/2 MHS-AMF	1.28 a	0.10 a	1.26 a	116	100	120
1/3 MHS-CK	1.00 a	0.09 a	1.06 a	100	100	100
1/3 MHS-AMF	1.01 a	0.08 a	1.06 a	101	87	100

^{1,2} The same legends as Table 1.



施肥量、2/3施肥量、1/2施肥量下，接種AMF皆可顯著增加椪柑嫁接苗之葉片氮含量與及鉀含量。另外，在2/3施肥量下接種AMF之椪柑嫁接苗葉片氮含量(1.45 g/plant)與對照組全量施肥量(1.50 g/plant)無顯著差異，而在2/3施肥量下接種AMF的椪柑嫁接苗之植株總乾重(224 g/plant)亦與對照組全量施肥量之植株總乾重(215 g/plant)無顯著差異，由此可知，接種AMF可減少椪柑嫁接苗1/3施肥量。

七、酸桔育苗時期接種叢枝菌根菌後之耐旱能力評估：酸桔苗接種AMF 63天後檢測AMF感染率，結果顯示酸桔苗之AMF感染率為 98% ± 2%，而未接菌的對照組其AMF感染率為 0。確定接菌組已感染AMF後進行移植，在移植 47 天後進行不同澆水量處理，不同澆水量處理92天

後進行生育調查。由表六可知：在20-100%澆水量處理下，接種AMF可增加酸桔株高 4.3-11.7 cm/plant (9-25%)，每株葉數增加10-18 葉 (25-39%)，總乾重可顯著(P<5%)增加7.8-18.1 g/plant (19-40%)。此外，在60%澆水量處理下，接種AMF的酸桔總乾重(48.9 g/plant)與對照組在80%澆水量處理之酸桔總乾重(48.0 g/plant)無顯著差異；而在40%澆水量處理下，接種AMF的酸桔總乾重(39.2 g/plant)與對照組在60%澆水量處理之酸桔總乾重(41.1 g/plant)亦無顯著差異；另外，在20%澆水量處理下，接種AMF的酸桔總乾重(30.3 g/plant)與對照組在40%澆水量處理之酸桔總乾重(28.1 g/plant)也無顯著差異，由上述結果可知，接種AMF可節省20%澆水量。

表六、叢枝菌根菌接種與不同澆水量處理對酸桔苗生長之影響

Table 6. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and different watering amounts on the growth of sour orange seedlings

Watering volume (mL)	Plant height (cm/plant)	Total leaf number (no./plant)	Total plant dry weight (g/plant)	Relative total plant dry weight (%)
100% WV ¹ – CK ²	51.3 b ³	46 b	46.8 bc	100
100% WV–AMF ²	60.0 a	64 a	64.9 a	139
80% WV– CK	49.0 bc	48 b	48.0 b	103
80% WV–AMF	60.7 a	60 a	61.9 a	132
60% WV– CK	46.0 b	48 b	41.1 cd	88
60% WV–AMF	50.3 b	62 a	48.9 b	104
40% WV– CK	35.0 de	30 cd	28.1 e	60
40% WV–AMF	43.7 c	40 bc	39.2 d	84
20% WV– CK	29.3 e	26 d	21.8 f	47
20% WV–AMF	35.3 d	36 cd	30.3 e	65

¹ Watering volume (WV) : The maximum watering amount of sour orange seedlings per pot is 60 mL/day (=100% WV)

² The same legends as Table 1.

³ Means within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

八、叢枝菌根菌接種與不同澆水量處理對酸桔苗植株營養元素含量之影響：酸桔苗在不同澆水量處理92天後，AMF接種對其植株營養元素含量之影響如表七：(1)酸桔在20-100%澆水量下接種AMF可顯著($P < 5\%$)增加植體氮含量21-41%。(2)酸桔在20-100%澆水量下接種AMF可增加植體磷含量5-12%，但未達顯著差異($P > 5\%$)。(3)酸桔在20-100%澆水量下接種AMF可增加植體鉀含量9%-16%，但未達顯著差異。

九、叢枝菌根菌接種與不同施肥量處理對酸桔苗生長之影響：如上所述，酸桔苗接種菌處理63天後檢測AMF感染率(98% ±

2%)，確定AMF感染後進行移植，待酸桔移植70天後進行不同施肥量處理，不同施肥量處理93天後進行生育調查，如表八所示：在全量施肥量、2/3施肥量、1/2施肥量下，接種AMF可增加酸桔株高10-16 cm/plant (19-33%)，葉數增加9-26 葉 (11-34%)，並顯著增加($P < 5\%$)植株總乾重40-49%。在1/2施肥量處理下，接種AMF的酸桔總乾重(13.3 g/plant)顯著比對照組的全量施肥量處理(10.8 g/plant)多，由此可知，在酸桔育苗時期接種AMF至少可節省50%施肥量。

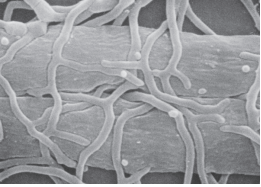
表七、叢枝菌根菌接種與不同澆水量處理對酸桔苗植株營養元素含量之影響

Table 7. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and different watering amounts on the nutrient element content of sour orange seedlings

Watering volume (mL)	Nitrogen content of leaf (g/plant)	Phosphorus content of leaf (g/plant)	Potassium content of leaf (g/plant)	Relative nitrogen content (%)	Relative Phosphorus content (%)	Relative potassium content (%)
100% WV ¹ – CK ²	0.53 b ³	96 a	585 a	100	100	100
100% WV-AMF ²	0.66 a	105 a	681 a	125	109	116
80% WV- CK	0.57 b	86 a	559 a	108	90	95
80% WV-AMF	0.68 a	98 a	611 a	129	102	104
60% WV- CK	0.55 b	68 a	448 a	105	71	77
60% WV-AMF	0.69 a	78 a	510 a	131	81	87
40% WV- CK	0.37 b	41 a	255 a	71	43	44
40% WV-AMF	0.59 a	51 a	319 a	112	53	55
20% WV- CK	0.31 b	32 a	179 a	59	33	31
20% WV-AMF	0.50 a	37 a	233 a	96	38	40

¹ The same legends as Table 6.

^{2,3} The same legends as Table 1.



表八、叢枝菌根菌接種與不同施肥量處理對酸桔苗生長之影響

Table 8. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation and different fertilization amounts on the growth of sour orange seedlings

Treatment	Plant height (cm)	Total leaf number (no./plant)	Total plant dry weight (g/plant)	Relative total plant dry weight (%)
MHS ¹ -CK ¹	55 bc ²	83 abc	10.8 c	100
MHS-AMF ¹	68 a	109 a	16.0 a	147
2/3 MHS-CK	48 c	84 ab	9.7 cd	90
2/3 MHS-AMF	64ab	93 ab	15.1 ab	139
1/2 MHS-CK	54 bc	56 c	8.9 d	82
1/2 MHS-AMF	64 ab	75 bc	13.3 b	122

¹ The same legends as Table 1.

² The same legends as Table 6.

討 論

椪柑1年生嫁接苗接種AMF處理在40天的耐旱能力評估及1年的不同施肥量處理中，皆可增加椪柑嫁接苗之株高及植株總乾重，雖然其增加量未達顯著差異，但在全量施肥量、2/3施肥量、1/2施肥量處理下，接種AMF皆可顯著增加椪柑嫁接苗之葉片氮含量與鉀含量。而在不同施肥量處理一年後，分析栽培土壤之理化性質，接菌組的無機態氮含量與有效性鉀含量皆比對照組高，表示接種AMF可提高栽培土壤的肥力。另外，接菌組的土壤有機質含量從試驗前7 g/kg提高為12-17 g/kg，顯著高於對照組(5-7 g/kg)。前人研究顯示，AMF可在孢子和菌絲上大量分泌球囊蛋白 (glomalin)，球囊蛋白為疏水性、高度持久的含鐵糖蛋白，在菌絲死亡後仍可留在土壤中6至42年，是土壤有機碳的最重要來源之一，其含量是土壤腐殖質的2~24倍 (Rillig *et al.*, 2001)。Rillig與Mummey (2006) 研究指出底土層的AMF藉由菌絲的纏

繞及胞外聚合物的產生可穩固土壤團粒，使其持續保護並維持土壤有機質。由前人研究結果推測本文中接菌組的土壤有機質含量增加可能是AMF分泌球囊蛋白 (glomalin)，使土壤有機質含量提高，此推論尚需進一步檢測土壤中的球囊蛋白含量才能確定。

在酸桔育苗時期接種叢枝菌根菌的耐旱能力評估試驗中顯示，20-100%澆水量處理下，接種AMF可增加酸桔株高 4.3-11.7 cm (9-25%)，每株葉數增加10-18 葉 (25-39%)，總乾重可顯著(P<5%)增加7.8-18.1 g/plant (19-40%)，另外，在20-100% 澆水量下接種AMF可顯著(P<5%)增加植體氮含量21-41%，且接種AMF可節省20%澆水量。將椪柑嫁接苗種植一年採收後之栽培介質以壓力鍋方法檢測在0.05 bar、0.1 bar、0.3 bar、0.5 bar、1 bar等張力下之土壤含水量，試驗結果顯示，接種AMF的栽培土壤可依序提高土壤水分含量6.0%、5.8%、3.6%、3.3%、0.2%，由此可知，接種AMF可提高土壤有機質，並使土壤含水量提高，讓酸桔苗的耐旱能力增

加。Cheng 等人 (2022) 報導指出，接種AMF可改善柑橘生長及改變根分泌物組成分，可促進土壤大團粒 (2-4 mm) 的形成，提高土壤團粒穩定度與磷酸酶活性，進而減輕了乾旱損害。而Wu 等人 (2008) 研究亦指出，接種AMF可增加土壤團粒穩定度，使土壤保有較多的水分，增強了乾旱逆境下植物的生長。本文試驗結果與前人研究結果相符。

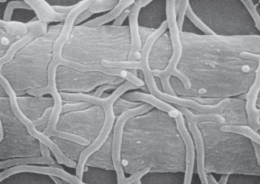
椪柑嫁接苗在採收時檢測AMF感染率，未接菌的對照組AMF感染率高達54-90%，與接菌組AMF感染率(67-90%)無顯著差異，對照組栽培土壤中主要的AMF種類為*A. morrowiae*，這個菌種常在土壤中出現，根據林等人 (2000a) 研究顯示，在69個採樣土壤中，有36%的採樣土壤出現*A. morrowiae*，且多分布於酸性土壤，本文試驗土壤pH 4.8，與前人研究結果一致。本文中所使用之AMF菌種(*R. clarus*)比原生之AMF菌種對椪柑嫁接苗與酸桔苗生長更具有影響力，可使栽培土壤中之無機態氮含量、有效性鉀含量、有機質含量及土壤含水量提高，具有改善栽培土壤地力之潛力。

誌 謝

感謝農委會(108農科-1.2.1-農-C1；109農科-1.2.2-農-C1)與福壽實業股份有限公司的經費補助，特此致謝。

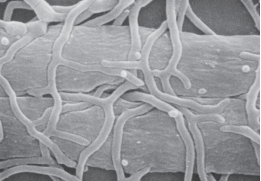
參考文獻

1. 吳繼光、林素禎合編。1998。囊叢枝內生菌根菌應用手冊。臺灣省農業試驗所印行。
2. 林素禎、王朝儀、蘇慶昌。2012。叢枝菌根菌與其他微生物在香蕉黃葉病防治之應用。台灣農業研究 61, 241-249。
3. 林素禎、洪崑煌、吳繼光。2000a。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。
4. 林素禎、黃山內、洪崑煌、吳繼光。2000b。微生物接種對苦柚及文旦柚種苗生長之效應。中華農業研究 49(1), 63-75。
5. 邱明賜、王均琮。2013。微生物肥料--菌根菌在茶苗的應用技術。茶業專訊 85, 11-13。
6. 邱春惠。2003。叢枝菌根菌及南方根瘤線蟲於番茄根內相互作用之探討。國立臺灣大學植物科學研究所碩士論文。
7. 張秀月。2003。叢枝內生菌根菌接種對甜椒疫病之影響。國立中興大學土壤環境科學系碩士論文。
8. 連深。1991。酸性土壤之利用與改良。出自“土壤管理手冊”，頁263-276。臺中：國立中興大學土壤調查試驗中心。
9. 農業部。2024。農業生產/作物生產。出自“農業統計年報(112年)”，臺北：農業部。(https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx, 113/07/03)
10. Amaya-Carpio, L., Davies, F., Fox, T. et al. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic fertilizer influence photosynthesis, root phosphatase activity, nutrition, and growth of *Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*. *Photosynthetica* 47, 1-10.
11. Cheng, H. Q., Giri, B., Wu, Q. S., Zou, Y. N., Kuća, K. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate drought stress in citrus by modulating root microenvironment. *Arch. Agron. Soil Sci.* 68(9), 1217-1228. https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1878497
12. Costa, F., Haddad, L., Kasuya, M. C. et al. 2013. In vitro culture of *Gigaspora decipiens* and *Glomus clarum* in transformed roots of carrot: The influence of temperature



- and pH. *Acta Sci. Agron.* 35: 315-323. 10.4025/actasciagron.v35i3.16581.
13. Daniels, B. A., Skipper, H. D. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. pp. 20-45. In : *Methods and principle of mycorrhizal research.* (Schenck, N.C., ed.). The American Phytopathological Society. St. Paul.
14. Davis, R. M., Menge, J. A. 1981. *Phytophthora* parasitic inoculation and intensity of vesicular-arbuscular mycorrhizae in Citrus. *New Phytol.* 87, 705-715.
15. Graham, J. H., Egel, D. S. 1988. *Phytophthora* root rot development on mycorrhizal and phosphorus-fertilized nonmycorrhizal sweet orange seedlings. *Plant Dis.* 72, 611-614.
16. Green, N. E., Graham, S. O., Schenck, N. C. 1976. The influence of pH of the germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. *Mycologia* 68, 929-934.
17. Hawksworth, D. L., Kirk, P. M. Satton, B. C. Pegler, D. N. (eds.). 1995. *Dictionary of the fungi.* 8th edition. p.437. University Press, Cambridge.
18. Hayman, D. S., Mosse, B. 1971. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza. I. Growth of *Endogone* inoculated plants in phosphate deficient soils. *New Phytol.* 70, 19-27.
19. Kleinschmidt, G. D., Gerdemann, J. W. 1972. Stunting of Citrus seedlings in fumigated nursery soils related to the absence of endomycorrhizae. *Phytopathology* 62, 1447-1453.
20. Koske, R. E., Tessier, B. 1983. A convenient, permanent slide mounting medium. *Newsletter Mycol. Soc. Amer.* 34, 59.
21. Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant Soil* 134, 1-20.
22. Mehlich, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15(12), 1409-1416.
23. Ouzounidou, G., Skiada, V., Papadopoulou, K.K. *et al.* 2015. Effects of soil pH and arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on growth and chemical composition of chia (*Salvia hispanica* L.) leaves. *Braz. J. Bot.* 38, 487-495. <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0166-6>
24. Rillig, M. C., Mummey, D. L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171, 41-53.
25. Rillig, M. C., Wright, S. F., Nichols, K. A., *et al.* 2001. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant Soil* 233, 167-177.
26. Schenck, N. C. Perez, Y. (Eds). 1990. *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi.* Synergistic Publication, Gainesville, Florida. P. 286.
27. Schüßler, A., Schwarzott, D., Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105(12), 1413-1421.
28. Smith, S. E., Read, D. J. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis.* 2nd Edition, Academic Press, London.
29. Whipps, J. M. 2004. Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. *Can. J. Bot.* 82(8), 1198-1227.

30. Wu, Q. S., Xia, R. X., Zou, Y. N. 2008. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *Eur. J. Soil Biol.* 44 (1), 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.10.001>.
31. Youpensuk, S., Piwpueak, W., Rerkasem, B. 2012. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on resistance to *Phytophthora parasitica* of citrus seedlings and on growth of Thai honey tangerine scions on citrus rootstocks. *Afr. J. Biotec.* 11(52), 11400-11406.



Application of Microorganisms to Improve Soil Fertility for Crop Cultivation

Su-Chen Lin^{1*}, Hsiu-Yueh Chang², Yau-Shian Tsai³ and Shu-Yu Liu⁴

¹ Associate Researcher, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC.

² Former Research Assistant, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC.

³ Assistant Researcher, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agriculture Research Institute, Ministry of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC.

⁴ Business Specialist, Agricultural Materials Division, Fwusow Industry Co., LTD.

* Corresponding author, e-mail: linmay@tari.gov.tw

ABSTRACT

Taiwan's citrus orchards on slopes suffer low drought resistance due to insufficient water resources. During the development and enlargement stages of citrus fruits, drought may cause flower drop, fruit drop, and a high ratio of small fruits, seriously affecting the yield and quality of citrus fruits. This article will introduce the role of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus* in improving the drought tolerance and fertilization efficiency of sour orange rootstocks (*Citrus sunki* Hort.) and the ponkan scion (*Citrus poonensis*) seedlings, and explore the potential of the arbuscular mycorrhizal fungus *R. clarus* in improving soil fertility for cultivation. The test results showed that: (1) Inoculation of sour orange seedlings with *R. clarus* can reduce watering by 20%. (2) Inoculation of sour orange seedlings with *R. clarus* can reduce fertilizer application by 50%. (3) Inoculation of sour orange seedlings with *R. clarus* significantly ($P < 5\%$) increased plant nitrogen content by 21-41%. (4) Inoculation of ponkan scion seedlings with *R. clarus* can reduce fertilizer application by 33%. (5) Ponkan scion seedlings inoculated with *R. clarus* can significantly increase the nitrogen as well as potassium contents in leaves under the treatments of full fertilizer, 2/3 fertilizer and 1/2 fertilizer. (6) Inoculation of ponkan scion seedlings with *R. clarus* can increase the inorganic nitrogen, available potassium, organic matter and soil moisture of the cultivated soil. In this experiment, *R. clarus* exhibited the potential to improve the cultivated soil fertility.

Keywords: Citrus, Arbuscular mycorrhizal fungi, Drought, Soil fertility