

# 大自然的肥料—植物促生微生物的育苗應用

林冠穎<sup>1\*</sup>、李俊佑<sup>1</sup>

醫學研究證明，腸內益生菌(probiotics)可以藉由調整腸道pH值、競爭有害微生物生存空間及增加腸道免疫功能等方式改善人體健康，而讓新生兒服用益生菌，更可顯著減少過敏疾病的發生，且研究追蹤發現，效用可持續至幼兒4歲左右。而腸內益生菌之於嬰幼兒，正如植物促生微生物(plant growth-promoting microorganisms, PGPM)之於植物幼苗，可協助植物幼苗建立健全的根圈微生物相(rhizosphere microbiome)，這些微生物透過拮抗周遭有害微生物的生長及供給寄主植物促生物質，增進幼苗生長及對環境周遭生物及非生物挑戰的適應及耐受能力，幫助它順利成長為強健的成熟個體。植物幼苗所生長的土壤環境相當複雜，許多物理、化學及生物反應都同時在土壤中發生，其中許多重要的養分循環及植物營養供給作用，也與微生物息息相關，如常見的固氮作用(nitrogen fixation)、硝化作用(nitrification)等，可見微生物在生態系統的維持扮演相當重要的角色。這些存在於土壤中的微生物，有部分與植物建立起共生關係，成為根圈微生物相的組成分子，而其中又有少數微生物可促進寄主植物生長，稱作植物促生微生物。其中又以植物促生細菌(plant growth promoting bacteria, PGPB)及叢枝菌根菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)最為人所知，在植物生長及健康促進上被許多研究證實有一定的效果，且被

認為能夠取代化學資材的一部分功能，在永續林業、農業及植生復育等經營項目上可作為有潛力的輔助工具。有鑑於植物促生微生物能為植物幼苗健康奠定基礎，進而增加苗木在野外生長為成樹的可能性，本文將探討植物促生微生物如何幫助植物生育及其在苗木育成作業上的應用性。

## 植物促生微生物如何幫助寄主生長及適應

植物促生細菌及叢枝菌根菌分別屬於細菌及真菌，前者指生長於土壤內、根圈或內生於植物體內且對植物生長具有正面效益的各種細菌，後者為內生於植物根部細胞並產生叢枝(有時會產生囊泡)等特殊構造的共生真菌類群，這兩類有益微生物促進植物生長的機制尚未被完全理解，以下就目前已知的可能途徑試作說明。植物促生細菌透過單一或複合機制促進植物的生長和健康，包括：

- 1.增進營養吸收效率：植物促生細菌透過固氮作用、分泌有機酸以增加磷酸鹽的溶解度或合成螯合物(chelation)增加根部對鐵的吸收等機制，增進寄主植物對營養物質的吸收效率；
- 2.生成植物激素調節植物生理反應：植物促生細菌透過合成促進生長的植物荷爾蒙，如：生長素(auxins)、細胞分裂素(cytokinins)和吉貝素(gibberellins)，或抑制老化相關的激素，調節植物體內的生理反應，進而促

<sup>1</sup> 林業試驗所·育林組

\* 通訊作者(louisces@tfri.gov.tw)

進生長，例如：*Achromobacter xylosoxidans* 等植物促生細菌可以合成氨基環丙烷羧酸 (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, ACC) 脫胺 (deaminase) 來減少植物體內乙烯的合成；3. 抑制病原菌：植物促生細菌透過競爭拓殖區域養分、合成抗生物質以及誘導對病原體的系統抗性等，抑制根部病原菌生長；例如：向日葵接種內共生有益細菌可增強水分逆境下幼苗的生長，促進根部水楊酸合成並抑制病原真菌的生長；4. 增進非生物逆境耐性：植物促生細菌透過多種機制增進寄主植物對逆境的耐受性，例如：在土壤銅過多的逆境下，紫花苜蓿 (*Medicago lupulina*) 接種內共

生根瘤菌後，不僅增加了植物的生長和氮含量，還誘導植物的抗氧化防禦反應。總而言之，植物促生細菌透過影響植物基因表現、養分吸收能力、激素代謝及與病原菌拮抗作用來增進植物生長及抗逆境能力。叢枝菌根菌與植物的共生現象極為普遍，約與85%的維管束植物共生，透過共生菌絲協助寄主植物獲取水分及營養，同時從寄主植物交換取得碳源；叢枝菌根菌已被證明能透過增加植物根部吸收表面積、調節氣孔導度、影響植物激素狀態、調節抗氧化酵素活性、增加水孔蛋白 (aquaporin) 活性、保護光系統及合成滲透調節物質 (osmoregulators) 等機制，促進植物生長及

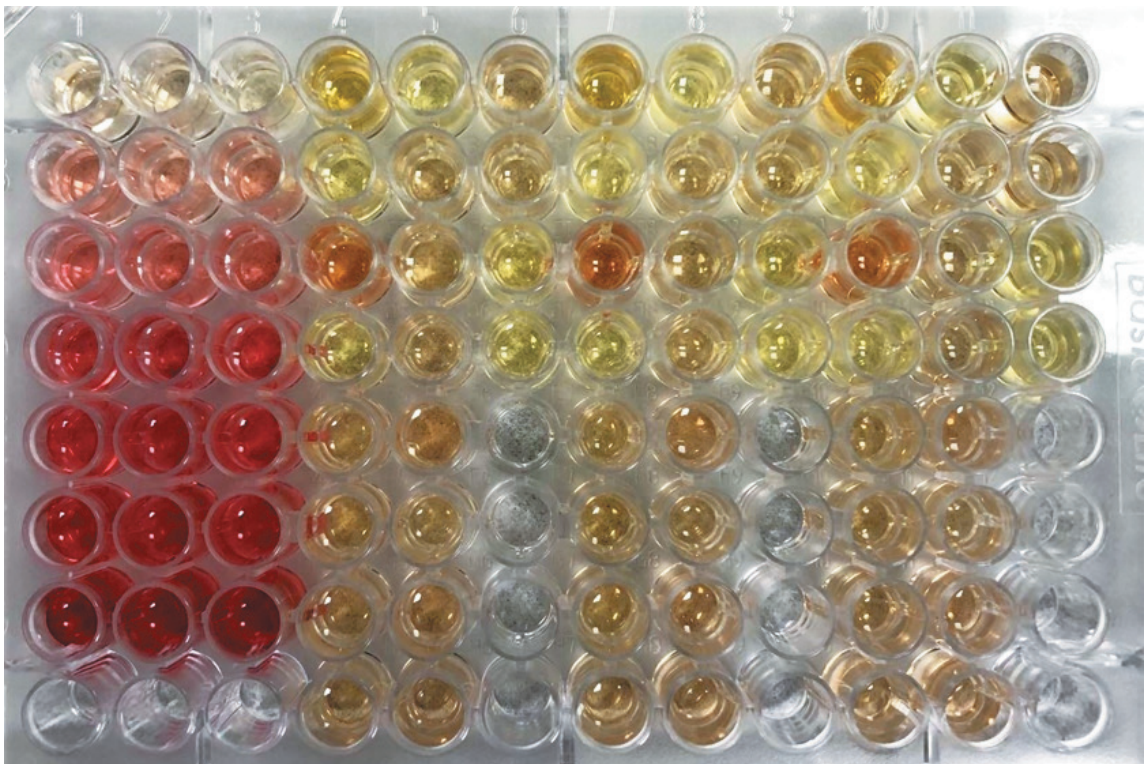


圖1 對微生物促進植物生長特性進行篩選，往往是尋覓植物促生微生物的重要步驟，圖為利用特製培養基對微生物合成吡啶乙酸的能力進行分析(林冠穎 攝)

協助植物抵抗各類生物及非生物逆境。

## 植物促生微生物的蒐集、篩選與應用

要達成植物促生微生物在育苗實務上的應用，首先需要找到標的物種來源，接著進行促進生長特性的篩選(圖1)，再尋找合適的施用載體(carriers)，並進行田間試驗確認效果，最後才能投入育苗工作的應用。舉例而言，曾有研究者從沙漠地區的植物體內尋找能夠幫助寄主適應缺水及高鹽環境的植物促生細菌，從五種巴基斯坦的沙漠植物中分離出368種共生細菌，並透過特製的細菌培養基，篩選出能夠合成氨(ammonia)、乙酸(indole-3-acetic acid, IAA)且具有溶磷和溶鉀等特性的植物促生細菌，並發現其中數種芽孢桿菌(*Bacillus* spp.)在鹽分逆境條件下能夠促進非寄主植物阿拉伯芥(*Arabidopsis thaliana*)的生長。而關於植物促生細菌製劑合適的載體，通常以在實際施用前都能夠維持微生物活性的固態材料為原則，常見的載體有泥炭(peat)、粘土(clay)、有機資材(organic amendments)等，以及惰性材料如：蛭石、碎磷礦石(crushed rock phosphate)、聚丙烯酰胺凝膠(polyacrylamide gels)、滲透保護劑(osmoprotectants)、藻酸鹽(alginate)或其他聚合物等。相關研究指出，以有機材料作為載體的植物促生細菌，微生物活性較為穩定及耐久，且在施用現場也較易於使用。另外液態基質亦可作為植物促生細菌的載體，通常以水、油或其他溶劑與菌液製成懸浮液製劑，與固態載體相比具有加工容易及成本較低等優點。植物促生細菌製劑使用的菌種可為單一或多種混和，從生態學觀點觀之，

多種益菌組成的製劑應該更佳，然而投入實用前都須評估其於苗圃及田間的實際效果及影響。叢枝菌根菌的鑑定技術及分類系統近年有長足的發展，然而其分離方法的第一步仍常採取傳統的方式，即以「trap culture」方式：研究者種植玉米等鬚根發達的植物於標的物種來源土壤，使叢枝菌根菌與trap culture植物共生，一段時間後採取根部作為叢枝菌根菌孢子來源，接著對孢子進行鏡檢及多代單孢子接種，最終獲得單物種的叢枝菌根菌材料。而為瞭解所蒐集到的叢枝菌根菌促進寄主植物生長的特性，研究者通常透過盆栽試驗觀察不同叢枝菌根菌對寄主植物各項生長參數影響的差異，並依照試驗結果選擇具有潛力的菌種。經由試驗篩選後，所選出叢枝菌根菌的孢子、菌絲及共生寄主根段等都可作為接種源，並使用砂、珍珠石和蛭石等資材作為載體，接種源與載體兩者混合後使接種源能均勻分布於製劑中。國內外目前現已有許多植物促生細菌及叢枝菌根菌製劑流通於市場中，惟購買前可注意產品是否有依法申辦微生物肥料登記證，以確保製劑的有效性與安全性，且考量到不同植物與商品菌種的共生生態可能存在差異，全面施用前可先擇少數苗木測試其效果及是否有不良反應。

## 國外應用案例及成果

選擇合適的植物促生微生物，在林木育苗上，不論在室內控制試驗環境或野外出栽現場，皆已被證明具有顯著且長期的效果。印度喀拉拉邦(Kerala)卡薩拉戈德(Kasargode)存在大面積貧瘠的磚紅壤地(laterite land)且土壤含石量高，缺乏天然植

被，加以土壤被人工開採頻繁，有土地退化的危機。研究人員對現場土壤進一步分析後，發現土中缺乏植物生長所需的大量元素(氮、磷及鉀等)且常見的植物促生微生物也較少，因此以*Rhizophagus fasciculatus*及*Rhizophagus geosporum*作為叢枝菌根菌處理，以*Azospirillum brasilense*及*Bacillus megaterium*作為植物促生細菌處理，接種於大葉桃花心木(*Swietenia macrophylla*)幼苗後栽培於苗圃中。經過3個月後，接種植物促生微生物的苗木展現出更高的生長量，對營養元素的吸收較佳，且叢枝菌根菌與植物促生細菌共同施用後具有加乘作用，苗木生長及吸收受到更進一步的提升。其後研究者將苗木移植於造林現場，並持續監測苗木生育情形，發現接種植物促生微生物的苗木成活率較高，其中同時被4種植物促生微生物共同接種的苗木，成活率甚至高達98%，此外接種植物促生微生物的苗木也具有顯著較高的苗高、苗徑及葉片數。在一項於巴西里約進行的雨豆樹(*Samanea saman*)育苗試驗中，研究者為瞭解不同栽培介質對植物促生微生物施用效果的影響，以根瘤細菌*Bradyrhizobium elkanii*作為植物促生細菌處理、以*Acaulospora colombiana*等8種叢枝菌根菌的孢子砂及感染根段混合物作為叢枝菌根菌處理施用於雨豆樹種子，並以泥炭土、蛭石及碳化稻殼組成的商用介質、汙水處理廠提供的陰溝污泥(sewage sludge)作為介質處理，在溫室條件下栽培雨豆樹苗木並觀察其生長變化及共生情形。研究者發現商用介質對根瘤細菌形成根瘤有幫助，陰溝污泥介質則有利於雨豆樹苗木與叢枝菌根菌共生，但總體而言以在陰溝

污泥介質中生長的苗木有較高的生長量，此外施用植物促生微生物的苗木相較未施肥的苗木，生長也更佳。

## 回到臺灣—國內育林先驅者的初步嘗試

目前國內有許多微生物製劑商品被應用於農作物栽培現場，然而在林木育苗場域中，植物促生微生物的施用並不普遍，但也有研究人員測試植物促生微生物在國內育苗作業的應用性並獲得一定的成果。前人曾使用來自日本，以光合菌(photosynthetic bacteria)及放線菌(actinomycetota)等植物促生微生物組成的微生物製劑EM(effective microorganisms)，應用於臺灣欒樹、臺灣櫟、相思樹、光臘樹等主要綠化造林樹種的苗木育苗，並發現施用EM的苗木表現出較佳的生長及養分吸收，且苗木土壤中的有害微生物生長也受到抑制。另外有研究者使用國內3種標榜含有益微生物的液肥產品作為處理，施用於臺灣肖楠及羅漢松種子，並在苗圃中培育，觀察苗木的生長反應及健康狀況。根據6個月後的試驗結果，施用上述資材後苗木生長表現並未產生差異，在苗木染病情形的結果則呈現僅有其中一種資材使臺灣肖楠疫病(*Phytophthora cryptogea*)發生率有降低的趨勢，而土壤酵素活性的變化則顯示施用資材之後使土壤微生物活力顯著提升。綜而言之，植物促生微生物在國外的試驗研究及育苗作業上已顯示其重要性，在國內的諸多嘗試中也被發掘出其潛力，相信在可預期的將來，會成為達成聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs) 保護陸域生態(Life on Land)項目中，不可或缺的重要工具。♻️