

溶磷微生物肥料之特性及效益

撰文/楊秋忠·沈佛亭

土壤磷素與植物的關係

植物在土壤中吸收量最多的三大養分元素即為氮、磷、鉀，稱為肥料三要素，磷素在植物營養中扮演相當重要的角色，它與植物能量生化反應有關，許多的酵素代謝中需依賴磷酸化作用，加上磷素是生物遺傳物質核酸之組成成份，與細胞分裂及分生組織之發育有非常重要的關係，是植物生長及生殖不可缺少的大量元素之一。

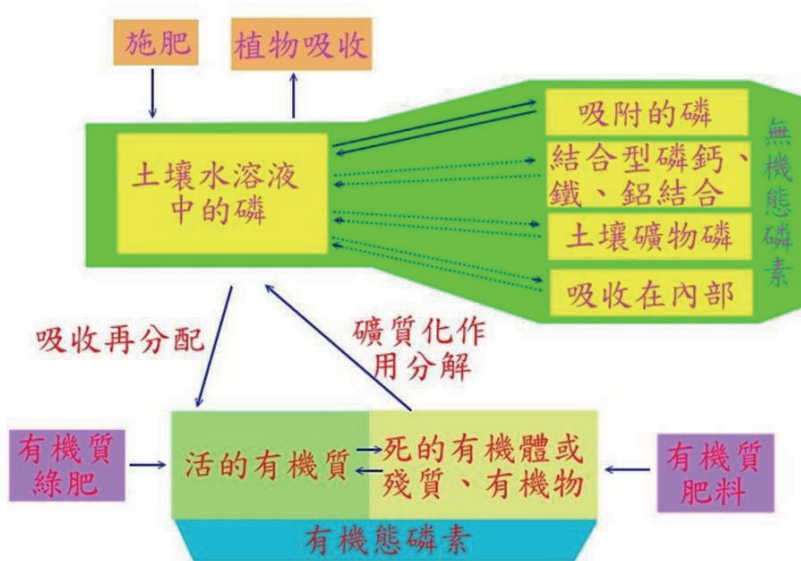
土壤的主要營養元素中，磷素與氮素的行為差異甚大，氮素在土壤之移動或流失容易發生，而磷素在土壤中最不易移動，因此其移動或流失則較不容易發生。瞭解磷素在土壤中的形態及行為，有助於正確的施用磷肥及溶磷菌，使磷肥發揮最高的效果。

一般土壤不施磷肥，作物會缺乏磷素，尤其是需肥量高的作物，更易顯現缺乏症狀。缺乏磷素的症狀依作物而有不同，有的作物容易從產生莖或葉上的紫紅色來辨斷，但有的從外表不容易診斷，需要利用植體分析診斷及土壤分析診斷。作物缺乏磷素之徵狀為植株、根及葉短小，禾本科作物

之葉基或乾枯的葉會有紅色素出現。如果發現一年生短期作物有缺磷現象時，再去矯正已稍嫌遲了。果樹缺乏磷素將嚴重影響開花著果及果實的發育與甜度之品質，磷素對馬鈴薯的塊莖或其他作物的塊根生產量也扮演甚為重要的角色。

土壤中磷肥的狀態及利用

磷素是植物營養的大量需求元素之一，土壤中磷素存在的形態，包括無機態及有機態(圖一)，無機態的磷常與土壤中的鈣、鐵、鋁結合沈積，呈不易溶解型，如磷酸鈣、磷酸鐵、磷酸鋁等，不易被



圖一 土壤中的磷素動態系統及磷的存在形態



植物吸收利用，需經微生物或有機酸的作用，才能溶解釋放出來供給植物利用；有機態磷則存在於含有許多磷酸鍵的有機化合物上，如磷酸酯、植酸鈣鎂 (phytins) 及核酸等等，都來自生物體。因此，土壤若含高量有機質，就有豐富的有機態磷，在正常土壤中的有機態磷，需經酵素分解才可供應植物吸收利用磷肥。

土壤中的無機態磷以結合型式存在愈多，植物可利用的有效性磷就愈少，因此磷肥在每期作物生產中常需要施用，否則產量或品質就受到影響。磷肥被植物利用率甚低，100 元之磷肥被作物吸收最多常見不超過 20 元，其餘的 80 元磷肥幾乎都被土壤所固定結合而累積，又因磷素在土壤中的移動較差，不易被水流失。由於上期作所施用且未被吸收之磷肥均被固定或結合，植物無法再大量吸收這些被固定的磷，所以每一期作得再施用磷肥。

磷素肥料的「有效性磷」含量，是決定磷肥好壞的因素之一。全球的磷礦石資源有限，磷肥大多來自磷礦石的處理產品，磷礦石的種類及成分品質依不同生產地區而有很大差異。只有酸性土壤可以直接施用磷礦石粉，磷礦石粉的應用效果受到「有效性磷」含量之限制影響，有時磷礦石粉需配合或混合溶磷菌使用以提高磷的有效性，這即是應用微生物的例子。

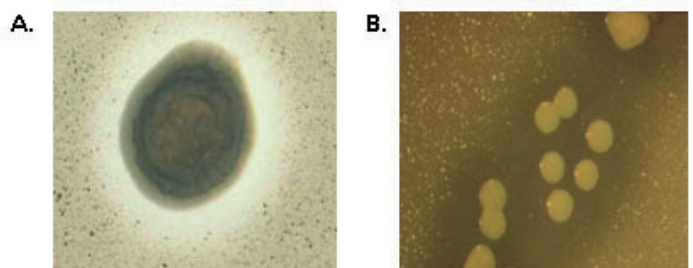
溶磷微生物之種類及特性

土壤微生物中，具有溶磷能力的微生物總稱為「溶磷微生物」或「溶磷菌」(圖二)，可將土壤中的無效性磷轉變為有效性磷，是研究植物生長促進根圈微生物 (Plant growth promoting rhizobacteria, PGPR) 中很重要的主題之一。目前已知可溶解難溶性磷之微生物包括細菌、放線菌及真菌類等，常見如細菌類 *Bacillus*、*Burkholderia*、*Enterobacter*、*Pantoea*、*Pseudomonas*、*Rahnella*、*Thiobacillus* 等菌屬，真菌類 *Aspergillus*、*Penicillium* 與酵母菌 *Yarrowia* 等菌屬。

一種溶磷菌可能溶解不同磷形態 (鈣、鐵、鋁的無機結合磷及有機磷化合物) 的能力不盡相同，有的菌種只能溶磷酸鈣，不一定能溶磷酸鐵或磷酸鋁，且有些菌種可溶解多種結合的磷，將可供農業生產之應用。

溶磷機制之研究亦主要在了解磷酸鈣之溶解，溶鐵磷之機制中，一般溶磷作用產生的原因為微生物或植物產生有機酸，或間接生成無機酸，造成難溶性磷酸鹽中磷酸根的釋出，或分泌酵素加速有機磷的礦質化而釋出磷酸根，此外亦有其他溶磷機制之探討。

一般溶磷微生物可利用分泌特殊物質達到磷酸鈣的溶解，如有機酸類的甲酸、醋酸、丙酸、丁酸、乳酸、檸檬酸、琥珀酸、蘋果酸、葡萄糖酸、草酸、縮蘋果酸及其他五碳或六碳之酸，這些酸降低了酸鹼度，亦導致不易溶解的磷改變其溶解度，而有一些分泌物，則在鉗合鈣及鐵，促使有效溶解並提高磷素的利用。除了「非共生性」的溶磷菌能溶解不易溶解型的磷素外，「共生性」的菌根真菌 (mycorrhiza) 亦可協助作物吸收土壤中不易溶解的鈣結合磷、鐵結合磷及鋁結合磷，這種溶解的特性可能與根分泌物或菌分泌物有關。內生菌根菌能夠幫助植物吸收磷肥，除了增加植物根系與土壤接觸面積外，而且菌根化的根細胞粒腺體增加，細胞核變大，壽命較長，磷酸酵素、ATPase 的活性都增



A. 溶解磷酸鈣之菌種; B. 溶解磷酸鐵之菌種
(不溶性之結合磷顆粒經微生物溶解後，即呈現透明溶磷圈)

圖二 溶磷的微生物



加，因此對磷肥的吸收、分解或轉移能力增加。一般在低磷肥狀況下，較有利於菌根菌之感染。

溶磷菌的接種效果好壞，是依賴菌種的選拔，要有優良的菌種，才可達到促進作物增產之功效，因土壤中的菌種良莠不齊，雖然同樣具有溶磷能力，但效果相互差異甚大。此外，溶磷細菌配合菌根真菌的應用，亦被證明可達到「累加效應」。溶磷菌也常見配合磷礦石粉的施用，而達到增加磷肥吸收及增產的效果。在有限的磷礦資源下，新興科技的發展使溶磷菌在未來的農業中，必定有其需要性，提高磷肥的效應是主要的目標，尤其是在固定磷素甚高的土壤更為重要，對多年生及根系小的作物而言更有其必要性。溶磷菌的應用使土壤磷肥有充分的供應達到作物的需求。

溶磷菌對作物生長之效益

溶磷菌可做為廣義肥料之應用，即為「微生物肥料」之一種品目，是利用活體生物提高土壤中磷的有效性，以增進土壤營養狀況者。因此溶磷菌的接種可減少化學肥料的施用，以達到相同產量或有促進產量與品質之效果。由於溶磷微生物肥料的生產成本較工業生產肥料為低，除減少大量施用化學肥料，以減少土壤劣化之可能性外，更可降低生產成本。此外，溶磷微生物肥料的間接應用目的是利用溶磷菌於肥料功能外的其他能力，例如根圈保護的功能、促進植物根系生長及吸收水分與養分的能力、延長根系壽命、中和或分解毒害物質、增加植物抗病及抗旱的能力、提高作物抗逆境移植存活率及提早開花等多功能之特性。

全球農田由於施用多年的磷肥，普遍已累積相當大量的磷素，其中不易溶解的無機結合磷是土壤的主要累積磷素，但這種結合型磷的有效性低，不能有效充分供應作物利用。本研究室多年來研究及開發溶磷菌之生物肥料接種劑，期能提高土壤中磷素的多元化應用，並達到減少化學磷肥之施用，以降低土壤劣化及環境污染，並達到提高農產品品質

及農民所得之目的。在農委會之科技發展計畫中已證明溶磷菌之接種可節省 1/3 至 1/2 之磷肥，在台灣每年施用之磷肥 135 千公噸，約 3.7 億元，因此以保護土壤之觀點下，溶磷菌的接種可少用約 70 千公噸磷肥及 1.8 億元，可見開發溶磷菌有其實質效益且也有環保之價值。土壤微生物中的溶磷菌，可以增進磷礦石粉、磷酸鈣、磷酸鐵及鋁磷化合物的溶解。在溶磷菌的研究中主要是在磷酸鈣溶解菌，溶鐵磷細菌之研究則甚少，有待未來繼續研究及應用。

結語

微生物肥料的發展是永續農業的基礎，其應用是永續性農業成功的要件。施用高量化學肥料及化學農藥的農業生產，近年來已顯著影響土壤及生態環境的劣化，值得警惕及檢討，因此永續性農業的開發研究及應用需要大力推動。在台灣溶磷微生物肥料的開發及利用，已證明具有穩定產量可提高農民收益，又可減少因過量化學肥料使用對環境生態的傷害。未來有待微生物肥料管理法規通過後，使微生物肥料依法成為新商業產品，而微生物肥料及有機質肥料相互為用，可達到維持農民生產收益及土壤地力，將使農業邁向永續經營之方向，達成優質、生態、安全及健康的農業目標。

AgBio

楊秋忠 國立中興大學 土壤環境科學系 國家講座 教授
沈佛亭 國立中興大學 土壤環境科學系 博士後研究