

例如冷藏庫溫度設定18°C，相對濕度控制設定75%，當壓縮機開始運轉，低溫低壓冷媒進入蒸發器的銅管，蒸發器鰭片與銅管的表面溫度低於露點溫度時，空氣中的水分會凝結於蒸發器表面；當庫內相對濕度低於75%時，風扇會持續運轉，將蒸發器表面的水帶入冷藏庫內，如果相對濕度高於75%時，風扇即停止運轉，此時蒸發器表面的水即會經由水盤的排水管流到庫外，如此即可控制冷藏庫內的相對濕度。但是蒸發器風扇停止運轉會造成庫內氣體的流動不佳而影響溫度分布的均勻性，所以加裝吸頂式內循環風扇，可增加庫內溫度的穩定度，並可加速小花表面水分的蒸發散。但須注意內循環風扇風速不可太大，以免因氣流速度過高致使切花脫水而造成傷害，且風向不可直接吹到蒸發器，以免影響除濕效果。

## 結 論

雨季採收的文心蘭切花因含水量多及環境中的相對濕度高，切花常呈現濕潤狀態不易乾爽，影響包裝處理作業，且含水量高的切花在包裝後容易於貯運過程中造成腐爛發霉，嚴重影響切花到貨品質與商譽信用，所以，雨季時如何控制包裝場環境中的濕度至關重要。除了使用風扇及除濕機外，巧妙利用現有的冷藏設備來控制濕度，在切花採後處理過程中也能經濟有效地達到除濕的效果。因此，本文特別介紹其原理及控制方法，提供給相關業者參考，希望能藉此穩定臺灣文心蘭切花外銷品質，提升產業競爭力。



# 認識 微生物肥料



文/圖 張廖伯勳

## 前 言

微生物肥料 (Biofertilizers) 一詞最早可追溯到1895年，當時Nobee和Hiltner在實驗室培養根瘤菌 (*Rhizobium* sp.) 以Nitragin為商品名販售。微生物肥料是指以微生物為肥料商品內容物，包含有活性的藻類、真菌、細菌等微生物體 (含休眠孢子) 及微生物代謝產物，能應用在農業生產提供作物直接或間接的養分來源、刺激作物生長及改善土壤菌相組成。近年友善農業為農業栽培的重點發展方向，著眼於維持長期自然資源和農業生產力，同時盡量減少化學肥料的依賴，以達到利用既有資源提高肥料利用率目標。目前以微生物肥料替代化學肥料最符合成本。

## 國內商品種類及機制

臺灣肥料依《肥料管理法》將微生物肥料依功能性進行區分，目前僅有溶磷菌肥料、溶鉀菌肥料、叢枝菌根菌肥料等三項有商品販售，以下分述之。

### 一、溶磷菌肥料

溶磷菌具有將礦物性磷分解為水溶性磷能力，目前依法登記主要為*Bacillus spp.* 菌株。田間施用磷肥一般約5~10%有效性，因磷肥有效性易受土壤酸鹼度影響，故依土壤性質及菌株作用機制分為三類(圖1)：

(一) 適合用於**鹼性**土壤的菌株及其作用機制：磷肥易與鈣礦物結合成難溶性磷酸鈣，溶磷菌藉由直接分泌有機酸(如甲酸、醋酸、丙酸、丁酸、乳酸、檸檬酸、琥珀酸、蘋果酸、葡萄糖糖酸、草酸、縮蘋果酸及其他五碳或六碳之酸等溶解磷酸鈣)(圖2)，或菌株產酸分解有機質，間接產生氨及硫化氫於土壤中，再經由氧化作用成為硝酸和硫酸，亦可促進在土壤中結合的磷鈣礦物磷酸根釋出。

因此，在鹼性土壤使用可溶解磷酸鈣的溶磷菌為恰當的選擇。

(二) 適合用於**酸性**土壤的菌株及其作用機制：磷肥易與鐵鋁礦物結合成難溶性磷酸鐵及磷酸鋁，溶磷菌藉由分泌銜合鐵物質(phenol-catecholates、hydroxamates、carboxylate、pyoverdines)

促使磷酸鐵、磷酸鋁等物質有效解離及釋出磷酸根( $PO_4^{3-}$ )，故在酸性土壤需使用可溶解磷酸鐵及溶磷酸鋁的溶磷菌。

(三) 適合用於**酸性或鹼性**土壤之菌株及其作用機制：部分菌株會產生孢外酵素(如植酸酶、核酸酶、磷脂酶等)，可刺激作物根域產生有機酸，將磷酸鈣、磷酸鐵、磷酸鋁或磷礦石等無機礦物性分解為水溶性磷酸根離子，供作物吸收利用。

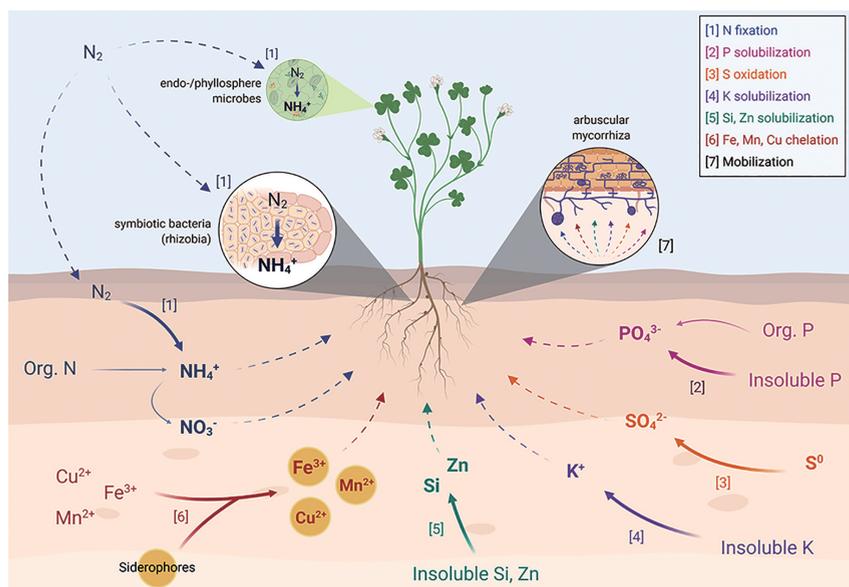


圖1. 微生物肥料養分獲取及轉換主要途徑。(引用Mitter等人, 2021)  
箭頭代表藉由微生物將養分轉換，虛線箭頭代表作物吸收或移動養型式。

## 二、溶鉀菌肥料

溶鉀菌為將礦物性鉀分解為水溶性鉀能力的菌株，目前依法登記菌株僅有 *B. mycodies* 和 *B. amyloliquefaciens*。土壤總鉀含量約98%存在不可被植物交換的礦物晶體結構中，不易隨水分淋洗流失，一般黏質土壤施用鉀肥化學肥料後，鉀肥易受到土壤結合為低有效性鉀，作物僅可吸收約20~40%；溶鉀菌的作用機制除了與溶磷菌產生有機酸、鉍合物質相似外，部分菌株亦會藉由產生孢外多醣 (exopolysaccharides, EPS) 來包覆土壤中矽酸鉀或雲母粉等鉀鹽礦物，達分解並釋出有效性鉀、鉀鹽溶液效果(圖1)。

## 三、叢枝菌根菌肥料

菌根菌係與作物根部共生的真菌，藉由共生作用形成根部與真菌共生組織，稱為菌根，可改善根圈礦物質(如磷、氮、鉀、銅、鋅等)及水分吸收效率，目前依法登記僅有 *Glomus mosseae* 菌株。菌根菌的菌絲可延伸作物根系範圍以外區域，甚至可以穿透較小的土壤孔隙，並在菌絲先端分泌磷脂酶或直接吸收銨態氮 ( $\text{NH}_4^+$ ) 養分，以加速磷肥及氮肥的吸收(圖1)。Report Linker (2020) 研究指出，全



圖2. 菌株產生有機酸溶解難溶性磷酸鈣，產生透明的溶磷圈。

球目前叢枝菌根菌肥料預估市場價值約2億美元，預計在2025年，因應有機栽培趨勢下，未來亞太地區國家(如印度、中國)需求量將明顯提升，屆時全球菌根微生物肥料商品市場規模將達到6億美元。

## 全球微生物肥料商品種類及機制

全球微生物肥料市場估約23億美元，預計到2025年將大幅提升至39億美元，目前全球市場以固氮菌為主要商品(約占79%)，其次為溶磷菌(14%)及其他類微生物肥料(7%)。以加拿大市場為例，目前有超過150種微生物肥料，因大多為豆類作物大面積種植，故以固氮根瘤菌為微生物肥料大宗。以下分述之。

### 一、固氮菌肥料

固氮菌為具有將氮氣轉化成含氮化合物能力的菌株，全球市場主要以共生固氮菌及非共生固氮菌為主力商品，前者以豆科植物為宿主，細菌進入根內並刺激根部或莖部皮層、中柱鞘細胞形成共生型態的根瘤，又可稱為豆科根瘤菌，市售產品主要菌群為*Rhizobium*、*Sinorhizobium* (*Ensifer*) 及*Bradyrhizobium*等。根瘤菌可在根瘤組織內以豆血紅素 (leghemoglobin) 產生限氧環境，再利用固氮酶催化氮氣轉化為氨 ( $\text{NH}_3$ )，以供與作物交換礦物質及使用，形成互利共生機制；後者可獨立在非豆科植物 (如小麥、水稻、玉米、甘蔗、番茄等) 根圈或水域內生長，細菌在胞內進行固氮作用形成細胞蛋白質，當細胞死亡後經礦化作用釋出有效性氮 ( $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ )，只供作物吸收利用 (圖1)，市售包括*Azotobacter* sp. 及*Azospirillum* sp. 等菌種。

### 二、硫氧化菌肥料

土壤總硫含量約95%，大多以無法被作物吸收的結合態存在土壤中，僅有少量以硫酸鹽型態存在，是屬可供作物吸收的硫，因工業較少排放二氧化硫 ( $\text{SO}_2$ )，氧化後濕沉降至土壤的硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 總量降低，以及低硫含量的肥料的使用，使農業土壤缺硫現象逐漸上升趨勢。為提高土壤硫酸鹽，可使用硫氧化菌將有機硫化合物分解為硫酸鹽供作物使用 (圖1)，目前市售硫氧化菌的菌株包括*Bacillus* spp.、*Pseudomonas* spp.、*Streptomyces* spp. 及*Thiobacillus* spp. 等使用時需將菌株添加至含硫肥料，以利其加速礦化為硫酸鹽，提供嗜硫作物吸收以提高產量 (如油料作物、洋蔥、薑、大蒜等辛香料作物)。

### 三、微量元素微生物肥料

微量元素微生物肥料是指具產生鉗合物或溶解釋出微量元素的菌株。微量元素在光合作用、呼吸作用及作物生長扮演不可或缺角色，然土壤微量元素常以有機結合態存在，不利於作物吸收。微量元素微生物肥料主要作用，在產生鉗鐵物質將土壤中植物不可吸收的鐵化合物替換為較小分子的含鐵複合物，以供作植物吸收使用。此外，鉗鐵物質亦可與其他有效性低的養分，如 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 結合，增加養分吸收。由於鋅、矽等元素在土壤礦物有效性低，微量元素微生物肥料則可藉由產生有機酸，加速硫化鋅或矽酸鋁等難溶性土壤養分礦化溶解，以利釋出水溶性鋅及正矽酸供作物吸收利用 (圖1)，市售登記產品包括*Burkholderia* spp.、*Aeromonas* spp.、*Rhizobium* spp.、*Enterobacter* spp. 及*Bacillus* spp. 之菌株。

## 結 論

近年來，由於友善農業意識抬頭及有機農產品需求的增加，全球微生物肥料產業正處於快速增長時期，為有效發揮微生物肥料功效，以利於田間減少化學肥料使用及達到友善農業目標，充分瞭解微生物肥料商品類型、作用機制及提高養分的特性，已然成為現代科技農業從事者的必備要件與技能。