

看不見的小幫手 土壤微生物探索

文 沈佛亭



土壤微生物是世界上種類最多，且分布範圍最廣的生物。它們在自然界中扮演養分循環的角色，如土壤中存在的碳、氮、磷、硫與重金屬，均可經由微生物轉變成不同型態。目前在生物分類上根據核醣體 DNA (ribosomal DNA) 序列，可將所有的生物分為細菌界、古生菌界與真核生物界，微生物即普遍分佈於上述三界生物中。微生物在碳源、能源與電子來源的利用上具有其獨特性，如可利用二氧化碳和光能的光無機自營菌、可利用有機物和光能的光有機異營菌、可利用二氧化碳和無機物的化學無機自營菌、可利用有機物做為碳源和能源的化學有機異營菌，其多樣化的物種類型使微生物可適應廣泛的環境條件。

由於微生物個體太小，肉眼無法直接看到，除真菌以外均要透過顯微鏡才可進行觀察，因此經常忽略了它們的存在。在科學發展初期對微生物的重視，先來自於對病原微生物與疾病關係的了解。後來逐漸發現許多食品的發酵與微生物有關，使得微生物成功應用在食品工業如麵包、飲料、調味料、維生素之生產。此外土壤中種類眾多的細菌為了競爭養分與空間，需要發展不同的生存策略，其中之一即是產生抗生物質。細菌產生各式各樣的抗生素，現在已成為由細菌引起的疾病，常見的治療方法之一。然而細菌在抗生素存在的環境下因突變演化，亦不斷的產生抗藥性，未來從土壤中篩選並開發新型抗生素仍是醫學上重要研究方向。



作者
沈佛亭／現任中興大學土壤環境科學系助理教授、中華土壤肥料學會秘書長。研究領域為土壤微生物、生態與系統分類。

生物多樣性

細菌在所有生物中是種類最多樣化的。在物種的定義上，原核生物和真核生物不同。真核生物同種的定義，是指兩個體可交配繁殖並孕育出具有生殖能力的下一代，且在遺傳組成上具獨立特性者；原核生物則是以遺傳組成的同源性（homology）定義物種，若兩菌株之 DNA-DNA 同源性（DNA-DNA 雜合百分比）大於 70%，則定義為相同菌種。在細菌分類上，另須輔以化學組成、生化特性、生理特性與遺傳組成分析。其中化學組成包括脂肪酸、極性脂質、多胺之種類與含量比較；生化特性如細菌產生之不同酵素種類；生理特性如細菌利用不同基質（碳源）等；遺傳組成分析如鹼基 G+C 的比例等特徵。微生物學家將新發現並經證明後為新菌種的資訊發表於《國際系統演化微生物學期刊》（*International Journal of Systematic*

and Evolutionary Microbiology），作為新開發微生物的證據。

在微生物多樣性的研究中，發現土壤中實際存在的細菌種類與數量遠比我們在培養基上觀察到的高出許多。藉由顯微鏡觀察與分子生物技術的遺傳物質分析，已有許多報告指出，目前可培養出的微生物僅占環境中全部微生物的比例不到百分之一。科學家從土壤中直接萃取細菌的核酸，利用聚合酶連鎖反應配合序列分析，因此得知環境中存在著多樣化的微生物基因型，顯示土壤是一個孕育豐富微生物多樣性的寶庫。透過選殖株基因庫（clone library）的建構與多元基因體學（metagenomics）的研究，打造出一個篩選有用功能基因（或蛋白質）的平台，其應用潛力無可限量。

科普閱讀與科學短講競賽

議題參考資料

土壤微生物生態

土壤是活的生命體，是人類賴以生存的資源，無論在農業或生態環境中均扮演重要角色。土壤品質的好壞端賴其功能是否可正常發揮，其中土壤的物理、化學及生物性質即是影響土壤品質之因素。土壤微生物在環境中扮演生態制衡的角色，但因農業耕作中大量農用化學物質的施用、不良灌溉水或栽培耕作方式，經常造成土壤中的微生物相失衡或微生物多樣性下降，導致土壤病害日趨嚴重，加上土壤有機質不易累存，土壤地力發生退化，有益微生物減少，均會對農業生產造成負面效應。土壤微生物的保養包括施用適當有機質、接種有益微生物、輪作栽培、調整土壤酸鹼度、勿過度使用農藥、改變問題土壤之環境等方式。

微生物與植物生長

土壤中受到植物根系與其分泌物所能影響的範圍稱為根圈，是不均質土壤中的熱點。根圈微生物與植物生長的關係實為密切，其中具有幫助植物生長能力的有益微生物，已被成功開發為微生物肥料和微生物農藥。

微生物作為肥料的功能主要在於增進養分來源或增加養分有效性，目前國內肥料品目的微生物類型包括豆科根瘤菌、游離固氮菌、溶磷菌、溶鉀菌、叢枝菌根菌與複合微生物肥料。

在根瘤上，存在著無數的根瘤菌，可將空氣中的氮氣固定轉變成氨，直接提供作物所需的氮肥。游離固氮菌也具有相同的功能。

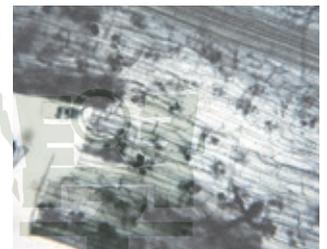
溶磷菌（如芽孢桿菌屬）具有將難溶性磷酸鹽（如磷酸鈣、磷酸鐵、磷酸鋁）溶解的能力，可增加土壤中磷的有效性。溶鉀菌則可作為鉀礦開發為鉀肥的微生物，叢枝菌根菌可幫助植物吸收水分與抵抗逆境，已被證明可促進植物生長。



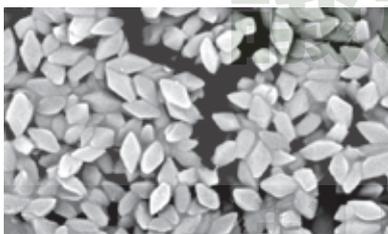
豆科植物根瘤。



溶磷菌。
(Kat Masback, <https://goo.gl/OMy8UR>)



在顯微鏡下，根部皮層細胞中的叢枝菌根菌分布。
(Wiki, <http://goo.gl/Oa22YH>)

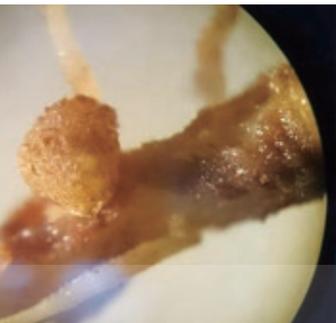


蘇雲金芽孢桿菌可產生殺蟲蛋白。
(P.R. Johnston, <http://goo.gl/34cnsA>)



鏈黴菌屬可產生殺菌之抗生物質，具有降低土壤病害或蟲害之效果。
(CDC/Dr. David Berd, <http://goo.gl/eUp6vN>)

土壤微生物除了具有肥料的功能外，許多微生物（如節桿菌屬）可產生植物生長激素如吲哚乙酸（IAA）促進根系生長、假單胞菌屬產生載鐵物質幫助提高鐵在土壤中的有效性。在國內微生物肥料的接種已由溫室（盆栽）與田間試驗證明具有促進作物生長之效果，同時減少化學肥料的用量，特別是在有機農耕中利用微生物肥料配合有機質肥料的施用，具有增進土壤品質達到農業永續經營目標之效益。微生物作為農藥的功能可應用於生物防治，近年來更多研究指出有益微生物可與植物產生交互作用，透過誘導植物產生系統性防禦機制之方式達到保護植物目的。



(作者提供)

微生物堆肥

微生物在自然界中擔任分解者的角色，可以將富含有機物的動物排泄物或植物殘體分解，將有機廢棄物經過堆肥化的過程轉變為有機質肥料。動植物有機體的組成複雜，包括各種碳水化合物、蛋白質、脂質與核酸等，視堆肥原料種類不同，其被微生物分解的特性亦有所不同。土壤微生物如芽孢桿菌屬產生的水解酵素可分解動物成分如蛋白質與油脂，及植物成分如澱粉、果膠質、纖維素等，經酵素作用後變成穩定的腐熟堆肥，即可作為供應植物生長的肥料，堆肥化作用包含多種微生物如細菌、放線菌與真菌的共同參與，並在中溫期、高溫期與腐熟期不同階段發生族群消長的過程。

2016 台積電 環境與社會 議事錄

與環境污染的關係

由於石化工業的快速發展，所衍生的碳氫化合物如油品與有機溶劑經常造成土壤與地下水汙染問題，土壤中許多微生物則在演化的過程中發展出降解汙染物的能力。油汙分解菌可產生界面活性物質或乳化物質，將在水中溶解度低的油類大分子乳化成為小分子，增加疏水性有機汙染物的水溶性，再進一步透過氧化酵素的作用破壞碳氫化合物的結構，將移動性不佳的化合物降解，在環境中上述過程經常需透過多種微生物共同作用，再配合植物之生物復育，現今已成為處理土壤或水體汙染技術中對環境較友善之方式。

此外微生物亦可應用於重金屬汙染土壤的整治，配合可累積重金屬於體內的植物，利用微生物促進植物的生長，或微生物直接產生可與金屬結合的蛋白質將重金屬固定，均可達到減少毒害之目的。但無論是有機汙染物或無機汙染物的生物復育，其復育之成效依土壤性質而異，許多汙染物質與土壤有機質或礦物結合，或是進入土壤孔隙中，使得微生物無法有效進行汙染物的生物降解而殘留在土壤中。故預防重於治療，我們應保護賴以生存的土地避免被汙染，此一寶貴的環境資源才能被永續利用。



(作者提供)

柴油或碳氫化合物乳化。

土壤微生物參與自然界中各種養分之循環轉型，影響農作物之產量與品質，在環境中更扮演著清道夫的角色，分解許多天然或人造的汙染物質，此外微生物亦應用至食品與醫藥工業。這個無法直接用肉眼看見的小幫手，已與我們的生活密不可分。